

## 10. 漂流物衝突荷重の設定方針のまとめ

津波防護施設の評価において、巡視点検車両等（衝突荷重が、作業船（総トン数 4.9 トン）の荷重以下となるよう制限する）、作業船及び漁船（総トン数 4.9 トン）を基本とする設計条件として設定する対象漂流物とする。

基準津波の波源に対して、すべての地形モデル(防波堤の損傷状態)との組合せで最大流速を確認した結果、波源K（防波堤損傷なし）の場合に、北防波堤先端付近で最大流速 17.78m/s が確認されたことから、津波防護施設における津波による漂流物衝突荷重の評価には、安全側に流速 18.0m/s を用いる。

津波防護施設における詳細設計段階では、漂流物衝突荷重の算定に当たり、漂流物衝突荷重の主な影響因子（対象漂流物、衝突速度、衝突位置、荷重組合せ）に対して、設計上の考慮を行う。

また、施設護岸から 500m 以遠で操業及び航行する漁船については、発電所に対する連続的な流れがないことから施設護岸に到達する可能性は十分に小さいが、仮に 500m 以遠から津波防護施設に衝突する場合の影響について確認する。

漂流物調査範囲内の人工構造物（漁船を含む）については、基準適合性維持の観点から漂流物調査を定期的（1回／年）に実施するとともに、津波防護施設への影響評価を実施し、必要に応じて対策を実施する。

## 防潮堤の構造成立性評価に用いる漂流物の衝突荷重の設定

### 1. 漂流物による衝突荷重の設定方針

設置変更許可段階における防潮堤の構造成立性評価に用いる衝突荷重は、現時点の漂流物評価結果<sup>※1</sup>を踏まえ、以下を対象として算定し<sup>※2</sup>、保守性を見込んで設計用衝突荷重として設定する。

- ・直近海域（発電所から500m以内で操業・航行）：総トン数5tの小型船舶<sup>※1</sup>
- ・前面海域（発電所から500m以遠で操業・航行）：総トン数20tの船舶<sup>※1</sup>

※1：漂流物調査結果では、総トン数4.9tの小型船舶・総トン数19.81tの船舶が確認されているが、衝突荷重の設定では、それぞれ総トン数5tの小型船舶・総トン数20tの船舶として、設定する。

※2：船舶構造について、文献値を用いて衝突荷重を設定するが、設計及び工事計画認可段階では、漂流物評価結果により抽出した対象船舶の諸元を基に衝突荷重を設定する。

なお、漂流物の衝突荷重は、設計及び工事計画認可段階において改めて設定する。

衝突荷重として考慮する漂流物による衝突荷重算定条件を表1に示す。

衝突荷重として考慮する浮遊状態の漂流物として選定した船舶について、規格・基準類及び既往の研究論文の衝突荷重算定式の泊発電所での適用性を考慮した上で、「直近海域」の船舶（総トン数5t）は「FEMA(2012)」、 「前面海域の船舶（総トン数20t）は道路橋示方書式を適用して衝突荷重を算定した。漂流物の衝突荷重算定フローを図1に示す。

また、「直近海域」の船舶（総トン数5t）の衝突荷重算定時に用いる「FEMA(2012)」では、付加質量係数及び有効軸剛性が必要となる。このうち、付加質量係数Cは保守的に最大値のC=1を適用する。一方、有効軸剛性については、以下のとおり設定した。

表1 衝突荷重として考慮する漂流物による衝突荷重算定条件

| 対象とした漂流物   | 重量等                                    | 到達形態 | 流速<br>(衝突速度)        | 初期配置<br>区分 | 適用式                       |
|------------|--|------|---------------------|------------|---------------------------|
| 小型船舶 (FRP) | 総トン数：5t<br>(排水トン数：15t <sup>※1</sup> )  | 浮遊   | 18m/s <sup>※2</sup> | 直近海域       | FEMA (2012) <sup>※3</sup> |
| 船舶 (FRP)   | 総トン数：20t<br>(排水トン数：60t <sup>※1</sup> ) | 浮遊   | 18m/s <sup>※2</sup> | 前面海域       | 道路橋示方書                    |

※1: 「漁港・漁場の施設の設計参考図書 (水産庁, 2015年)」より, 総トン数の3倍の重量として考慮する。  
 ※2: 現時点の最大津波流速である18m/sに設定する。  
 ※3: 適用式における付加質量係数Cは, 保守的に最大値のC=1を適用する。

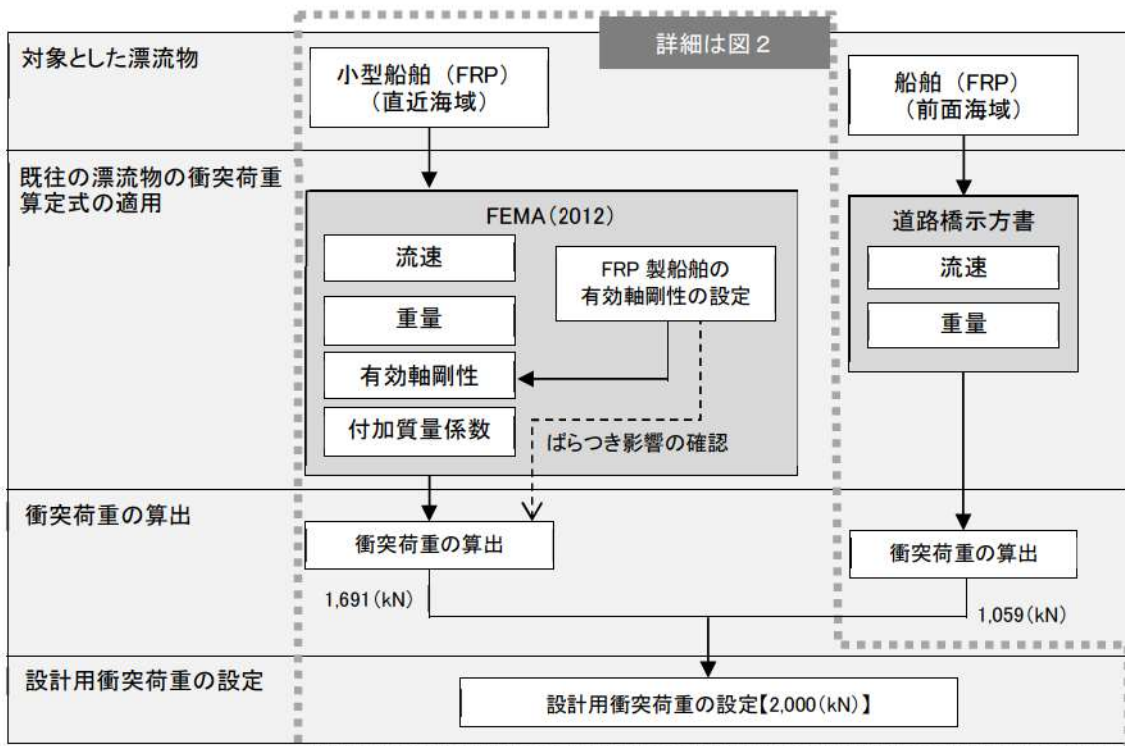


図1 衝突荷重として考慮する漂流物による衝突荷重算定フロー

## 2. 小型船舶の有効軸剛性の設定（総トン数5t）

船舶の軸剛性としては、「甲斐田・木原（2017）」が既往の文献を整理し、総トン数400～4000tの鋼製の大型船舶の有効軸剛性が示されている。

一方、評価対象としている船舶は泊漁港及び岩内漁港の漁船で、最大の総トン数は約5tであることから、大型船舶から小型船舶へ外挿する方法が考えられるが、泊漁港及び岩内漁港の小型船舶はFRP製の船舶であるため、材質の違いにより外挿する方法は適用が困難であると考えられる。

このような状況を踏まえ、FRP製の材質を考慮できる方法を用い、荷重-変位関係から軸剛性を算出することとした。

軸剛性の算出に当たっては、「FEMA（2012）」で示されている鋼製コンテナの軸剛性が短軸方向よりも長軸方向（船首方向に相当）の剛性が大きいこと、「甲斐田・木原（2017）」で示されている鋼製船舶の軸剛性が船首方向であることから、船首方向の軸剛性とする。

なお、後述のとおり、小型船舶（FRP）の軸剛性については、鋼製船舶を対象とした「土木学会（1994）」の座屈強度をFRP材料に置き換えて算出するため、FRP製船舶と鋼製船舶の類似（同等）性及び用いる知見の適用性（軸剛性の設定方法の妥当性）を示した上で、軸剛性の算出における各パラメータのばらつきを考慮し、設計への適用性（軸剛性の設定の保守性）を確認することとする。

小型船舶（FRP）の衝突荷重算出の詳細フローを図2に示す。

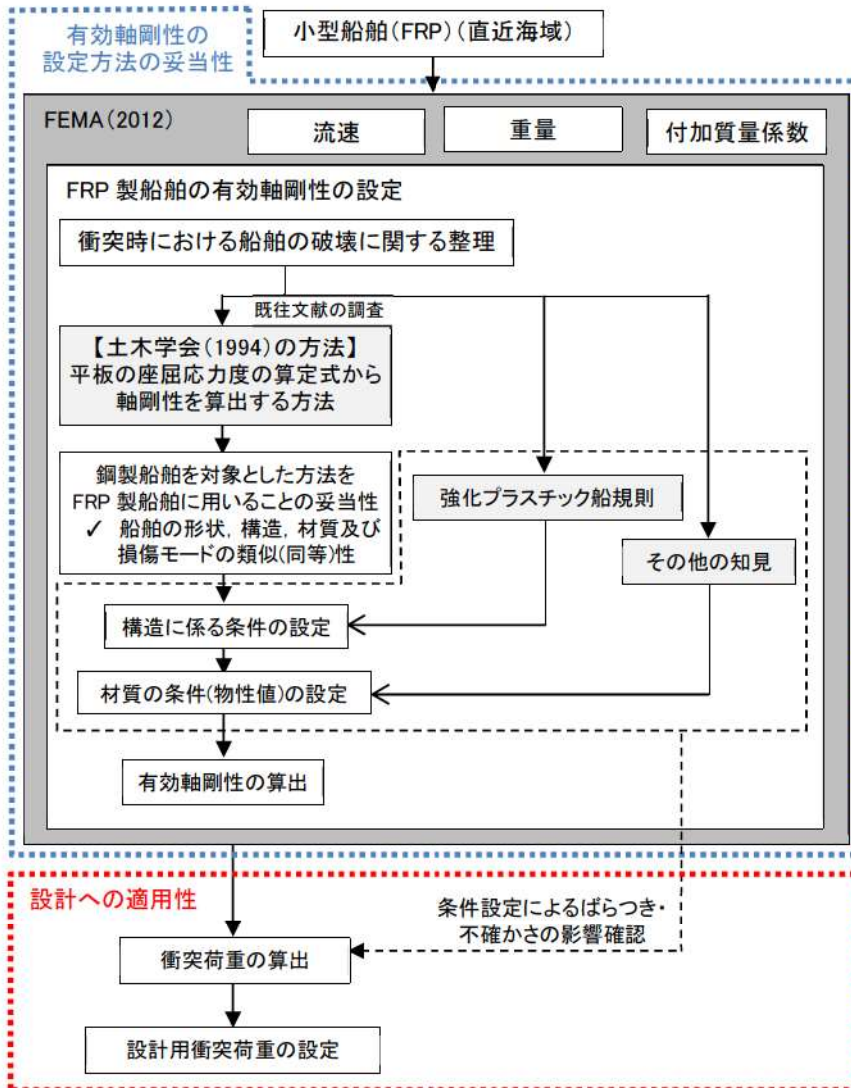


図2 小型漁船 (FRP) の衝突荷重算出の詳細フロー

### (1) 衝突時における船舶の破壊に関する整理

剛性及び強度が大きい津波防護施設（防潮堤）に対して、小型船舶（FRP）の座屈強度は小さいと考えられることから、「土木学会（1994）」で示されている破壊進展と同様に、FRP製船舶が圧壊していくこととなり、圧壊が進むにつれて衝突エネルギーが減少しつつ圧壊荷重が上限となって圧壊は終了する。これと同時に、被衝突側である津波防護施設にその圧壊荷重（最大荷重）が作用する。

「土木学会（1994）」によれば、図3に示すように、剛性及び強度が大きい海洋構造物に対する船舶の圧壊荷重と変形量との関係が示されており、以下のような破壊進展となる。

- ✓ 船舶の衝突初期は、船首が傾斜しているため接触面が小さく、圧壊が進むに従って荷重（反力）はほぼ直線的に増加する。
- ✓ 船舶の破壊が進み、船首の傾斜部が全部破壊し、船体の全面が海洋構造物に接触すると、その後の荷重はほぼ一定値に達する。この時の荷重は、船首側からの圧壊による座屈荷重とほぼ同等とみることができるとされている。

以上を踏まえ、FRP製船舶の圧壊荷重を求めた上で、軸剛性を算出することとする。

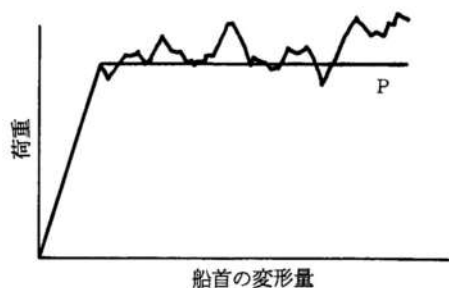


図3 荷重と船首の変形量（「土木学会（1994）」）（1/2）

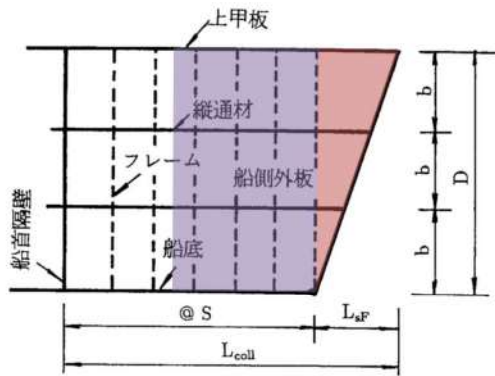


図 3.3 船首部の標準型

土木学会(1994)

「船が海洋構造物に船首衝突し、船首から圧壊が起こり食い込んで行くときは、まず船首前端から船首傾斜部が圧壊する。そして、さらに圧壊が進むと深さが一樣となる船首部の圧壊へと食い込みが拡大していく。」

「衝突船が海洋構造物に衝突し、船体が圧壊するときは、その衝突エネルギーは船首の圧壊によって吸収される。この船首の圧壊による吸収エネルギーは、図 3.6 の点線で囲まれる面積で求められる。」

【解釈】

図 3.3 の船首傾斜部(赤色部)が壊れる際には、図 3.6 及び図 3.7 の赤色部で示すように圧壊荷重及び船側の吸収エネルギーが増加する。一方、船首傾斜部が完全に壊れ、図 3.3 の船首傾斜部よりも船体側(青色部)が壊れ始めると、構造が長手方向に一樣であることから、図 3.6 のように圧壊荷重は一定となり、吸収エネルギーは図 3.7 のように線形に増加することとなる。

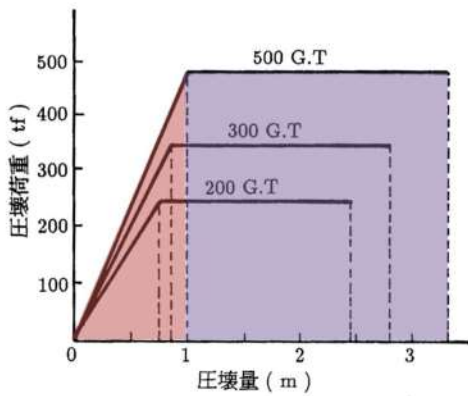


図 3.6 圧壊荷重と圧縮量

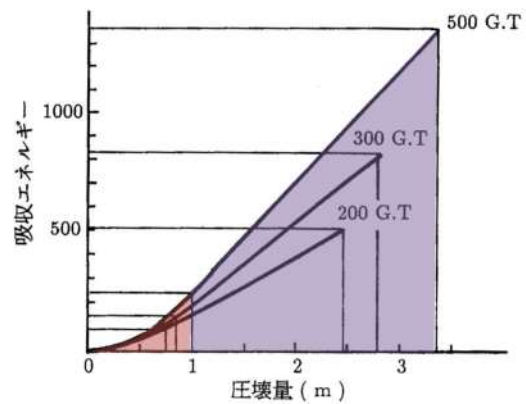


図 3.7 船側強度の算定

図 3 荷重と船首の変形量 (「土木学会 (1994) 」に一部加筆) (2/2)

(2) 土木学会 (1994) の方法

「土木学会 (1994)」では、船舶の圧壊荷重 (船首強度)  $P_c$  について、図 4 に示す平板の座屈応力度の算定式から座屈強度 ( $\sigma_c$ ) を算出し、船首形状寸法等を乗じることによって求められるとしている。「土木学会 (1994)」で検討対象としている船舶は、大型の鋼製船舶ではあるが、座屈強度 ( $\sigma_c$ ) の算定式は一般的な平板の座屈応力度の算定式であることから、ヤング率とポアソン比で適切に考慮することで、鋼製以外の船舶にも適用可能である。

また、「土木学会 (1994)」によれば、船舶の破壊が進み、船首傾斜部がすべて破壊した際に圧壊荷重  $P_c$  に達し、その後圧壊荷重  $P_c$  が一定値として作用することとなる (図 5 参照)。

そのため、圧壊荷重  $P_c$  を船首傾斜部の長さ  $L_{sf}$  で除した値が船舶の軸剛性  $k_c$  となる (大型の鋼製船舶を対象に、「甲斐田・木原 (2017)」で示されている軸剛性と土木学会 (1994) により算出した軸剛性の比較を参考資料 1 に示す)。

ここで算出される軸剛性は、船首傾斜部のみに適用され、圧壊荷重に達した後は衝突荷重は一定値となることが想定されるが、本評価では一定となる圧壊荷重をそのまま衝突荷重とは考えずに、保守的に衝突速度に応じて荷重が増大することを仮定し、衝突荷重を算出することとする。

なお、「基礎からわかるFRP (強化プラスチック協会編, 2016)」によれば、「圧縮荷重が作用する場合には、圧縮強度を基準に構造設計するのではなく、座屈強度を基準に構造設計する必要がある。」とされていることから、FRP製船舶の圧壊荷重に座屈強度を用いることは妥当である。

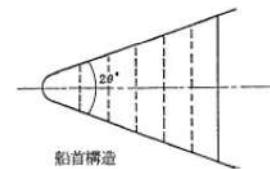
以上を踏まえ、「土木学会 (1994)」に示された圧壊荷重の算出方法を用いて、軸剛性を算出する。

$$\sigma_c = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{t}{b} \right)^2$$

$$P_c = 2Dt (\cos \theta) \sigma_c$$

$$k_c = \frac{P_c}{L_{sf}}$$

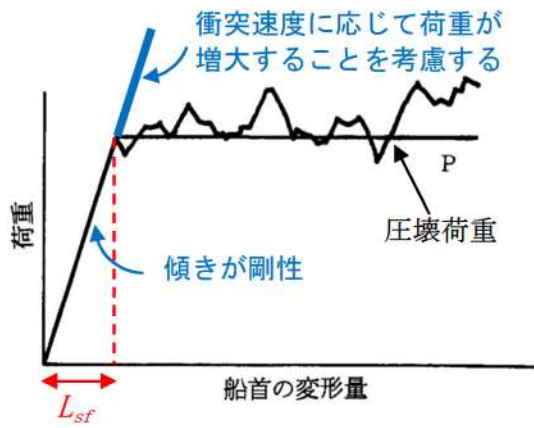
|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| $\sigma_c$ : 座屈強度 (tf/m <sup>2</sup> ) | $P_c$ : 圧壊荷重 (船首強度) (tf)         |
| $k_c$ : 軸剛性 (tf/m)                     | $E$ : ヤング率 (tf/m <sup>2</sup> )  |
| $\nu$ : ポアソン比                          | $a$ : 横肋骨心距 (mm)                 |
| $k$ : 座屈係数 $((b/a+a/b)^2)$             | $b$ : 縦肋骨心距 (mm)                 |
| $t$ : 船側外板厚 (mm)                       | $D$ : 船の深さ (m)                   |
| $L_{sf}$ : 船首傾斜の長さ (m)                 | $2\theta$ : 船首角度 (°) (35° ~ 70°) |



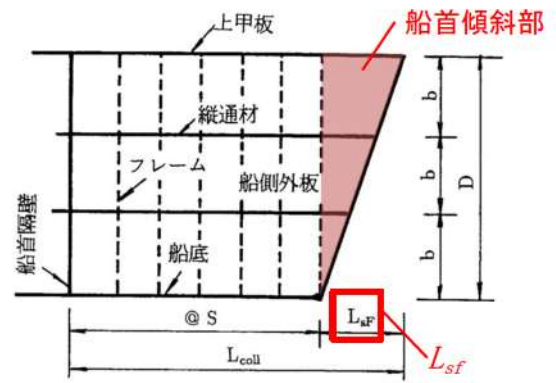
船首角度 (「土木学会 (1994)」)

図 4 土木学会 (1994) を用いた軸剛性の算定方法





荷重と船首の変形量  
 (「土木学会(1994)」に一部加筆)



船首部の標準型  
 (「土木学会(1994)」に一部加筆)

図5 土木学会(1994)を用いた軸剛性の考え方

### (3) 鋼製船舶を対象とした方法をFRP製船舶に用いることの妥当性

「土木学会(1994)」で示されている座屈強度( $\sigma_c$ )の算定式は一般的な平板の座屈応力度の算定式であるため、ヤング率とポアソン比を適切に考慮することで、FRP製船舶に適用することが可能であると考えられるが、「土木学会(1994)」で検討対象としている船舶が鋼製船舶であることを踏まえ、FRP製船舶と鋼製船舶の形状、構造、材質及び損傷モードに関する類似(同等)性について確認を行った。

#### a. 船舶の形状に関する類似(同等)性

「小型漁船のインベントリ分析に関する研究—A:モデル船の建造・運航状況調査—(海上技術安全研究所報告 第3巻 第5号(平成15年))」(以下「海技研報告(平成15年)」という。)に、ほたての養殖に使用する総トン数14tのアルミ合金漁船とFRP漁船の図面が示されている(図6)。

これらの図面から、FRP漁船とアルミ合金漁船の寸法、外形及び断面形状はほぼ同じであることが確認できる。なお、評価対象である泊漁港及び岩内漁港の小型漁船はさけ定置網を営んでおり用途が異なるものの、これらの図面で示されているFRP漁船と概ね同様の形状である。

以上から、FRP製船舶と鋼製船舶の形状は類似性を有する。

表-2.1 アルミ合金漁船の主要目表

|         |                               |
|---------|-------------------------------|
| 全長      | 21.66m                        |
| 全幅      | 4.78m                         |
| 型深さ     | 1.21m                         |
| 登録長     | 17.60m                        |
| 登録幅     | 4.38m                         |
| 登録深さ    | 1.20m                         |
| 測定長     | 19.20m                        |
| 測定幅     | 3.90m                         |
| 測定深さ    | 1.20m                         |
| 計画総トン数  | 14トン                          |
| 主機関     | YANMAR 6LX-ET<br>(定格出力) 650PS |
| 定員      | 6人                            |
| 用途      | 小型機船底びき網漁業                    |
| 燃料油の種類  | A重油                           |
| 燃料油の消費量 | 160g/(ps・hr)                  |
| 発電機動力   | 主機駆動                          |



写真-2.1 アルミ合金漁船

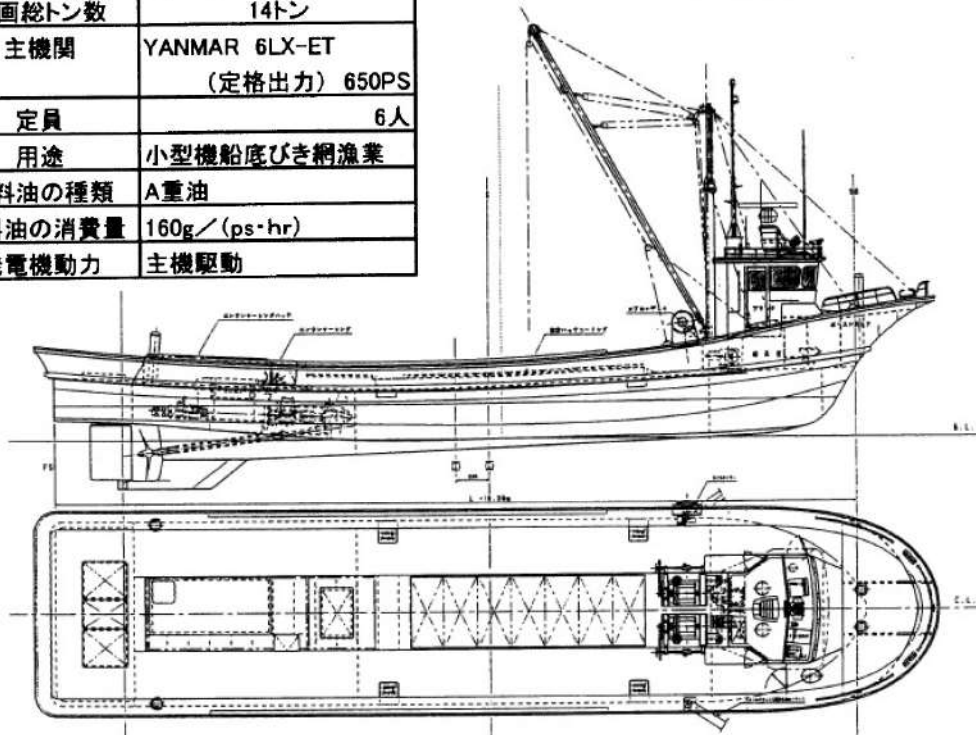


図-2.1 アルミ合金漁船の一般配置図

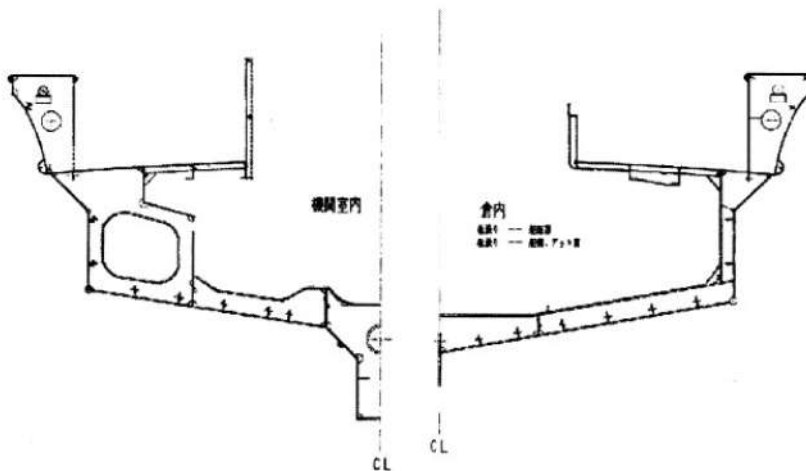


図-2.2 アルミ合金漁船の中央断面図

図6 アルミ合金漁船（「海技研報告（平成15年）」）（1/2）

表-2.6 FRP漁船の主要目表

|         |                               |
|---------|-------------------------------|
| 全長      | 21.66m                        |
| 全幅      | 4.78m                         |
| 型深さ(D') | 1.21m                         |
| 登録長     | 17.60m                        |
| 登録幅     | 4.18m                         |
| 登録深さ    | 1.38m                         |
| 測定長     | 19.20m                        |
| 測定幅     | 3.90m                         |
| 型深さ(Dm) | 1.20m                         |
| 計画総トン数  | 14トン                          |
| 主機関     | YANMAR 6LAH-ST<br>(定格出力)550PS |
| 定員      | 5人                            |
| 用途      | 小型機船底びき網漁場                    |
| 燃料油の種類  | A重油                           |
| 燃料油の消費量 | 162g/(ps.hr)                  |
| 発電機動力   | 主機駆動                          |

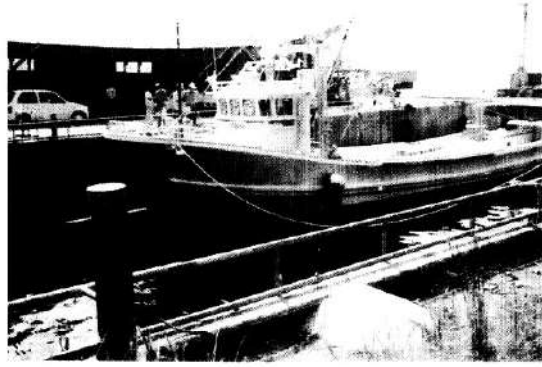


写真-2.2 FRP漁船

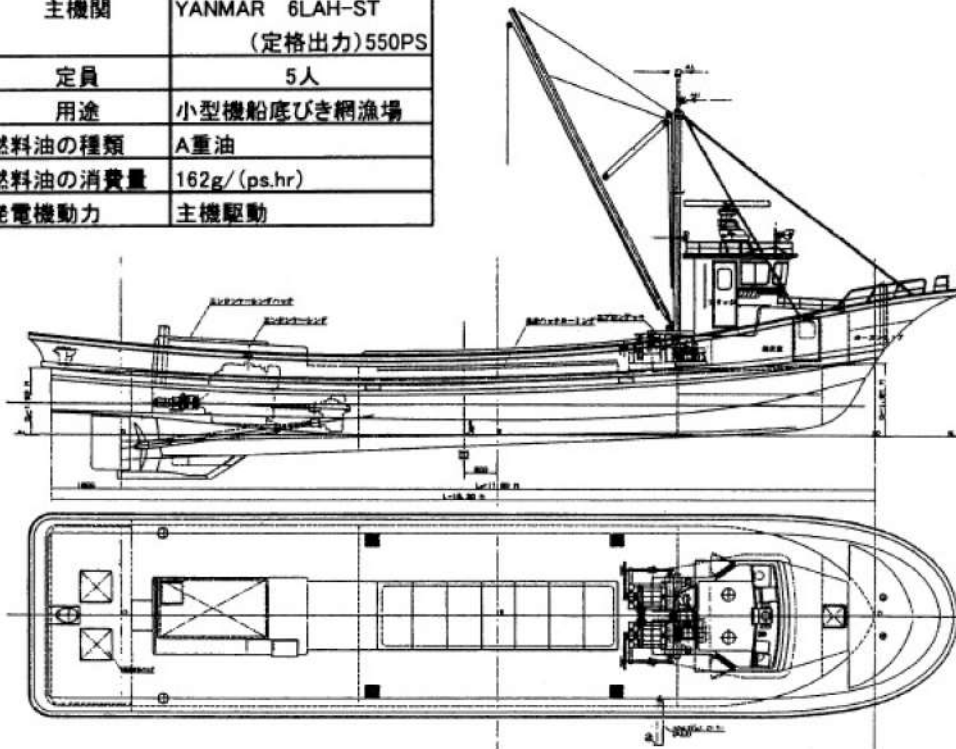


図-2.4 FRP漁船の一般配置図

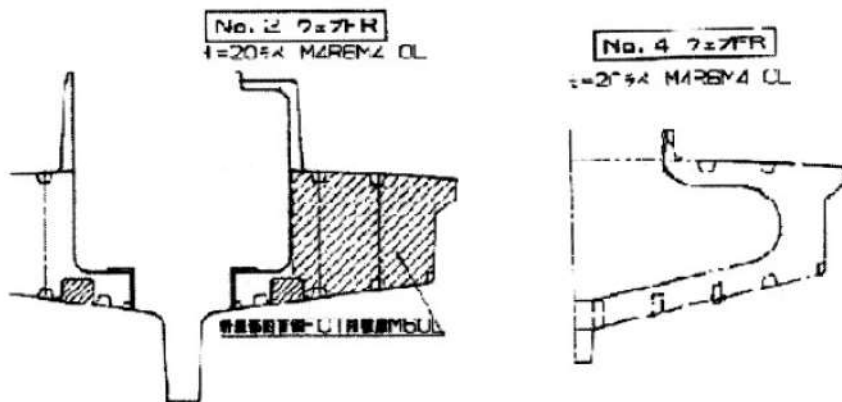


図-2.5 FRP漁船の横断面図

図6 FRP漁船（「海技研報告（平成15年）」）（2/2）

## b. 船舶の構造に関する類似（同等）性

座屈強度を算出する際に必要となる船側外板厚等について、FRP製船舶と鋼製船舶の算出方法を比較し、両者に類似性があることを確認した（表2）。

- ✓ 「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」によれば，中央部の船側外板厚は  $15S\sqrt{(d+0.026L)}$ （ $S$ ：肋骨の心距， $d$ ：計画最大満載喫水， $L$ ：船の長さ）とされている。この算定式に関しては，「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会会誌，1978）」では，「波浪中を航行する船が受ける外力は，船の大きさ，形状等によって異なるが，特別な場合を除き，船体の材質によって変わらないと考えられる。したがって船底や船側の波浪外力，水密隔壁や深水タンク隔壁に作用する外力は，すべて鋼船規則に定められている外力を用いた。」とされており，外板の厚さを算出するために用いる外圧（水頭）について「荷重を鋼船規則に合わせ，波浪変動圧を考慮に入れた  $(d+0.026L)$  とした。」とあることから，FRP製船舶の船側外板厚算定式は，鋼製船舶を基本にしていることから，両者は類似性を有する。
- ✓ また，縦強度，甲板，肋骨，船底等の主要構造について，「鋼船規則（日本海事協会）」，「小型鋼製漁船（（社）漁船協会，昭和46年）」及び「小型鋼船構造規則（詳細不明）」の鋼製船舶を基に「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」で規定されていることから，FRP製船舶と鋼製船舶の構造は類似性を有する。

## c. 船舶の材質の力学特性の類似（同等）性

「土木学会（1994）」で検討対象としている船舶が鋼製船舶であることを踏まえ，それぞれの材料である鋼材とFRP材の材質の力学特性について整理を行い，両者に類似性があることを確認した（表2）。

- ✓ 船舶に用いられるFRP（Fiber Reinforced Plastics；繊維強化プラスチック）の主材料は，ガラス繊維基材と樹脂液（液状不飽和ポリエステル樹脂）である（「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」を参考）。
- ✓ 「FRP成形入門講座（日本プラスチック加工技術協会）」では，FRPの材料力学的特性の記載があり，「FRP材料はガラス繊維，マトリックスの種類，組成，形体によってその特性が広範囲に変化する。例えば，無方向性のランダムイドガラスマットを用いると，ほぼ等方性材料として扱うことができる。」とされている。また，船舶にはあらゆる方向からの波が外力として作用することから，異方性材料とならないようガラス繊維基材を組み合わせて成形される。
- ✓ 「基礎からわかるFRP（強化プラスチック協会編，2016）」によれば，「FRPは微視的には不均質材料であるが，巨視的には等方性または直交異方性の力学特性を持つ均質材料として取り扱うことができる。このような場合には，等方性または直交異方性の座屈理論をそのまま利用できる。」としている（図

7)。上記と同様、船舶にはあらゆる方向からの波が外力として作用することから、異方性材料とならないようガラス繊維基材を組み合わせ成形されるため、等方性の力学特性を持つ鋼材と FRP は類似した力学特性を有する。

- ✓ 「FRP 成形入門講座（日本プラスチック加工技術協会）」によれば、「FRP 材料は金属材料と異なり、はっきりとした降伏点を示さず、破壊寸前まではほぼ弾性変形を示し、その応力-ひずみ曲線は図のようになり、弾性吸収エネルギーが非常に大きいことが特徴で、外力の吸収が金属材料に比較して大きいため、FRP 材料で作られた構造物は与えられるショックが小さい。」ことが示されている（図 8）。「基礎からわかる FRP（強化プラスチック協会編，2016）」及び「土木構造用 FRP 部材の設計基礎データ（土木学会，2014）」でも同様の特徴を有することが記載されている。これらのことから、FRP は破壊寸前までは鋼材の降伏強度以内と同様に弾性変形するという点で類似している。

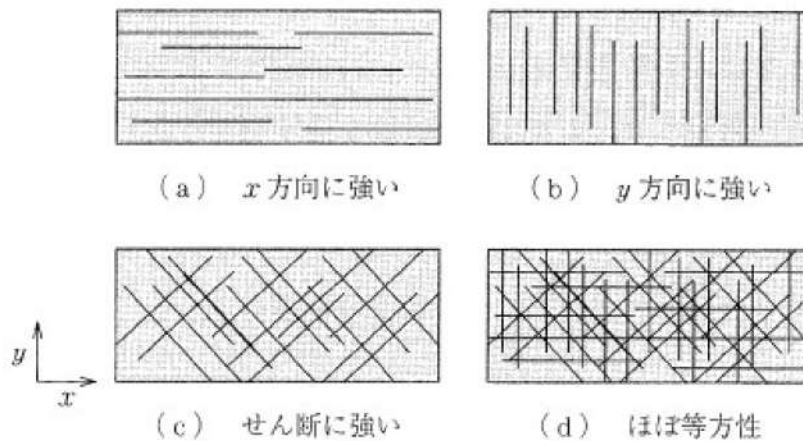


図 7 FRP の材料異方性（「基礎からわかる FRP（強化プラスチック協会編，2016）」）

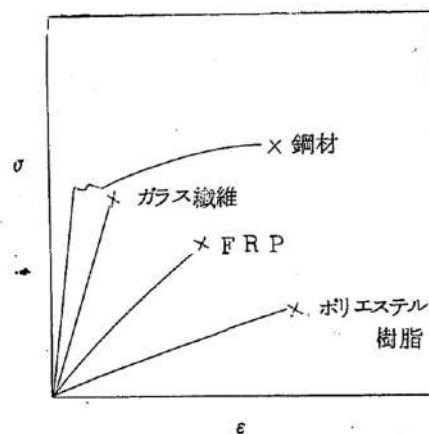


図 8 FRP の応力-ひずみ関係（「FRP 成形入門講座（日本プラスチック加工技術協会）」）

#### d. 船舶の損傷モードの類似（同等）性

「土木学会(1994)」で検討対象としている船舶が鋼製船舶であることを踏まえ、それぞれの材料である鋼材とFRP材の損傷モードについて整理を行い、両者に類似性があることを確認した（表2）。

