

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 23
提出年月日	平成 30 年 4 月 10 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 4 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

下線は、今回提出資料を示す。

目 次

1. 入力津波の評価
 - 1.1 潮位観測記録の考え方について[改 4 H30. 2. 13]
 - 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 4 H30. 2. 13]
 - 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 18 H30. 3. 30]
 - 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 18 H30. 3. 30]
 - 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 20 H30. 4. 4]
 - 4.2 漂流物による影響確認について[改 12 H30. 3. 1]
 - 4.3 漂流物衝突力について
5. 設計における考慮事項
 - 5.1 地震と津波の組合せで考慮する荷重について[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 21 H30. 4. 6]
 - 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 12 H30. 3. 1]
 - 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 浸水防護施設の評価に係る地盤物性値及び地質構造について[改 9 H30. 2. 22]
 - 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[改 20 H30. 4. 4]
 - 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[改 14 H30. 3. 6]
 - 5.12 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
 - 5.13 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
 - 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[改 21 H30. 4. 6]
 - 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
 - 5.16 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
 - 5.17 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[改 5 H30. 2. 13]
 - 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

[]内は、当該箇所を提出
(最新)したときの改訂を示
す。

5.19 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]

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

6.1.2 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23 H30.4.10]

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

6.2.2 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

6.4 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

6.5 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23 H30.4.10]

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23 H30.4.10]

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

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

6.8.2 貯留堰取付護岸に関する補足説明

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，逆止弁の設計に関する補足説明

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22 H30.4.6]

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 津波監視カメラの設計に関する補足説明

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

6.10.4 津波監視設備の設備構成及び電源構成について

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

6.13 止水ジョイント部の漂流物対策に関する補足説明

[]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。

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。

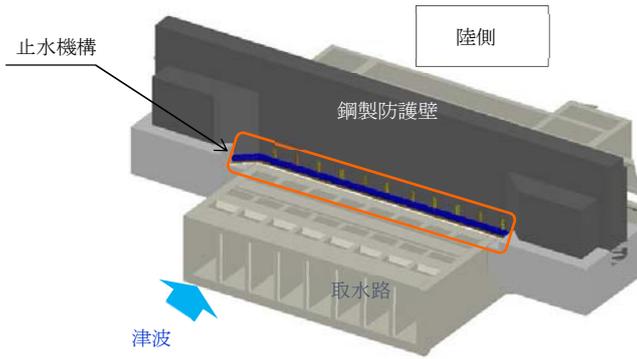


図 止水機構の設置位置

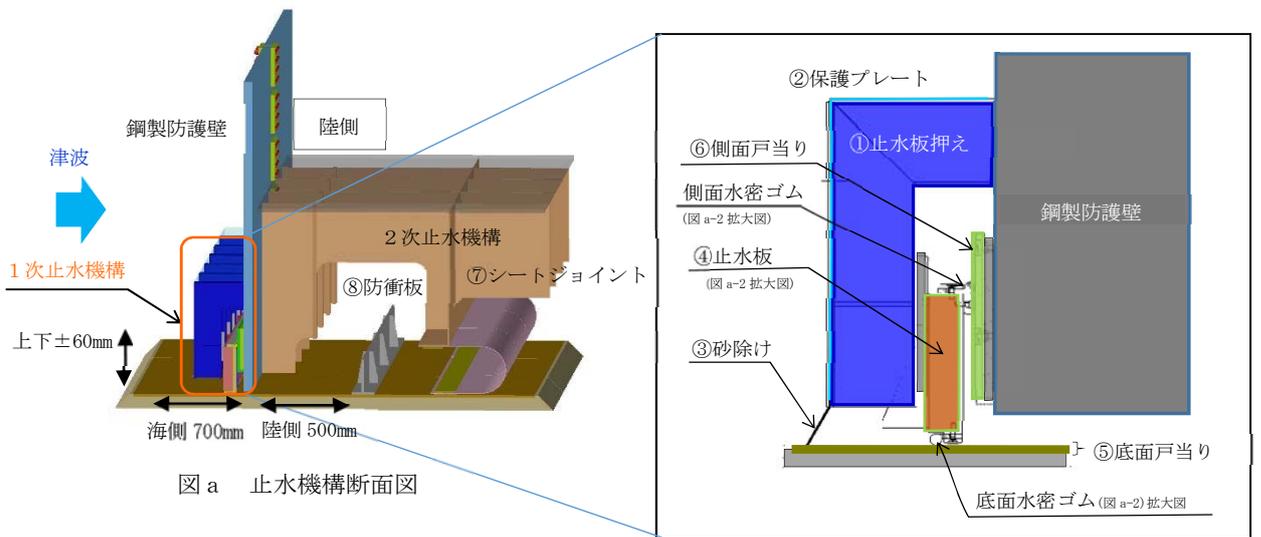


図 a 止水機構断面図

図 a-1 1次止水機構拡大図

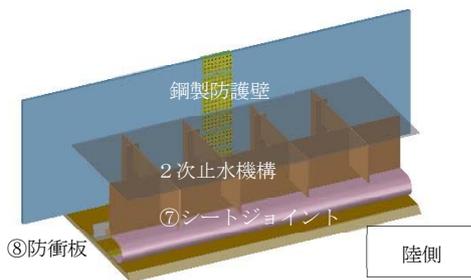


図 b 2次止水機構の構造

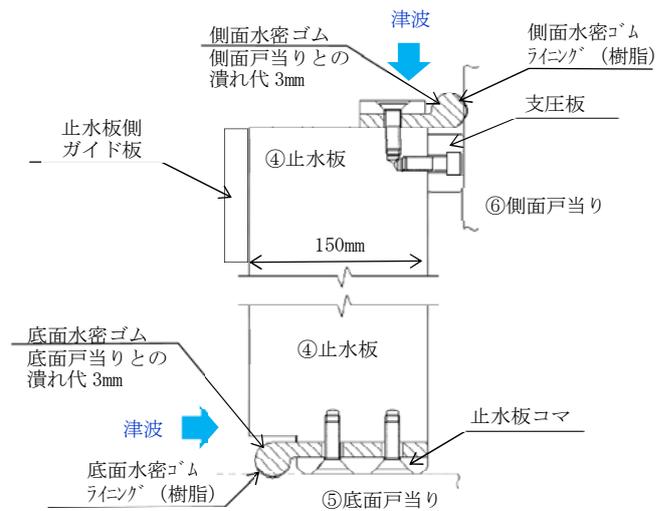


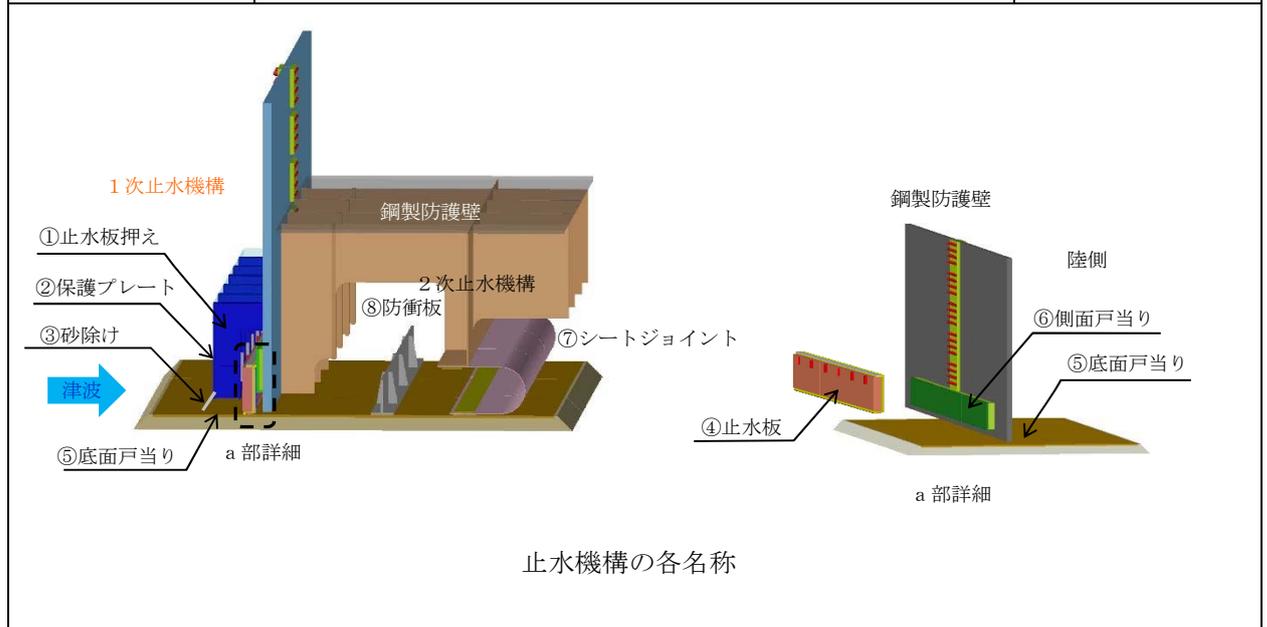
図 a-2 止水板、底面・側面水密ゴム拡大図

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。

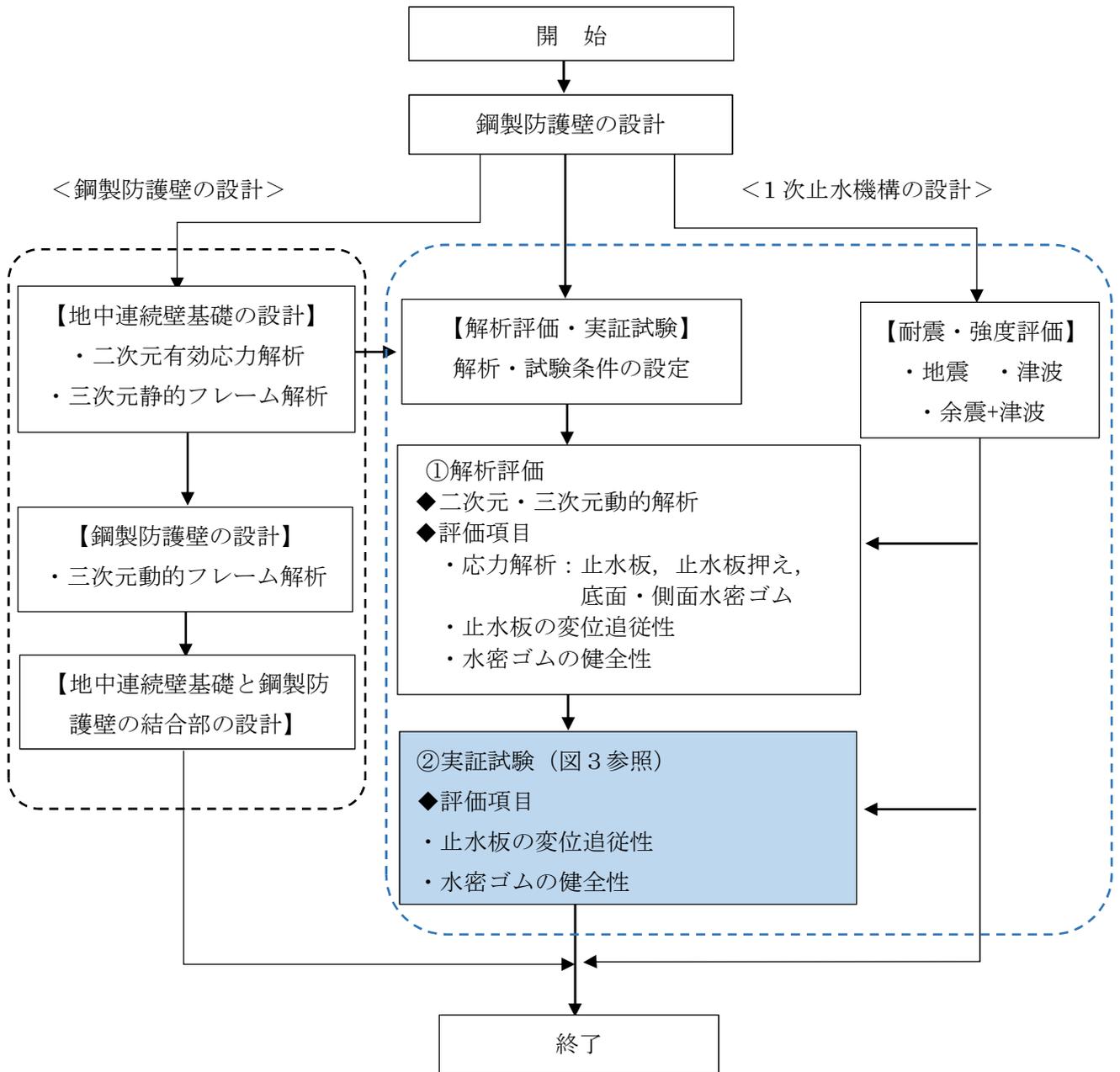
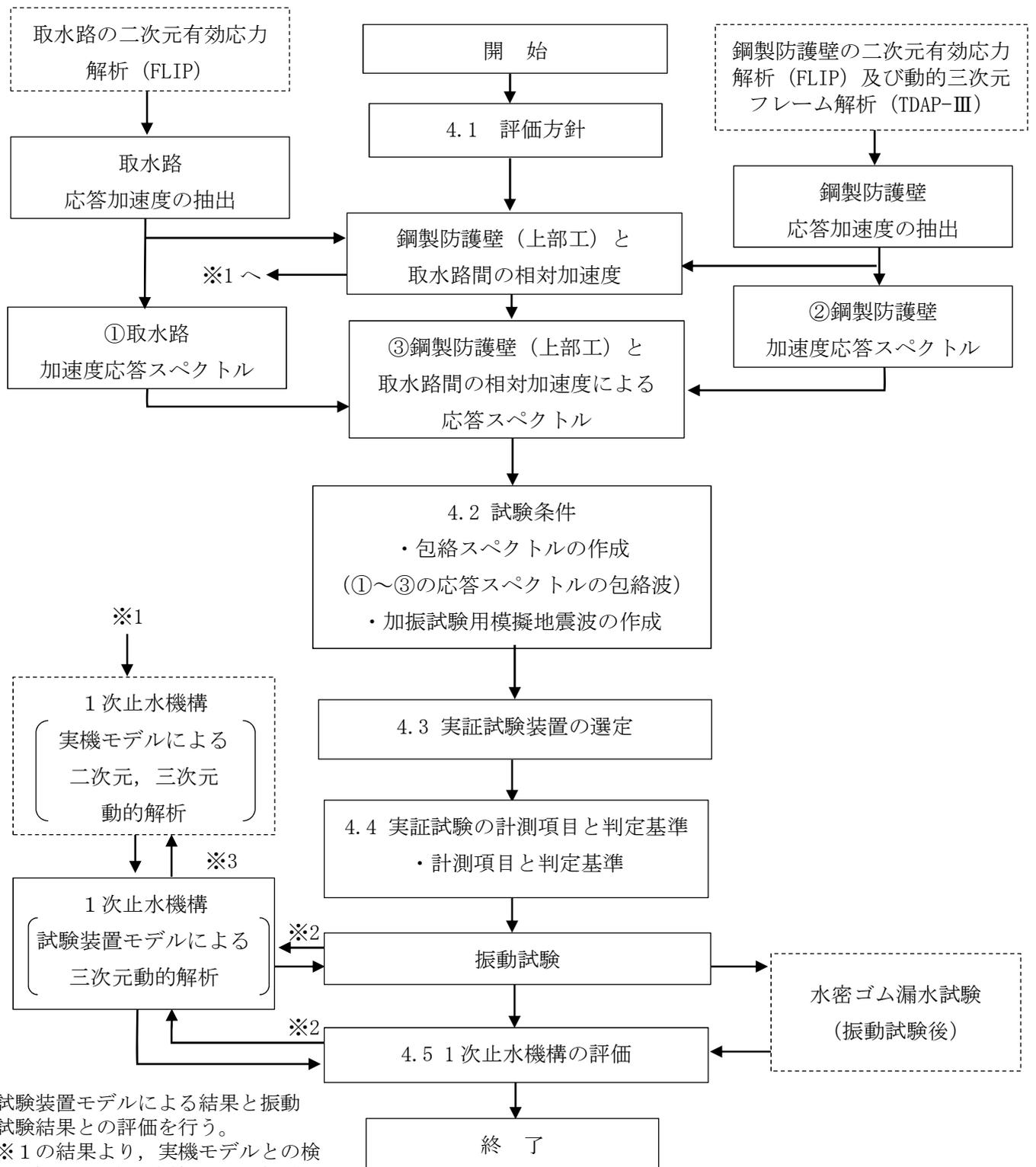


図2 鋼製防護壁と1次止水機構の検討フロー



- ※2：試験装置モデルによる結果と振動試験結果との評価を行う。
- ※3：※1の結果より、実機モデルとの検証を行い、1次止水機構の挙動を評価する。

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。

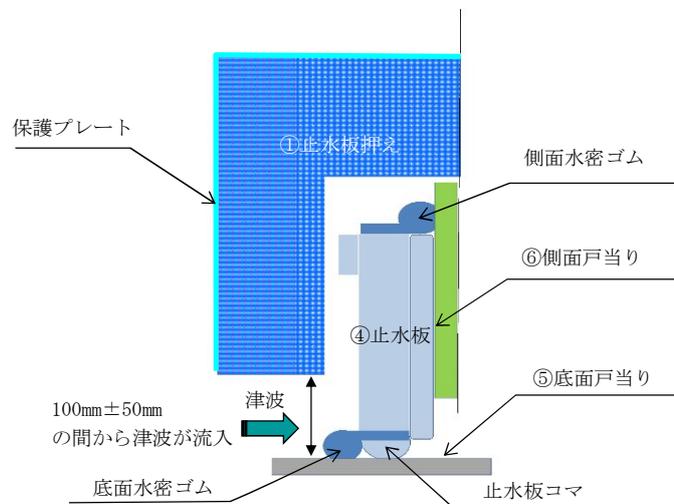


図3 止水板への流入イメージ

(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 模擬地震波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 模擬地震波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模擬地震波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)

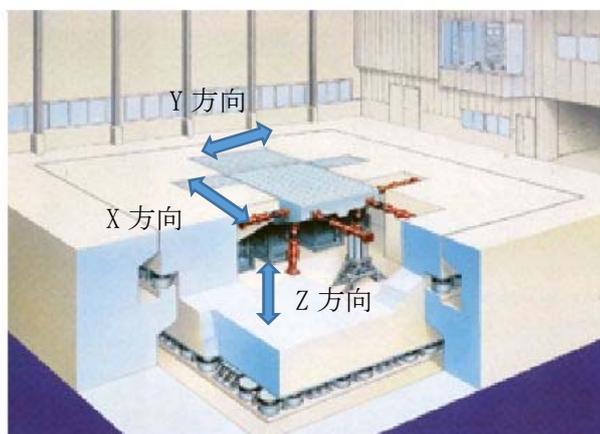
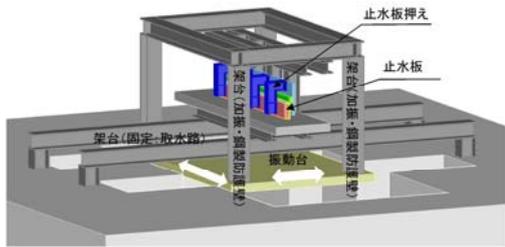
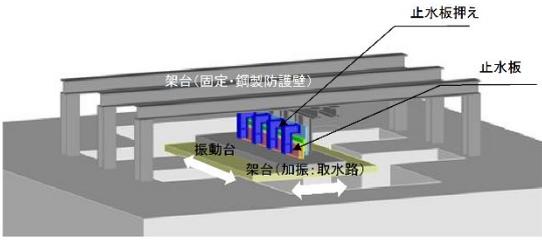


図4 大型3軸振動台の概要

(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

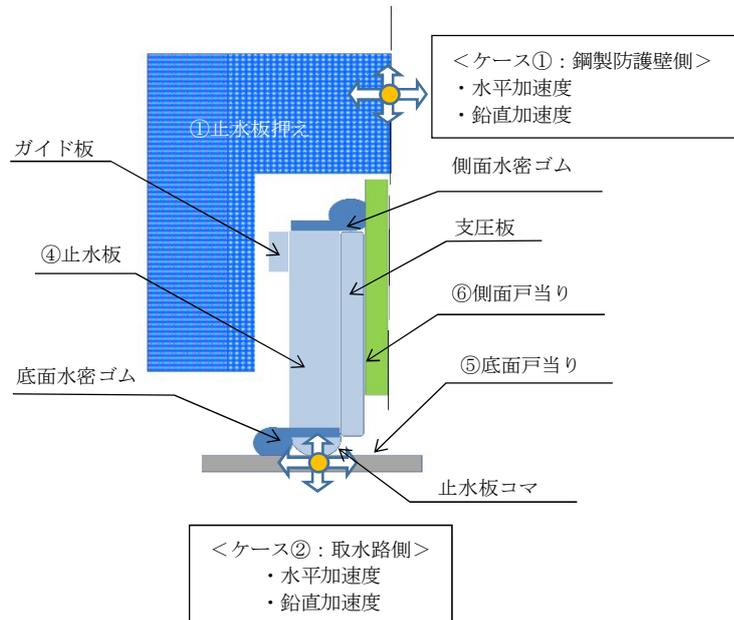
	ケース①	ケース②
固定	取水路	鋼製防護壁
加振	鋼製防護壁	取水路
装置概要		
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 鋼製防護壁側を直接加振するため、止水板に対する加速度（水平）が伝わりやすい。 鋼製防護壁側を直接加振するため、水平の慣性力が入りやすく、底面及び側面水密ゴムの挙動が確認しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 固定基礎に架構を設置することで鋼製防護壁を想定した架構の剛性が得られやすい。 取水路側を直接加振するため、止水板に対する加速度（鉛直）が伝わりやすい。 取水路側を直接加振するため、底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必要があ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験解析結果から、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験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)

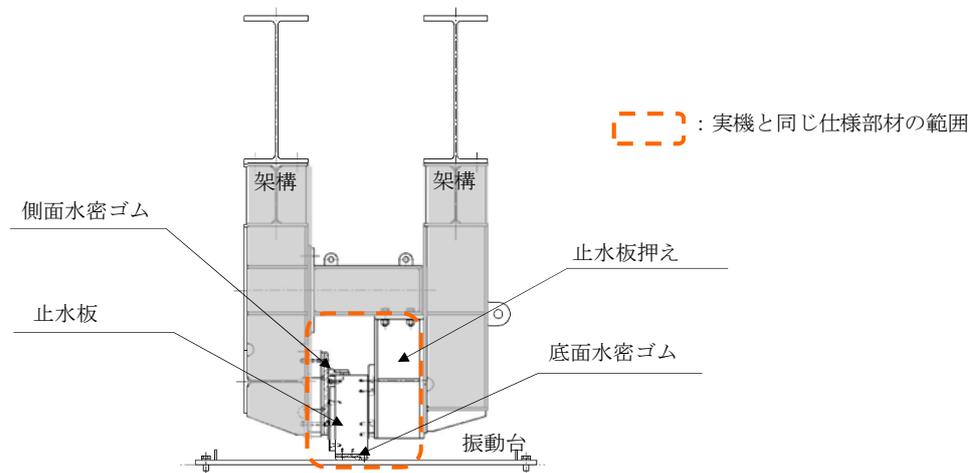


図 5 実機と同じ仕様部材の部位

- 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。

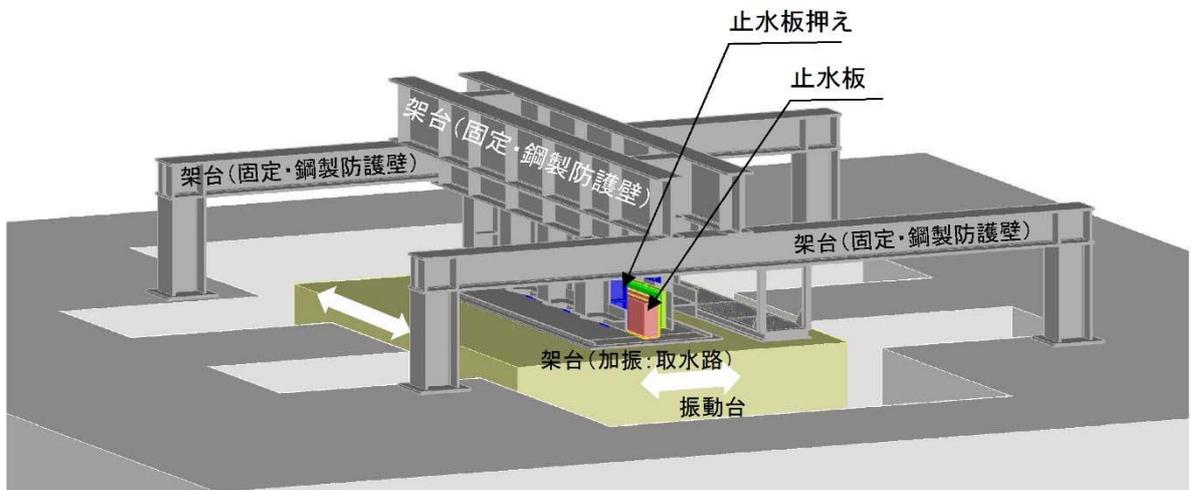


図 6 実証試験のイメージ図

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。

模擬地震波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)

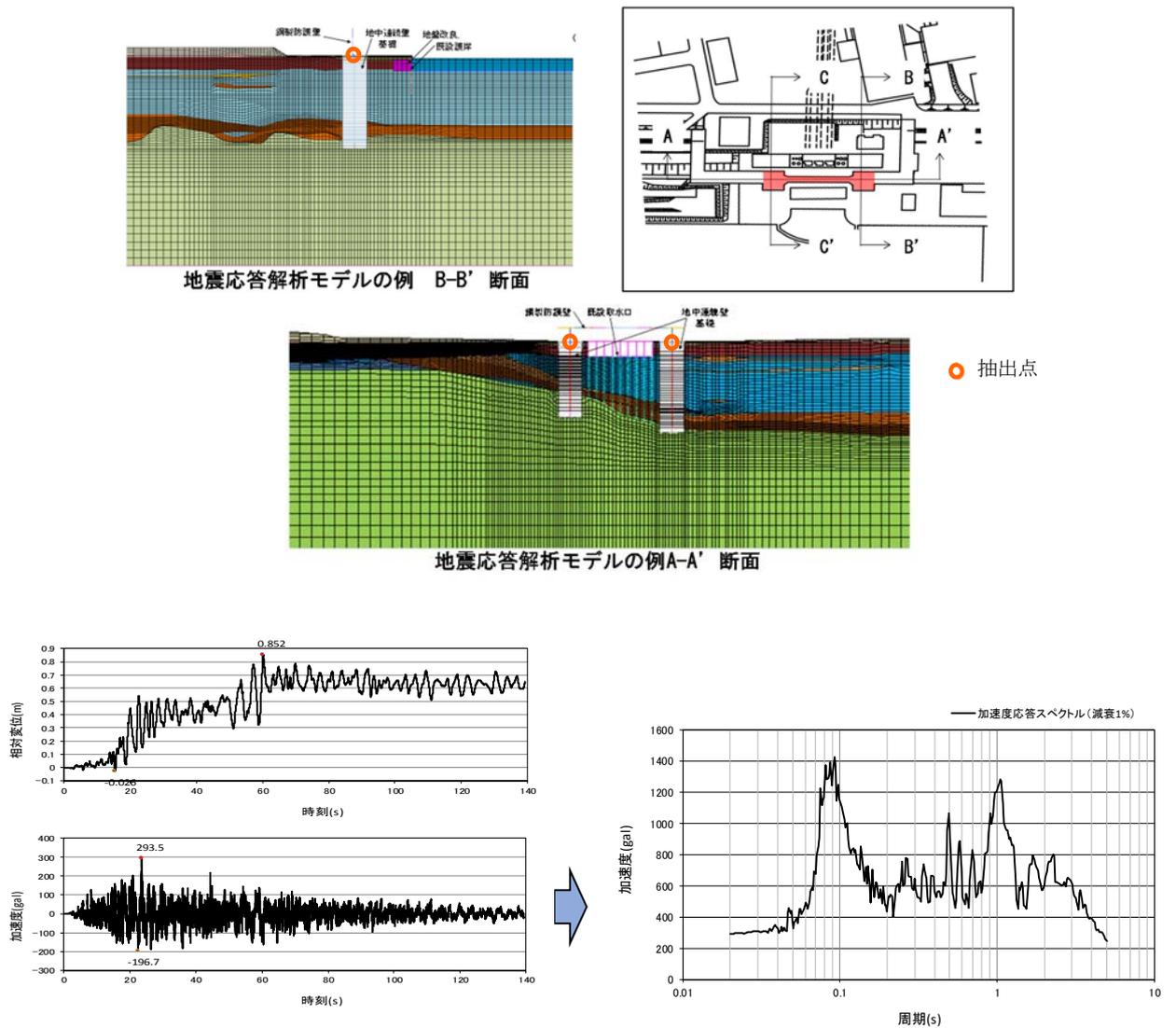


図7 鋼製防護壁基礎の二次元有効応力解析による応答時刻歴と応答スペクトルのイメージ

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)

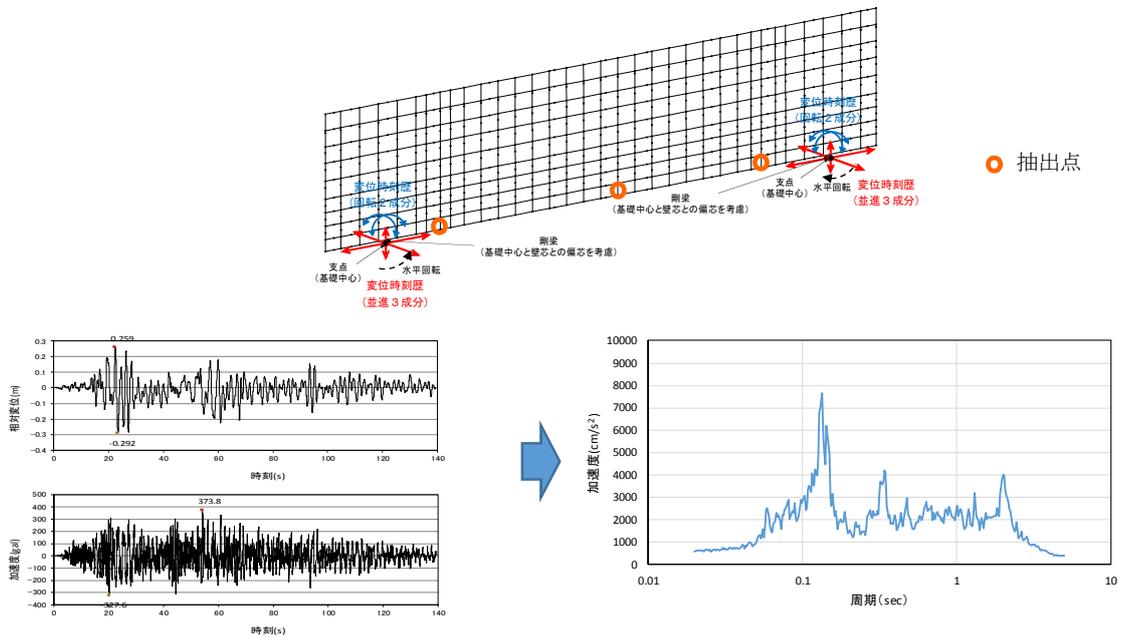


図8 鋼製防護壁の三次元フレーム解析による応答時刻歴と応答スペクトルのイメージ

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)

