

島根原子力発電所 2 号炉 津波による損傷の防止

論点 1「防波堤が地震により損傷した場合の運用方針の妥当性，有効性」

(コメント回答)

令和 2 年 1 月
中国電力株式会社

審査会合における指摘事項【論点 1】

■ 指摘事項（平成31年2月26日 第686回審査会合）

【No.1（論点1）防波堤が地震により損傷した場合の運用方針の妥当性、有効性】

先行炉の審査実績と同様に津波時の影響軽減効果を防波堤に期待しないで入力津波を設定しているものの、プラント停止、防波堤の補修等の運用方針で津波防護を達成している。これらの運用方針で津波防護を達成した審査実績がないことから、防波堤が地震により損傷した場合の運用方針の妥当性、有効性について説明すること。

この運用方針の妥当性、有効性については、検討プロセスや他の方針と比較した場合のメリット・デメリットを含めて整理して提示すること。

1. 防波堤の有無が入力津波の設定、津波影響評価に及ぼす影響の整理
2. 防波堤を損傷させる事象として事業者が想定している事象とその位置づけ
3. 防波堤の有無による影響を考慮した対応策の選定の考え方（設計対応・運用対応のメリット・デメリットを踏まえた対応策の選定の考え方）
4. 対応策の設計方針、運用方針の成立の見通し及び悪影響の評価

No.	審査会合日	コメント内容	回答頁
25	R元.5.21	防波堤の有無による影響を考慮した対応策の選定の考え方について、運用対応策のメリット及び設備対応策のデメリットが記載されていないため、提案する際に考えたメリット・デメリットを網羅的に提示した上で、対応策の選定の評価プロセスを説明すること。	3,19
26	R元.5.21	設備対応として1号炉取水槽の流路縮小工、2号炉取水槽の防水壁改造（嵩上げ）を選定していることについて、具体的な設置位置や構造仕様等の設計条件、構造成立性の見通し及び対応策の効果と悪影響を整理した上で、選定した対応策の妥当性を説明すること。	4~18, 20~33
48	H26.9.30 (確率論的リスク評価 (PRA))	基準津波に対する溢水防止壁の高さの妥当性について、定量的に説明すること。	4

審査会合における指摘事項に対する回答【論点 1】

■ 回答まとめ

- 防波堤の有無が入力津波の設定，津波評価に及ぼす影響を整理し，防波堤の損傷を考慮した場合に2号炉取水槽及び1号炉取水槽の評価に影響があることを確認。（第715回審査会合にて説明）
- 防波堤を損傷させる事象としては，設計基準対象施設に対して影響があると判断された外部事象から地震及び船舶の衝突を抽出。（第715回審査会合にて説明）
- 防波堤の有無による影響を考慮した対応策の選定の考え方については，網羅的なメリット・デメリットの検討を踏まえ，地震による防波堤損傷後の対応として時間的な制約のない設備対応策として2号炉取水槽の防水壁の改造（嵩上げ）及び1号炉取水槽への流路縮小工の設置を選定。（2号炉：P.3，1号炉：P.19）
- 設備対応の選定にあたり，構造仕様等の設計条件，構造成立性の見通し及び対応策の効果と悪影響を整理し，基準津波に対する防水壁の高さ等，対応策の妥当性を確認。（2号炉：P. 4～18，1号炉：P. 20～33）

防波堤の有無による影響を考慮した対応策の選定（2号炉）

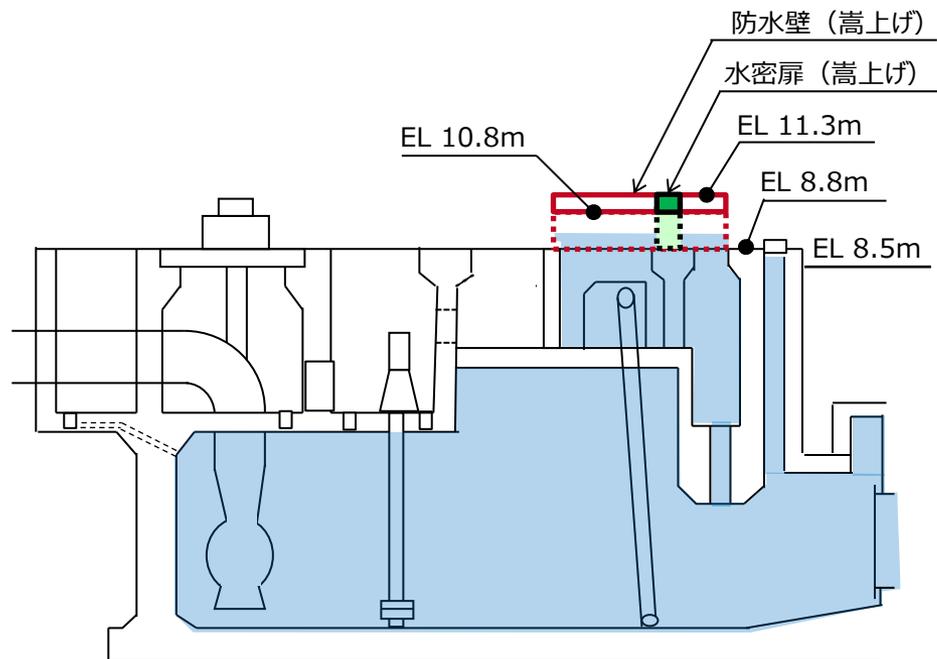
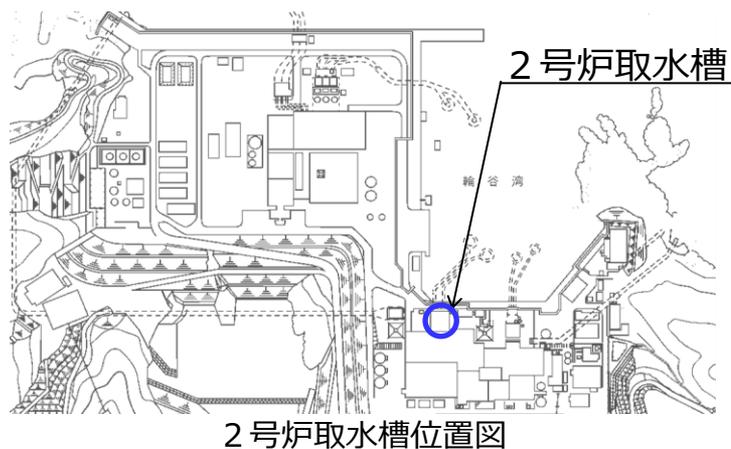
- 2号炉における防波堤の有無による影響を考慮した対応策の選定の考え方を下表に示す。
- 運用対応によるメリット及び設備対応によるデメリットを踏まえても、防波堤損傷後の対応として時間的な制約のない防水壁の改造（嵩上げ）による設備対応を選定。

表 2号炉における防波堤の有無による影響を考慮した対応策の選定の考え方等

2号炉の経路からの津波の流入防止に対する対応		運用対応		設備対応
		防波堤の補修	取水槽への角落し設置	防水壁の改造（嵩上げ）
対応の効果		・入力津波高さの低減		・許容津波高さの向上
①	メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・常設による設備対応が不要となる ・入力津波高さが低減できる 		<ul style="list-style-type: none"> ・定期的な訓練による技量の維持が不要 ・地震影響を受けた後にも常に耐津波設計方針が満足できる
	デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ・一定期間内に補修を完了する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・一定期間内に角落しを設置する必要がある ・定期的な訓練により技量の維持が必要となる 	<ul style="list-style-type: none"> ・設備の維持管理が必要となる ・入力津波高さが低減できない
②	成立性見通し	×	○	○
		<ul style="list-style-type: none"> ・損傷の程度により、一定期間内に補修を完了できない可能性がある 	<ul style="list-style-type: none"> ・角落し設置に伴いプラントの運転を停止し、取水槽入口の開口率を4割程度とすることにより、入力津波高さを許容津波高さ以下とすることが可能 ・角落しの耐震性の確保が可能 ・角落しは、汎用クレーンで設置可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・防水壁（改造後）の耐震性の確保が可能
	悪影響	-（悪影響なし）	-（悪影響なし）	-（悪影響なし）
評価結果		×	○	◎

2号炉取水槽防水壁の改造（嵩上げ）の概要とその効果

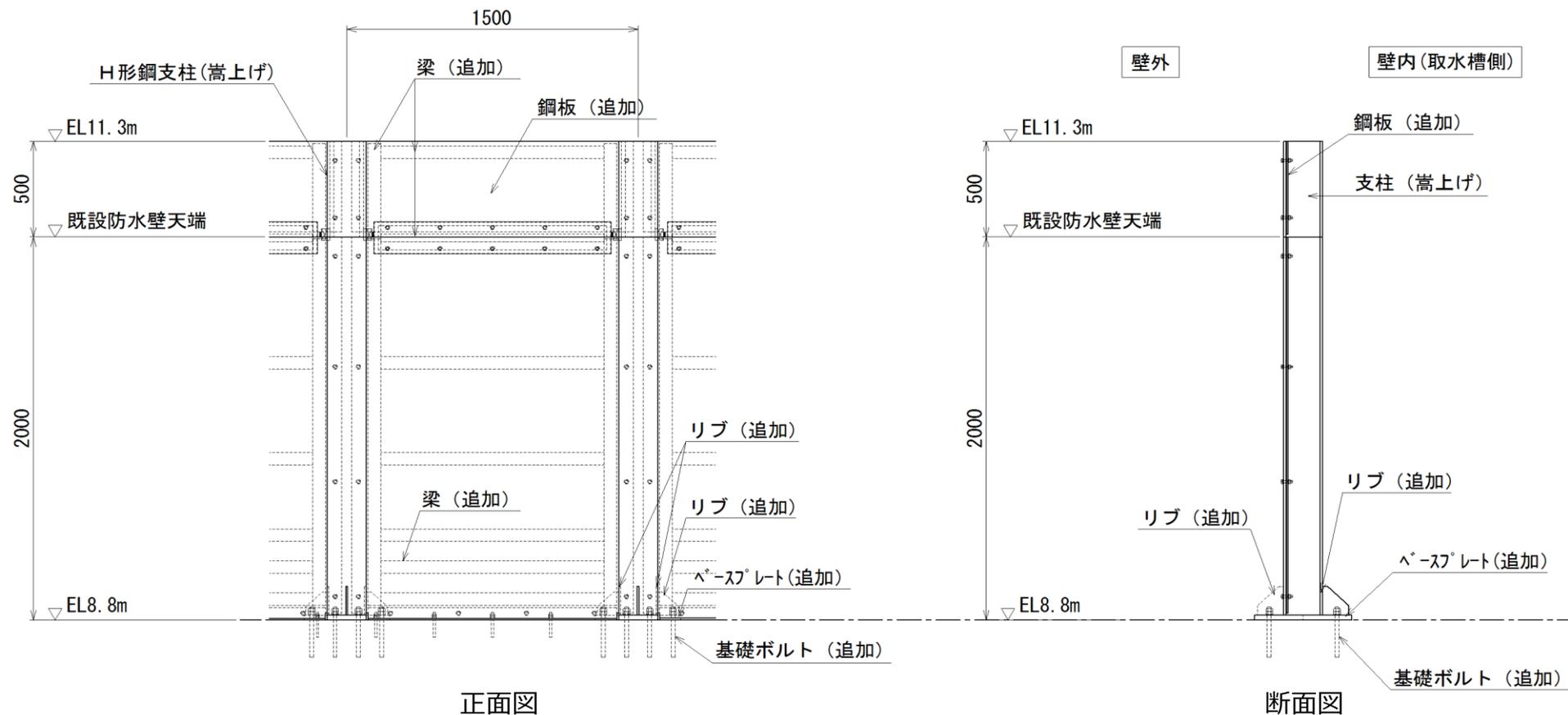
- 2号炉取水槽除じん機エリア防水壁及び水密扉の構造概要を以下に示す。
 - 2号炉取水槽除じん機エリア内の津波流入防止対策として、防水壁及び水密扉の嵩上げを実施する。
 - 防水壁及び水密扉の嵩上げにより、防波堤無しの入力津波に対して裕度を考慮しても敷地への津波の流入防止が達成できることから、防水壁及び水密扉の高さをEL10.8mからEL11.3mに嵩上げする。
 - 防水壁及び水密扉は鋼構造物であり、地震荷重や津波荷重等に対して津波防護機能又は浸水防止機能を十分に保持する設計とする。