- ✓ 「FRP 構造設計便覧（強化プラスチック協会，1994）」によれば、「FRP 構造は薄肉シェルのことが多いが、もし外圧が作用して面内に発生する圧縮応力が大きくなると、構造は不安定となり、いわゆる座屈現象をおこして大変形を生じ、破損する恐れがあり、座屈限界応力が問題となる。また構造物の固有振動数が、外力からの加振振動数に近い場合には、いわゆる共振現象をおこし、機能を阻害したり、過大振幅になって材料が疲労破壊する恐れがあり、固有振動数が問題となる。」とされており、主に座屈と共振による損傷モードが考えられるが、評価対象事象は衝突であるため、座屈による損傷モードが想定される。これは、鋼製の圧縮材と同様の損傷モードである。
- ✓ 評価対象としている小型船舶の構造は半円筒形のような構造をしているが、甲板は船舶の全体の構造強度には寄与しておらず、船底と船側が主に竜骨と隔壁で構造が区切られており、さらに縦断及び横断方向に肋骨が配置されている。そのため、FRP 製船舶と鋼製船舶は、それぞれ構成している部位の材質は異なるものの、どちらも主として薄板を組み合わせた構造である。
- ✓ また、船舶は 18m/s という高速度で被衝突体に衝突するため、非常に大きな力が一方向（圧縮方向）に作用するため、FRP 製船舶も鋼製船舶も薄板構造であり、圧縮系の座屈を引き起こしやすいという点で類似性を有する。
- ✓ なお、FRP 材は、局所的にトランスバースクラックや層間はく離等の損傷モードが考えられるが、衝突速度が 18m/s と高速度で、船舶の重量が 15t であるため、このような局所的かつ初期的な損傷モードは支配的とはならない。また、上述のとおり、船舶に一方向から極端に大きな力が作用するため、せん断座屈やねじれ座屈のような事象も生じず、圧縮座屈が支配的となる。

表2 FRP製船舶と鋼製船舶の類似（同等）性に関する整理

| 項目           | 引用文献  | 確認内容  | 類似（同等）性 |
|--------------|---|---|---------|
| 全体形状         | 「海技研報告（平成15年）」  | 文献に示されているFRP漁船とアルミ合金漁船の寸法、外形及び断面がほぼ同じであることを確認した。  | ○       |
| 船側外板厚        | 「強化プラスチック船規則（日本海事協会, 2018）」<br>「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会誌, 1978）」   | FRP製船舶と鋼製船舶に作用する外力が同じであり、FRP製船舶の船側外板厚算定式が鋼製船舶を基にしていることを確認した。  | ○       |
| その他の<br>主要構造 | 「強化プラスチック船規則（日本海事協会, 2018）」<br>「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会誌, 1978）」<br>「鋼船規則（日本海事協会）」<br>「小型鋼製漁船（（社）漁船協会, 昭和46年）」<br>「小型鋼船構造規則（詳細不明）」 | FRP製船舶の縦強度、甲板、肋骨、船底等の主要構造が鋼製船舶の構造を参考にしたり、同様の考えを採用していることを確認した。   | ○       |
| 材質の力学特性      | 「基礎からわかるFRP（強化プラスチック協会編, 2016）」<br>「強化プラスチック船規則（日本海事協会, 2018）」<br>「FRP成形入門講座（日本プラスチック加工技術協会）」                                   | FRP製船舶の材料であるFRPは等方性又は直交異方性の力学特性を持ち、鋼製船舶の材料である鋼材と同様に均質材料であることを確認した。また、FRPは破壊直前まで鋼材（降伏強度以内）と同様に弾性変形することを確認した。 | ○       |
| 損傷モード        | 「FRP構造設計便覧（強化プラスチック協会, 1994）」   | FRP製船舶と鋼製船舶は、どちらも薄板を組み合わせた構造であるため圧縮方向の力が作用した場合に座屈しやすいことを確認した。   | ○       |



e. 鋼製船舶を対象とした方法をFRP製船舶に用いることの妥当性

a. ～d. の検討より、FRP製船舶と鋼製船舶は形状、構造、材質及び損傷モードに関して類似（同等）性を有することから、FRP製船舶の圧壊荷重算出にあたり「土木学会（1994）」の方法を用いることは妥当であると判断した。

(4) FRP製船舶の構造及び材質に係る条件の設定

a. 妥当性確認ケース

FRP製船舶の座屈強度を算出する際に必要となる船舶の構造条件、材料物性（ヤング率及びポアソン比）については、用いる文献の適用性を確認した上で、それぞれ表3及び表4のとおりとする。

これら表3及び表4に示した条件を「軸剛性の設定にあたり妥当性を確認したケース」とし、軸剛性を算出すると、 $0.47 \times 10^5$  (N/m) となり、この軸剛性を用いてFEMA（2012）から衝突荷重を算出すると、879 (kN) となる（表5）。

表3 船舶の構造に関する引用文献の適用性及び設定値

| 項目                          | 引用文献  | 適用性  | 評価 | 引用文献の値                 | 採用値       |
|-----------------------------|---|--|----|------------------------|-----------|
| 船舶の長さ<br>L                  | 「漁港・漁場の施設の設計参考図書（水産庁，2015年）」の総トン数5tの諸元（船の長さ）                            | 本図書は、「漁港漁場整備法」に基づき「漁港・漁場の施設の設計」において参考となる技術的な知見を記載したものである。」とされており、全漁業種類の漁船の平均値が示されていることから、適用可能と判断した。                | ○  | 11.0 (m)               | 11.0 (m)  |
|                             | 「漁港・漁場の施設の設計参考図書（水産庁，2015年）」の総トン数5tの最大喫水                                | 本図書は、「漁港漁場整備法」に基づき「漁港・漁場の施設の設計」において参考となる技術的な知見を記載したものである。」とされており、全漁業種類の漁船の平均値が示されているが、最大喫水と船の深さは異なることから、適用不可と判断した。 | ×  | 1.8 (m)                | 1.22 (m)  |
| 船の深さ <sup>※1</sup><br>D     | 「小型漁船のインベントリ分析に関する研究-A：モデル船の建造・運航状況調査－（海上技術安全研究所報告 第3巻 第5号（平成15年）」）から案分 | 本図書は、実際に漁業で使用されていた総トン数約14tのFRP製漁船の形状が示されていることから、総トン数5tに案分することで適用可能と判断した。   | ○  | 1.22 (m) <sup>※2</sup> |           |
|                             | 「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018年）」の前後部の外板の厚さ                                   | 本規則は、法定検査と同等（本規則に従った船級検査に合格すること、法定検査を省略することが可能）であり、船舶の長さが35m未満のFRP製船舶に適用される規則であることから適用可能と判断した。                     | ○  | 5.89 (mm)              | 5.89 (mm) |
| 船舶構造                        |   |  |    |                        |           |
| 船側外板厚<br>t                  |   |  |    |                        |           |
| 横肋骨心距<br>a                  | 「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018年）」の肋骨心距  | 本規則は、法定検査と同等（本規則に従った船級検査に合格すること、法定検査を省略することが可能）であり、船舶の長さが35m未満のFRP製船舶に適用される規則であることから適用可能と判断した。                     | ○  | 500 (mm)               | 500 (mm)  |
| 縦肋骨心距<br>b                  | 「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018年）」の肋骨心距  | 本規則は、法定検査と同等（本規則に従った船級検査に合格すること、法定検査を省略することが可能）であり、船舶の長さが35m未満のFRP製船舶に適用される規則であることから適用可能と判断した。                     | ○  | 500 (mm)               | 500 (mm)  |
| 船首角度<br>2θ                  | 「小型漁船のインベントリ分析に関する研究-A：モデル船の建造・運航状況調査－（海上技術安全研究所報告 第3巻 第5号（平成15年）」）から案分 | 本図書は、実際に漁業で使用されていた総トン数約14tのFRP製漁船の形状が示されていることから適用可能と判断した。  | ○  | 70° <sup>※2</sup>      | 70°       |
| 船首傾斜部の長さ<br>L <sub>sf</sub> | 「小型漁船のインベントリ分析に関する研究-A：モデル船の建造・運航状況調査－（海上技術安全研究所報告 第3巻 第5号（平成15年）」）から案分 | 本図書は、実際に漁業で使用されていた総トン数約14tのFRP製漁船の形状が示されていることから、総トン数5tに案分することで適用可能と判断した。   | ○  | 1.52 (m) <sup>※2</sup> | 1.52 (m)  |

※1: 「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018年）」によれば、「船の長さの中央で測った船底外板の下面、又は船体中心線と船底外板下面の延長線との交点から船側における上甲板の上面までの垂直距離をいい、単位はメートル (m) とする。」とされている。

※2: 算出方法を図9に示す。

※3: 船舶構造について、設計及び工事計画認可段階では、漂流物評価結果により抽出した対象船舶の諸元を基に適切な設定を行う。

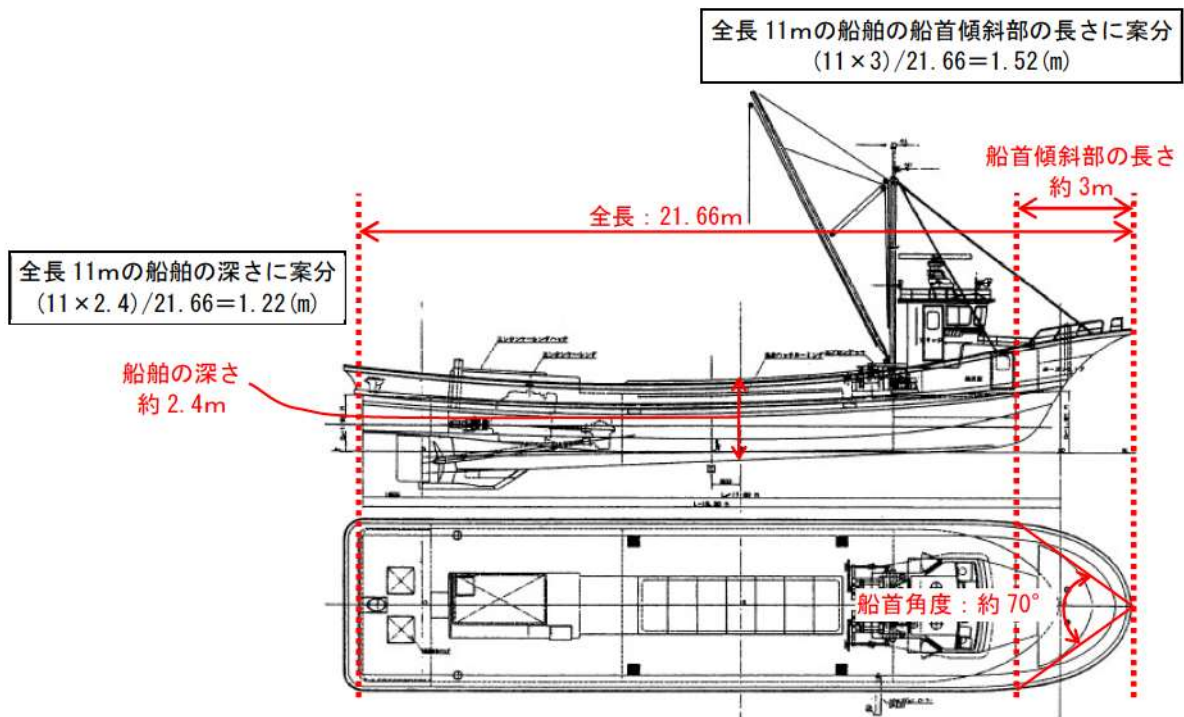


図-2.4 FRP漁船の一般配置図

図9 FRP 漁船の深さ，船首傾斜部の長さ及び船首角度  
 (「海技研報告 (平成 15 年)」に一部加筆)

表 4 船舶の材料物性（ヤング率及びポアソン比）に関する引用文献の適用性及び設定値

| 項目              | 引用文献   | 適用性  | 評価 | 引用文献の値 <sup>※1</sup>   | 採用値 <sup>※2</sup>                        |
|-----------------|--|--|----|--|--|
| ヤング率<br>(曲げ弾性率) | 「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018年）」の曲げ弾性係数   | 本規則は、「長さが35m未満の普通の形状のFRP船（油タンカーを除く。）で、普通の主要寸法比を有するものに適用する。」とされており、平均的な曲げ弾性係数を示しているが、最低値を規定している可能性があるため、適用不可と判断した。    | ×  | 6.86×10 <sup>8</sup> (N/mm <sup>2</sup> )<br>【0.7×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )】  |  |
|                 | 「強化プラスチック船規則検査要領（日本海事協会，2018年）」の曲げ弾性係数の判定基準  | 上記規則に対する検査要領であり、船体材料（ガラス繊維基材）の判定基準を示したものであることから、適用可能と判断した。   | ○  | 11.78×10 <sup>8</sup> (N/mm <sup>2</sup> )<br>【1.2×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )】 |  |
|                 | 「漁港・漁場の施設の設計参考図書（水産庁，2015年）」のハンドレイアウト成形法 <sup>※3</sup> の曲げ弾性率  | 本図書は、「漁港漁場整備法」に基づき「漁港・漁場の施設の設計において参考となる技術的な知見を記載したものである。」とされており、漁船の成形法であるハンドレイアウト成形法による曲げ弾性率を示したものであることから、適用可能と判断した。 | ○  | 9～12 (GPa)<br>【1.08×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )】                                | 1.2×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> ) |
|                 | 「船舶海洋工学シリーズ⑥船体構造 構造編（藤久保昌彦・吉川孝男・深沢塔一・大沢直樹・鈴木英之，2012年）」   | 本文献は、船体構造が詳細に示されているが、FRP船舶については紹介されている程度であり、示されているヤング率も典型的な値として紹介されているのみで、値の根拠が示されていないことから、適用不可と判断した。                | ×  | 10.7 (kN/mm <sup>2</sup> )<br>【1.09×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )】                |  |
| 材料物性            | 「非金属材料データベース①プラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス」[改訂2版]（日本規格協会，1985年）」のハンドレイアウト成形法用ガラス繊維基材のGRPとしての力学的特性（標準）の曲げ弾性率 | 本文献は、非金属材料の物性値を幅広く掲載しており、漁船の成形法であるハンドレイアウト成形法による曲げ弾性率を示したものであることから、適用可能と判断した。  | ○  | 1050～1140 (kgf/mm <sup>2</sup> )<br>【1.10×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )】          |  |
|                 | 「3相森・田中平均化手法のハイブリッドFRP梁への応用（土木学会，2014）」  | FRP材料の巨視的材料係数としてポアソン比が示されているが、I型断面の梁構造の値であり、船舶とは使用目的が異なるため、適用不可と判断した。  | ×  | 0.1, 0.29, 0.308, 0.32   |  |
| ポアソン比           | 「非金属材料データベース①プラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス」[改訂2版]（日本規格協会，1985年）」のハンドレイアウト成形法用ガラス繊維基材のGRPとしての力学的特性（標準）       | 本文献は、非金属材料の物性値を幅広く掲載しており、漁船の成形法であるハンドレイアウト成形法によるポアソン比を示したものであることから、適用可能と判断した。  | ○  | 0.336<br>(0.320～0.358)   | 0.336                                    |

※1:文献に記載されている値が範囲を示している場合は平均値とし、【】内に示す。また、各項目で適用性ありと評価されたものの最大値を下線で示す。

※2:各項目で適用性ありと評価された中から最大値を採用する。

※3:ERPの成形法に用いられる成形法である。他の漁船の成形法としてはスプレイアップ成形法があるが、ヤング率は7～9 (GPa)であり、ハンドレイアップ成形法の方が高い。

表5 各条件の妥当性を確認したケースでの軸剛性

| 項目                  |                   | 軸剛性の設定にあたり<br>妥当性を確認したケース              |
|---------------------|-------------------|--|
| 船舶構造                | 船舶の長さ L           | 11.0 (m)                               |
|                     | 船の深さ D            | 1.22 (m)                               |
|                     | 船側外板厚 t           | 5.89 (mm)                              |
|                     | 横肋骨心居 a           | 500 (mm)                               |
|                     | 縦肋骨心居 b           | 500 (mm)                               |
|                     | 船首角度 $2\theta$    | 70 (°)                                 |
|                     | 船首傾斜部の長さ $L_{sf}$ | 1.52 (m)                               |
| 材料物性                | ヤング率 E<br>(曲げ弾性率) | $1.2 \times 10^6$ (tf/m <sup>2</sup> ) |
|                     | ポアソン比 $\nu$       | 0.336                                  |
| 圧壊荷重 $P_c$          |                   | 71.3 (kN)                              |
| 有効軸剛性 $k_c$         |                   | $0.47 \times 10^5$ (N/m)               |
| 衝突荷重 (FEMA (2012) ) |                   | 879 (kN)                               |

## b. 保守性確認ケース

「a. 妥当性確認ケース」で示した軸剛性は、軸剛性の設定に当たり各条件（構造及び材料物性）の妥当性は確認しているものの、設計へ適用するためには保守性を考慮する必要がある。そのため、以下の方針で保守性の考慮について整理した。

材料物性であるヤング率及びポアソン比について、妥当性を確認したケースにおいては適用性を確認した文献に示されている値又は範囲で示されている場合は平均値を用いたが、これらの物性は不確かさ及びばらつきがある条件であるため、それぞれ文献で確認した値の最大値（範囲を示している場合も最大値）を採用することで、保守性を考慮する（表6）。

「土木学会（1994）」では、船首角度以外の条件は船舶の長さLの関数として記載されている。そのため、妥当性を確認したケースの船舶の長さ11mとした場合の軸剛性を算出する。さらに、船舶の長さをより長くした場合の検討も行い、軸剛性の保守性を考慮する。

上記方針に従い保守性を考慮した軸剛性算出の各条件を表7に示す。

その結果、保守性確認ケース1（船舶の長さ11m）では、 $1.56 \times 10^5$  (N/m) ，保守性確認ケース2（船舶の長さ12.8m）では $1.74 \times 10^5$  (N/m) となり、保守性確認ケース2（船舶の長さ12.8m）の方が大きく、「a. 妥当性確認ケース」の軸剛性（ $0.47 \times 10^5$  (N/m) ）よりも3倍以上の値であることから、保守性確認ケース2（船舶の長さ12.8m）の軸剛性（ $1.74 \times 10^5$  (N/m) ）を採用する。

表6 材料物性（ヤング率及びポアソン比）の妥当性確認と保守性確認ケースでの比較

| 項目   | 引用文献  | 引用文献の値①   | 妥当性確認<br>(①の平均値)                            | 保守性確認<br>(①の最大値)                             |
|------|---|---|---|--|
| 材料物性 | 「強化プラスチック船規則検査要領（日本海事協会，2018年）」の曲げ弾性係数の判定基準   | 11.78×10 <sup>3</sup> (N/mm <sup>2</sup> )<br>【1.2×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )】              | 1.2×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> ) ※1 | 1.2×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )     |
|      | 「漁港・漁場の施設の設計参考図書（水産庁，2015年）」のハンドレイアウト形成法の曲げ弾性率  | 9～12 (GPa)<br>【0.91×10 <sup>6</sup> ～1.22×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )】                       | 1.08×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )   | 1.22×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> ) ※2 |
| 材料物性 | 「非金属材料データブック プラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス」[改訂2版]（日本規格協会，1985年）」のハンドレイアウト用ガラス繊維基材のGRPとしての力学的特性（標準）の曲げ弾性率 | 1050～1140 (kgf/mm <sup>2</sup> )<br>【1.05×10 <sup>6</sup> ～1.14×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )】 | 1.10×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )   | 1.14×10 <sup>6</sup> (tf/m <sup>2</sup> )    |
|      | 「非金属材料データブック プラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス」[改訂2版]（日本規格協会，1985年）」のハンドレイアウト用ガラス繊維基材のGRPとしての力学的特性（標準）       | 0.336<br>(0.320～0.358)  | 0.336※1                                     | 0.358※2                                      |

※1:妥当性確認の際に採用した物性値を示す。

※2:保守性確認の際に採用した物性値を示す。

表 7 船舶の構造及び材料物性（ヤング率及びポアソン比）に関する保守性を確認したケースの軸剛性

| 項目                   | 設定・算出方法   | 保守性確認ケース 1   | 保守性確認ケース 2   |
|----------------------|---|--|--|
| 船舶の長さ<br>L           | 「漁港・漁場の施設設計参考図書（水産庁，2015年）」の総トン数5tの諸元（船の長さ）に加えて，その長さを超える場合も考慮   | 「漁港・漁場の施設設計参考図書（水産庁，2015年）」の総トン数5tの諸元（船の長さ）：11.0 (m) | 「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会誌，1978年）」から総トン数5tに最も近い船の長さ：12.8 (m) |
| 船の深さ<br>D            | 「土木学会（1994）」より $0.08 \times L$ にて算出   | $0.08 \times 11.0 = 0.88$ (m)                        | $0.08 \times 12.8 = 1.02$ (m)                            |
| 船側外板厚<br>t           | 「土木学会（1994）」より $0.82\sqrt{L+2.5}$ にて算出<br>「土木学会（1994）」の中で示されている計算例（参考資料 2）では船側外板厚は $\text{ほぼ}\sqrt{L}$ であり，上式の 0.85 倍に近い数値となっているが，保守的に上式をそのまま採用   | $0.82 \times 11.0^{0.5} + 2.5 = 5.22$ (mm)           | $0.82 \times 12.8^{0.5} + 2.5 = 5.434$ (mm)              |
| 横肋骨心距<br>a           | 「土木学会（1994）」より $450 + 2L$ にて算出  | $450 + 2 \times 11.0 = 472$ (mm)                     | $450 + 2 \times 12.8 = 475.6$ (mm)                       |
| 縦肋骨心距<br>b           | 「土木学会（1994）」より $550 + 2L$ にて算出  | $550 + 2 \times 11.0 = 572$ (mm)                     | $550 + 2 \times 12.8 = 575.6$ (mm)                       |
| 船首角度<br>$2\theta$    | 「土木学会（1994）」より $2\theta = 35 \sim 70^\circ$ とされていることを踏まえ，保守的になるよう $35^\circ$ を採用  | $35^\circ$   |  |
| 船首傾斜部の長さ<br>$L_{ef}$ | 「土木学会（1994）」より $0.25 \times D$ にて算出   | $0.25 \times (0.08 \times 11) = 0.22$ (m)            | $0.25 \times (0.08 \times 12.8) = 0.256$ (m)             |
| ヤング率 E<br>(曲げ弾性率)    | 以下の 3 つの文献で示されている値の最大<br>・「強化プラスチック船規則検査要領（日本海事協会，2018年）」の曲げ弾性係数の判定基準<br>・「漁港・漁場の施設設計参考図書（水産庁，2015年）」のハンドレイアウト<br>成形法の曲げ弾性率<br>・「非金属材料データブック プラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス」[改訂 2 版]（日本規格協会，1985年）」のハンドレイアウト用ガラス繊維基材の GRP としての力学的特性（標準）の曲げ弾性率<br>「非金属材料データブック プラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス」[改訂 2 版]（日本規格協会，1985年）」のハンドレイアウト用ガラス繊維基材の GRP としての力学的特性（標準）で示されている値の最大 | $1.22 \times 10^6$ (tf/m <sup>2</sup> )              |  |
| ポアソン比 $\nu$          |   | 0.358  |  |
|                      | 圧縮荷重 P。   | 34.3 (kN)  | 44.5 (kN)  |
|                      | 有効軸剛性 $k_c$   | $1.56 \times 10^5$ (N/m)                             | $1.74 \times 10^5$ (N/m)                                 |
|                      | 衝突荷重 (FEMA (2012))  | 1,601 (kN)   | 1,691 (kN)   |

※1:総トン数5tの船舶に12.8mの長さを用いることの保守性については参考資料3に示す。

※2:船舶構造について，設計及び工事計画認可段階では，漂流物評価結果により抽出した対象船舶の諸元を基に適切な設定を行う。



### 3. 漂流物の衝突荷重の算定

各漂流物による衝突荷重を表8に示す。

算出の結果、漂流物による最大衝突荷重は、小型船舶（総トン数5t）の1,691kNであった。

そのため、防潮堤の構造成立性評価に用いる設計用衝突荷重は保守的に2,000kNに設定する。

表 8 各漂流物による衝突荷重一覧

| 対象漂流物      | 重量等                     | 到達形態 | 流速<br>(衝突速度) | 初期配置区分 | 適用式         | 有効軸剛性<br>(N/m)     | 衝突荷重 (kN)           |
|------------|-------------------------|------|--------------|--------|-------------|--------------------|---------------------|
| 小型船舶 (FRP) | 総トン数：5t<br>(排水トン数：15t)  | 浮遊   | 18m/s        | 直近海域   | FEMA (2012) | $1.74 \times 10^5$ | 1,691 <b>【1.18】</b> |
| 船舶 (FRP)   | 総トン数：20t<br>(排水トン数：60t) | 浮遊   | 18m/s        | 前面海域   | 道路橋示方書      | —                  | 1,059 <b>【1.89】</b> |
| 設計用衝突荷重    |                         |      |              |        |             |                    | 2,000               |

※【】内は衝突荷重に対する設計用衝突荷重の割合を示す。

### 既往文献の鋼製船舶の軸剛性と土木学会（1994）の方法を用いた場合の比較

「甲斐田・木原（2017）」では既往の文献（有田（1988））を整理し、総トン数400～4000tの鋼製の大型船舶の船首方向の軸剛性を示している。ここでは、これらの鋼製の大型船舶の軸剛性を土木学会（1994）の方法を用いて算出し、「甲斐田・木原（2017）」の軸剛性と比較する。

その結果を参考表1に示す。

土木学会（1994）の方法から算出した軸剛性と「甲斐田・木原（2017）」の軸剛性とは、概ね同じような値であることを確認した。また、土木学会（1994）の方法から算出した軸剛性の方が大きくなる傾向があることを確認した。

参考表 1 「甲斐田・木原 (2017)」と土木学会 (1994) の方法を用いた場合の軸剛性 (鋼製船舶) の比較

| 項目                         | 500G. T. 船                               | 1000G. T. 船                              | 2000G. T. 船                              | 4000G. T. 船                              |
|----------------------------|--|--|--|--|
| 総トン数                       | 500 (t)                                  | 1000 (t)                                 | 2000 (t)                                 | 4000 (t)                                 |
| 船舶の長さ L                    | 50 (m)                                   | 63 (m)                                   | 80 (m)                                   | 100 (m)                                  |
| 船舶の深さ D                    | 0.08×50=4.0 (m)                          | 0.08×63=5.04 (m)                         | 0.08×80=6.4 (m)                          | 0.08×100=8 (m)                           |
| 船舶側外板厚 t                   | 0.82×50 <sup>0.5</sup> +2.5=8.3 (mm)     | 0.82×63 <sup>0.5</sup> +2.5=9.009 (mm)   | 0.82×80 <sup>0.5</sup> +2.5=9.834 (mm)   | 0.82×100 <sup>0.5</sup> +2.5=10.7 (mm)   |
| 船舶横肋骨心距 a                  | 450+2×50=550 (mm)                        | 450+2×63=576 (mm)                        | 450+2×80=610 (mm)                        | 450+2×100=650 (mm)                       |
| 船舶縦肋骨心距 b                  | 550+2×50=650 (mm)                        | 550+2×63=676 (mm)                        | 550+2×80=710 (mm)                        | 550+2×100=750 (mm)                       |
| 船舶首角度 <sup>※1</sup> 2θ     | 70°                                      | 70°                                      | 70°                                      | 70°                                      |
| 船舶首傾斜部の長さ L <sub>st</sub>  | 35°                                      | 35°                                      | 35°                                      | 35°                                      |
| ヤング率 E (曲げ弾性率)             | 0.25×(0.08×50)=1.0 (m)                   | 0.25×(0.08×63)=1.26 (m)                  | 0.25×(0.08×80)=1.6 (m)                   | 0.25×(0.08×100)=2.0 (m)                  |
| ポアソン比 ν                    | 2.1×10 <sup>7</sup> (tf/m <sup>2</sup> ) | 2.1×10 <sup>7</sup> (tf/m <sup>2</sup> ) | 2.1×10 <sup>7</sup> (tf/m <sup>2</sup> ) | 2.1×10 <sup>7</sup> (tf/m <sup>2</sup> ) |
| 圧縮荷重 P <sub>c</sub>        | 0.3                                      | 0.3                                      | 0.3                                      | 0.3                                      |
| 効軸剛性 k <sub>c</sub>        | 6785 (kN)                                | 10090 (kN)                               | 15071 (kN)                               | 21690 (kN)                               |
| 甲斐田・木原 (2017) で示されている有効軸剛性 | 6.79×10 <sup>6</sup> (N/m)               | 8.01×10 <sup>6</sup> (N/m)               | 9.42×10 <sup>6</sup> (N/m)               | 1.09×10 <sup>7</sup> (N/m)               |
|                            | 5.1×10 <sup>6</sup> (N/m)                | 6.4×10 <sup>6</sup> (N/m)                | 8.2×10 <sup>6</sup> (N/m)                | 1.1×10 <sup>7</sup> (N/m)                |

※1: 船舶首角度は不明であったため、土木学会 (1994) で示されている最大と最小の値を用いてそれぞれの軸剛性を算出した。

「土木学会 (1994)」で示されている計算例

「土木学会 (1994)」で示されている船首強度 (圧壊荷重) の計算例を参考図 1 に示す。

(2) 船首強度の計算

船首強度は船首の座屈強度から求める。船首部側板の座屈強度は、板厚や側板各辺長さなどの関係式として次式のように表わせる。

$$\sigma_c = k \frac{\pi^2 E}{12 (1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \leq \sigma_y \quad (3.2)$$

船首の形状寸法など諸値を乗じると、船首強度すなわち圧壊荷重は次式で表わせる。

$$P_c = 2 D t \cos \theta \sigma_c \quad (3.3)$$

ここで式の記号は以下のとおりである。

- $k$  : 座屈係数  $= \left(\frac{b}{a} + \frac{a}{b}\right)^2$
- $E$  : ヤング率  $= 2.1 \times 10^7 \text{ tf/m}^2$
- $\nu$  : ポアソン比  $= 0.3$
- $\sigma_y$  : 鋼材の降伏点応力  $2,400 \text{ kgf/cm}^2$

上2式をもとに、船首部側板の座屈強度を算出する。200 G.T, 300 G.T および 500 G.T の船舶の船首部諸元を表 3.2 のように設定する。

ここで横肋骨心距  $a$  は、

$$a = 450 + 2L \quad (3.4a)$$

縦肋骨心距  $b$  は、

$$b = 550 + 2L \quad (3.4b)$$

また、図 3.5 に示す船首角度を  $2\theta = 35^\circ$ 、船首傾斜部の長さを  $L_{sf} = 0.25D$  とする。船首強度の計算結果を表 3.3 に示す。

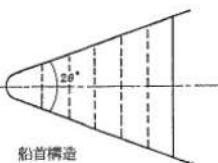


表 3.2 船首部諸元

| ゲート | G.T | L (m) | L <sub>coll</sub> (m) | D (m) | a (mm) | b (mm) | L <sub>sf</sub> (m) |
|-----|-----|-------|-----------------------|-------|--------|--------|---------------------|
| A   | 200 | 36.84 | 3.68                  | 2.95  | 520    | 620    | 0.74                |
| B   | 300 | 42.17 | 4.22                  | 3.37  | 530    | 630    | 0.84                |
| C   | 500 | 50.00 | 5.00                  | 4.40  | 550    | 650    | 1.00                |

表 3.3 船首圧壊強度

| L (m) | a (mm) | b (mm) | t (mm) | k    | $\sigma_{cr}$ (kgf/cm <sup>2</sup> ) | D (m) | P <sub>c</sub> (tf) |
|-------|--------|--------|--------|------|--------------------------------------|-------|---------------------|
| 36.84 | 520    | 620    | 6      | 4.08 | 725                                  | 2.95  | 245                 |
| 42.17 | 530    | 630    | 6.5    | 4.12 | 832                                  | 3.37  | 348                 |
| 50.00 | 550    | 650    | 7      | 4.12 | 907                                  | 4.00  | 484                 |

表 3.1 船首部の標準寸法値

| 構造寸法    | 記号                | 標準寸法         | 単位 |
|---------|-------------------|--------------|----|
| 船の深さ    | D                 | 0.08 L       | m  |
| 船側外板厚   | t                 | 0.82√L + 2.5 | mm |
| フレーム間隔  | S                 | 610          | mm |
| 船首隔壁位置  | L <sub>coll</sub> | 0.1 L        | m  |
| 縦通材間隔   | b                 | 3S           | mm |
| 船首部傾斜幅  | L <sub>sf</sub>   | 0.25 D       | m  |
| 船首部先端角度 | 2θ                | 35 ~ 70      | 度  |
| 船体幅     | B                 | L/10 + 3.81  | m  |

表 3.3 から  $a$  及び  $b$  を算出する際に用いる  $L$  はメートル単位での数値を用いている。また、板厚  $t$  は表 3.1 で示されている式から算出される値よりも小さい ( $\sqrt{L}$  で算出されていると考えられる)。

参考図 1 「土木学会 (1994)」で示されている計算例 (「土木学会 (1994)」に一部加筆)

## 総トン数5tの漁船の長さに関する保守性について

「漁港・漁場の施設の設計参考図書（水産庁，2015年）」では，総トン数5tの漁船の長さは11.0mとの記載がある（参考図2の赤実線）。

総トン数5tの漁船の長さを示す他の文献が確認できなかったため，「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会会誌，1978年）」の供試船一覧表で記載されている船舶の中から11.0mに最も近い12.8mの長さを，保守性を考慮する際に用いることとする（参考図3の赤実線）。

船舶の長さ12.8mは「漁港・漁場の施設の設計参考図書（水産庁，2015年）」では，総トン数10tの漁船の長さ（13.0m）にほぼ等しい長さ（参考図2の赤点線）であり，総トン数5tの船舶に対して12.8mの長さを用いることは保守的になっている。

| 船型<br>(G.T.) | 船の長さ<br>(L) | 船の幅<br>(B) | 喫水           |              |
|--------------|-------------|------------|--------------|--------------|
|              |             |            | 最大<br>(dmax) | 最小<br>(dmin) |
| 1            | 7.0m        | 1.8m       | 1.0m         | —m           |
| 2            | 8.0         | 2.2        | 1.2          | —            |
| 3            | 9.0         | 2.4        | 1.4          | —            |
| 4            | 10.0        | 2.6        | 1.6          | —            |
| 5            | 11.0        | 2.8        | 1.8          | —            |
| 10           | 13.0        | 3.5        | 2.0          | 1.9          |

参考図2 漁船の諸元（「漁港・漁場の施設の設計参考図書（水産庁，2015年）」に一部加筆）

| 船名 | L (m) | B (m) | D (m) | d (m) | C <sub>b</sub> | V (kt) |
|----|-------|-------|-------|-------|----------------|--------|
| A  | 23.8  | 4.35  | 2.20  | 1.87  | 0.70           | 10.5   |
| B  | 26.0  | 5.60  | 2.30  | 1.96  | 0.71           | 10.5   |
| C  | 16.3  | 3.60  | 1.40  | 1.30  | 0.61           | 10.0   |
| D  | 21.5  | 5.10  | 2.10  | 2.05  | 0.66           | 11.0   |
| E  | 26.4  | 5.46  | 2.48  | 2.40  | 0.67           | 11.0   |
| F  | 24.4  | 5.43  | 2.34  | 2.02  | 0.69           | 11.0   |
| G  | 26.5  | 5.53  | 2.50  | 2.17  | 0.77           | 11.0   |
| H  | 22.2  | 5.23  | 2.14  | 1.87  | 0.64           | 11.0   |
| I  | 17.0  | 3.70  | 1.40  | 1.01  | 0.65           | 11.5   |
| J  | 12.8  | 3.30  | 1.01  | 0.52  | 0.55           | 17.5   |
| K  | 24.0  | 5.35  | 2.30  | 2.00  | 0.66           | 10.0   |
| L  | 15.4  | 3.90  | 1.55  | 0.74  | 0.63           | 27.0   |
| M  | 20.1  | 5.30  | 2.30  | 1.08  | 0.40           | 24.0   |
| N  | 14.5  | 4.03  | 1.45  | 1.08  | 0.53           | 13.5   |
| O  | 13.5  | 3.00  | 1.08  | 0.81  | 0.69           | 11.0   |
| P  | 16.0  | 3.95  | 1.57  | 1.30  | 0.70           | 11.0   |

参考図3 供試船一覧表

（「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会会誌，1978年）」に一部加筆）

## 【参考文献】

- 1) 道路橋示方書(2002) : 道路橋示方書・同解説 I 共通編, (社) 日本道路協会, 平成14年3月
- 2) 津波漂流物対策施設設計ガイドライン(2009) : 津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案), (財) 沿岸技術研究センター, (社) 寒地港湾技術研究センター
- 3) 全国漁港漁場協会(2003) : 漁港・漁場の施設の設計の手引き(全国漁港漁場協会2003年版)
- 4) 安藤ら(2006) : 地震津波に関する脆弱性評価手法の検討, 沿岸技術研究センター論文集 No.6 (2006)
- 5) 東京大学生産技術研究所(2011) : 平成23年度 建築基準整備促進事業 40. 津波危険地域における建築基準等の整備に資する検討 中間報告 その2, 平成23年10月
- 6) 松富(1999) : 流木衝突力の実用的な評価式と変化特性, 土木学会論文集, No. 621, pp. 111-127, 1999. 5
- 7) 池野・田中(2003) : 陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 721-725, 2003
- 8) 水谷ら(2005) : エプロン上のコンテナに作用する津波力と漂流衝突力に関する研究, 海岸工学論文集, 第52巻 pp. 741-745, 2005
- 9) 有川ら(2007) : 遡上津波によるコンテナ漂流力に関する大規模実験, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 846-850, 2007
- 10) 有川ら(2010) : 津波による漂流木のコンクリート壁面破壊に関する大規模実験, 土木学会論文集 B2, Vol. 66, No. 1, pp. 781-785, 2010
- 11) FEMA (2012) : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2012
- 12) FEMA (2019) : Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Third Edition, FEMA P-646, Federal Emergency Management Agency, 2019
- 13) ASCE (2016) : Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI Standard 7-16, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia
- 14) 漁港・漁場の施設の設計参考図書(水産庁, 2015年版)
- 15) 甲斐田・木原(2017) : 原子力発電所における津波漂流物の影響評価技術—現状調査とその適用に関する考察—, 電力中央研究所研究報告(2017)
- 16) 土木学会(1994) : 構造物の衝撃挙動と設計法((社) 土木学会, 1994)
- 17) 基礎からわかるFRP(強化プラスチック協会編, 2016)
- 18) 小型漁船のインベントリ分析に関する研究—A: モデル船の建造・運行状況調査—, 海上技術安全研究所報告 第3巻 第5号(平成15年)
- 19) 強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)

