

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 の実証試験用入力地震動（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。

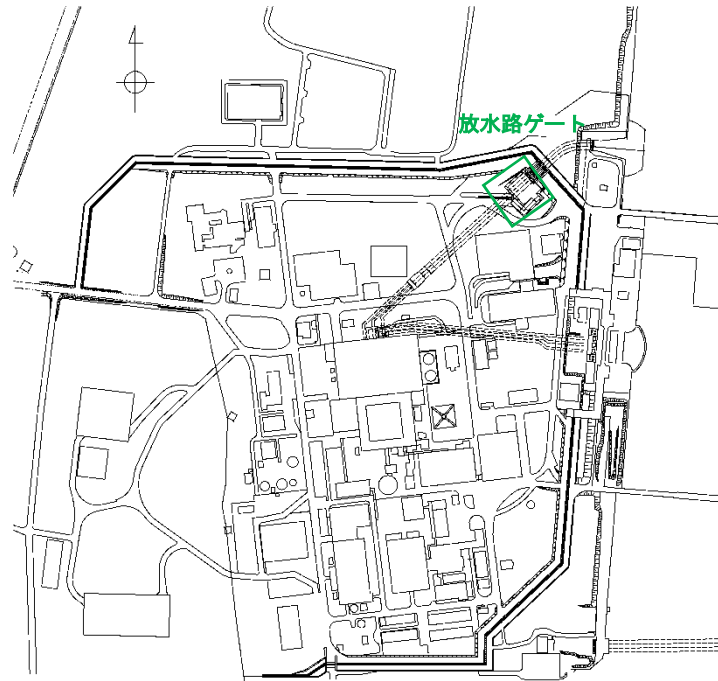


図1 放水路ゲートの位置図

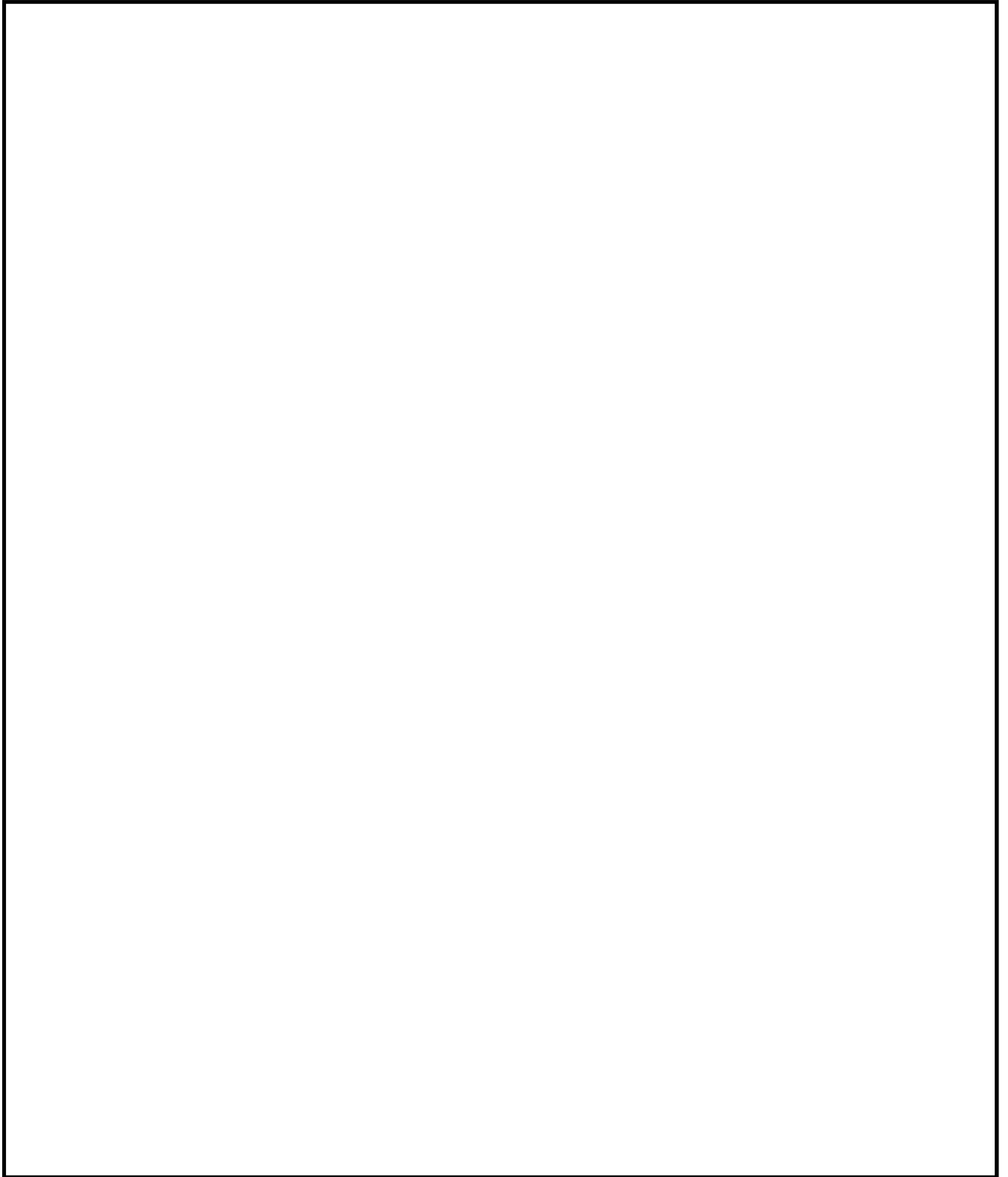
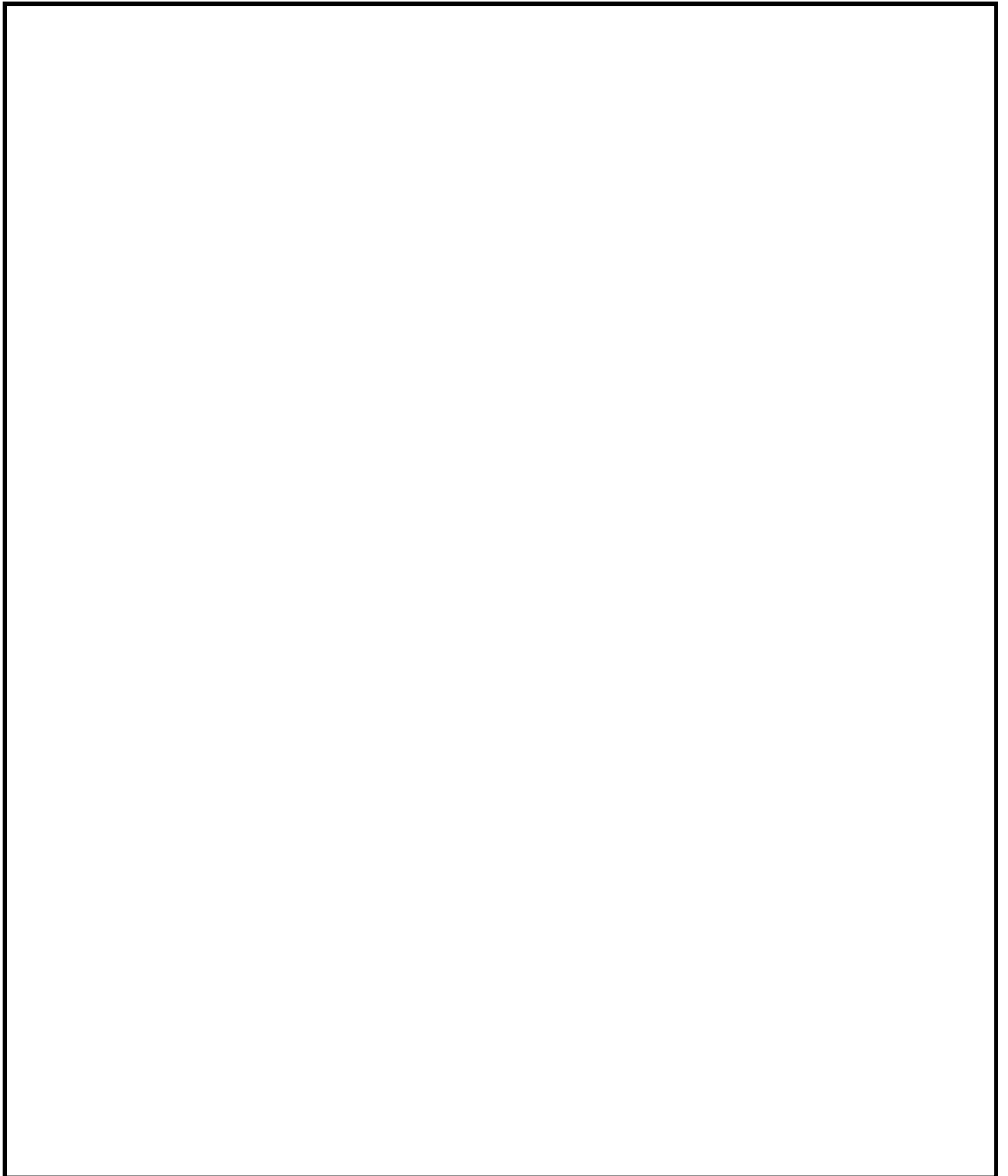
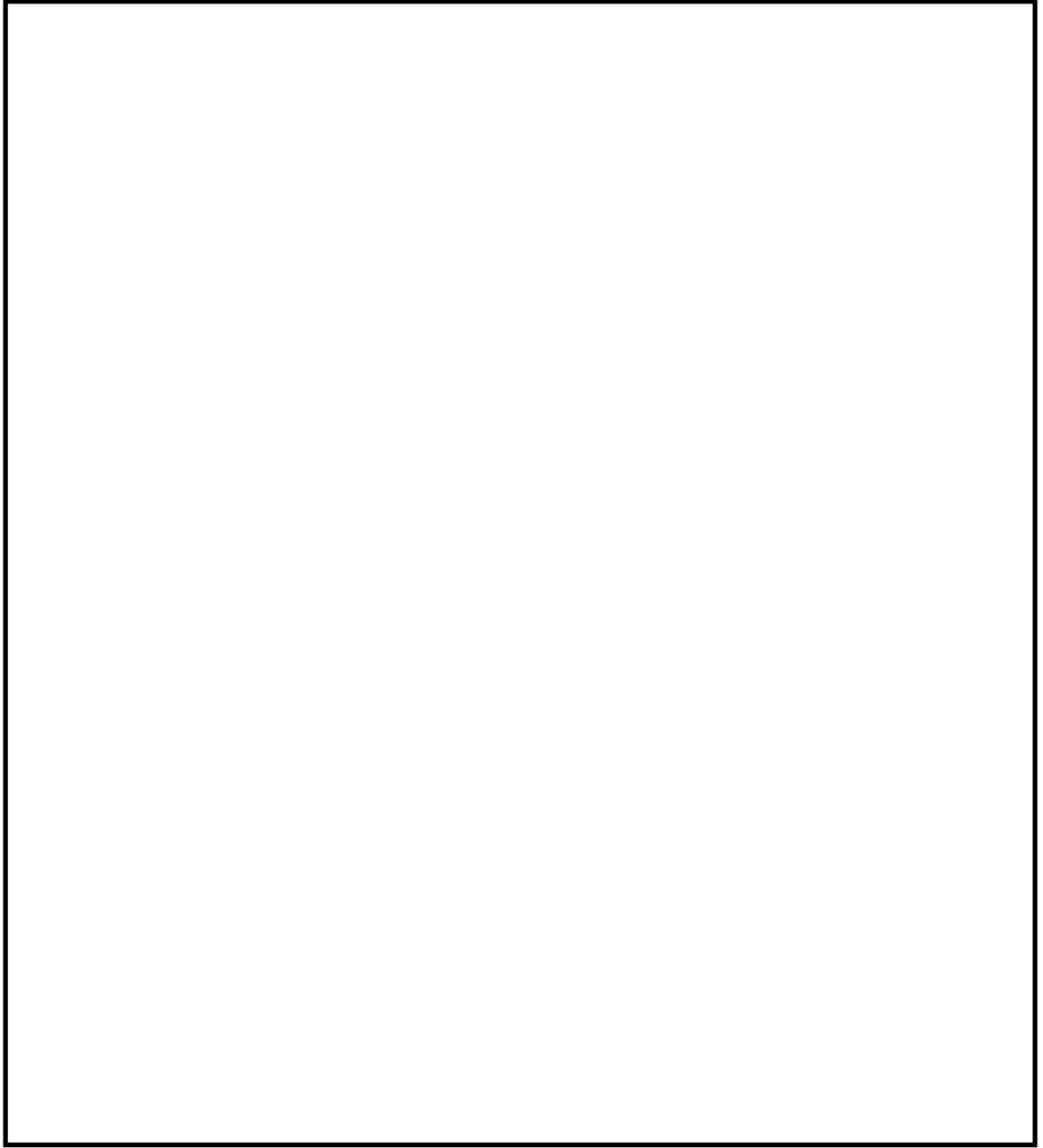