2号炉取水槽除じん機エリア防水壁及び水密扉
嵩上げ断面イメージ図

2号炉取水槽除じん機エリア防水壁及び水密扉の構造概要（1/2）

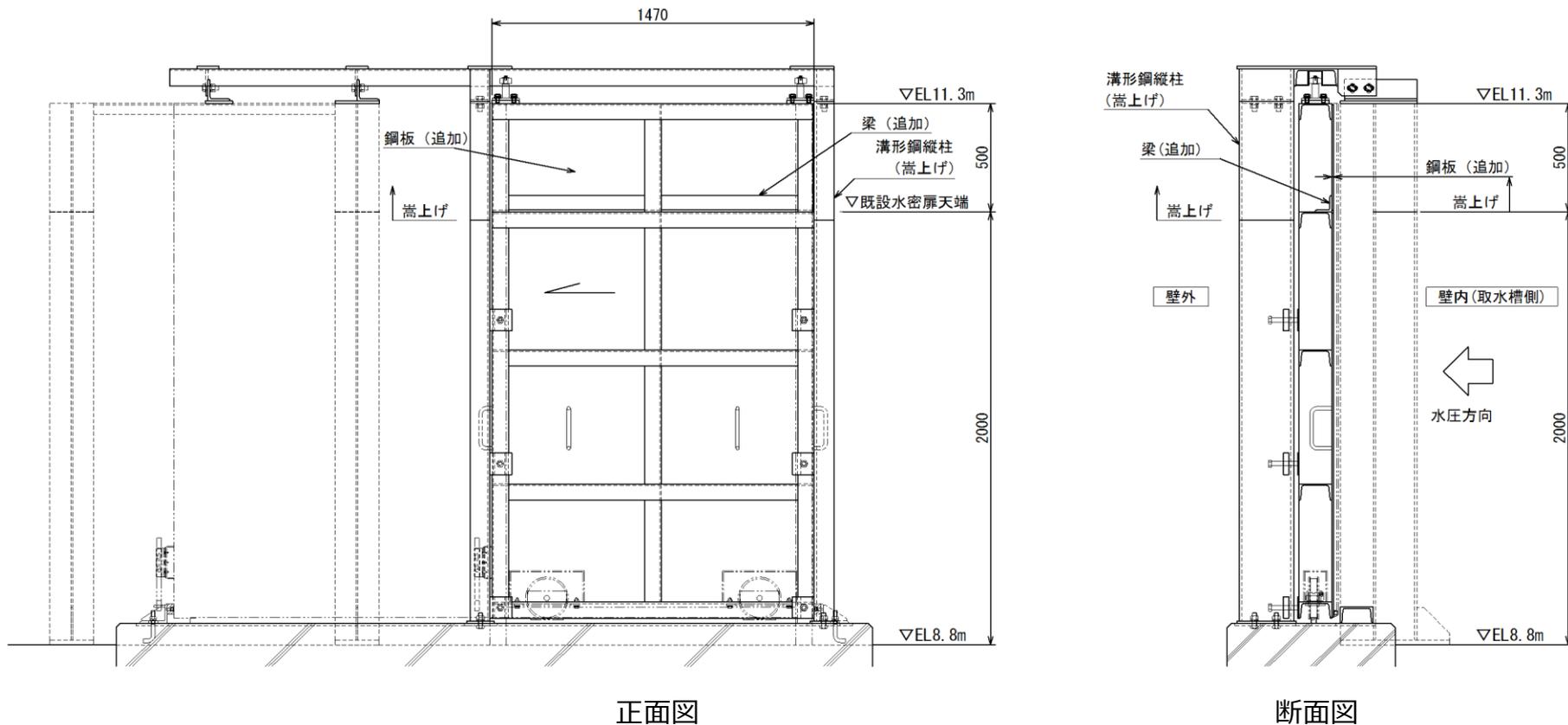
- 防水壁の構造概要を以下に示す。



2号炉取水槽除じん機エリア防水壁 構造概要図

2号炉取水槽除じん機エリア防水壁及び水密扉の構造概要（2/2）

- 水密扉の構造概要を以下に示す。



2号炉取水槽除じん機エリア水密扉 構造概要図

防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し（1/12）

➤ 2号炉取水槽除じん機エリア防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通しについて以下に示す。

1. はじめに

（1）防水壁及び水密扉に要求される機能

- 浸水防止設備として防水壁及び水密扉に求められる要求機能は、取水口から流入する津波の敷地への浸水を防止すること、基準地震動 S_s に対し要求される機能を損なうおそれがないよう、構造物全体として十分な構造強度を有することである。
- 上記の機能を確保するため、入力津波に対し余裕を考慮した防水壁及び水密扉の高さを確保するとともに、構造体の境界部等の止水性を維持し、基準地震動 S_s に対し止水性を損なわない構造強度を有した構造物とする。

（2）防水壁及び水密扉の設計の基本的考え方

- 防水壁及び水密扉は、地震荷重や津波荷重に対して十分な耐震性・遮水性が要求されるため、高強度で軽量かつ十分に遮水性のある鋼板を用い、取水槽に固定した鋼製支柱により支持される構造とする。
- また、取水槽の管理用出入口である水密扉は、人力で容易に開閉作業が可能な鋼製の扉構造とするとともに、常時閉運用とする。

防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し（2/12）

2. 防水壁及び水密扉の概要

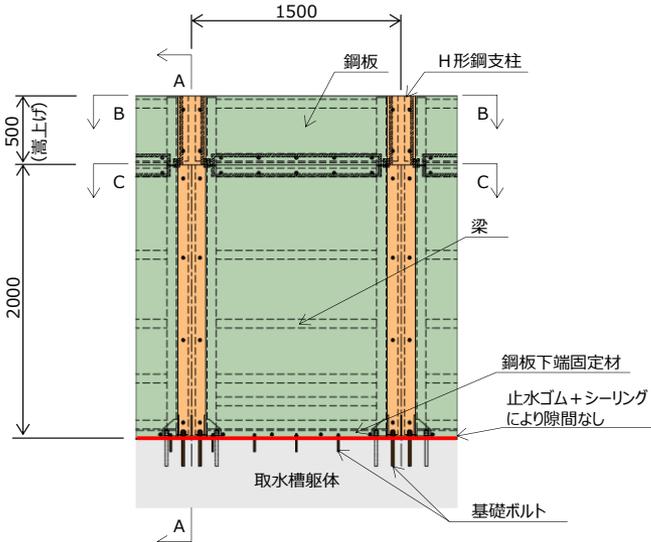
（1）防水壁

- 防水壁は、高強度で軽量かつ十分に遮水性のある鋼板を、取水槽に設置したH形鋼支柱にボルト接合により設置する構造とし、H形鋼支柱と鋼板との間に止水ゴムを設置して止水性を確保する。
- 嵩上げ箇所は、H形鋼支柱を溶接接合にて嵩上げし、既設部同様、鋼板を支柱にボルト接合により設置する構造とし、支柱と鋼板との間は止水ゴムを設置して止水性を確保するとともに、シーリングを施工して止水性を高める。また、鋼板と鋼板の隙間は鋼板を追加してボルト接合するとともに、止水ゴムを隙間に設置して止水性を確保する。
- また、H形鋼支柱下端のベースプレート及び鋼板下端固定材（等辺山形鋼）と取水槽の間には止水ゴムを設置することで止水性を確保する。さらに、ベースプレートを含めた鋼板下端全長にシーリングを施すことで止水性を高める。
- 防水壁の各部位の役割を以下に、構造例を次頁に示す。

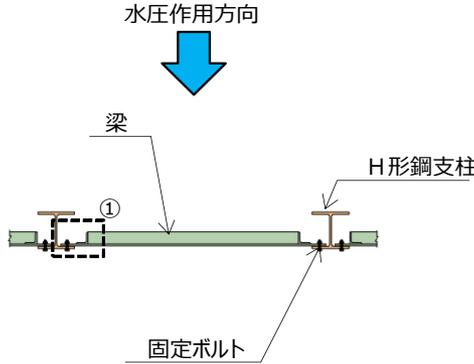
防水壁の各部位の役割

部位	役割
鋼板	止水機能の保持
梁・H形鋼支柱・固定ボルト	鋼板等の支持
ベースプレート	H形鋼支柱の支持
基礎ボルト	鋼板及びベースプレートの支持
止水ゴム	止水機能の保持（鋼板とH形鋼支柱間等）

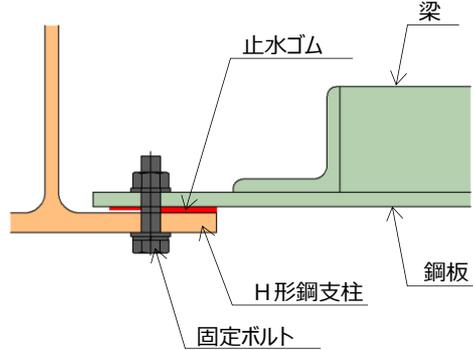
防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し (3/12)