- 20) 強化プラスチック船規則解説 (日本海事協会会誌, 1978)
- 21) 鋼船規則 (日本海事協会)
- 22) 小型鋼製漁船 ((社) 漁船協会, 昭和 46 年)
- 23) 小型鋼船構造規則 (詳細不明)
- 24) FRP 成形入門講座 (日本プラスチック加工技術協会)
- 25) 土木構造用 FRP 部材の設計基礎データ (土木学会, 2014)
- 26) FRP 構造設計便覧 (強化プラスチック協会, 1994)
- 27) 船舶海洋工学シリーズ⑥船体構造 構造編 (藤久保昌彦・吉川孝男・深沢塔一・大沢直樹・鈴木英之, 2012)
- 28) 非金属材料データブック プラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス [改訂 2 版] (日本規格協会, 1985)
- 29) 3 相森・田中平均化手法のハイブリッド FRP 梁への応用 (土木学会, 2014)



## 耐津波設計における余震荷重と津波荷重の組合せについて

## 1. 規制基準における要求事項等

- ・ サイトの地学的背景を踏まえ、余震の発生の可能性を検討すること。
- ・ 余震発生の可能性に応じて余震による荷重と入力津波による荷重との組合せを考慮すること。

## 2. 検討方針

余震による荷重については、本震発生後の余震及び誘発地震を検討し、耐津波設計において津波荷重と組み合わせる適切な余震荷重を設定する。なお、本検討においては、本震の震源域において発生する地震を余震とし、本震の震源域の外で発生する地震を誘発地震として整理し、図1の流れで検討を実施した。

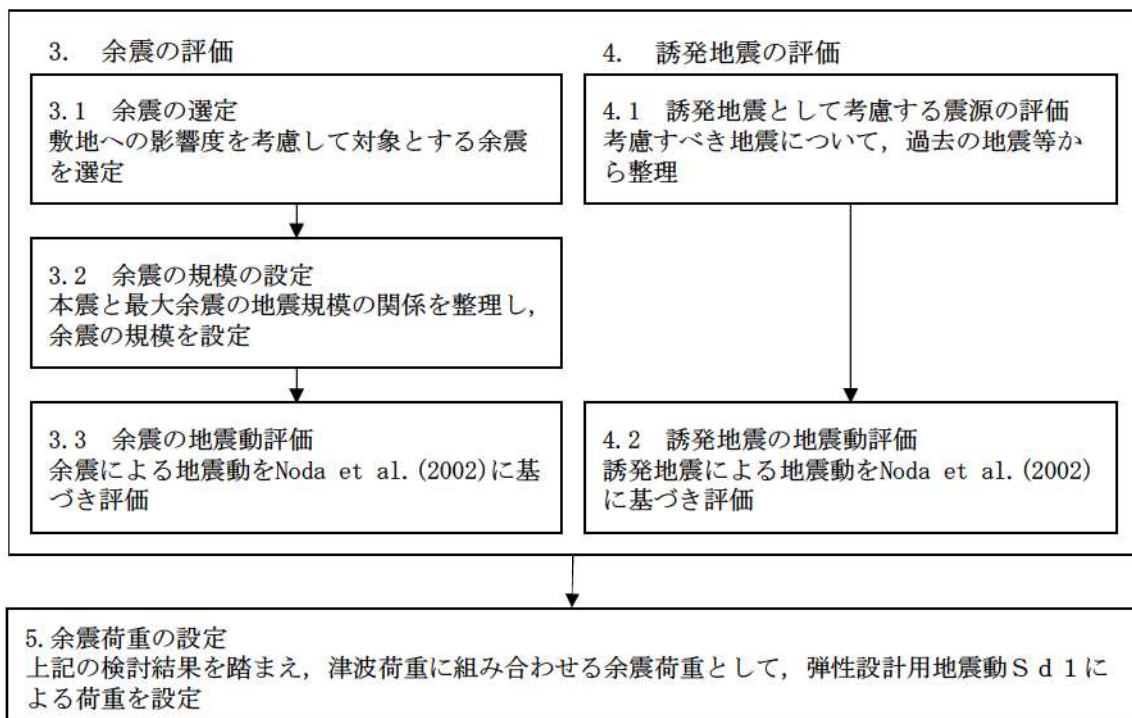


図1 余震荷重の検討フロー

## 3. 余震の評価

## 3. 1 余震の選定

基準津波の波源の活動に伴い発生する可能性がある余震による地震動を評価するにあたり、敷地への影響度を考慮して対象とする余震を選定する。泊発電所における基準津波は、日本海東縁部に想定される地震に伴う津波と

陸上地すべりに伴う津波の組合せ評価により決定されており、図2に示す「日本海東縁部に想定される地震による波源A～L」の活動に伴う余震については、敷地への影響が考えられることから、「日本海東縁部に想定される地震による波源A～L」の活動に伴う余震を選定する。

追而【日本海東縁部に想定される地震による波源】  
破線囲部分の日本海東縁部に想定される地震による波源については、地震に伴う津波（下降側）の評価結果及び地震以外の要因に伴う津波との組合せ評価結果を踏まえ、記載を適正化する。

### 3. 2 余震の規模の設定

余震の規模は、過去の地震データにおける本震規模と最大余震の規模の関係を整理することにより想定する。検討対象とした地震は、津波荷重と組み合わせる余震荷重を評価するという観点から、地震調査研究推進本部の地震データによる本震のマグニチュードが7.0以上とし、かつ、余震を考慮する基準津波の波源の活動に伴い発生する津波の最大水位変化を生起する時間帯は、最大でも地震発生から約1時間以内であることを考慮し、本震と最大余震との時間間隔が12時間程度以内の地震とした。対象とした地震の諸元及び震央分布を表1及び図3に示す。地震調査研究推進本部の地震データについて、本震のマグニチュード $M_0$ と最大余震のマグニチュード $M_1$ の関係から本震と余震のマグニチュードの差 $D_1$ は、図4のとおり、 $D_1 = M_0 - M_1 = 1.3$ として評価できる。地震調査研究推進本部の地震データではなく、検討対象外ではあるものの同図中に示す日本海東縁部の地震の傾向は、地震調査研究推進本部の地震データに見られる関係と調和的である。余震の規模を想定する際は、データ数が少ないことから、保守的に標準偏差を考慮し $D_1 = 0.9$ として余震の規模を想定する。

### 3. 3 余震の地震動評価

基準津波の波源の活動に伴い発生する可能性がある余震による地震動を評価するにあたり、表2及び図5に示す波源の諸元及び震源モデルを設定し、上記の関係式に基づき余震の規模を設定した上で、Noda et al. (2002)により応答スペクトルを評価した。なお、評価にあたっては、全ての波源で同じ地震規模を想定することから、等価震源距離が最も短い波源E, F, G, **K**の地震動を評価した。その評価結果と弾性設計用地震動 $S_{d1}$ の応答スペクトルを比較して図6に示す。同図より、波源E, F, G, **K**の波源の活動に伴う余震の地震動評価結果は、弾性設計用地震動 $S_{d1}$ を下回っている。

追而【日本海東縁部に想定される地震による波源】  
破線囲部分の日本海東縁部に想定される地震による波源については、地震に伴う津波（下降側）の評価結果及び地震以外の要因に伴う津波との組合せ評価結果を踏まえ、記載を適正化する。

#### 4. 誘発地震の評価

##### 4. 1 誘発地震として考慮する震源の評価

基準津波の波源の活動に伴い発生する可能性がある誘発地震として考慮する地震を評価する。評価に際しては、表 1 中に示す 2011 年東北地方太平洋沖地震 (M9.0) 及び基準津波の波源が位置する日本海東縁部の地震の本震のマグニチュード M7.0 以上の 3 地震の事例を参考に地震規模、発生位置を検討する。2011 年東北地方太平洋沖地震の発生による誘発地震の規模の大きな地震は、本震発生から約 13 時間後の 3 月 12 日長野県北部の地震 (M6.7) である。一方で基準津波の波源の活動に伴い発生する津波の最大水位変化を生起する時間帯は、最大でも地震発生から約 1 時間以内である。また、日本海東縁部の地震については、本震発生後、12 時間程度以内で余震を含めたとしても M6.1 以下の地震しか発生していない。

このことから、誘発地震を考慮する基準津波の継続時間のうち最大水位変化を生起する時間帯（最大でも地震発生から約 1 時間以内）において M6.8 以上の誘発地震が発生することは考えにくい。保守的に基準地震動の評価において検討用地震の候補として検討していた孤立した短い活断層による地震を対象に誘発地震の規模を M6.8 に設定し、誘発地震に伴う地震動として評価する。

##### 4. 2 誘発地震の地震動評価

基準津波の波源の活動に伴う誘発地震について、表 3 及び図 7 に示す孤立した短い活断層による地震を対象に M6.8 の震源モデルを設定し、Noda et al. (2002) により応答スペクトルを評価した。その評価結果と弾性設計用地震動 S d 1 の応答スペクトルを比較して図 8 に示す。同図より、基準津波の波源の活動に伴う誘発地震の地震動評価結果は、弾性設計用地震動 S d 1 を下回っている。

#### 5. 余震荷重の設定

以上の検討結果から、基準津波の波源については、その余震及び誘発地震の地震動評価結果を、全ての周期帯において弾性設計用地震動 S d 1 が十分に上回ることから、保守的に S d 1 による荷重を津波荷重に組み合わせる余震荷重として設定する。

**【参考文献】**

- Noda, S. • K. Yashiro • K. Takahashi • M. Takemura • S. Ohno • M. Tohdo • T. Watanabe  
(2002) : RESPONSE SPECTRA FOR DESIGN PURPOSE OF STIFF STRUCTURES ON ROCK  
SITES, OECD-NEA Workshop on the Relations Between Seismological DATA  
and Seismic Engineering, Oct.16-18 Istanbul, pp.399-408
- 地震調査研究推進本部 (2016) : 大地震後の地震活動の見通しに関する情報  
のあり方, 平成28年8月19日
- 地震調査研究推進本部 : 毎月の地震活動,  
[https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismicity\\_monthly/](https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismicity_monthly/)
- 気象庁地震カタログ (1995~2021) : 地震月報ほか

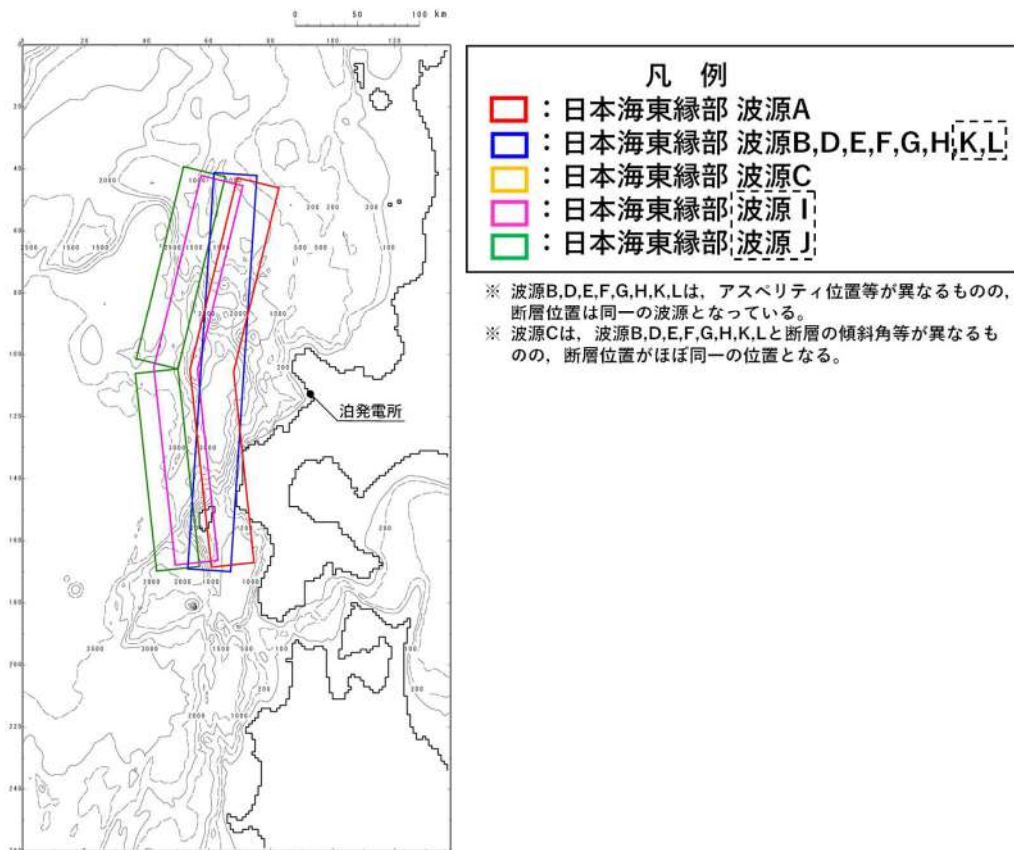


図2 泊発電所と日本海東縁部に想定される地震による波源

追而【日本海東縁部に想定される地震による波源】  
 破線囲部分の日本海東縁部に想定される地震による波源については、地震に伴う津波（下降側）の評価結果及び地震以外の要因に伴う津波との組合せ評価結果を踏まえ、記載を適正化する。

表1 過去の地震における本震と最大余震の関係 (M7.0 以上)

| No.               | 発生日時       | 震源         | 本震                         | 最大余震                       |              |
|-------------------|------------|------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
|                   |            |            | マグニチュード <sup>*</sup><br>M0 | マグニチュード <sup>*</sup><br>M1 | 本震との<br>時間間隔 |
| 1                 | 1995/1/17  | 兵庫県南部地震    | 7.3                        | 5.4                        | 1:52         |
| 2                 | 2003/5/26  | 宮城県沖       | 7.1                        | 4.9                        | 6:20         |
| 3                 | 2003/9/26  | 十勝沖地震      | 8.0                        | 7.1                        | 1:18         |
| 4                 | 2004/11/29 | 釧路沖        | 7.1                        | 6.0                        | 0:04         |
| 5                 | 2006/11/15 | 千島列島東方     | 7.9                        | 6.7 <sup>**1</sup>         | 1:12         |
| 6                 | 2008/6/14  | 岩手・宮城内陸地震  | 7.2                        | 5.7                        | 0:37         |
| 7                 | 2008/9/11  | 十勝沖        | 7.1                        | 5.7                        | 0:12         |
| 8                 | 2011/3/11  | 東北地方太平洋沖地震 | 9.0                        | 7.6 <sup>**1</sup>         | 0:29         |
| 9                 | 2012/12/7  | 三陸沖        | 7.3                        | 6.6                        | 0:13         |
| 10                | 2016/4/16  | 熊本地震       | 7.3                        | 5.9                        | 0:21         |
| 11 <sup>**2</sup> | 1964/6/16  | 新潟地震       | 7.5                        | 6.1                        | 0:16         |
| 12 <sup>**2</sup> | 1983/5/26  | 日本海中部地震    | 7.7                        | 6.1                        | 0:57         |
| 13 <sup>**2</sup> | 1993/7/12  | 北海道南西沖地震   | 7.8                        | 6.0                        | 1:28         |

※1：気象庁による最新の震源情報を参照

※2：【参考】日本海東縁部の地震

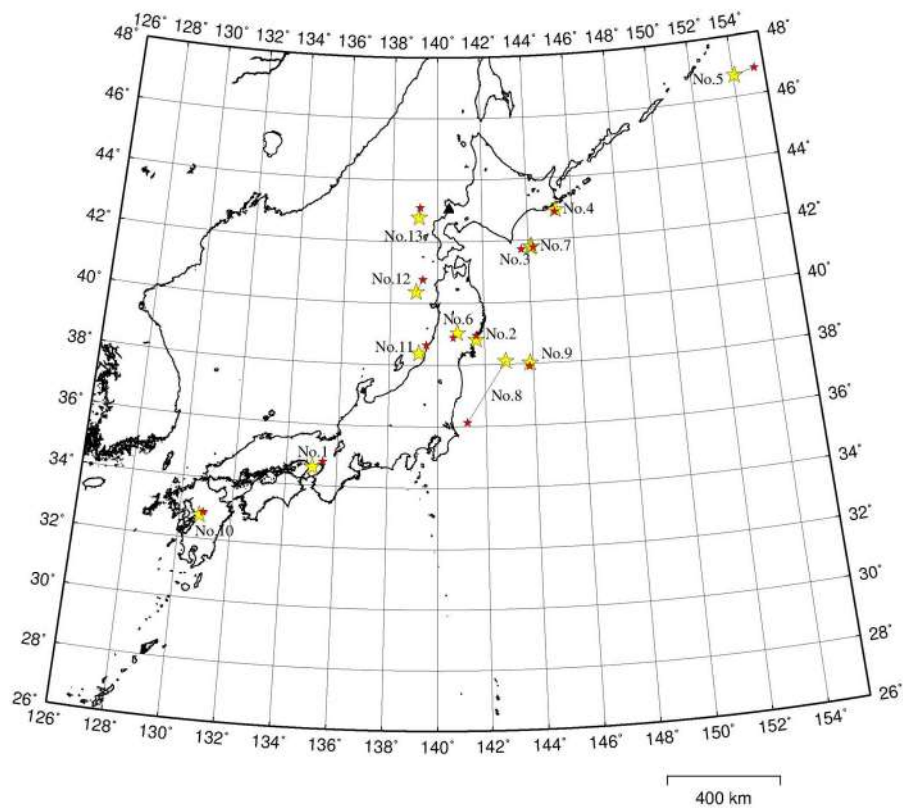


図3 余震の地震規模の評価に用いた地震の震央分布  
本震 (★), 余震 (★), 泊発電所 (▲)

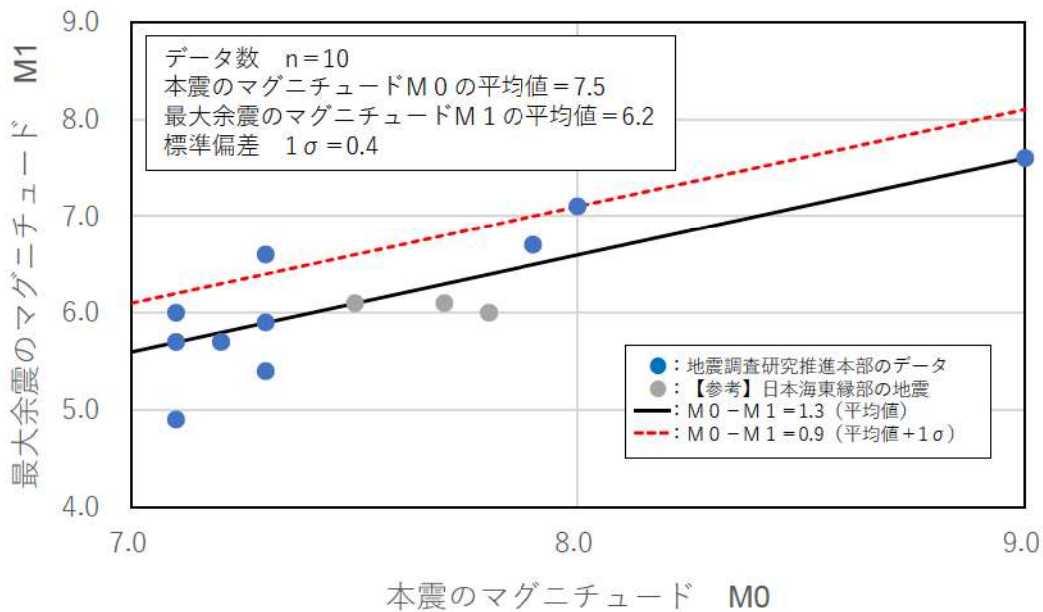


図4 本震と最大余震の地震規模の関係 (M7.0以上)

表2 設定した余震の震源諸元

| 波源              | 本震の<br>マグニチュード | 余震の<br>マグニチュード <sup>※1</sup> | 等価震源距離 <sup>※2</sup><br>(km) |
|-----------------|----------------|------------------------------|------------------------------|
| 基準津波 A          | 8.22           | 7.4                          | 86                           |
| 基準津波 B, D, H    | 8.22           | 7.4                          | 82                           |
| 基準津波 C          | 8.22           | 7.4                          | 83                           |
| 基準津波 E, F, G, K | 8.22           | 7.4                          | 81                           |
| 基準津波 I          | 8.22           | 7.4                          | 115                          |
| 基準津波 J          | 8.22           | 7.4                          | 129                          |
| 基準津波 L          | 8.22           | 7.4                          | 82                           |

※1 : 本震と余震のマグニチュードの差  $D1 = 0.9$  として、余震の規模を評価 (8.22 - 0.9 = 7.32 となり、保守的に 7.4 とする。)

※2 : 図5に示す震源モデルに対し、Noda et al. (2002)に基づき等価震源距離を評価

追而【日本海東縁部に想定される地震による波源】  
破線囲部分の日本海東縁部に想定される地震による波源については、地震に伴う津波（下降側）の評価結果及び地震以外の要因に伴う津波との組合せ評価結果を踏まえ、記載を適正化する。

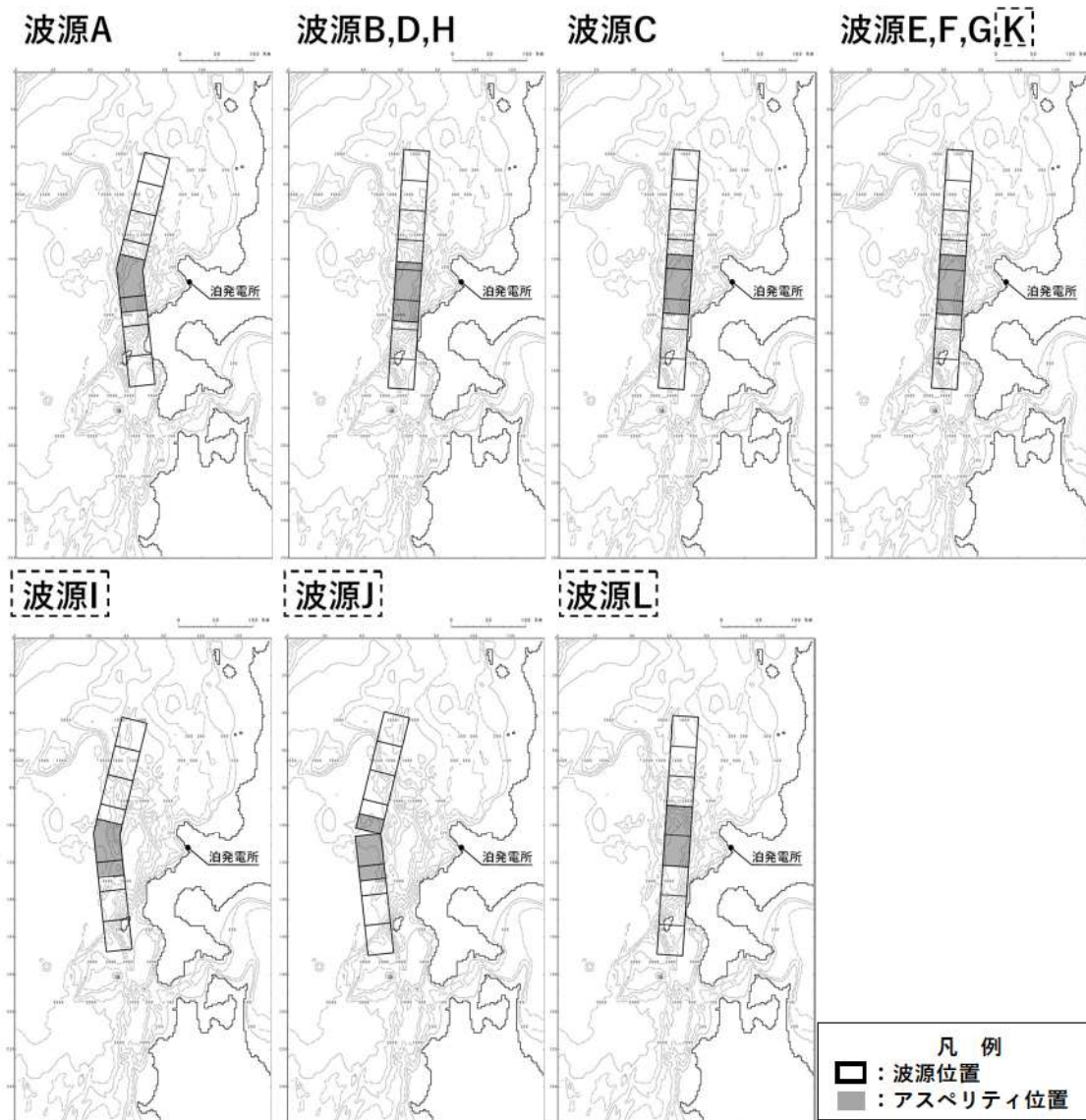


図5 日本海東縁部に想定される地震による波源に対する震源モデル

追而【日本海東縁部に想定される地震による波源】  
 破線囲部分の日本海東縁部に想定される地震による波源については、地震に伴う津波（下降側）の評価結果及び地震以外の要因に伴う津波との組合せ評価結果を踏まえ、記載を適正化する。



— 弾性設計用地震動 S d 1  
— 日本海東縁部に想定される地震による波源 E, F, G, K の活動に伴い発生する余震

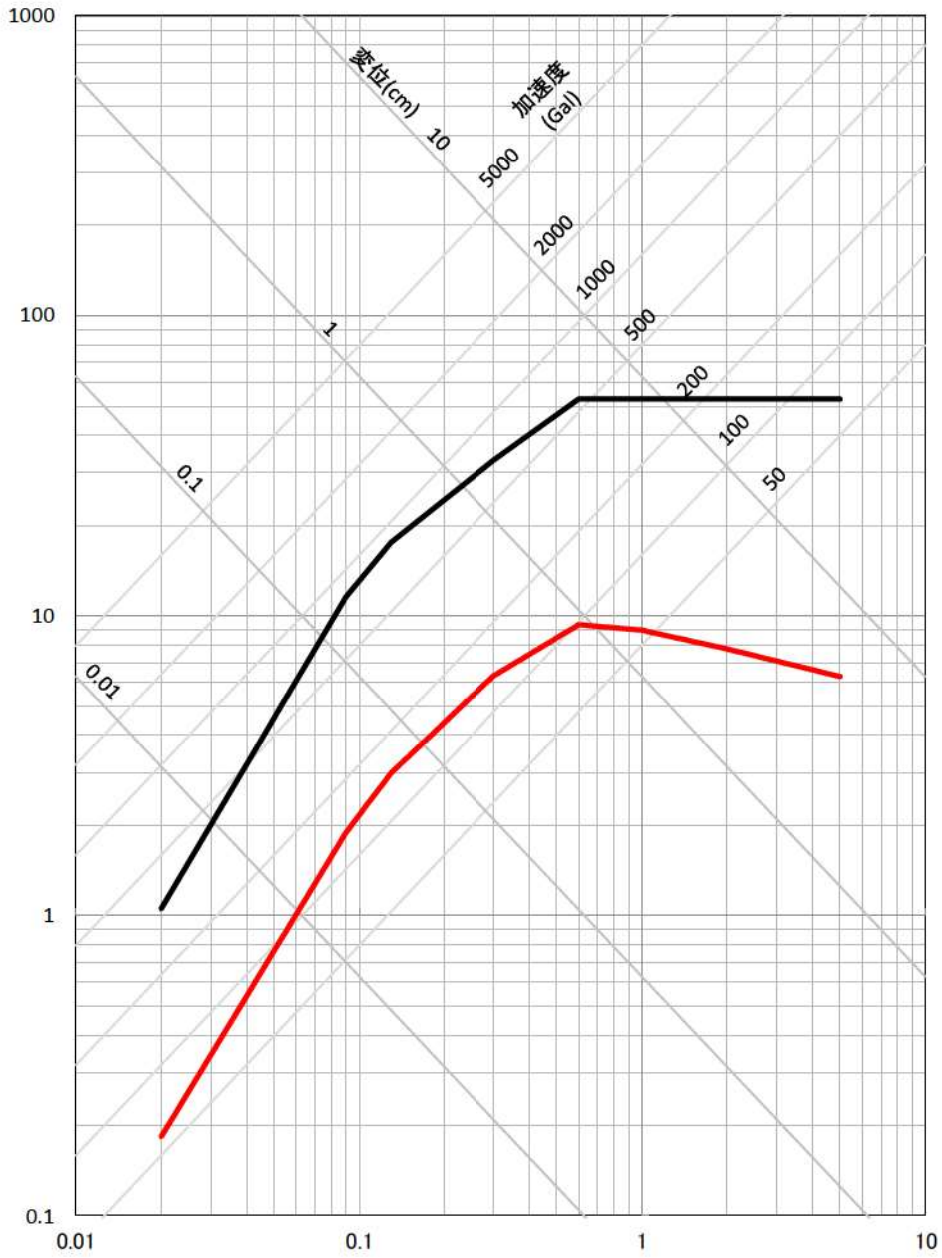


図 6 (1) 日本海東縁部に想定される地震による波源 E, F, G, K の活動に伴い発生する余震と弾性設計用地震動 S d 1 の比較 (水平方向)

- 弾性設計用地震動 S d 1
- 日本海東縁部に想定される地震による波源 E, F, G, K の活動に伴い発生する余震

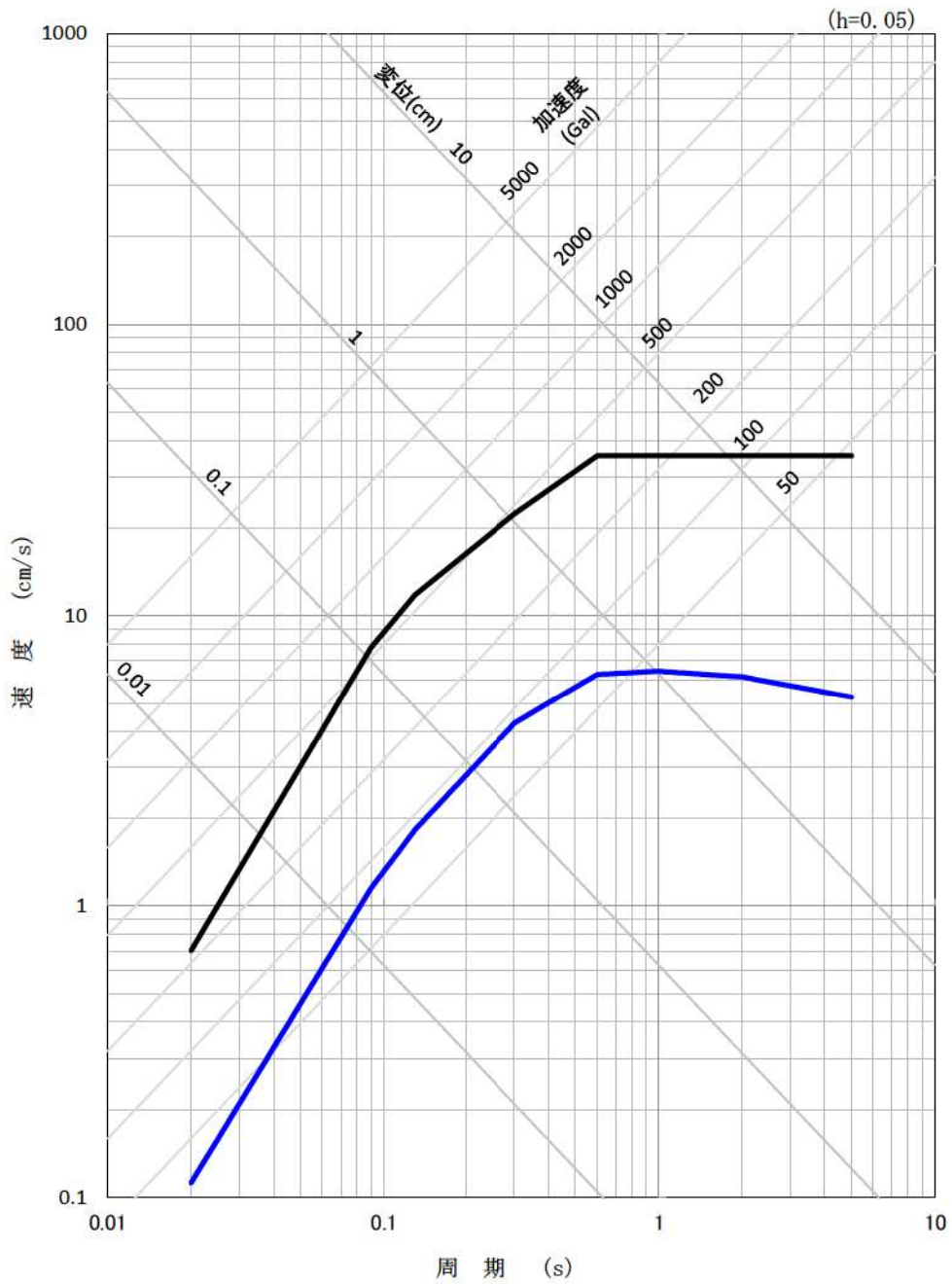
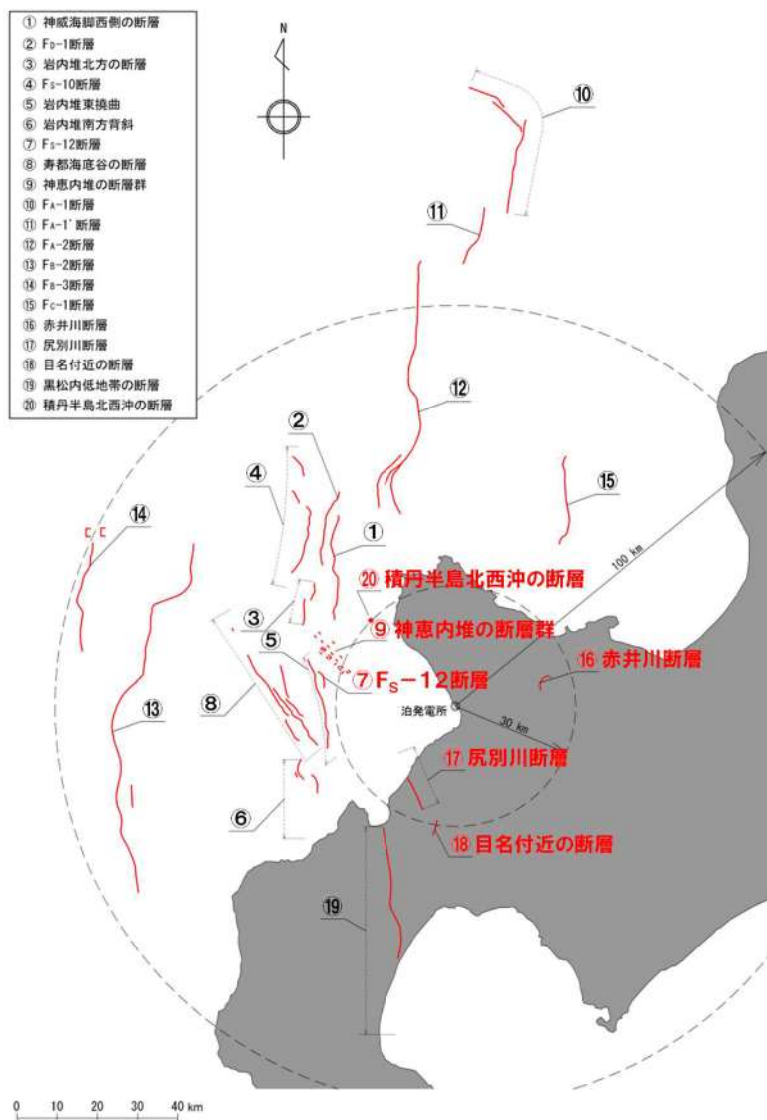


図 6 (2) 日本海東縁部に想定される地震による波源 E, F, G, K の活動に伴い発生する余震と弾性設計用地震動 S d 1 の比較 (鉛直方向)

表 3 設定した誘発地震の地震諸元

| 断層名                   | 地震規模 | 等価震源距離 <sup>※</sup><br>Xeq (km) |
|-----------------------|------|---------------------------------|
| F <sub>S</sub> -1 2断層 | 6.8  | 36.4                            |
| 神恵内堆の断層群              | 6.8  | 36.4                            |
| 赤井川断層                 | 6.8  | 26.4                            |
| 尻別川断層                 | 6.8  | 25.5                            |
| 目名付近の断層               | 6.8  | 33.6                            |
| 積丹半島北西沖の断層            | 6.8  | 32.7                            |

※円形断層を仮定して算定



※上図赤字は、孤立した短い活断層として整理した活断層

図 7 誘発地震として考慮する孤立した短い活断層の分布

— 弾性設計用地震動 S d 1  
— 日本海東縁部に想定される地震による波源 E, F, G, K の活動に伴い発生する誘発地震

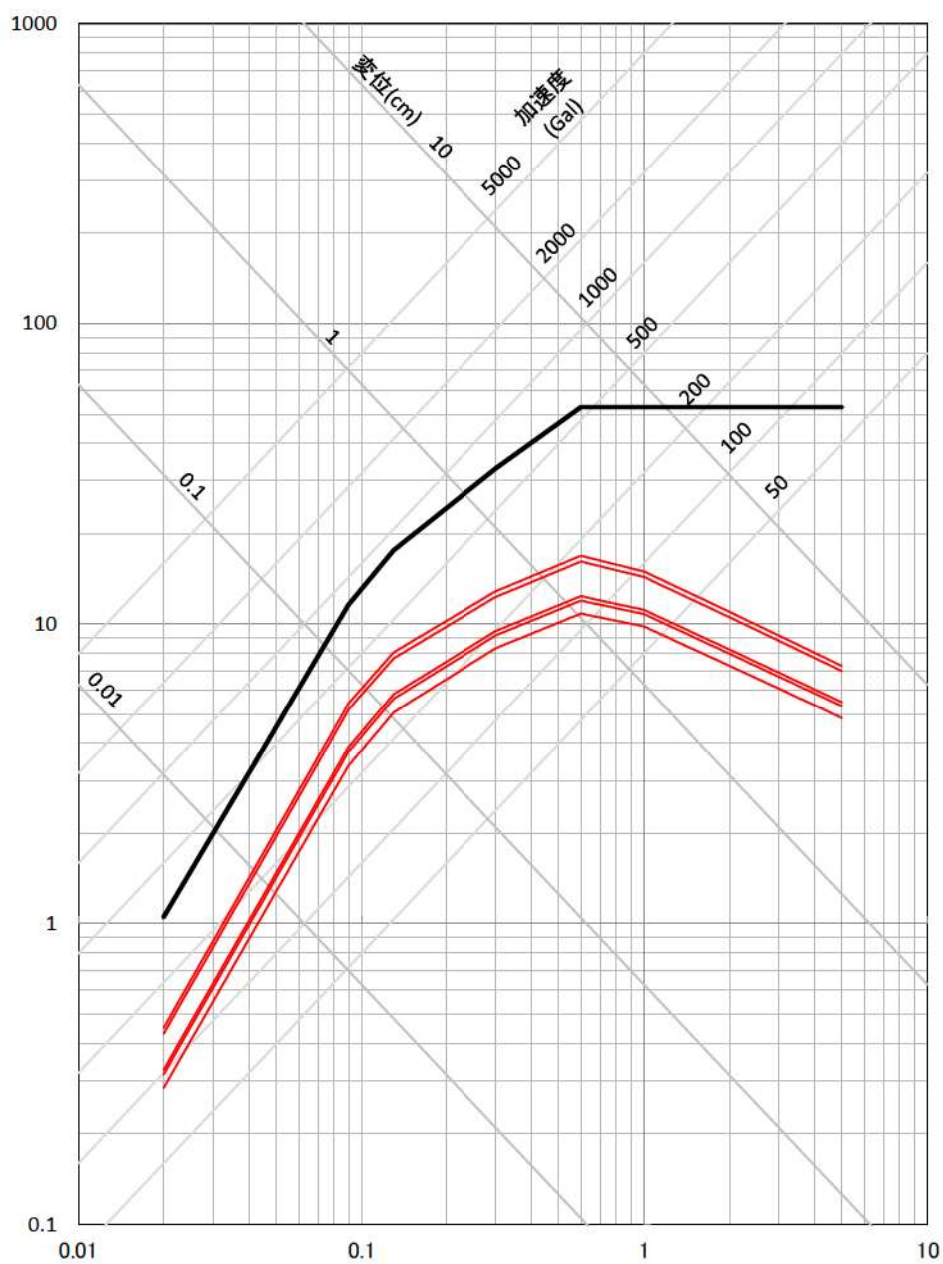


図 8 (1) 日本海東縁部に想定される地震による波源 E, F, G, K の活動に伴い発生する誘発地震と弾性設計用地震動 S d 1 の比較 (水平方向)