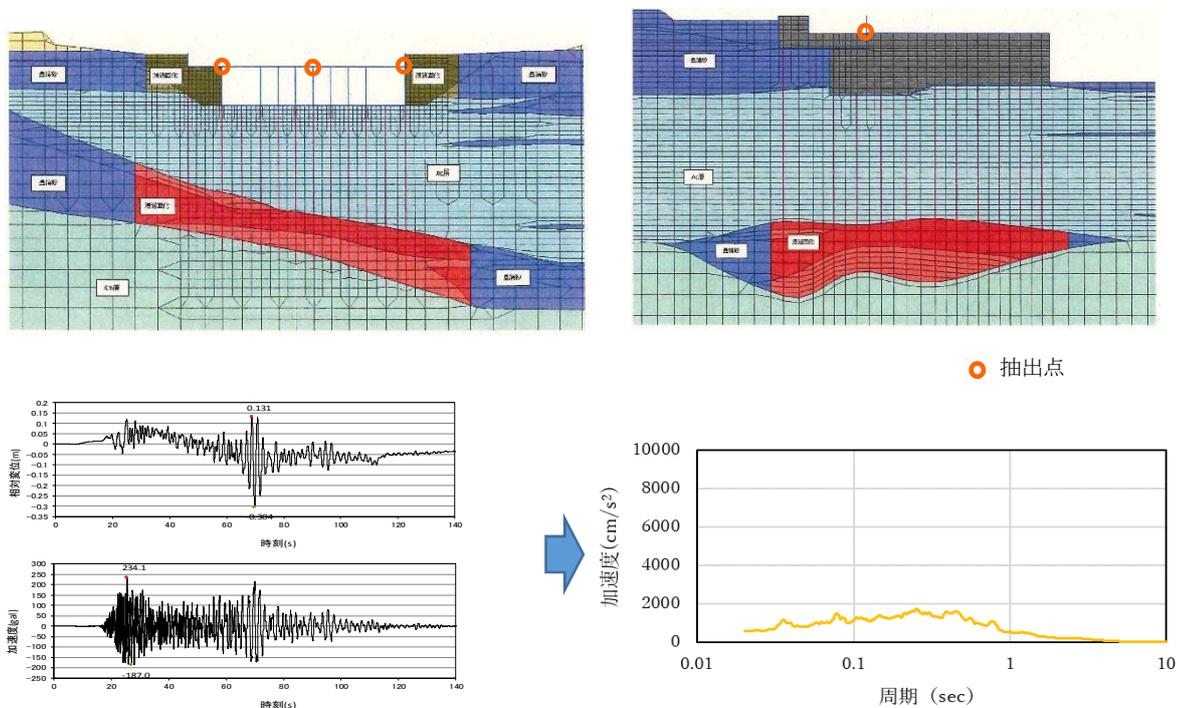
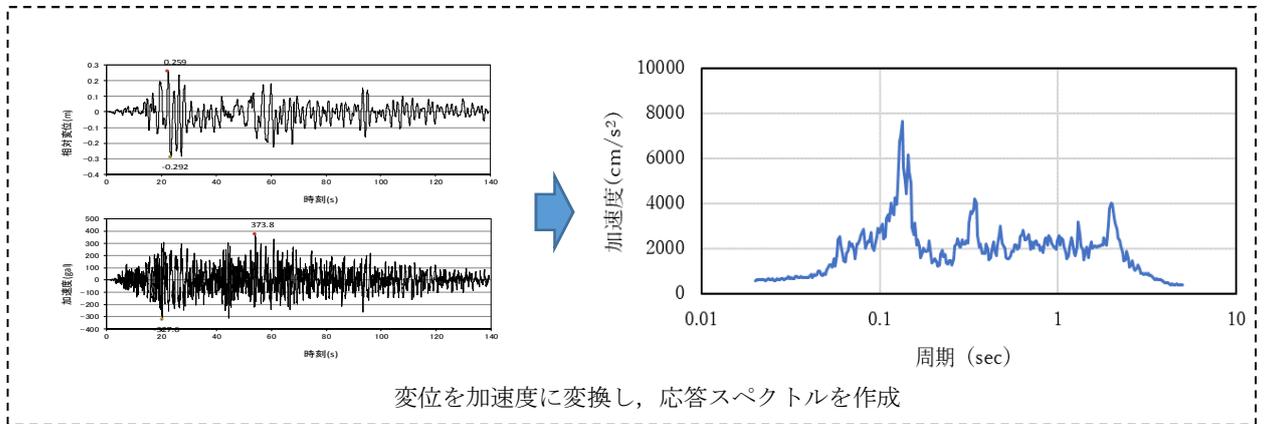


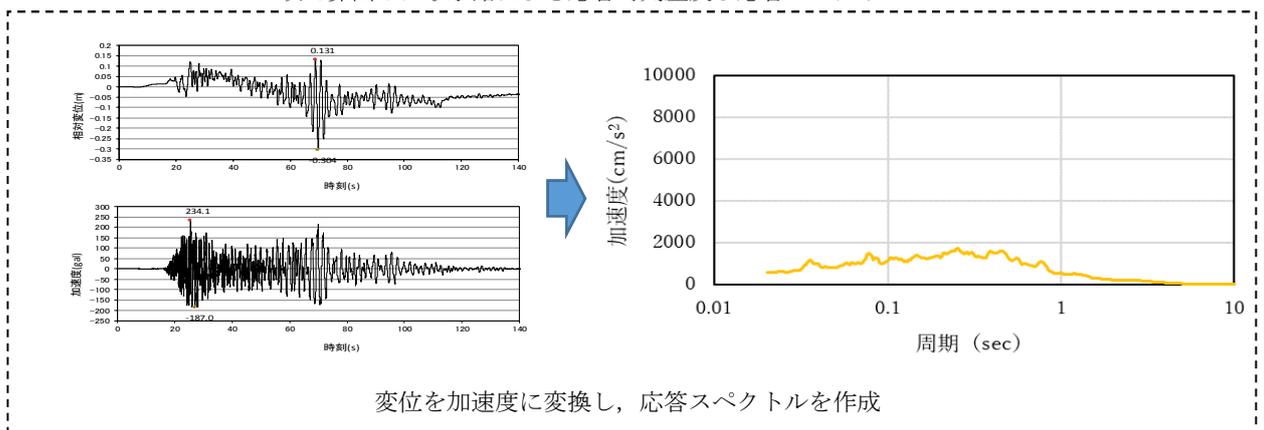
図9 既設取水路の二次元有効応力解析による応答時刻歴と応答スペクトルのイメージ

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応答時刻歴及び応答スペクトル



c 項で算出した取水路による応答時刻歴及び応答スペクトル



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

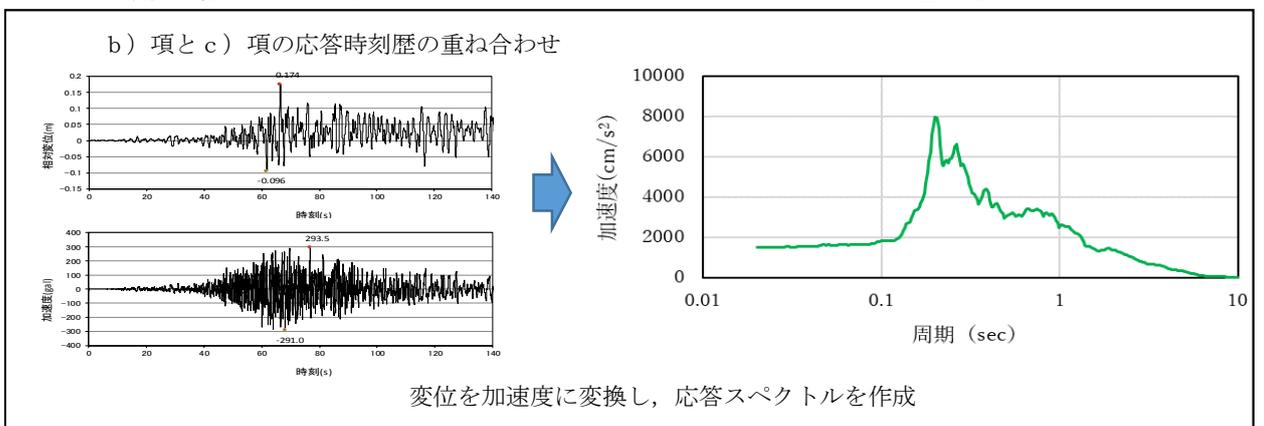


図 10 鋼製防護壁と取水路を重ね合わせた応答スペクトルの作成イメージ

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模擬地震波として振動台に入力する。また, 振動台に入力する模擬地震波は, 東西の位相を逆転させた場合についても振動台に入力する。(図 11)

なお, 模擬地震波として作成した加速度応答スペクトルの包絡波については, 変位を算出し, b 項, c 項と d 項にて作成した相対変位と比較し, 模擬地震波の変位が包絡していることを確認する。

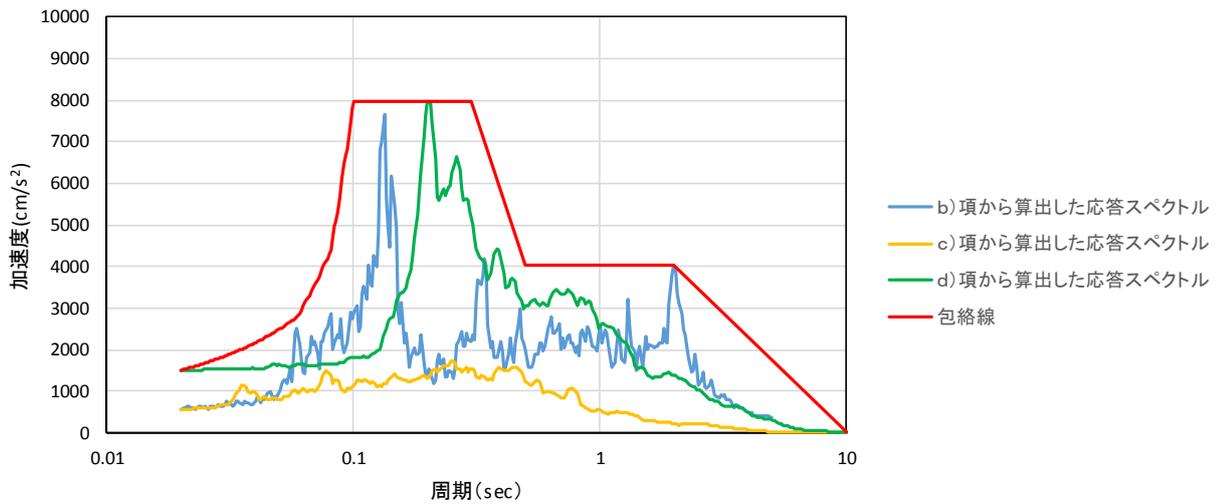


図 11 応答スペクトルの包絡波の作成イメージ

(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。

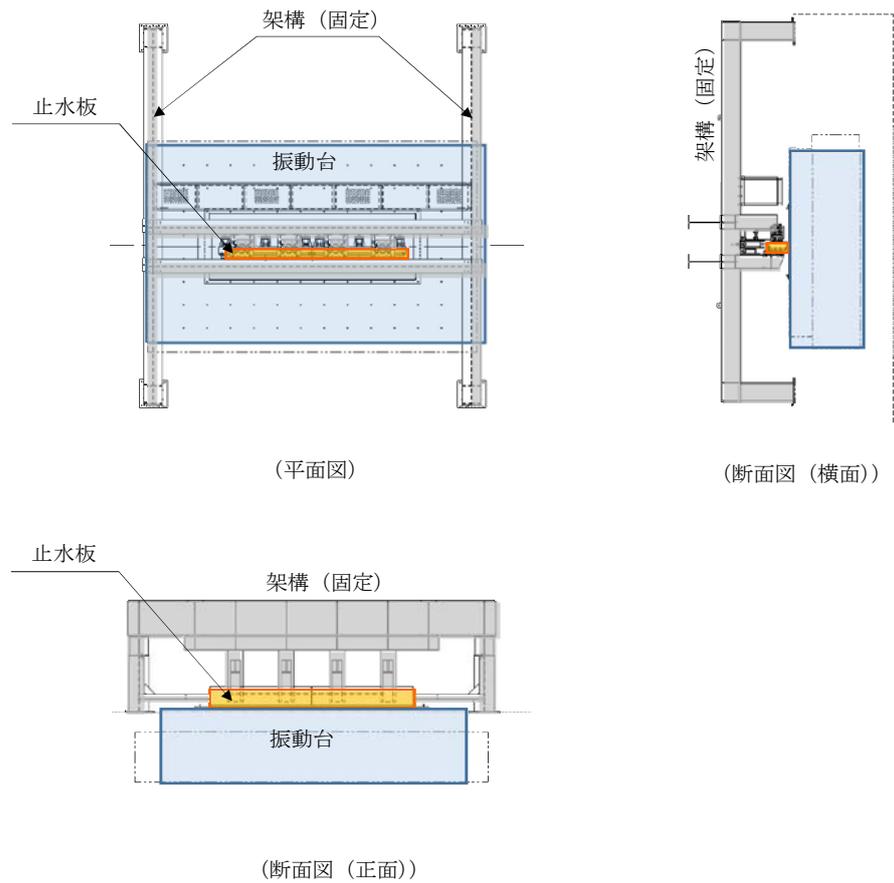


図 12 実証試験の試験装置構造図

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。

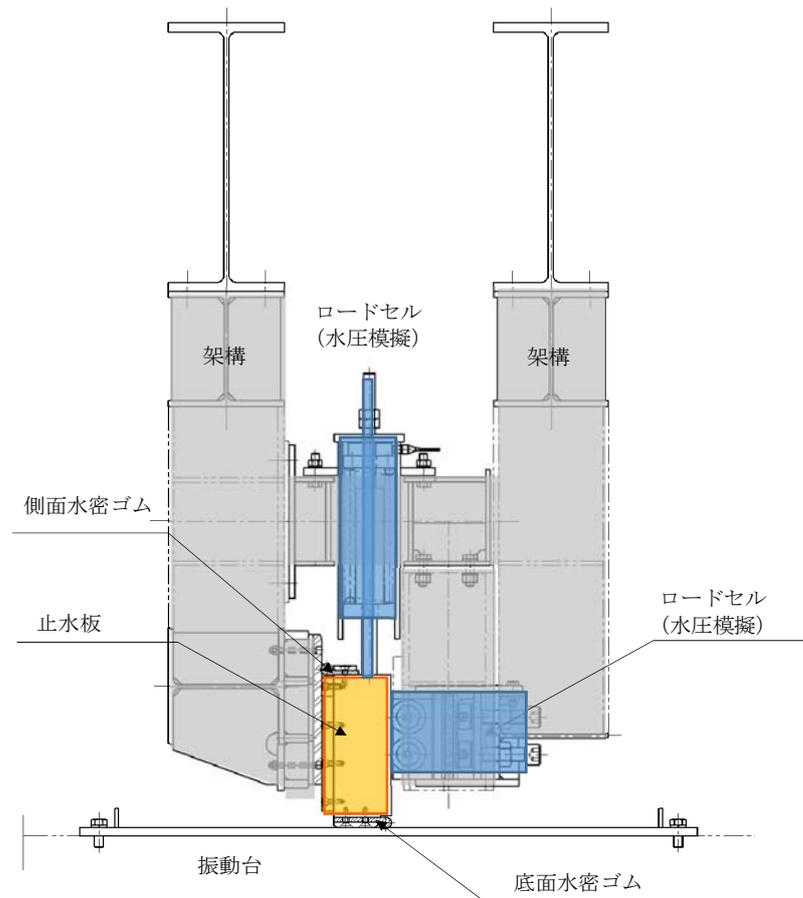


図 13 余震+津波時の試験装置の構造図

(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。

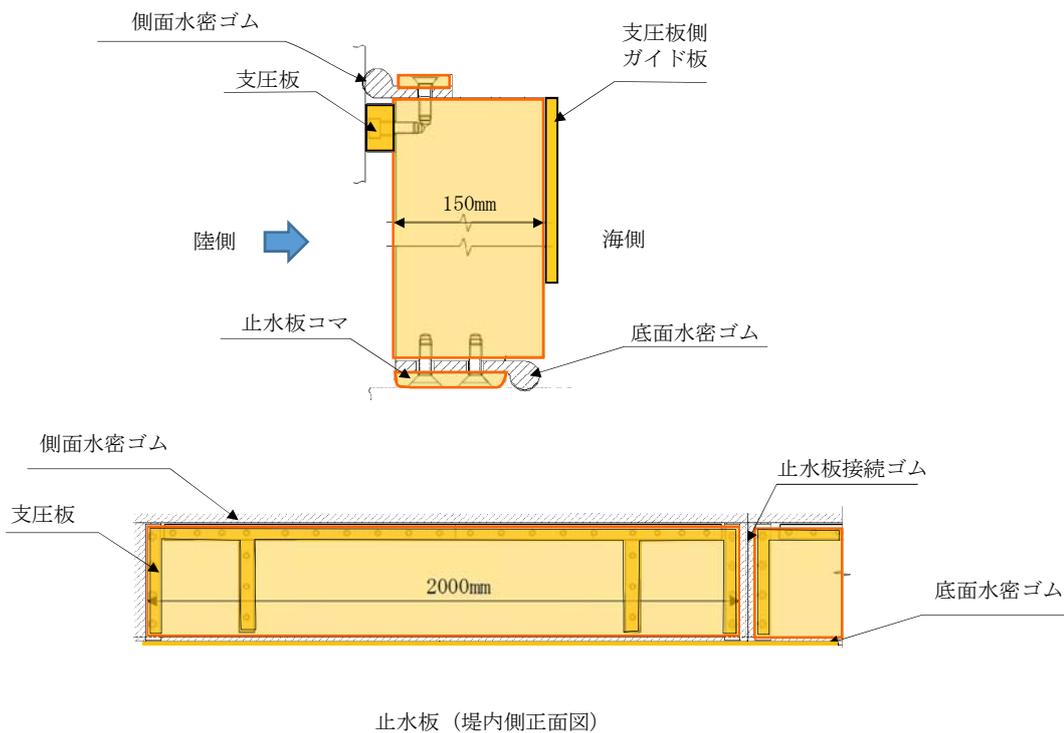


図14 止水板の構造及び水密ゴムの構造

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。

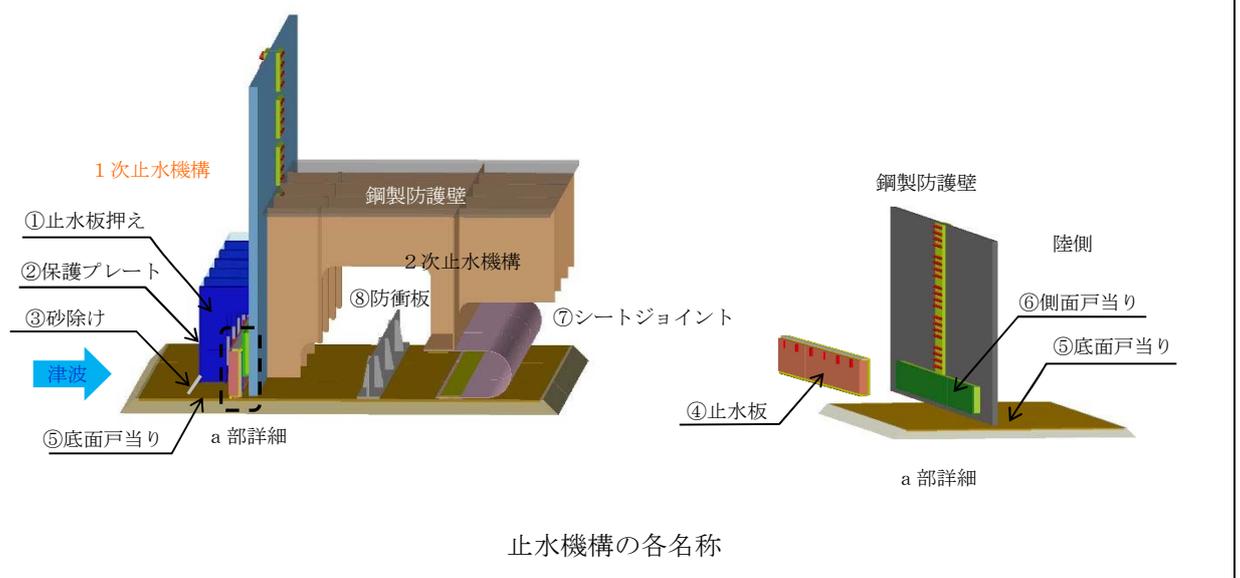


表 6 各部位の検査項目

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 (③)
		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 (①~⑩) (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 (⑤~⑨) ◆ビデオ撮影 (④~⑦, ⑨~⑫)
		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) (①~④) ◆ビデオ撮影 (④~⑦, ⑨~⑫)
		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 (①~⑩) (レーザー変位計による浮き上がり確認) ◆ビデオ撮影 (④~⑦, ⑨~⑫)
		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 (①~⑩) (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 (⑤~⑨) ◆ビデオ撮影 (⑧)
		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

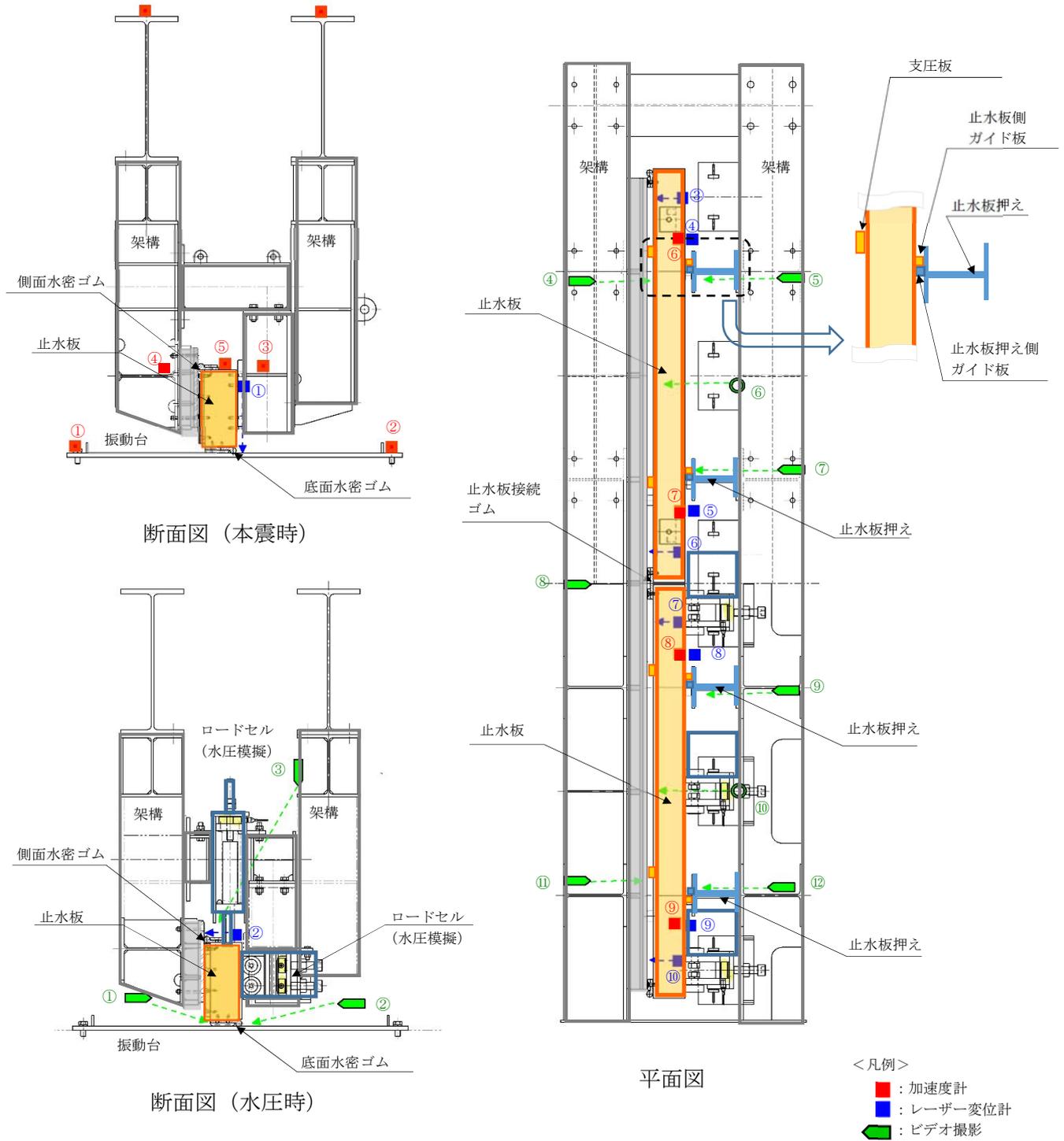


図 15 実証試験時の計測部位

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。

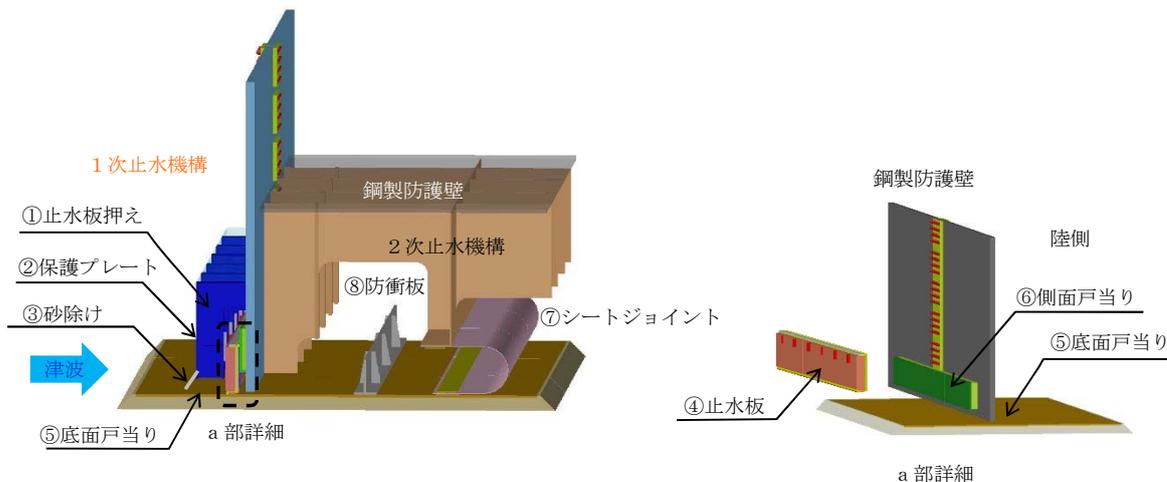
④漏水試験の実施（別途実施）

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月上旬までに実施)	
【漏水試験】				▽試験	
【評価】				試験データ分析	
【ご報告】					▽報告

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。

(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

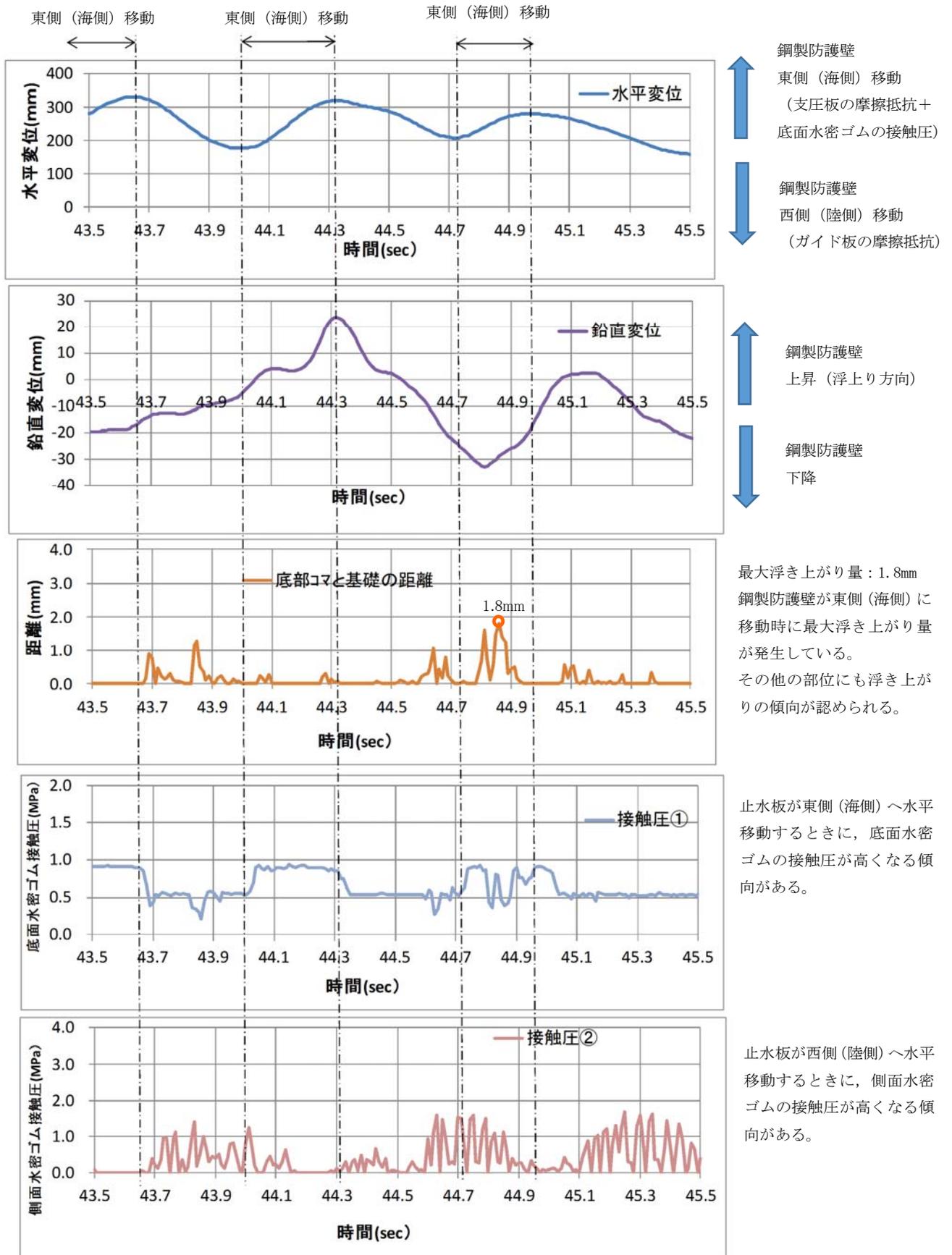


図 17 本震時 鋼製防護壁側揺動（CASE1-1）

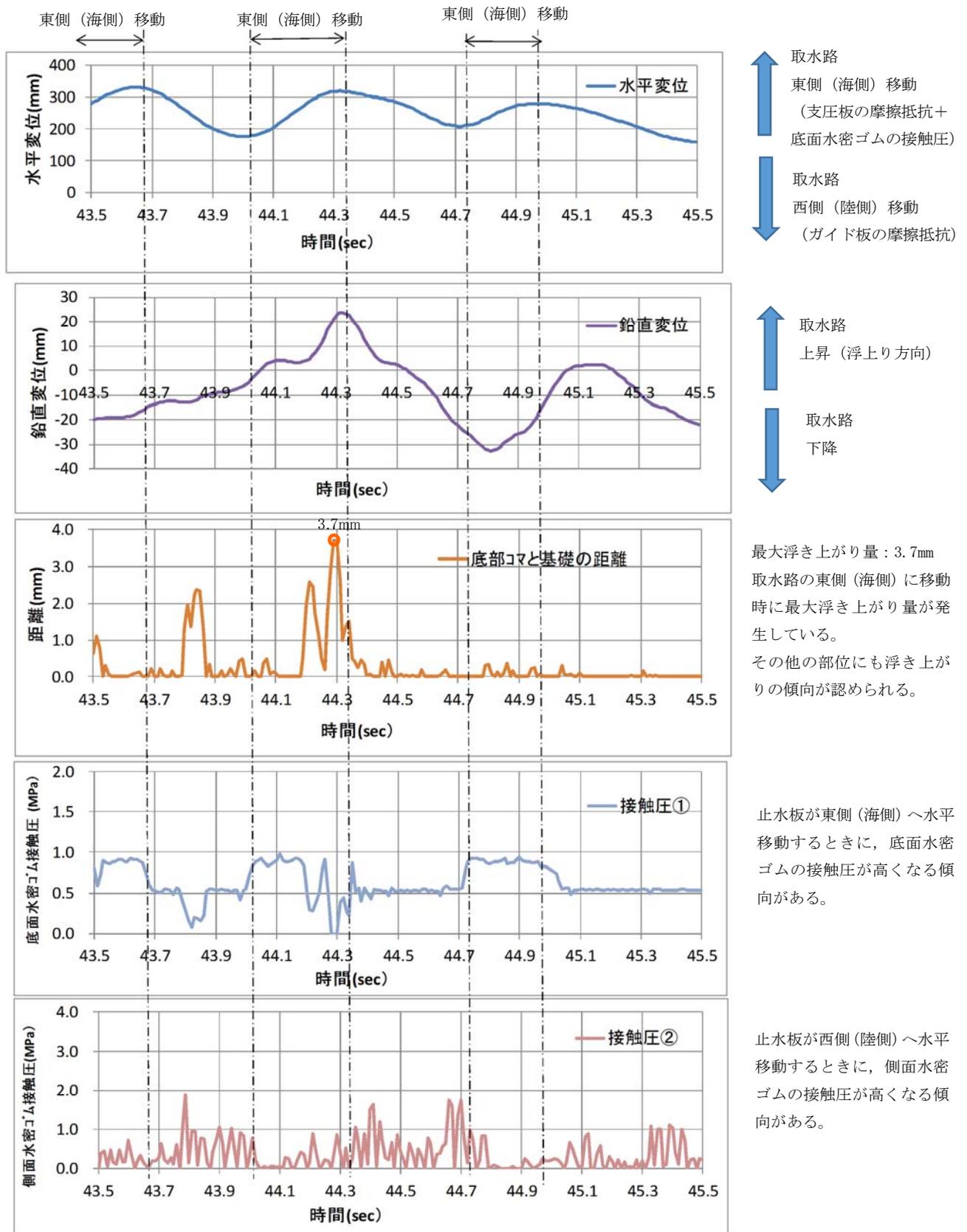


図 18 本震時 取水路側（基礎）摺動 (CASE2-1)