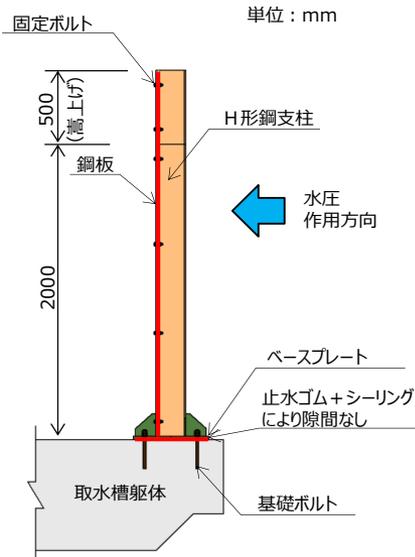
正面図



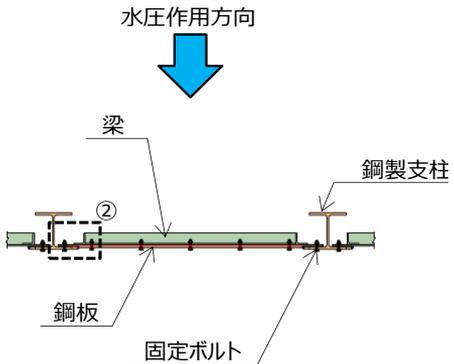
B - B断面図



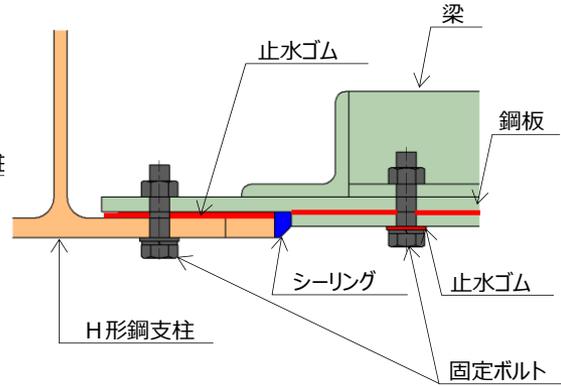
①部詳細イメージ



A - A断面図



C - C断面図



②部詳細イメージ

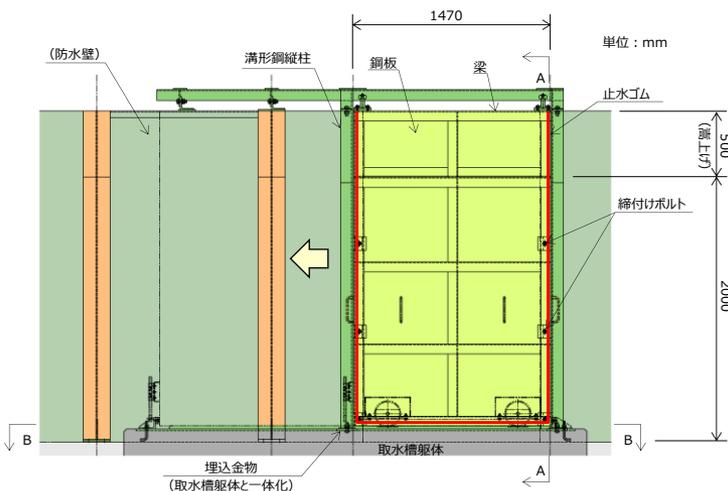
防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し（4/12）

（2）水密扉

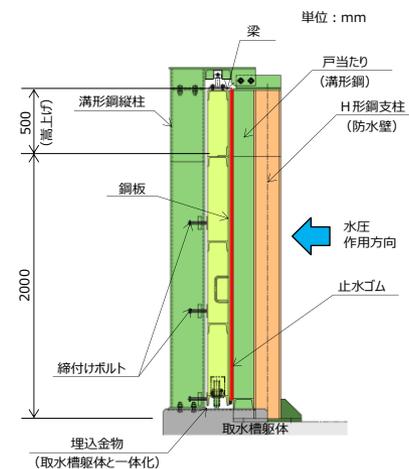
- 取水槽の管理用出入口として、鋼製扉を用いた開閉可能な構造とする。
- 取水槽に溝形鋼の縦柱を設置した上で、鋼板と梁を溶接接合して構成する鋼製扉を取り付ける。また、鋼製扉周囲に止水ゴムを設置し、別途設置する戸当たり（溝形鋼）との接触面で閉時の止水性を確保する。
- 高上げ箇所は、鋼製扉（鋼板及び梁）、溝形鋼縦柱及び戸当たり（溝形鋼）をそれぞれ溶接接合して高上げる。
- 水密扉の各部位の役割及び構造例を以下に示す。

水密扉の各部位の役割

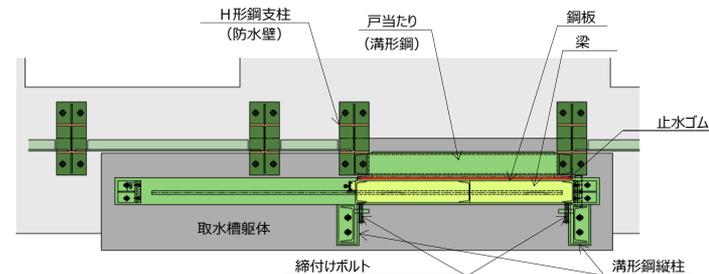
部位	役割
鋼製扉（鋼板・梁・鋼板補強リブ）	止水機能の保持
縦柱・締付けボルト・戸当たり（溝形鋼）	鋼製扉の支持
止水ゴム	止水機能の保持（鋼製扉と戸当たり間）



正面図



A - A 断面図



B - B 断面図

水密扉の構造例

防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し（5/12）

3. 防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し

（1）検討ケース及び荷重の組合せ

- 防水壁及び水密扉における検討ケース及び荷重の組合せは、以下のとおりとする。

①地震時：常時荷重＋地震荷重＋風荷重

②津波時：常時荷重＋津波荷重

- なお、防水壁及び水密扉の設計において考慮する荷重は、以下のとおり設定する。

①常時荷重

自重を考慮する。

②地震荷重

基準地震動 S_s を考慮する。

③風荷重

「第6条 外部からの衝撃による損傷の防止」において規定する設計基準風速に伴う荷重を地震時に考慮する。津波時は、水圧作用側が海面下にあることから、風荷重は考慮しない。

④津波荷重

入力津波高さに基づき算定される静水圧を考慮する。

⑤余震荷重

海域活断層に想定される地震による津波の影響を受けないため、余震荷重を考慮しない。

防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し（6/12）

（2）損傷モードの抽出と許容限界（1/2）

- 地震時及び津波時に防水壁及び水密扉が維持すべき機能を喪失してしまう事象（損傷モード）を仮定し、その損傷モードに対しての設計・施工上の配慮を整理した。
- また、損傷モードの整理結果を踏まえ、構造成立性の見通しの確認における主要な照査項目と許容限界を整理した。
- 防水壁に関する損傷モード及び構造成立性の見通しに関する許容限界を以下に示す。

防水壁に関する損傷モード

部位の名称	要求機能を喪失する事象	設計・施工上の配慮	構造成立性の見通しの確認における照査
鋼板	・鋼板に作用する地震荷重や津波荷重により、鋼板が曲げ破壊又はせん断破壊することで止水機能を喪失する。	・鋼板に生じる断面力による応力度が、許容限界以下であることを確認する。	○
	・H形鋼支柱間の応答差や地盤条件変化部における相対変位により、鋼板にねじれが発生し損傷することで止水機能を喪失する。	・支柱は取水槽に固定し、取水槽は十分な支持性能を有する岩盤に設置されていることから、支柱間の応答差や地盤条件変化部による影響は小さいと判断する。	-
H形鋼支柱	・鋼板から伝達する荷重及び支柱自体に作用する荷重により、鋼製支柱が曲げ・軸力による破壊又はせん断破壊し、鋼板の支持性能を喪失する。	・鋼製支柱に生じる断面力による応力度が、許容限界以下であることを確認する。	○
梁	・鋼板から伝達する荷重により、梁が曲げ破壊又はせん断破壊することで鋼板の支持性能を喪失する。	・梁に生じる断面力による応力度が、許容限界以下であることを確認する。	○
固定ボルト	・鋼板から伝達する荷重により、固定ボルトがせん断破壊し、鋼板の支持性能を喪失する。	・固定ボルトに生じる断面力による応力度が、許容限界以下となるよう、固定ボルトの仕様を詳細設計段階で決定する。	-
ベースプレート	・H形鋼支柱から伝達する荷重により、ベースプレートが曲げ破壊又はせん断破壊することでH形鋼支柱の支持機能を喪失する。	・ベースプレートに生じる断面力による応力度が、許容限界以下となるよう、ベースプレートの仕様を詳細設計段階で決定する。	-
基礎ボルト	・ベースプレートから伝達する荷重により、ボルトが引抜き又はせん断破壊し、防水壁全体の支持機能を喪失する。	・基礎ボルトに生じる断面力による応力度が、許容限界以下となるよう、基礎ボルトの仕様を詳細設計段階で決定する。	-

防水壁の構造成立性に関する許容限界

評価対象部位	役割	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼板	止水機能の保持	曲げ せん断	曲げ：短期許容応力度以下 せん断：短期許容応力度以下	鋼構造設計規準
H形鋼支柱・梁	鋼板の支持	曲げ せん断	曲げ：短期許容応力度以下 せん断：短期許容応力度以下	鋼構造設計規準

防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し（7/12）

（2）損傷モードの抽出と許容限界（2/2）

- 水密扉に関する損傷モード及び構造成立性に関する許容限界を以下に示す。

水密扉に関する損傷モード

部位の名称	要求機能を喪失する事象	設計・施工上の配慮	構造成立性の見通し の確認における照査
鋼製扉 (鋼板, 梁)	・鋼製扉に作用する地震荷重や津波荷重により, 鋼製扉が曲げ破壊又はせん断破壊することで止水機能を喪失する。	・鋼製扉に生じる断面力による応力度が, 許容限界以下であることを確認する。	○
溝形鋼縦柱	・鋼製扉から伝達する荷重及び縦柱自体に作用する荷重により縦柱が曲げ破壊またはせん断破壊し, 鋼製扉の支持性能を喪失する。	・溝形鋼縦柱に生じる断面力による応力度が, 許容限界以下であることを確認する。	○
締付けボルト	・鋼製扉から伝達する荷重により, 締付けボルトが破断し, 鋼製扉の支持性能を喪失する。	・締付けボルトに生じる断面力による応力度が, 許容限界以下となるよう, 締付けボルトの仕様を詳細設計段階で決定する。	-
戸当たり (溝形鋼)	・鋼製扉から伝達する荷重, 戸当たり自体に作用する荷重及び防水壁から伝達する荷重により, 戸当たりが曲げ破壊又はせん断破壊し, 鋼製扉の支持性能を喪失する。	・戸当たりに生じる断面力による応力度が, 許容限界以下であることを詳細設計段階で確認する。 ・戸当たりは, 防水壁のH形鋼支柱に溶接接合して剛性を高めることから, 構造成立性の確認においては, 防水壁のH形鋼支柱の評価に代表させる。	-
止水ゴム	・津波時の水圧が作用することにより, 止水ゴムが損傷し, 止水機能を喪失する。	・止水ゴムに生じる水圧が, メーカー規格及び基準並びに必要なに応じて実施する性能試験を参考に定めた許容水圧以下となるよう, 止水ゴムの仕様を詳細設計段階で決定する。	-