— 弾性設計用地震動 S d 1  
— 日本海東縁部に想定される地震による波源 E, F, G, K の活動に伴い発生する誘発地震

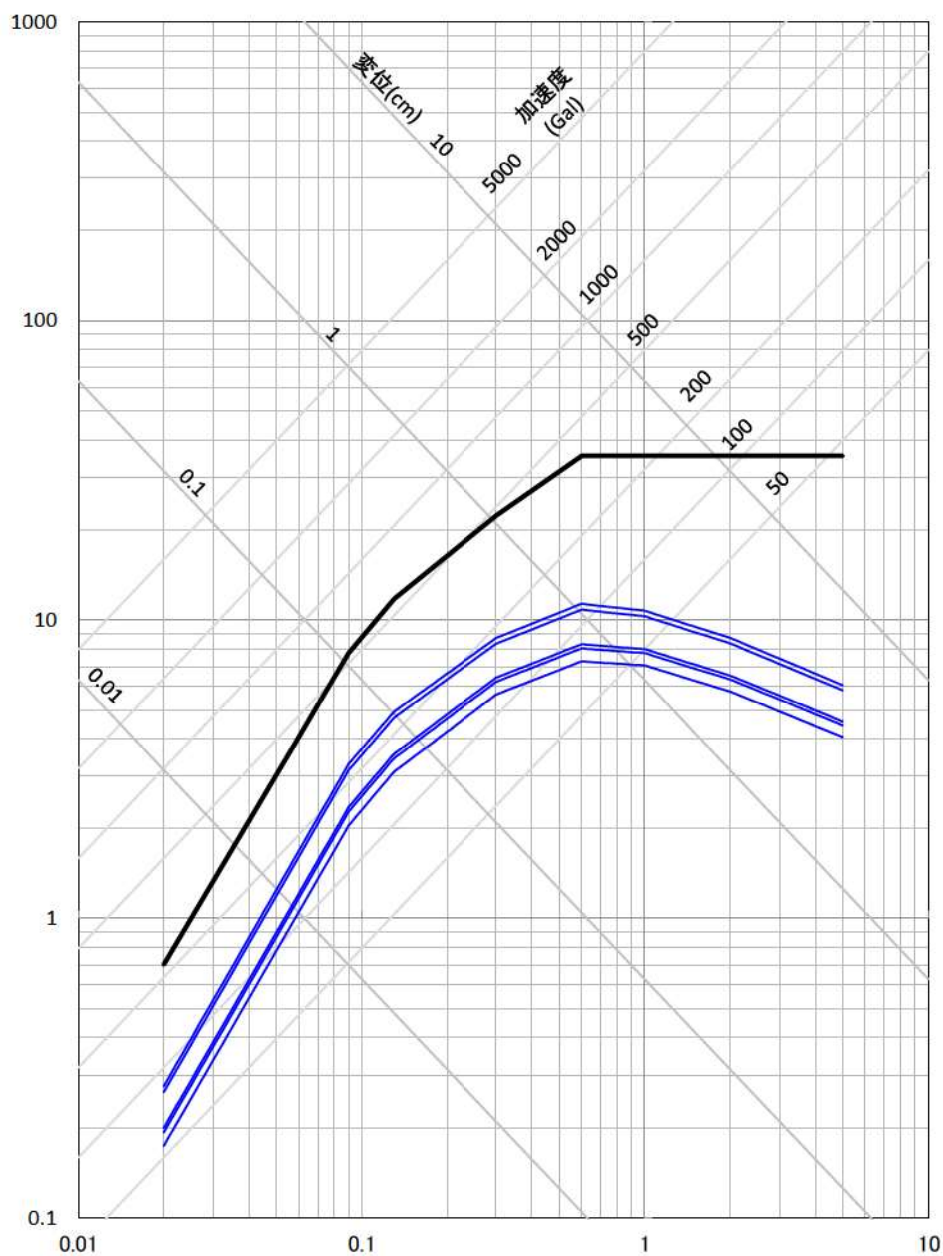


図 8 (2) 日本海東縁部に想定される地震による波源 E, F, G, K の活動に伴い発生する誘発地震と弾性設計用地震動 S d 1 の比較 (鉛直方向)

## 荷重の組合せに関する津波と地震の組合せの方針について

## 1. 津波と地震の組合せについて

第6条（外部からの衝撃による損傷の防止）において自然現象の組合せは、発生頻度及び最大荷重の継続時間を考慮して検討するとしており、基準津波と基準地震動を独立事象として扱う場合は、それぞれの発生頻度が十分小さいことから、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮しない。それ以外の組合せについて、以下に示す。

## 2. 基準津波と地震の組合せについて

基準津波と当該津波の波源を震源とする本震は、伝播速度が異なり同時に敷地に到達することはないため、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮する必要はない。

基準津波と当該津波の波源を震源とする余震は、同時に敷地に到達することを想定し、津波荷重と地震荷重の組合せを考慮する。

また、基準津波以外の津波は、阿部（1989）の予測式に基づく津波の予測高さによると、表1に示すとおり、基準津波と比べて水位が低く敷地に与える影響は小さいため、余震荷重との組合せを考慮しない。

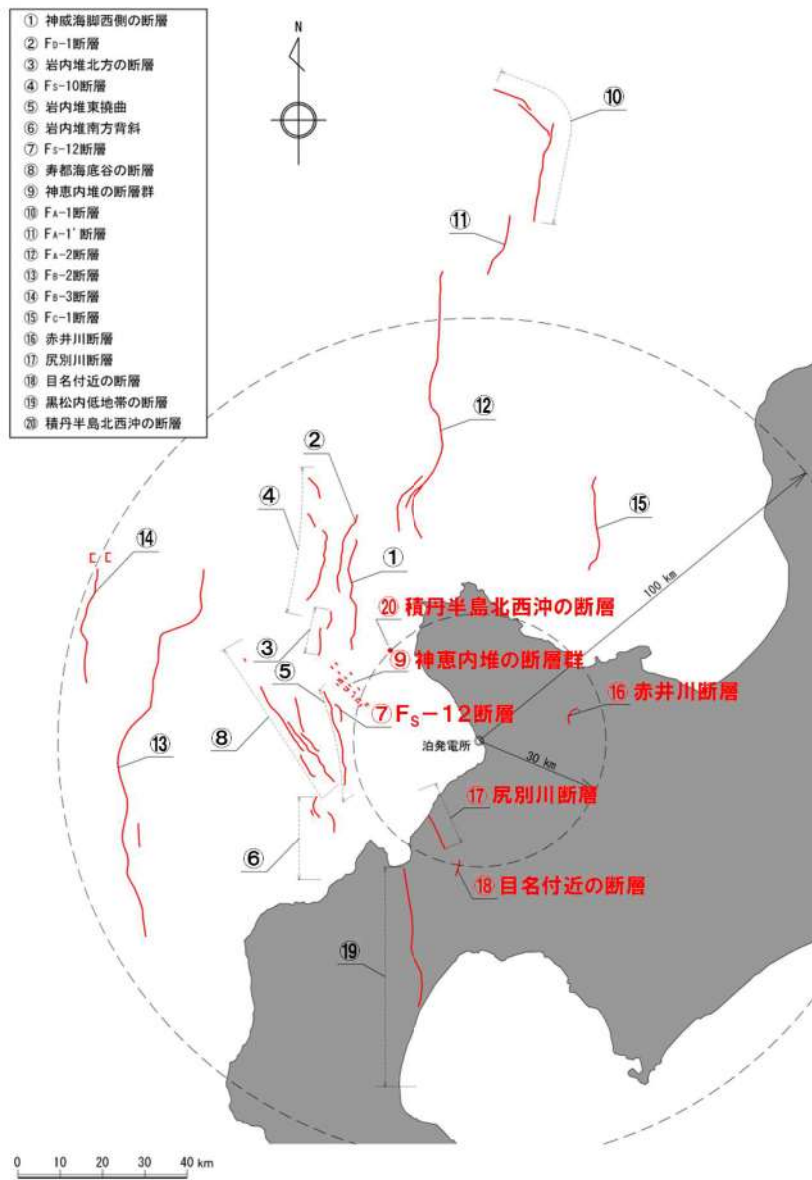
## 3. 基準地震動と津波の組合せについて

基準地震動の震源からの本震と当該本震に伴う津波は、伝播速度が異なり同時に敷地に到達することはないことから、組合せを考慮する必要はない。

基準地震動の震源については、他の海域の活断層よりも敷地に近い位置もしくは、ほぼ同様の位置に存在し、仮に誘発地震に伴う津波の発生を考慮した場合においても、伝播速度が異なり基準地震動が敷地に到達すると同時に当該津波が敷地に到達することはないことから、組合せを考慮する必要はない。

## 【参考文献】

- ・阿部勝征(1989)：地震と津波のマグニチュードに基づく津波高の予測，東京大学地震研究所彙報，Vol. 64，pp. 51-69



※上図赤字は、孤立した短い活断層として整理した活断層

図1 敷地周辺の主な活断層の分布

表1 阿部（1989）の予測式に基づく敷地周辺海域の  
 主な活断層による津波の予測高<sup>※1</sup>

| 名称                                  | 断層長さ<br>L (km) | 津波の<br>伝播距離<br>$\Delta$ (km) | Mw  | 予測高<br>H (m) |
|-------------------------------------|----------------|------------------------------|-----|--------------|
| 日本海東縁部に想定される地震に伴う地震                 | 320            | 71                           | 8.2 | 10.2         |
| 岩内堆東撓曲                              | 23.7           | 34                           | 6.8 | 0.9          |
| 寿都海底谷の断層                            | 42             | 47                           | 7.2 | 1.5          |
| 神威海脚西側の断層                           | 31.5           | 48                           | 7.0 | 1.0          |
| F <sub>B</sub> -2断層                 | 101            | 85                           | 7.7 | 2.6          |
| F <sub>S</sub> -10断層～岩内堆東撓曲～岩内堆南方背斜 | 98             | 42                           | 7.7 | 5.1          |
| 積丹半島北西沖の断層                          | 32             | 14                           | 7.0 | 2.6          |

※1 数値は、第1128回審査会合資料1-1 65頁から引用



## 貯留堰の構造及び仕様について

貯留堰は津波防護施設及び非常用取水設備である。地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波、余震及び漂流物の衝突を考慮した場合においても、引き波による取水ピットの水位低下に対して、原子炉補機冷却海水ポンプの取水に必要な高さの海水を確保し、主要な構造体の境界部への止水処理により止水性を保持することを機能設計上の性能目標として、3号炉取水口に設置する。

また、地震後の繰返しの津波の来襲を想定した津波荷重並びに余震及び漂流物の衝突を考慮した荷重に対し、津波後の再使用性を考慮し、主要な構造部材の構造健全性を保持する設計とする。そのためには有意な沈下が生じないよう十分な支持性能を有する岩盤に設置するとともに、構造物の境界には止水ゴムを設置し、部材の変形や破断等で有意な漏えいを生じさせない設計とすることを構造強度設計上の性能目標とする。

本資料では、貯留堰の構造及び仕様について示すとともに、貯留堰に求められる海水の貯留機能及び止水機能を確保するための設計方針について示す。

## 1. 貯留堰の構造及び仕様

貯留堰は、その機能及び目的から貯留堰本体、護岸接続部に区分され、このうち貯留堰本体は無筋コンクリートで構築するコンクリート堰をアンカーボルトにより構造目地より陸側の底版コンクリート（以下、「底版コンクリート（A）」という。）に定着した構造であり、コンクリート堰、アンカーボルト、鋼管矢板及び底版コンクリート（A）により構成される。

なお、構造目地を境界として海側の底版コンクリート（以下、「底版コンクリート（B）」という。）は貯留堰本体の構成部位には含めない。

護岸接続部は止水ゴム及び止水ゴム取付部鋼材により構成される。

既設構造物である3号炉取水口は、貯留堰の間接支持構造物である。

コンクリート堰は、岩盤上に設置した既設の底版コンクリート（A）によって支持し、アンカーボルトにより底版コンクリート（A）と定着させる。コンクリート堰の陸側には、鋼管同士を継手により連結した鋼管矢板によって、各荷重がコンクリート堰に作用した際の、アンカーボルトの負担断面力を低減している。天端は、原子炉補機冷却海水ポンプの取水に必要な水量を確保するため、底版コンクリート（A）の天端高さ T.P. -8.0m に対して、貯留堰天端高さを T.P. -4.0m としており、4.0m の堰高さを有する。コンクリート堰の寸法は、高さ 4.0m × 幅約 29.0m × 奥行き 10.2m である。

貯留堰の全体構造を図1～図7に、貯留堰の仕様を表1に、3号炉取水口の仕様を表2に示す。

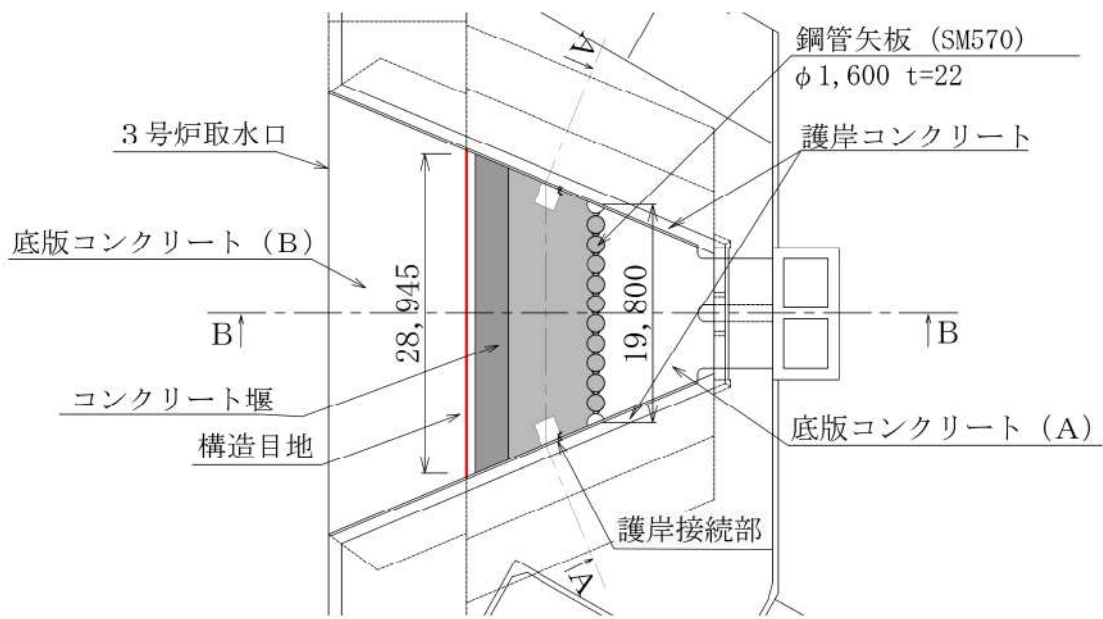


図1 貯留堰全体構造 (平面図)

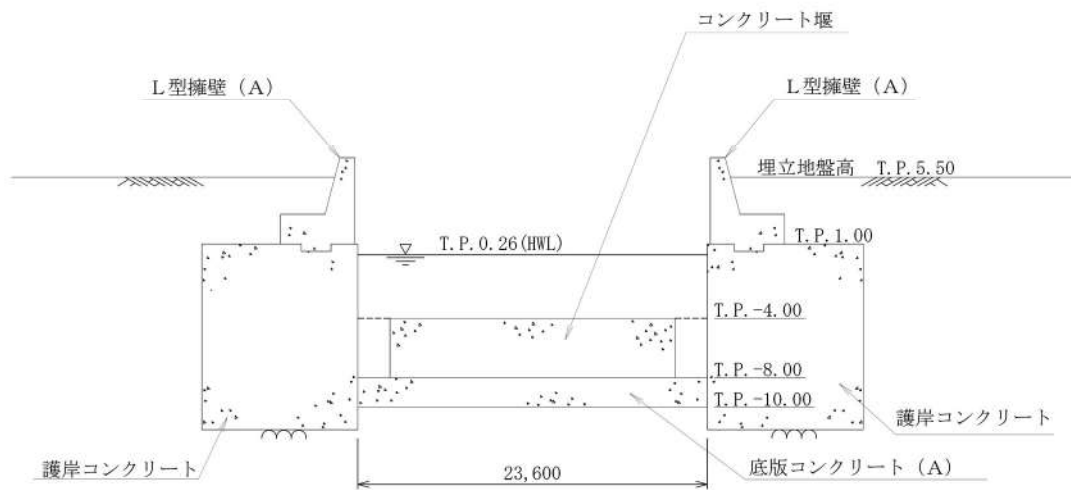


図2 貯留堰断面図 (A-A断面)

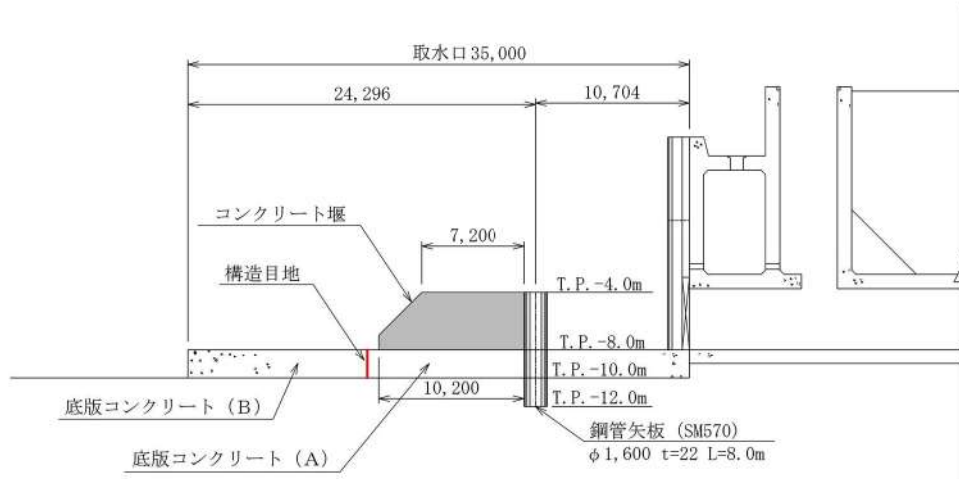


図3 貯留堰断面図 (B-B断面)

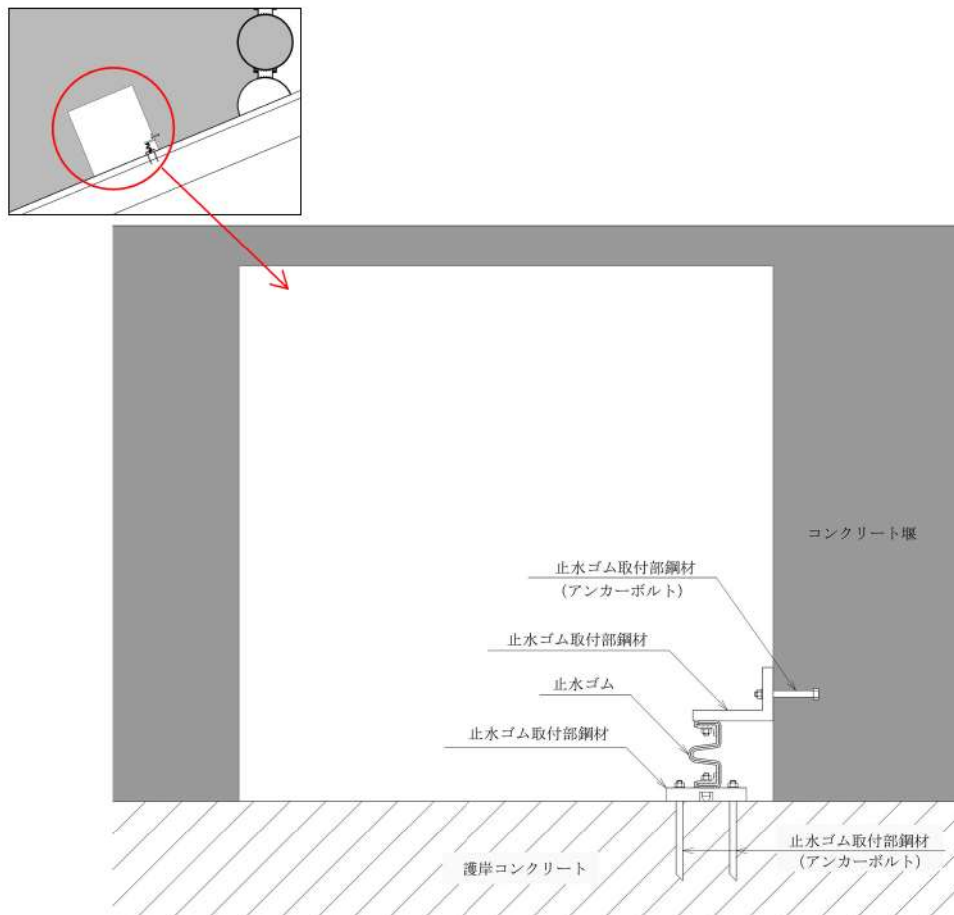


図4 護岸接続部 概略図

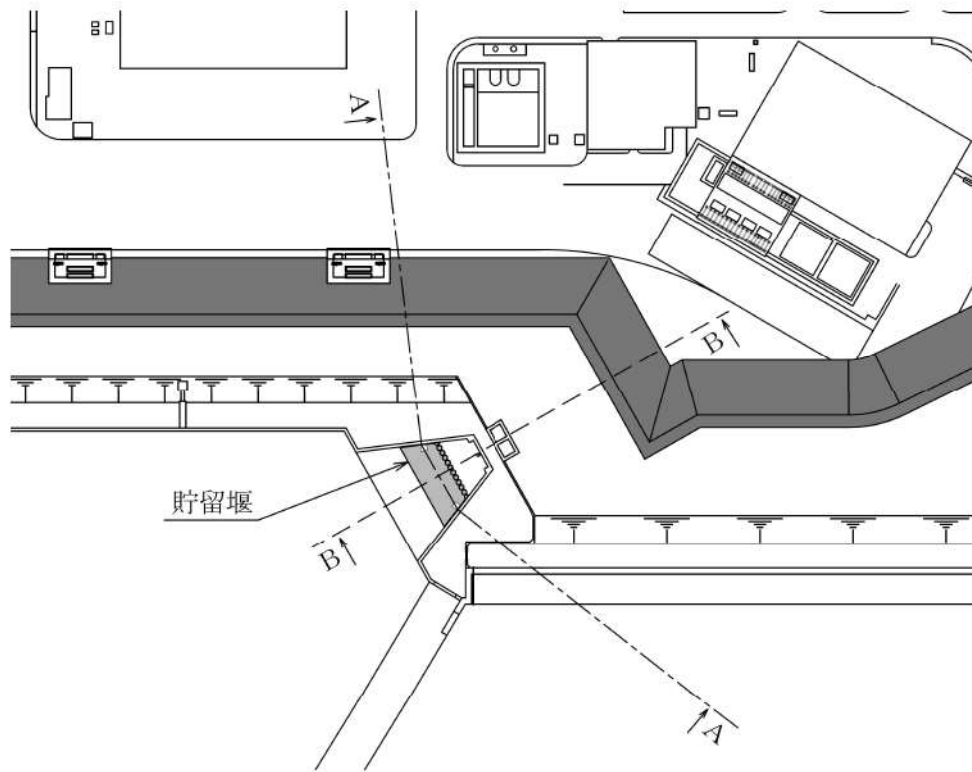


図5 断面位置図

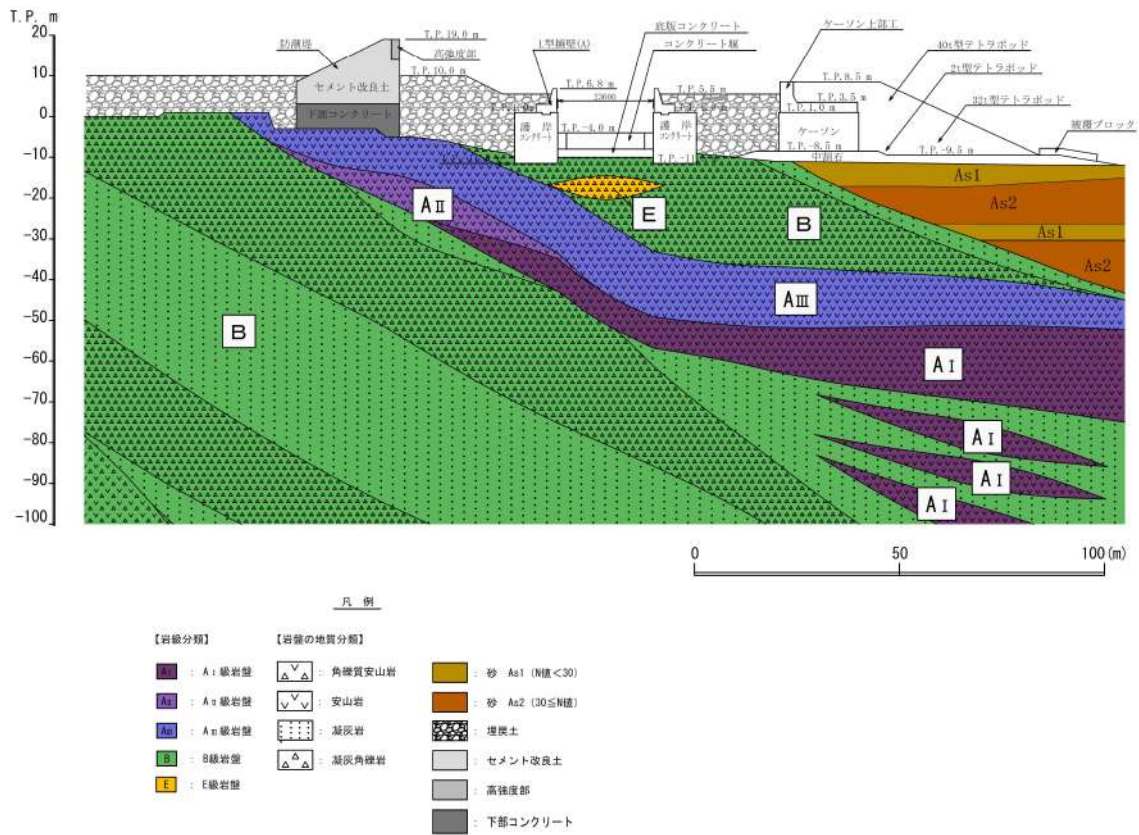


図6 地質断面図 (A-A断面)

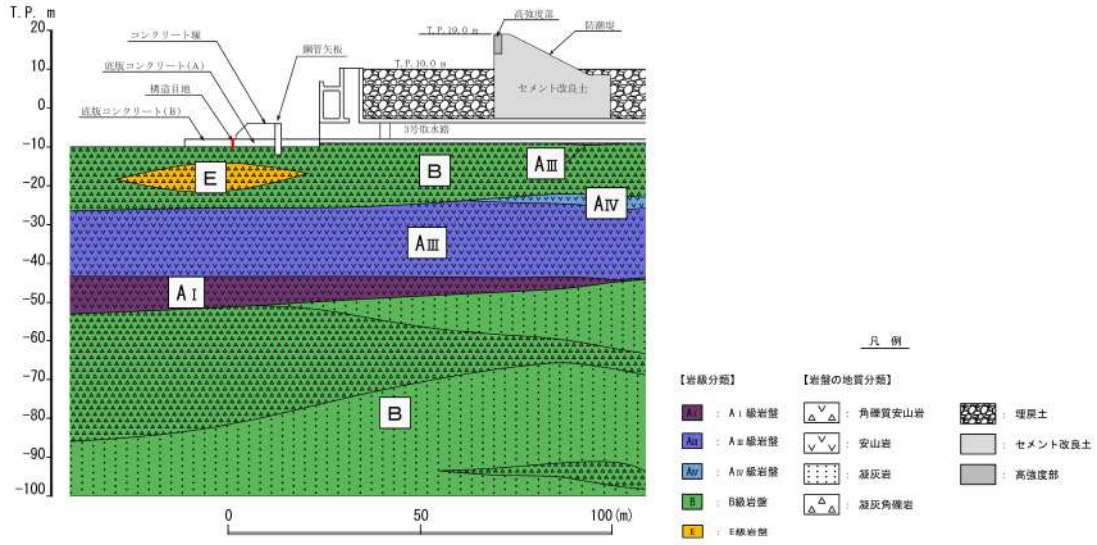


図7 地質断面図 (B-B断面)

表1 貯留堰の仕様

| 施設区分 | 構成部位         |          | 項目             | 仕様                              |                             |
|------|--------------|----------|----------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 貯留堰  | 貯留堰本体        | コンクリート堰* | 材質             | 無筋コンクリート                        |                             |
|      |              |          | 寸法             | 幅約 29.0m,<br>高さ 4.0m, 奥行き 10.2m |                             |
|      |              | 鋼管矢板     | 材質             | SM570                           |                             |
|      |              |          | 寸法             | 外径 1,600mm                      |                             |
|      |              | アンカーボルト* | 材質             | SD345                           |                             |
|      | 底版コンクリート (A) | 材質       | 無筋コンクリート       |                                 |                             |
|      | 護岸接続部        | 止水ジョイント  | 止水ゴム*          | 材質                              | CR・補強布                      |
|      |              |          | 止水ゴム<br>取付部鋼材* | 材質                              | SM400<br>SD345<br>(アンカーボルト) |

※仕様は現在検討中であり、今後変更の可能性がある。

表2 3号炉取水口の仕様

| 施設区分   | 構成部位     | 項目 | 仕様                |
|--------|----------|----|-------------------|
| 3号炉取水口 | 護岸コンクリート | 材質 | 無筋コンクリート          |
|        |          | 寸法 | 幅 10.5m, 高さ 12.5m |

## 2. 設計方針

貯留堰は津波防護施設であるため、「4. 1 津波防護施設の設計」に記載のとおり、審査ガイドに基づき、常時荷重、地震荷重、津波荷重及び余震荷重を適切に組み合わせた条件で設計を行うとともに、漂流物の衝突及び自然現象による荷重との組合せを適切に考慮することにより、耐震・耐津波設計上の十分な裕度をもって海水の貯留機能を確保する。

### (1) 評価方針

貯留堰は、前述の機能設計上及び構造強度設計上の性能目標を達成するために、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことが必要となる。このため構造部材の健全性、基礎地盤の支持性能及び構造物の変形性の観点から評価を行う。

貯留堰の構成部位とその役割を表3に、貯留堰の評価項目、その評価方法及び許容限界を表4に示す。

### (2) 検討フロー

貯留堰の耐震評価の検討フローを図8に、強度評価の検討フローを図9に示す。

表3 貯留堰の構成部位とその役割

| 施設区分 | 構成部位  |             | 構成部位の役割  |   |
|------|-------|-------------|--|---|
| 貯留堰  | 貯留堰本体 | コンクリート堰     | 地震荷重及び津波荷重を鋼管矢板，アンカーボルト及び底版コンクリート（A）に伝達するとともに，各荷重に対して十分な構造強度を有することにより止水性を確保し，貯留堰としての機能を保持する。                 |   |
|      |       | 鋼管矢板        | 地震荷重及び津波荷重を底版コンクリート（A）及び支持地盤に伝達するとともに，コンクリート堰から伝達される各荷重に対して十分な構造強度を有することにより止水性を確保し，貯留堰としての機能を保持する。           |   |
|      |       | アンカーボルト     | 地震荷重及び津波荷重を底版コンクリート（A）に伝達するとともに，各荷重に対して十分な構造強度を有することにより止水性を確保し，貯留堰としての機能を保持する。                               |   |
|      |       | 底版コンクリート（A） | 地震荷重及び津波荷重に対して十分な構造強度を有するとともに，鋼管矢板，アンカーボルト及び底版コンクリート（A）から伝達される各荷重に対して十分な構造強度を有することにより止水性を確保し，貯留堰としての機能を保持する。 |   |
|      | 護岸接続部 | 止水ジョイント     | 止水ゴム   | 地震荷重及び津波荷重に対して十分な構造強度を有し，貯留堰本体と護岸コンクリートとの間に生じる変位に追従することにより貯留堰本体と護岸コンクリートとの間の止水性を確保し，貯留堰としての機能を保持する。 |
|      |       |             | 止水ゴム取付部鋼材  |   |



表4 貯留堰の評価項目と許容限界

| 評価方針        | 評価項目      | 部位                   | 評価方法  | 許容限界   |
|-------------|-----------|----------------------|---|--|
| 構造強度を有すること  | 構造部材の健全性  | コンクリート堰              | 発生応力が許容限界以下であることを確認                         | ・「コンクリート標準示方書、ダムコンクリート編 2013」及び「コンクリート標準示方書、構造性能照査編 2002」を踏まえた材料強度に基づき算出した局所安全係数 |
|             |           | 鋼管矢板                 | 発生応力が許容限界以下であることを確認                         | ・「道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）」を踏まえた短期許容応力度  |
|             |           | アンカーボルト              | 発生応力が許容限界以下であることを確認                         | ・「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえた短期許容耐力   |
|             |           | 底版コンクリート（A）          | 発生応力が許容限界以下であることを確認                         | ・「コンクリート標準示方書、ダムコンクリート編 2013」及び「コンクリート標準示方書、構造性能照査編 2002」を踏まえた材料強度に基づき算出した局所安全係数 |
|             |           | 止水ゴム取付部鋼材            | 発生応力が許容限界以下であることを確認                         | ・「道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）」を踏まえた短期許容応力度<br>・「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえた短期許容耐力        |
|             | 基礎地盤の支持性能 | 基礎地盤                 | 接地圧が許容限界以下であることを確認                          | ・「道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）」を踏まえ妥当な安全余裕を考慮した極限支持力                               |
| 止水性を損なわないこと | 構造部材の健全性  | コンクリート堰              | 発生応力が許容限界以下であることを確認                         | ・「コンクリート標準示方書、ダムコンクリート編 2013」及び「コンクリート標準示方書、構造性能照査編 2002」を踏まえた材料強度に基づき算出した局所安全係数 |
|             |           | 鋼管矢板                 | 発生応力が許容限界以下であることを確認                         | ・「道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）」を踏まえた短期許容応力度  |
|             |           | アンカーボルト              | 発生応力が許容限界以下であることを確認                         | ・「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえた短期許容耐力   |
|             |           | 底版コンクリート（A）          | 発生応力が許容限界以下であることを確認                         | ・「コンクリート標準示方書、ダムコンクリート編 2013」及び「コンクリート標準示方書、構造性能照査編 2002」を踏まえた材料強度に基づき算出した局所安全係数 |
|             |           | 止水ゴム取付部鋼材            | 発生応力が許容限界以下であることを確認                         | ・「道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）」を踏まえた短期許容応力度<br>・「各種合成構造設計指針・同解説」を踏まえた短期許容耐力        |
|             | 基礎地盤の支持性能 | 基礎地盤                 | 接地圧が許容限界以下であることを確認                          | ・「道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）」を踏まえ妥当な安全余裕を考慮した極限支持力                               |
| 構造物の変形性     | 止水ゴム      | 発生変形量が許容限界以下であることを確認 | ・メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量 |  |