図2 鉄筋コンクリート防潮壁（放水路エリア）構造図



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_d 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。

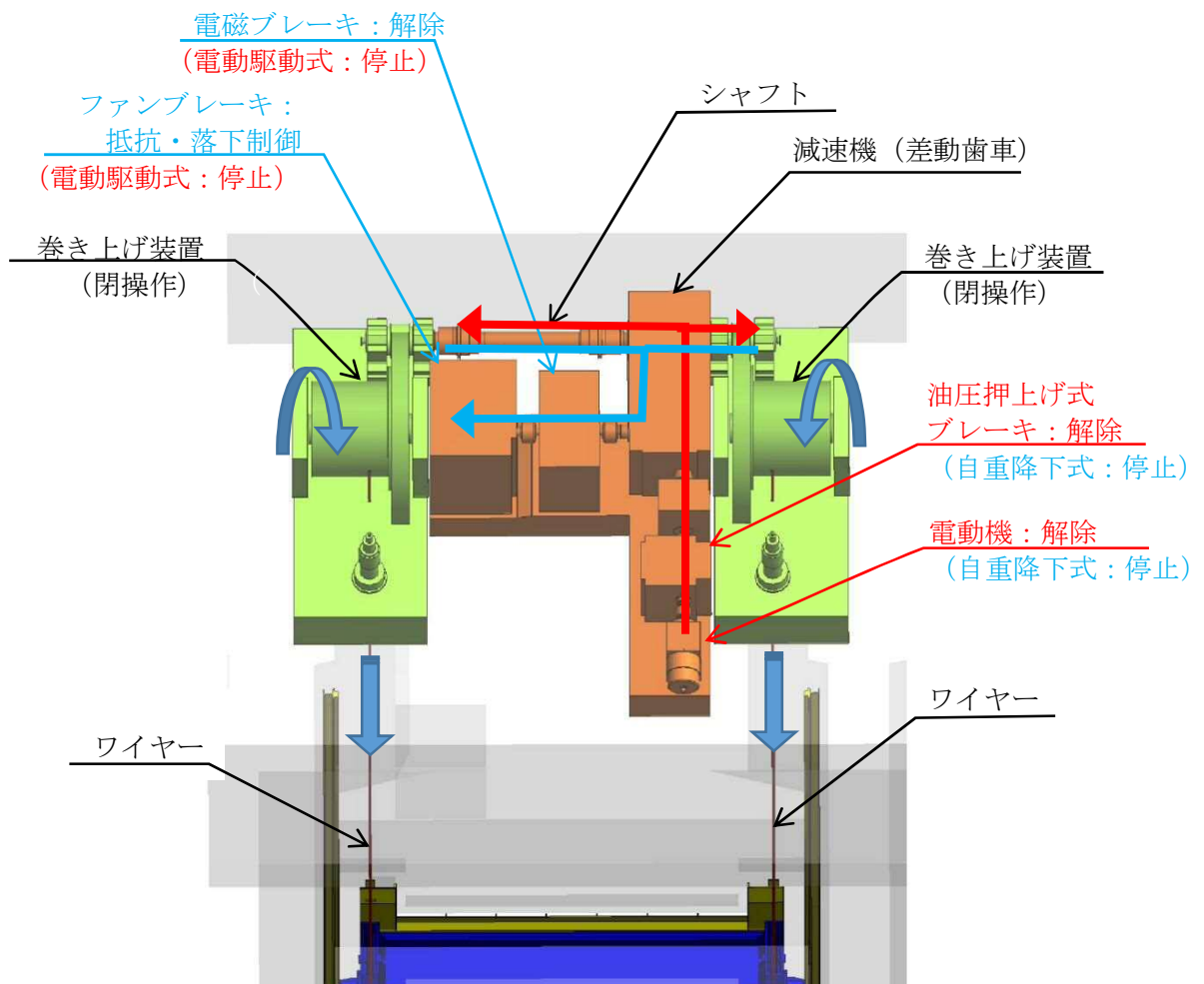
3. 安全機能（MS－1）要求に伴う設計について

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。



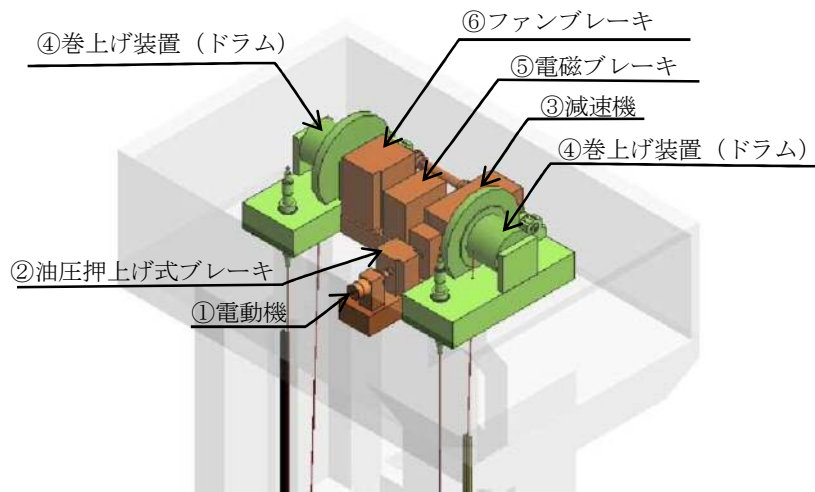
<記載凡例>

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

- ← (赤) : 電動駆動時 (電動機駆動) の駆動が伝達する流れ
- ← (青) : 自重降下式時 (自重降下) の駆動が伝達する流れ

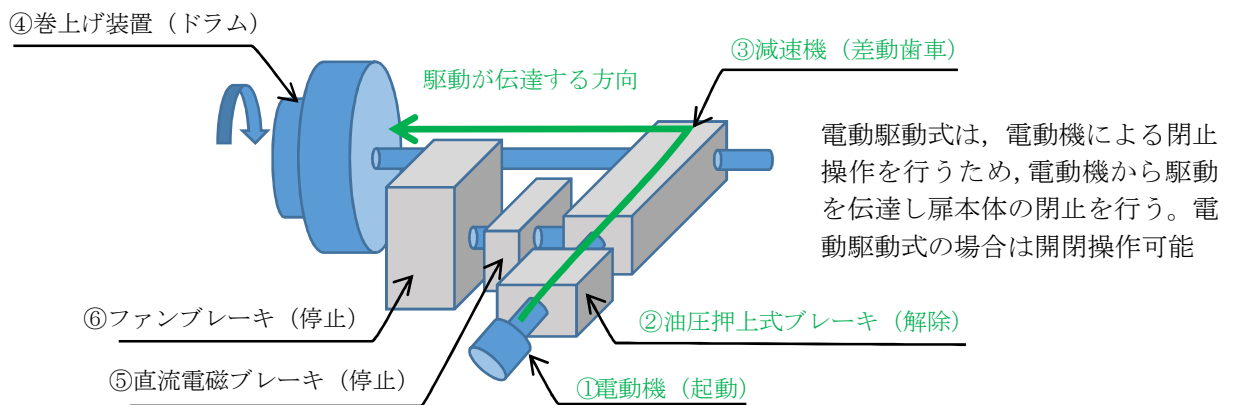
図5 放水路ゲートの開閉装置概念図

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】

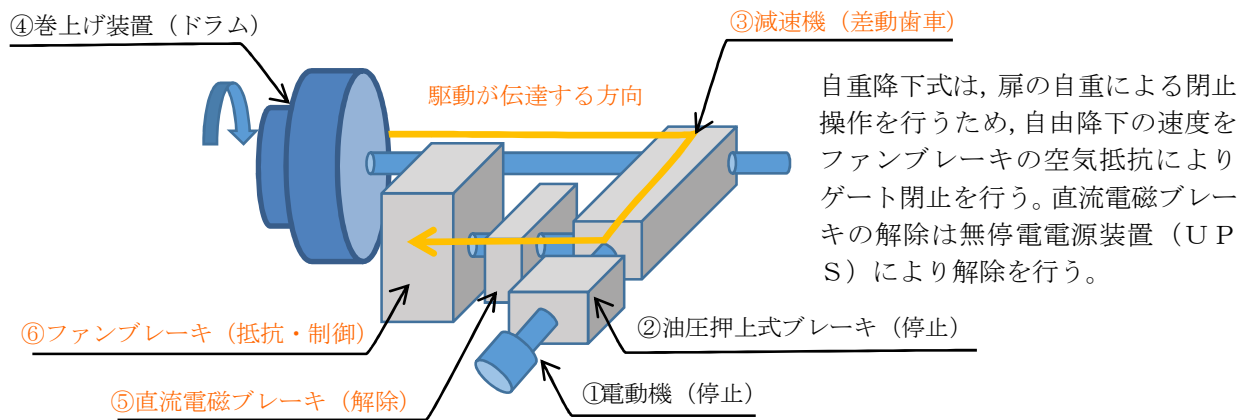
電動駆動式は①電動機を駆動，②油圧押し上げ式ブレーキを解除，③減速機，④巻き上げ装置を経由し放水路ゲートを閉止させる構造である。電動駆動式は開閉操作が可能である。（図 b 参照）



【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に無停電電源装置（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>