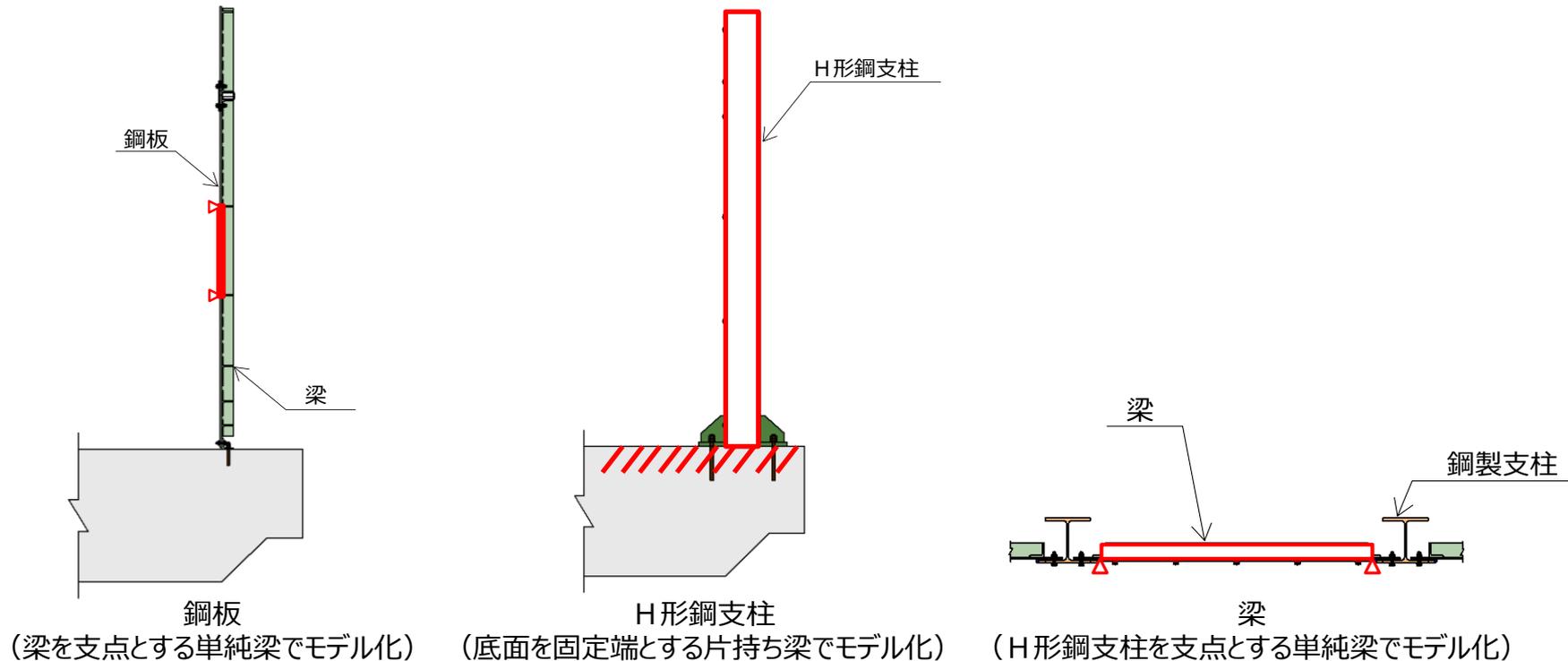
水密扉の構造成立性に関する許容限界

評価対象部位	役割	照査項目	設計で用いる許容限界	適用基準
鋼製扉 (鋼板, 梁)	止水機能の保持	曲げ せん断	曲げ: 短期許容応力度以下 せん断: 短期許容応力度以下	鋼構造設計規準
溝形鋼縦柱	鋼板の支持	曲げ せん断	曲げ: 短期許容応力度以下 せん断: 短期許容応力度以下	鋼構造設計規準

防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し（8/12）

（3）防水壁のモデル化方針

- 防水壁は、高強度で軽量かつ十分に遮水性のある鋼板を、基礎ボルトにて取水槽に固定したH形鋼支柱とボルト接合し、鋼板と取水槽を分離させた構造とする。
- よって、防水壁の挙動としては、剛性と質量が異なる鋼板やH形鋼支柱等の鋼製部材が地震動により一体的に応答するモードとなることから、以下に示す梁のモデルにより、その挙動を適切に評価することが可能である。

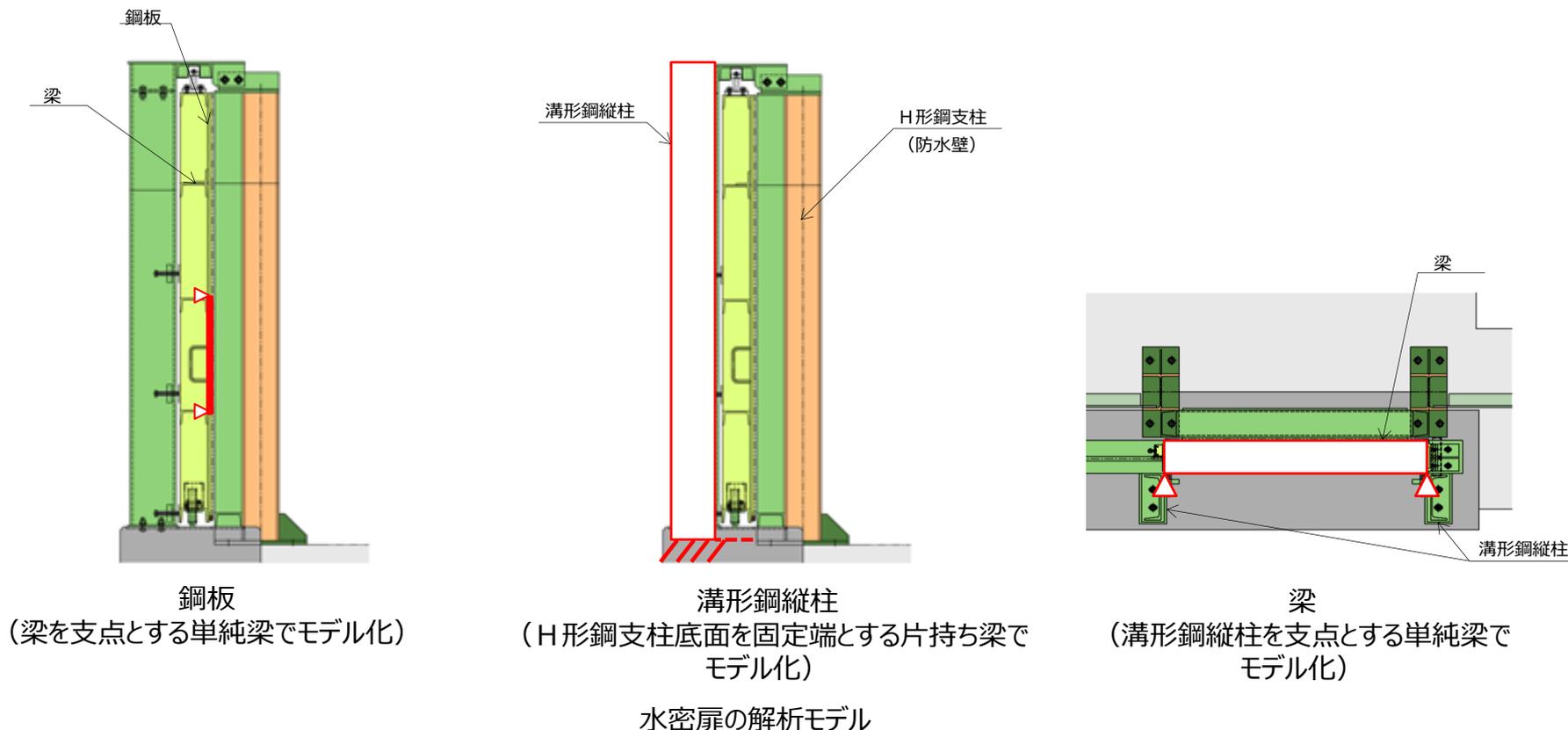


防水壁の解析モデル

防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し（9/12）

（4）水密扉のモデル化方針

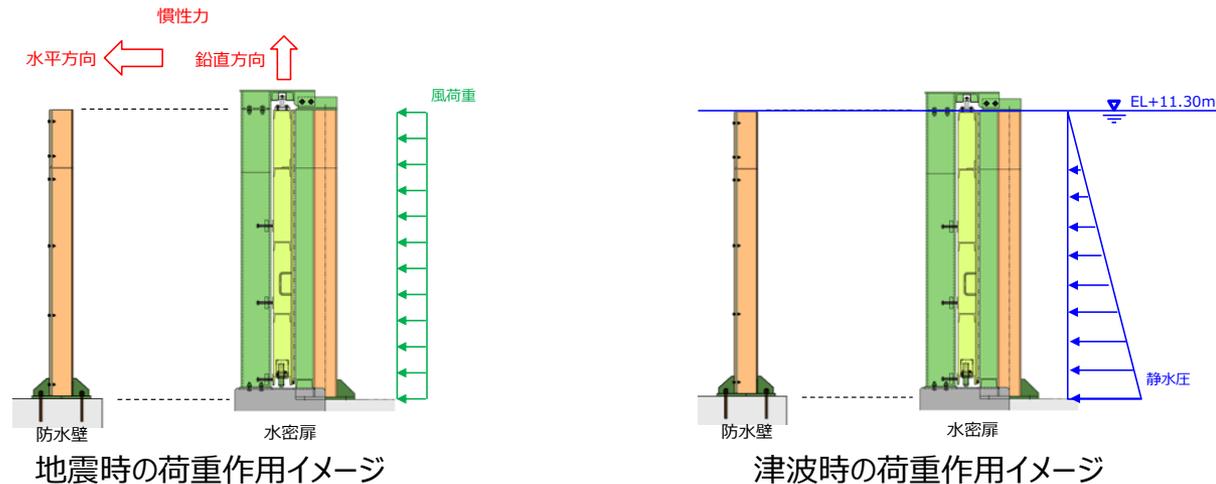
- 水密扉について、鋼製扉は鋼板を溝形鋼に溶接接合した一体構造とし、戸当りは取水槽にボルトで固定するとともに、防水壁のH形鋼支柱に溶接接合して剛性を高めた構造とする。
- 鋼製扉及び戸当りは、取水槽に基礎ボルトで固定した縦柱と締付けボルトにて接合する。
- よって、水密扉の挙動についても、地震動により一体的に応答するモードとなることから、下図に示す梁や版のモデルにより、その挙動を適切に評価することが可能である。



防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し（10/12）

（5）評価方法

- 地震時の検討では、基準地震動 S_s に対し、部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。防水壁及び水密扉の構造成立性の見通しの確認においては、下図に示すイメージのとおり、基準地震動 S_s に対する2号炉取水槽の地震応答解析から得られた取水槽上端の最大応答加速度を静的に防水壁及び水密扉に作用させて評価する。
- 津波時の検討では、基準津波に対し、部材の発生応力度が許容限界を超えないことを確認する。構造成立性の見通しの確認においては、下図に示すイメージのとおり、2号炉取水槽の最大入力津波高さ（EL+10.50m）に参照する裕度（0.74m）を考慮した水位EL+11.30mによる静水圧を防水壁及び水密扉に作用させて評価する。
- 地震時及び津波時における作用荷重を比較すると、下表に示すとおり、津波時の作用荷重の方が大きいことから、構造成立性の見通しの確認においては、津波時について評価を行う。