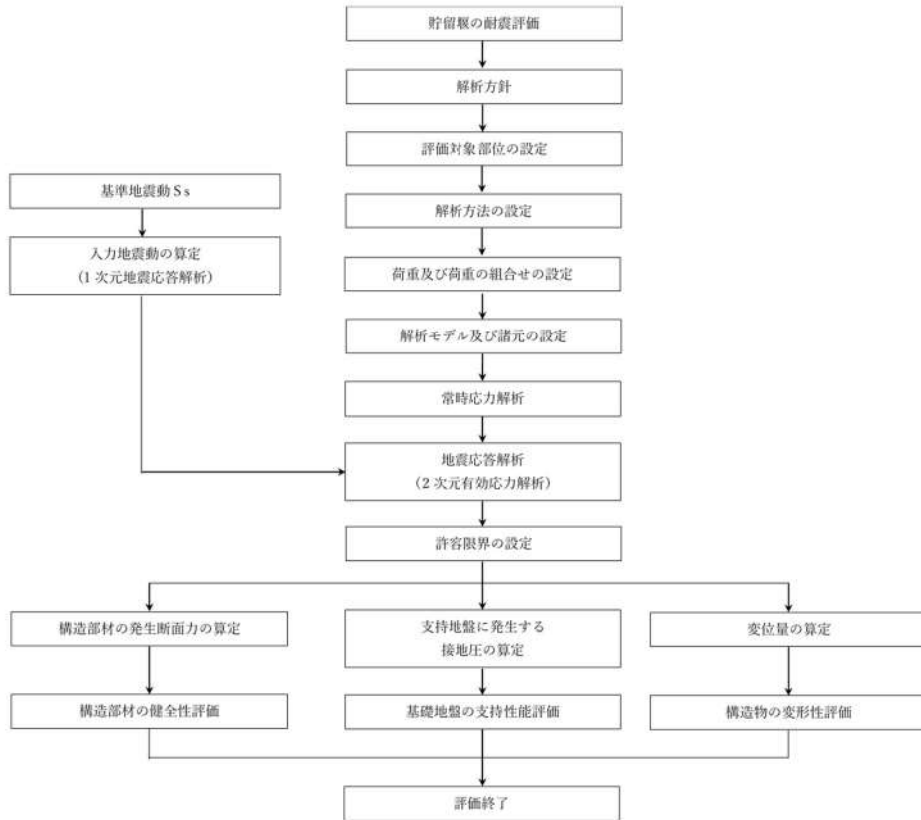


図8 貯留堰検討フロー（耐震評価）

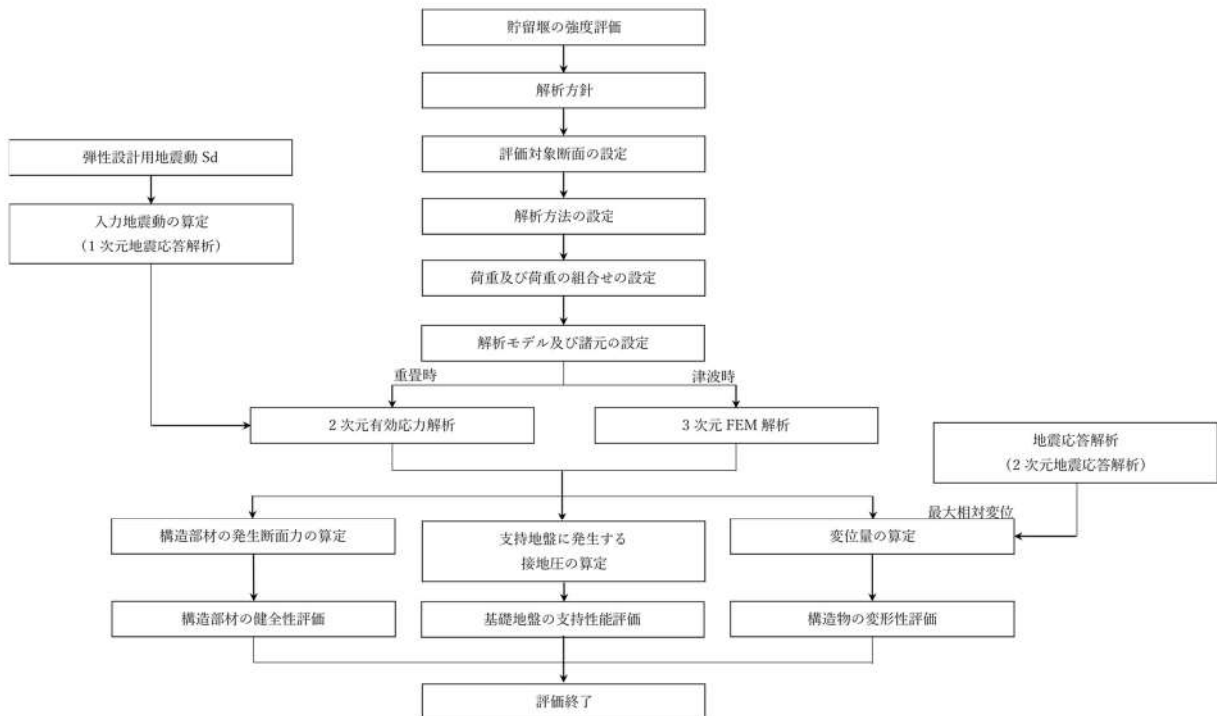


図9 貯留堰検討フロー（強度評価）

### (3) 貯留堰からの漏水防止

貯留堰の海水貯留機能を確保するため、護岸接続部における漏水防止に関する設計方針を以下に示す。なお、鋼管矢板には止水機能を期待していないものの、自主設備として鋼管矢板継手部の漏水量を評価した結果を、添付資料 27「鋼管矢板継手部の漏水量評価」に示す。

なお、護岸接続部については、設計及び工事計画認可段階で、変更となる可能性がある。

#### a. 漏水防止の考え方

護岸接続部においては、貯留堰本体と護岸コンクリートとの取合部からの漏水が想定される。このため、貯留堰本体と護岸コンクリートとの間には鋼材を介した止水ジョイントを設置する。護岸接続部は止水ゴム取付部鋼材を固定することで漏水を防止する設計とする。止水ジョイント底部は底版コンクリート（A）に根入れすることで、漏水を防止する設計とする。

この構造により、貯留堰本体と護岸コンクリートに相対変位が生じた場合においても、止水ゴムの追従性により変位を吸収した上で、護岸接続部及び底部からの漏水を防止する。

また、漂流物の衝突による止水ジョイントの損傷を防止するため、コンクリート堰に立坑を設け、その中に止水ジョイントを設置する。メンテナンスの観点から立坑内に砂等が堆積しないように立坑上部に蓋を設置する。

護岸接続部の概略構造を図 10 に、止水ジョイント底部の概略構造を図 11 に示す。

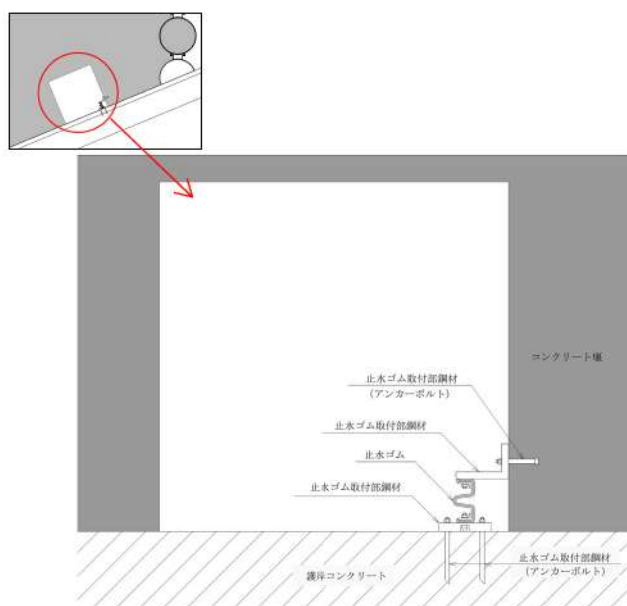


図 10 護岸接続部の概略構造（平面図）

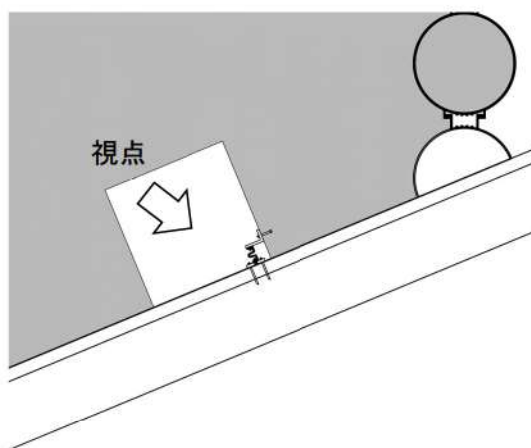
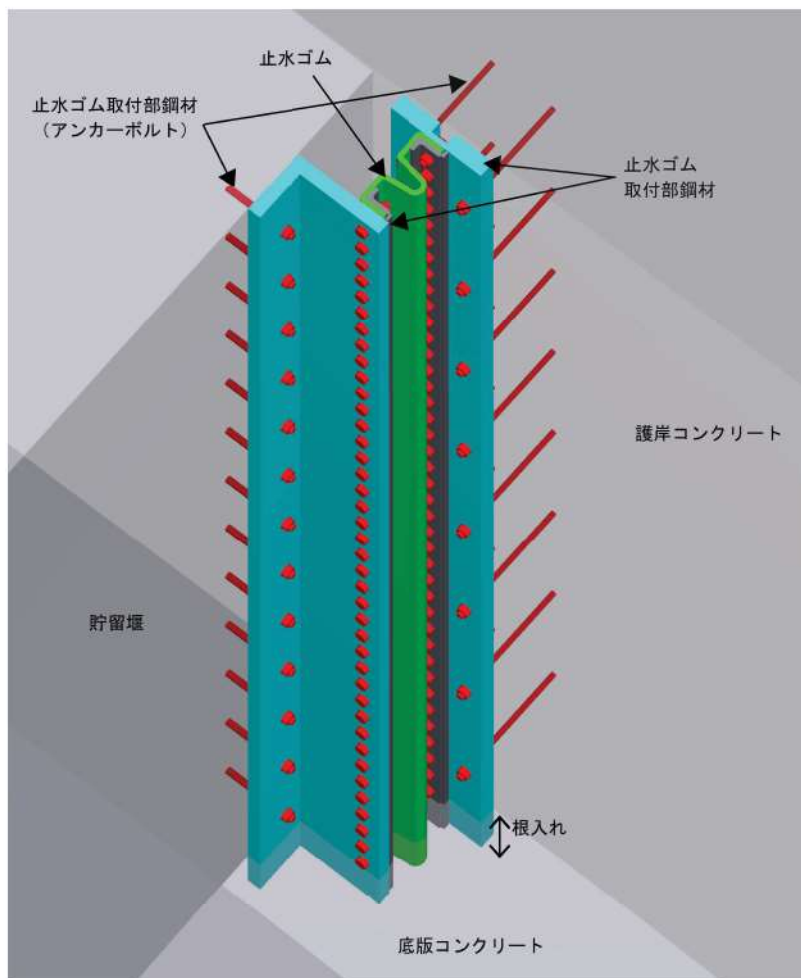


図 11 止水ジョイントの概略構造

b. 変形量の考え方

護岸接続部の耐震及び耐津波設計においては、部材の健全性及び止水性能の観点から、地震時及び重畳時に、貯留堰本体と護岸コンクリートの相対変位により生じる止水ゴムの変形量について照査を行う。

止水ゴムの変形量は3方向の合成変位量として、以下のとおり算定し、その合成変形量が許容限界以下であることを確認する。

$$\Delta = \sqrt{\Delta X^2 + (\Delta Y + W)^2 + \Delta Z^2}$$

ここで、

$\Delta$  : 止水ゴムの変形量 (cm)

$\Delta X$  : X方向 (護岸法線平行方向) の変形量 (cm)

$\Delta Y$  : Y方向 (護岸法線直角方向) の変形量 (cm)

$\Delta Z$  : Z方向 (鉛直方向) の変形量 (cm)

$W$  : Y方向 (護岸法線直角方向) の初期離隔距離 (cm)

貯留堰本体と護岸コンクリートとの相対変位の考え方を図12に、止水ジョイントの変位のイメージを図13に示す。

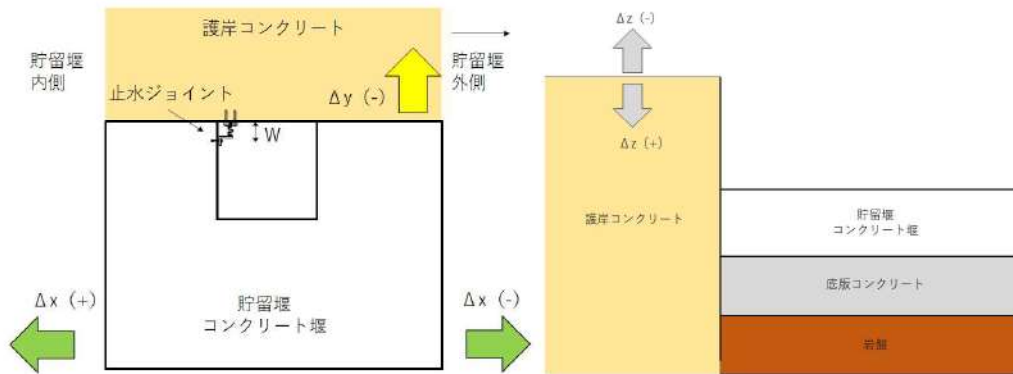
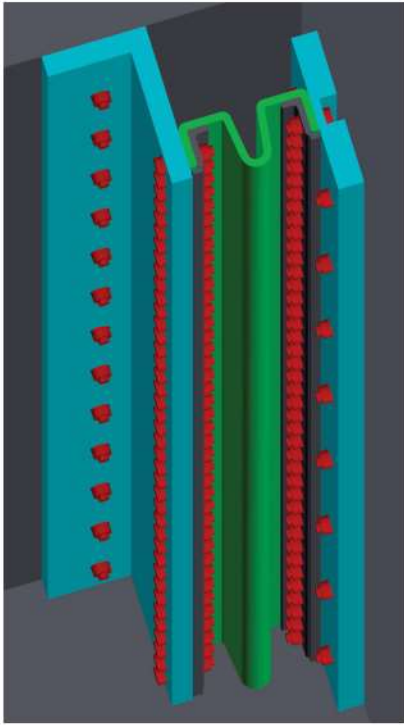
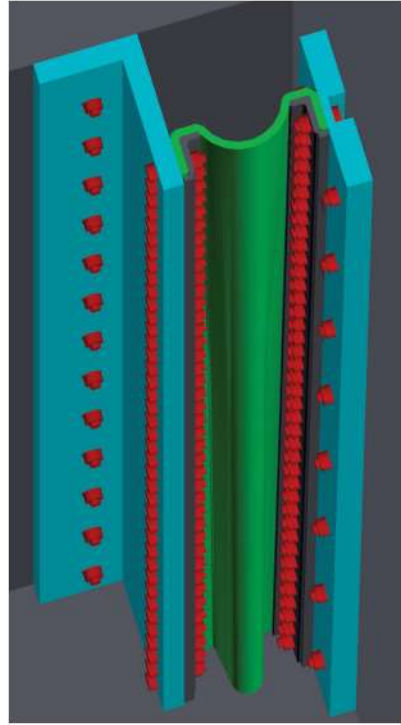
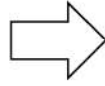


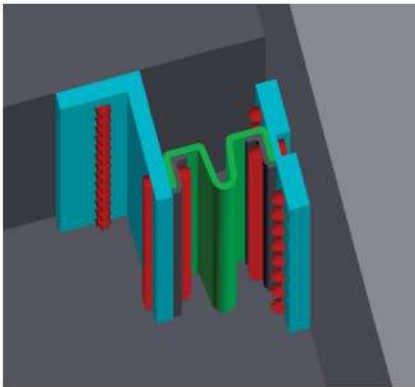
図12 貯留堰本体と護岸コンクリートとの相対変位の考え方



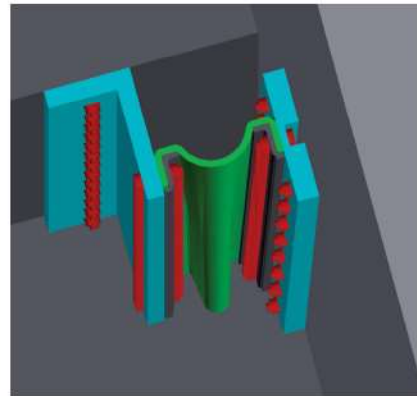
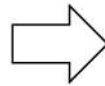
変形前（設置状態）



変形後



変形前（設置状態）



変形後

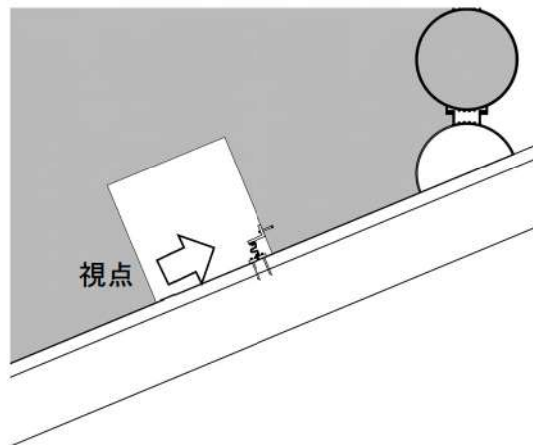


図 13 止水ジョイントの変形のイメージ

鋼管矢板継手部の漏水量評価について

1. 評価方針

3号炉取水口に設置した貯留堰は、コンクリート堰により止水機能を確保している。コンクリート堰の陸側には、鋼管同士を継手により連結した鋼管矢板を設置している。鋼管矢板に止水機能は期待していないものの、自主設備として鋼管矢板継手部の漏水量を評価する。

継手は山形鋼を組み合わせた高耐力継手構造（以下、高耐力継手という）であり、鋼管本体に異形鉄筋を溶接で取り付け、継手空間にモルタルを充填する。貯留堰の構造を図1及び図2に、高耐力継手の構造を図3に示す。

継手部からの漏水量は、遮水性能評価試験により求めた換算透水係数により評価する。

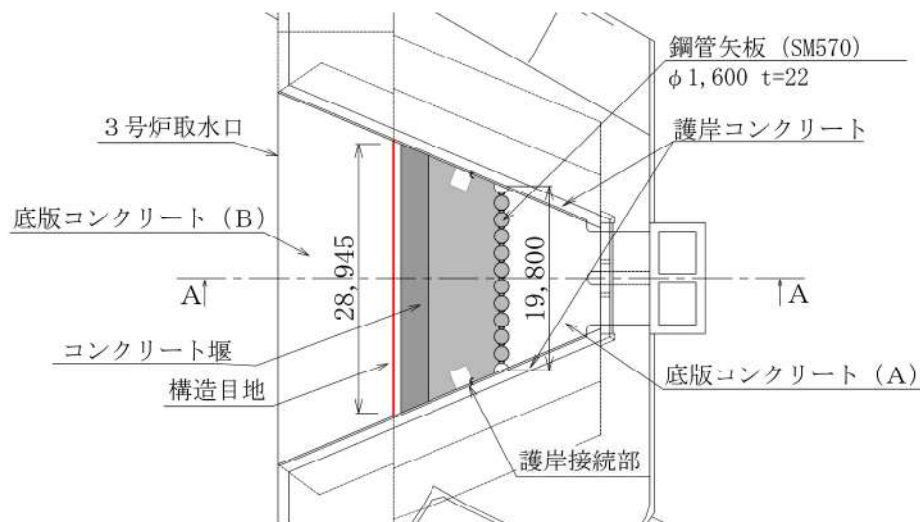


図1 3号炉貯留堰 平面図

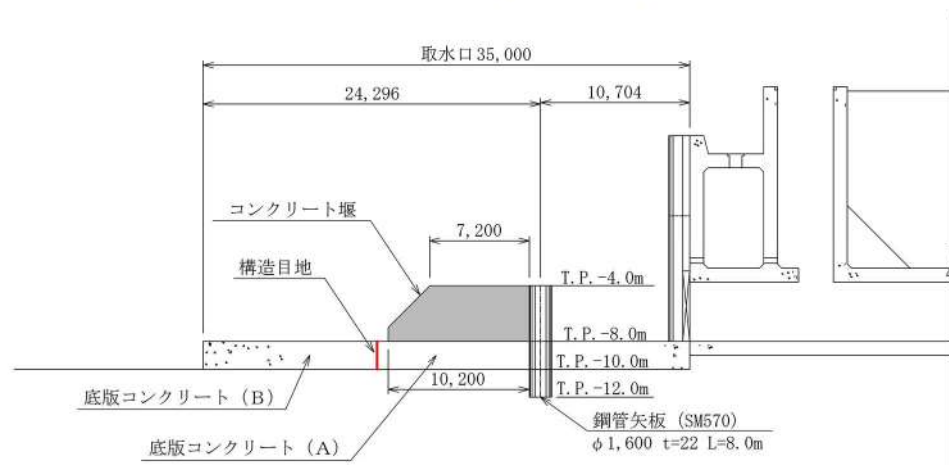


図2 3号炉貯留堰 断面図 (A-A断面)

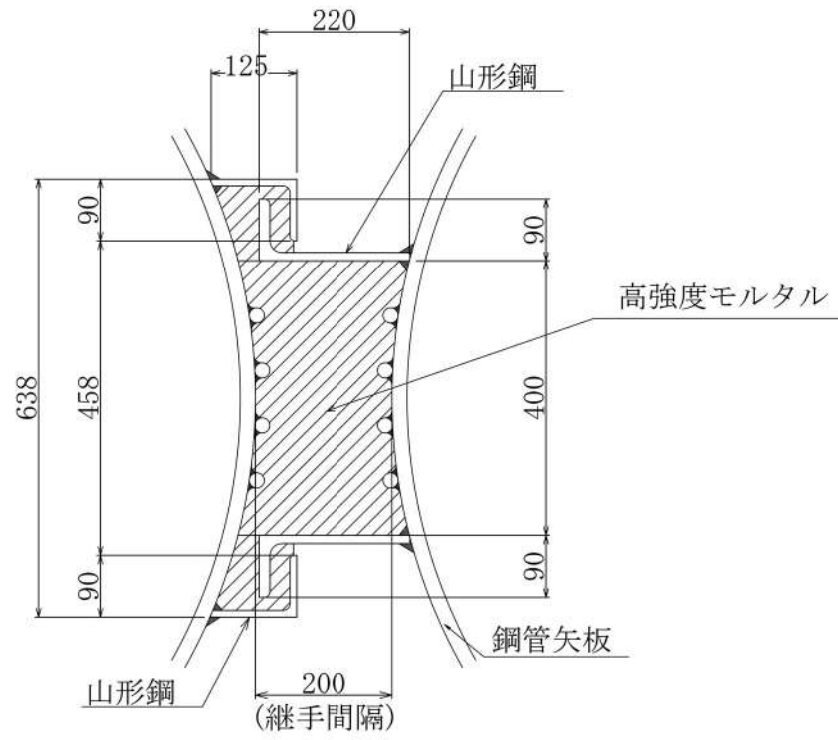


図3 高耐力継手の構造



## 2. 遮水性能評価試験

### (1) 試験目的

津波時における津波荷重及び漂流物荷重により、鋼管矢板に曲げが発生し降伏することで、継手部が損傷する場合を仮定し、その後が発生する引き波により継手部から貯留水の漏水が発生することを想定する。

遮水性能評価試験では、鋼管矢板外縁に降伏点を超える程度の変形状態を載荷試験により再現した後、載荷後の継手部に対して耐水圧試験を行い、換算透水係数を求める。

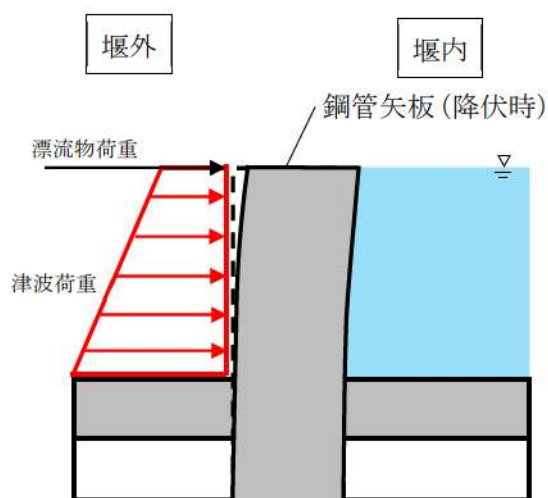


図4 遮水性能評価試験で想定する損傷モード

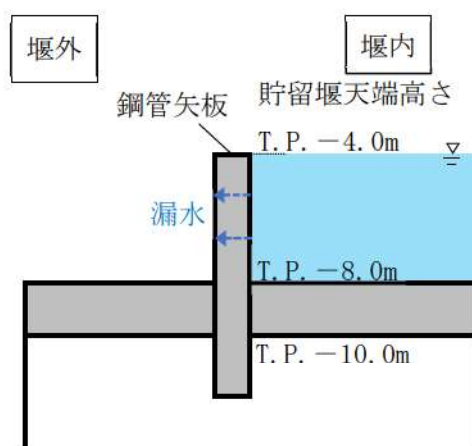


図5 遮水性能評価試験で想定する漏水の状況

(2) 試験概要

試験フローを図6に示す。

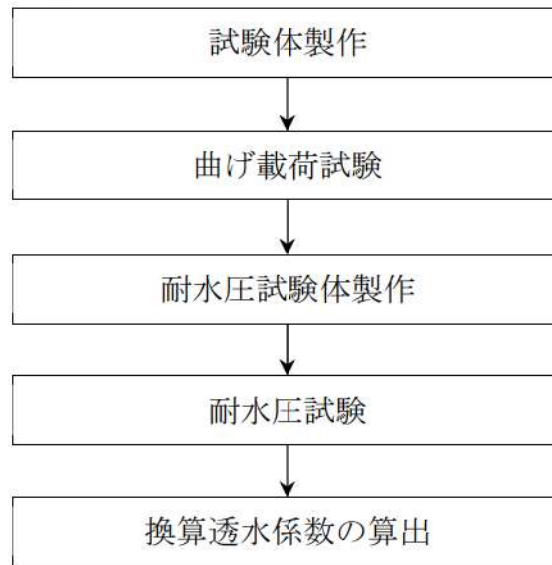


図6 遮水性能評価試験フロー

a. 試験体製作

試験体は実物の鋼管矢板及び継手部を模擬するが、曲げ载荷試験の試験装置の载荷可能寸法を考慮し、継手部の中心 790mm の範囲を切り出した断面で、長さ 1,400mm の試験体を製作する。試験体概要図を図 8 に示す。

試験体製作に当たっては、鋼管矢板を再現するために、鋼板をロール加工し、形状を保つため、試験体の中心から 250mm の位置にリブプレートを設置する。

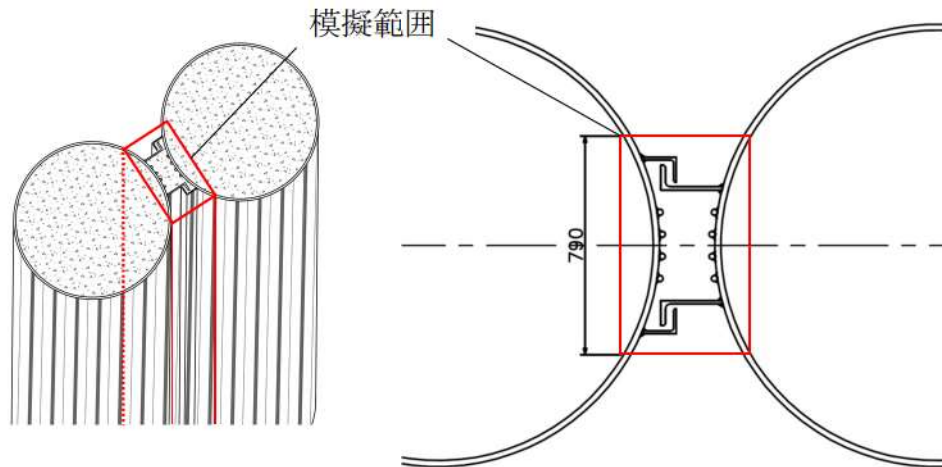


図 7 継手部 模擬範囲

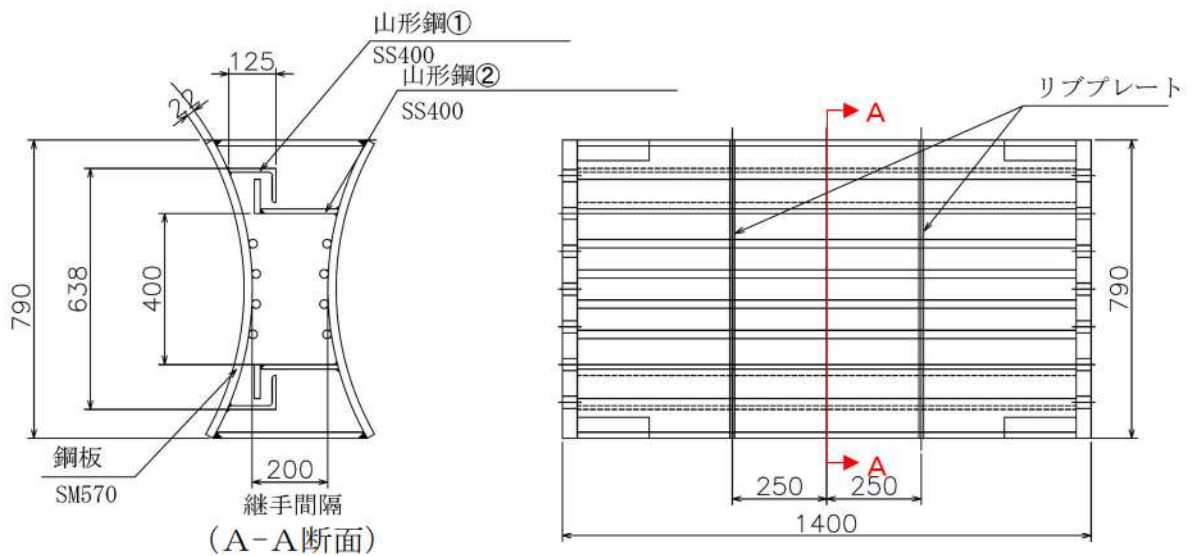


図 8 試験体概要図

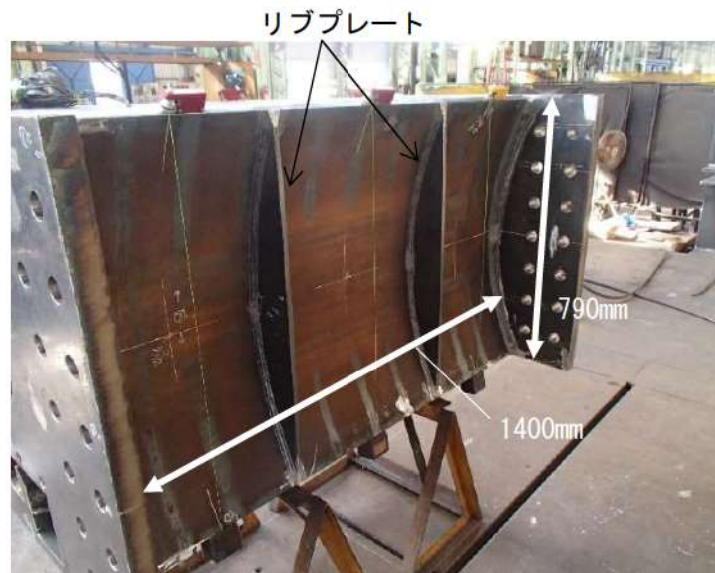


図9 試験体状況

b. 曲げ载荷試験

曲げ载荷試験では、鋼管矢板が降伏するときに発生する曲げを再現するために、試験体の両端に载荷用治具を設置し、2点曲げ载荷を行う。曲げ载荷試験概要図を図10に示す。

図11に示すとおり、2点曲げ载荷により、試験体の中心より上側には圧縮、下側には引張が作用し、中立軸を対称として圧縮ひずみ及び引張ひずみがそれぞれ発生する。発生するひずみの大きさは、平面保持を仮定し中立軸からの距離に比例するものと考え、図12に示すとおり、鋼管矢板の縁端ひずみが降伏点ひずみ ( $\pm 2250 \mu\text{m}$ ) となるとときに継手部縁端に発生するひずみは、 $\pm 900 \mu\text{m}$ となる。

試験体には、図13に示すようにA～Dラインの位置にひずみゲージを設置し、継手縁端位置 (①～④) のひずみが、いずれも  $\pm 900 \mu\text{m}$  以上発生するまで载荷させることで、鋼管矢板の降伏状態を再現する。

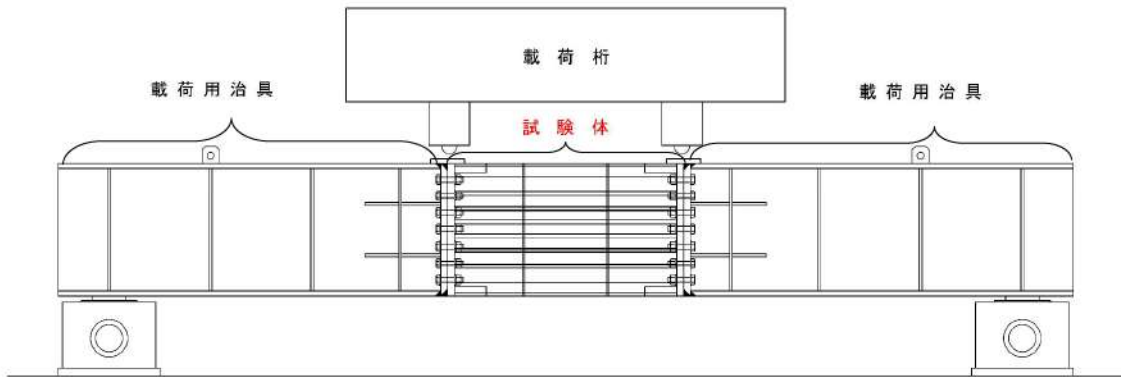


図10 曲げ载荷試験概要図

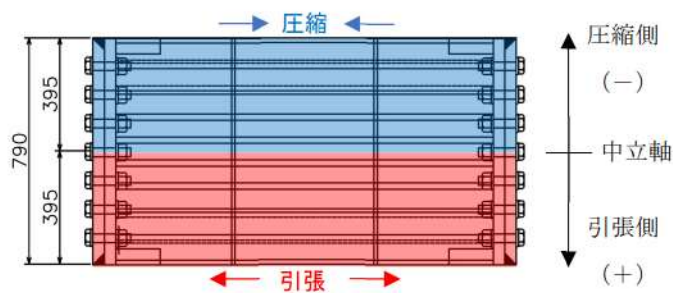


図11 試験体に発生するひずみ

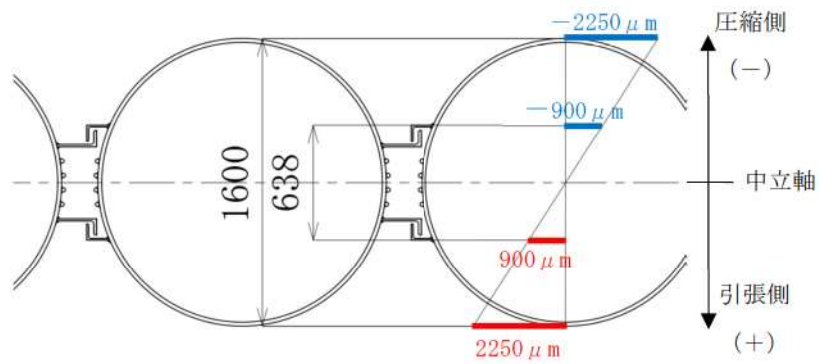


図 12 継手部縁端のひずみ

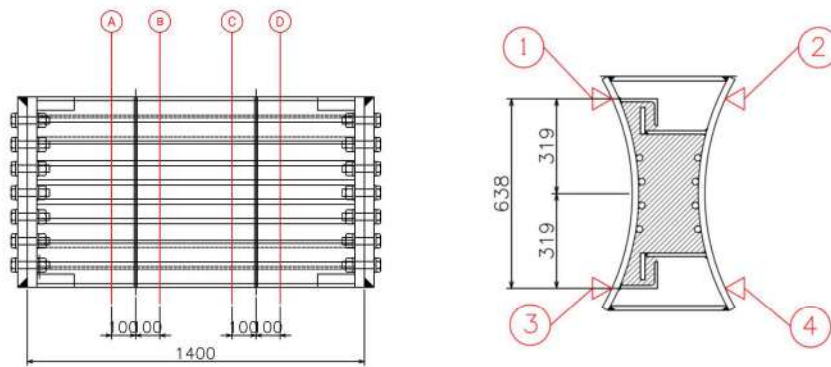


図 13 ひずみゲージ設置箇所

c. 耐水圧試験体製作

曲げ載荷試験後、長さ 1,400mm の試験体から 175mm の範囲を切り出し、耐水圧試験体を製作する。切り出す範囲は、A-Bライン間とC-Dライン間の 175mm の範囲とし、より大きなひずみが発生した方を耐水圧試験体として選定する。

耐水圧試験体の製作に当たっては、切断面からの漏水を防ぐため、切断面に止水材を貼付した上で、鋼板で挟み、ボルト締めすることにより貯水空間を作る。

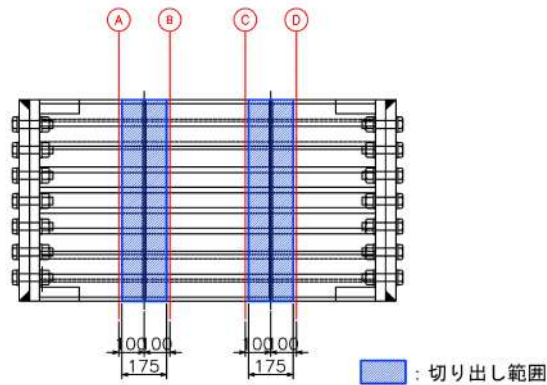


図 14 切り出し範囲

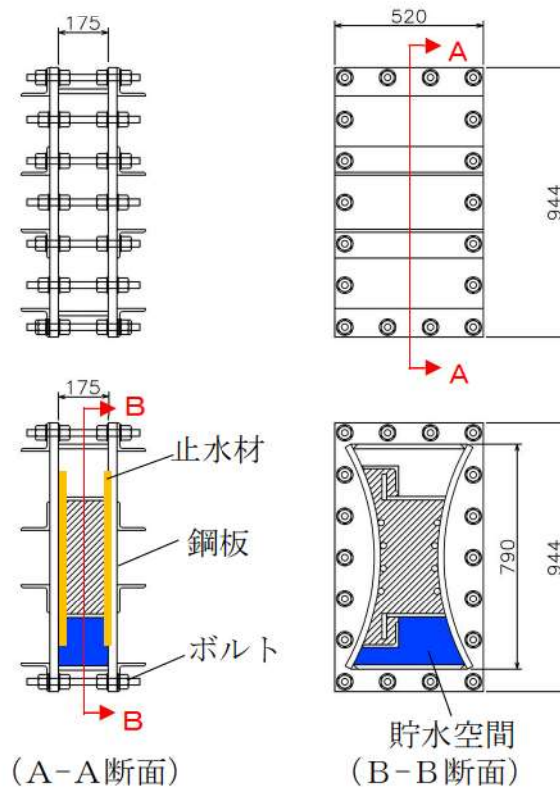


図 15 耐水圧試験体概要図

d. 耐水圧試験

耐水圧試験では耐水圧試験器を用い、継手部に対し水圧を載荷し、漏水量を測定する。

継手部に充填されているモルタルは、引張よりも圧縮に対して耐力があるため、曲げ載荷試験により損傷が大きくなるのは、圧縮よりも引張が作用する試験体中心より下側と考えられるため、保守的に引張側から水圧を載荷する。