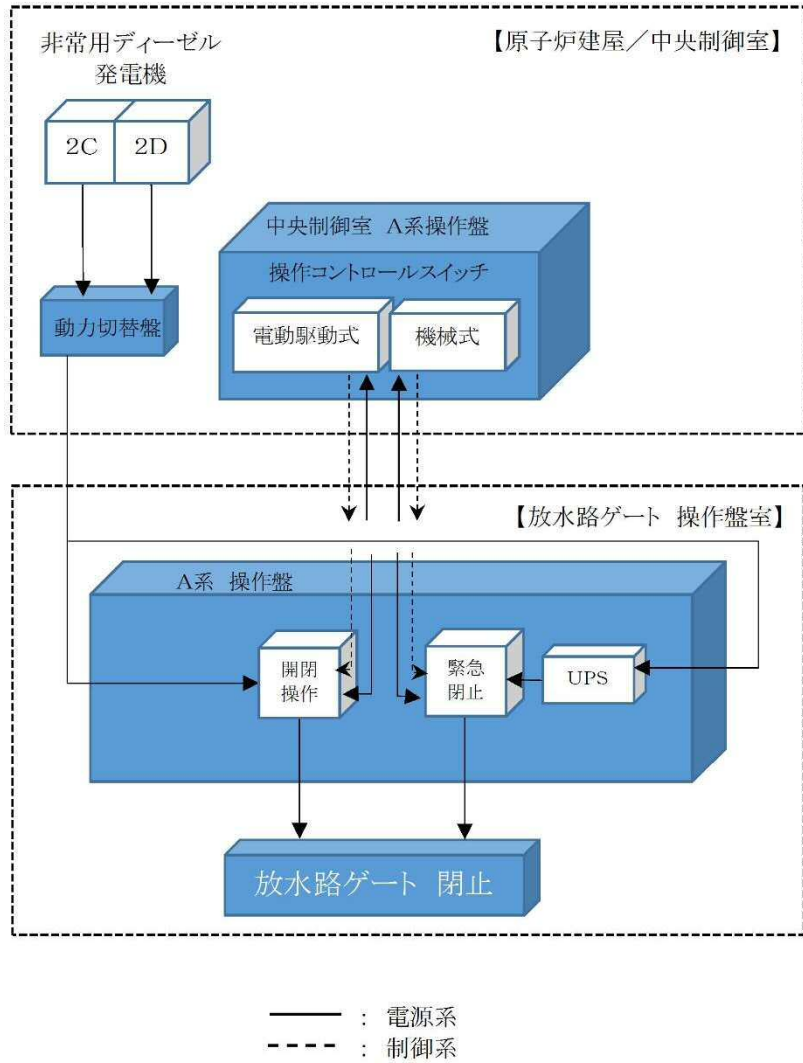


図7 放水路ゲート電源概念図 (A系の例)

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

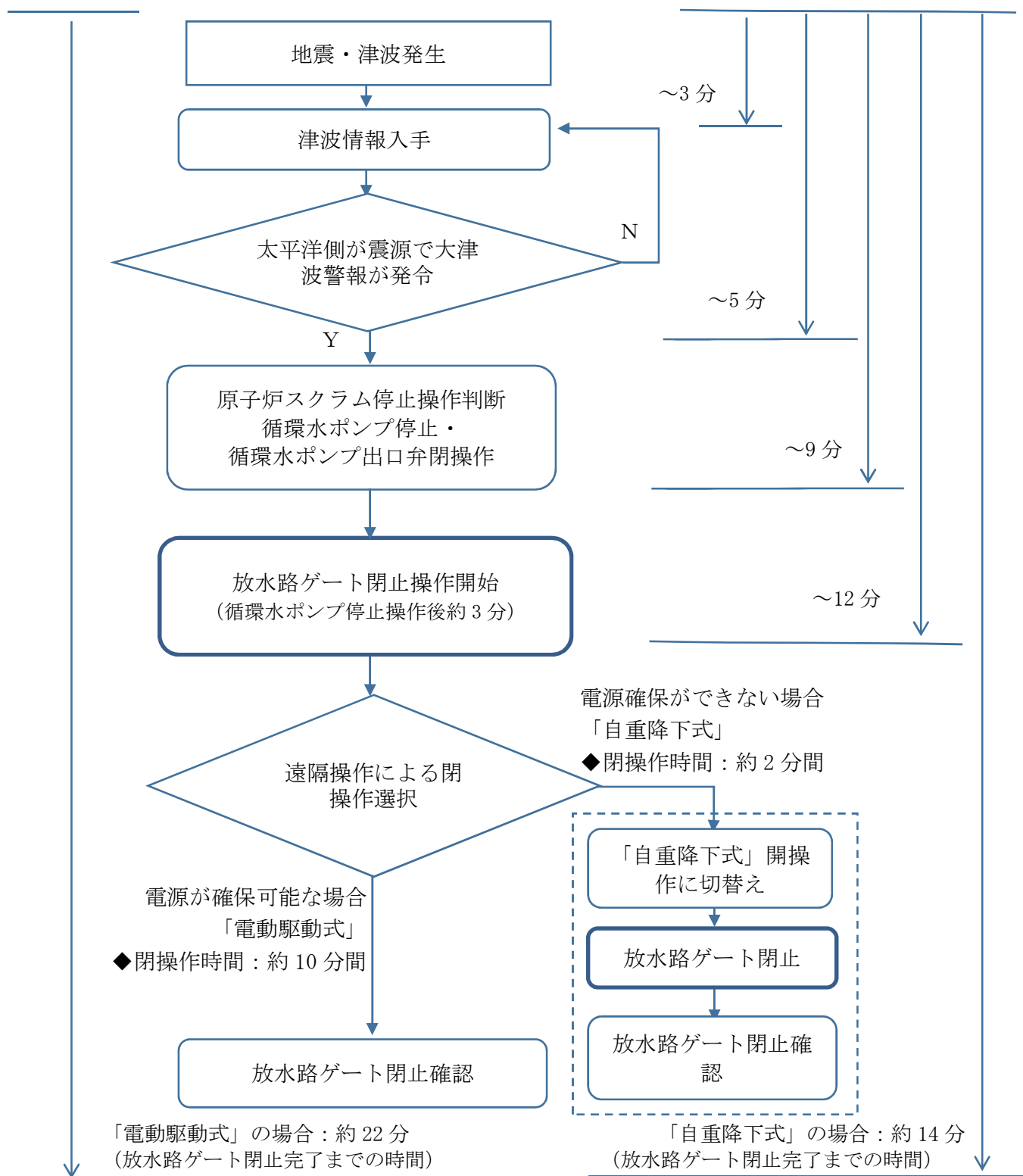


図8 放水路ゲート操作フロー

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

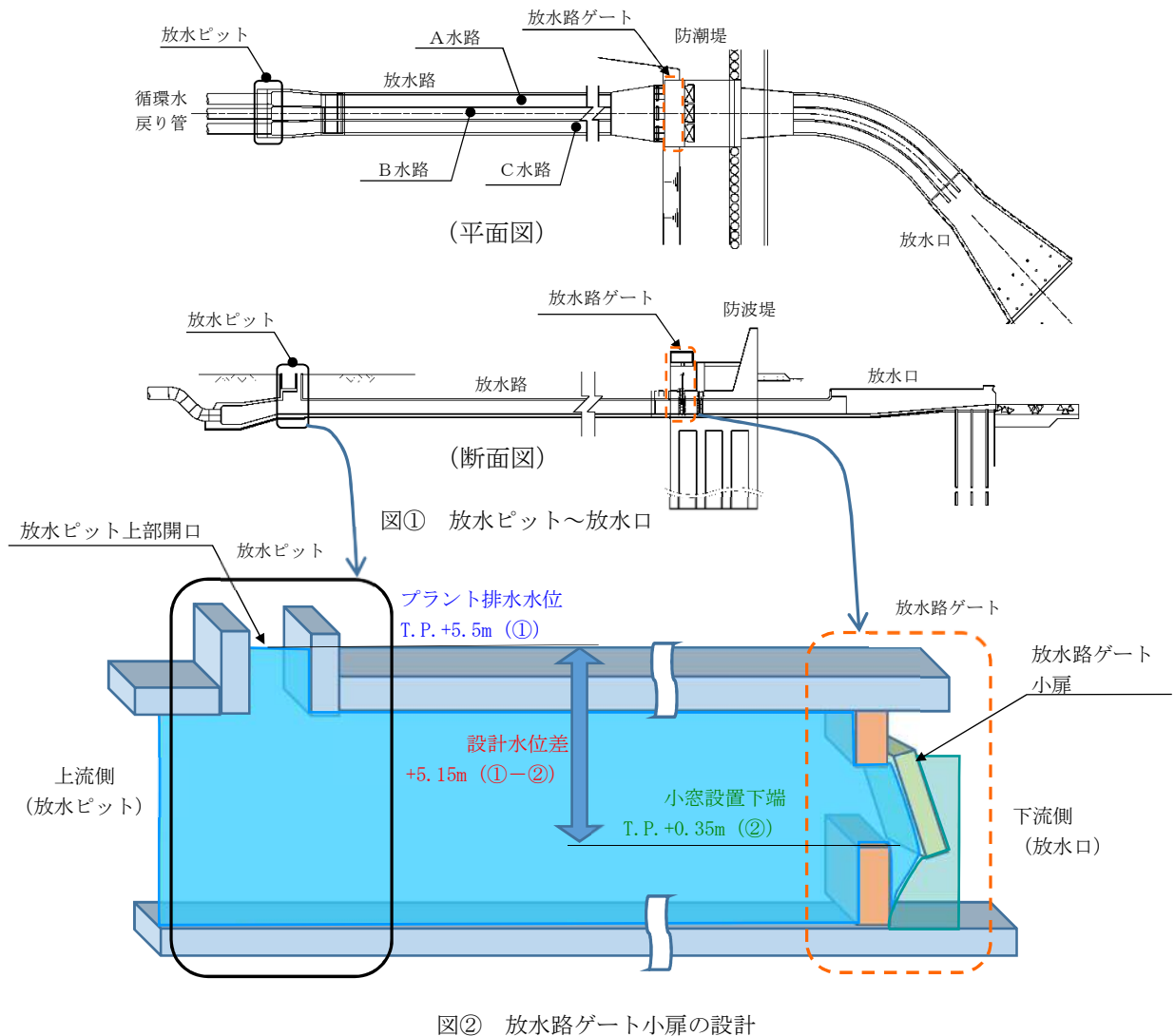
非常用海水ポンプの排水については既設放水路3本のうちいずれか2本より1本を用いて排水をする設計である。

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

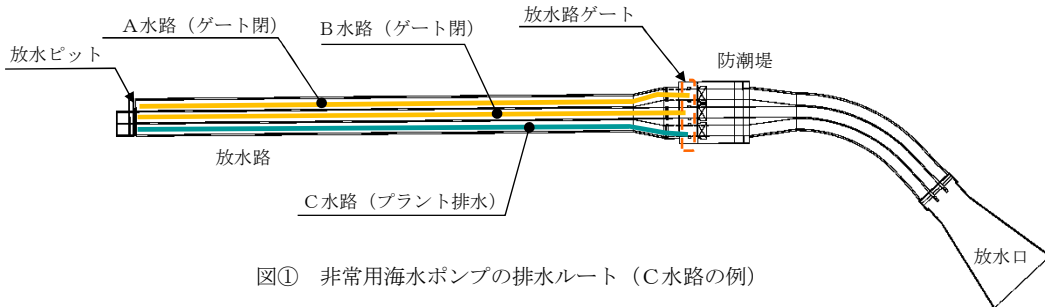
図② 放水路ゲート小扉の設計

- 【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
 - ・残留熱除去系海水系ポンプ : 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
 - ・補機冷却系海水系ポンプ : 2838 (m³/hr/台) × 2台

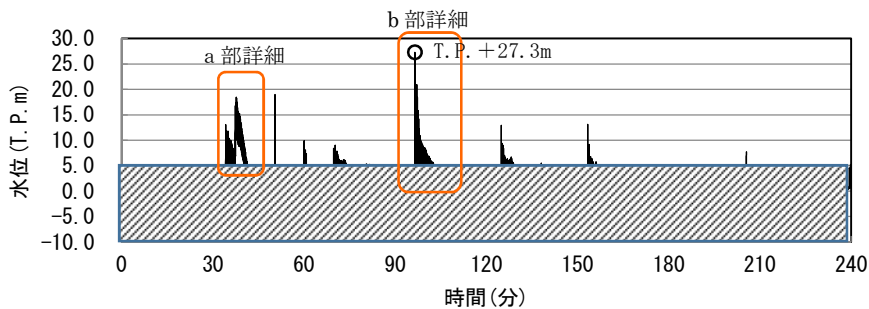
図9 放水路ゲートの小扉からの排水設計

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、保守的に漏水量を約7分として評価すると排水量に換算すると最大約1170m³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。仮に、1170m³海水ポンプ室（壁高さT.P. +6.6m以上）の敷地（T.P. +3.2m）に流入した場合においても約1m未満の浸水量であることから、安全機能への影響はない。図10に放水路ゲート閉止状態の排水イメージを示す。