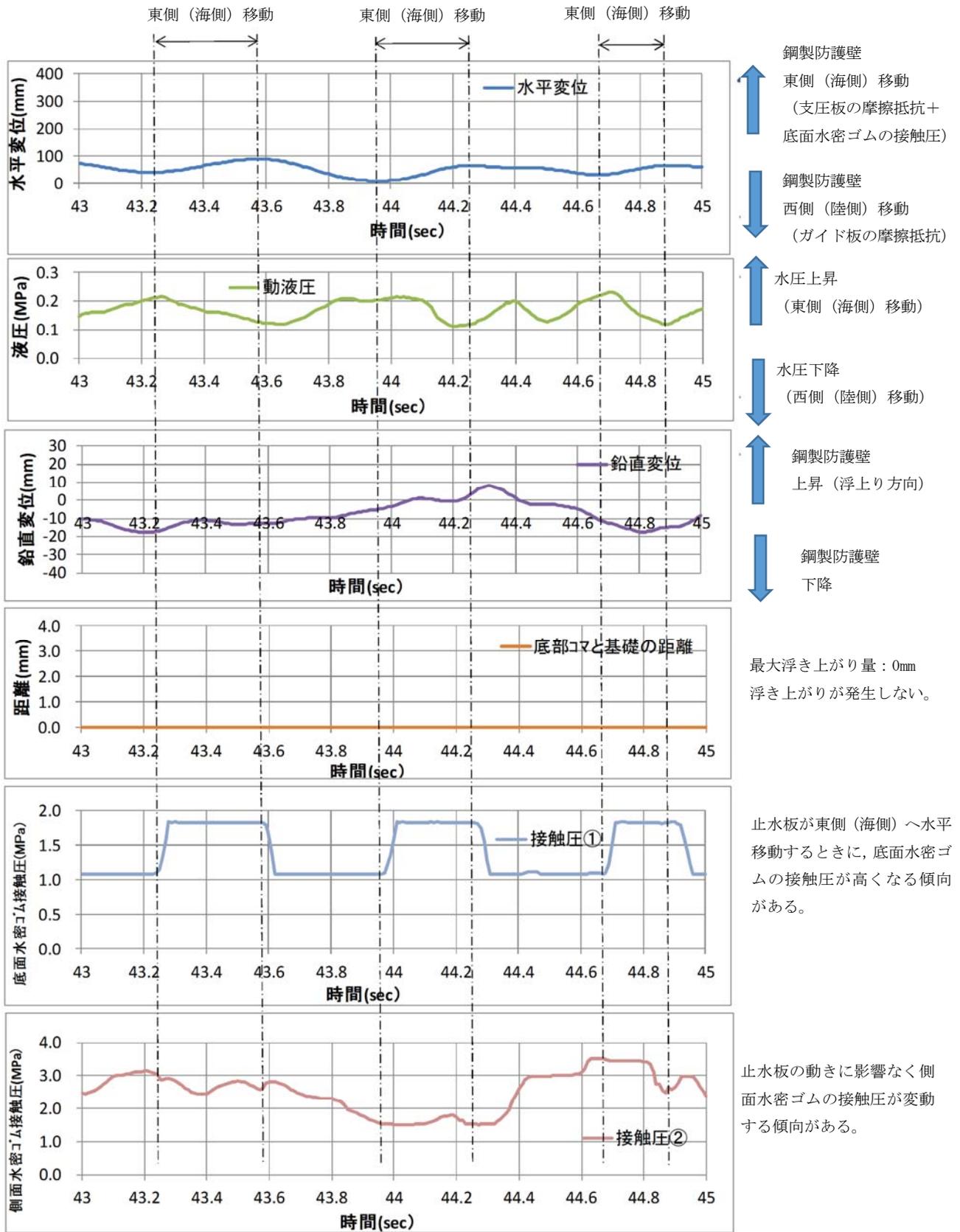


図 19 余震時 鋼製防護壁摺動 (CASE1-2)

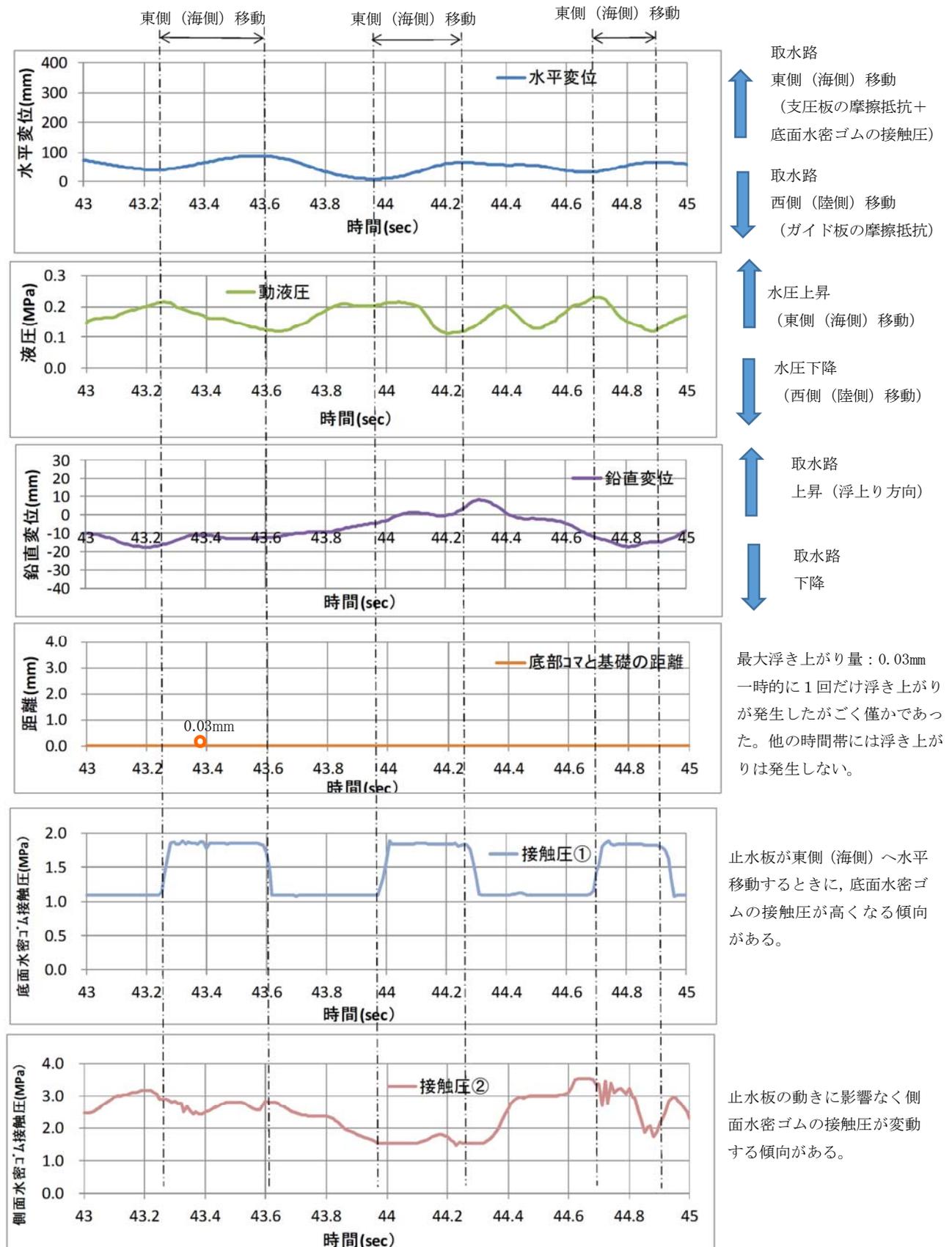


図 20 余震時 取水路側（基礎）摺動 (CASE2-2)

【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。

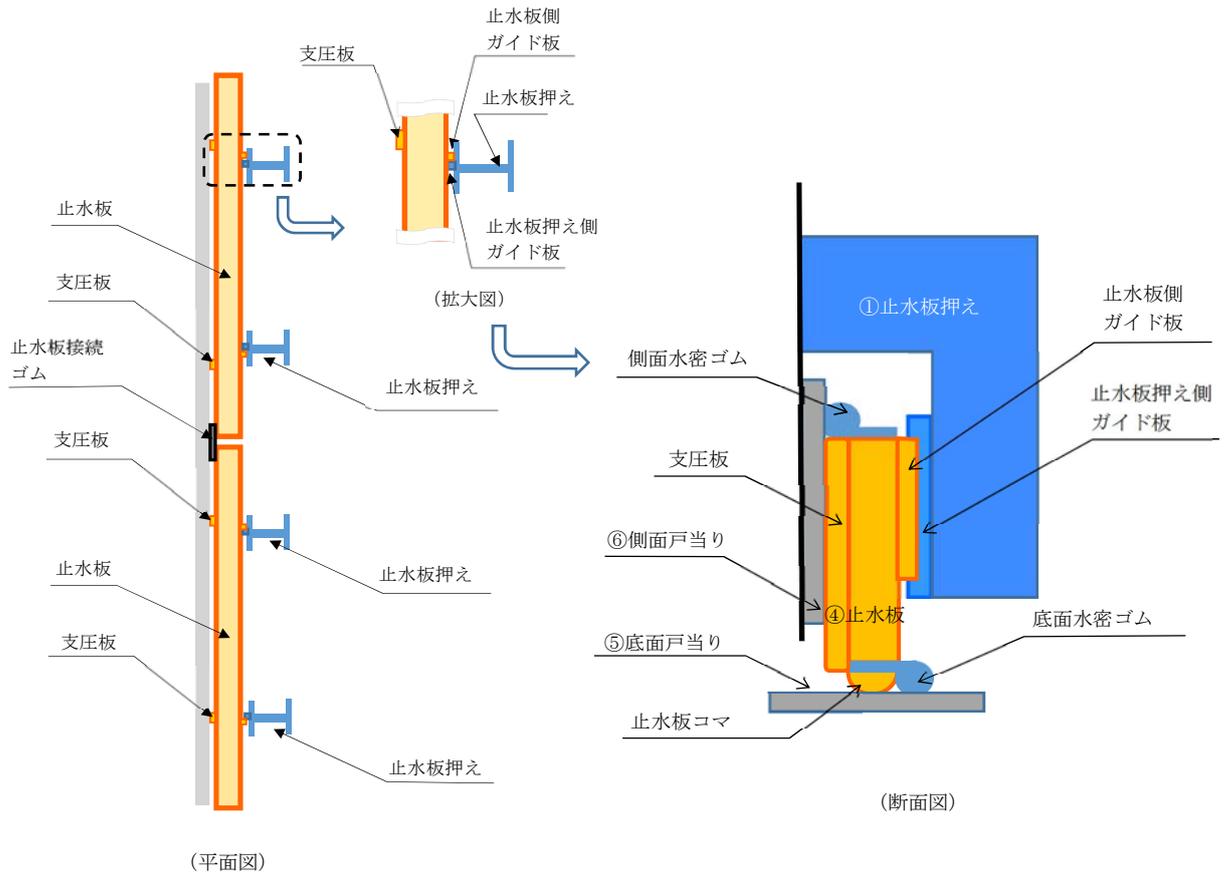


図 21 止水板と止水板押えのガイド構造について

(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 17 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 17 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

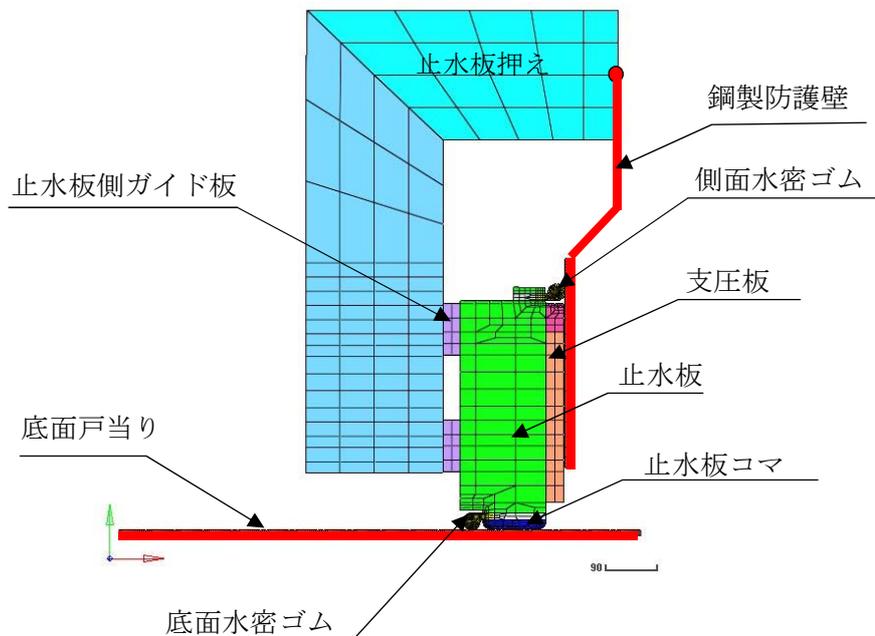


図 22 二次元動的解析モデル

(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），水压模擬

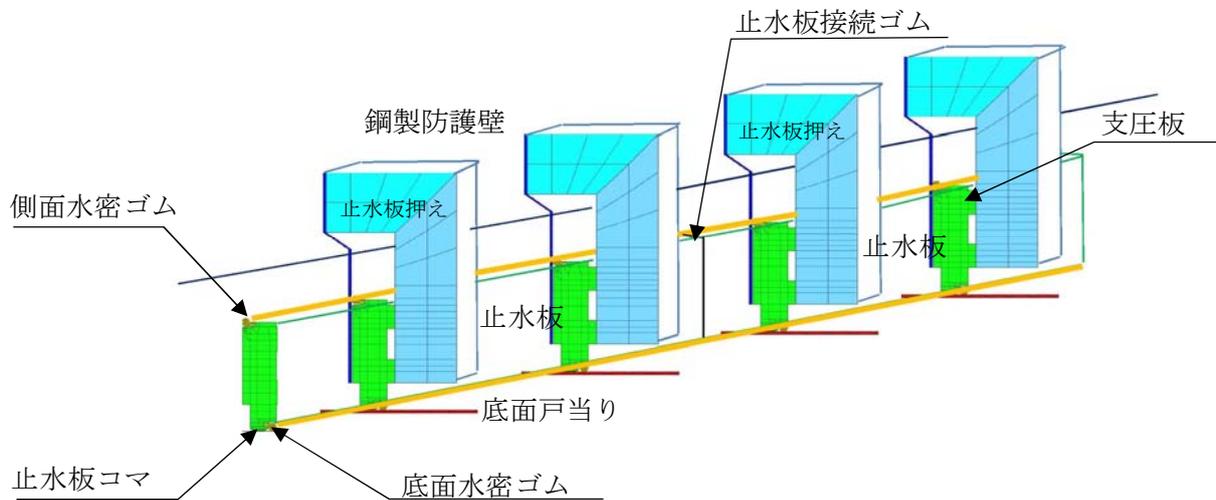


図 23 三次元的解析モデル

【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。

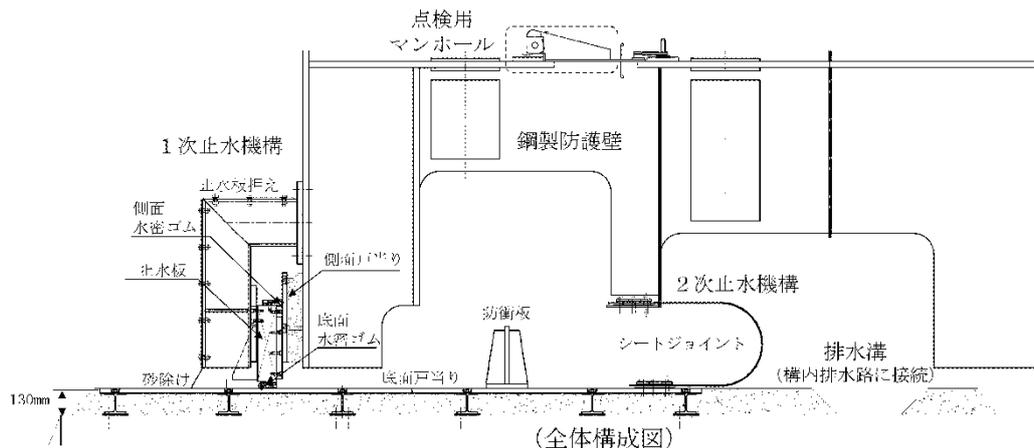


図 24 止水機構全体の概要

【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、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
	試験体 3	ライニングのない状態にて試験を実施した水密ゴム（試験結果で亀裂，損傷等ない場合に実施）
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

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

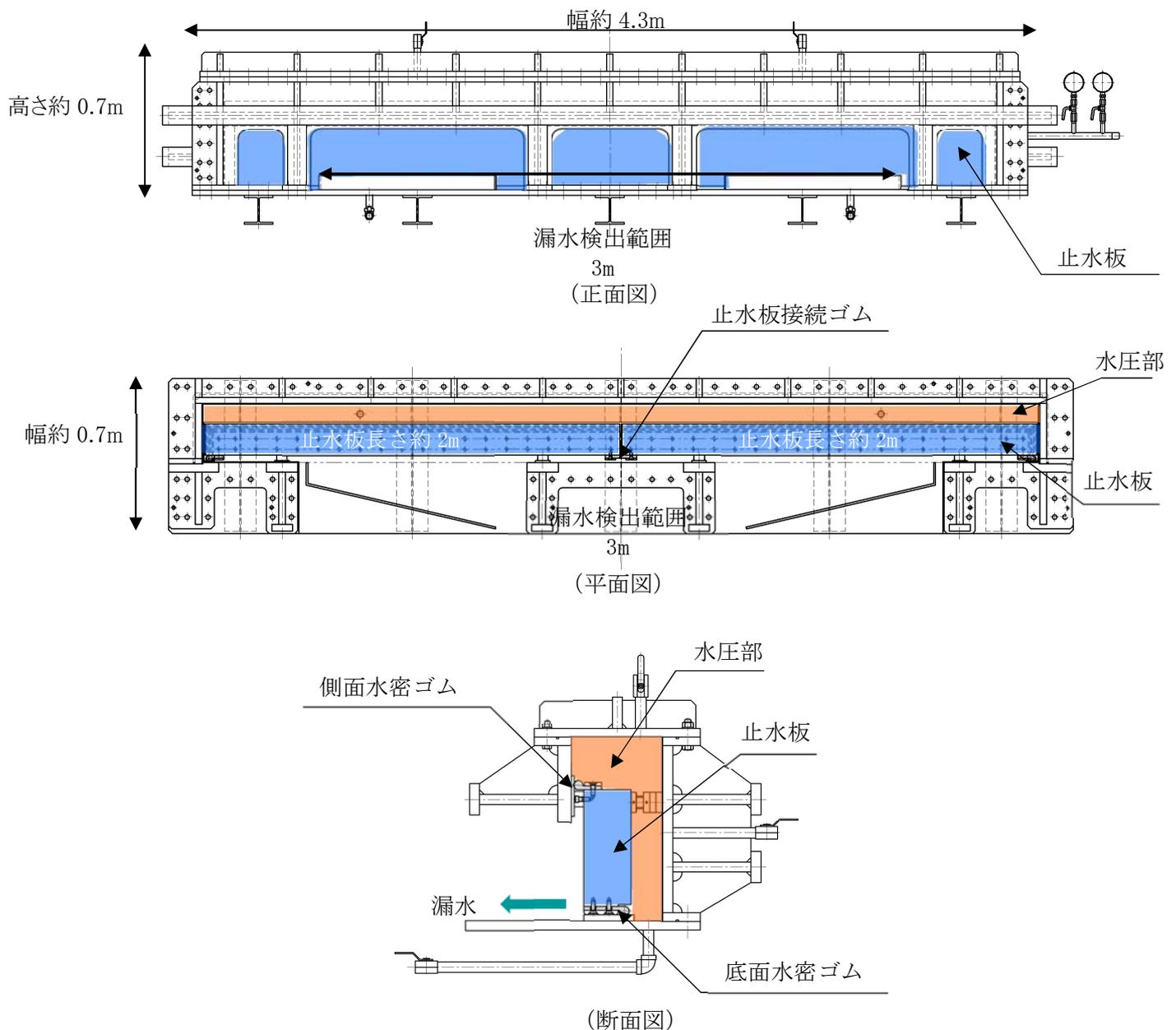


図 25 漏水試験の装置概要図

<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 15 に試験装置の主要仕様、表 16 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 15 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

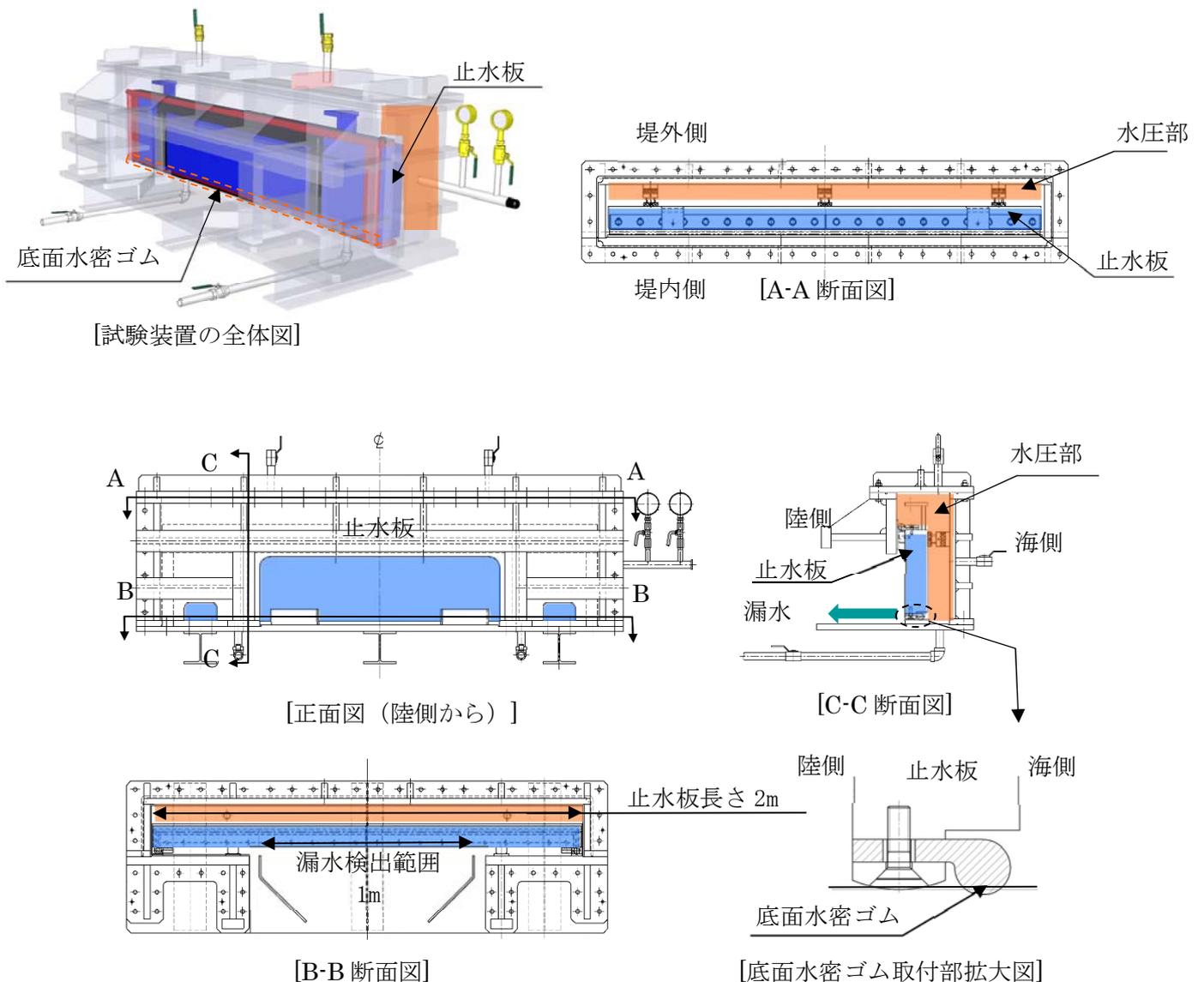


図 25 試験装置概要図

表16 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

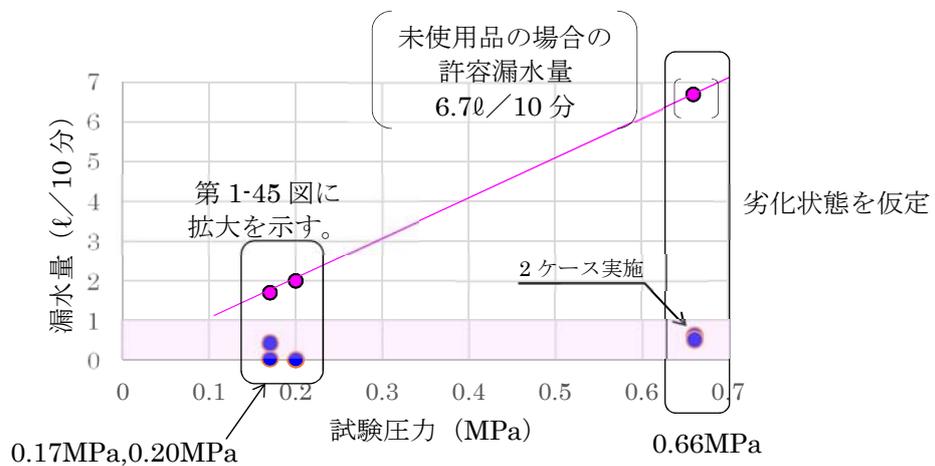


図 26 試験圧力と漏水量（高圧）

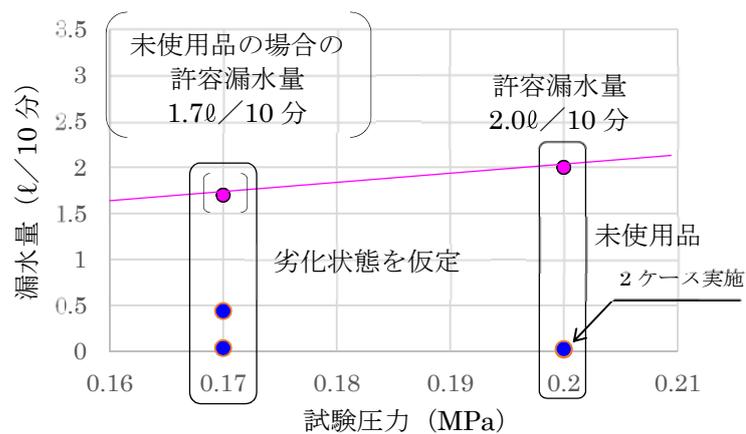


図 26 試験圧力と漏水量（低圧）

【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。

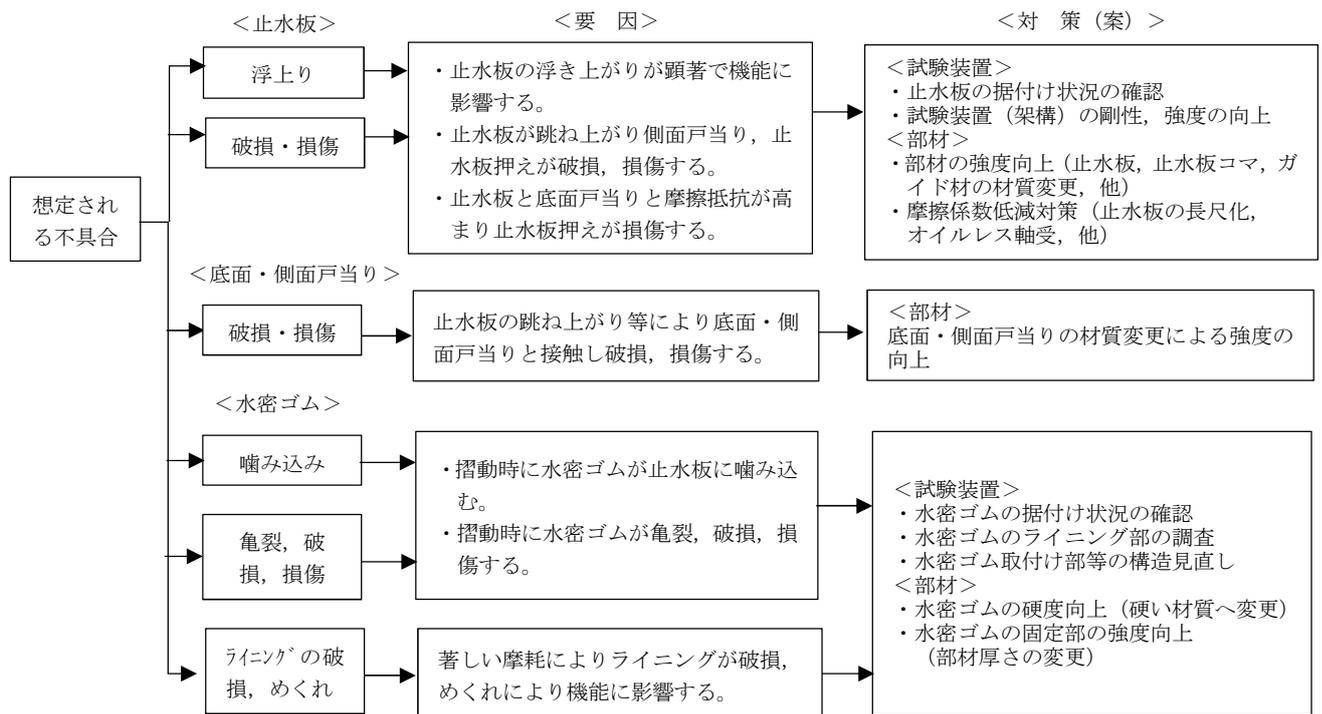


図 27 実証試験時における不具合時に対する対策（案）

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。本項は、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月上旬