地震時と津波時の作用荷重比較

浸水防止壁 概算重量	地震時					津波時			評価
	設計震度	荷重		荷重 (水平慣性力 +風荷重)	下端 モーメント	設計水位	荷重 (静水圧合力)	下端 モーメント	
		慣性力	風荷重 合力						
5.5 kN	$K_h=1.30$ $K_v=0.69$	Ph=7.15 kN Pv=3.80 kN	6.41 kN	13.56 kN	16.95 kN・m	EL+11.30m	47.34 kN	39.45 kN・m	地震時荷重 < 津波時荷重

防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し（11/12）

（6）評価式

- 防水壁及び水密扉の評価は、前述のとおり、「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005改定）」に基づき行う。評価式の概要を以下に示す。

・曲げに対する評価式

防水壁及び水密扉の各部位に生じる曲げ応力度を下式から算定し、右表に示す鋼材の短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

ここに、 σ ：曲げ応力度， M ：曲げモーメント， Z ：断面係数

・せん断に対する評価式

防水壁及び水密扉の各部位に生じるせん断応力度を下式から算定し、右表に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{Q}{A}$$

ここに、 τ ：せん断応力度， Q ：せん断力， A ：断面積

・応力度の組合せに対する評価式

防水壁及び水密扉の各部位に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を下式から算定し、右表に示す短期許容応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{M}{Z}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q}{A}\right)^2}$$

ここに、 σ_x ：組合せ応力度

曲げに対する短期許容応力度

防水壁及び水密扉の使用材料	短期許容応力度 (N/mm ²)
	曲げ
SS400 (板厚t≤40mm)	235

せん断に対する短期許容応力度

防水壁及び水密扉の使用材料	短期許容応力度 (N/mm ²)
	せん断
SS400 (板厚t≤40mm)	135

組合せ応力度に対する短期許容応力度

防水壁及び水密扉の使用材料	短期許容応力度 (N/mm ²)
	組合せ
SS400 (板厚t≤40mm)	235

防水壁及び水密扉の設計方針及び構造成立性の見通し（12/12）

（7）評価結果

- 防水壁及び水密扉は、以下に示すとおり、地震荷重や津波荷重に対して十分な安定性を有しており、構造成立性の見通しがあることを確認した。
- なお、本評価結果は暫定条件を用いた評価結果であることから、正式条件を用いた評価結果は詳細設計段階で示す。

評価結果

評価対象部位		仕様（案）	照査結果				
			照査項目	最大発生値 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	照査値（発生値）/ （許容値）	判定 (照査値<1.00)
防水壁	鋼板	PL-9	曲げ	32.2	235	0.14	OK
			せん断	0.4	135	0.01	OK
	梁	L-65×65×8	曲げ	158.1	235	0.68	OK
			せん断	1.4	135	0.02	OK
			組合せ	158.1	235	0.68	OK
	H形鋼支柱	H-200×200×8×12	曲げ	83.6	235	0.36	OK
			せん断	33.6	135	0.25	OK
			組合せ	101.9	235	0.44	OK
	水密扉	鋼板	PL-9	曲げ	74.4	235	0.32
せん断				0.8	135	0.01	OK
梁		[-150×75×6.5×10	曲げ	31.7	235	0.14	OK
			せん断	11.5	135	0.09	OK
			組合せ	37.5	235	0.16	OK
溝形鋼縦柱		[-250×90×9×13	曲げ	59.1	235	0.26	OK
			せん断	11.7	135	0.09	OK
			組合せ	62.5	235	0.27	OK

防波堤の有無による影響を考慮した対応策の選定（1号炉）

- 1号炉における防波堤の有無による影響を考慮した対応策の選定の考え方を下表に示す。
- 運用対応によるメリット及び設備対応によるデメリットを踏まえても、防波堤損傷後の対応として時間的な制約がなく、入力津波高さを敷地高さ以下に低減可能な取水槽への流路縮小工の設置による設備対応を選定。

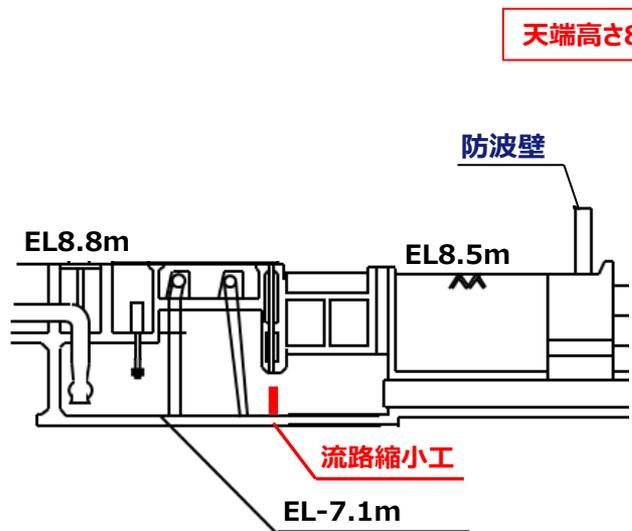
表 1号炉における防波堤の有無による影響を考慮した対応策の選定の考え方等

1号炉の経路からの津波の流入防止に対する対応		運用対応		設備対応		
		防波堤の補修	角落とし設置	取水槽への防水壁の設置	取水槽への流路縮小工の設置	取水管への流路縮小工の設置
対応の効果		・入力津波高さの低減		・許容津波高さの向上	・入力津波高さの低減	
①	メリット	・入力津波高さが敷地高さ以下となる ・通常時、CSWポンプの運転可能 ・常設による設備対応が不要となる		・定期的な訓練による技量の維持が不要 ・地震影響を受けた後にも常に耐津波設計方針が満足できる		
	デメリット	・一定期間内に補修を完了する必要がある	・一定期間内に角落としを設置する必要がある ・定期的な訓練により技量の維持が必要となる	—	・入力津波高さが敷地高さ以下となる	
②	成立性見通し	×	○	○	○	△
	悪影響	—（悪影響なし）	—（悪影響なし）	—（悪影響なし）	—（悪影響なし）	・工事に伴う影響は未検討
評価結果		×	○	○	◎	△

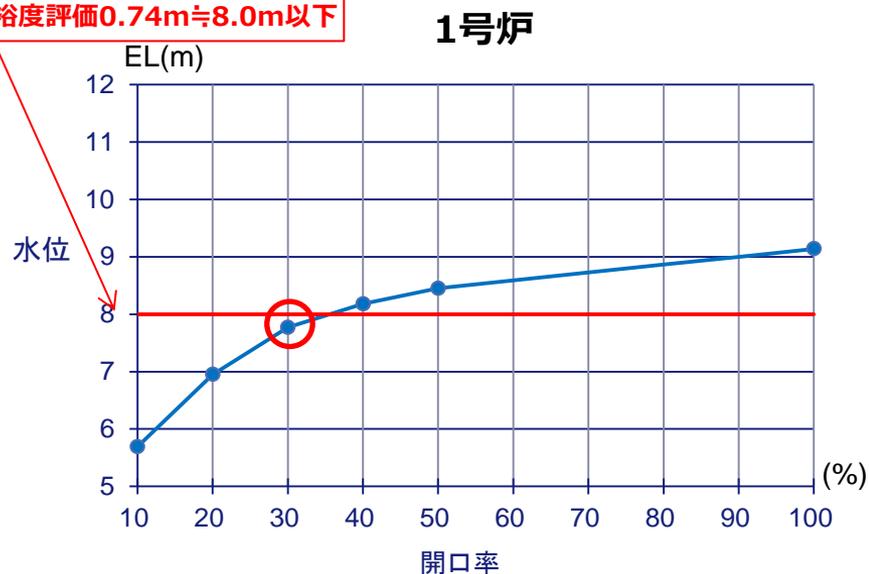
1号炉取水槽流路縮小工設置の概要とその効果 (1/2)

第715回 審査会合資料を加筆・修正

- 1号炉取水槽への流路縮小工設置による入力津波高さ低減効果の成立性を以下の通り確認した。
- 影響検討の結果、開口率を3割程度とすることで溢水防止対策の成立性見通しを確認した。今後、詳細設計を行ったうえで、開口率を設定する。
- 流路縮小工を設置することから、循環水ポンプの運転は行わない。



1号炉取水槽への流路縮小工設置イメージ

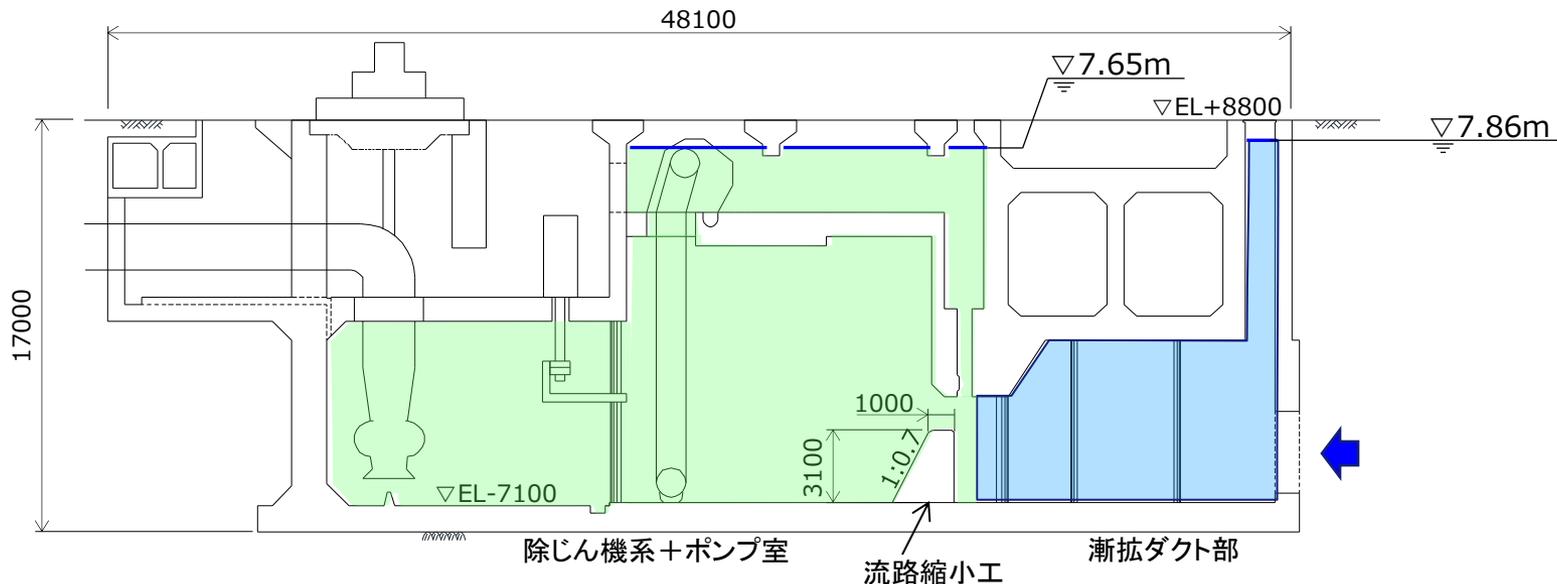


開口率変化に伴う入力津波高さ低減効果

1号炉取水槽流路縮小工設置の概要とその効果 (2/2)

- 1号炉取水槽流路縮小工設置による入力津波高さ低減効果を以下に示す。
- 流路縮小工設置による浸水範囲を以下に示す。流路縮小工の設置により入力津波高さが低減され、取水槽の天端高さを越えないことを確認した。