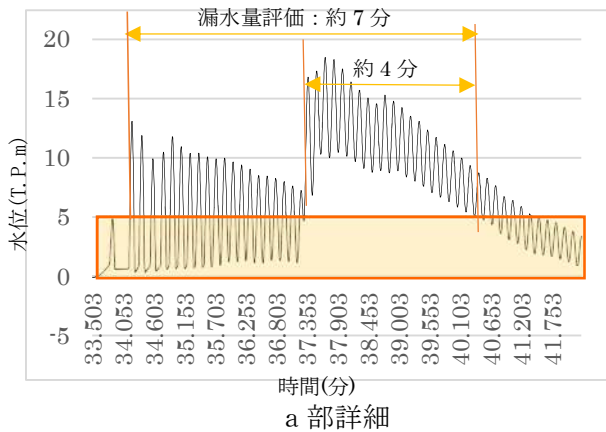
図① 非常用海水ポンプの排水ルート（C水路の例）



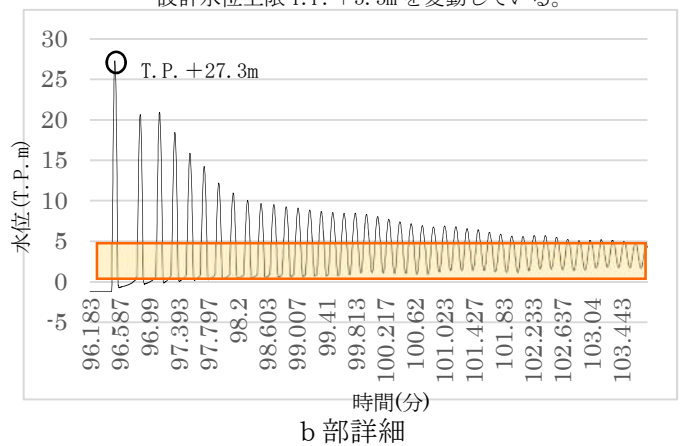
図② 放水路ゲート閉止した場合の時刻歴波形

水位は常に変動している。
設計水位上限の T.P. +5.5m を上回る時間は
約 4 分であり小窓は閉止している状況

水位は常に変動しており小窓が継続して閉まる
状態にはならない。
設計水位上限 T.P. +5.5m を変動している。



a 部詳細



b 部詳細

図10 放水路ゲート閉止時の排水イメージ

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)

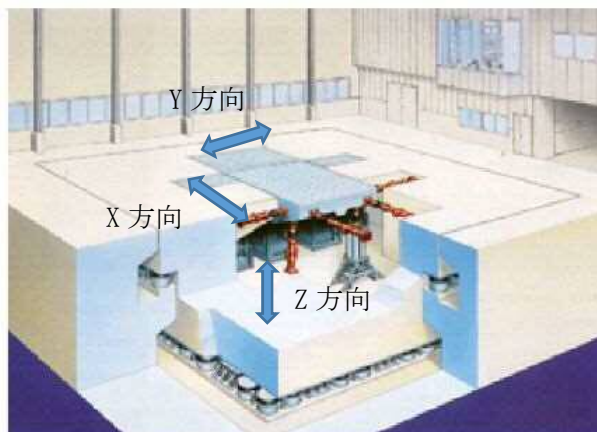


図11 大型3軸振動台の概要

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。 S_s
- 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実証試験用入力地震動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。

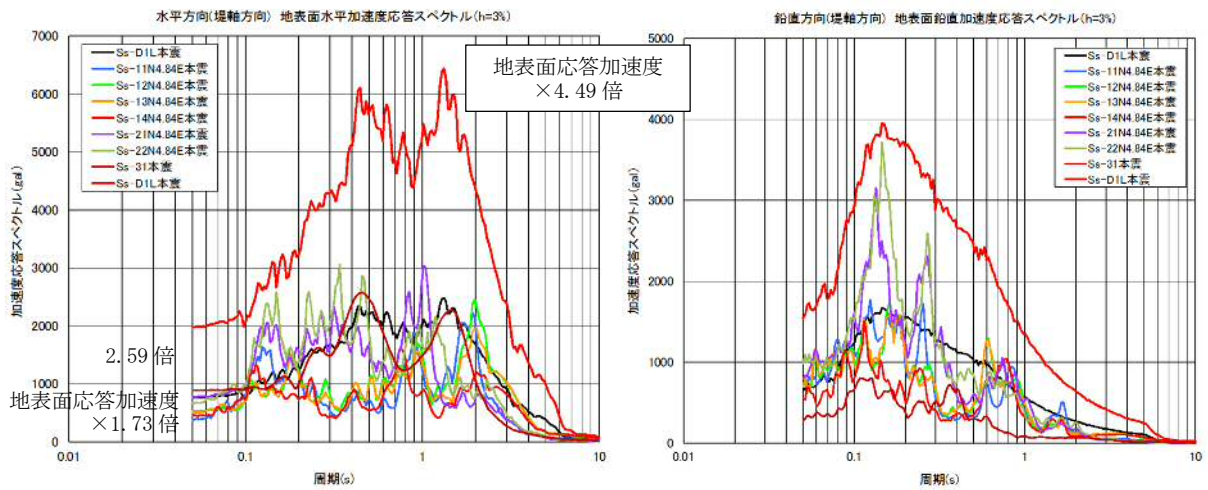
表3 地震波における加振条件（評価用）

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 -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

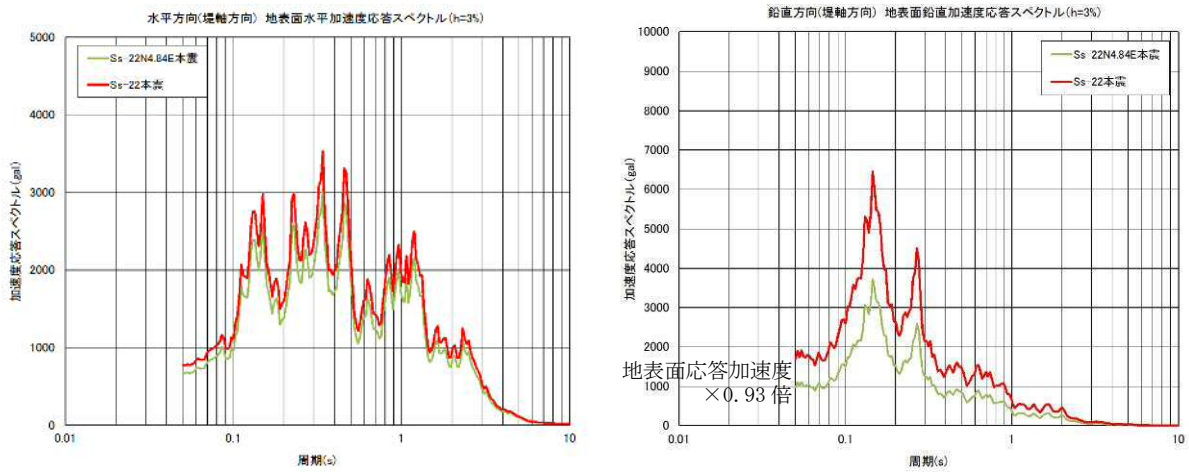
表4 地震波における加振条件（確認用）

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 -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

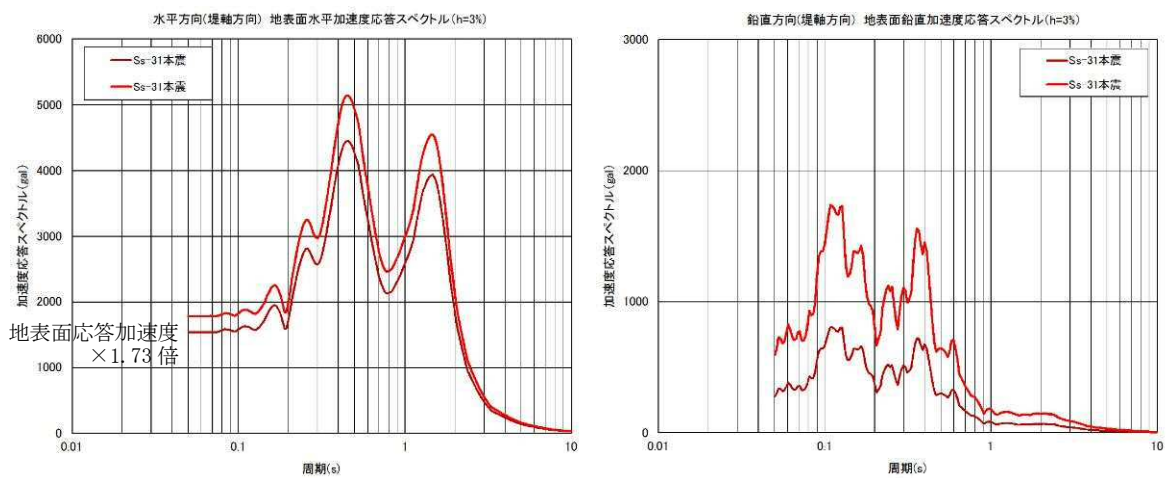
※振動試験装置の性能上1.61倍とした。



S_s-D1 (評価用：入力地震動)



S_s-22 (確認用：鉛直方向最大)



S_s-31 (確認用：水平方向最大)

図12 実証試験用入力地震動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とおり。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。