場 所：茨城県つくば市

3. 試験体制

実証試験体制は、図1に示す。

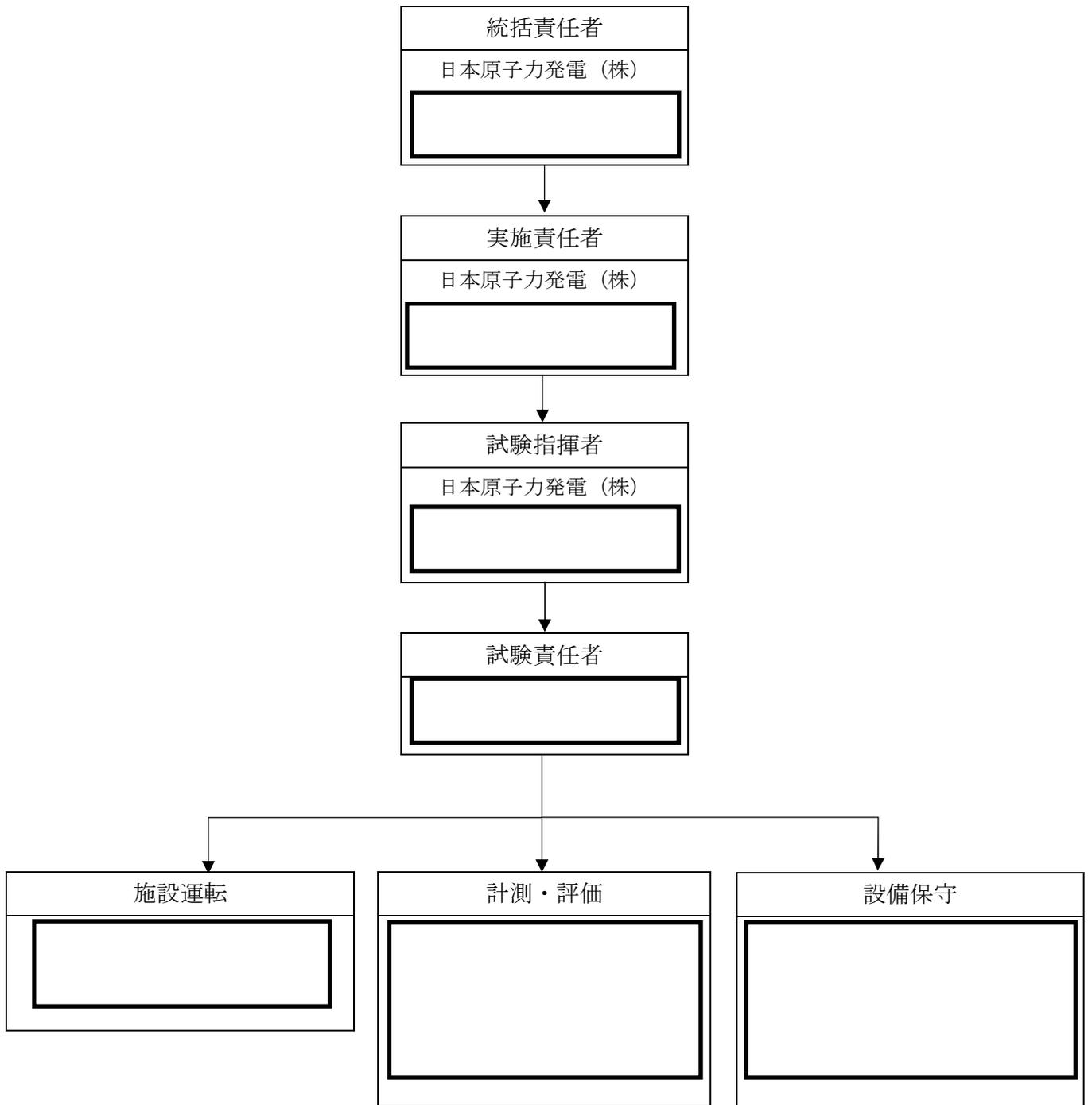


図1 実証試験体制

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)

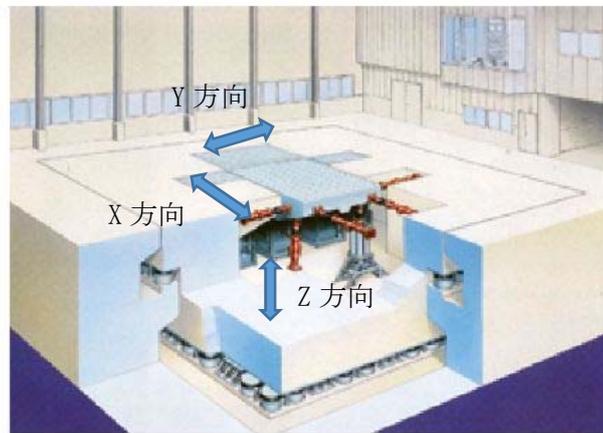


図2 大型3軸振動台の概要

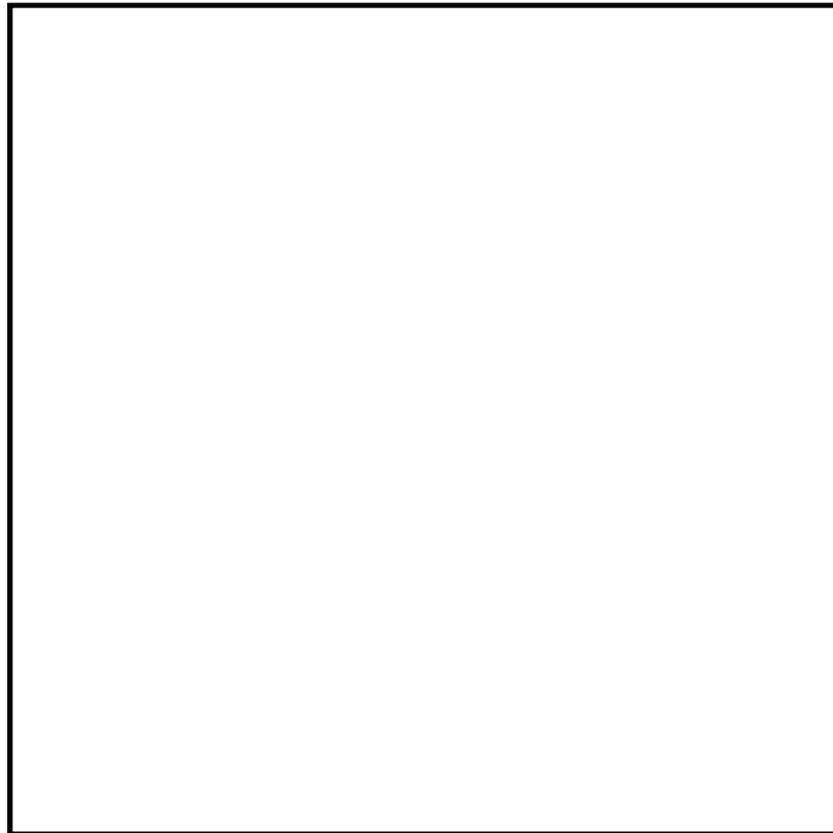


図 3 振動台平面図

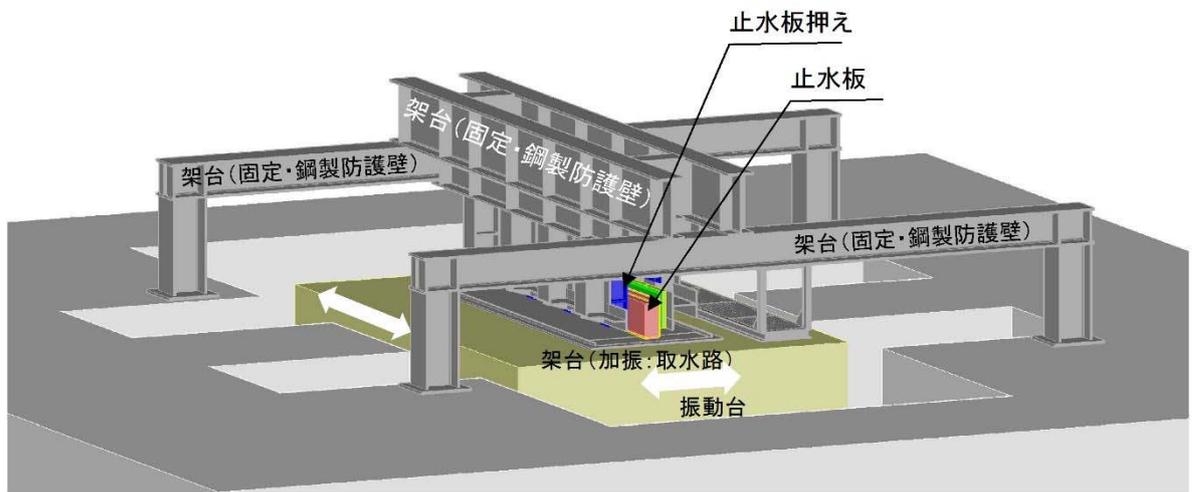


図 4 試験装置イメージ図

5. 試験条件

(1) 模擬地震波

振動台に入力する模擬地震波は、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に加振試験用応答スペクトルに用いる入力地震動を示す。

図5に本震による模擬地震波（包絡波）、図6に余震による模擬地震波（包絡波）を示す。

表1 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	$S_d - D1$

模擬地震波の応答スペクトル（追而）

図5 本震による模擬地震波

図6 余震による模擬地震波

(2) 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，表2の試験回数
数の設定のとおり2回づつ実施する。

表2 試験回数の設定

	本震	余震+津波
試験回数	2回	2回

(3) 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3に水密ゴムの物性値及び試験方法の規格を示す。

表3 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		

(4) 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

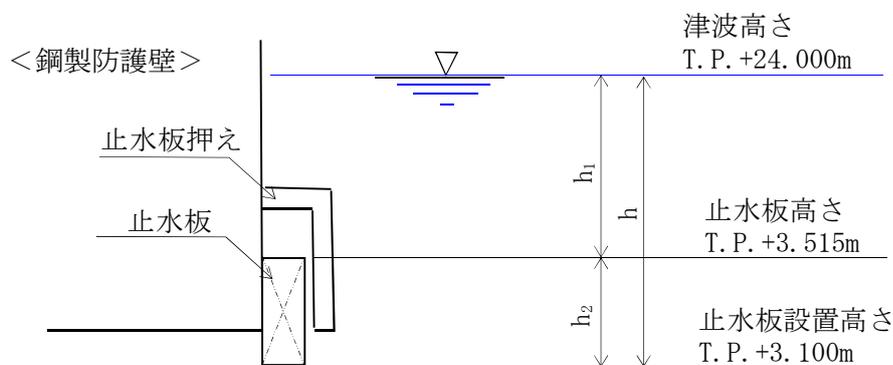
止水板1枚(2m)当り3カ所×2セットの水圧負荷装置により29.0kN以上の荷重を掛ける。

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

◆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。

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



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

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

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

◆水平方向水圧荷重 (単位 m あたり)

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

$$= 1/2 \times (20.9^2 - 20.485^2) \times 10.1 = 86.7 \text{ kN/m}$$

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

(5) 実証試験に係る計測項目

実証試験における計測項目（表4）計測箇所（図7）及び計測器一覧（表5）を示す。

表4 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	加速度	加速度計（X, Y, Z）(③)
		健全性確認	寸法計測	<止水板>主要寸法計測 工場測定 <止水板押えガイド板> ・ガイド板の間隔測定（スケール）工場計測 <止水板押え及びガイド板> ・平面度測定（直定規）工場計測
			外観・据付け検査	外観目視点検，据付け検査
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	変位計測	レーザー変位計 (①~⑩)
			加速度計	加速度計（X, Y, Z）(⑤~⑨)
			ビデオ撮影	デジタルカメラ，CCDカメラ (④~⑦, ⑨~⑫)
			模擬水圧	ロードセル（水平3カ所/1枚，鉛直2箇所/1枚）
健全性確認	寸法計測	<止水板> ・主要寸法計測 工場計測 <止水板ガイド> ・平面度測定（スケール）工場計測 <止水板コマ> ・摩耗量計測（ノギス）		
	外観・据付け検査	外観目視点検，据付け検査		
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	加速度計（X, Y, Z）(①~④)
			ビデオ撮影	デジタルカメラ，CCDカメラ (④~⑦, ⑨~⑫)
		健全性確認	寸法計測	平面度（直定規）工場計測
外観検査	外観目視点検			
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	変位計測	レーザー変位計 (①~⑩)
			ビデオ撮影	デジタルカメラ，CCDカメラ (④~⑦, ⑨~⑫)
		健全性確認	寸法計測	・主要寸法計測 工場計測 ・初期隙間計測（スケール，スキミゲージ，ライトチェック） ・変形，摩耗量計測（ノギス）
外観・据付け検査	外観目視点検，据付け検査			
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	変位計測	レーザー変位計 (①~⑩)
			加速度計	加速度計（X, Y, Z）(⑤~⑨)
			ビデオ撮影	CCDカメラ (⑧)
		健全性確認	寸法計測	・主要寸法計測 工場計測 ・変形，摩耗量計測（ノギス）
外観・据付け検査	外観目視点検，据付け検査			

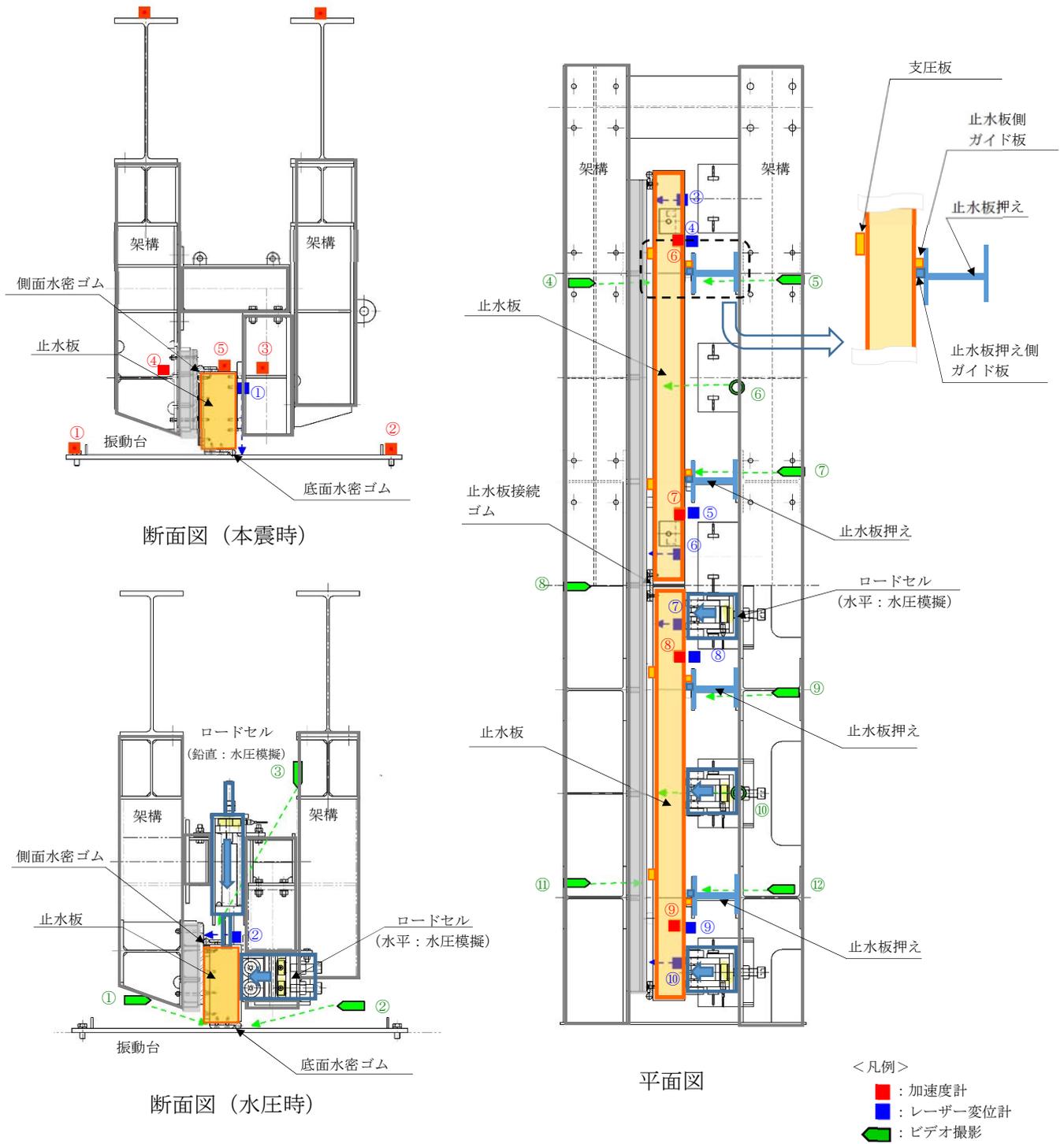


図7 実証試験時の計測部位

表 5 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%	12	
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	

(6) 実証試験手順

実証試験のスケジュールを以下に示す。実証試験は1回の実証試験で2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3日目に実施する手順になる。表6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。

以下は試験1回目の手順、2回目以降も同様の手順で実施する。

表6 実証試験の実施手順

時間帯	本震1回 (1日目)	余震+津波1回 (2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 ・ホワイトノイズ加振 (XYZ軸方向) ・振動台の油圧降下 ・止水板設置 ・計測器取付け	<試験前準備> ・同左
午後 (約4.5時間)	<試験前準備> ・水密ゴムの外観据付け検査 ・水密ゴムの計測	<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> ・油圧上昇 ・実証試験 (本震) ・加振終了後油圧降下	<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> ・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

(3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8に示す。

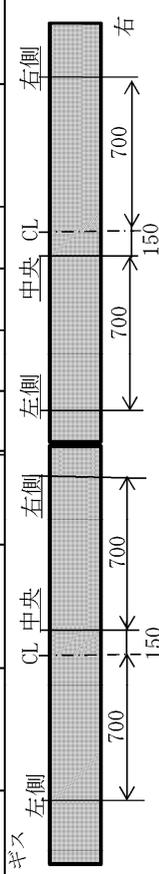
発注者	日本原子力発電株式会社 殿										発注者		受注者		再委託先	
業務名	東海第二発電所										再委託先		受注者		再委託先	
実験名	一次止水機構 振動試験										承認		受注者		再委託先	
実施日											発注者		受注者		再委託先	
受注者											発注者		受注者		再委託先	
再委託先											発注者		受注者		再委託先	
実施場所											発注者		受注者		再委託先	
試験NO.	UPC有無	計測場所 止水板	位置	底面止水板コマ厚さ (mm)		試験NO.	UPC有無	計測場所 止水板	位置	底面止水板コマ厚さ (mm)		備考				
				加振前	加振後					加振前	加振後					
1		右	右側	3	有り	右	右側					
			中央	.....	.....				中央	.....	.....			
			左側	.....	.....				左側	.....	.....			
			右側	.....	.....				右側	.....	.....			
			中央	.....	.....				中央	.....	.....			
			左側	.....	.....				左側	.....	.....			
2		左	右側	4	無し	右	右側					
			中央	.....	.....				中央	.....	.....			
			左側	.....	.....				左側	.....	.....			
			右側	.....	.....				右側	.....	.....			
			中央	.....	.....				中央	.....	.....			
			左側	.....	.....				左側	.....	.....			
備考	摩擦量計測：0-100mmノギス  計測箇所 (海側から見る)															

図8 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	止水板押えガイド板間隔		止水板押えガイド板間隔		ガイド板軸方向隙間(mm)		備考			
位置	設計値(mm)	計測値(mm)	位置	設計値(mm)	計測値(mm)	位置				
右	上 1000	上 1010	右	上 1010		右				
	下 1000	下 1010		下 1010		中央				
中央	上 1000	上 990	中央	上 990		左				
	下 1000	下 990		下 990						
左	上 1000	上 1010	左	上 1010						
	下 1000	下 1010		下 1010						

平面配置

備考	計測：スケール
----	---------

図 8 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。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

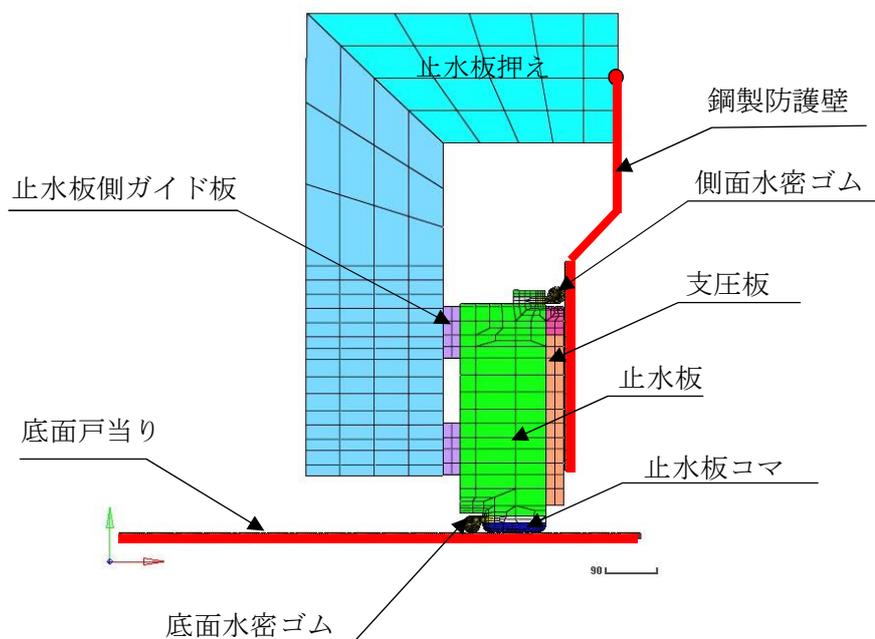


図1 二次元動的解析モデル

(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

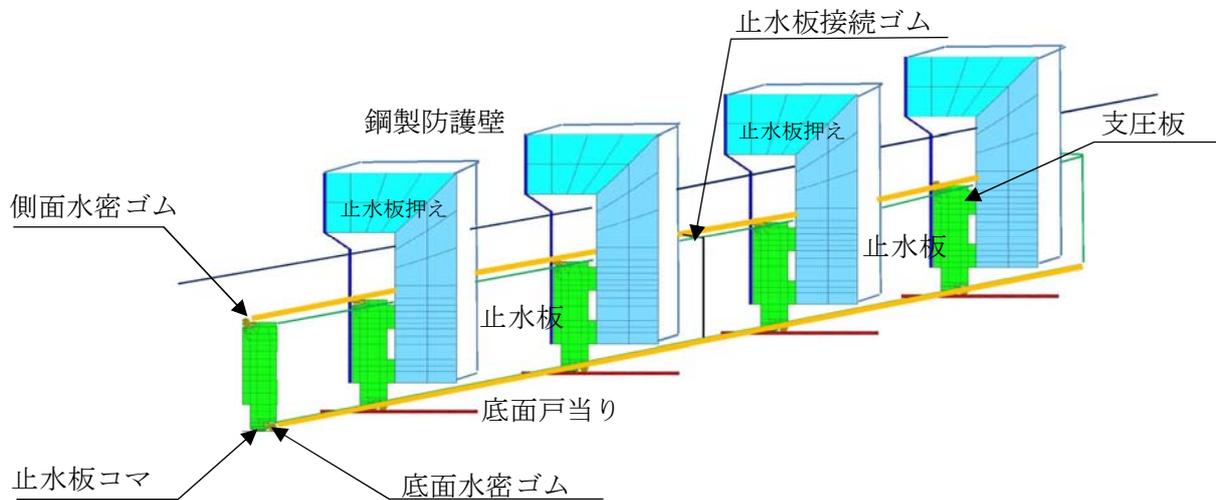


図2 三次元的解析モデル

3. 三次元動的解析

(1) 実証試験モデルの解析

a. 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

b. 解析モデルの作成

実証試験モデルの解析モデルを図3に示す。

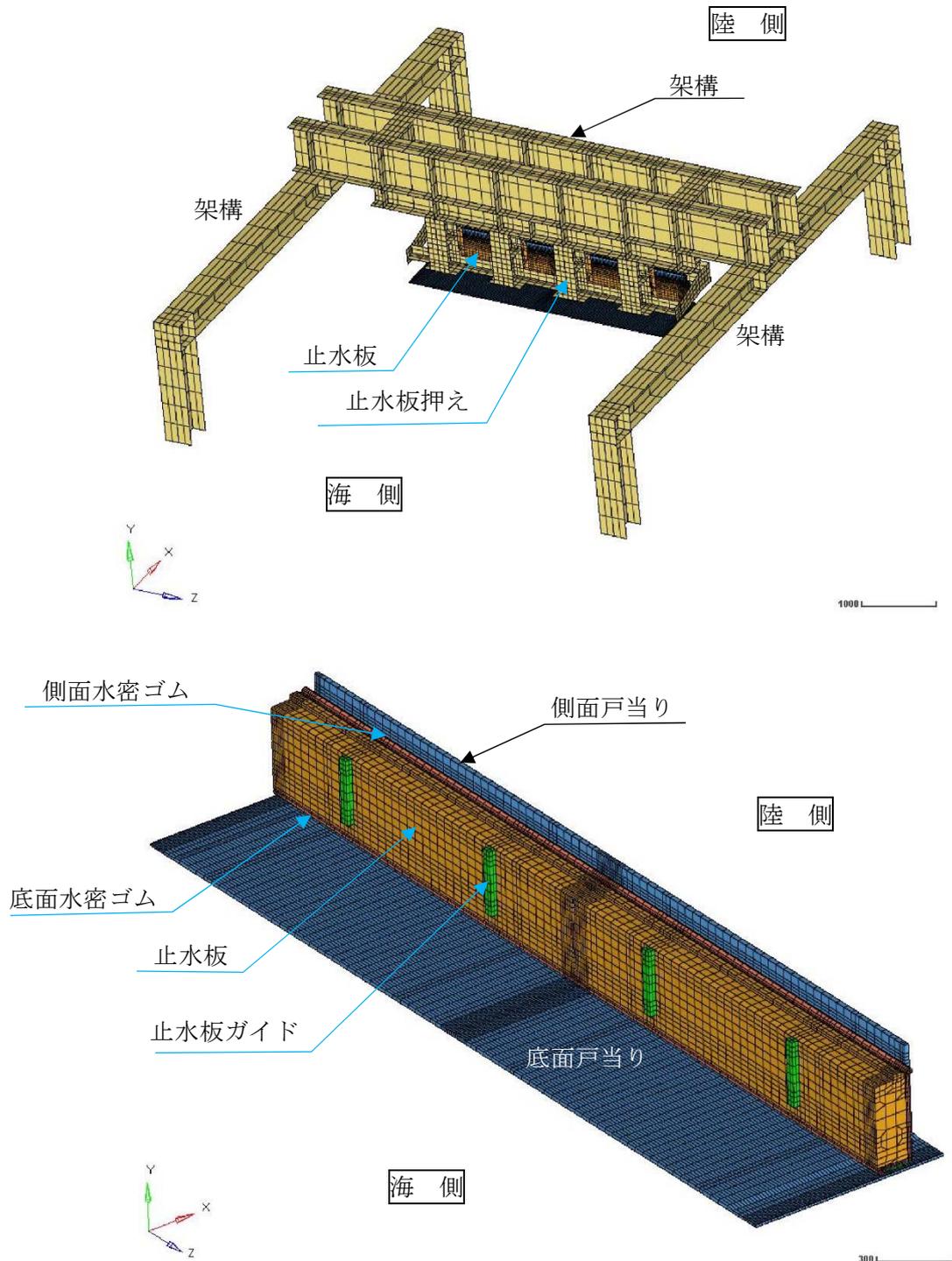


図3 三次元解析モデル（実証試験用）（1/2）

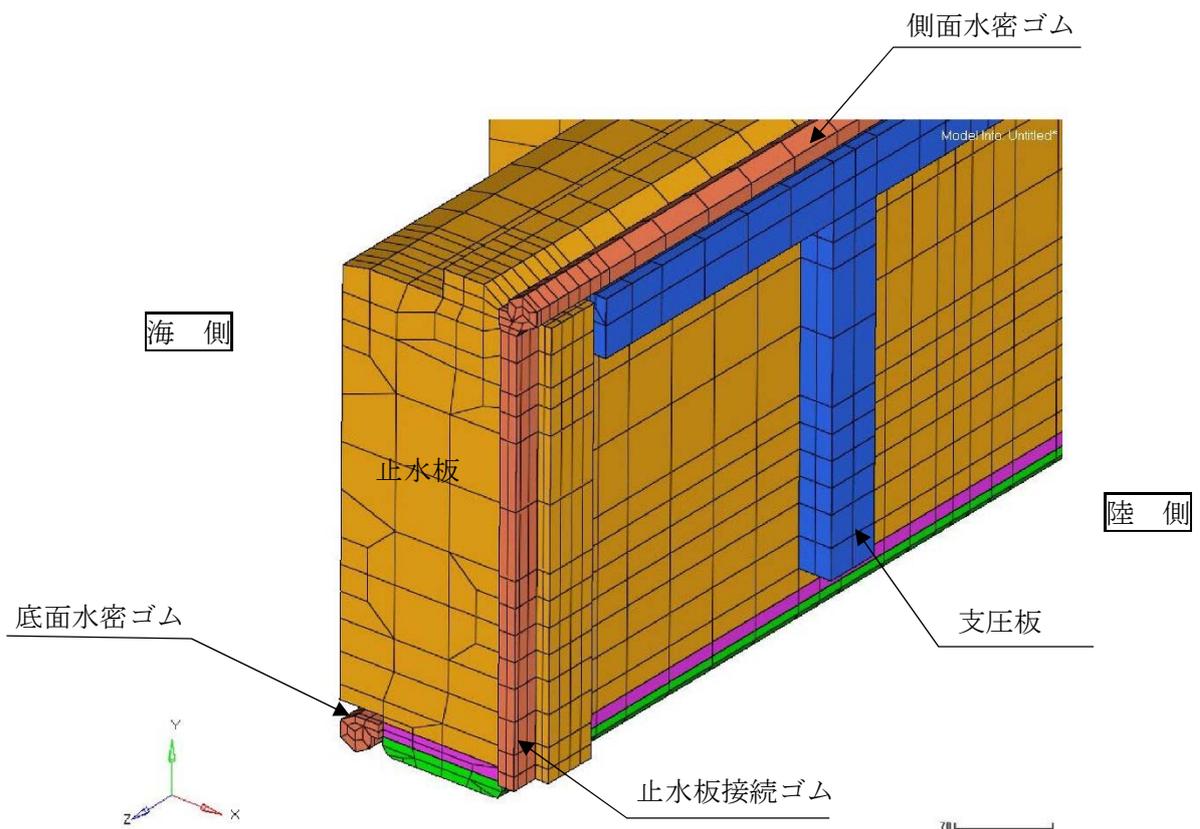
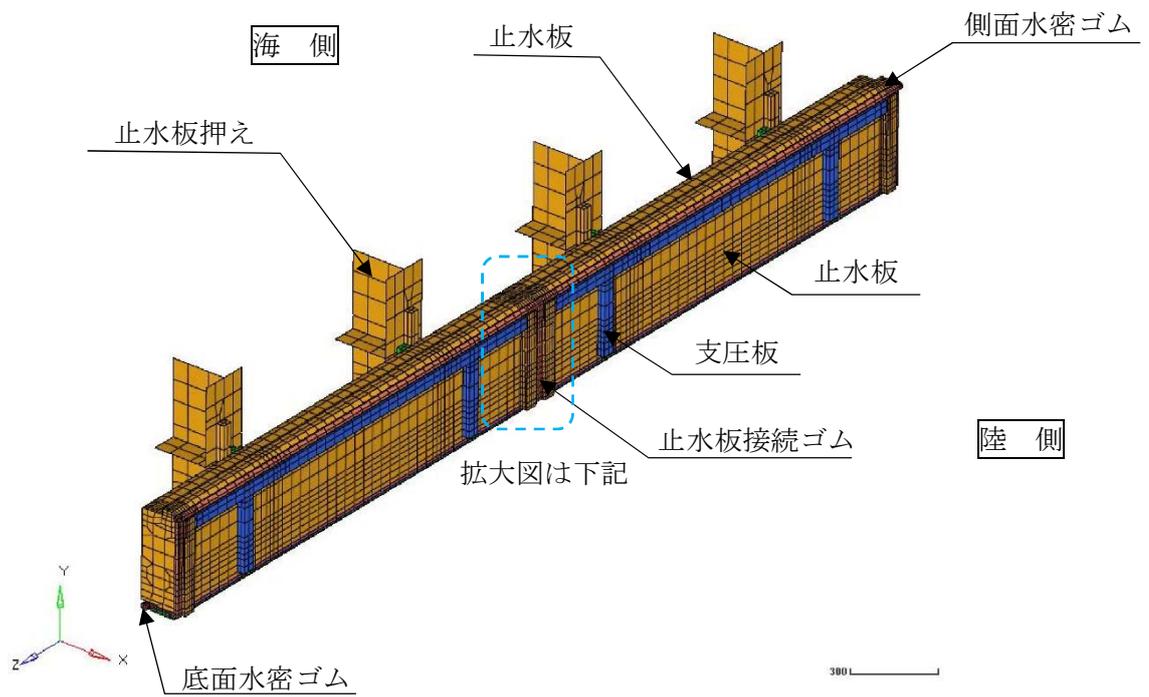


図3 三次元解析モデル（実証試験用）（2/2）

加振試験の記載は、基準地震動 S_s の暫定波であるため、詳細設計段階において放水路ゲートの開閉装置設置位置における応答スペクトルが算出された段階で、当該試験に用いた加振条件に包絡していることの確認を確認する。

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

1. 目的

防潮扉の開閉装置の成立性確認のため、基準地震動 S_s の選定波を加振波として用い、ここでは、ゲート本体（扉体）の開閉については、上部に設置している開閉装置について、振動試験を行い地震後の動的機能維持を確認する。