	1号炉取水槽における 入力津波高さ	1号炉取水槽 津波許容高さ	評価結果
対策前	EL+9.2m	EL8.8m (取水槽天端高さ)	取水槽天端高さを越えて敷地に津波が流入する。
対策後	EL+7.9m		参照する裕度(0.74m)を考慮した場合においても、敷地へ津波が流入しない。



1号炉取水槽流路縮小工による浸水範囲※

※ 漸拡ダクト部, 除じん機系+ポンプ室の最大水位上昇量を図に示す。(基準津波1 防波堤無し 貝無し)

1号炉取水槽流路縮小工設置による取水機能への影響

➤ 1号炉取水槽流路縮小工設置による取水機能への影響がないことを以下のとおり確認した。なお、1号炉に貯蔵中の使用済燃料の冷却は十分進んでおり、崩壊熱による発熱量は小さいため、使用済燃料プールの冷却が停止しても、その水温の上昇は緩やかな状況である。

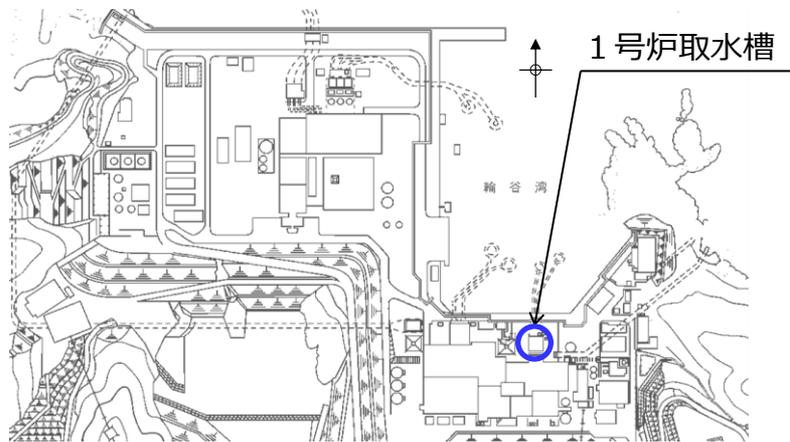
■ 流路縮小工設置による流路の断面積縮小に伴い、流速が変化するが、対策後は1号炉循環水ポンプは全台停止する運用とすることから、流速は小さくなり、損失水頭は低下するため、流路縮小工設置後に取水槽内の水位が低下することはない。

	流量	断面積	流速
対策前	28m ³ /s (循環水ポンプ運転)	約65m ²	約0.44m/s
対策後	1m ³ /s (循環水ポンプ停止)	約18m ²	約0.06m/s

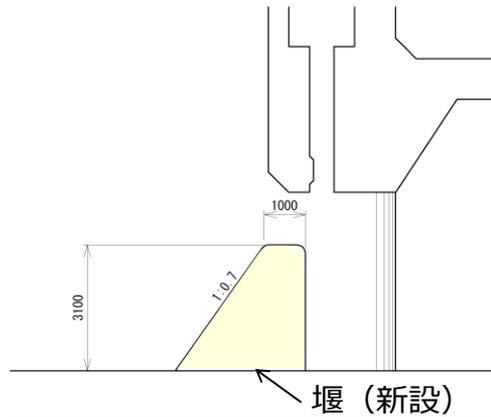
■ 流路縮小工の開口部は、1箇所あたり高さ1.2m×幅2.65mであり、これまでの点検結果から、海生生物の付着代は5cm以下であることを確認していることから、海生生物付着による閉塞の可能性はない。

1号炉取水槽流路縮小工の構造概要

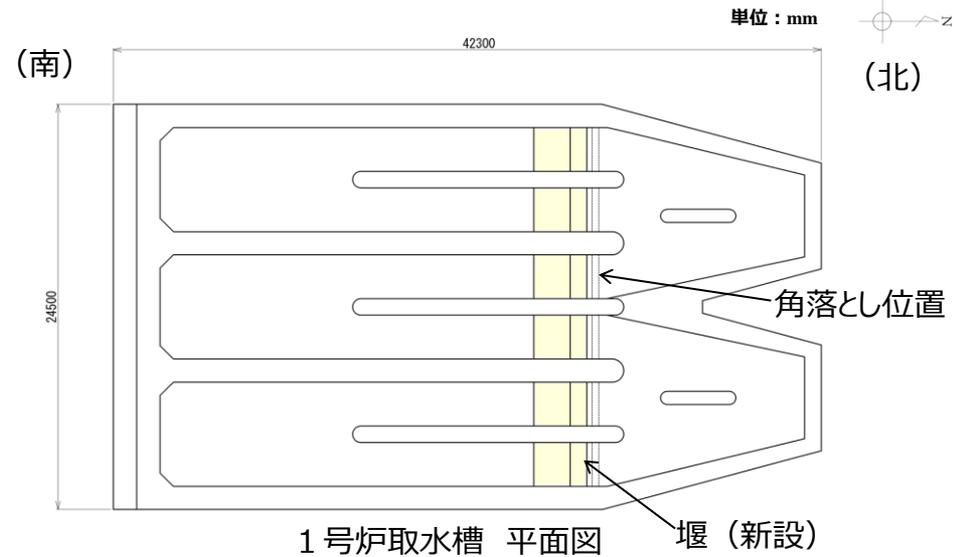
- 1号炉取水槽流路縮小工の構造概要を以下に示す。
- 1号炉取水槽内の津波流入防止対策として、以下に示すとおり、鉄筋コンクリート構造の堰を設置する。



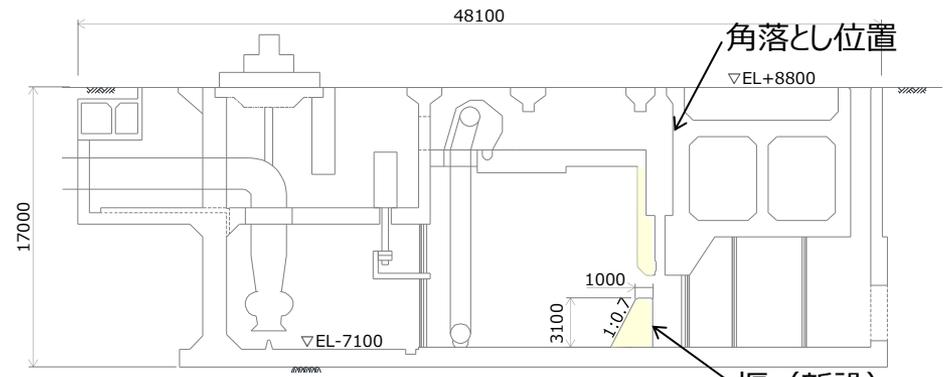
1号炉取水槽位置図



1号炉取水槽流路縮小工 拡大図



1号炉取水槽 平面図



1号炉取水槽 縦断面図

流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通し（1/10）

➤ 1号炉取水槽流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通しについて以下に示す。

1. 1号炉取水槽流路縮小工に要求される機能及び設計の基本的考え方

■ 1号炉取水槽流路縮小工（以下、「流路縮小工」と記す）は津波防護施設であることから、基準地震動 S_s による地震荷重や基準津波による津波荷重に対し、構成する部材が概ね弾性域内に収まるよう設計する。

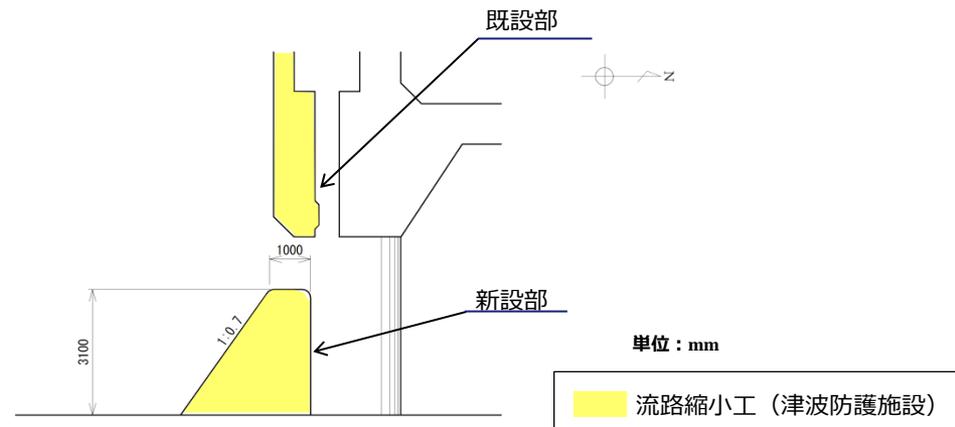
2. 流路縮小工の概要

■ 流路縮小工は既設部と新設部で構成し、既設部は、幅0.5～1.0mの鉄筋コンクリート造の壁状構造物とする。

■ 流路縮小工の新設部は、以下の基準等に基づき、鉄筋コンクリート造の堰を取水槽底版に設置する。

■ 「建設省河川砂防技術基準（案）同解説 設計編[I]」によれば、「固定堰の本体はコンクリート構造を標準とする」とし、「コンクリート構造の固定堰の本体の横断面は、上流側のり面を鉛直あるいはこれに近い勾配とし、下流側のり面勾配を緩勾配として、堰頂に幅を与えた台形断面とし、力学的に安定条件を満足し、かつ水理学的に有利な断面とする」としている。

■ また、下流側のり面勾配は、「土地改良事業設計指針[ため池整備]（H27.5，農林水産省）」によれば、水路内の流速が4m/s以下の越流堰の下流側のり面勾配は1:0.7程度とすることが多い、としている。



1号炉取水槽流路縮小工 拡大図

流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通し（2/10）

3. 流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通し

（1）流路縮小工における構造成立性の見通しの確認に関する概要

- ここでは、地震荷重や津波荷重により流路縮小工を構成する部材が曲げやせん断に対する損傷以外に、津波時流速が作用した場合の構造成立性に関する既往知見について整理するとともに、それを踏まえ、流路縮小工各部位が損傷により要求機能を喪失しうる事象（例えば、津波による作用水圧や縮小部の流速により躯体安定性が確保できない等）を整理する。これらの損傷モードの発生可能性を評価し、設計・施工上の配慮事項を整理した上で、構造成立性を示す。