9. 実証試験用入力地震動による動的機能維持の評価

a. 実証試験用入力地震動による基準地震動 S_s の包絡性について

基準地震動 S_s に対する開閉装置の振動試験に用いた実証試験用入力地震動との包絡性について、以下のとおり基準地震動 S_s を包絡していることを確認した。

図 13 に放水路ゲートの実証試験用入力地震動と基準地震動 S_s の加速度応答スペクトルを示す。

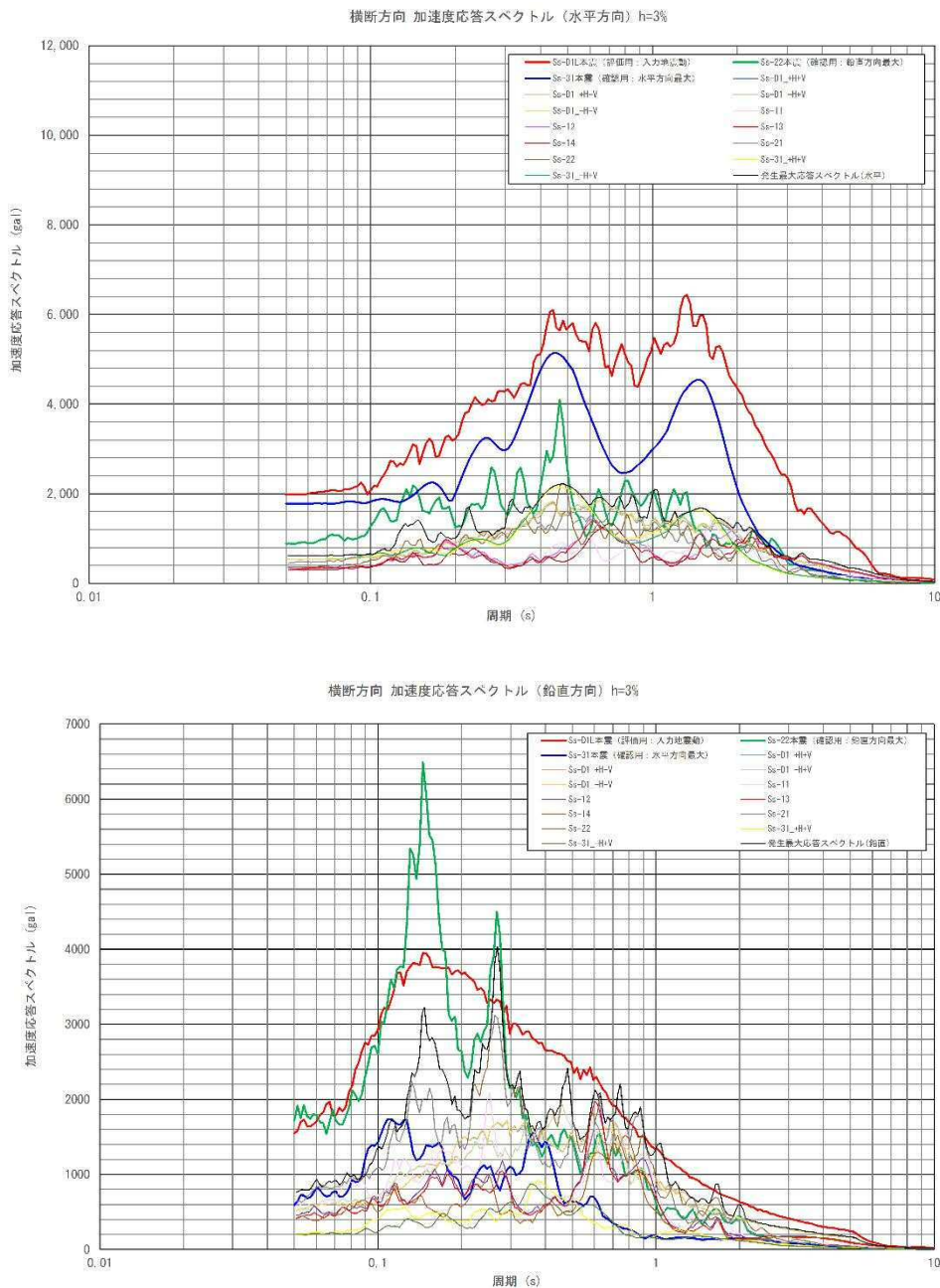
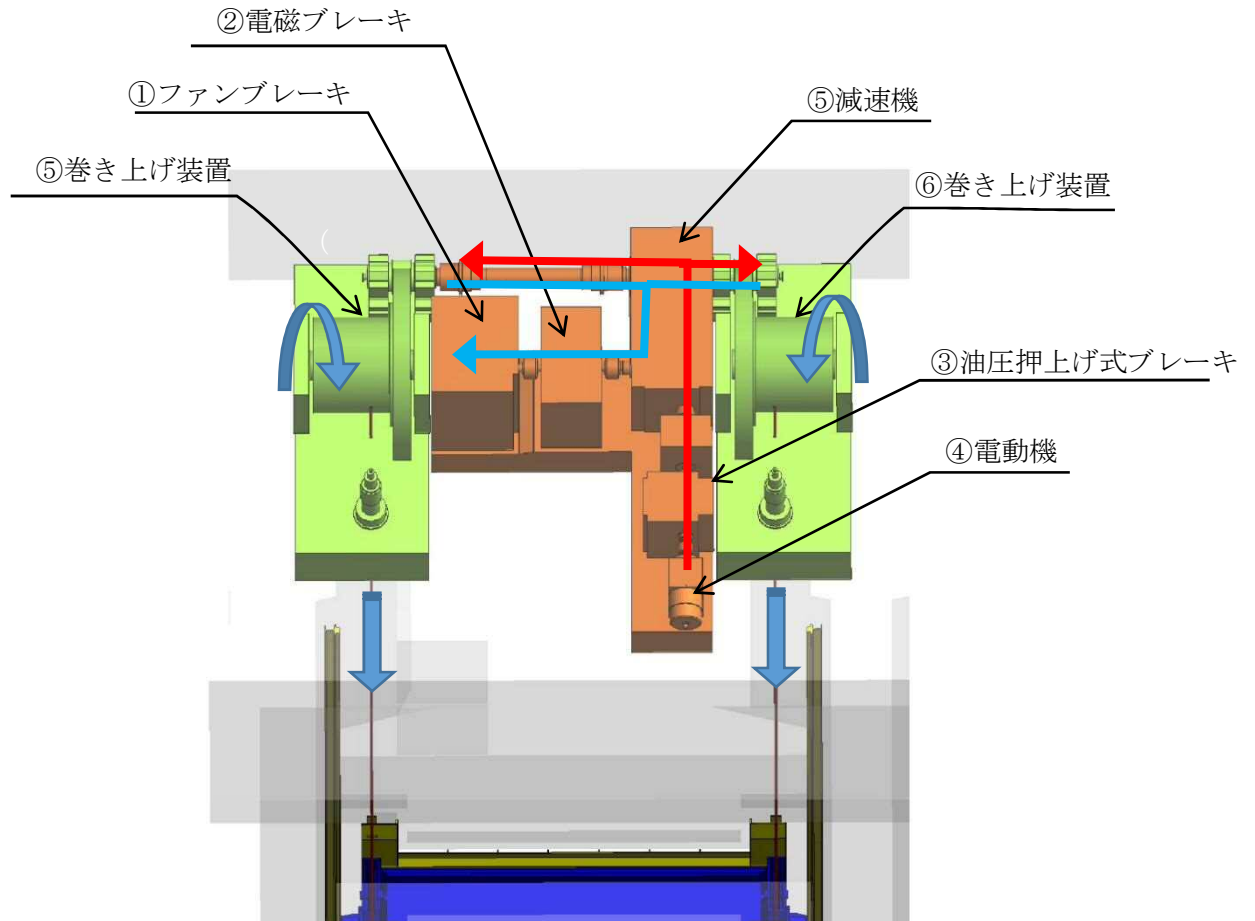


図 13 放水路ゲートの実証試験用入力地震動と基準地震動 S_s の加速度応答スペクトル

b. 開閉装置の固有周期

放水路ゲートの開閉装置設備の固有周期は図 14 に示す。

開閉装置の構成する設備は剛構造（20Hz 以上）で設計されている。



主要設備の固有周期

部位	①ファンブレーキ	②電磁ブレーキ	③油圧押し上げ式ブレーキ	④電動機	⑤減速機	⑥巻き上げ装置
固有周期 (Hz)	41.9	23.3	23.4	66.7	23.4	30.3

図 14 放水路ゲートの開閉装置設備の固有周期

c. 振動試験における振動台への入力波形と各設備の固有周期

振動台への入力波形と各設備の固有周期を示す。各設備の固有周期が存在する領域において入力波形は基準地震動 S_0 を包絡しており、振動試験における動的機能は維持できていると評価する。放水路ゲートの加速度応答スペクトルを図 13 に示す。

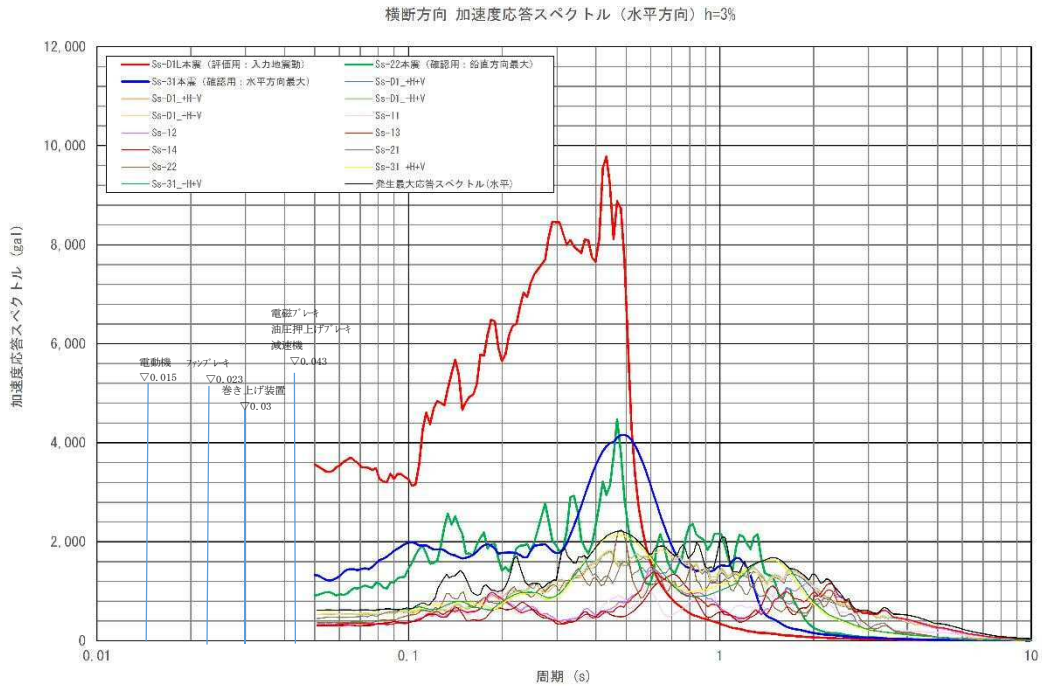


図 15 (1/2) 横断方向 加速度応答スペクトル (水平方向)
 <放水路ゲート>

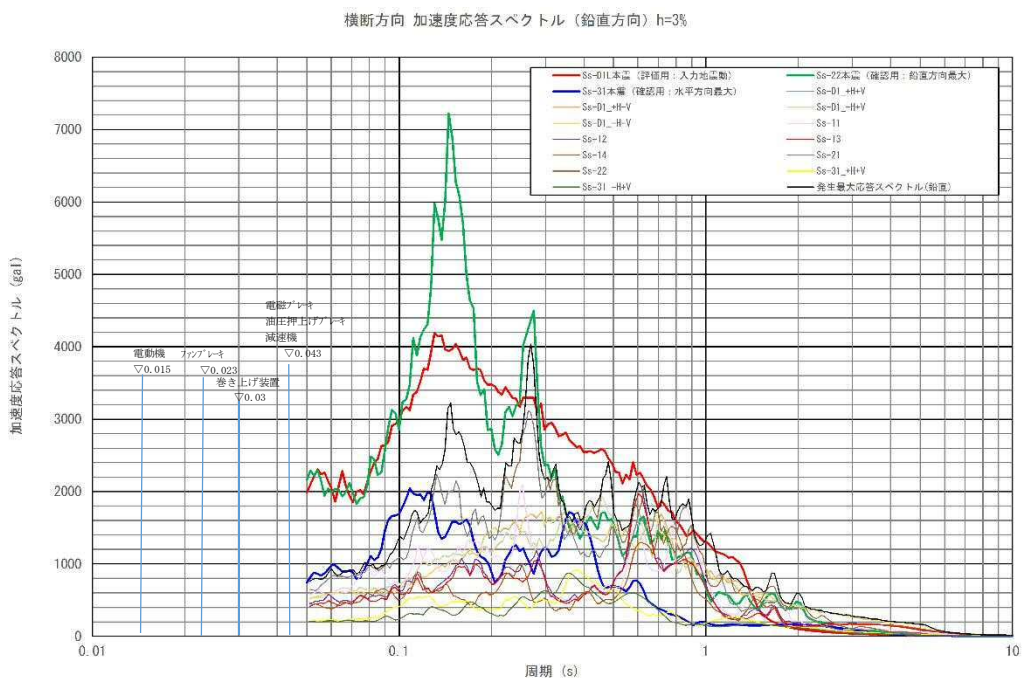


図 15 (2/2) 横断方向 加速度応答スペクトル (鉛直方向)
 <放水路ゲート>

(4) 機能維持評価

放水路ゲートの閉止機能維持評価について、表 5 に示す。

なお、評価用加速度は「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

防潮扉は地震時止水機能維持を加振試験により確認しているため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、加振試験により確認した加速度を適用する。