また、防潮扉の開閉装置の動的維持確認のため、基準地震動 S_s の模擬地震波（包絡波）にて振動試験を行い地震後の動的機能維持を確認した。

2. 設計概要

防潮扉は躯体、ゲート本体（扉体）、開閉装置からなるスライドゲートである。ゲート本体（扉体）については浸水防護施設としての耐震 S クラス要求から基準地震動 S_s による地震力を考慮する。

各部材については、構造物と地盤との動的相互作用を考慮した二次元動的有効応力解析コード（FLIP）を用いて水平地震動と鉛直地震動による地震応答解析を行ない、各部材が弾性範囲内に留まることを確認する。

また、開閉装置については、動的機能維持を確保するため、防潮扉の設置位置における応答スペクトルが算出された段階で、加振試験に包絡していることを確認する。

図1に防潮扉の配置図、図2、図3に防潮扉1の構造図、図3、図4に防潮扉2の構造図を示す。

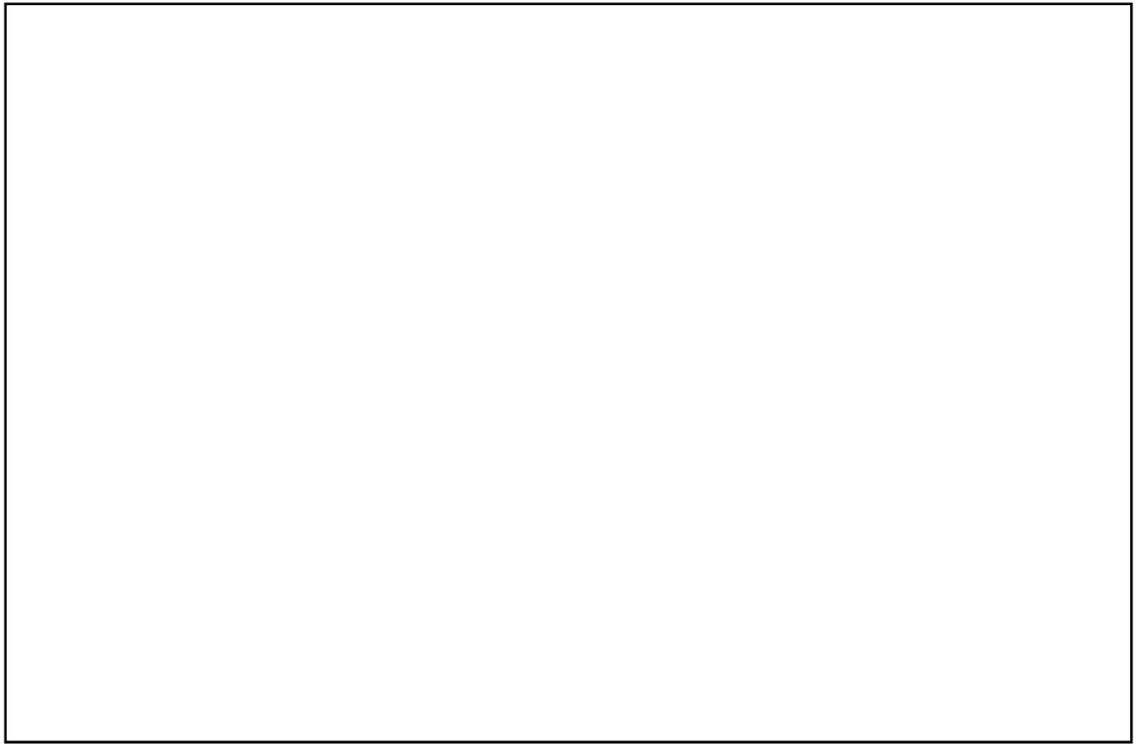


図1 防潮扉の配置図

(1) 防潮扉 1

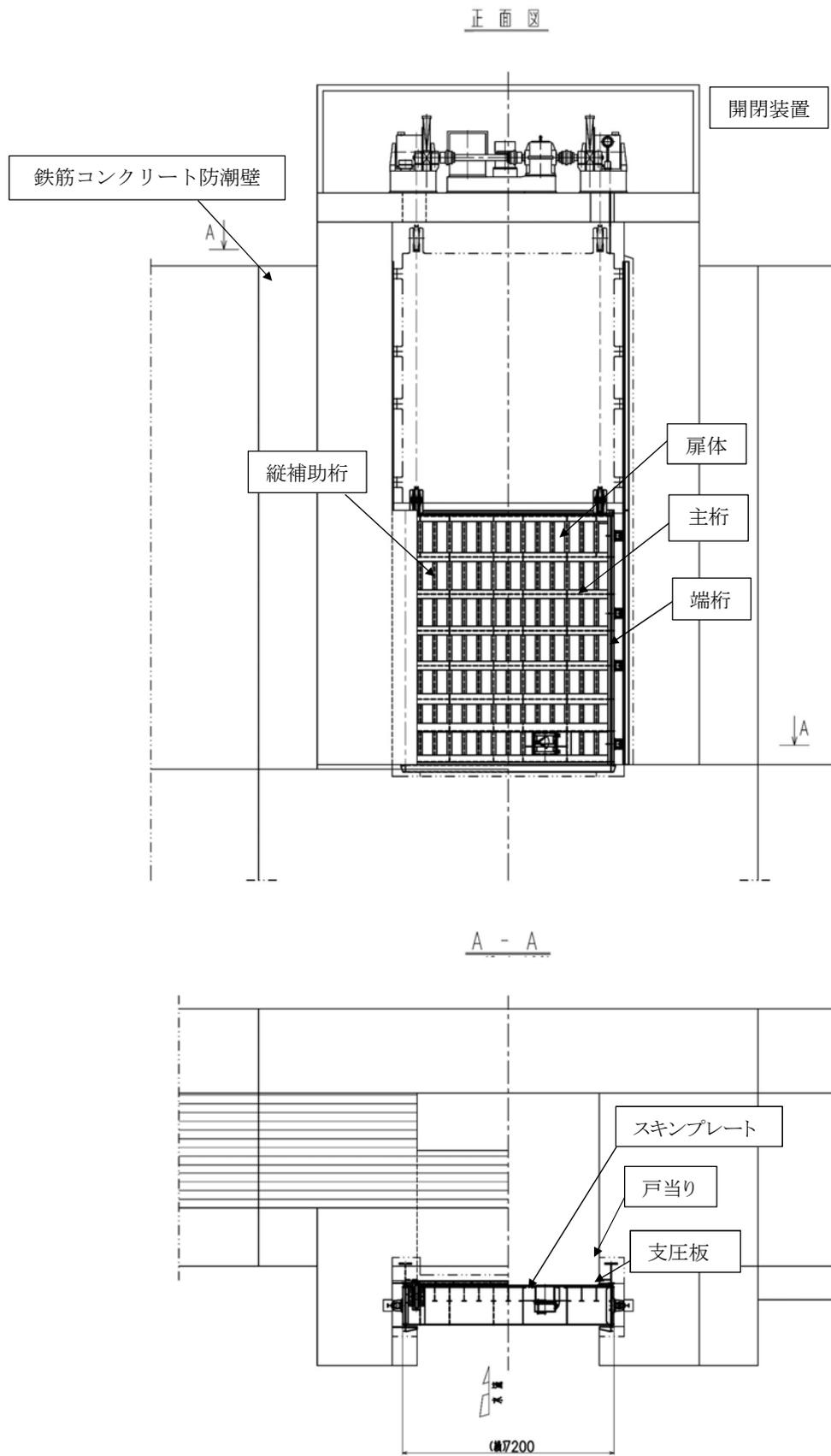
防潮扉の扉体は構造上の目的から、水圧等の荷重を受ける受圧部にスキンプレート、スキンプレートを受ける縦補助桁があり、その受圧部から荷重を受ける架構部に主桁、端桁、架構部から支承部にかけて戸当り、止圧板が構造部材にある。

扉体の構造は、鋼製の桁及びスキンプレートを組合せた構造であり、鉄筋コンクリート防潮壁の躯体で保持している。戸当りは、H形鋼を組合せた構造である。

躯体は、鉄筋コンクリート防潮壁から構成され、地中連続壁基礎で支持する。

鉄筋コンクリート防潮壁は、鉄筋コンクリート造の構造物であり、ブロック間は止水ジョイントを施した構造である。鉄筋コンクリート防潮壁は、地中連続壁基礎を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。鉄筋コンクリート防潮壁のたて壁と地中連続壁基礎とは、鉄筋コンクリート製のフーチングを介した剛結合で一体構造とする。

図 2 に防潮扉 1 の正面図及び平面図、図 3 に側面図を示す。



注：寸法は mm を示す。

図 2 防潮扉 1 正面図及び平面図

6.5.1-4

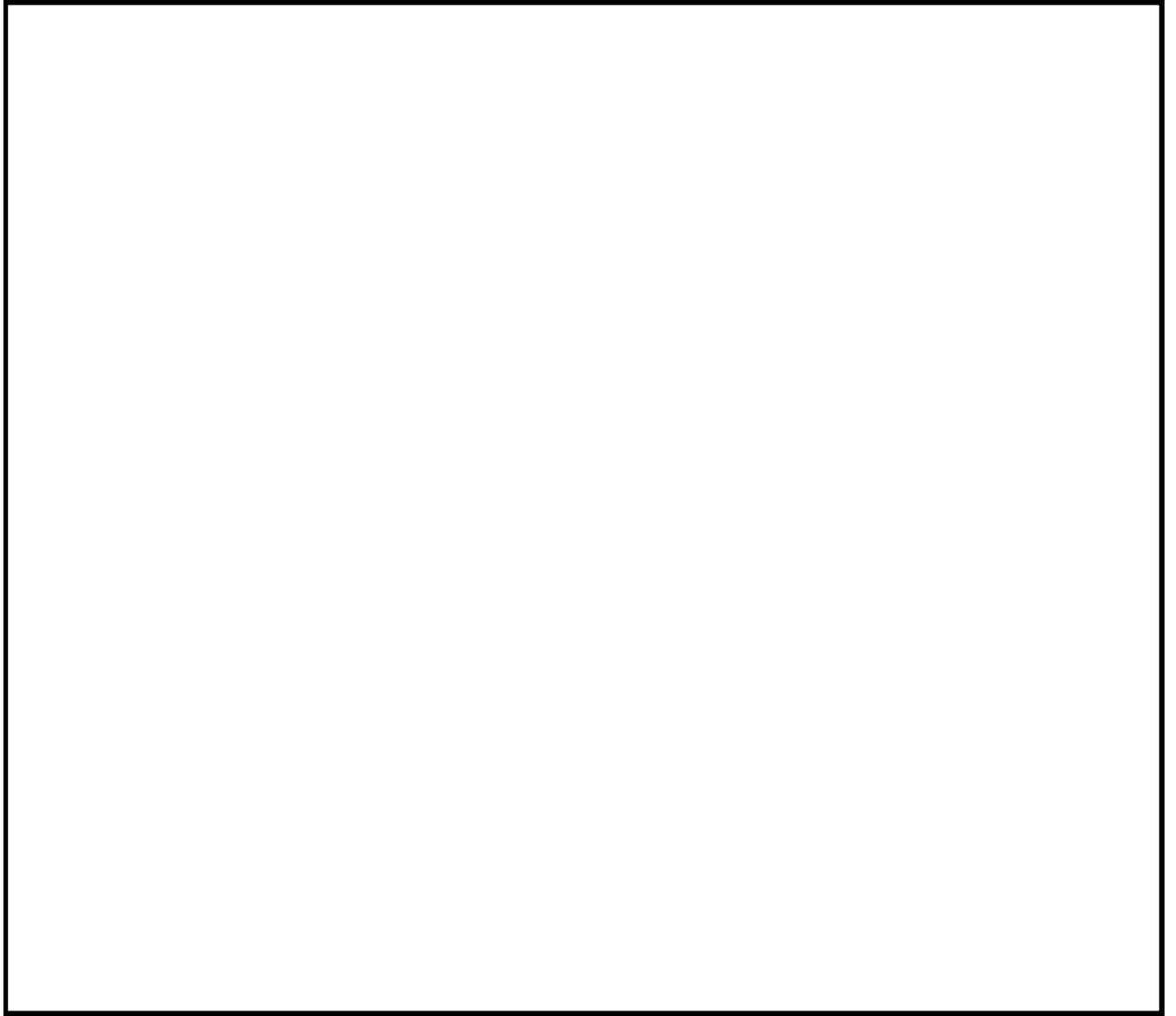


图 3 防潮扉 1 侧面图

(2) 防潮扉 2

防潮扉の扉体は構造上の目的から、水圧等の荷重を受ける受圧部にスキンプレート、スキンプレートを受ける縦補助桁があり、その受圧部から荷重を受ける架構部に主桁、端桁、架構部から支承部にかけて戸当り、止圧板が構造部材にある。

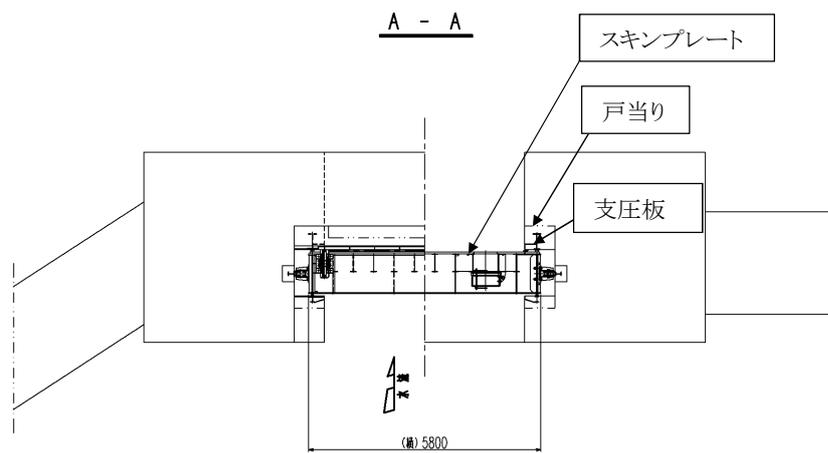
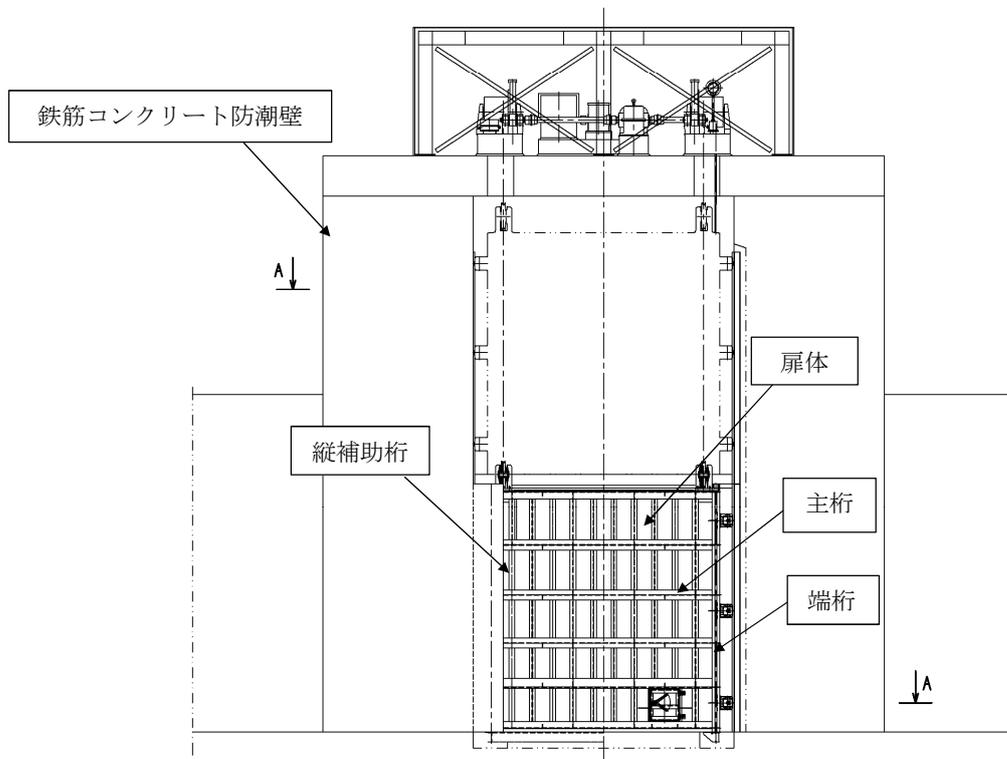
扉体の構造は、鋼製の桁及びスキンプレートを組合せた構造であり、鉄筋コンクリート防潮壁の躯体で保持している。戸当りは、H形鋼を組合せた構造である。

躯体は、鉄筋コンクリート防潮壁から構成され、鋼管杭鉄筋コンクリートで支持する。

鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、鉄筋コンクリート造の構造物であり、ブロック間は止水ジョイントを施した構造である。鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁は、鋼管杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。鉄筋コンクリート防潮壁のたて壁と鋼管杭基礎とは、鉄筋コンクリート製のフーチングを介した剛結合で一体構造とする。

図 4 に防潮扉 2 の正面図及び平面図、図 5 に側面図を示す。

正面図



(単位 : mm)

図 4 防潮扉 2 正面図及び平面図

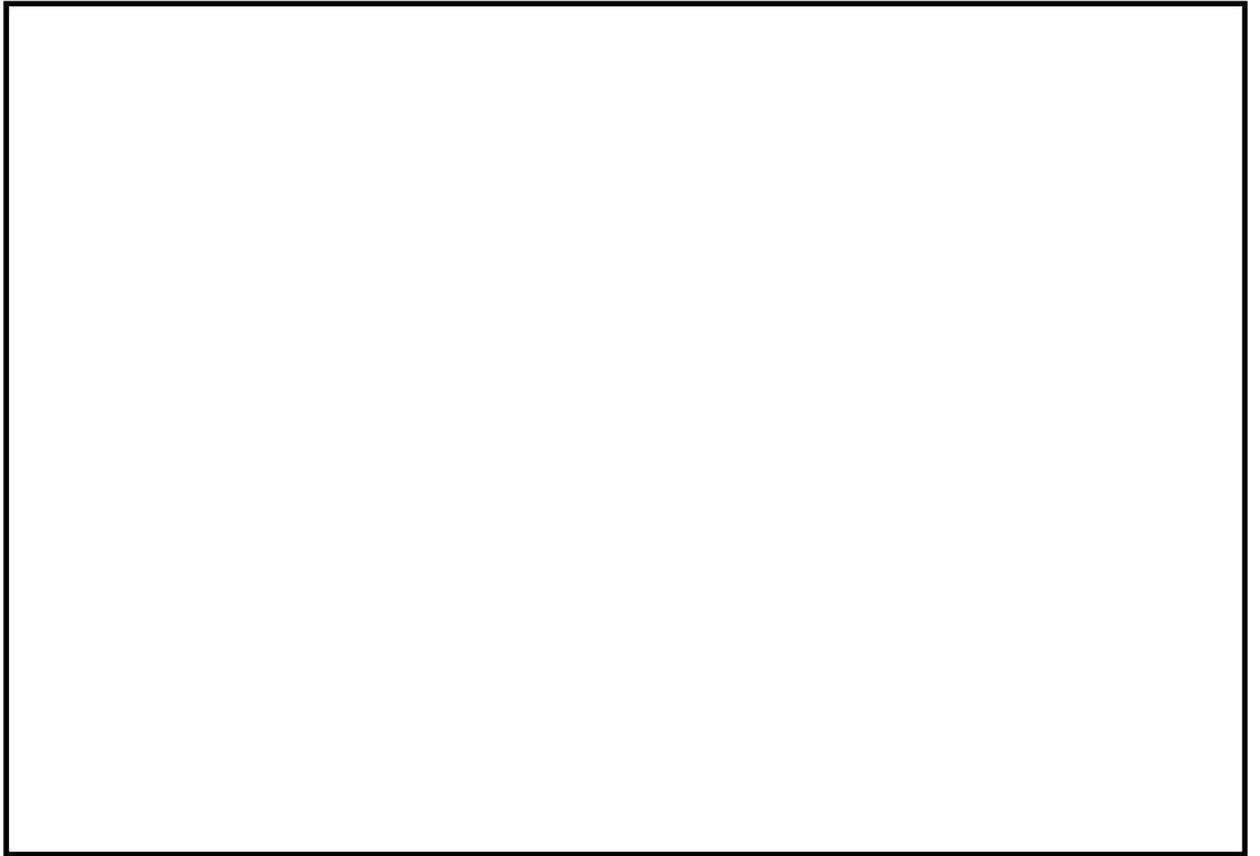


图 5 防潮扉 2 侧面图

(3) 防潮扉の構成部品と役割

防潮扉の構成部品と役割を表1に示す。

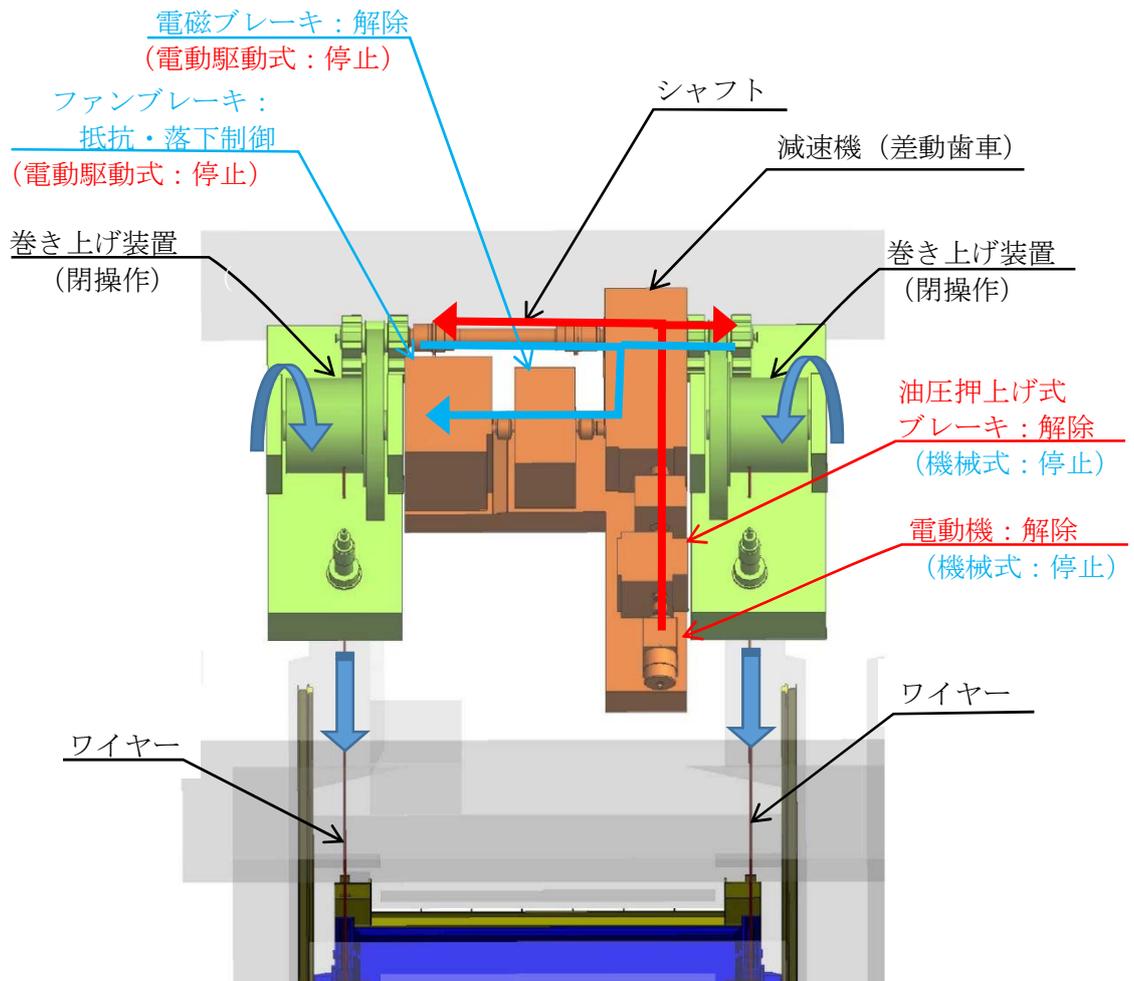
表1 構成部位と役割

構造部位	構成部位と役割
扉体	外部からの地震荷重，津波荷重，漂流物荷重等を地中連続壁基礎に確実に伝達するとともに，各荷重に対して十分な耐性を有することにより止水性を確保し，防潮扉としての機能を保持する。
水密ゴム	扉体の4辺に設置され，水密ゴムによる津波からの，浸水を防止することにより止水性を確保し，防潮扉としての機能を保持する。水密ゴムの使用前検査時の漏水試験方法について【補足説明1】にて説明する。
<防潮扉1> 地中連続壁基礎 (間接支持構造物)	扉体から伝達される基準地震動 S_s による地震荷重及び基準津波による津波荷重について，鉄筋コンクリート防潮壁（防潮扉1）の地中連続壁基礎により支持地盤に確実に伝達し十分な耐性を有している。また，津波に対する防潮扉としての止水機能を保持する。
<防潮扉2> 鋼管杭基礎 (間接支持構造物)	扉体から伝達される基準地震動 S_s による地震荷重及び基準津波による津波荷重について，鋼管杭鉄筋コンクリート防潮壁（防潮扉2）により支持地盤に確実に伝達し十分な耐性を有している。また，津波に対する防潮扉としての止水機能を保持する。
開閉装置	扉体の開閉を実施する。駆動方式は電動機による「電動駆動式」，ファンブレーキによる「機械式」の多重性を持たせている。電動駆動式に用いる電源は常用電源より供給する。電動駆動式が使用できない場合には機械式にて閉操作できる構造にする。図6に開閉装置の構造及び動作原理を示す。 開閉装置の振動試験について【補足説明2】にて説明する。

(4) 開閉装置の構造及び動作原理について

防潮扉の開閉装置の全体構造を示す。

開閉装置の駆動方法は電動機による「電動駆動式」とファンブレーキによる「機械式」の2つの構造がある。



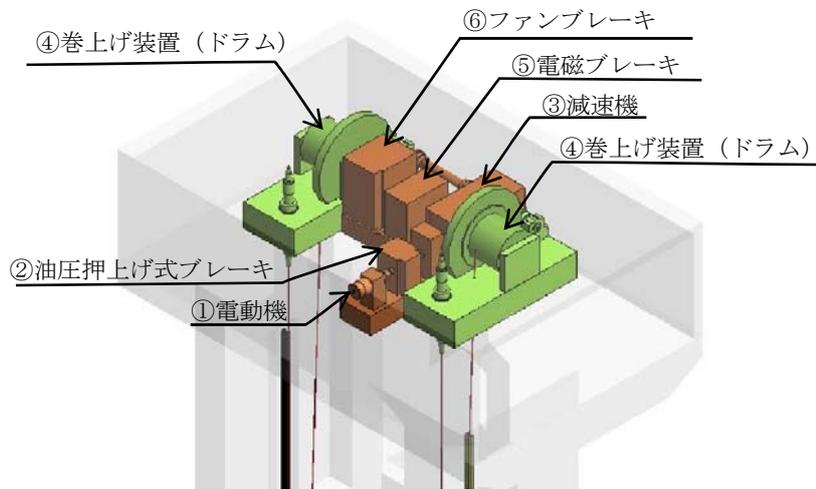
<記載凡例>

- ・赤字：電動駆動時のみ使用
- ・青字：機械式時のみ使用
- ・黒字：電動駆動式+機械式 共通

- ← (赤字) : 電動駆動時 (電動機駆動) の駆動が伝達する流れ
- ← (青字) : 機械式時 (自重落下) の駆動が伝達する流れ

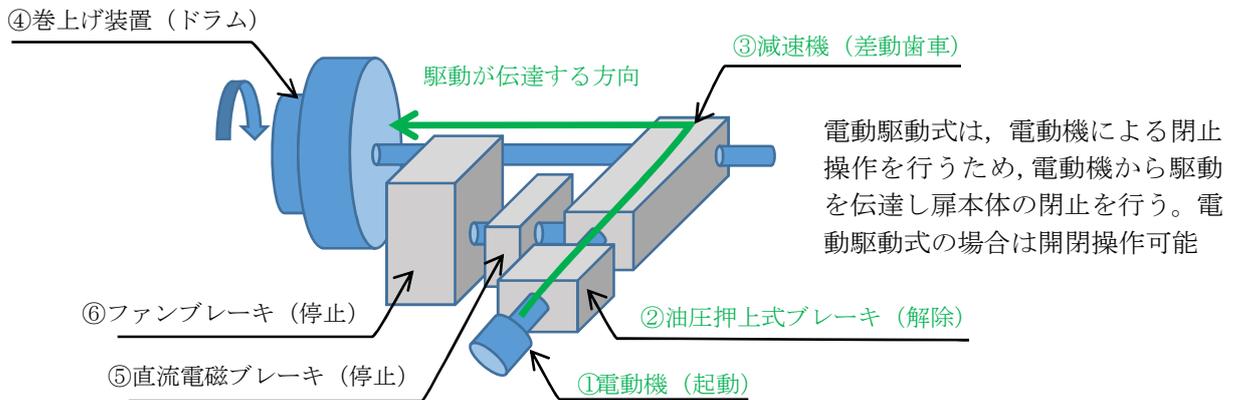
図6 防潮扉の開閉装置概念図

図7の a ～ b に開閉装置の構造及び動作原理について示す。図 a に開閉装置の構成を示す。



【図 a 開閉装置 鳥瞰図】

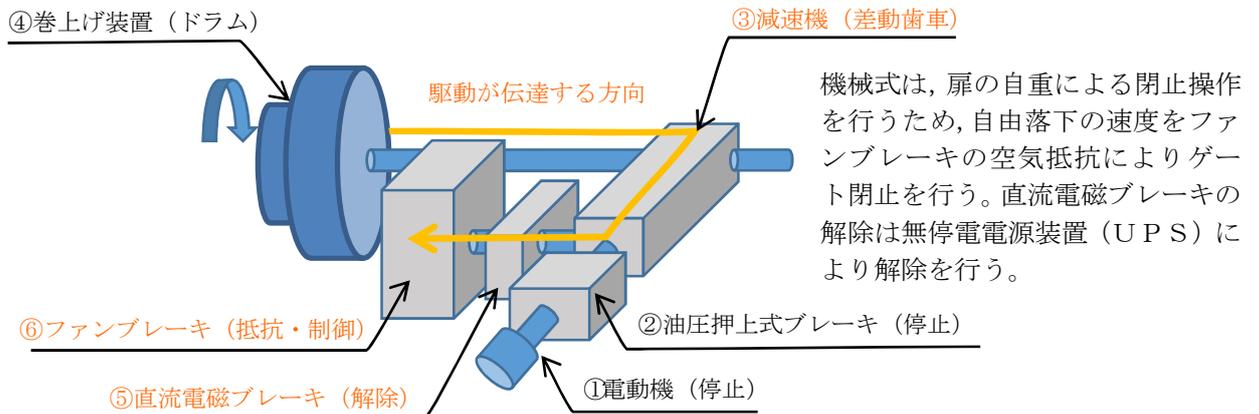
電動駆動式は①電動機を駆動，②油圧押し上げ式ブレーキを解除，③減速機，④巻き上げ装置を経由し防潮扉を閉止させる構造である。電動駆動式は開閉操作が可能である。（図 b 参照）



【図 b 電動駆動式（開閉操作可能）】

図7 開閉装置の構造及び動作原理（図 a , 図 b）（1/2）

機械式は、⑤直流電磁ブレーキを解除、④巻き上げ装置に引き上げられている防潮扉の自重による落下、⑥ファンブレーキによる落下速度の制御により防潮扉を閉止させる機械的な構造である。機械式は電動駆動用の電源を必要とせず、直流電磁ブレーキを解除できるよう無停電電源装置（UPS）を設置している。機械式は閉操作のみ可能である。



【図 c 機械式（閉操作のみ）】

図7 開閉装置の構造及び動作原理（図 c）（2/2）

(5) 防潮扉の電源構成

駆動方式は前項の通り多重性を持たせ「電動駆動式」と「機械式」とし，電動駆動式に用いる電源は常用電源より供給する。電動駆動式が使用できない場合には機械式にて閉操作できる構成とする。