載荷水圧は鋼管矢板に作用する貯留水の静水圧以上となるように、0.02MPa, 0.05MPa, 0.10MPa, 0.20MPa, 0.30MPa, 0.40MPa, 0.50MPa と設定する。

各載荷水圧の保持時間は1時間とし、1時間当たりの漏水量をそれぞれ測定する。

換算透水係数は、文献<sup>1)</sup>を参考に、鋼管矢板の継手を50 cm厚の均一な透水層と考え、以下の式により算出する。

$$k_e = \frac{Q}{B \times l} \times \frac{T}{\Delta h} \dots (1)$$

- k<sub>e</sub> : 換算透水係数 (cm/sec)
- Q : 各ステップで計測された1秒当たりの漏水量 (cm<sup>3</sup>/sec)
- B : 鋼管矢板の径と継手部の幅の合計 (160 cm + 20 cm = 180 cm)
- l : 試験体の高さ (17.5 cm)
- Δh : 各ステップの水頭差 (cm)
- T : 換算透水厚さ (50 cm)

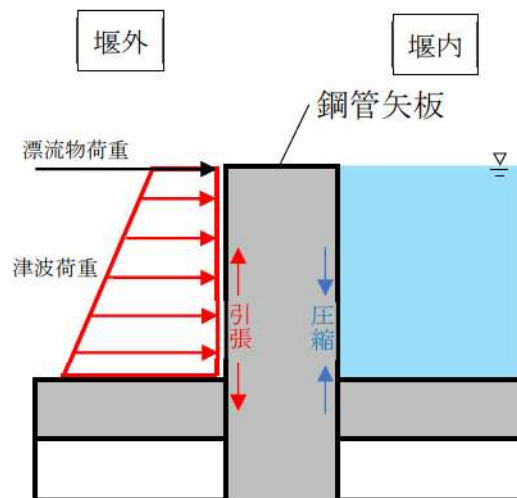


図 16 津波荷重及び漂流物荷重により鋼管矢板に発生するひずみ



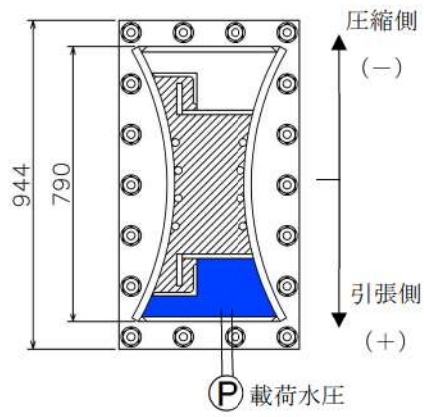


図 17 耐水压試験概要図

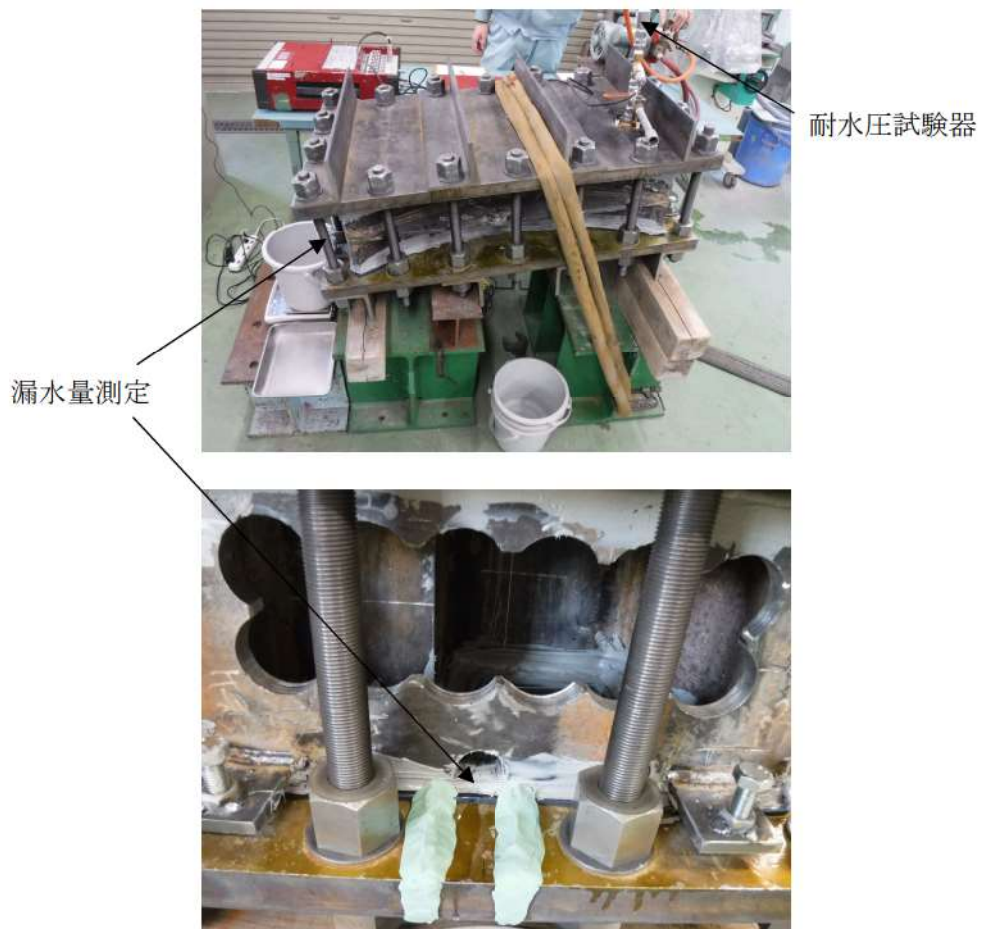


図 18 耐水压試験状況

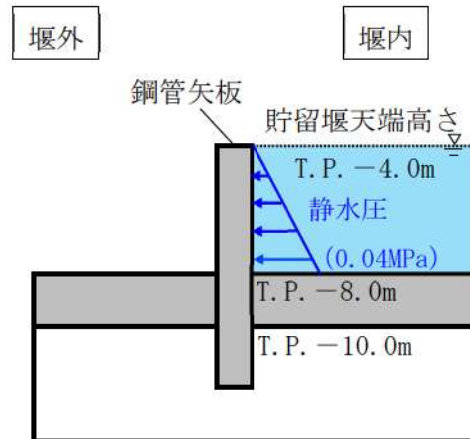


図 19 貯留水により作用する静水圧

表 1 耐水圧試験ステップ

| ステップ   | 載荷水圧<br>(MPa) | 載荷時間<br>(min) |
|--------|---------------|---------------|
| ステップ 1 | 0.02          | 60            |
| ステップ 2 | 0.05          | 60            |
| ステップ 3 | 0.10          | 60            |
| ステップ 4 | 0.20          | 60            |
| ステップ 5 | 0.30          | 60            |
| ステップ 6 | 0.40          | 60            |
| ステップ 7 | 0.50          | 60            |

### (3) 試験結果

#### a. 曲げ载荷試験

曲げ载荷試験により計測したひずみを表2に示す。A～Dラインで継手縁端に発生したひずみが目標ひずみ以上となったことを確認した。

また、計測したひずみのうち、Dラインの③で最も大きいひずみ（1481  $\mu\text{m}$ ）が確認されたため、CラインとDラインの間から製作した耐水圧試験体を選定した。

表2 計測ひずみ一覧 ( $\mu\text{m}$ )

| 位置 | 目標ひずみ | Aライン  | Bライン   | Cライン   | Dライン   |
|----|-------|-------|--------|--------|--------|
| 1  | -900  | -947  | -923   | -912   | -974   |
| 2  |       | -956  | -1,035 | -1,120 | -1,195 |
| 3  | 900   | 1,440 | 1,289  | 1,218  | 1,481  |
| 4  |       | 1,135 | 1,194  | 1,225  | 1,155  |

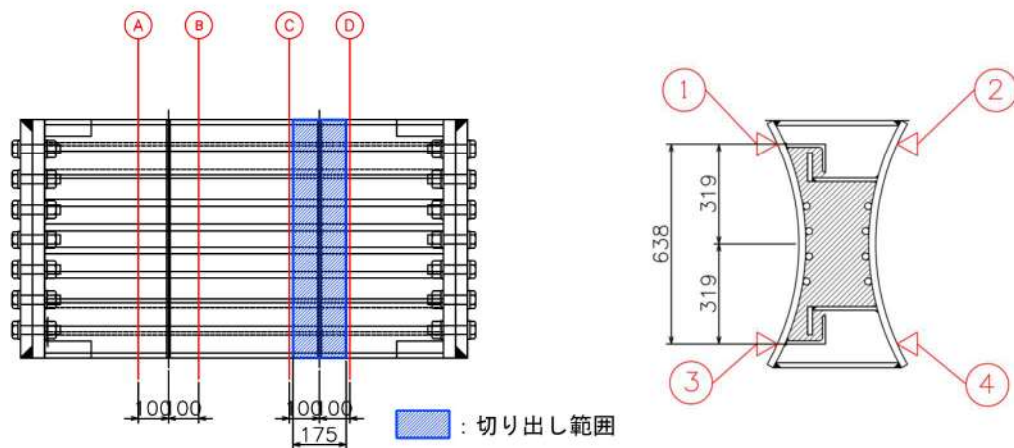


図20 ひずみゲージ設置箇所

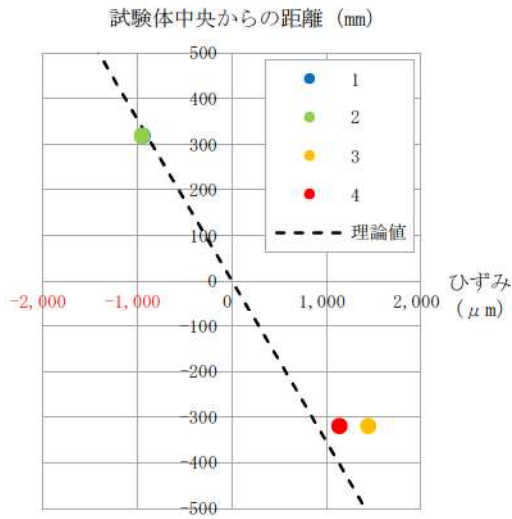


図 21 Aライン 計測ひずみ

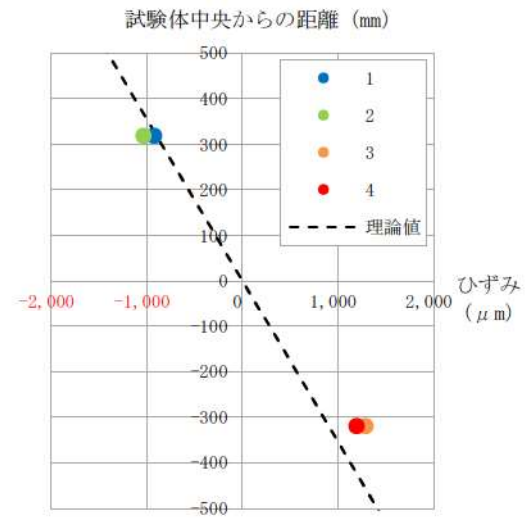


図 22 Bライン 計測ひずみ

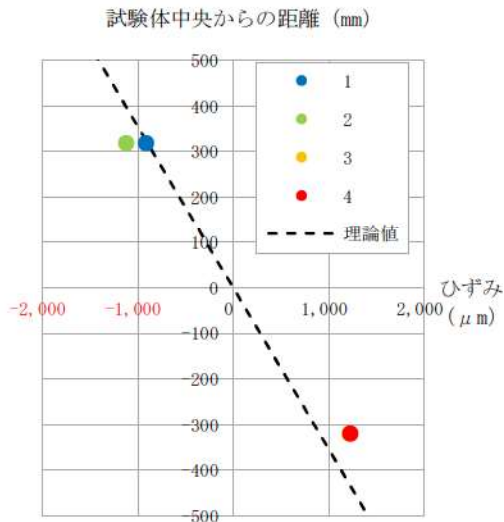


図 23 Cライン 計測ひずみ

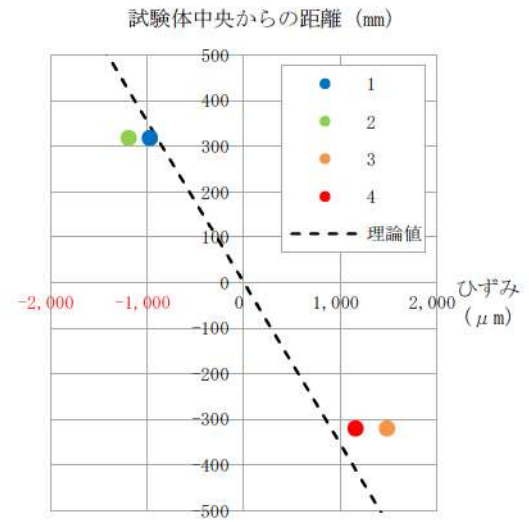


図 24 Dライン 計測ひずみ

b. 耐水圧試験

耐水圧試験結果を表3に、換算透水係数結果を図25に示す。0.02MPa～0.50MPaの各ステップで計測された漏水量から、(1)式より換算透水係数を算出したところ、最大で $2.78 \times 10^{-6}$  (cm/sec)となった。

$$k_e = \frac{Q}{B \times l} \times \frac{T}{\Delta h} \dots (1)$$

- $k_e$  : 換算透水係数 (cm/sec)
- $Q$  : 各ステップで計測された1秒当たりの漏水量 ( $\text{cm}^3/\text{sec}$ )
- $B$  : 鋼管矢板と継手部の幅の合計 (180 cm)
- $l$  : 試験体の高さ (17.5 cm)
- $\Delta h$  : 各ステップの水頭差 (cm)
- $T$  : 換算透水厚さ (50 cm)

表3 耐水圧試験結果

|                 | ステップ1                 | ステップ2                 | ステップ3                 | ステップ4                 | ステップ5                 | ステップ6                 | ステップ7                 |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 載荷水圧 (MPa)      | 0.02                  | 0.05                  | 0.10                  | 0.20                  | 0.30                  | 0.40                  | 0.50                  |
| 載荷時間 (min)      | 60                    | 60                    | 60                    | 60                    | 60                    | 60                    | 60                    |
| 漏水量 (g)         | 87.7                  | 320.6                 | 464.5                 | 649.3                 | 627.1                 | 738.5                 | 754.2                 |
| 換算透水係数 (cm/sec) | $1.90 \times 10^{-6}$ | $2.78 \times 10^{-6}$ | $2.01 \times 10^{-6}$ | $1.41 \times 10^{-6}$ | $9.04 \times 10^{-7}$ | $7.99 \times 10^{-7}$ | $6.53 \times 10^{-7}$ |

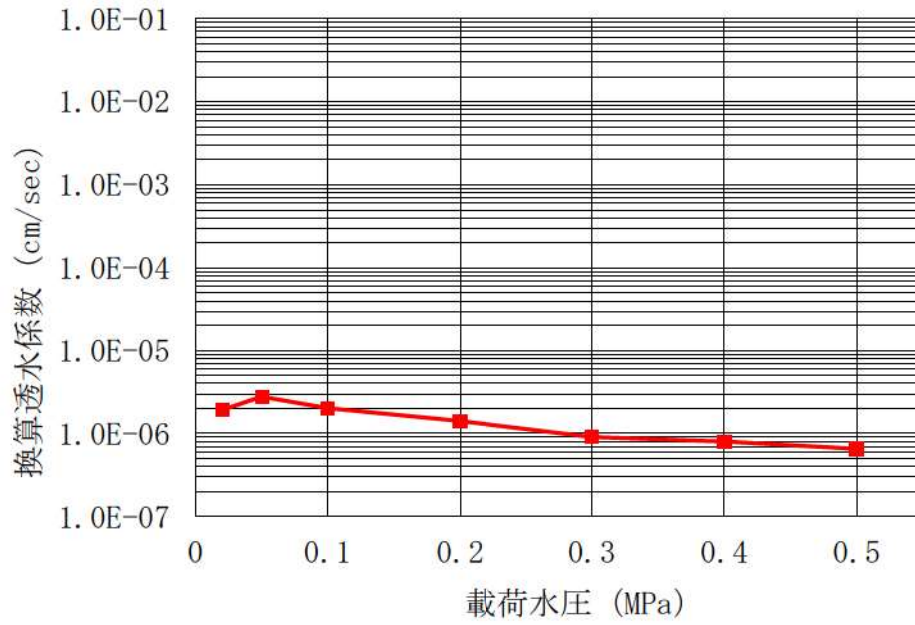


図 25 换算透水系数結果



図 26 漏水状況

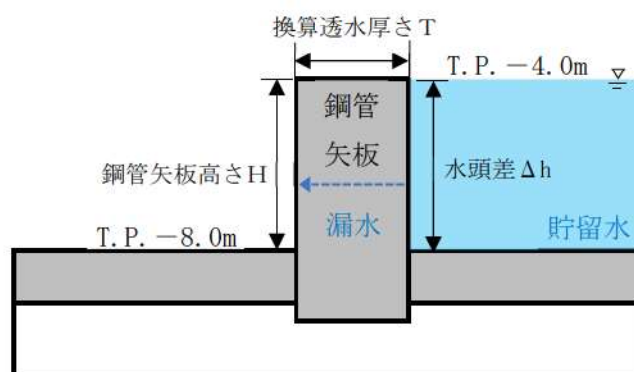
### 3. 貯留量に対する漏水量の評価

遮水性能評価試験により、高耐力継手の換算透水係数は、最大で  $2.78 \times 10^{-6}$  (cm/sec) であったことから、保守的に  $1.0 \times 10^{-5}$  (cm/sec) として継手部からの漏水量を求める。

評価時間は、「2.5 水位変動に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響防止 2.5.1 非常用海水冷却系の取水性」において、基準津波による津波高さが貯留堰の天端高さ T.P. -4.0m を下回る継続時間が最大でも \*\*分 程度であることを踏まえ、\*\*分 とする。漏水量の計算結果を下記に示す。

$$Q = L \times H \times k_e \times \frac{\Delta h}{T} \times t$$

- Q : 貯留堰全体における漏水量 (m<sup>3</sup>)
- L : 鋼管矢板の全長 (19.8m)
- H : 鋼管矢板の高さ (4.0m)
- k<sub>e</sub> : 換算透水係数 ( $1.0 \times 10^{-5}$  cm/sec)
- Δh : 水頭差 (引き津波時に最も水頭差が大きくなる 4.0m とする)
- T : 換算透水厚さ (0.5m)
- t : 貯留堰の天端高さ以下となる時間 (\*\*分)



貯留堰の貯水容量  $6,800\text{m}^3$  に対し、引き波が貯留堰天端を下回る時間 \*\*分間 での継手部からの漏水量は \*\*m<sup>3</sup> であることから、貯留性能に与える影響は十分小さいことを確認した。

追而  
破線圏部分については、入力津波確定後に記載する。

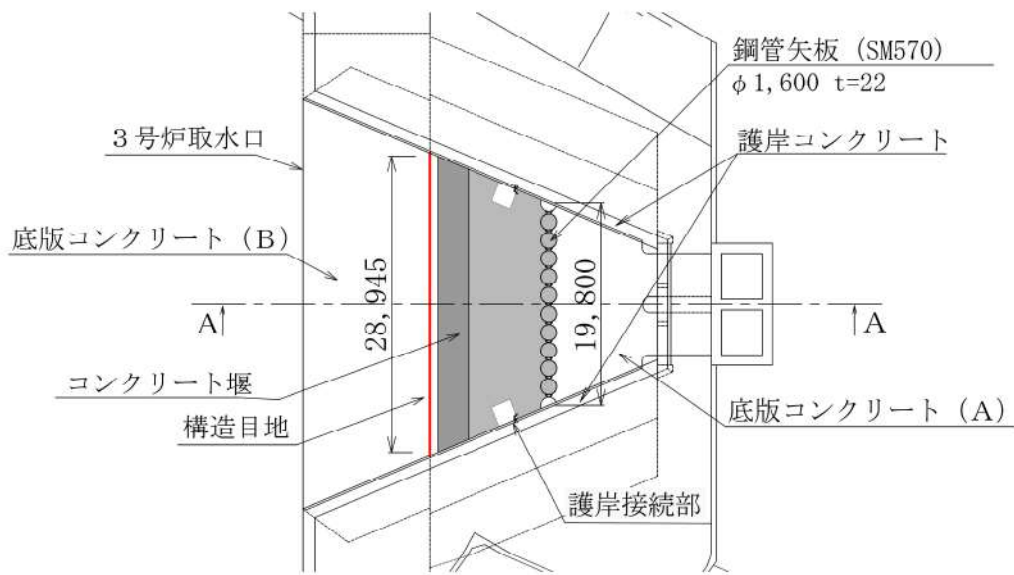


図1 3号炉貯留堰 平面図 (再掲)

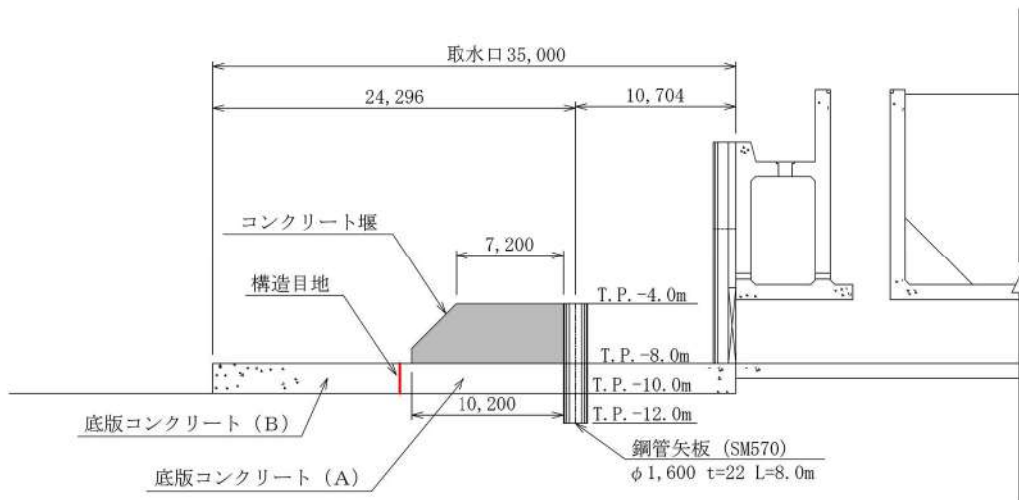


図2 3号炉貯留堰 断面図 (A-A断面) (再掲)



**【参考文献】**

- 1) 斎藤ほか：「鋼管矢板継手の遮水性能評価試験」（土木学会第 56 回年次学術講演会，2001）

## 水密扉の運用管理について

## 1. 概要

浸水防止設備として整備する水密扉は通常時閉運用としており、現場での注意表示（水密扉表示，常時閉表示）及び各種要則にて閉運用とすることとしている。また，開閉状態の確認のため，水密扉に対して，以下により「扉設置場所での“開”状態の認知性向上」及び「中央制御室での開閉状態の監視」を実施し，水密扉の閉め忘れを防止している。図1に水密扉監視設備の概略を示す。

- ・発電所内に入所する者に対して，確実な閉止運用がなされるよう周知徹底する。
- ・ブザーを扉設置場所に設置する。
- ・中央制御室に監視パソコン（警報鳴動）を設置する。

なお，資機材の運搬や作業に伴い開放する必要がある場合は，以下を条件に連続開放を可とする運用としている。

- ・監視人を配置し，緊急時は閉止可能な体制がとられていること。
- ・地震及び大津波警報発令時には，発電課長（当直）からのページング等により，直ちに水密扉を閉止すること。

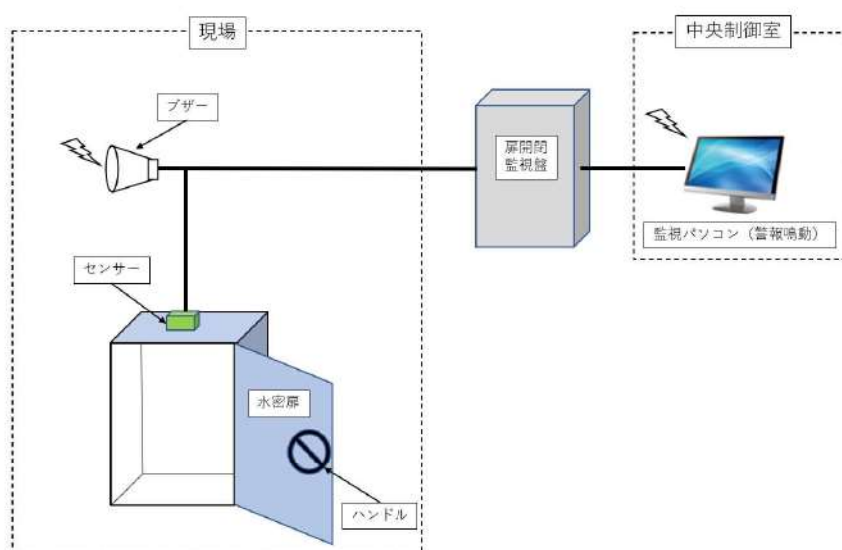


図1 水密扉監視設備の概略

## 2. 監視対象となる水密扉の位置

「4.2 浸水防止設備の設計」に記載するとおり、3号炉原子炉建屋及び3号炉原子炉補助建屋と電気建屋、3号炉原子炉補助建屋と3号炉出入管理建屋との境界において、浸水防止設備として水密扉を設置している。

これらの水密扉については、全て中央制御室にて監視が可能な設計としている。

なお、水密扉の設置位置は、添付資料7「津波防護対策の設備の位置付けについて」に示す。

屋外排水路に関する設計方針について

追而

(津波来襲時，3号炉放水ピット内側壁面に設置される3号炉原子炉補機冷却海水放水路逆流防止設備が閉動作し，放水できなくなった系統水が一次系放水ピット上部開口部から敷地に一時的に溢水する可能性が考えられることから，管路解析の結果を踏まえ，本資料の作成を検討する。敷地に溢水しない結果となった場合，本資料は作成しない。

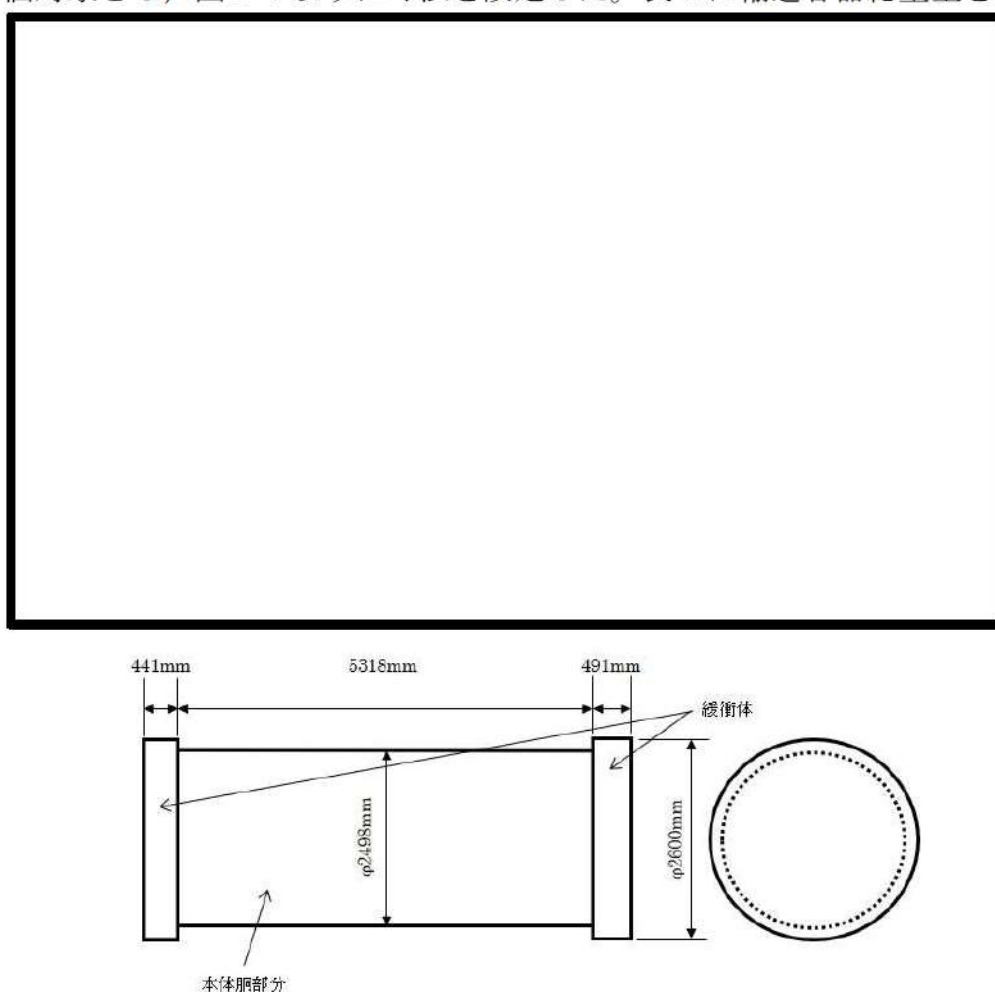
## 輸送物及び輸送車両の漂流物評価について

燃料等輸送船による輸送時の、陸側にある輸送物及び輸送車両の漂流物評価について以下の通り示す。

### 1. 燃料輸送

#### (1) 使用済燃料輸送容器

泊発電所において使用する使用済燃料輸送容器であるNF T-14P型を評価対象とし、図1のように寸法を設定した。表1に輸送容器総重量を示す。



- ・本体胴部分の外径については、保守的にフィンの外径値を使用している。
- ・緩衝体については中央に穴が開いた形状をしているが、保守的に円柱とする。
- ・架台（10.0t以下）については体積に含まない。

図1 体積計算に用いた使用済燃料輸送容器の模式図<sup>[1]</sup>

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

表1 輸送容器総重量<sup>[1]</sup>

| 輸送容器各部名称           | 重量 (t)   |
|--------------------|----------|
| A. 本体              | 82.2 以下  |
| B. 蓋               | 5.3 以下   |
| C. バスケット           | 6.7 以下   |
| D. 緩衝体             |          |
| ①上部緩衝体 (近接防止金網を含む) | 3.5 以下   |
| ②下部緩衝体 (近接防止金網を含む) | 3.5 以下   |
| 輸送容器総重量 (A+B+C+D)  | 101.2 以下 |

a. 評価結果

(a) 重量

表1 輸送容器総重量 (101.2t) より, 保守的に 100t と設定。

(b) 体積

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H &= \frac{\pi}{4} \cdot (2.600)^2 \cdot (0.441) + \frac{\pi}{4} \cdot (2.498)^2 \cdot (5.318) + \frac{\pi}{4} \cdot (2.600)^2 \cdot (0.491) \\ &= 31.011 \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned}$$

(c) 浮力

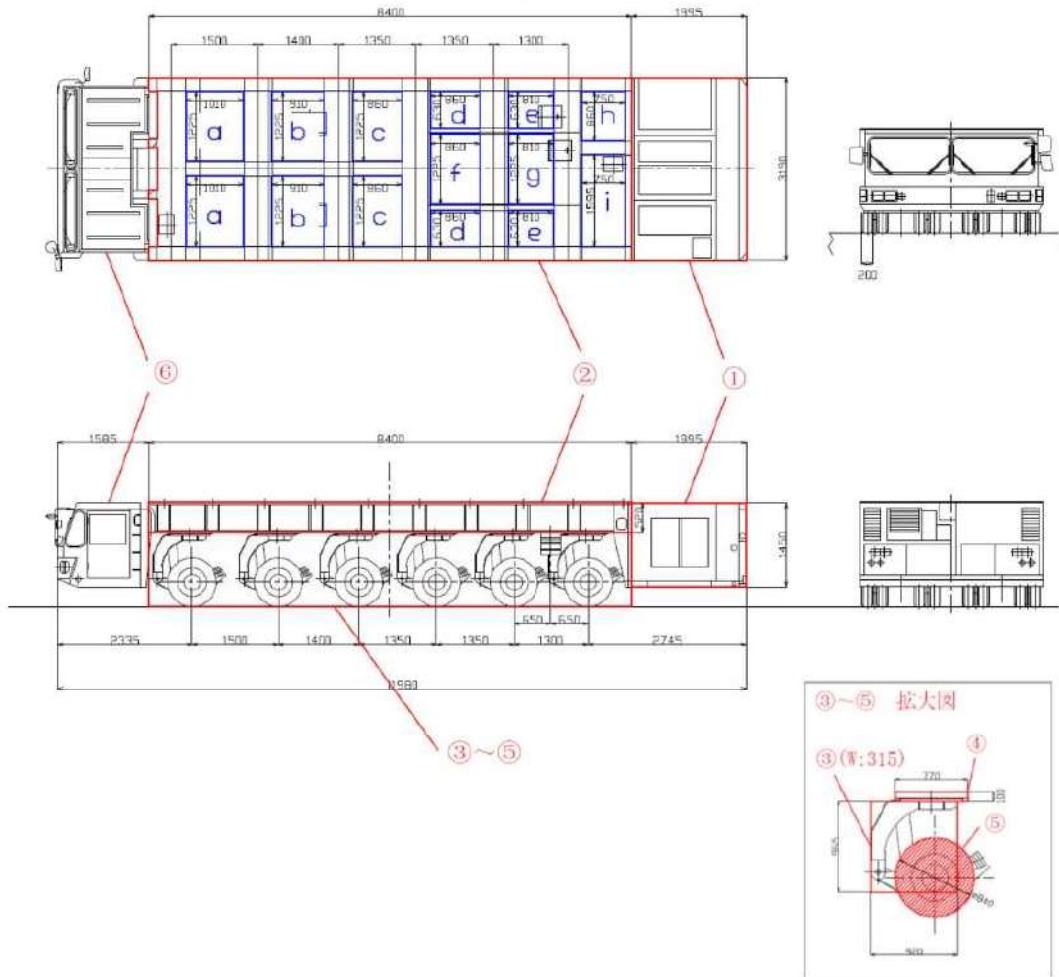
$$31.011 \times 1.03^* = 32.0 \text{ [t]} \text{ (小数点第2位以下切り上げ)}$$

※: 海水の比重を 1.03 t/m<sup>3</sup> とした。

(a) 重量 > (c) 浮力より, 使用済燃料輸送容器は, 漂流物とはならない。

(2) 使用済燃料輸送車両

使用済燃料輸送容器の輸送に使用する多軸自走車（140t 積載）を評価対象とする。体積については，図2のように使用済燃料輸送車両を構成する部材の体積を求め，これらの積算により算出した。



①ボンネット，②本体フレーム，③アーム，④ターンテーブル，⑤タイヤ，⑥運転席ユニット

- ・①については，冷却孔があるため気密性はないが，保守的に直方体とする。
- ・②については，梁の組み合わせであり，気密性がない空洞部がある為，空洞部体積を除いた直方体とする。
- ・③については部材が連結した複雑な形状のため，保守的に直方体としている。
- ・⑥運転席ユニットについては，窓を開ける運用とし，気密性がないため体積には加えない。

図2 体積計算に用いた使用済燃料輸送車両の模式図

a. 評価結果

(a) 重量

車両重量 ( 31.5 t<sup>\*</sup>)

※ 実際に運用する車両の車検証の値を使用

(b) 体積

| No. | 部 材 名    | L [mm] | W [mm] | H [mm] | 個数 | 体積[m <sup>3</sup> ] | 備 考    |
|-----|----------|--------|--------|--------|----|---------------------|--------|
| ①   | ボンネット    | 1995   | 3190   | 1450   | 1  | 9.228               | 直方体とする |
| ②   | 本体フレーム   | 8400   | 3190   | 520    | 1  | 7.277               | A-B    |
| A   | (外寸)     | 8400   | 3190   | 520    | 1  | 13.934              | 直方体    |
| B   | (空洞部, a) | 1010   | 1225   | 520    | 2  | 1.287               | 空洞部    |
|     | (空洞部, b) | 910    | 1225   | 520    | 2  | 1.159               |        |
|     | (空洞部, c) | 860    | 1225   | 520    | 2  | 1.096               |        |
|     | (空洞部, d) | 860    | 630    | 520    | 2  | 0.563               |        |
|     | (空洞部, e) | 810    | 630    | 520    | 2  | 0.531               |        |
|     | (空洞部, f) | 860    | 1225   | 520    | 1  | 0.548               |        |
|     | (空洞部, g) | 810    | 1225   | 520    | 1  | 0.516               |        |
|     | (空洞部, h) | 750    | 860    | 520    | 1  | 0.335               |        |
|     | (空洞部, i) | 750    | 1595   | 520    | 1  | 0.622               |        |
| ③   | アーム      | 920    | 315    | 965    | 12 | 3.356               |        |
| ④   | ターンテーブル  | 770    | 770    | 100    | 12 | 0.559               | 円柱     |
| ⑤   | タイヤ      | 840    | 200    | 840    | 48 | 5.320               | 円柱     |
| 合 計 |          |        |        |        |    | 25.739              |        |

(c) 浮力

$25.739 \times 1.03^* = 26.6$  [t] (小数点第2位以下切り上げ)

※ : 海水の比重を  $1.03\text{t/m}^3$  とした。

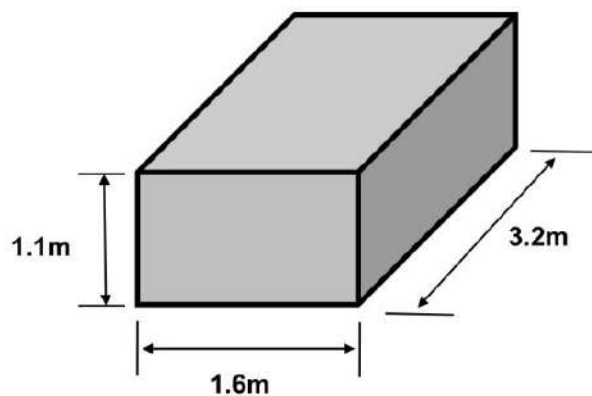
(a) 重量 > (c) 浮力より, 使用済燃料輸送車両は, 漂流物とはならない。