放水路ゲートの機能確認済加速度には、加振試験により止水機能の健全性を確認した振動台の最大加速度を適用する。

表 5 基準地震動 S_g による駆動装置の評価結果

(単位： $\times 9.8m/s^2$)

部 位	機能確認済加速度との比較			
	水平加速度		鉛直加速度	
	応答加速度	機能確認済 加速度	応答加速度	機能確認済加 速度
駆動装置（放水路ゲート）	0.89	2.2	0.70	1.6

【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	0.50MPa ^{※2} 以上
許容漏えい量 ^{※1}	19.0 ℓ/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：防潮ゲートの波圧（0.45MPa）に対して保守性を持たせて設定した値。

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、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 16 に試験装置の概要図（例）を示す。

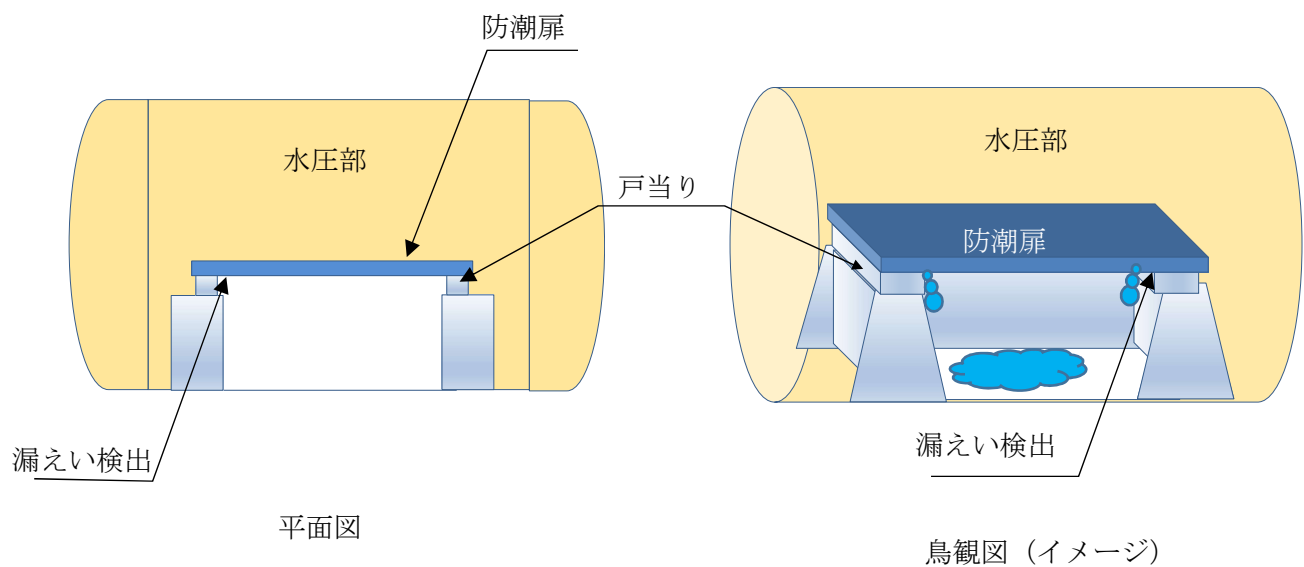


図 16 試験装置の概要図（例）

10. 放水路ゲートの耐震・強度計算方法について

(1) 開閉状態による評価の考え方について

放水路ゲートの耐震評価として放水路ゲートの「開状態」「閉状態」が存在し、実際に大規模な地震（基準地震動 S_s 等）が発生した場合には、「開状態」になる。ここでは、工事計画認可申請書の計算書の場合において、「閉状態」にて実施している理由を示す。

放水路ゲートの「開状態」と「閉状態」では、機能要求に伴う評価部位が異なることから、工事計画認可申請書上の耐震計算書の対象は、特に機能要求が高い止水性と開閉機能の要求のある「閉状態」の評価を行う。表4に放水路ゲートの開閉状態における荷重条件、表5に放水路ゲートの耐震評価における機能要求と評価部位について示す。

表4 放水路ゲートの開閉状態における主な荷重条件

		地震荷重	津波荷重	その他荷重	備考
強度	開状態	—	—	—	
	閉状態	○余震	○津波		評価条件
耐震	開状態	○	—	—	
	閉状態	○		○プラント排水	・評価条件 ・プラント排水は静水圧と動水圧を考慮

表5 耐震評価における機能要求と評価部位

ゲート状態	荷重の組合せ*1	機能要求	評価部位	評価
開状態	$G + K_s + P_s + W_k$	・耐震強度	①ガイドレール, ガイドローラ 軸, ブラケット ②ワイヤー	設計確認
閉状態	$G + K_s + P_s + W_k +$ 静水圧*1 + 動水圧*1	・耐震強度 ・止水機能 ・開閉機能	①扉体 (スキンプレート, 主桁, 縦補助桁, 端桁) ②支圧板 ③小扉 ④戸当り ⑤駆動装置	強度計算書

*1: G は固定荷重, K_s は地震荷重, P_s は積雪荷重, W_k は風荷重を示す。

*2: 静水圧と動水圧は, プラント排水を考慮する。

耐震評価における放水路ゲートの「開状態」での評価部位及び評価応力は、図 13 のとおり。評価部位については、詳細設計にて確認する。

評価部位	材 料	評価応力
ガイドレール※	SS400、(SUS304)	曲げ，せん断， コンクリートせん断
ガイドローラ・軸・ブラケット	SUS304、SM490A	曲げ，せん断
ワイヤー	6×WS (36) B種メッキ	引張り
軸	SUS304	曲げ，せん断

※ガイドレールのコンクリート部についても評価する。

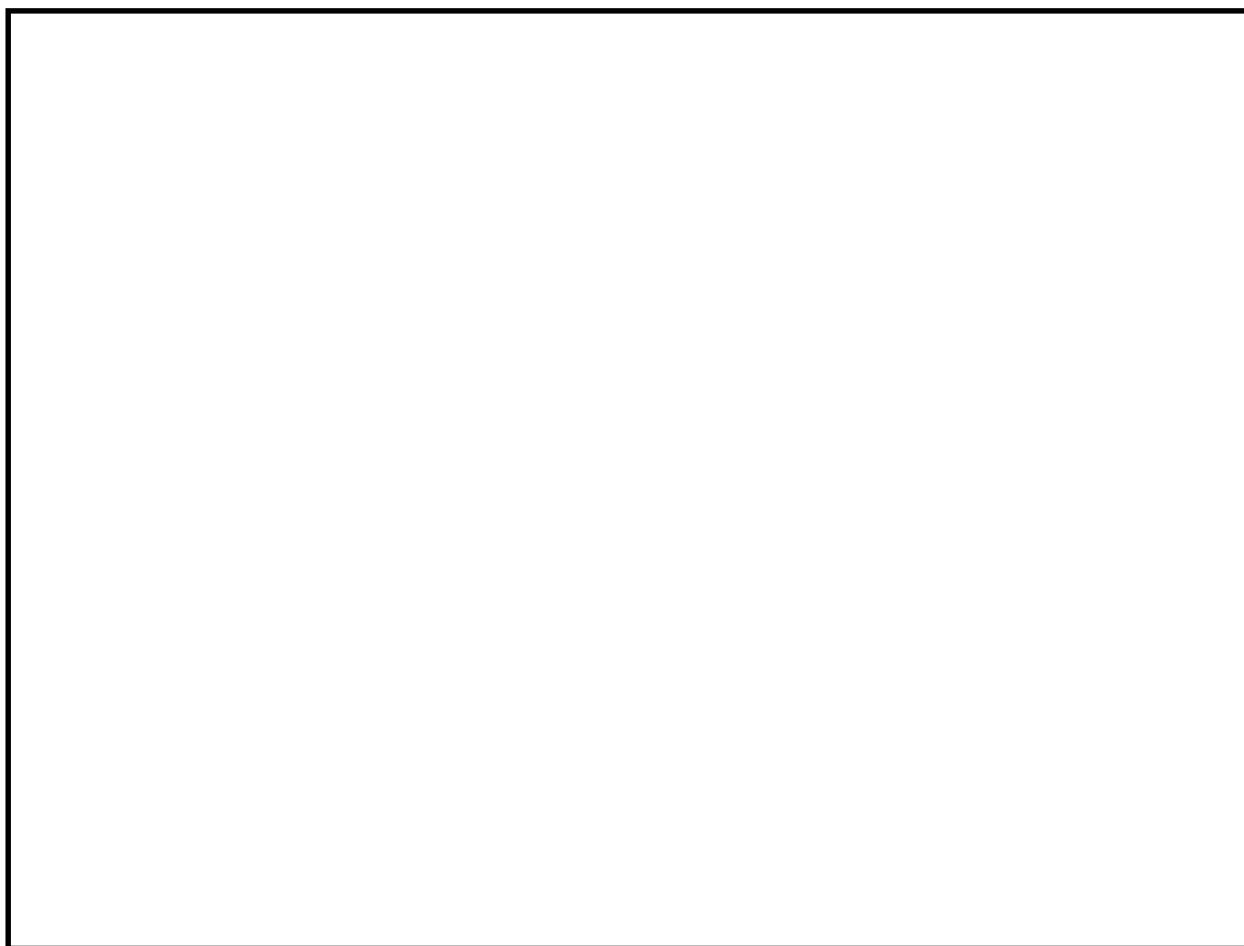


図 13 放水路ゲートの「開状態」における評価部位（設計確認）

耐震評価における放水路ゲートの「閉状態」での評価部位及び評価内容は、図 14 のとおり。評価部位については、工事計画認可申請書にて確認する。

評価部位	材 料	評価応力
スキンプレート	SM490	曲げ
主桁		曲げ，せん断
縦補助桁		曲げ，せん断
端桁		圧縮
支圧板	SUS304	支圧
小扉	SM490	曲げ
戸当り※		曲げ，せん断