図8に防潮扉電源概念図を示す。

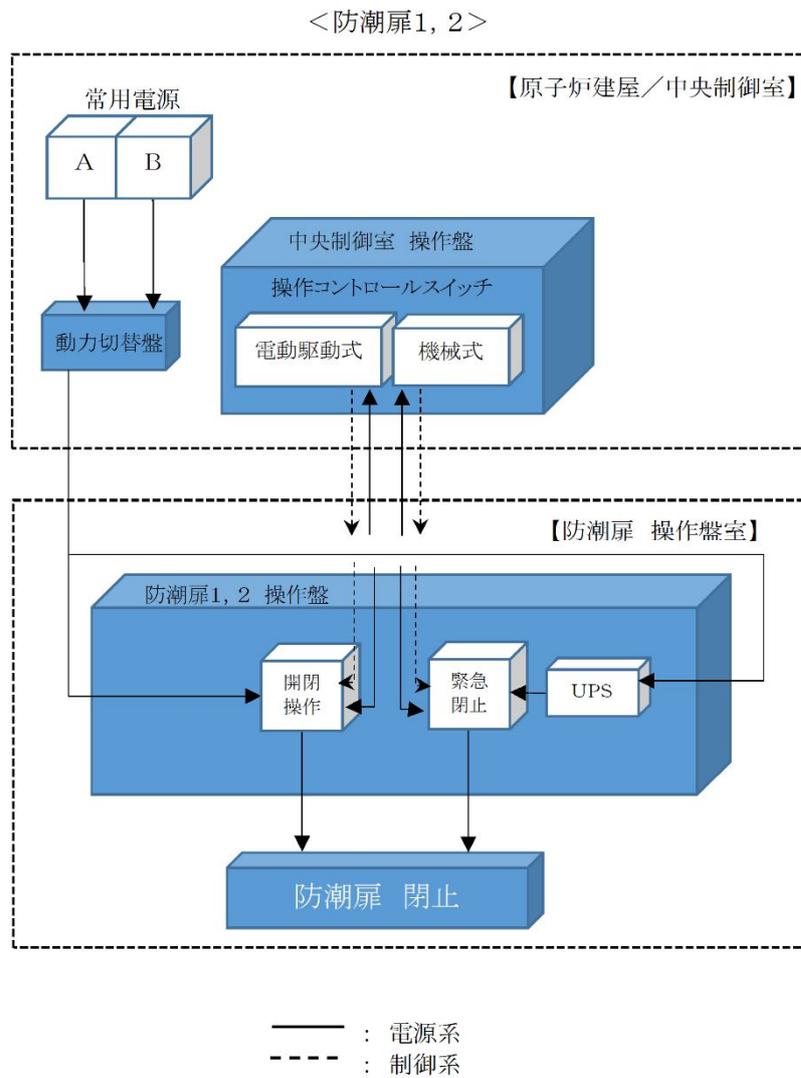


図8 防潮扉電源概念図

3. 防潮扉の運用について

(1) 防潮扉を開閉する場合の体制

防潮扉を開閉する場合には、作業管理体制に基づいた現場管理員を現場に配置し実施する。また、防潮扉の開閉の運用については、保安規定に定め管理する。

(2) 防潮扉を開閉する場合の操作手順

駆動方式による開閉手順は以下の通り。

① 電動駆動式による開閉操作の手順

開閉操作する場合は、該当する作業件名の作業管理体制に基づき現場の安全を十分に確保（現場管理員が確認）したのち、発電長の許可を得て中央制御室より行う。閉止時間は操作開始後約10分後である。

② 機械式による開閉操作の手順

開閉操作中に閉止操作ができない場合又は、大津波警報等が発表された場合には、現場管理員により「機械式」による閉止操作が可能である。

操作は、該当する作業管理体制に基づき現場の安全を十分に確保したのち、発電長の許可を得てから、現場にて「機械式」の操作を実施する。「機械式」による閉止時間は操作開始後約2分である。図9に防潮扉閉止操作フローを示す。

防潮扉の閉止操作時間は、地震・津波発生から電動駆動式の場合で約19分、機械式の場合で約11分である。基準津波による津波の到達時間は約37分であるため、到達までに防潮扉を閉止することができる。

(3) 防潮扉の開閉の頻度について

防潮扉は常時閉運用であることから、年に1回の定期検査にて開閉動作が適切に可能であることを確認する。その他、開閉する場合は以下のとおり。

- ・ 災害発生時 : 災害, 人身火災, 隣接事業所との災害協力
- ・ 重大事故等時 : 海上モニタリングの実施に伴い小型船舶を着水箇所まで運搬する場合
(小型船舶を東海港に運搬するルートが通行不可な場合の別ルートとして設定)
- ・ そ の 他 : 緊急を要し発電長が認めたもの

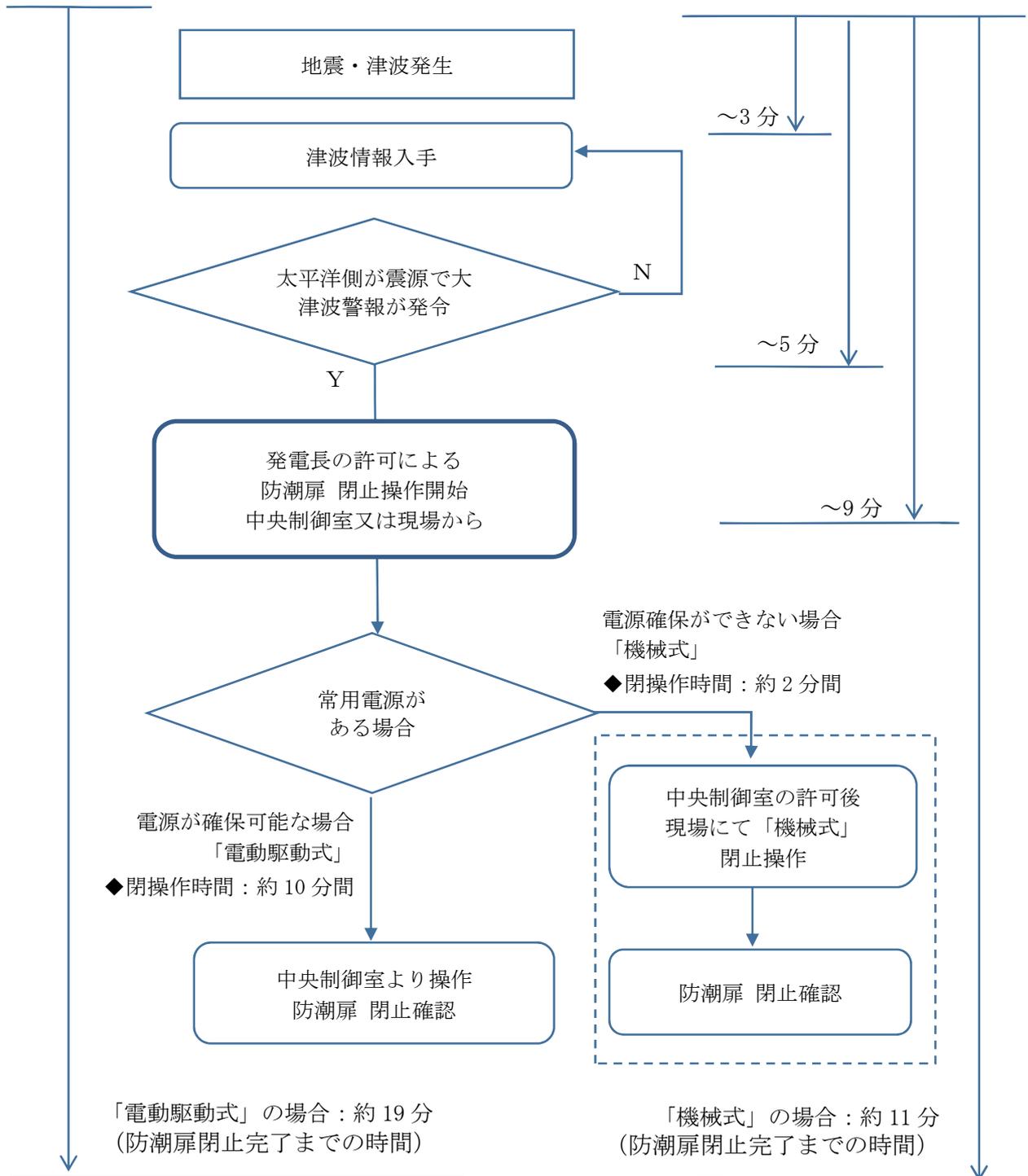


図9 防潮扉閉止操作フロー

【補足説明 1】水密ゴムの許容漏えい量の評価について

1. 許容漏えい量評価

防潮扉の水密ゴムの許容漏えい量評価は、ダム堰施設技術基準（案）に準じて使用前検査時に評価を行う。

(1) 漏水量評価の算定式

ダム堰施設技術基準（案）の機能検査項目に「耐圧、漏水検査」に以下の算定式と試験時間の記載がある。

◆角型スライドゲート

$$W = 10.2 L \cdot P$$

W：漏水量 (ml/min)

L：長辺の長さ (cm)

P：設計圧力 (MPa)

◆試験時間：10分

(2) 許容漏えい量の算定

許容漏えい量は (1) 項の評価式に準じて算出する、

防潮扉 1 及び防潮扉 2 の許容漏えい量の算出例は以下のとおり。表 2 に防潮扉 1 の許容漏えい量 (例)、表 3 に防潮扉 2 の許容漏えい量 (例) を示す。以下の許容漏えい量で管理することにより敷地内へ浸水したとしてもごく僅かである。

表 2 防潮扉 1 の許容漏えい量 (例)

試験圧力	0.17MPa ^{**2} 以上	0.21MPa ^{**3} 以上
許容漏えい量 ^{**1}	14.9 ℓ/10分以下	18.4 ℓ/10分以下

※1：許容漏えい量の記載は、防潮扉 1 の長辺 8580mm の場合を示す。実際の許容漏えい量の算定は、漏水試験装置に合わせ算定する。

※2：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) を差し引いた値の試験圧力

※3：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) を差し引いた値の試験圧力

表 3 防潮扉 2 の許容漏えい量 (例)

試験圧力	0.12MPa ^{**2} 以上	0.16MPa ^{**3} 以上
許容漏えい量 ^{**1}	7.4 ℓ/10分以下	9.9 ℓ/10分以下

※1：許容漏えい量の記載は、防潮扉 2 の長辺 6080mm の場合を示す。実際の許容漏えい量の算定は、漏水試験装置に合わせ算定する。

※2：保守的に、防潮堤天端高さ (T.P. +20m) から設置地盤標高 (T.P. +8m) を差し引いた値の試験圧力

※3：敷地に遡上する津波高さ (T.P. +24m) から設置地盤標高 (T.P. +8m) を差し引いた値の試験圧力

漏水試験装置は、止水機構の漏水試験装置を示す。漏水試験装置は同様の装置になるが試験用に設計した段階でお示しする。

2. 漏水試験装置

前項にて評価した防潮扉の水密ゴムの許容漏えい量について、使用前検査時に漏水試験を実施する。以下の装置を製作し水密ゴムの漏水試験を実施する。

<漏水試験装置>

水密ゴムの漏水試験装置の一般的な概要は以下のとおり、図 10 に試験装置の概要図(例)を示す。

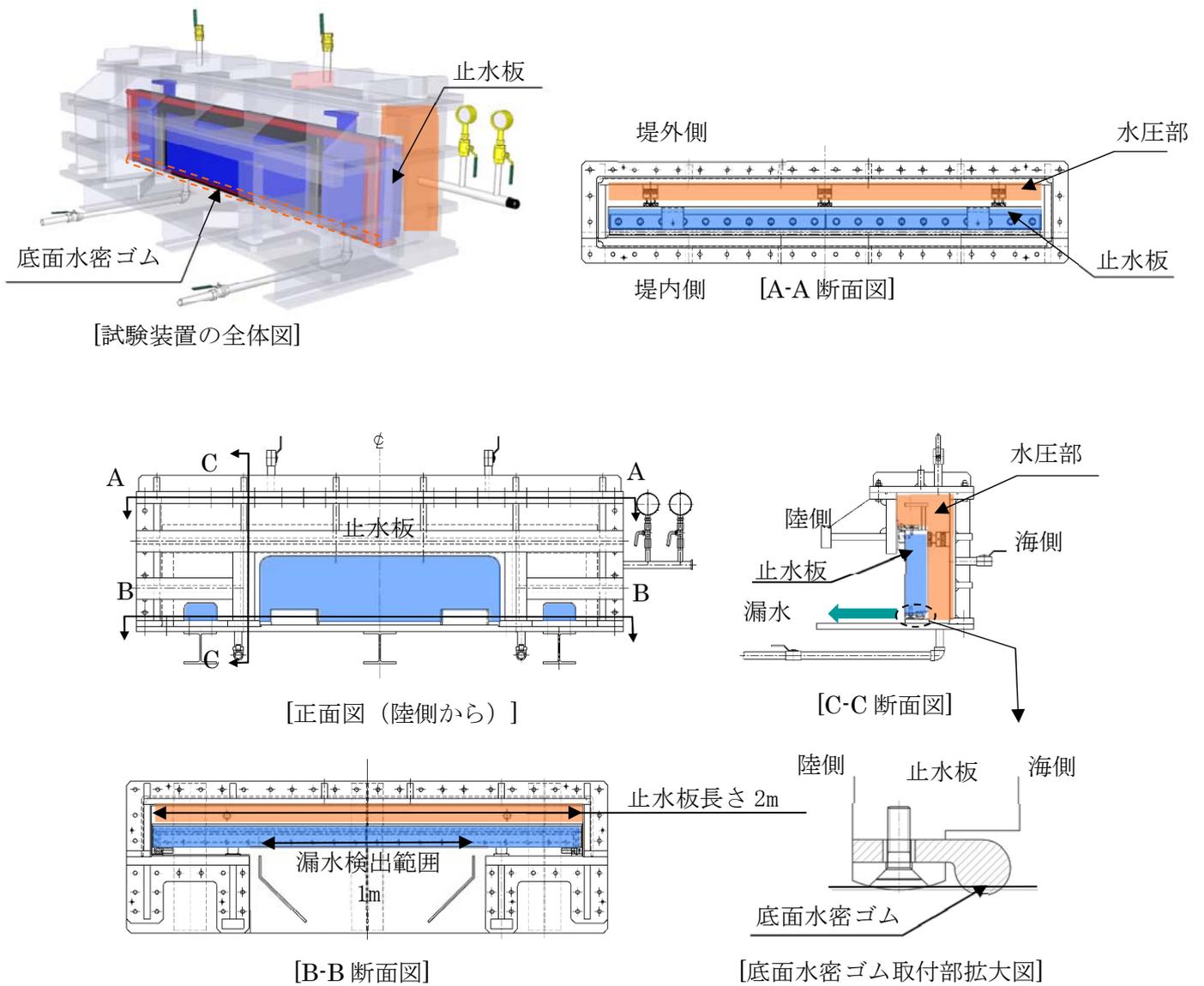


図 10 試験装置の概要図(例)

加振試験の記載は、基準地震動 S_s の暫定波であるため、詳細設計段階において放水路ゲートの開閉装置設置位置における応答スペクトルが算出された段階で、当該試験に用いた加振条件に包絡していることの確認を確認する。

【補足説明2】 開閉装置の振動試験について

a. 試験目的

開閉装置の成立性確認のため、基準地震動 S_s の選定波を加振波として用い、実機大の防潮扉の開閉装置を用いた振動試験を行い地震後の動的機能維持を確認する。

b. 試験方法

振動台上に架台を設置しその上に防潮扉に設置する開閉装置を基礎ボルトで固定し、水平方向と鉛直方向とを同時加振する。図11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)

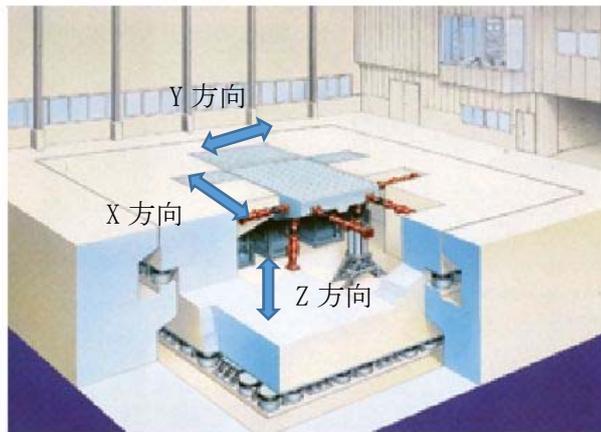


図11 大型3軸振動台の概要

c. 試験条件

加振試験に使用する入力条件は以下のとおり。

<入力地震動の作成>

(1) 評価用地震動の選定

a. 動的機能維持評価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として基準地震動 S_s-D1 を選定した。

b. 基準地震動 S_s-D1 については、防潮扉の開閉装置位置 (T.P. +22.5m) における評価が必要になることから、以下の手順にて一次元地盤応答解析

(SHAKE) にて得られた地表面応答加速度の結果を用い開閉装置位置 (T.P. +22.5m) での評価用応答スペクトルとして作成した。

①一次元地盤応答解析 (SHAKE) の地表面応答加速度における結果に対して、開閉装置位置での応答加速度を算出するため、地表面応答加速度 (SHAKE) に対する開閉装置位置でのFLIP応答加速度の倍率 (FLIP/SHAKEの倍率) が1.73倍であったため、SHAKEの応答スペクトルを1.73倍引き上げた。

② a 項にて1.73倍引き上げたSHAKEの応答スペクトルに対し、評価用に基準地震動 S_s8 波の全周期帯を包絡させるスペクトルが必要なことから、全周期帯を包絡するように応答スペクトルを2.59倍した応答スペクトルを作成した。

③その結果、一次元地盤応答解析 (SHAKE) の応答スペクトルに対し4.49倍したものを評価用の応答スペクトルとした。

(2) 確認用地震動の選定

- a. 確認用として、一次元地盤応答解析 (SHAKE) による地表面応答加速度の結果から位相特性による設備への影響を確認するため、最大応答加速度が最も大きくなる S_s-22 (鉛直方向最大) 及び S_s-31 (水平方向最大) について選定した。
- b. S_s-22 (鉛直方向最大) 及び S_s-31 (水平方向最大) については、基準地震動 S_s-D1 と同様に防潮扉の開閉装置位置 (T.P. +22.5m) における評価を行うため、以下の手順にて一次元地盤応答解析 (SHAKE) にて得られた、地表面加速度の結果を用い開閉装置位置 (T.P. +22.5m) での確認用応答スペクトルとして作成した。
- ①一次元地盤応答解析 (SHAKE) の地表面応答加速度における結果に対して、開閉装置位置の応答加速度を算出するため、地表面応答加速度 (SHAKE) に対する開閉装置位置での FLIP 応答加速度の倍率 (FLIP/SHAKE の倍率) が 0.93 倍 (S_s-22)、1.73 倍 (S_s-31) であったため、SHAKE の応答スペクトルを各々引き上げた。
- ②更に、a. 項にて引き上げた応答スペクトルに対し位相特性による影響を確認する必要があることから、応答スペクトルに対し 2 倍したものを確認用応答スペクトルとした。なお、 S_s-22 については、振動試験装置の性能上 1.61 倍とした。

地震波における加振条件について、評価用を表4に、確認用を表5に示す。また、図11に模擬地震波の加速度応答スペクトルを示す。なお、振動台の性能から高倍率の加振条件においては、各構成部品の固有周期が有しない範囲についてはフィルター処理を実施した。

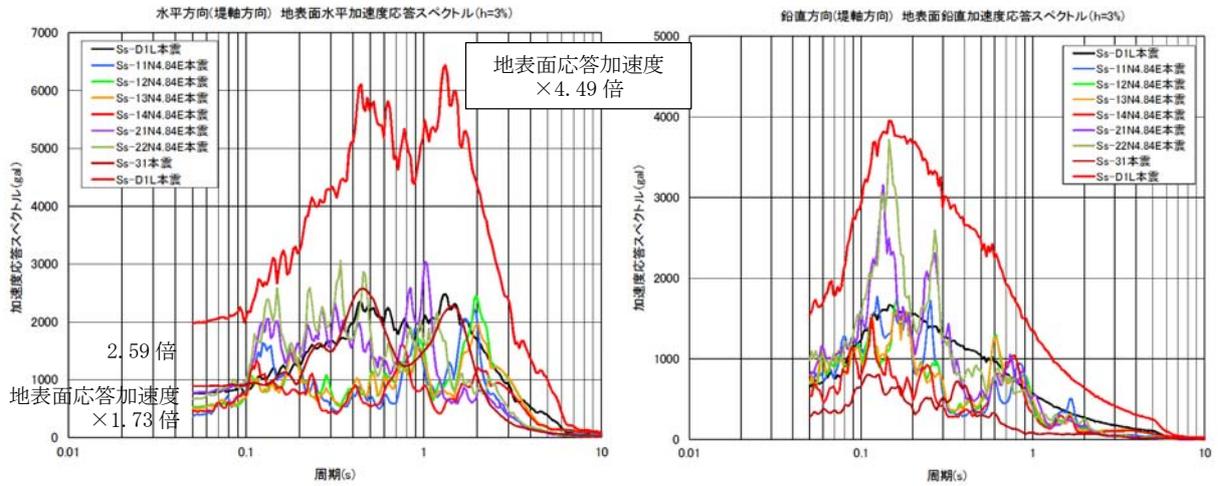
表4 地震波における加振条件（評価用）

地震波	①地表面位置に対する開閉装置位置での応答加速度の倍率 (FLIP/SHAKE)	②地表面応答加速度 (SHAKE) の全周期帯を包絡するための倍率	③振動台への入力地震動の倍率 (①×②)
S _s -D 1	地表面応答加速度 ×1.73	①で作成した応答スペクトル ×2.59	地表面応答加速度 ×4.49

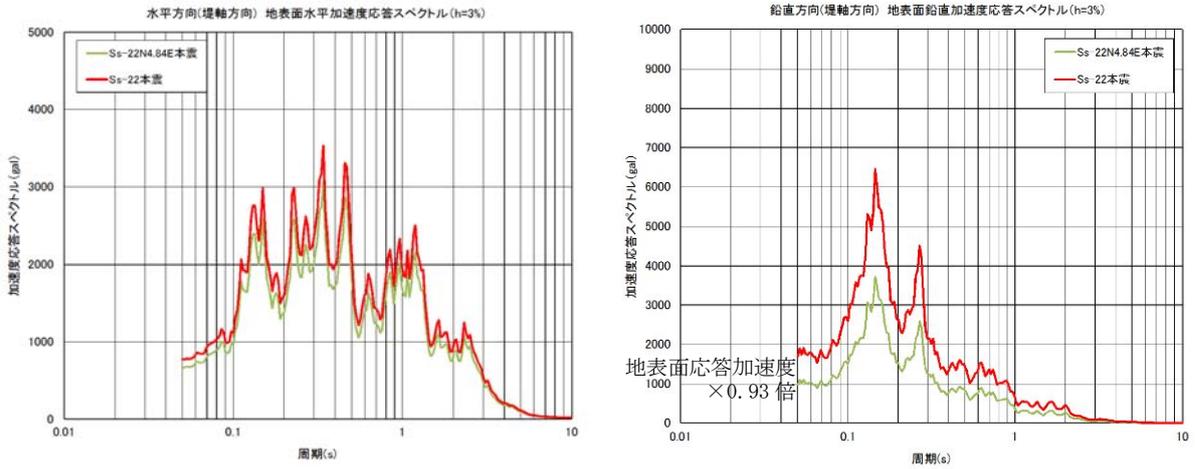
表5 地震波における加振条件（確認用）

地震波	①地表面位置に対する開閉装置位置での応答加速度の倍率 (FLIP/SHAKE)	②振動台への入力地震動の倍率 <2倍> (①<②)
S _s -2 2	地表面応答加速度 ×0.93	地表面応答加速度 ×1.61*
S _s -3 1	地表面応答加速度 ×1.73	地表面応答加速度 ×2

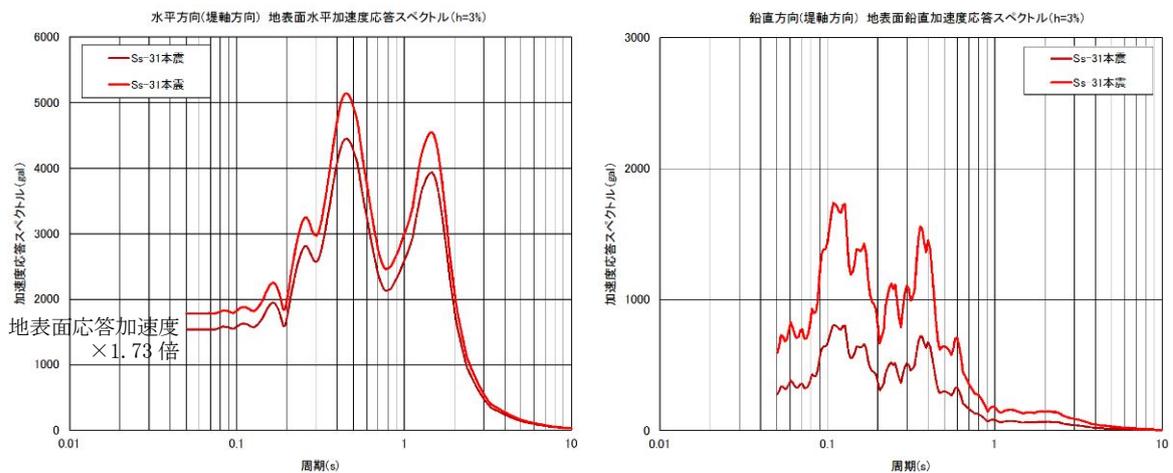
※振動試験装置の性能上1.61倍とした。



S s - D 1 (評価用：入力地震動)



S s - 2 2 (確認用：鉛直方向最大)



S s - 3 1 (確認用：水平方向最大)

図 12 模擬地震波の加速度応答スペクトル

d. 試験装置

防潮扉の開閉装置の中でも最大な設備を選定し、開閉装置のワイヤーの巻き上げ装置については、駆動軸の長いワイヤーの巻き上げ装置側を製作した。

また、ワイヤー巻き上げ装置には扉の荷重を模擬するため巻き上げ装置の下部にトルク装置を設置し扉の荷重を模擬し試験を実施した。

試験に用いた開閉装置の概要は以下の通り。第9図に開閉装置の試験装置（全景）を示す。

<試験装置の構成>

◆開閉装置（減速機、直流電磁ブレーキ、ファンブレーキ、他） 1式

◆制御盤 1式



e. 試験結果

試験前及び加振試験後に外観点検を実施し異常のないことを確認した。また、試験後の動作確認においても試験装置上に設置している操作盤より操作を実施し異常なく開閉装置が動作する事を確認した。

加振試験の記載は、基準地震動 S_s の暫定波であるため、詳細設計段階において放水路ゲートの開閉装置設置位置における応答スペクトルが算出された段階で、当該試験に用いた加振条件に包絡していることの確認を確認する。

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

1. 目的

放水路ゲートは津波防護施設として設置し、入力津波による放水路からの逆流防止を目的のため設置する。設置箇所は防潮堤と放水路の横断部近傍に設置し3水路に分かれている放水路に各1台ずつ合計3台のゲートを設置する。放水路ゲートの運用は、発電所の運転中には開状態で設置し、原則閉操作は実施しない。

但し、大津波警報が発表になった場合に、発電長の判断により中央制御室から閉操作を実施する運用とする。閉操作するためには、常用海水ポンプのうち循環水ポンプを停止させてから操作を行うことで敷地内への溢水を防止する。ここでは、放水路ゲートの設計と運用に関する運用について説明する。

また、放水路ゲート開閉装置の動的維持確認のため、基準地震動 S_s の模擬地震波（包絡波）にて加振試験を行い地震後の動的機能維持を確認した。

2. 構造概要

放水路ゲートは躯体、ゲート本体（扉体）、開閉装置からなるスライドゲートである。ゲート本体（扉体）については浸水防護施設としての耐震Sクラス要求から基準地震動 S_s による地震力に耐える構造にする。

各部材については、構造物と地盤との動的相互作用を考慮した二次元動的有効応力解析コード（FLIP）を用いて水平地震動と鉛直地震動による地震応答解析を行ない、各部材が弾性範囲内に留まる構造にする。

また、開閉装置については、動的機能維持を確保するため、放水路ゲートの設置位置における応答スペクトルが算出された段階で、加振試験に包絡していることを確認する。

図1に放水路ゲートの概要、図2に鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）構造図、図3に放水路ゲート正面図及び平面図、図4に放水路ゲート側面図を示す。表1に構成部位と役割を示す。