## 2. LLW輸送

### (1) LLW輸送容器

LLW輸送に使用するLLW-2型輸送容器を評価対象とし、図3のように寸法を設定した。表2に輸送容器重量を示す。



- ・ 上部隅金具，下部隅金具を含めた最大寸法を使用する。

図3 体積計算に用いたLLW輸送容器の模式図<sup>[2]</sup>


 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

表2 LLW輸送容器重量及び寸法<sup>[2]</sup>

|        |  |
|--------|--|
| 型式     | LLW-2型                                   |
| 主要寸法   | (長さ) 約 3.2m<br>(幅) 約 1.6m<br>(高さ) 約 1.1m |
| 輸送容器重量 | (タイプⅠ) 1,190kg 以下<br>(タイプⅡ) 1,200kg 以下   |

a. 評価結果

(a) 重量

表2 輸送容器重量より、保守的に1.1tと設定。

(b) 体積

$$3.2 \times 1.6 \times 1.1 = 5.632 [\text{m}^3]$$

(c) 浮力

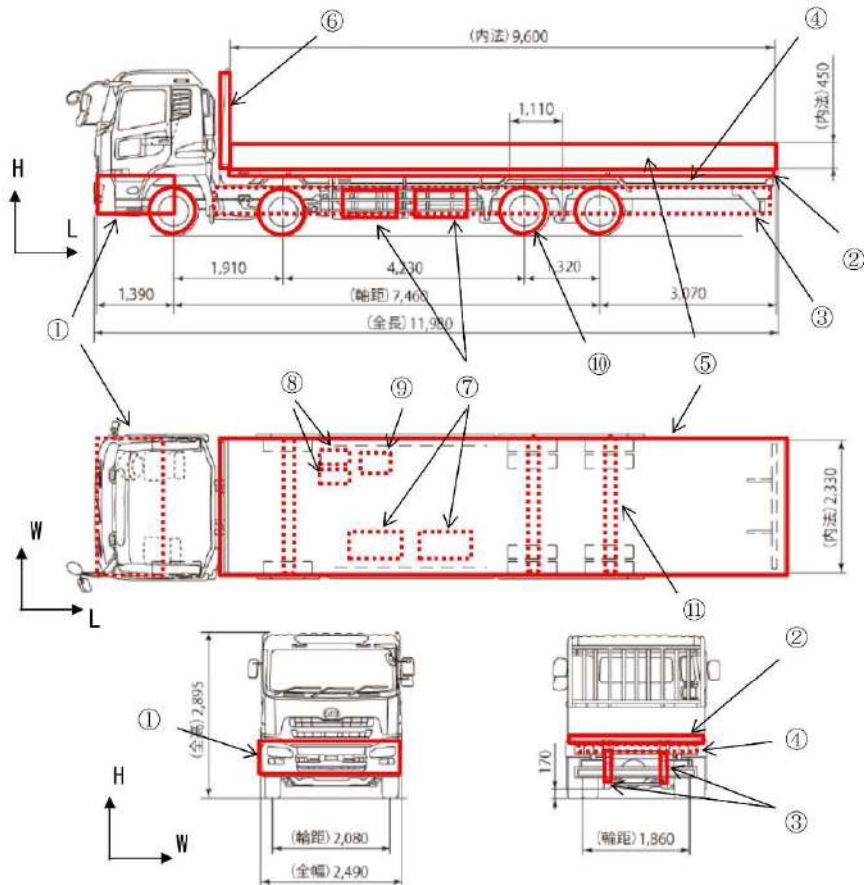
$$5.632 \times 1.03^* = 5.9 [\text{t}] \text{ (小数点第2位以下切り上げ)}$$

※：海水の比重を1.03 t/m<sup>3</sup>とした。

(a) 重量 < (c) 浮力より、LLW輸送容器については、重量よりも水没時に作用する浮力が大きい。

(2) L L W輸送車両

L L W輸送容器の輸送に使用するトラック (15t 積載) を評価対象とする。体積については、図4のようにL L W輸送車両を構成する部材の体積を求め、これらの積算により算出した。



- ①エンジン部, ②シャーシ (上部), ③シャーシ (下部), ④シャーシ (連結部), ⑤架台 (横), ⑥架台 (縦), ⑦タンク 1, ⑧タンク 2, ⑨バッテリー, ⑩タイヤ, ⑪車軸

- ・部材寸法の測定については、図面からの引用の他、実測値を使用している。
- ・キャビンについては、窓を開ける運用とし、気密性がないため体積には加えない。

図4 体積計算に用いたL L W輸送車両の模式図

a. 評価結果

(a) 重量

車両重量 (9.7t<sup>\*</sup>)

※：実際に運用する車両の車検証の値を使用

(b) 体積

| No. | 部材名        | L[mm] | W[mm] | H[mm] | 個数 | 体積[m <sup>3</sup> ] | 備考    |
|-----|------------|-------|-------|-------|----|---------------------|-------|
| ①   | エンジン部      | 1390  | 2490  | 800   | 1  | 2.769               |       |
| ②   | シャーシ (上部)  | 9800  | 2530  | 9     | 1  | 0.224               |       |
| ③   | シャーシ (下部)  | 9600  | 480   | 6     | 2  | 0.056               | 板状で模擬 |
| ④   | シャーシ (連結部) | 210   | 2490  | 8     | 29 | 0.122               | 板状で模擬 |
| ⑤   | 架台 (横)     | 10010 | 3150  | 40    | 1  | 1.262               | 板状で模擬 |
| ⑥   | 架台 (縦)     | 100   | 2490  | 1740  | 1  | 0.434               |       |
| ⑦   | タンク 1      | 1250  | 650   | 420   | 2  | 0.683               |       |
| ⑧   | タンク 2      | 650   | φ 300 | φ 300 | 2  | 0.092               |       |
| ⑨   | バッテリー部     | 600   | 500   | 300   | 1  | 0.090               |       |
| ⑩   | タイヤ        | φ 845 | 247   | φ 845 | 13 | 1.801               |       |
| ⑪   | 車軸         | φ 150 | 2490  | φ 150 | 4  | 0.176               |       |
| 合計  |            |       |       |       |    | 7.709               |       |

(c) 浮力

$7.709 \times 1.03^{**} = 8.0$  [t] (小数点第 2 位以下切り上げ)

※：海水の比重を  $1.03\text{t/m}^3$  とした。

(a) 重量 > (c) 浮力より, LLW 輸送車両は, 漂流物とはならない。

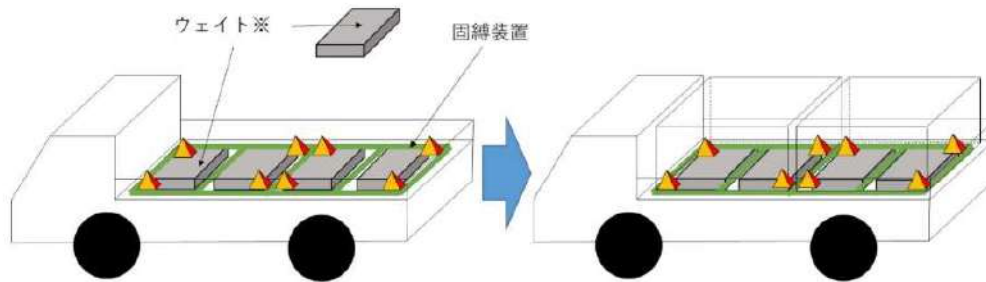
(3) LLW 輸送の今後の運用について

LLW 輸送車両は漂流物とはならないが, 最も浮力が大きくなる LLW 輸送容器の空容器を 2 個積載した場合, 車両総重量 (約 12t) に対し, 浮力 (約 20t) の方が大きい。また, 廃棄体を収納した LLW 輸送容器を LLW 輸送車両へ積載した場合においても, 車両総重量に対し浮力の方が大きくなることもある<sup>\*</sup>。

このため, 作業員のみが退避する場合は, LLW 輸送容器を LLW 輸送車両に固縛し, 浮力を上回るようウェイトを積載する対策<sup>\*\*2</sup>を実施することで, 漂流物とはしない方針とする。

なお, LLW 輸送車両への LLW 輸送容器の固縛については, LLW 輸送車

両の固縛装置により行う（図5参照）。また、固縛装置については、図6～8に示す構造となっており、固縛装置は車両固縛部等によりLLW輸送車両に固縛し、LLW輸送容器は固縛装置のツイストロックで固縛装置に固縛する。



※ウェイトの積載はイメージ

図5 LLW輸送容器等の積載・固縛方法

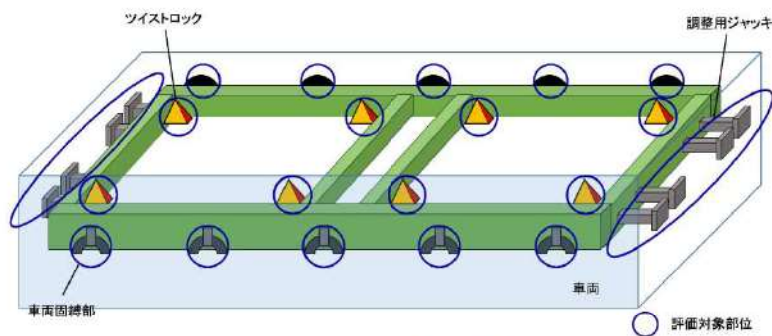


図6 固縛装置の概略

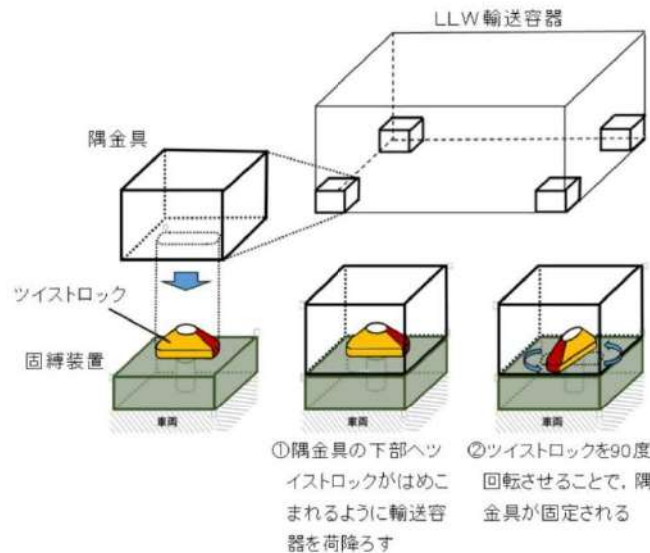


図7 固縛装置（ツイストロック）の概略図



図8 固縛装置（車両固縛部）の概略図

また、LLW輸送車両の固縛装置については、国土交通省「放射性物質の自動車運搬に係る積載方法の安全性に関する技術基準の適用指針」において、前後方向2G、左右方向1G、上下方向2Gの加速度が同時に作用する場合に発生する力に耐えうる強度を有することが要求されており、この条件に適合させ、十分な余裕を有した設計となっている。

LLW輸送容器は、「危険物船舶運送及び貯蔵規則第78条第2項」に要求のある、IP-2型輸送物として設計しており、積重ね試験や側面負荷試験等の試験条件において解析基準を満足している。蓋の固定については規定の締め付けトルクで固定ボルトが締結されていることを確認し輸送を行っている。

以上より、固縛装置については十分な強度を有していることから、浮力によって固縛機能が損なわれることはないと考えられる。なお、工事計画認可の段階において、固縛装置及びウェイト（以下「固縛装置等」という。）に作用する荷重を保守的に設定し、固縛装置等が健全であることを評価する。また、固縛装置等の耐震性評価に併せてLLW輸送車両の転倒についても評価する。

- ※1 : LLW輸送容器へ収納する廃棄体の重量を、過去に搬出した廃棄体重量（最小）より約0.3tとした場合、車両総重量（約12.3t）に対し、浮力（約20t）の方が大きい。
- ※2 : あらかじめ浮力を上回るようウェイトを積載したLLW輸送車両を使用する。

#### 参考文献

- [1] N F T - 14 P 型 核燃料輸送物設計承認書，平成23年10月，原燃輸送株式会社
- [2] LLW - 2 型輸送容器取扱説明書，2020年1月，原燃輸送株式会社

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 1号及び2号炉取水路流路縮小工について

## 1. はじめに

1号及び2号炉取水路流路縮小工（以下「流路縮小工」という。）は、1号及び2号炉の取水路を遡上する津波に対して、1号及び2号炉取水ピットスクリーン室上端開口部から敷地への津波の到達、流入を防止するために必要な設備であり、3号炉新規制基準適合性審査の中で津波防護施設として整理している。流路縮小工の設置位置を図1に示す。

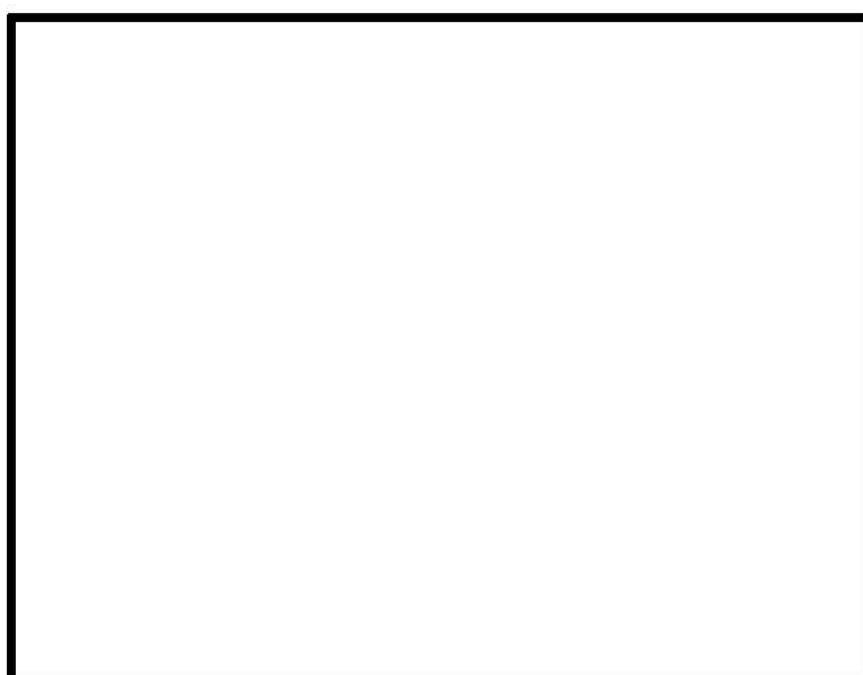



図1 1号及び2号炉取水路流路縮小工の設置位置

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

## 2. 流路縮小工の設置目的と構造概要

## (1) 流路縮小工の設置目的

流路縮小工は、1号及び2号炉の取水路から遡上する津波に対して、取水路内の流路を縮小することで流路抵抗を上昇させ、津波が1号及び2号炉取水ピットスクリーン室上端開口部から敷地への到達、流入するのを防止するために設置する。

## (2) 流路縮小工に対する要求事項

## a. 流路縮小工に求められる機能

流路縮小工は、通常時及び外部電源喪失時において以下の機能が要求される。

(a) 津波時における敷地への津波の到達，流入防止

基準津波による取水路からの津波の遡上に対して，取水ピットスクリーン室の水位上昇が敷地高さを上回らないこと（構造成立性\*を含む）。

※流路縮小工の構造成立性についての検討結果は参考4参照。

(b) プラント停止状態における1号及び2号炉の取水機能

流路縮小工を設置しても，1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態における，通常時及び外部電源喪失時の1号及び2号炉の取水機能に影響がないこと（原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能維持）。

b. 流路縮小工の許認可上の位置付けについて

(a) 流路縮小工の設備分類について

流路縮小工は，津波が取水ピットスクリーン室上端開口部から敷地への到達，流入するのを防止するための設備である。本設備は，土木構築物である防潮堤直下の取水路に設置し，取水路（3.5m×3.75m）の規模を踏まえて，津波防護施設として扱う。

(b) 流路縮小工の耐震重要度及び安全重要度

○耐震重要度：耐震Sクラス

津波防護施設であることから，耐震Sクラスに該当する。

○安全重要度

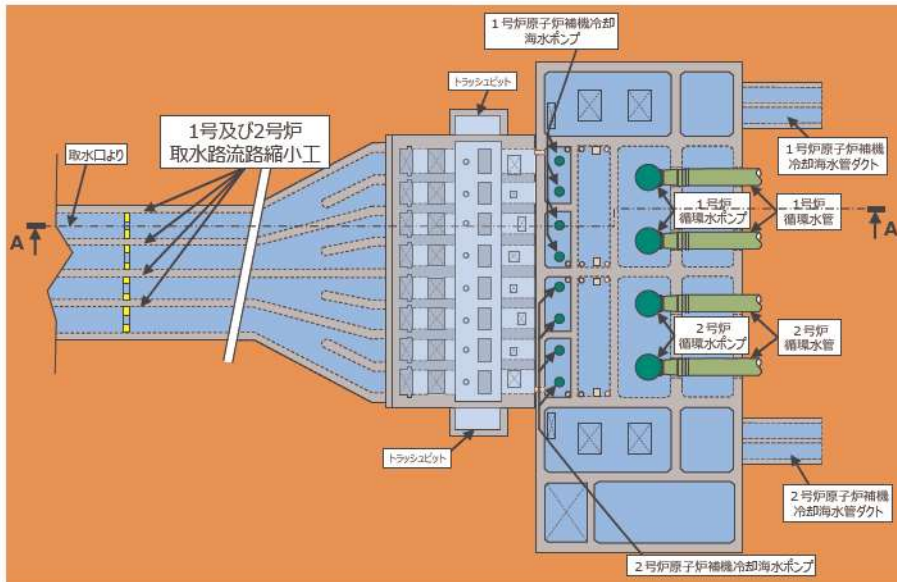
- ・流路縮小工は，津波が敷地へ到達，流入することを防止し，重要な安全機能を有する設備を防護するために必要な設備であるため，津波防護施設として信頼性を確保した設計とする。
- ・他社先行審査実績でクラス1として設定している外部入力により動作する機構（駆動部）は設けない設計とする。
- ・津波防護施設の安全重要度に関する他社先行審査実績は，参考1参照。

(3) 流路縮小工の構造概要（図2参照）

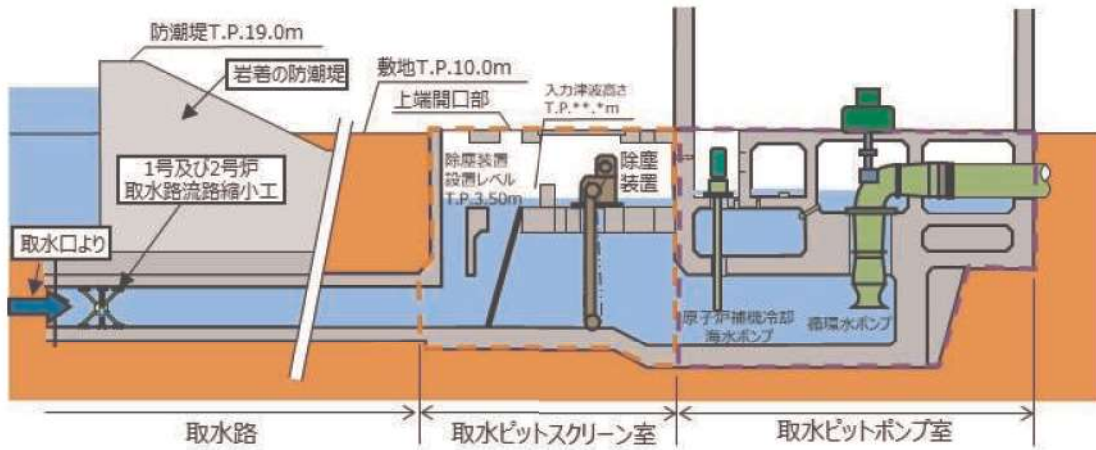
流路縮小工は，主梁，スキンプレート，スリーブ及びアンカーボルトから構成する鋼製の構造物とし，岩着の防潮堤直下にある取水路内に設置する。流路縮小工の設置は，取水路の底面及び天井面をアンカーボルトで固定する。

流路縮小工には，1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプに必要な海水を取水するため，開口部（φ0.743m×4条）を設ける。

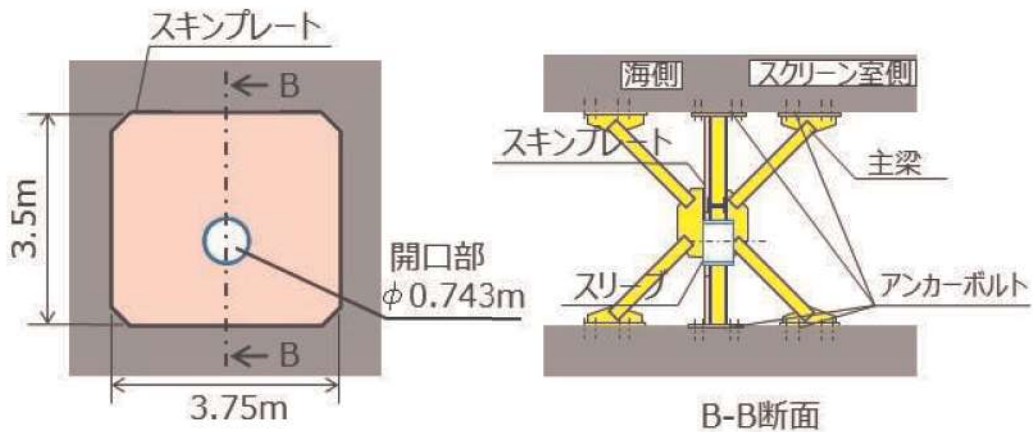




【1号及び2号炉取水系平面図】



【1号及び2号炉取水系断面図 (A-A 断面)】



【流路縮小工拡大イメージ図】

図2 1号及び2号炉取水路流路縮小工の構造例  
(水位は津波時のイメージ)

#### (4) 流路縮小工の開口径について

流路縮小工は、1号及び2号炉取水路から敷地への津波の到達、流入を防止することに加え、通常時の1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能に影響を与えないことが求められる。

津波の流入防止の観点からは、流路縮小工の開口径を小さく設定した方が、流路抵抗の増大により津波の水位上昇が抑制されるため効果的である。一方で、開口径の縮小は、水路の損失水頭を増加させることとなり、取水ピット水位の低下に伴い原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能に影響を与える可能性がある。よって、津波の流入を防止する設計確認値（上限値）及び原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能を確保するための設計確認値（下限値）を検討する。

設計確認値（上限値）について、取水路における流路縮小工の最大開口径は、取水ピットスクリーン室の水位が敷地（T.P. 10.0m）に到達しないよう設定する。

#### 追而

（設計確認値（上限値）について、基準津波が確定後、  
管路解析の結果を踏まえて記載する）

設計確認値（下限値）について、取水路における流路縮小工の最小開口径は、取水ピットポンプ室水位が原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能最低水位（T.P. -4.17m）を下回らないよう設定する。検討の結果、最小開口径はφ0.430mであり、その場合の取水ピットポンプ室水位はT.P. -3.73mであり、取水可能最低水位を上回ることを確認している。

流路縮小工の開口径は設計確認値の上限値及び下限値に対して十分な裕度を持った値とする。

#### (5) 津波時の砂による影響について

砂の堆積により、流路縮小工の開口部が狭くなることが想定されるが、取水ピットスクリーン室水位が低下する影響であることから敷地への到達、流入を防止する機能に悪影響を与えない。

#### (6) 津波時の漂流物の影響について

漂流物の到達により、流路縮小工の開口部が狭くなることが想定されるが、取水ピットスクリーン室水位が低下する影響であることから敷地への到達、流入を防止する機能に悪影響を与えない。

### 3. 流路縮小工設置による1号及び2号炉への影響について

#### (1) 既設設備が有する機能と役割について

流路縮小工設置による既設設備への影響を評価するに当たり、1号及び2号炉の取水路に関係する既設設備の本来有する機能と役割を、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態、並びに循環水ポンプの停止を前提として整理した。

#### a. 取水路

##### (a) 機能と役割

取水路は、取水口で取込んだ海水を取水ピットスクリーン室及び取水ピットポンプ室まで導くための水路であり、1号及び2号炉それぞれ2条ずつ（計4条）設置している。取水路は、各号炉40m<sup>3</sup>/s（復水器冷却水として約38m<sup>3</sup>/s、原子炉補機冷却海水として約2m<sup>3</sup>/s）、1条あたり20m<sup>3</sup>/s（復水器冷却水として約19m<sup>3</sup>/s、原子炉補機冷却海水として約1m<sup>3</sup>/s）が通水可能な設計としている。

##### (b) 取水路の耐震重要度及び安全重要度

###### ○耐震重要度：耐震Sクラスの間接支持構造物

3号炉新規制基準適合性審査において、1号及び2号炉取水路の防潮堤直下については、耐震Sクラスである防潮堤及び流路縮小工の間接支持構造物として設計する。

なお、1号及び2号炉建設時においては、1号及び2号炉取水路は、耐震Cクラスに該当するが、安全上必須な機器である原子炉補機冷却海水ポンプの取水性確保のため、基準地震動に対する耐震性を確保している。

###### ○安全重要度

1号及び2号炉のプラント状態としては、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態、並びに循環水ポンプの停止を前提としており、一時的に流路縮小工を設置した状態において、安全重要度は設定しないが、プラント通常運転状態における安全重要度は以下のとおり。

###### 【プラント通常運転状態の安全重要度：MS-1】

取水路は、重要度分類審査指針において、「安全上必須なその他の構築物、系統及び機器」のうち、当該系の原子炉補機冷却海水系の直接関連系としてMS-1に該当する。

## b. 原子炉補機冷却海水ポンプ

### (a) 機能と役割

原子炉補機冷却海水ポンプは、通常時及び外部電源喪失時において、安全上重要な機器である原子炉補機冷却水冷却器、ディーゼル発電機及び空調用冷凍機に海水を供給し、最終的な熱の逃がし場である海へ熱を輸送するための取水機能を有する。原子炉補機冷却海水ポンプにより取水ピットから取水され各冷却器を通して熱交換された海水は、原子炉補機冷却海水放水路を通して放水ピットへ放水される。

1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態、並びに循環水ポンプの停止を前提とした場合においても、使用済燃料ピットの冷却、空調用冷凍機の冷却機能の維持が必要であり、外部電源喪失時にはこれらに加えてディーゼル発電機の冷却が必要となる。これらの補機類の冷却のために、原子炉補機冷却海水ポンプの運転維持が求められる。表1にプラント停止状態において必要となる原子炉補機冷却海水ポンプの台数及び流量を示す。

原子炉補機冷却海水ポンプは号炉ごとに4台が設置されており、通常時は各取水路で1台の合計2台運転とし、約 $1.0\text{m}^3/\text{s}$  ( $1,900\text{m}^3/\text{h}\div 0.5\text{m}^3/\text{s}\times 2$ 台)が定格流量である。

プラント停止状態の原子炉補機冷却海水ポンプ運転台数と放水路の流量について、下記及び表2にまとめる。

#### ① 通常時

取水路の両トレンで海水を通水している場合、各取水路で原子炉補機冷却海水ポンプ1台分の流量の海水 ( $0.5\text{m}^3/\text{s}$ ) が取水ピットより取水される。

取水路の片トレンが定期点検のために隔離されており、もう片方のトレンで海水を通水している場合、片方のトレンで原子炉補機冷却海水ポンプ2台分の流量の海水 ( $1.0\text{m}^3/\text{s}=0.5\text{m}^3/\text{s}\times 2$ 台) が取水ピットより取水される。

#### ② 外部電源喪失時

取水路の両トレンで海水を通水している際に外部電源喪失が発生した場合、ブラックアウトシーケンスが作動し、原子炉補機冷却海水ポンプ全台 (4台) が運転するため、各トレン $1.0\text{m}^3/\text{s}$  ( $0.5\text{m}^3/\text{s}\times 2$ 台)の海水が取水ピットより取水される。なお、外部電源喪失によりブラックアウトシーケンスが作動した場合、一時的に原子炉補機冷却海水ポンプは4台運転となるが、ブラックアウト信号のリセット後は2台運転とする手順を定めている。

取水路の片トレンが定期点検により隔離されており、もう片方のトレンで海水を取水している際に外部電源喪失が発生した場合、ブラックアウトシーケンスが作動するが、原子炉補機冷却海水ポンプの運転台数は最大2台から変更なく、片トレンで1.0m<sup>3</sup>/s (0.5m<sup>3</sup>/s×2台)の海水が取水ピットより取水される。

表1 プラント停止状態<sup>※1</sup>で必要となる取水流量 (1号炉<sup>※2</sup>の例)

| ポンプ名称            | ポンプ台数 | 流量   | 用途  |
|------------------|-------|--|---|
| 原子炉補機冷却<br>海水ポンプ | 2台    | 1,900 m <sup>3</sup> /(h・台)<br>(≒0.5m <sup>3</sup> /(s・台)) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 使用済燃料ピットの冷却</li> <li>・ 空調用冷凍機の冷却</li> <li>・ 外部電源喪失時のディーゼル発電機の冷却</li> </ul> |

※1 循環水ポンプ停止を前提

※2 2号炉も同じ

表2 プラント停止状態<sup>※1</sup>の原子炉補機冷却海水ポンプ運転台数取水路流量

| プラント<br>状態  | 取水路の<br>状態                | 項目          | 1号炉                   |                       | 2号炉                   |                       | 平面図 |
|-------------|---------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----|
|             |                           |             | 1A                    | 1B                    | 2A                    | 2B                    |     |
| 通常時         | 両トレン<br>通水時               | ポンプ<br>運転台数 | 1台                    | 1台                    | 1台                    | 1台                    | 図3  |
|             |                           | 流量          | 0.5 m <sup>3</sup> /s | 0.5 m <sup>3</sup> /s | 0.5 m <sup>3</sup> /s | 0.5 m <sup>3</sup> /s |     |
|             | 片トレン<br>通水時 <sup>※3</sup> | ポンプ<br>運転台数 | 2台                    | 0台                    | 1台                    | 1台                    | 図4  |
|             |                           | 流量          | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 0 m <sup>3</sup> /s   | 0.5 m <sup>3</sup> /s | 0.5 m <sup>3</sup> /s |     |
| 外部電源<br>喪失時 | 両トレン<br>通水時               | ポンプ<br>運転台数 | 2台 <sup>※2</sup>      | 2台 <sup>※2</sup>      | 2台 <sup>※2</sup>      | 2台 <sup>※2</sup>      | 図5  |
|             |                           | 流量          | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 1.0 m <sup>3</sup> /s |     |
|             | 片トレン<br>通水時 <sup>※3</sup> | ポンプ<br>運転台数 | 2台                    | 0台                    | 2台 <sup>※2</sup>      | 2台 <sup>※2</sup>      | 図6  |
|             |                           | 流量          | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 0 m <sup>3</sup> /s   | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 1.0 m <sup>3</sup> /s |     |

※1 循環水ポンプ停止を前提

※2 外部電源喪失により、ブラックアウトシーケンスが作動した時の台数と流量であり、ブラックアウト信号のリセット後は各1台運転とする。

※3 取水路の点検として、1号炉のBトレンを排水した状態を記載。1号炉のAトレンを排水した場合は、1号炉のAトレン流量が0m<sup>3</sup>/s、1号炉のBトレン流量が1m<sup>3</sup>/sとなる。(2号炉の場合も同様)

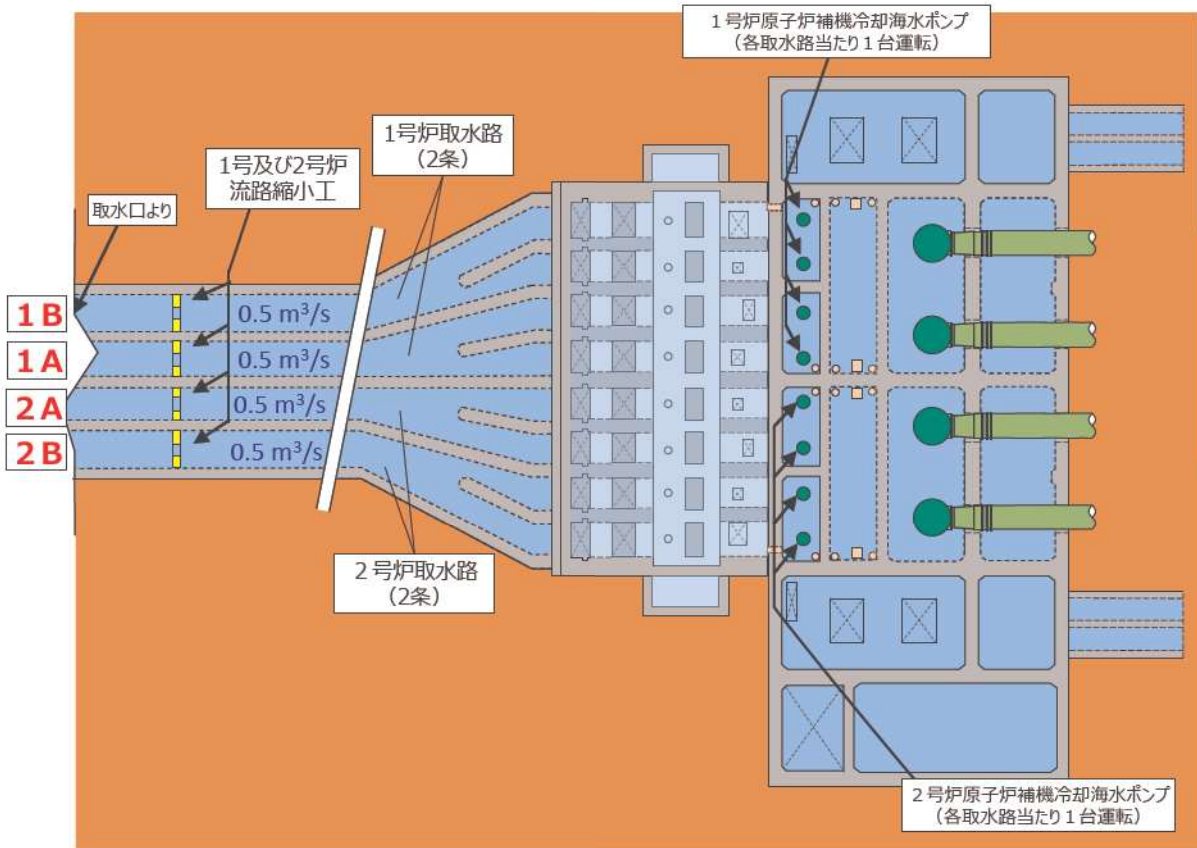


図3 取水路の流量を示す平面図  
(プラント状態：通常時，取水路の状態：両トレン通水時)

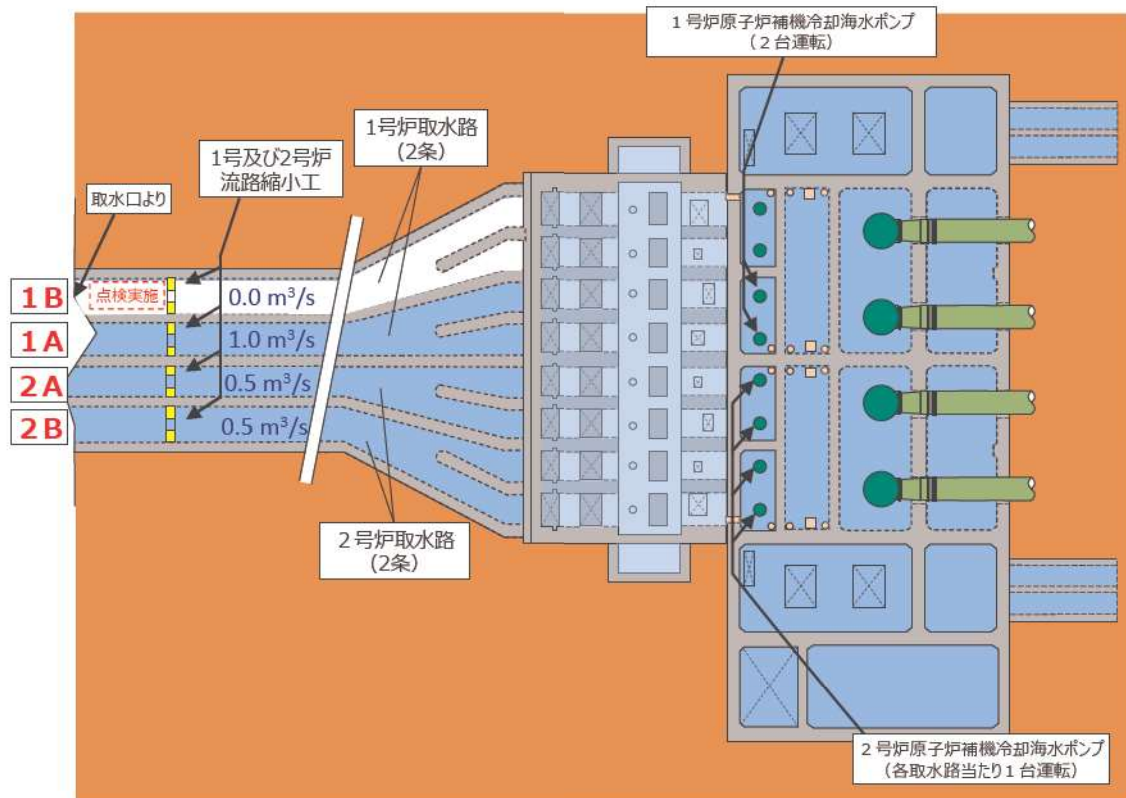


図4 取水路の流量を示す平面図  
(プラント状態：通常時，取水路の状態：片トレン通水時)