（2）津波時流速が作用した場合の構造成立性に関する既往知見の整理

流路縮小工の各部位が損傷して要求機能を喪失しうる事象の抽出にあたり、津波時流速が作用した場合の構造成立性に関する既往知見を整理した結果を以下に示す。

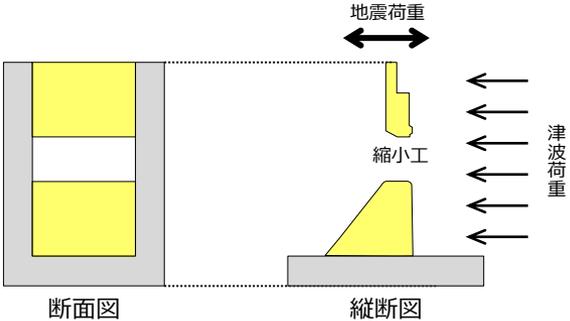
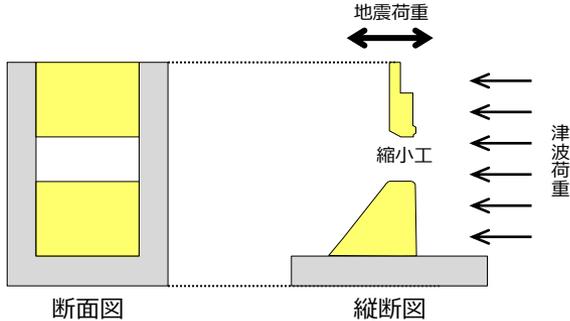
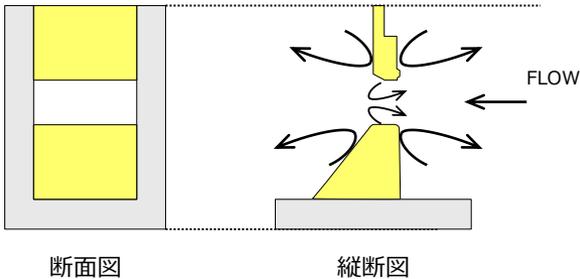
- 津波時には、流路縮小工による開口部を津波が通過する。「建設省河川砂防技術基準（案）同解説 設計編[I]」によれば、ダムの放水設備について、流水に接する構造物の表面は、流水による洗掘や摩耗の軽減に配慮して設計するとともに、流速が大きい場合には、渦や流水による摩耗や浸食の対策を考える必要があるとしている。
- 「コンクリート診断技術[基礎編]’19（日本コンクリート工学会）」によれば、ダムや水路などの水路構造物は、流水に砂礫を含むとすりへりによる損傷が増大するとされている。
- 流路縮小工は、流路断面が縮小されることから、流路縮小工前面と流路縮小工による開口部の間で津波流速の変化が生じる。「コンクリート診断技術[基礎編]’19（日本コンクリート工学会）」によれば、凹凸や急激な屈曲をもつコンクリート表面に沿って高速の水が流れる場合などに局部的な圧力低下が加わると、その下流は負圧となって空洞を生じ、水の流れが圧力の高いところに移動すると水蒸気の気泡は急激に圧潰され壁面に大きな衝撃を与えて、ピッチング損傷を与えるとされている。

以上を踏まえ、流路縮小工各部位が損傷し要求機能を喪失しうる事象を抽出し、これに対する設計・施工上の配慮事項を整理した。

流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通し（3/10）

（3）要求機能を喪失しうる事象の抽出（1/2）

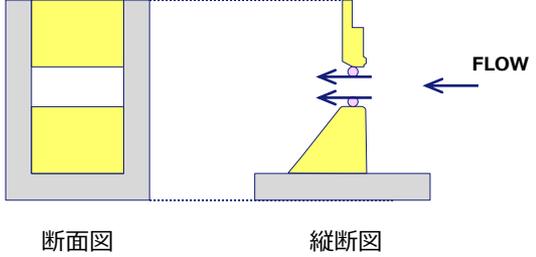
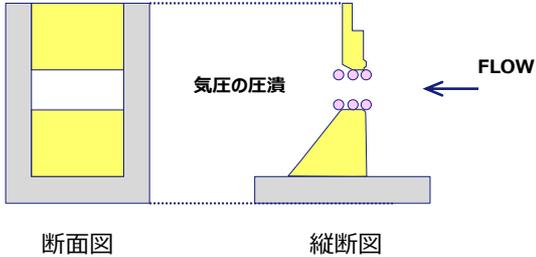
前述を踏まえ、流路縮小工各部位が損傷により要求機能を喪失しうる事象を抽出し、これに対する設計・施工上の配慮を整理した。整理結果を以下に示す。

部位の名称	要求機能を喪失しうる事象	設計・施工上の配慮	照査
流路縮小工 全体	<ul style="list-style-type: none"> 地震荷重や津波荷重により、縮小工が曲げやせん断破壊又は滑動することで、躯体全体の安定性を失い、要求機能を喪失する。  <p>断面図 縦断面図</p>	<ul style="list-style-type: none"> 曲げやせん断破壊については、地震荷重や津波荷重に対して躯体が概ね弾性域内に収まるよう設計する。 滑動については、新設堰部の差筋を設置し、堰部が滑動しないように詳細設計段階で設計する。  <p>断面図 縦断面図</p>	○
	<ul style="list-style-type: none"> 急縮部・急拡部で発生する渦や流水によるすりへり(エロージョン摩耗※¹)によって、形状に変化が生じ、津波防護機能を喪失する。  <p>断面図 縦断面図</p>	<ul style="list-style-type: none"> 「建設省河川砂防技術基準（案）同解説 設計編[I]」によれば、エロージョン摩耗はすりへりの一つであり、経年劣化による損傷である。 常時の流路縮小工急縮部の流速は0.06m/sと遅いことから、すりへりによる流路縮小工の健全性への影響は小さいと判断する。 	—

※1：エロージョン摩耗とは、液体粒子・固体粒子あるいは液体の流れが角度をなしてコンクリートに衝突することで生じる摩耗である。

流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通し（4/10）

（3）要求機能を喪失しうる事象の抽出（2/2）

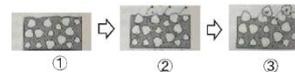
部位の名称	要求機能を喪失しうる事象	設計・施工上の配慮	照査
	<p>・砂礫や貝を含んだ津波の流入により、コンクリート表面にすりへり(アブレーション摩耗※)が発生することによって、開口部が広がり津波防護機能を喪失する。</p>  <p style="text-align: center;">断面図 縦断面図</p>	<p>・島根 2 号炉の基準津波における砂移動の検討結果から、津波時に流入する海水に砂礫はほとんど含まないこと、及び、貝については、定期的に抜水し、清掃により貝を除去する保守管理方針とすることから、すりへりによる流路縮小工の健全性への影響は小さいと判断する。</p>	—
流路縮小工による開口部	<p>・急縮部に高速な津波が流れ込むことによる局所的な圧力降下によって、その下流は負圧となって空洞を生じ(キャビテーション)、圧力が高まる急拡大部付近に移動すると、水蒸気の気泡は急激に圧潰され、壁面に損傷を与えることにより、形状に変化が生じ、流路縮小性能を喪失する(ピッチング損傷)。</p>  <p style="text-align: center;">断面図 縦断面図</p>	<p>・「コンクリート診断技術[基礎編]’19（日本コンクリート工学協会）」によれば、キャビテーション発生の限界流速は7.5m/s程度とされており、1号炉取水槽における津波時の流速は、管路解析の結果から最大でも2.5m/sであり、キャビテーションによる流路縮小工の健全性への影響は小さいと判断する。</p>	—

※ アブレーション摩耗とは砂等がコンクリート表面を転がったり滑ったりすることで、コンクリートを損失させる摩耗である。

すりへりの原因として砂礫等によるアブレーション摩耗が想定され三段階で進行する。

①コンクリート表面に近いモルタル層がすりへる。②モルタル層がすりへった後、粗骨材が露出し粗骨材自体がすりへる。

③粗骨材が剥離する。



①

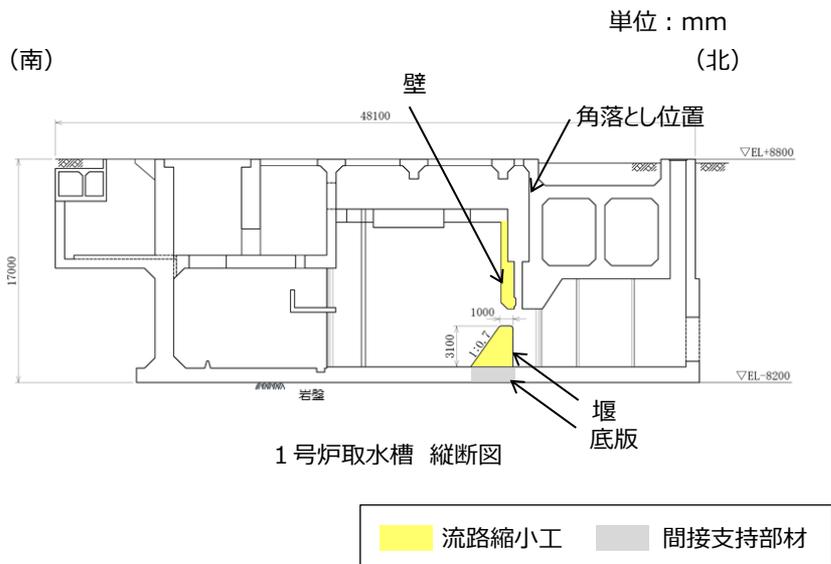
②

③

流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通し (5/10)

(4) 流路縮小工の評価方針及び許容限界 (1/3)

- ・流路縮小工は、鉄筋コンクリート部材である堰及び壁で構成し、津波防護施設であることから、部材が概ね弾性範囲内であることが求められる。堰は底版上に設置することから、底版が間接支持部材となっており、Sクラス施設に影響を与えないようにするため、部材が終局状態に至らないことが求められる。
- ・以上のことから、各部材に必要な性能に係る許容限界は、表に示すとおり設定する。
- ・なお、側壁・隔壁についても、Sクラス施設に影響を与えないようにするため、部材が終局状態に至らないことを確認する。



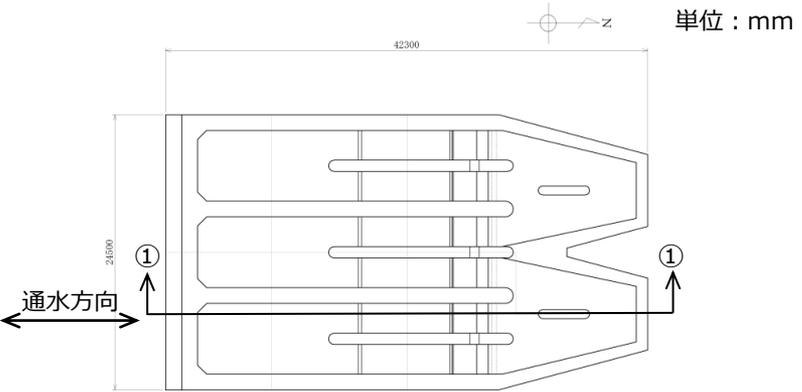
要求機能に応じた許容限界

評価対象部位	堰・壁	側壁・隔壁・底版	
目標性能	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋が降伏しない ・発生せん断力がせん断耐力以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・部材が終局状態に至らない 	
設定理由	断面が降伏に至らない状態及びせん断耐力以下であれば、部材は概ね弾性範囲内に収まることから、鉄筋が降伏しないこと及び発生せん断力がせん断耐力以下であることを目標性能とする。	堰及び壁に影響を与えないようにするため、部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。	
限界状態	降伏耐力以下	終局耐力以下	
主な照査指標・許容限界	曲げ	<ul style="list-style-type: none"> 圧縮ひずみ<圧縮強度に対応するひずみ 主筋ひずみ<降伏強度に対応するひずみ 	層間変形角<層間変形角1/100
	せん断	発生せん断力<せん断耐力	発生せん断力<せん断耐力