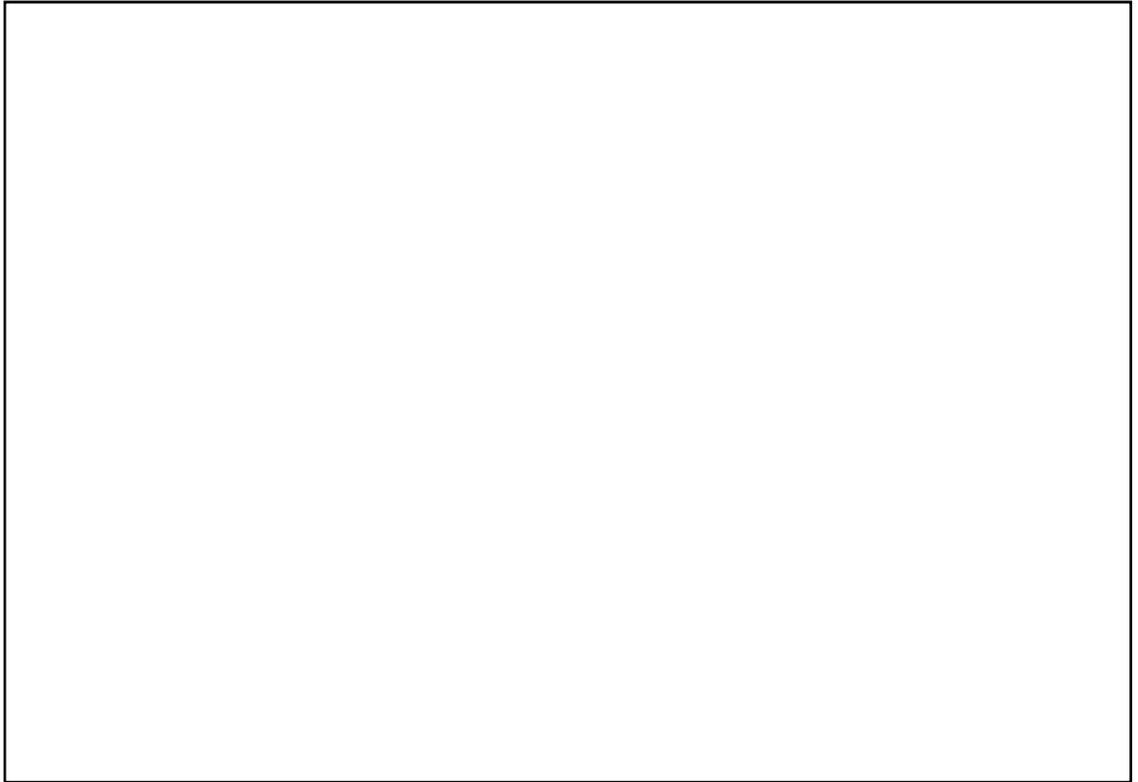
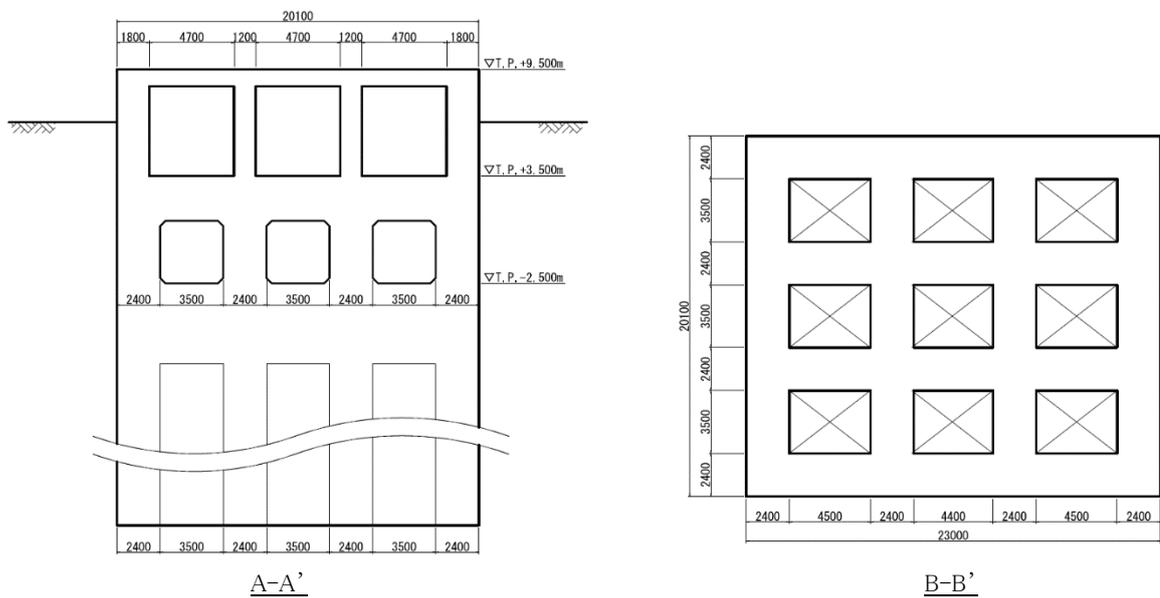
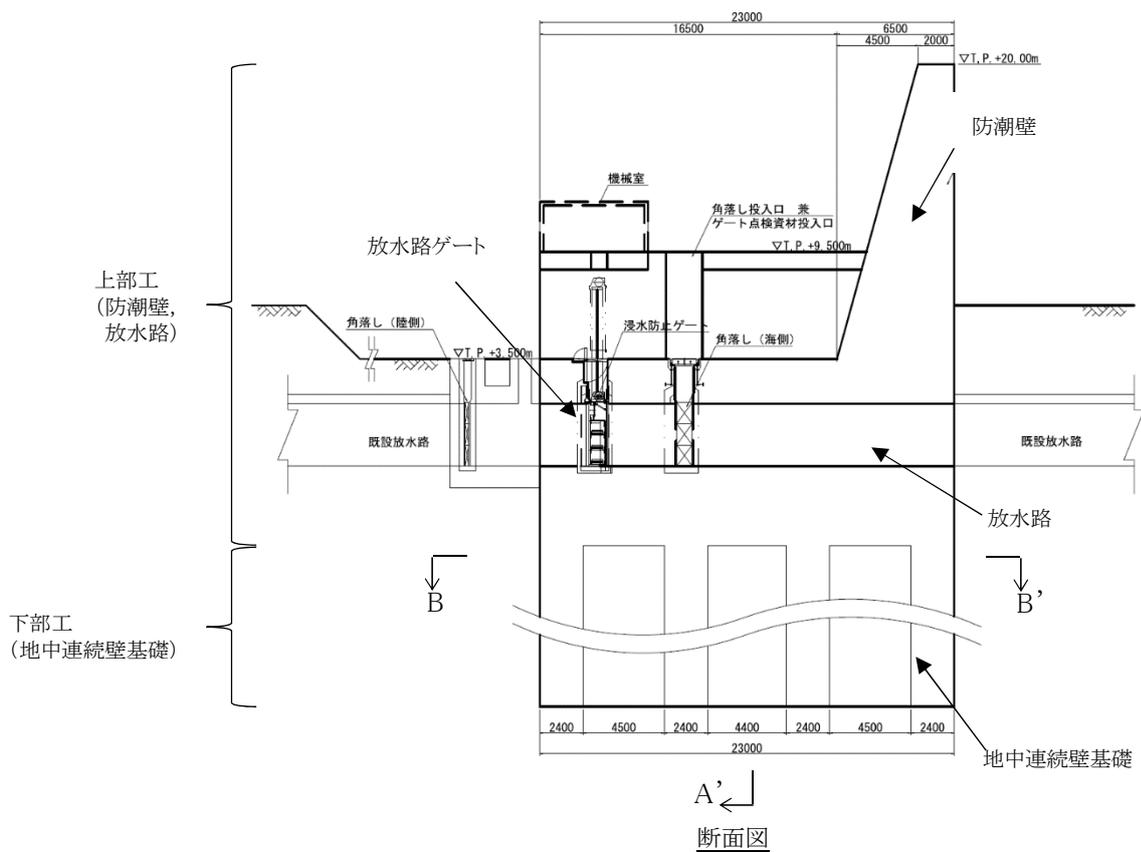
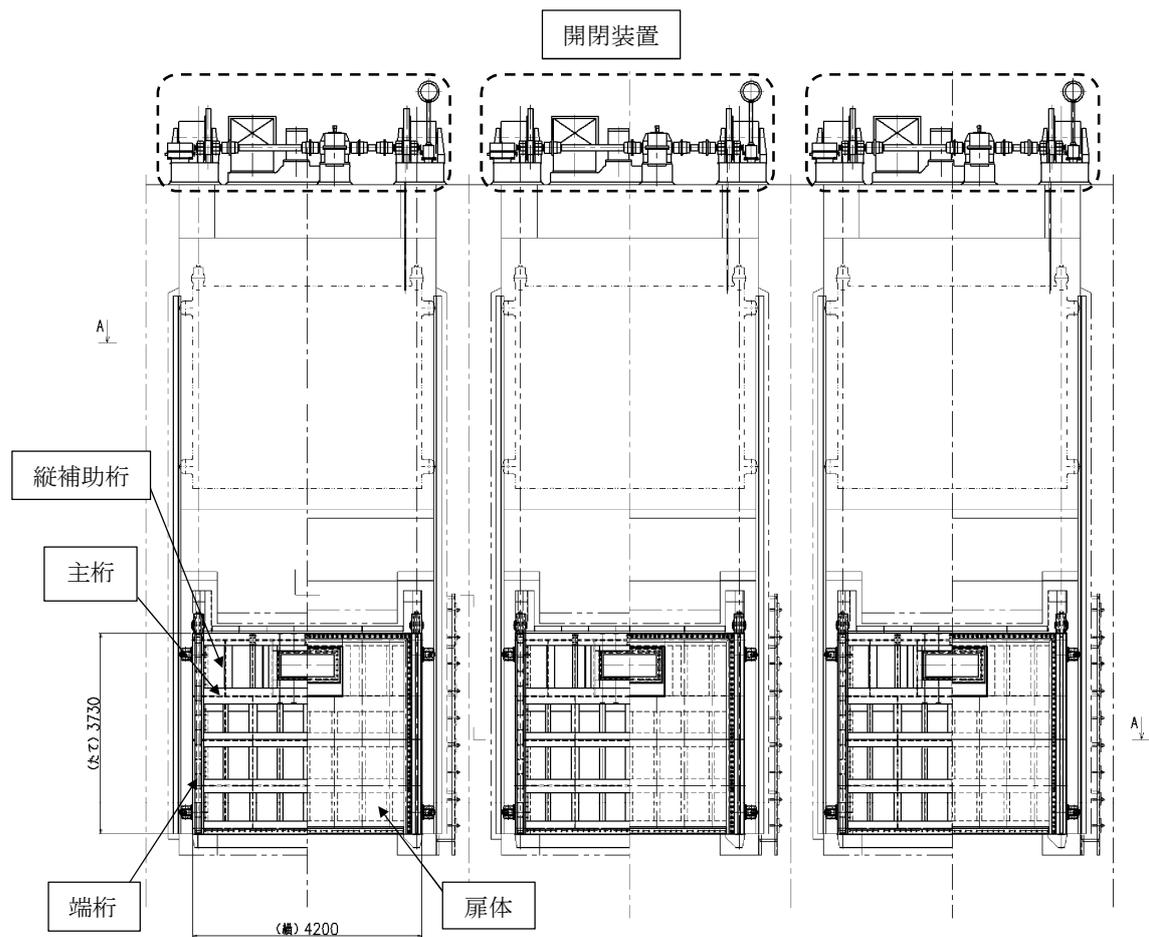


図 1 放水路ゲートの位置図

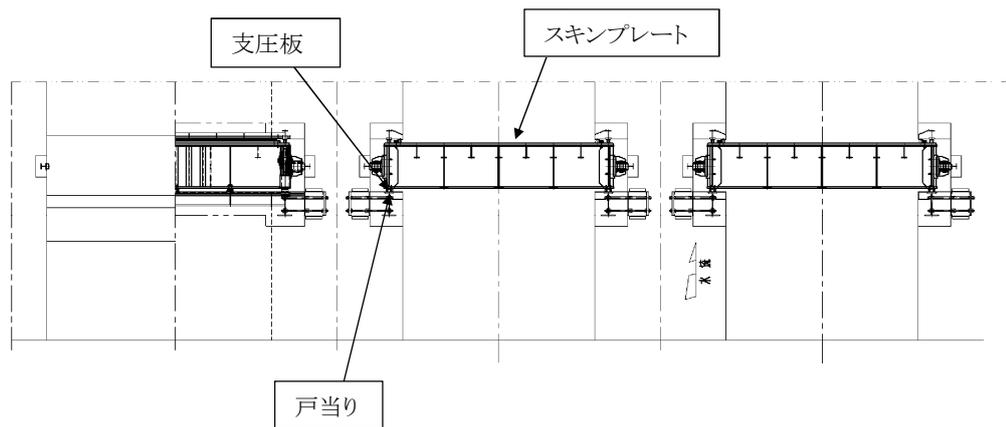


注)仕様については今後の検討により変更の可能性がある。

図2 鉄筋コンクリート防潮壁 (放水路エリア) 構造図



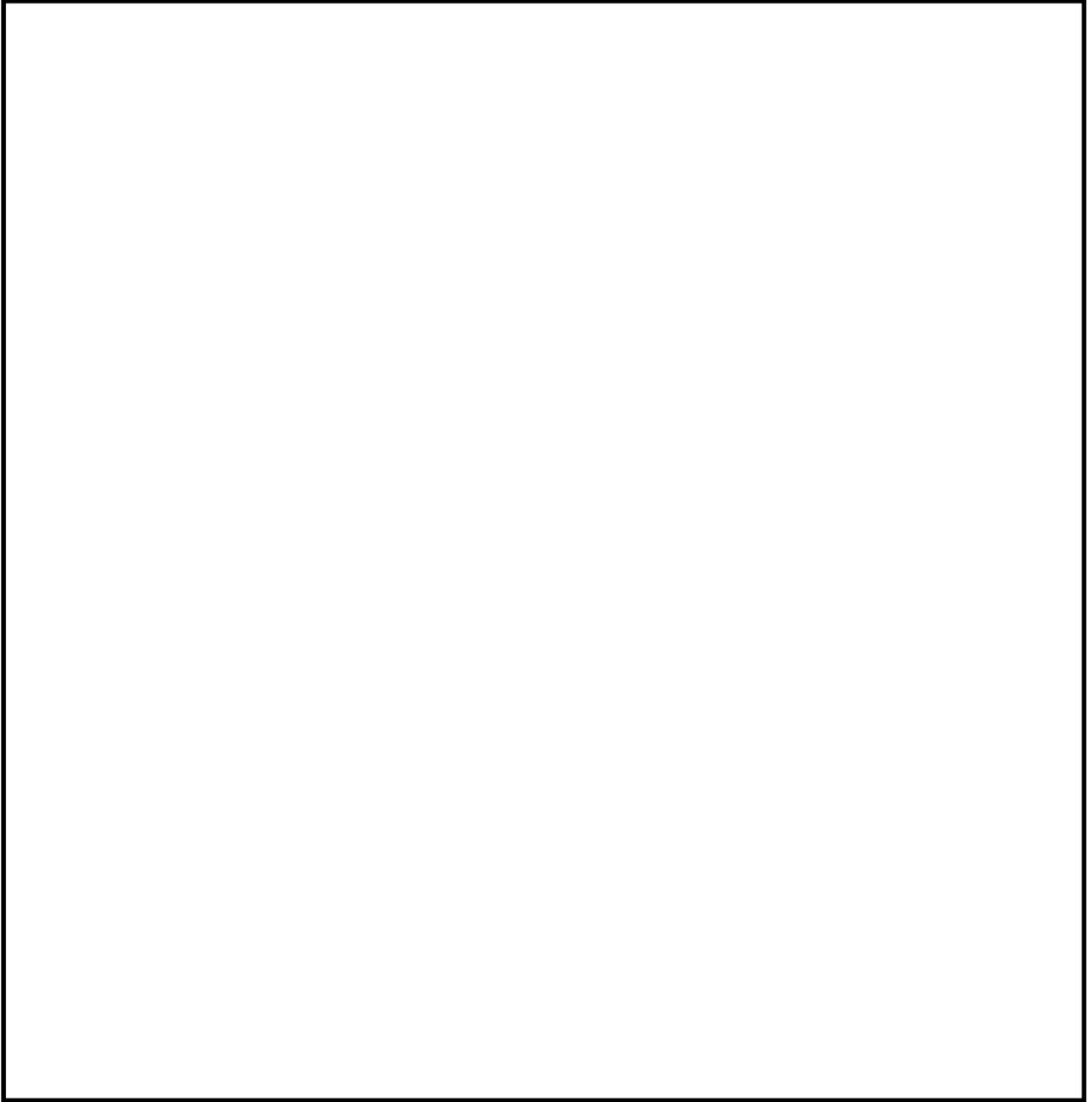
(正面図)



(平面図)

注：寸法は mm を示す。

図 3 放水路ゲート正面図及び平面図



注：寸法は mm を示す。

図 4 放水路ゲート側面図

表1 構成部位と役割

構造部位	構成部位と役割
扉体	外部からの地震荷重，津波荷重，漂流物荷重等を地中連続壁基礎に確実に伝達するとともに，各荷重に対して十分な耐性を有することにより止水性を確保し，放水路ゲートとしての機能を保持する。
水密ゴム	扉体の4辺に設置され，水密ゴムによる津波からの，浸水を防止することにより止水性を確保し，放水路ゲートとしての機能を保持する。水密ゴムの使用前検査時の漏水試験について【補足説明1】にて説明する。
地中連続壁基礎 (間接支持構造物)	扉体から伝達される基準地震動 S_s による地震荷重及び基準津波による津波荷重について，鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）の地中連続壁基礎により支持地盤に確実に伝達し十分な耐性を有している。また，津波に対する放水路ゲートとしての止水機能を保持する。
開閉装置	扉体の開閉を実施する。駆動方式は電動機による「電動駆動式」，ファンブレーキによる「自重降下式」の多重性を持たせている。電動駆動式に用いる電源は非常用電源より供給する。電動駆動式が使用できない場合には自重降下式にて閉操作できる構造にする。図5に放水路ゲートの開閉装置概念図を示す。

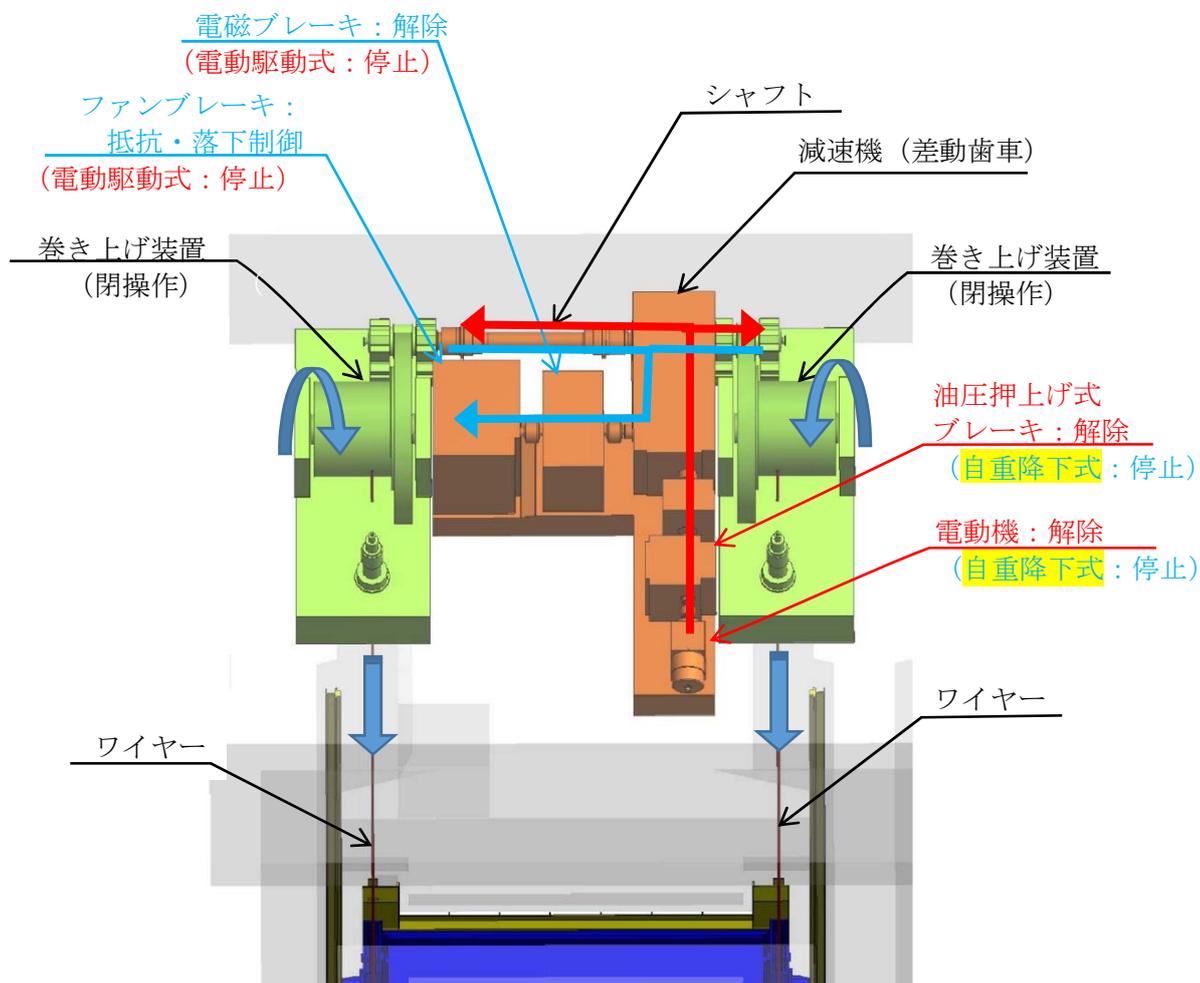
3. 安全機能（MS－1）要求に伴う設計について

放水路ゲートは技術基準の要求に基づき以下の安全機能について設計を行う。

- a. 外部電源喪失時にも閉止できるように放水路ゲートの閉止装置に必要な電源は「独立性」「多重性」を確保し非常用ディーゼル発電機 2 C， 2 D 母線から供給する。
- b. 駆動方式は，多重性を確保し「電動駆動式」及び「自重降下式」で設計する。「自重降下式」はファンブレーキ方式を採用する。また，外部からの動力の供給をがない場合においても操作が可能なよう無停電電源装置（UPS）を設置する。
- c. 運転員による誤操作及び誤信号による誤動作を防止するため，循環水ポンプ運転中は閉止しないインターロックを設ける。
- d. 放水路ゲートが閉止している状態においても，安全系ポンプが運転中のため，完全に閉止してしまうと敷地内へ浸水することから，閉止ゲートの扉体に小扉を設け安全系ポンプの排水は放水口より排水できる設計にする。
- e. 放水路ゲートの状態を監視し，異常の発生を検知できるようにする。

4. 開閉装置の構造及び動作原理について

放水路ゲートは、中央制御室からの遠隔閉止信号により、電動駆動式又は自重降下式の駆動機構によって、確実に閉止できるようにする。具体的には、動的機器である駆動機構は、電動駆動式と自重降下式の異なる仕組みの機構とすることにより多重性又は多様性及び独立性を有する構造にする。電動駆動式の駆動用電源は多重性及び独立性が確保されている非常用母線からの給電とし、自重降下式は駆動用電源を必要とせず扉体を自重降下させる機構とすることで、外部電源喪失にも閉止できる構造にする。また、制御系は多重化して、誤信号による誤動作を防止し、単一故障に対して機能喪失しない構造にする。さらに、循環水ポンプ運転中は閉止しないインターロックを設け、運転員の誤操作による誤動作を防止する。図5に放水路ゲートの開閉装置概念図を示す。



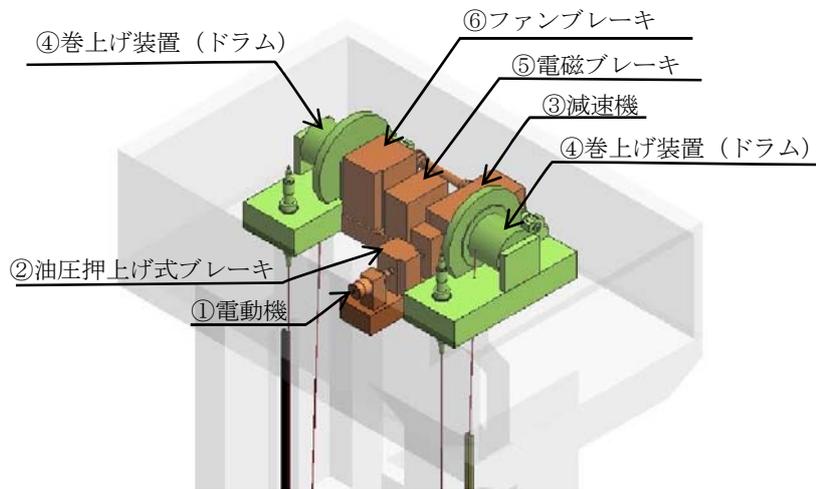
<記載凡例>

- ・赤字：電動駆動時のみ使用
- ・青字：自重降下時のみ使用
- ・黒字：電動駆動式+自重降下式 共通

- ← (Red arrow) : 電動駆動時 (電動機駆動) の駆動が伝達する流れ
- ← (Blue arrow) : 自重降下時 (自重降下) の駆動が伝達する流れ

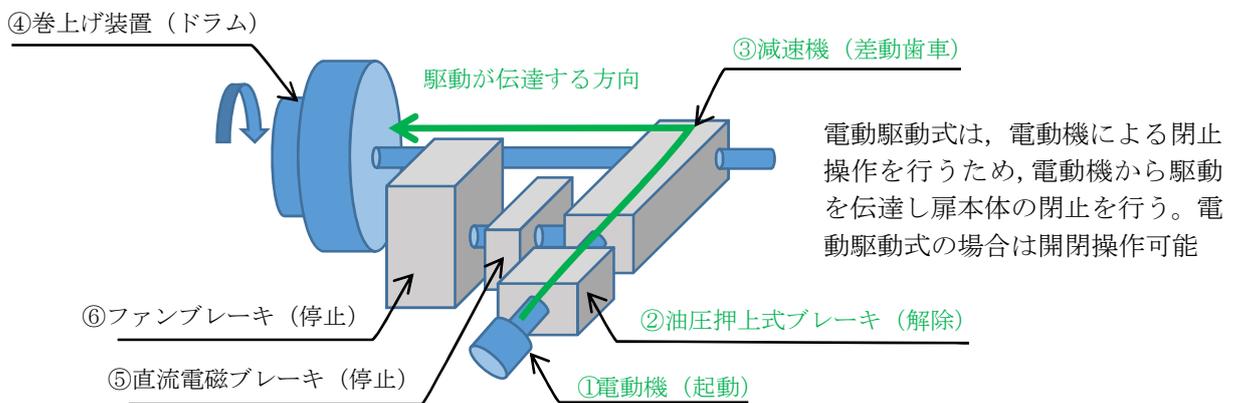
図5 放水路ゲートの開閉装置概念図

図6の a ～ b に開閉装置の構造及び動作原理について示す。図 a に開閉装置の構成を示す。



【図 a 開閉装置 鳥瞰図】

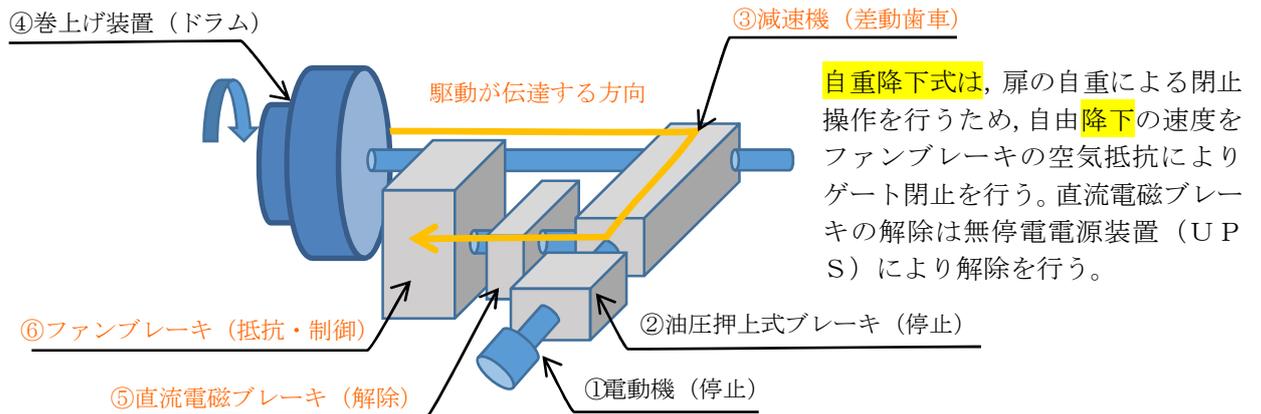
電動駆動式は①電動機を駆動，②油圧押し上げ式ブレーキを解除，③減速機，④巻き上げ装置を経由し放水路ゲートを閉止させる構造である。電動駆動式は開閉操作が可能である。（図 b 参照）



【図 b 電動駆動式 (開閉操作可能)】

図6 開閉装置の構造及び動作原理 (図 a , 図 b) (1/2)

自重降下式は、⑤直流電磁ブレーキを解除、④巻き上げ装置に引き上げられている放水路ゲートの自重による落下、⑥ファンブレーキによる落下速度の制御により放水路ゲートを閉止させる機械的な構造である。自重降下式は電動駆動用の電源を必要とせず、直流電磁ブレーキを解除できるよう無停電電源装置（UPS）を設置する。自重降下式は閉操作のみ可能である。



【図 c 自重降下式（閉操作のみ）】

図6 開閉装置の構造及び動作原理（図 c）（2/2）

5. 放水路ゲート操作用電源系等について

津波の襲来に対して確実な緊急閉止操作を達成するため、基本設計方針に基づき、放水路ゲートの閉止機能は重要安全施設（MS-1）設計とする。動的機器である閉止機構及び閉止機構に関する電源系、制御系は多重化し、ゲート自体は静的機器であることから多重性の必要はなく、シングルであっても確実に閉止する構造とする。

- ・ゲートの閉止に必要な系統（駆動方式、電気系等）は、多重性又は多様性、及び独立性を確保し、遠隔操作が可能な系統とする。
- ・想定される全ての環境条件において、その機能を発揮できるよう、耐震性を含めた耐環境性を確保する。
- ・放水路ゲートの状態を監視し、異常等の発生を検知できるようにする。

この基本設計方針の概念図を第7図に放水路ゲート電源概念図を示す。

開閉機構には、「電動駆動式」「自重降下式」を多重に設けており、通常時は電動駆動式により閉止を行い、緊急を要す場合に「自重降下式」を選択する。なお、「自重降下式」は外部からの電源がない場合においても操作が可能なよう無停電電源装置（UPS）を設置する。無停電電源装置（UPS）は30分以上保持できる設計とする。

放水路ゲートの操作は中央制御室から遠隔操作を可能とし、開閉状態についても監視できる設計にする。また、それぞれの制御系、電源系は多重化し、かつ独立性を確保し、耐震性はSクラスとする。

図7に放水路ゲート電源概念図を示す。

<放水路ゲートA系>

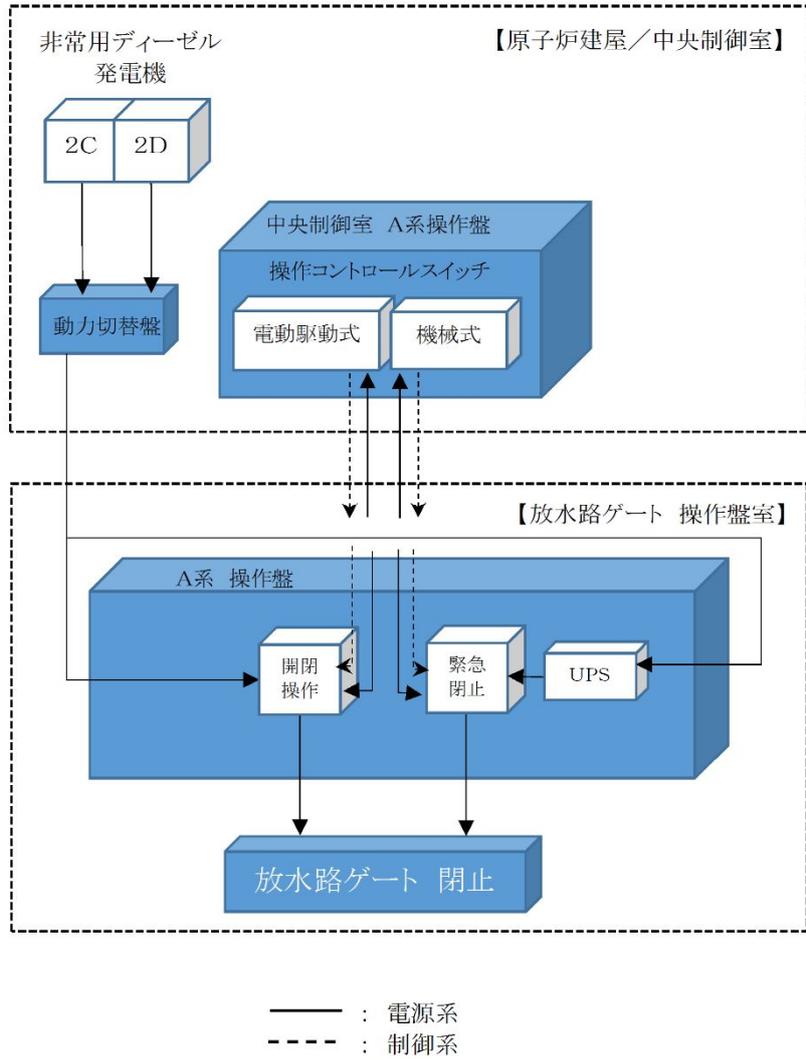


図7 放水路ゲート電源概念図（A系の例）

6. 放水路ゲート閉止方法について

発電所への影響を及ぼすような津波が襲来する恐れがある場合の放水路ゲート閉止操作に関する手順並びに操作系設備の設計の考え方を以下に示す。

(1) 電動駆動式による閉止操作の手順

津波情報については、気象庁からの大津波警報や構内設置の潮位計及び津波・構内監視カメラにより情報を収集しているが、気象庁から発信される津波情報のうち、太平洋側沿岸部に到達する津波（遠方沖含む）の予報区で大津波警報が発表された場合に、放水路ゲートの閉止判断を行い、閉止操作に移行する。放水路ゲートの閉止判断を行った場合の対応手順及び対応時間については以下のとおり。

放水路ゲートを閉止するためには、循環水ポンプを先に停止させる必要がある。誤操作・誤動作による閉止した場合に敷地内へ循環水が溢水することを防止するため、循環水ポンプの停止信号を放水路ゲートの閉操作のインターロックに設定している。

循環水ポンプ停止後、電動駆動式による放水路ゲートの閉止操作を中央制御室から遠隔にて操作し閉止する。地震・津波発生後から放水路ゲート閉止までの時間は約22分である。図8に放水路ゲート操作フローを示す。

(2) 自重降下式による閉止操作の手順

放水路ゲートの閉止操作は、中央制御室からの遠隔操作により実施する。原則として通常は「電動駆動式」の操作としているが、「自重降下式」による自重降下も採用し多重性を確保している。

自重降下式は、外部電源喪失時にも直流電磁ブレーキを開放するだけで放水路ゲートを閉止できる。

操作は中央制御室の選択スイッチにより「電動駆動式」か「自重降下式」を選択し遠隔にて操作し閉止する。地震・津波発生後から放水路ゲート閉止までの時間は約14分である。

図8に放水路ゲートの操作フローを示す。

放水路ゲートの閉止操作時間は、地震・津波発生から電動駆動式の場合で約22分、自重降下式の場合で約14分かかる。基準津波による津波の到達時間は約37分であるため、到達までに放水路ゲートを閉止することができる。

<参考>

ここでは海域活断層を波源とした津波時の場合について評価する。

海域活断層F8の到達時間約24分に対し、電動駆動式約22分、自重降下式約14分であることから敷地へ到達する前に閉止することができる。第4表に各海域活断層の津波高さと到達時間について（取水口前面）示す。

仮に閉止できなかったとしても、海域活断層の津波高さは、最大でもF16のT.P. +2.0mであることから、放水路ゲートを閉止しなくても敷地へ遡上することはない。表2に各海域活断層の津波高さと到達時間について（取水口前面）示す。