※戸当りのコンクリート部についても評価する。

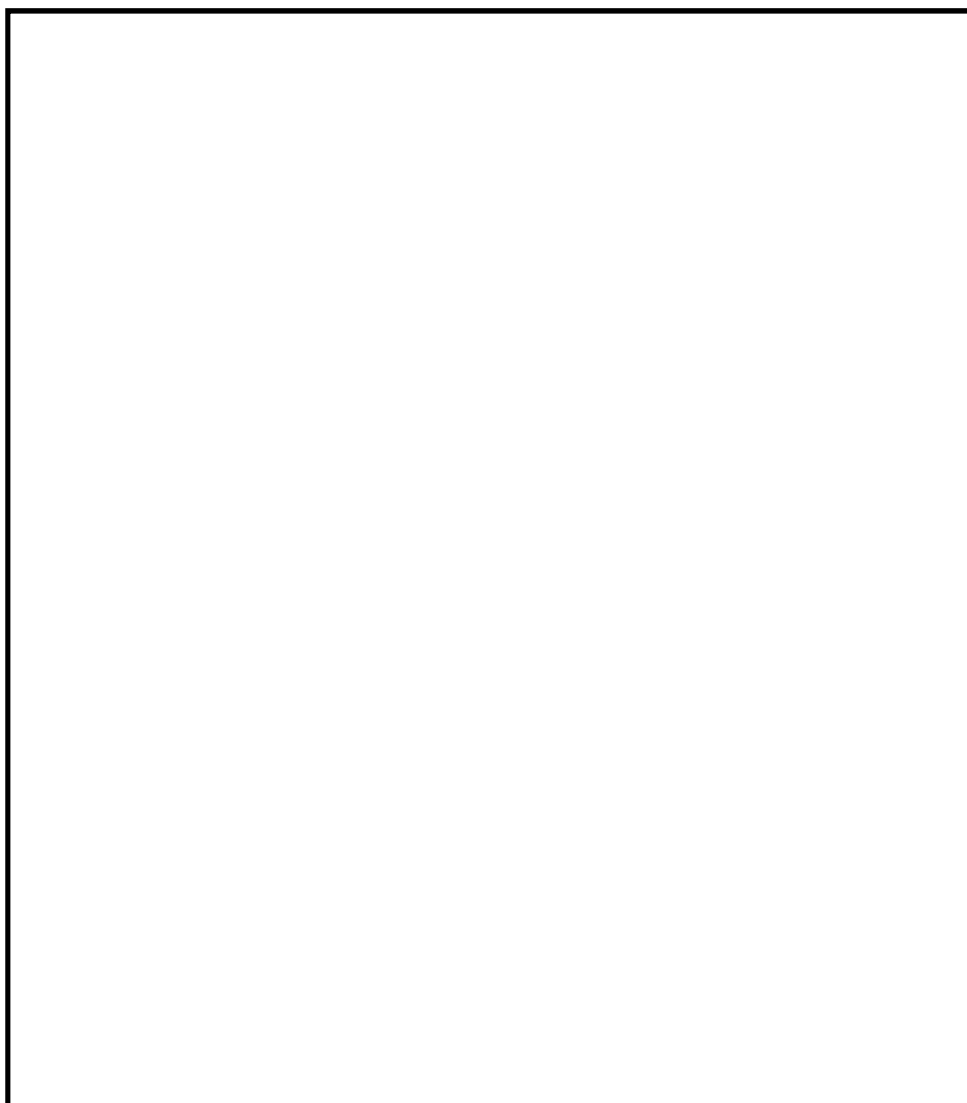


図 14 放水路ゲート「閉状態」における評価部位（工事認可申請）

(2) 放水路ゲートの許容応力算出に伴う横倒れ座屈の考え方について

ダム・堰施設技術基準（案）より、桁がスキンプレート等で直接固定されている場合には、曲げによる横倒れが起こりにくいことから、許容曲げ応力度はその上限値まで考慮できる。そのため、曲げ応力が働く方向にスキンプレートがある場合、横倒れ座屈を考慮する必要はない。

放水路ゲートについては、プラント排水及び津波による上下流からの水圧を考慮する必要があることから、地震時、津波時のモードについて「主桁」と「縦補助桁」の部材に横倒れ座屈を考慮する。放水路ゲートの構造による横倒れ座屈の考慮の有無について以下に説明する。

a. 放水路ゲートが受ける流体の方向

放水路ゲートの閉止時は、プラントからの排水による放水ピットから放水口へ向かう方向（方向①：地震時）及び津波による放水口から放水ピットへ向かう方向（方向②：津波時）の2つの方向より流体が流れる。図 15 に放水路ゲートが受ける流体の流れを示す。

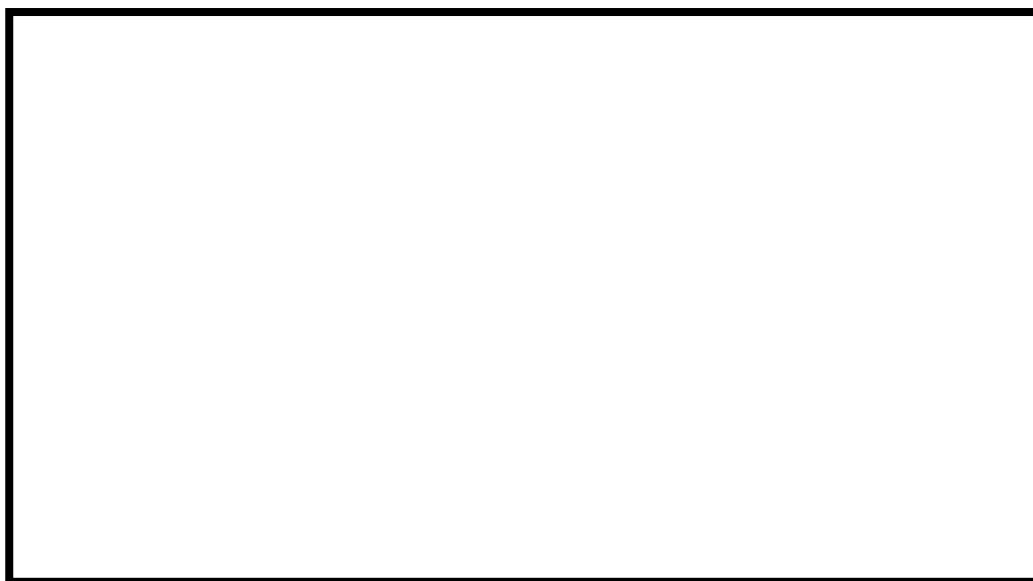


図 15 放水路ゲートが受ける流体の流れ

b. 評価結果

地震時と津波時における横倒れ座屈の考え方を説明する。

(a) 地震時

地震時においては、プラント排水の水圧を考慮することから、方向①（青矢印）より流体が流れる。

方向①の水圧により、曲げ応力が（黒太矢印）が発生することから、主桁及び縦補助桁が破線のように撓み、横倒れ座屈が発生するため、横倒れ座屈を考慮した許容応力を算出する。詳細の流れを図 16 及び図 17 に示す。

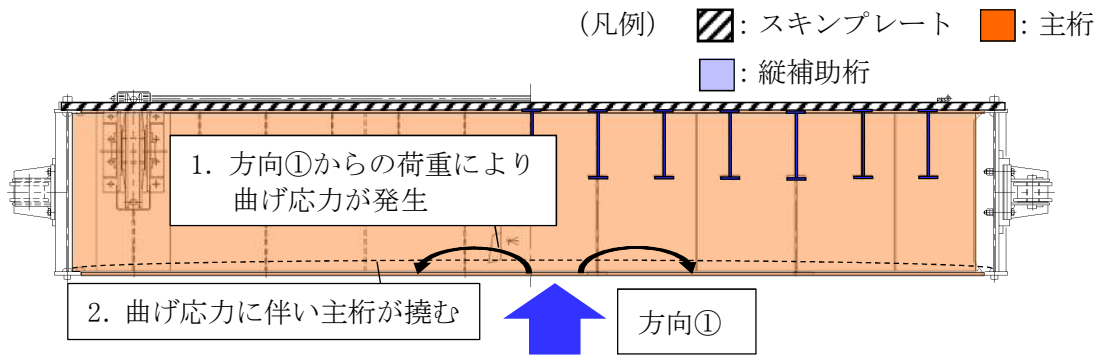
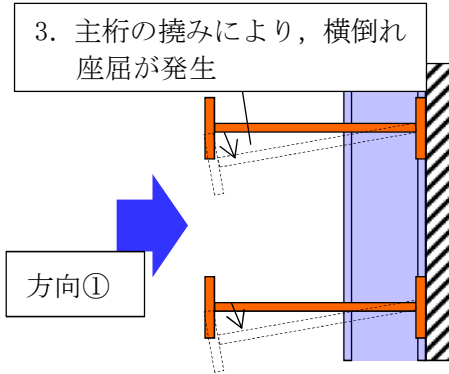


図 16 主桁にかかる横倒れ座屈

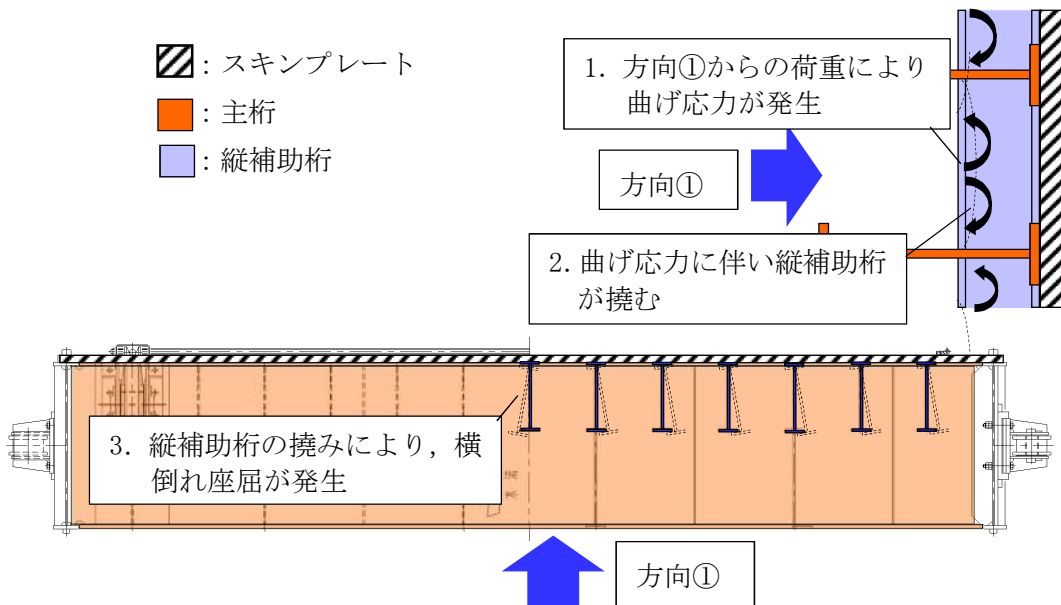


図 17 縦補助桁にかかる横倒れ座屈

(b) 津波時

津波時には、津波を考慮することから、方向②（赤矢印）より流体が流れる。

方向②の水圧により、曲げ応力（黒太矢印）が発生し、主桁及び縦補助桁が破線上のように撓むが、スキムプレート（黒斜線）により主桁及び縦補助桁が固定されていることから、構造上撓みが発生し難いため、横倒れ座屈を考慮せず許容応力を算出する。詳細な流れを図 18 及び図 19 に示す。

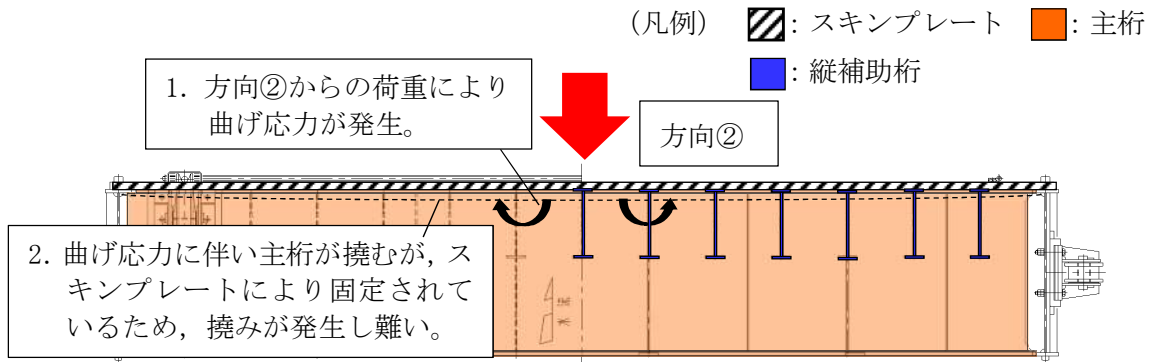
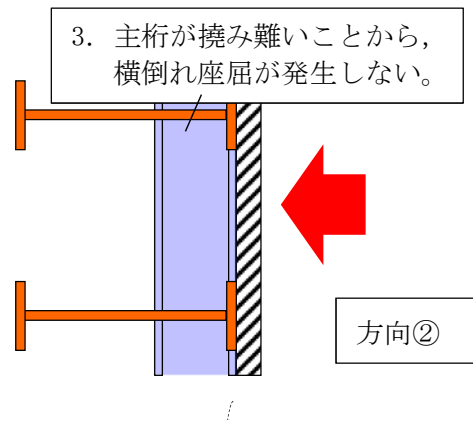