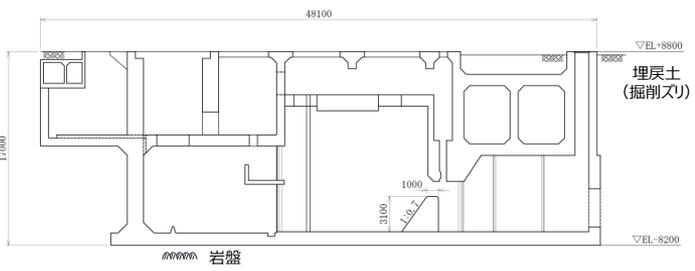
流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通し（6/10）

（4）流路縮小工の評価方針及び許容限界（2/3）

ここで、流路縮小工は、以下に示すとおり、地中構造物である1号炉取水槽内の鉄筋コンクリート部材で構成されている。よって、流路縮小工の構造成立性の確認において、概ね弾性範囲内であることが求められる部材の許容限界は「コンクリート標準示方書[構造成能照査編]（土木学会，2002年）」に、終局状態に至らないことが求められる部材の許容限界は「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005）」に基づき設定する。



平面図



①-①断面図

1号炉取水槽の構造及び周辺状況図

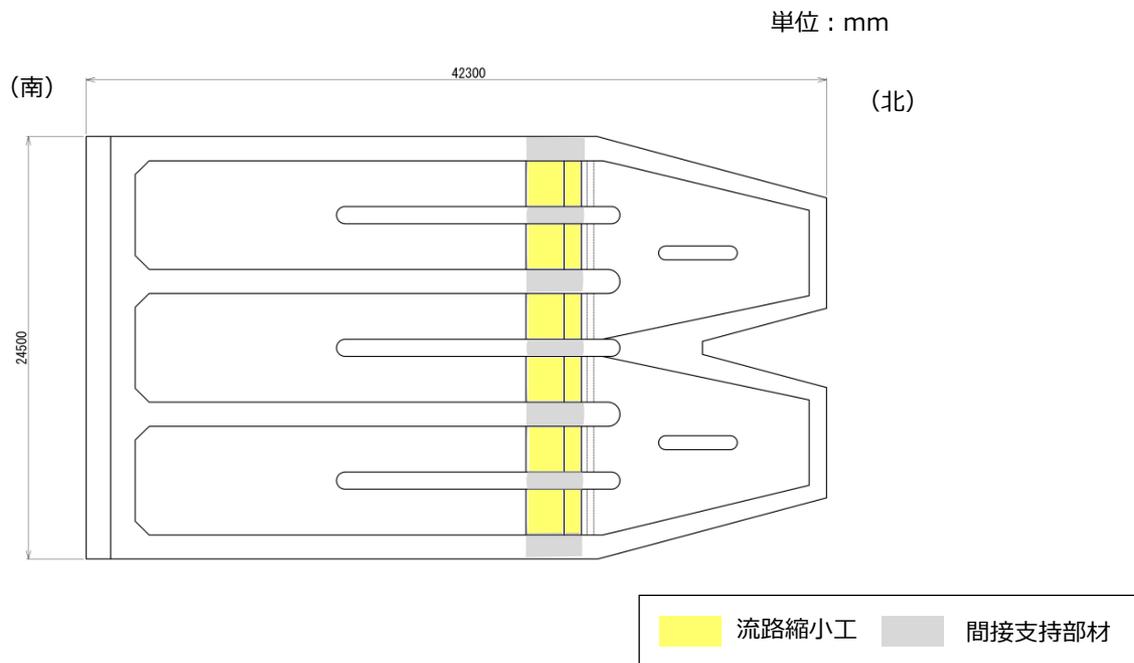
流路縮小工の構造成立性の確認における許容限界

評価対象部位	変形モード	許容限界	
		指標	許容値
堰・壁	曲げ	圧縮ひずみ	2000 μ
		主筋ひずみ	1725 μ (SD345相当)
	せん断	発生せん断力	せん断耐力
側壁・隔壁 底版	曲げ	層間変形角	1/100
	せん断	発生せん断力	せん断耐力

流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通し（7/10）

（4）流路縮小工の評価方針及び許容限界（3/3）

- ・評価対象断面について、以下に示すとおり、流路縮小工の堰及び壁は、構造上の特徴から面外方向となる南北方向を、流路縮小工の間接支持部材である底版及び側壁・隔壁は同様に面外方向となる東西方向を評価対象断面に設定する。



流路縮小工の評価対象断面図

流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通し（8/10）

（5）検討ケース及び荷重の組合せ

・流路縮小工の設計においては、以下のとおり、常時荷重、地震荷重、及び津波荷重を適切に組合せて設計を行う。

- ①地震時：常時荷重＋地震荷重
- ②津波時：常時荷重＋津波荷重
- ③重畳時：常時荷重＋津波荷重＋余震荷重

・流路縮小工の設計において考慮する荷重は、以下のように設定する。

（a）常時荷重

自重を考慮する。

（b）地震荷重

基準地震動 S_s を考慮する。なお、構造成立性の見通しの確認においては、基準地震動 S_s のうち、流路縮小工の水平方向 1 次固有周期における加速度応答スペクトルが最も大きい基準地震動 $S_s - D$ を用いる。

（c）津波荷重

津波時の静水圧、流水圧を考慮する。

静水圧は、津波時及び重畳時において、以下の管路計算により算定された流路縮小工の上流側と下流側の水位差から算定し、上流側と下流側の水位差が最大となる時の水位差から求める。なお、重畳時は、管路計算における取水槽内の水位が最大となる時の水位差からも算定する。

・津波時（対象：日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波 1, 2, 3, 5, 及び 6））

流路縮小工上流側EL+2.90m、流路縮小工下流側EL+0.44m

・重畳時（対象：海域活断層に想定される地震による津波（基準津波 4））

流路縮小工上流側EL+3.54m、流路縮小工下流側EL+3.40m

流水圧は、流路縮小工が水中又は水面付近の部材で構成されることから、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会）」に基づく評価式により算定する。なお、津波の流速は、管路計算による流路縮小工地点の最大流速に基づき、津波時は 2.5m/s、重畳時は 1.0m/s と設定する。

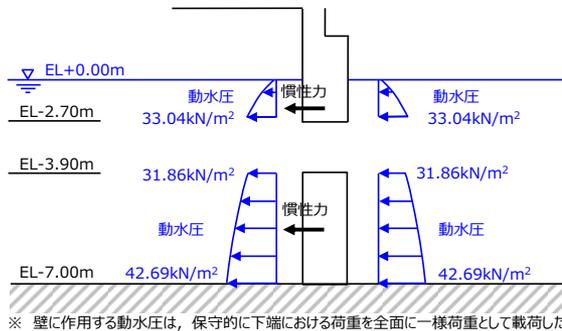
（d）余震荷重

海域活断層に想定される地震による津波荷重に組み合わせる余震荷重として弾性設計用地震動 S_d による荷重を設定する。

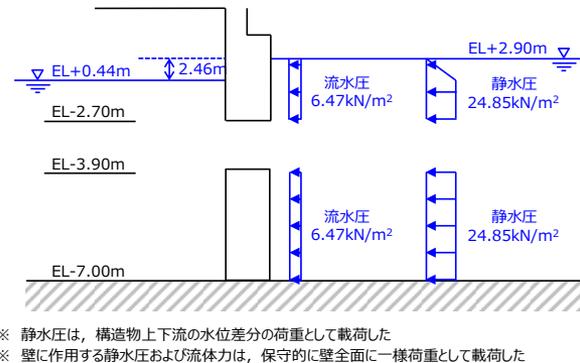
流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通し（9/10）

（6）評価方法

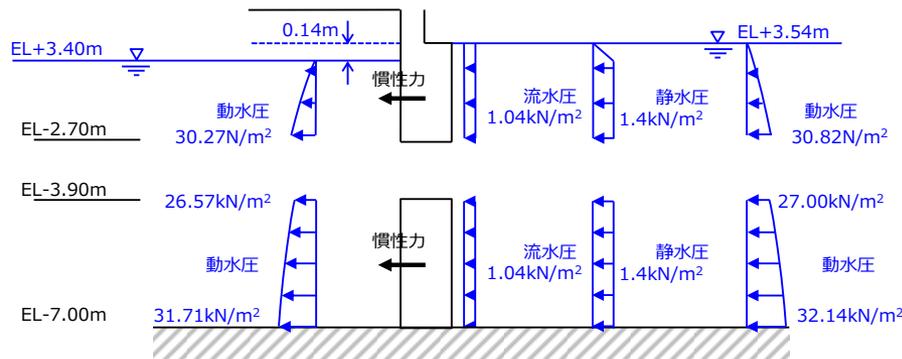
- 地震時、津波時及び重畳時の各検討において、地震荷重や津波荷重により部材に発生する断面力やひずみが許容限界を超えないことを確認する。
- 流路縮小工である堰や壁に作用する地震時及び津波時における荷重を比較すると、以下に示すとおり、地震時の作用荷重が大きいことから、構造成立性の見通しの確認においては、地震時について評価を行う。



地震時の荷重作用イメージ



津波時の荷重作用イメージ



重畳時の荷重作用イメージ

流路縮小工の設計方針及び構造成立性の見通し（10/10）

（7）評価結果

- ・流路縮小工は、下表のとおり、地震荷重や津波荷重に対して十分な安定性を有しており、構造成立性の見通しがあることを確認した。
- ・なお、本評価結果は、暫定条件を用いた評価結果であることから、正式条件を用いた評価結果は詳細設計段階で示す。

曲げに対する評価結果

評価対象部位	目標性能	照査結果					
		照査項目	基準地震動	設計値 (A)	許容値 (B)	照査値 (A) / (B)	判定 (照査値 < 1.00)
堰	降伏耐力以下	圧縮ひずみ	Ss-D	209 μ	2000 μ	0.11	OK
		主筋ひずみ	Ss-D	1132 μ	1725 μ	0.66	OK
壁		圧縮ひずみ	Ss-D	30 μ	2000 μ	0.02	OK
		主筋ひずみ	Ss-D	305 μ	1725 μ	0.18	OK
底板	終局耐力以下	圧縮ひずみ	Ss-D	59 μ	2000 μ	0.03	OK
		主筋ひずみ	Ss-D	61 μ	1725 μ	0.04	OK
側壁・隔壁		層間変形角	Ss-D	1/4752	1/100	0.03	OK

せん断に対する評価結果

評価対象部位	目標性能	照査結果					
		照査項目	基準地震動	設計値 (A)	許容値※ (B)	照査値 (A) / (B)	判定 (照査値 < 1.00)
堰	降伏耐力以下	せん断	Ss-D	340 kN	996 kN	0.35	OK
壁			Ss-D	115 kN	177 kN	0.65	OK
底板	Ss-D		185 kN	954 kN	0.21	OK	
側壁・隔壁	終局耐力以下		Ss-D	728 kN	855 kN	0.86	OK

※：せん断耐力は、「コンクリート標準示方書[構造成能照査編]（土木学会，2002年）」に基づくせん断耐力式により算定した値を示す。