表2 各海域活断層の津波高さと到達時間について（取水口前面）

海域活断層名	最高水位 (T.P. m)	到達時刻 (分)
F1～塩ノ平	+1.7	32
F3～F4	+1.2	43
F8	+1.9	24
F16	+2.0	25

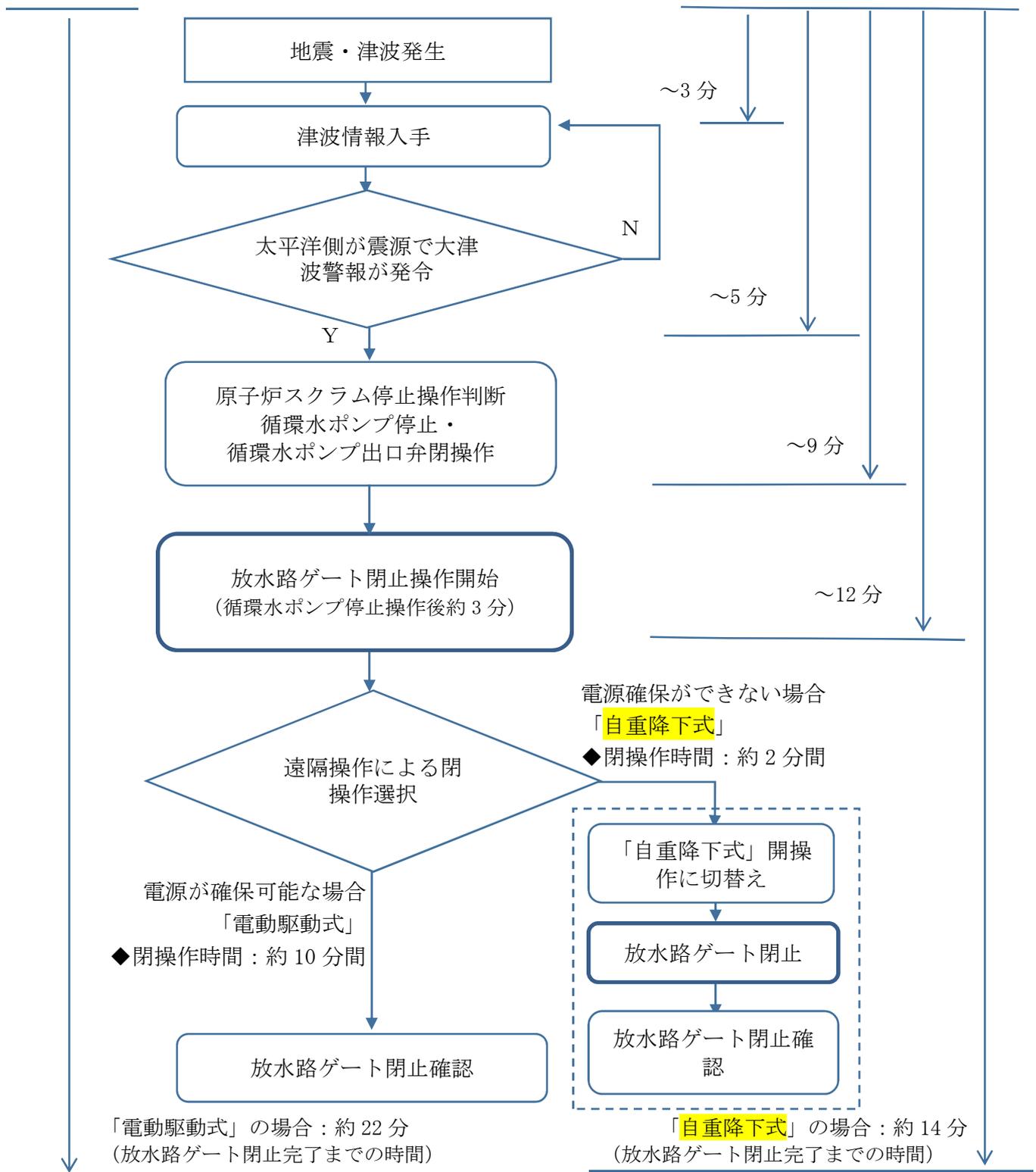


図8 放水路ゲート操作フロー

7. 津波襲来時（放水路ゲート閉止時）の排水について

①排水設計の考え方について

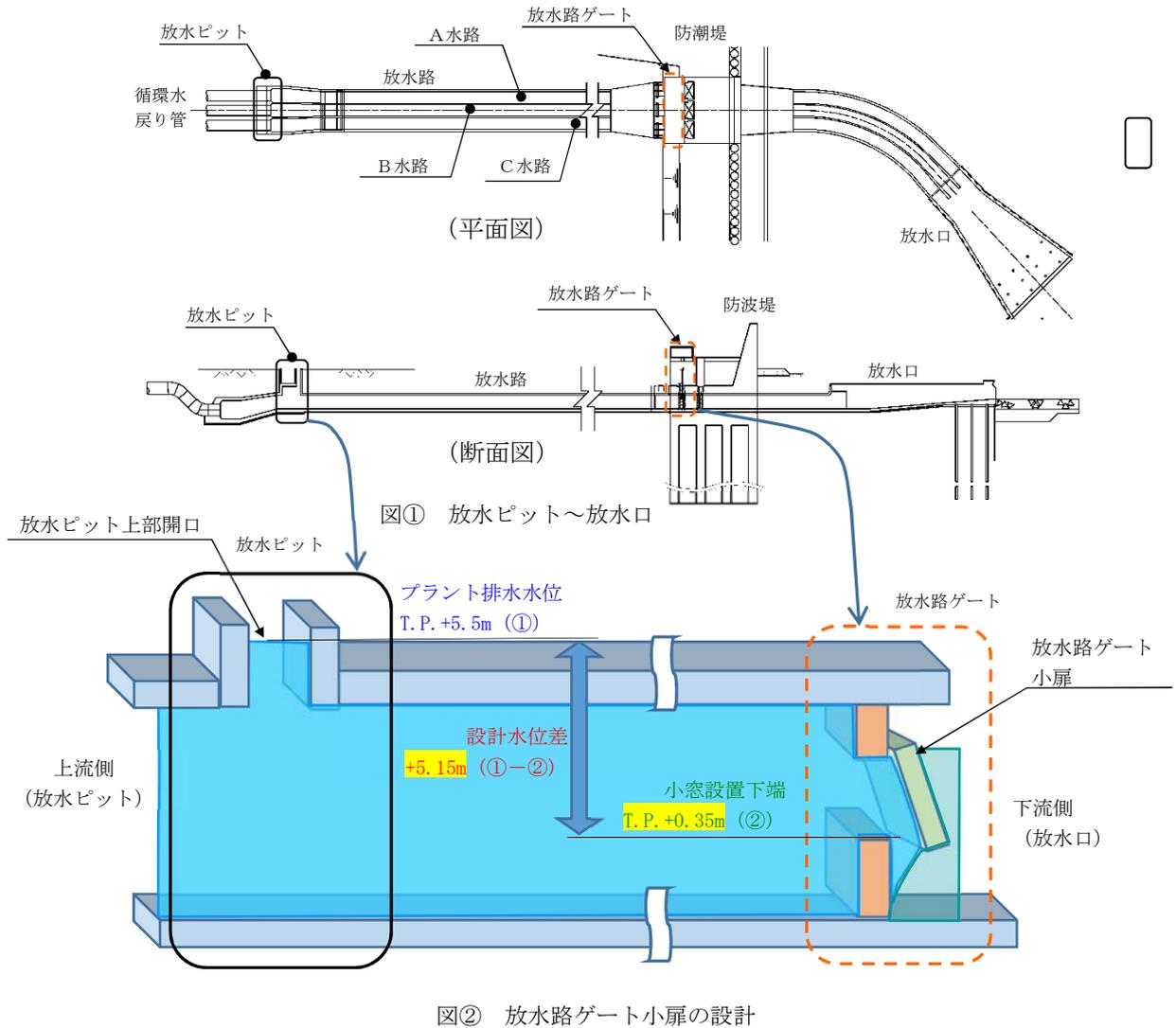
非常用海水ポンプの排水については既設放水路3本のうちいずれか2本より1本を用いて排水をする設計である。

大津波警報が発表された場合には、原子炉スクラム停止操作、循環水ポンプ停止及び出口弁を閉操作する。循環水ポンプが停止した後、放水路ゲートを閉操作する。

放水路ゲートにて放水口を閉止した場合でも、非常用海水ポンプの排水は継続的に排出する必要があることから、ゲート本体に設置している小扉により排水を可能にしている。

②放水路からの排水について

既設放水路からの排水は、朔望平均満潮位の時には排水できる設計とする。放水路ゲートの小扉からの排水条件はプラントの排水による放水ピット水位T.P. +5.5m (①) 以下の場合に排水する設計としている。小扉の設置位置はT.P. +0.35m (②) であることから水位差5.15m以下 (①-②) の条件であれば敷地に浸水させることなく、水位差で小扉が開く設計であることから、朔望平均満潮位T.P. +0.61m以上であっても排水することが十分可能である。図9に放水路ゲートの小扉の排水設計を示す。



図① 放水ピット～放水口

図② 放水路ゲート小扉の設計

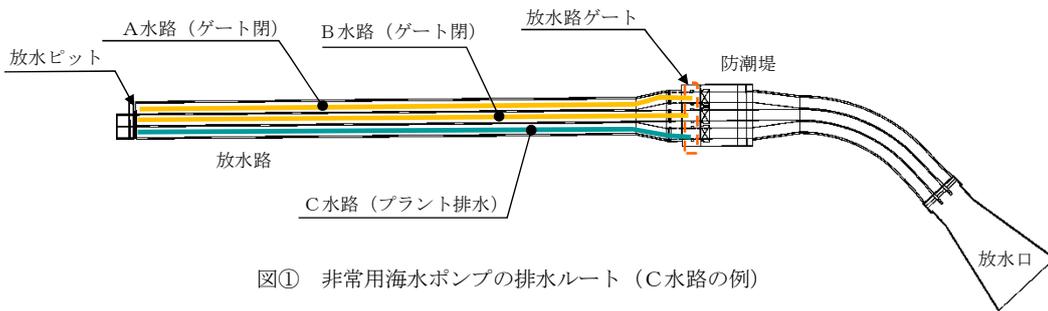
【放水路ゲートの小扉の排水条件について】(図②参照)
 <小扉の開条件>

- ◆必要面積 (小扉の面積) : 0.605m²以上
- ◆設計水位差 : 5.15m (①-②)
 - ・プラント排水水位 (放水ピット) : T.P. +5.5m (①)
 - ・小窓設置下端 : T.P. +0.35m (②)
- ◆設計潮位 T.P. +0.61m 以下 (朔望平均満潮位)
- ◆最大放出流量 : 9996.8 m³/hr
 - ・残留熱除去系海水ポンプ : 885.7(m³/hr/台) × 4台
 - ・非常用ディーゼル発電機用海水ポンプ : 272.6(m³/hr/台) × 2台
 - ・高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機用海水ポンプ : 232.8(m³/hr/台) × 1台
 - ・補機冷却系海水ポンプ : 2838(m³/hr/台) × 2台

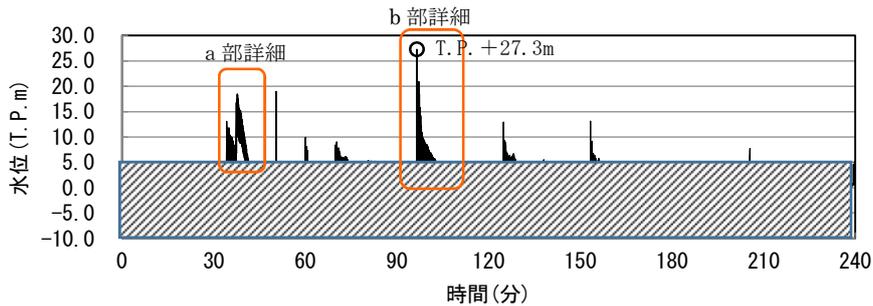
図9 放水路ゲートの小扉からの排水設計

③津波襲来時の排水について

通常は小扉から排水する設計であるが、津波の襲来時には、放水路ゲート位置での津波高さが、放水ピット開口部での設計水位差の上限であるT.P. +5.5mを放水路ゲートの下流の津波高さが上回った場合になると排水ができなくなる。排水できない時間は、最大で約4分であり、排水量に換算すると最大約670m³になる。津波襲来時には敷地内に一時的に排水するよう設計する。排水先は構内排水路に接続する。図10に放水路ゲート閉止状態の排水イメージを示す。



図① 非常用海水ポンプの排水ルート (C水路の例)



図② 放水路ゲート閉止した場合の時刻歴波形

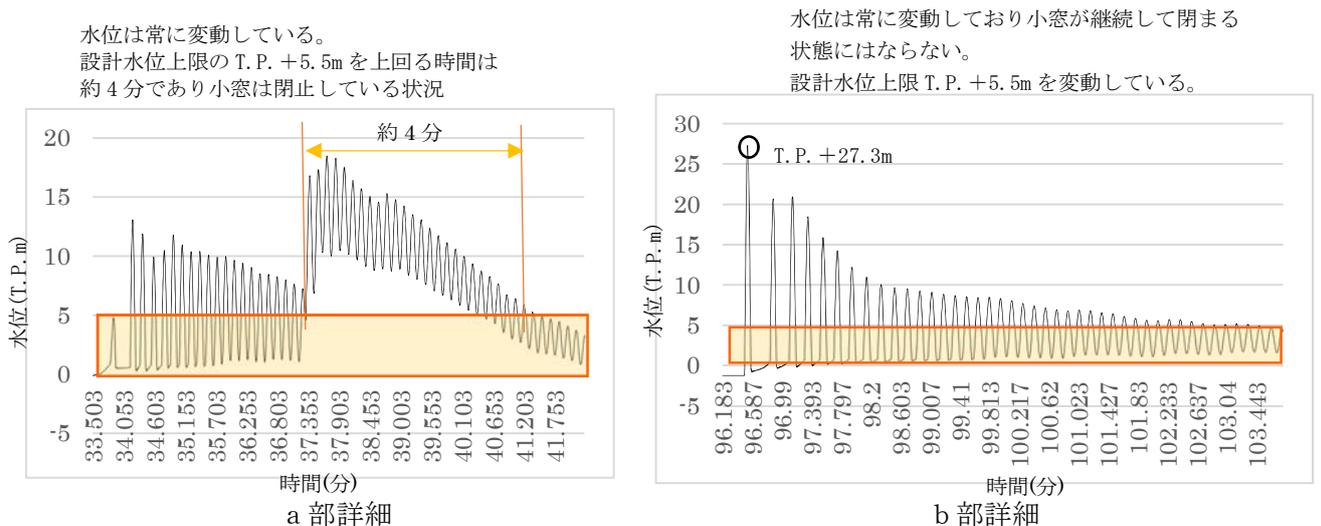


図10 放水路ゲート閉止時の排水イメージ

加振試験の記載は、基準地震動 S_s の暫定波であるため、詳細設計段階において放水路ゲートの開閉装置設置位置における応答スペクトルが算出された段階で、当該試験に用いた加振条件に包絡していることの確認を確認する。

8. 開閉装置の加振試験について

a. 試験目的

開閉装置の動的維持確認のため、基準地震動 S_s の選定波を加振波として用い、ここでは、実機大の開閉装置を用いた加振試験を行い地震後の動的機能維持を確認した。

以下に基準地震動 S_s 包絡波にて実施した加振試験結果を示す。

b. 試験方法

振動台上に架台を設置しその上に放水路ゲートに設置する開閉装置を基礎ボルトで固定し、水平方向と鉛直方向とを同時加振する。図11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)

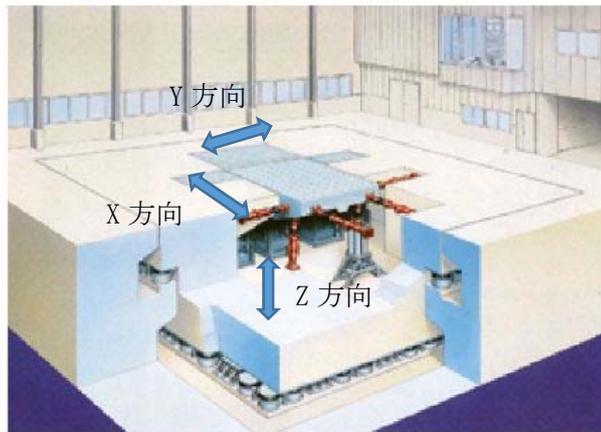


図11 大型3軸振動台の概要

c. 試験条件

加振試験に使用する入力条件は以下のとおり。

<入力地震動の作成>

(1) 評価用地震動の選定

①動的機能維持評価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として基準地震動 S_s-D1 を選定した。

②基準地震動 S_s-D1 については、放水路ゲートの開閉装置位置 (T.P. +9.5m) における評価が必要になることから、以下の手順にて一次元地盤応答解析

(SHAKE) にて得られた地表面応答加速度の結果を開閉装置位置 (防潮扉開閉装置位置 T.P. +22.5m) での評価用応答スペクトルとして作成した。

a. 一次元地盤応答解析 (SHAKE) の地表面応答加速度における結果に対して、開閉装置位置での応答加速度を算出するため、地表面応答加速度 (SHAKE) に対し開閉装置位置での FLIP 応答解析値の倍率 (FLIP/SHAKE の倍率) を 1.73 倍と算出し、応答スペクトルを引き上げた。

b. a 項にて 1.73 倍引き上げた応答スペクトルに対し、評価用に基準地震動 S_s8 波の全周期帯を包絡させるスペクトルが必要なことから、更に応答スペクトルを 2.59 倍し全周期帯を包絡した応答スペクトルを作成した。

その結果、一次元地盤応答解析 (SHAKE) の地表面応答加速度結果における応答スペクトルに対し 4.49 倍したものを評価用の応答スペクトルとした。

(2) 確認用地震動の選定

- ①確認用として、一次元地盤応答解析 (SHAKE) による地表面応答加速度の結果から位相特性による設備への影響を確認するため、最大応答加速度が最も大きくなる S_s-22 (鉛直方向最大) 及び S_s-31 (水平方向最大) について選定した。
- ② S_s-22 (鉛直方向最大) 及び S_s-31 (水平方向最大) については、基準地震動 S_s-D1 と同様に放水路ゲートの開閉装置位置 (T.P. +9.5m) における評価を行うため、以下の手順にて一次元地盤応答解析 (SHAKE) にて得られた、地表面加速度の結果を開閉装置位置 (防潮扉開閉装置位置 T.P. +22.5m) での確認用応答スペクトルとして作成した。
 - a. 一次元地盤応答解析 (SHAKE) の地表面応答加速度における結果に対して、開閉装置位置の応答加速度を算出するため、地表面応答加速度 (SHAKE) に対し開閉装置位置での FLIP 応答解析値の倍率 (FLIP/SHAKE の倍率) を 0.93 倍 (S_s-22), 1.73 倍 (S_s-31) と算出した。
 - b. 更に、a. 項にて引き上げた応答スペクトルに対し位相特性による影響を確認する必要があることから、地表面応答加速度結果における応答スペクトルに対し 2 倍したものを確認用応答スペクトルとした。なお、 S_s-22 については、加振試験装置の性能上 1.61 倍とした。

地震波における加振条件について、評価用を表3に確認用を表4に示す。図12模擬地震波の加速度応答スペクトル参照。なお、振動台の性能から高倍率の加振条件においては、各構成部品の固有周期が有しない範囲についてはフィルター処理を実施した。

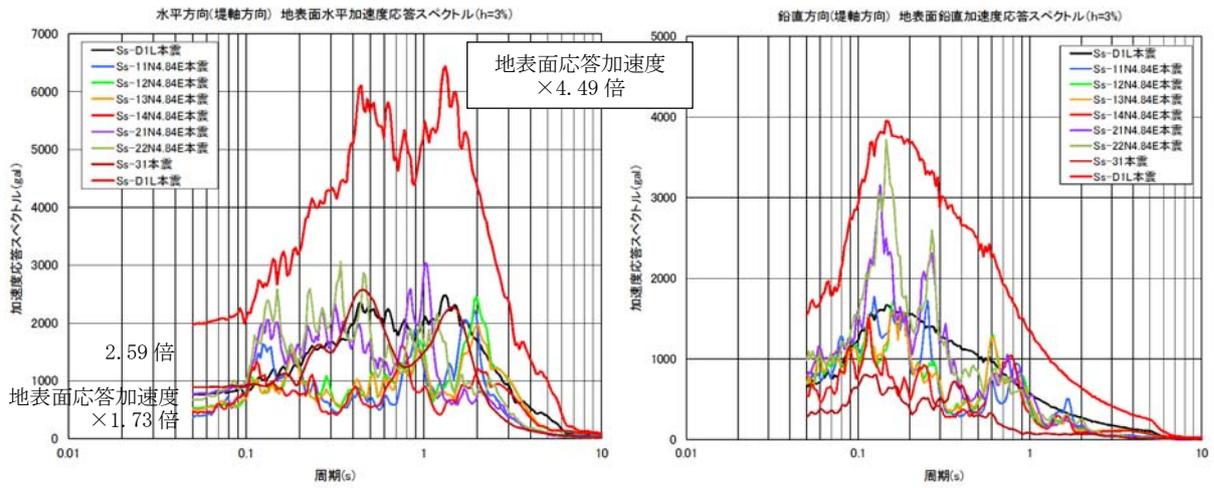
表3 地震波における加振条件（評価用）

地震波	①地表面位置に対する 開閉装置位置での 応答加速度の倍率 (FLIP/SHAKE)	②地表面応答加速度 (SHAKE) の全周期帯を 包絡するための倍率	③振動台への 入力地震動の倍率 (①×②)
S _s -D1	地表面応答加速度 ×1.73	①で作成した応答 スペクトル ×2.59	地表面応答加速度 ×4.49

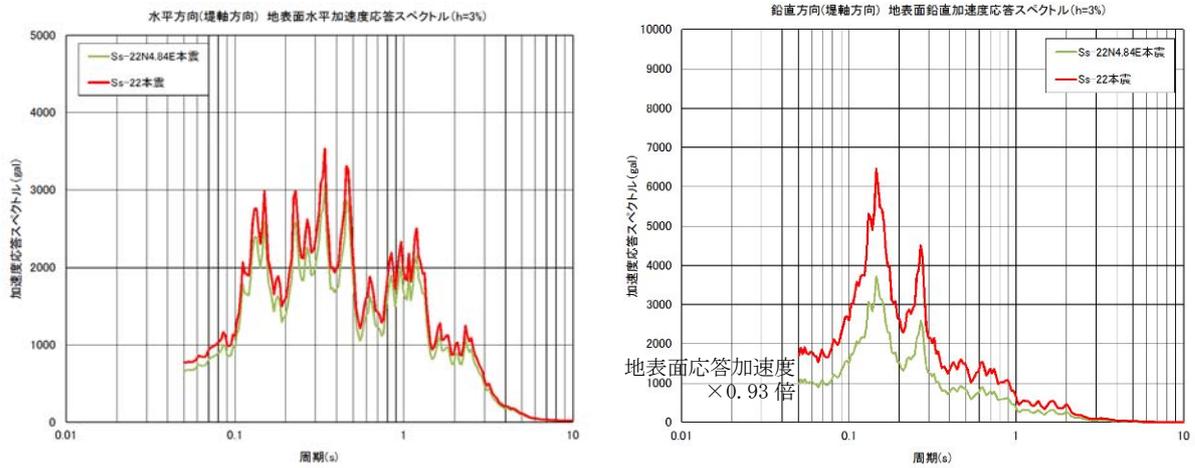
表4 地震波における加振条件（確認用）

地震波	①地表面位置に対する 開閉装置位置での 応答加速度の倍率 (FLIP/SHAKE)	②振動台への 入力地震動の倍率 <2倍> (①<②)
S _s -22	地表面応答加速度 ×0.93	地表面応答加速度 ×1.61*
S _s -31	地表面応答加速度 ×1.73	地表面応答加速度 ×2

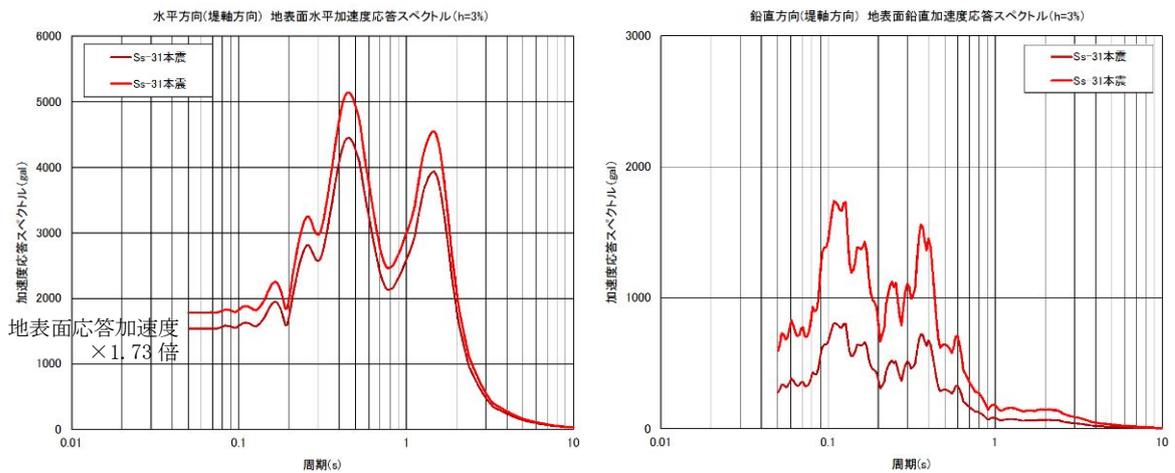
※振動試験装置の性能上1.61倍とした。



S s - D 1 (評価用：入力地震動)



S s - 2 2 (確認用：鉛直方向最大)



S s - 3 1 (確認用：水平方向最大)

図12 模擬地震波の加速度応答スペクトル

d. 試験装置

放水路ゲートの開閉装置は防潮扉の開閉装置と同じ構造であるため、放水路ゲートと防潮扉の開閉装置の中でも最大な設備を選定し、開閉装置のワイヤーの巻き上げ装置については、駆動軸の長いワイヤーの巻き上げ装置側を製作した。

また、ワイヤー巻き上げ装置には扉の荷重を模擬するため巻き上げ装置の下部にトルク装置を設置し扉の荷重を模擬し試験を実施した。

試験に用いた開閉装置の概要は以下の通り。第9図に開閉装置の試験装置（全景）を示す。

＜試験装置の構成＞

- ◆開閉装置（減速機，直流電磁ブレーキ，ファンブレーキ，他） 1式
- ◆制御盤 1式



e. 試験結果

試験前及び加振試験後に外観点検を実施し異常のないことを確認した。また、試験後の動作確認においても試験装置上に設置している操作盤より操作を実施し異常なく開閉装置が動作する事を確認した。

【補足説明 1】 水密ゴムの漏水試験について

1. 許容漏えい量評価

放水路ゲートの水密ゴムの許容漏えい量評価は、ダム堰施設技術基準（案）に準じて使用前検査時に評価を行う。

(1) 漏水量評価の算定式

ダム堰施設技術基準（案）の機能検査項目に「耐圧、漏水検査」に以下の算定式と試験時間の記載がある。

◆角型スライドゲート

$$W = 10.2 L \cdot P$$

W : 漏水量 (ml/min)

L : 長辺の長さ (cm)

P : 設計圧力 (MPa)

◆試験時間: 10分

(2) 許容漏えい量の算定

許容漏えい量は (1) 項の評価式に準じて算出する、

放水路ゲートの許容漏えい量の考え方の例は以下のとおり。表 5 に許容漏えい量 (例) を示す。

表 5 許容漏えい量 (例)

試験圧力	0.27MPa ^{※2} 以上
許容漏えい量 ^{※1}	10.2 ml/10分以下

※1 : 許容漏えい量の記載は、放水路ゲートの長辺 3730mm の場合を示す。実際の許容漏えい量の算定は、漏水試験装置に合わせ算定する。

※2 : 防潮ゲートの入力津波高さ (T.P. +27.4m) の試験圧力

漏水試験装置は、止水機構の漏水試験装置を示す。漏水試験装置は同様の装置になるが試験用に設計した段階でお示しする。

2. 漏水試験装置

前項にて評価した放水路ゲートの水密ゴムの許容漏えい量について、使用前検査時に漏水試験を実施する。以下の装置を製作し水密ゴムの漏水試験を実施する。

<漏水試験装置>

水密ゴムの漏水試験装置の一般的な概要は以下のとおり、図 10 に試験装置の概要図(例)を示す。

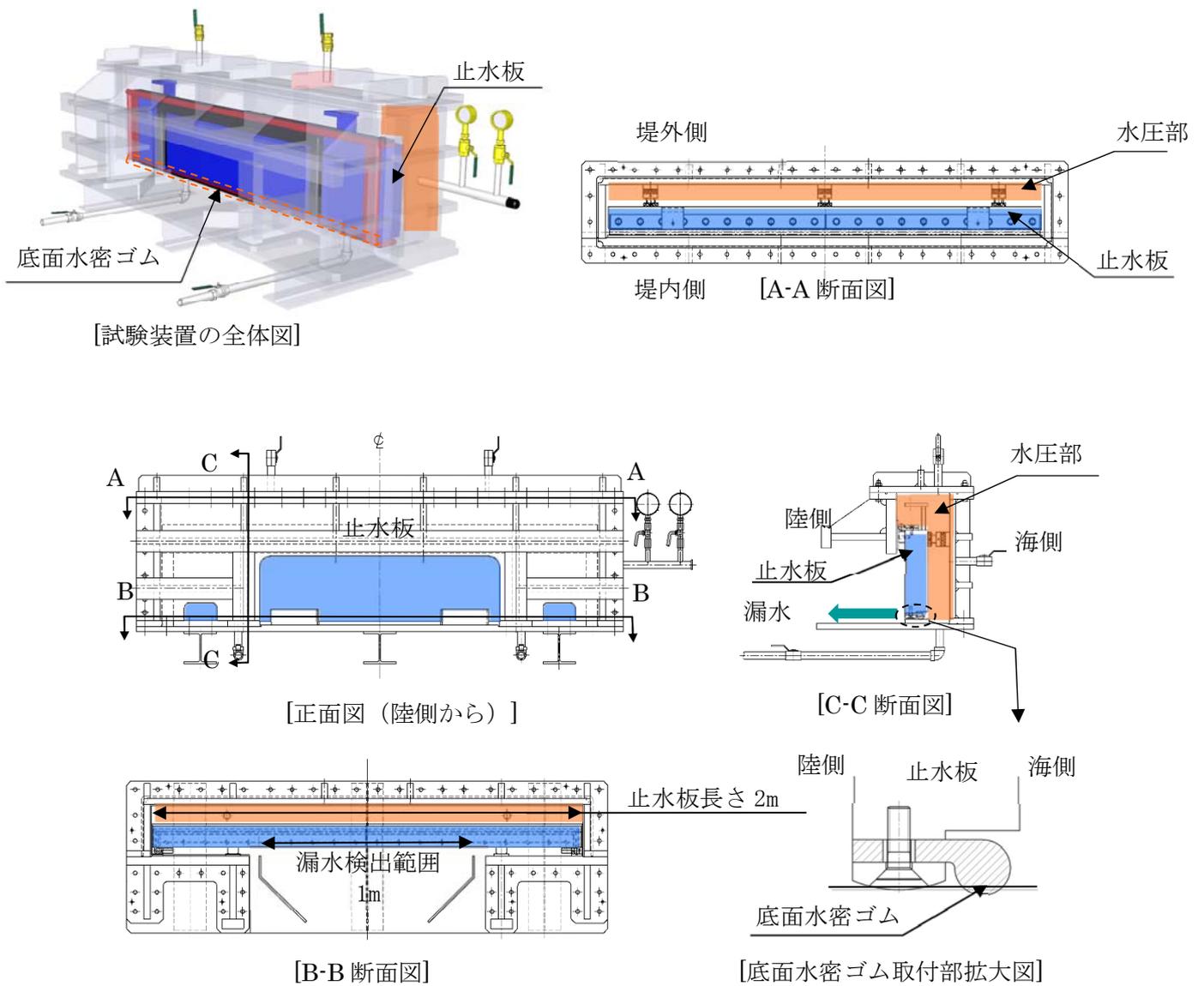


図 10 試験装置の概要図(例)