図 18 主桁にかかる横倒れ座屈

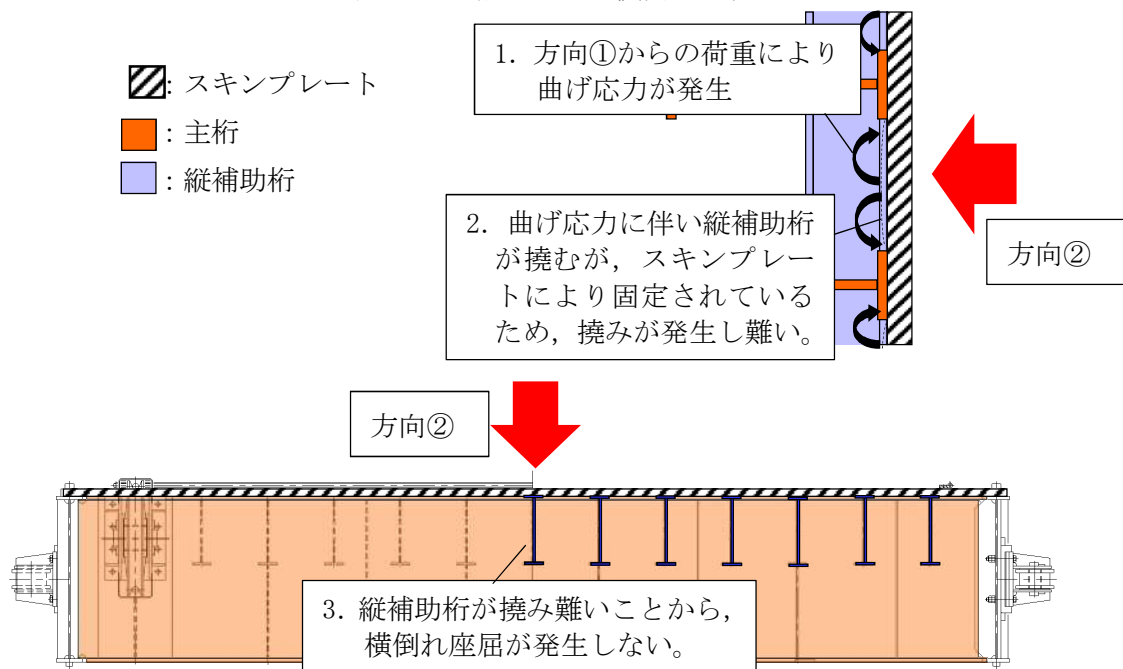


図 19 縦補助桁にかかる横倒れ座屈

(3) 耐震・強度評価方法について

放水路ゲートについての考え方を以下に記す。

a. 基本的な考え方

地震時、津波時及び重畳時において発生する荷重（衝突荷重を除く）の考慮すべき荷重について、単位面積当たりの荷重を求め、それぞれの評価部位に対する面積を乗ずることで荷重を設定する。

なお衝突荷重においては、単位面積当たりの荷重を求めず、添付書類「V-3-別添 3-2-2 放水路ゲートの強度計算書」に示す衝突荷重を考慮する。

b. 主桁にかかる扉体自重による荷重 (W)

主桁を支点とした梁としてモデル化し、その支点に係る荷重にて計算する。荷重の分布について、地震時においてはゲート閉止時にて評価することから、プラント排水の動水圧を考慮し、長さに比例し荷重が上がる分布荷重とする。津波時においても同様に、津波の荷重を考慮することから、長さに比例し荷重が上がる分布荷重とする。荷重の分布及び梁モデル図について、図 20 及び図 21 に示す。

本書では参考に No2 の桁を示す。

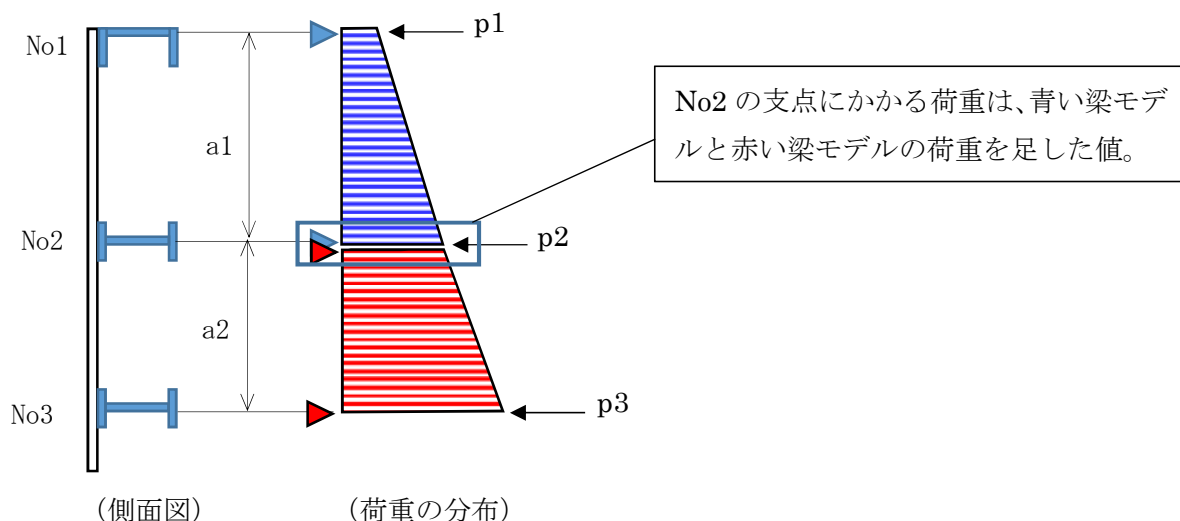


図 20 主桁にかかる荷重の分布図

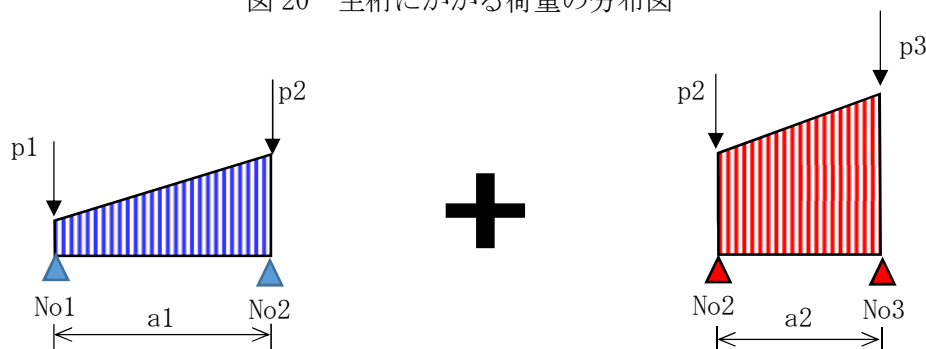


図 21 荷重の梁モデル図

No2 支点にかかる青い梁モデル	No2 支点にかかる赤い梁モデル
$W_1 = \frac{(p_1 + 2 \times p_2) \times a_1}{6}$	$\frac{(2 \times p_2 + p_3) \times a_2}{6}$

ここに、

W_1 : 主桁にかかる荷重 (kN/m)

p_1 : No1 にかかる単位面積当たりの荷重 (kN/m²)

p_2 : No2 にかかる単位面積当たりの荷重 (kN/m²)

p_3 : No3 にかかる単位面積当たりの荷重 (kN/m²)

a_1 : No 1 から No 2 までの距離 (m)

a_2 : No 2 から No 3 までの距離 (m)

c. 端桁にかかる主桁反力 (R_1)

主桁にかかるせん断力が端桁にかかることから、主桁にかかるせん断力にて計算を行う。なお、荷重の向きについて地震時及び津波時にて相違があることから、図 22 にて津波時の端桁にかかる主桁反力図を、図 23 にて地震時の端桁にかかる主桁反力図を示す。

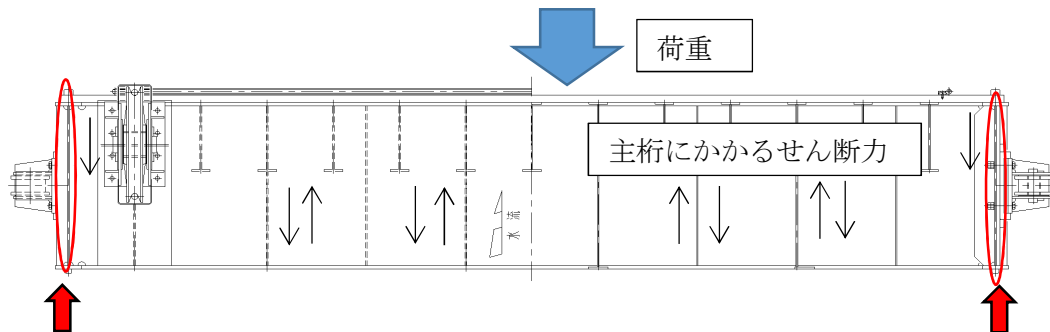


図 22 津波時の端桁にかかる主桁反力図

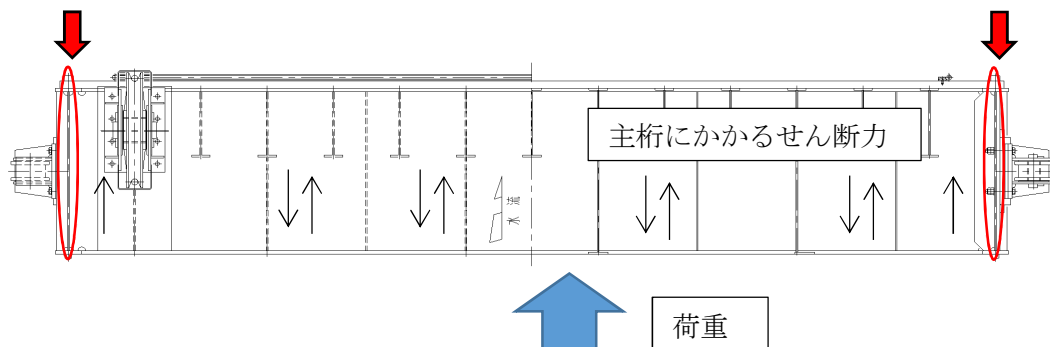


図 23 地震時の端桁にかかる主桁反力図

d. 支圧板の計算に用いる計算荷重の常時換算値 (P_3)

扉体全体に荷重が支圧板にかかるものとし、荷重を求める。なお、構造上支圧板は両端にあることから、1つの支圧板にかかる荷重は、扉体に受ける荷重の半分とする。支圧板にかかる荷重範囲図を図24に示す。

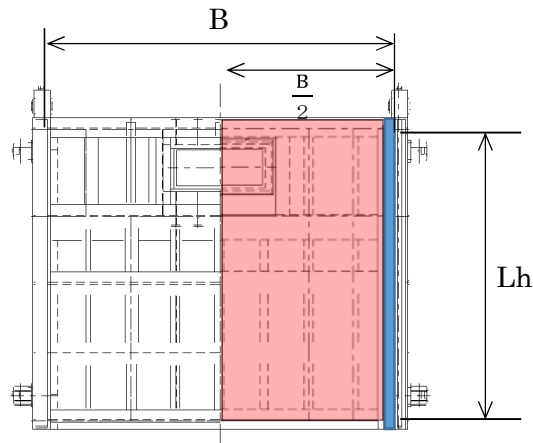


図24 支圧板にかかる荷重範囲図

$$P_3 = \left(\frac{pe \cdot B \cdot Lh}{2} + Pc \right) / \gamma$$

ここに、

P_3 : 支圧板にかかる計算荷重

pe : 単位面積当たりの荷重 (kN/m^2)

B : 扉体幅 (m)

Lh : 支圧板計算高さ (m)

Pc : 衝突荷重 (kN)

γ : 許容応力補正係数 (1.5)

e. その他の荷重 (P_1 , P_2 , P_4 , p_d)

評価部位に対する単位面積当たりの荷重にて計算を行う。