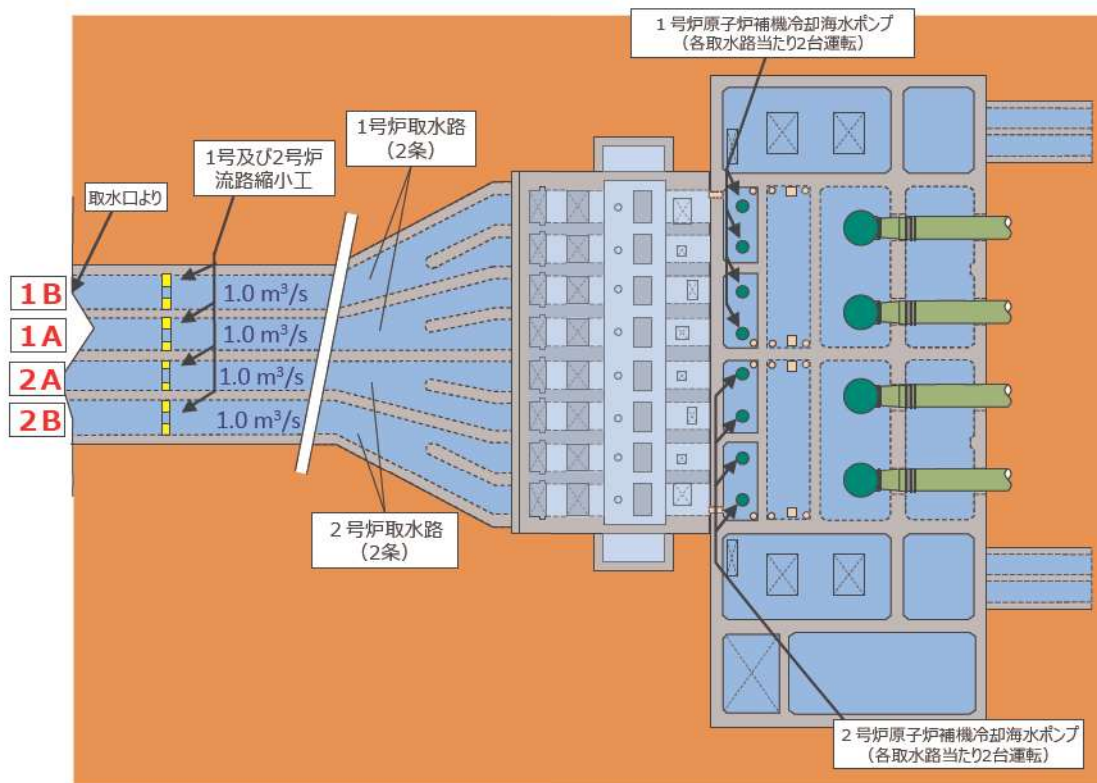


図5 取水路の流量を示す平面図

(プラント状態：外部電源喪失時，取水路の状態：両トレン通水時)

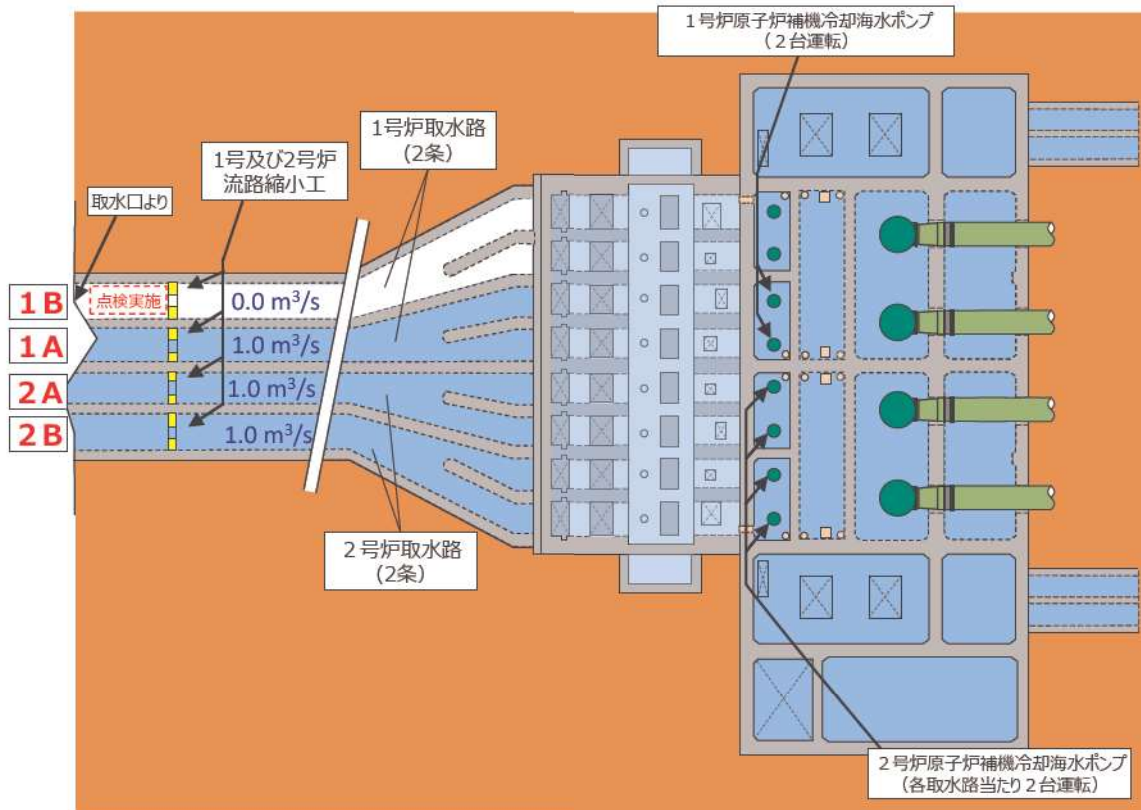


図6 取水路の流量を示す平面図

(プラント状態：外部電源喪失時，取水路の状態：片トレン通水時)

(b) 原子炉補機冷却海水ポンプの耐震重要度及び安全重要度

○耐震重要度：耐震Sクラス

3号炉新規制基準適合性審査において、1号及び2号炉の設備である1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプに耐震要求はないが、1号及び2号炉建設時においては、1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプは、原子炉停止後、炉心からの崩壊熱を除去するための設備のため、耐震Sクラスに該当する。

○安全重要度

1号及び2号炉のプラント状態としては、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態、並びに循環水ポンプの停止を前提としており、一時的に流路縮小工を設置した状態において、安全重要度は設定しないが、プラント通常運転状態における安全重要度は以下のとおり。

【プラント通常運転状態の安全重要度：MS-1】

原子炉補機冷却海水ポンプは、重要度分類審査指針において、「安全上必須なその他の構築物、系統及び機器」のうち、当該系としてMS-1に該当する。

(2) 流路縮小工設置により既設設備が有する機能に与える影響

(1)に記載した既設設備が有する機能と役割を踏まえ、流路縮小工設置により1号及び2号炉の取水機能に与える影響を以下のとおり整理した。

a. 原子炉補機冷却海水ポンプの通常時の取水性評価

通常時及び外部電源喪失時において、取水路への流路縮小工設置により、抵抗（損失）が増加することから、通常時の1号及び2号炉の取水機能に与える影響について評価した。評価においては、表2で示した原子炉補機冷却海水ポンプの運転台数のケーススタディから、最大流量である $1.0\text{m}^3/\text{s}$ を評価条件として設定した。

1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態における取水ピットポンプ室水位が約 $0.4\text{m}$ 低下\*するものの、原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能最低水位に対して十分余裕があることから、海水系ポンプの取水機能への影響はない（表3，図7参照）。

※流路縮小工設置による圧力損失を理論式にて算出し、取水ピットポンプ室水位の低下量を算出した結果は参考2参照。



表3 流路縮小工設置による1号及び2号炉の取水機能への影響

| 流路縮小工 | 流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 水路断面積<br>(m <sup>2</sup> ) | 流速<br>(m/s)          | 取水口水位<br>(m)             | 取水ピットポン<br>プ室水位 <sup>※5</sup> (m) | ポンプ取水可能<br>最低水位(m) |
|-------|---------------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 設置前   | 1.0 <sup>※1</sup>         | 12.945                     | 0.08 <sup>※2</sup>   | T.P. -0.14 <sup>※4</sup> | T.P. -0.15                        | T.P. -4.17         |
| 設置後   |                           | 0.433<br>(φ0.743m×1条)      | 2.31 <sup>※2,3</sup> |                          | T.P. -0.53                        |                    |

- ※1 原子炉補機冷却海水ポンプ (1,900 m<sup>3</sup>/h≒0.5 m<sup>3</sup>/s) は、取水路1条あたり2台が設置されているため、2台運転時の取水路1条あたりの流量は0.5 m<sup>3</sup>/s×2台=1.0m<sup>3</sup>/sとなる。
- ※2 「建設省河川砂防基準(案)同解説 設計編[I]」で定める一般的な設計流速(常時2~5m/s程度)であることから、通水性に問題はない。
- ※3 流路縮小工開口部の流速
- ※4 朔望平均干潮位
- ※5 取水路の流路縮小工における局所損失(急拡, 急縮)及び摩擦損失を考慮(「参考3」図2参照)

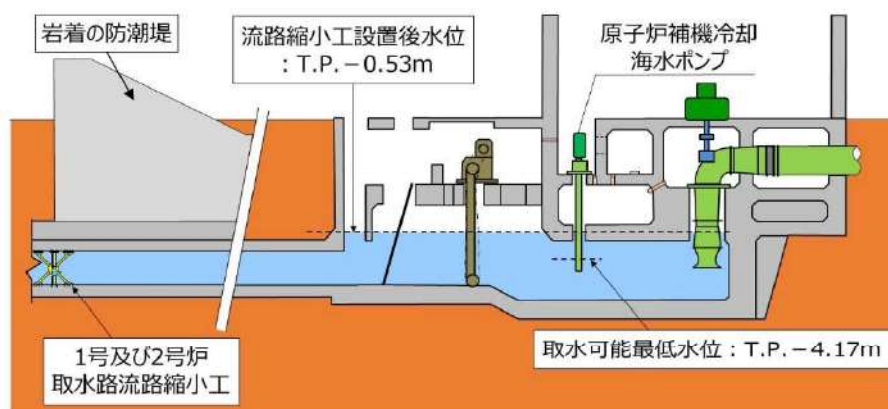


図7 1号及び2号炉取水系断面(ポンプ取水可能最低水位)

b. 引き波時の水位低下による影響について

引き波時の水位低下に対して、流路縮小工設置後の原子炉補機冷却海水ポンプの運転及び施設運用への影響について検討した。

流路縮小工の開口部下端は、T.P. -6.00mに位置しており、原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能最低水位(T.P. -4.17m)よりも低い位置に設置され海水を通水することから、流路縮小工に貯留機能はない。

そのため、引き波時の水位低下に対して、原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能水位以下まで潮位が下がる可能性があるが、1号及び2号炉の使用済燃料ピットの水温が保安規定上の制限値に到達するまでの期間は、放熱等による影響を無視した断熱状態での保守的な評価条件においても、1号炉で約5日、2号炉で約4日(2023年3月1日時点の評価結果)と十分な余裕があり、保安規定第17条の2(電源機能等喪失時の体制の整備)に基づく代替手段(送水ポンプ車等)により1号及び2号炉の使用済燃料ピットを冷却可能である。

以上のことから、引き波時に原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能水位以下まで潮位が下がる可能性があるものの、施設運用上許容される範囲内であり、津波による水位の低下に対してプラントの安全性は確保される。

なお、図8に示すとおり、取水口前面には海水を貯水する自主対策として貯留堰（天端高さ T.P. -3.0m）※を設置している。

※1号及び2号炉の新規制基準適合性審査において基準適合性をご説明する。

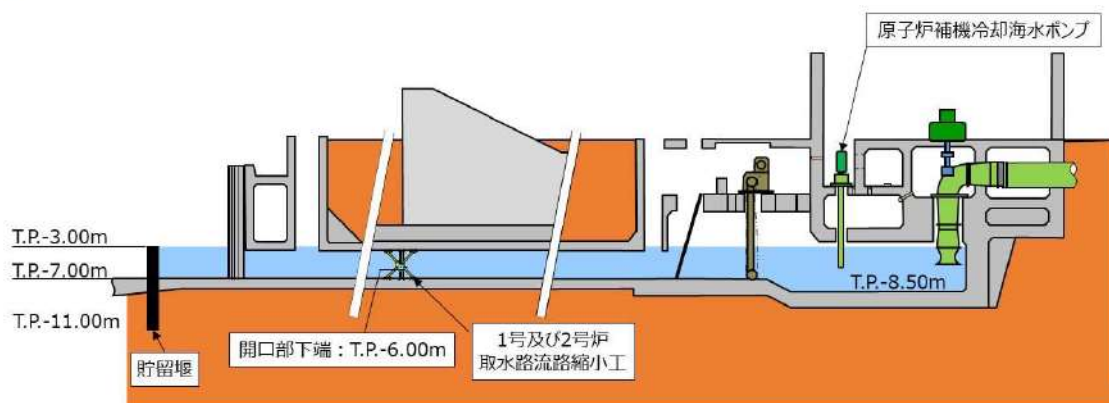


図8 1号及び2号炉取水路断面図

c. 海水中に含まれる砂による通常時の取水性への影響

流路縮小工を追加することで、取水路内に流入する砂の量に違いはない。流路縮小工を設置することで流路抵抗が増加し、流速が減少することから、取水ピットポンプ室に達する砂の量は減少する。したがって、流路縮小工追加により取水ピットポンプ室底面に堆積する砂の量は減少することから、原子炉補機冷却海水ポンプの取水性に悪影響は与えない。

なお、津波による浮遊砂に対する原子炉補機冷却海水ポンプ運転への影響について、原子炉補機冷却海水ポンプ軸受には異物逃がし溝があり、浮遊砂の影響を考慮した設計上の配慮がなされているため、運転に影響がないことを確認している。

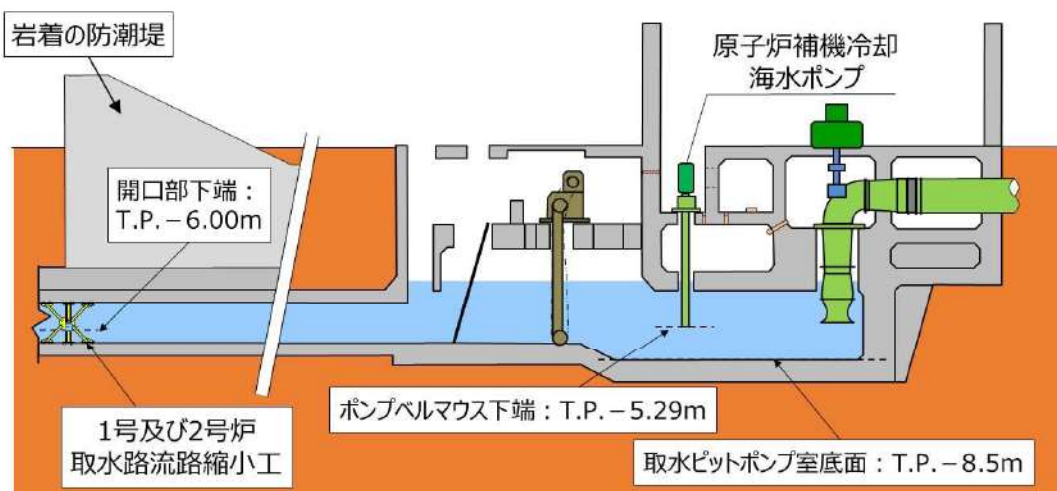


図9 1号及び2号炉取水系 断面（ポンプベルマウス下端）

d. 漂流物による通常時の取水性への影響


通常時に漂流物が1号及び2号炉取水口に到達して、1号及び2号炉の取水口及び取水路の流路縮小工を閉塞させる可能性と、取水性への影響について評価した。

海水面のレベル T.P. -0.14m（朔望平均干潮位）と取水口の上端レベル T.P. -3.5m の関係から、水面に浮遊する漂流物が取水口に入ることはなく、流木等の小さな漂流物が流路縮小工に与える影響はない。なお、プラントの点検実績より、通常時に港湾内の取水口前面に大量の漂流物が浮遊していることはないことを確認している。

また、仮に水中を漂う漂流物が取水口に入った場合も、パイプスクリーンのピッチ幅よりも小さい漂流物（短辺がスクリーン幅よりも小さい長尺形状の漂流物も含む）であり、流路縮小工の開口部は $\phi 0.743\text{m}$ であることから、パイプスクリーンを通過した小さい漂流物が取水路の流路縮小工を閉塞する可能性は低い。流路縮小工を通過した小さな漂流物は、原子炉補機冷却海水ポンプの前面にある除塵装置のバースクリーンで捕捉されるため、取水機能に影響を与えることはない。



図10 1号及び2号炉取水口と3号炉取水口の位置関係

 枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

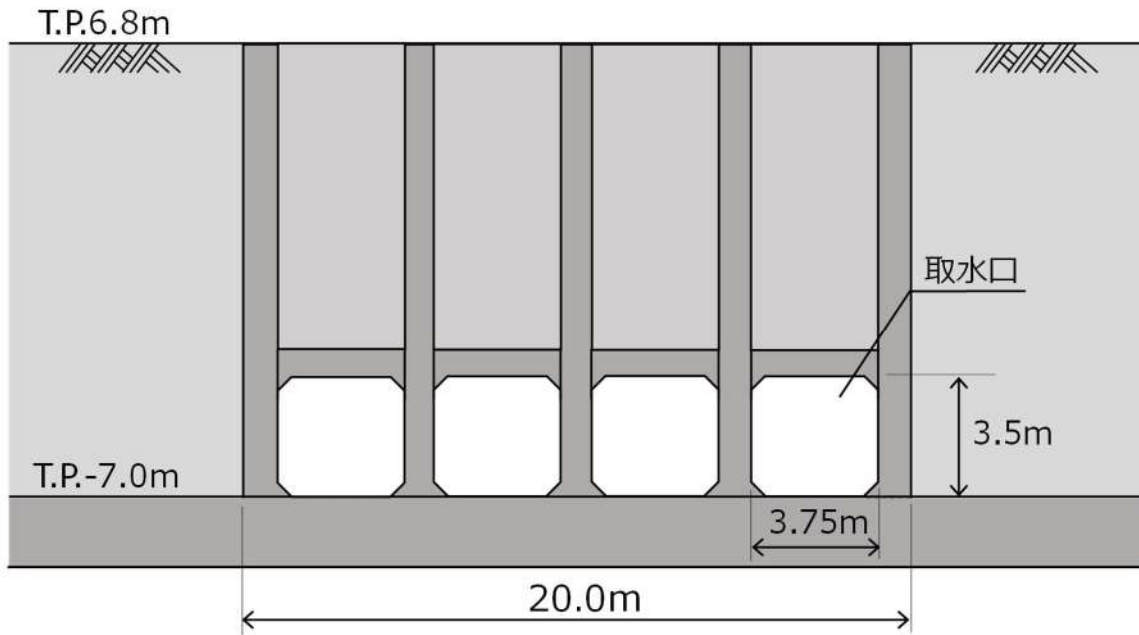


図 11 1号及び2号炉取水口概要図

1号及び2号炉取水口には、呑み口（3.5m×3.75m）の前面にパイプスクリーン（鋼製、ピッチ幅：約0.525m、高さ方向の鋼材間隔：1段目約3.7m、2段目・3段目約3.2m）が設置されている（写真1）。

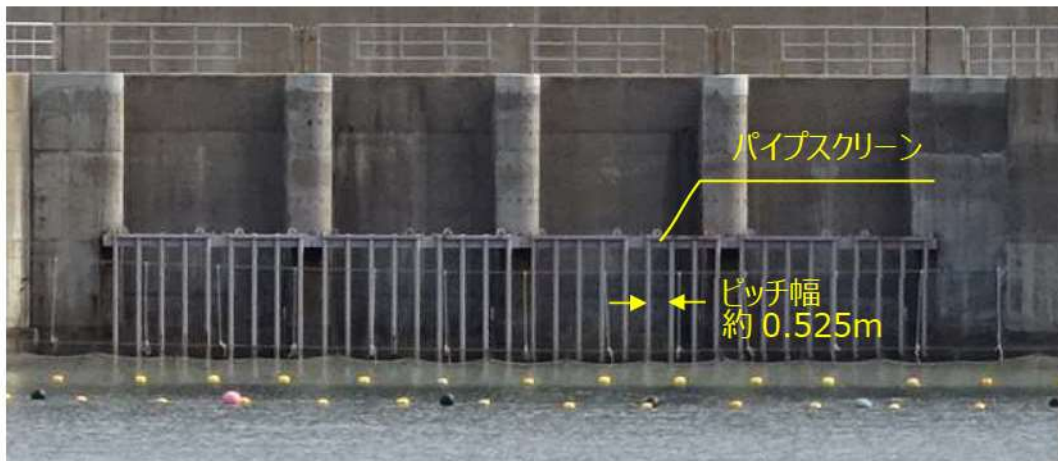


写真1 1号及び2号炉取水口パイプスクリーン

e. 海生生物の付着による通常時の取水性への影響

1号及び2号炉の取水路について、至近の定期点検時における調査結果では、貝等の付着代は平均約3cmとなっている（表4参照）。

1号及び2号炉の取水路に設置する流路縮小工の開口部はφ0.743mであり、水路の断面縮小に伴い流路縮小工の開口部での流速が増大することにより、流路縮小工設置前より海生生物が付着しにくくなる（参考5参照）。仮に設置前と同等程度付着を想定したとしても、開口部の開口径は貝付着代（10cm<sup>\*</sup>）に比べて十分大きいことから、貝付着による閉塞の可能性はなく、貝の付着代を考慮しても流路縮小工の最小開口径（設計下限値）であるφ0.430mを上回ることから、取水性は確保できる。

なお、流路縮小工設置後においても定期的な点検と清掃を行う。

以上より、海生生物の付着による流路縮小工の閉塞の可能性はなく、取水性を確保できる。

※：既往文献（電力土木技術協会(1995)：火力・原子力発電所土木構造物の設計-増補改訂版-)に基づき設定

表4 貝付着実績（流路縮小工設置前）

| 点検時期           | 貝付着厚さ（平均） |
|----------------|-----------|
| 2018.1～3（2号炉）  | 約3cm      |
| 2019.3～6（1号炉）  |           |
| 2019.9～12（2号炉） |           |
| 2021.1～4（1号炉）  |           |
| 2021.9～12（2号炉） |           |
| 2023.1～3（1号炉）  |           |

f. 通常時に流路縮小工が閉塞した場合の検知性について

d. 項に記載の通り、通常時に貝等の海生生物の付着により流路縮小工の開口部が閉塞する可能性はないと評価しているものの、仮に閉塞を仮定した場合の検知性について検討する。

流路縮小工が閉塞した場合、取水ピットスクリーン室の水位が低下傾向を示すため、中央制御室においてその兆候が確認できる。また、水位の低下が継続した場合には、「CWPピット水位低」の警報が中央制御室において発報することにより検知可能であり、警報確認後、閉塞事象への対応を行う。対応手順は、保安規定に紐づく品質マネジメントシステム文書（以下「QMS文書」という。）に定める。なお、取水ピットスクリーン室水位計は図12に示す位置に

設置されており，水位の監視は可能な状態にある。一方で，警報監視機能についてはプラント長期停止中のため隔離しており，3号炉再稼働時には活かす運用に変更する。

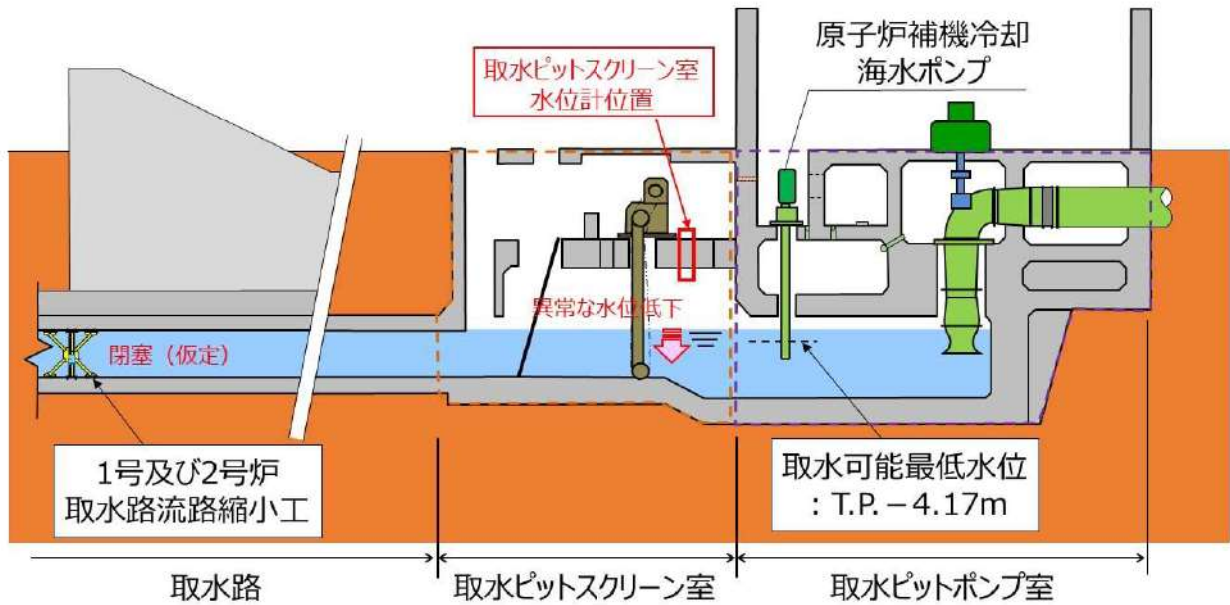


図 12 流路縮小工の異常の検知位置

#### 4. 流路縮小工及び取水路の施設管理について

流路縮小工については、3号炉の津波防護施設としての機能並びに1号及び2号炉の取水機能を維持していくため、保安規定に紐づく社内規定類で定める保全計画に基づき、適切に管理していく。

具体的には、3号炉の津波防護施設として点検計画に基づき、3号炉の保全サイクルに従って1号及び2号炉の取水路について、定期的に抜水\*による点検、清掃等を実施することにより、流路縮小工の変状の有無を確認し、変状が確認された場合には、詳細な調査を行うこととする。

また、流路縮小工設置による取水路の施設管理に与える影響も踏まえ、流路縮小工設置後の取水路及び流路縮小工の施設管理方針を以下に示す。

※ 1号及び2号炉の取水路はそれぞれ2条ずつ（計4条）設置しており、取水口に角落としを挿入し、1条ずつ抜水することで1号及び2号炉ともに取水機能は維持しつつ、取水路の点検、清掃が可能である。

##### (1) 流路縮小工設置前の取水路の施設管理

###### a. 取水路

内容：外観目視点検として、周辺地盤の確認及び取水路内抜水後に取水路内のコンクリートの状態確認を行い、取水路内に付着した海生生物の除去を行う。

取水路はコンクリート構造物であり、劣化モードは、中性化及び塩害等が考えられ、劣化事象としては、コンクリート表面のひび割れ、剥離等が考えられることから、コンクリート表面の状態を外観目視点検により確認している。

周辺地盤の確認としては、取水路の地上ルート上の沈下、陥没、隆起の確認を行っている。

##### (2) 流路縮小工設置後の取水路及び流路縮小工の施設管理方針

###### a. 取水路

内容：流路縮小工設置箇所の前には、取水路内へのアクセスが可能な開口が確保されており、流路縮小工設置後においても取水路全体の外観目視点検は可能であり、点検内容は取水路流路縮小工設置前と同様とする。（図13参照）

###### b. 流路縮小工

内容：取水路内抜水後に取水路内の外観目視点検として、主梁、スキンプレート、スリーブ及びアンカーボルトの状態を確認し、流路縮小工に付着した海生生物の除去を行う。

流路縮小工は鋼製の構造物であり、劣化事象は、塗膜の剥離で海水と接触した場合の腐食、海生生物等を含んだ流水による開口部表面のすりへり等が考えられることから、外観目視点検により状態を確認する。



### (3) 地震発生後の流路縮小工の施設管理方針

流路縮小工は津波防護施設として耐震Sクラスで設計するため地震により損傷することは考え難いが、地震発生後については、社内規定に基づき巡視点検等を実施し、プラント運転に支障がないことを確認する手順としている。

流路縮小工は、巡視点検として取水路の地上ルート上の周辺地盤の確認や取水ピットスクリーン室の水位に異常がないことを確認することとし、異常が確認された場合は、必要に応じて取水路内を抜水した上で流路縮小工の健全性を確認する方針とする。

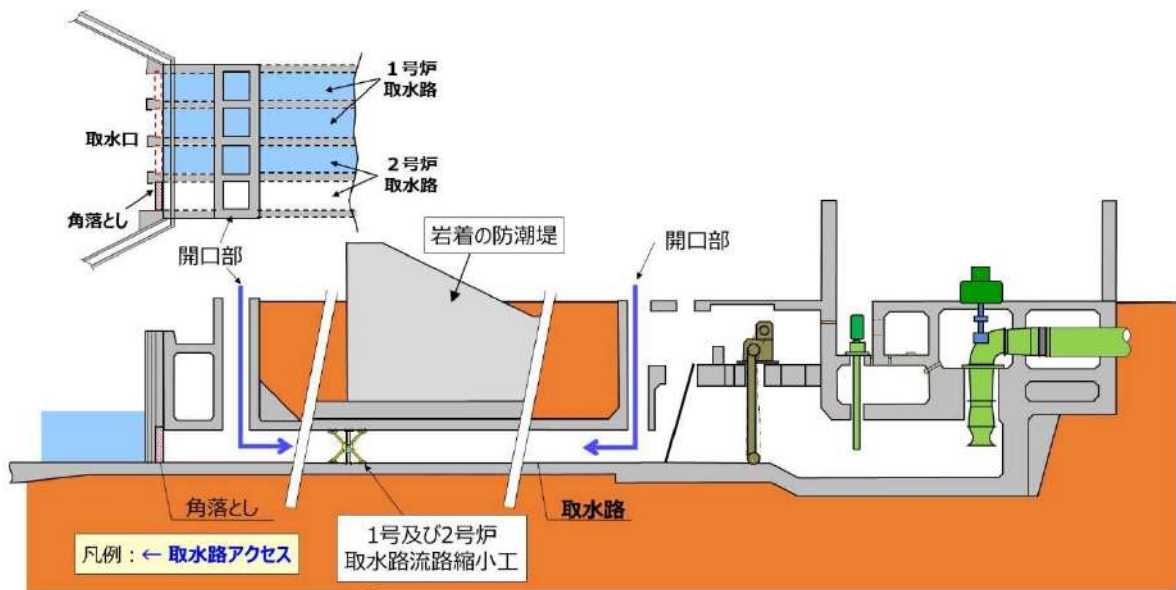


図 13 流路縮小工設置後の施設管理

## 5. 流路縮小工に関する許認可上の扱いについて

流路縮小工は、3号炉新規制基準適合性審査の中で津波防護施設の位置付けであるが、1号及び2号炉の取水路に設置するため、許認可への影響の確認として、設置変更許可申請（補正）、設計及び工事の計画の認可申請の要否を確認した上で、流路縮小工の設置が1号及び2号炉の取水機能に与える影響に対するそれぞれの申請書への記載方針を整理した。

また、原子炉施設保安規定への影響についても整理した。整理に当たっては、女川2号炉において、2号炉の津波防護対策として1号炉の取水路及び放水路に取放水路流路縮小工を設置し、取水機能及び放水機能へ影響を与えるため、1号炉への悪影響の整理として、許認可上の取扱いの整理を行っており、その結果を踏まえ実施した（参考7参照）。

### （1）設置変更許可

#### a. 設置変更許可申請（補正）の要否

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「法」という。）」第四十三条の三の五（設置の許可）及び「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（以下「規則」という。）」第三条（発電用原子炉の設置の許可の申請）の規定より、流路縮小工は3号炉の津波防護施設であることから、本文記載事項を変更する工事に該当（耐津波構造）し、設置変更許可申請（補正）が必要となる。

流路縮小工は1号及び2号炉の取水路に設置するため、1号及び2号炉の取水機能に影響があることから、設置変更許可申請書本文に「1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないことを前提とする」と記載した上で、添付書類八には「1号及び2号炉の循環水ポンプの停止を前提とする」と記載し、設置変更許可申請を行う。なお、1号及び2号炉のプラント状態は、3号炉における重大事故等及び大規模損壊に係る対応の観点から、1号及び2号炉の複数号炉同時被災を想定した場合においても3号炉への対応に影響を与えないよう、1号及び2号炉の新規制基準適合までの間「プラント停止状態」として扱う。

設置変更許可申請書の本文又は添付書類八における記載案を以下に示す。

#### 【設置変更許可申請書 本文記載案】

本文へ以下の記載をする。

#### 五 発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備

##### イ 発電用原子炉施設の位置

#### （2）敷地内における主要な発電用原子炉施設の位置

3号原子炉本体は、2号炉の南側に設置する。排気口は、原子炉格納施設上部に設置する。復水器冷却水の取水口は、敷地西側の専用港湾内に、また、放水口は敷地西側の北防波堤基部に設置する。また、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されてい

ないことを前提とする。

十 発電用原子炉の炉心の著しい損傷その他の事故が発生した場合における当該事故に対処するために必要な施設及び体制の整備に関する事項

ハ 重大事故に至るおそれがある事故又は重大事故

(1) 重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力

東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故の教訓を踏まえた重大事故等対策の設備強化等の対策に加え，重大事故に至るおそれがある事故若しくは重大事故が発生した場合又は大規模な自然災害若しくは故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムによる発電用原子炉施設の大規模な損壊が発生するおそれがある場合若しくは発生した場合における以下の重大事故等対策設備に係る事項，復旧作業に係る事項，支援に係る事項及び手順書の整備，教育及び訓練の実施並びに体制の整備を考慮し，当該事故等に対処するために必要な手順書の整備，教育及び訓練の実施並びに体制の整備等運用面での対策を行う。また，1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないことを前提とする。\*

※本記載は，添付書類十の「重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力」にも記載する。

【設置変更許可申請書 添付書類八記載案】

添付書類八へ以下の記載をする。

1.5 耐津波設計

1.5.1 設計基準対象施設の耐津波設計

1.5.1.1 設計基準対象施設の耐津波設計の基本設計

(3)入力津波の設定

d. 取水路・放水路等の経路からの流入に伴う入力津波

取水路，放水路等からの流入に伴う入力津波は，流入口となる港湾内における津波高さについては，上記 a. 及び b. に示した事項を考慮し，上記 c. に示した数値シミュレーションにより安全側の値を設定する。また，取水路及び放水路内における津波高さについては，各水路の特性を考慮した水位を適切に評価するため，開水路及び管路において非定常管路流の連続式及び運動方程式を使用し，上記の港湾内における津波高さの時刻歴波形を入力条件として管路解析を実施することにより算定する。その際，1号及び2号炉の取水口から取水ピットポンプ室に至る系，3号炉の取水口から取水ピットポンプ室に至る系並びに3号炉の放水口から放水ピットに至る系をモデル化し，管路の形状，材質及び表面の状況に応じた損失を考慮するとともに，貝付着やスクリーン

損失を不確かさとして考慮した計算条件とし、安全側の値を設定する。

なお、原子炉補機冷却海水ポンプの取水性を確保するため、貯留堰を設置するとともに、発電所を含む地域に大津波警報が発表された場合、循環水ポンプを停止する運用を定める。このため、取水ピットスクリーン室の入力津波高さの設定に当たっては、水位の評価は貯留堰の存在を考慮に入れるとともに、循環水ポンプの停止を前提として実施する。

また、1号及び2号炉の取水路に1号及び2号炉取水路流路縮小工、1号及び2号炉の放水路に1号及び2号炉放水路逆流防止設備を設置することから、1号及び2号炉循環水ポンプの停止を前提とする。

## 10.6 津波及び内部溢水に対する浸水防護設備

### 10.6.1 津波に対する防護設備

#### 10.6.1.1 設計基準対象施設

##### 10.6.1.1.2 設計方針

- (1)c. 取水路、放水路等の経路から、重要な安全機能を有する施設の設置された敷地並びに重要な安全機能を有する設備を内包する建屋及び区画に津波の流入する可能性について検討した上で、流入する可能性のある経路（扉、開口部、貫通口等）を特定し、必要に応じ流入防止の対策を施すことにより、津波の流入を防止する設計とする。また、津波の流入を防止するため、3号炉放水ピットに対しては、3号炉放水ピット流路縮小工を、3号炉原子炉補機冷却海水放水路が接続される3号炉放水ピット内側壁面に対しては、3号炉原子炉補機冷却海水放水路逆流防止設備を設置するが、3号炉に悪影響を及ぼさない設計とする。1号及び2号炉取水路に対しては、1号及び2号炉取水路流路縮小工を、1号及び2号炉放水路に対しては、1号及び2号炉放水路逆流防止設備を設置するが、1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計とする。

また、1号及び2号炉の新規制基準適合性審査においては、流路縮小工を撤去し、防水壁等の1号、2号及び3号炉の共用の津波防護対策として設置変更許可申請（補正）し、適合性について説明する方針である。

#### b. 1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計

流路縮小工の設置による1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計として、流路縮小工設置後も原子炉補機冷却海水系に必要な流量を確保し、1号及び2号炉の取水機能に影響を与えない設計とする。

## (2) 工事計画認可

流路縮小工は、3号炉の新規制基準適合性審査において、敷地への津波の到達、流入を防止するための構造物であることから、「浸水防護施設」に該当する。また、流路縮小工は、取水路内へ設置することから、これらの観点で規則第八条（設計及び工事の計画の認可を要しない工事等）及び規則第十一条（設計及び工事の計画の届出を要する工事等）の規定より、設計及び工事の計画の認可・届出を要する改造等に該当するか確認を行った。

### a. 設計及び工事の計画の認可申請の要否

流路縮小工は、3号炉の外郭浸水防護設備として設置するため、規則別表第一の中欄に定める「改造であつて外郭浸水防護設備に係るもの」に該当することから、「浸水防護施設」として、設計及び工事計画認可申請が必要となる。

設置変更許可で示した流路縮小工の機能及び仕様を含め、3号炉の工事計画書の本文及び添付資料で詳細設計の結果を示す。

表5 流路縮小工の施設区分

|    |             |
|----|-------------|
|    | 浸水防護施設（3号炉） |
| 区分 | 外郭浸水防護設備    |
| 分類 | 津波防護施設      |

また、流路縮小工の設置により1号及び2号炉の取水機能に対して影響を与えることから、流路縮小工に係る設計結果について、「基本設計方針」及び「添付書類（設備別記載事項の設定根拠に関する説明書）」において、通常時及び外部電源喪失時における1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の取水機能に影響がない設計とすることを記載し、流路縮小工の「要目表」においては、浸水防護施設としての機能を有し、取水機能に影響のない開口寸法を記載する。

### b. 1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計

設置変更許可申請書へ1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計とすることを記載するに当たり、流路縮小工について以下を考慮し設計する。

- ・原子炉補機冷却海水ポンプの定格容量を確保でき、取水機能に影響を与えない開口寸法を設定する。
- ・流路縮小工の開口部について、自主的に設置している貯留堰の天端高さ（T.P. -3.0m）及び原子炉補機冷却海水ポンプ取水可能水位（T.P. -4.17m）よりも下方に設ける（流路縮小工開口部下端高さ T.P. -6.00m）ことで津波による引き波時の海水貯留容積に影響を与えない設計とする。

## (3) 原子炉施設保安規定への影響

流路縮小工設置による1号及び2号炉における保安管理に関する事項として、原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）上の影響について、以下のと

おり整理した。1号及び2号炉のプラント状態は、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態、並びに循環水ポンプの停止を前提とする。また、保安規定第8章施設管理については、規則第八十一条（発電用原子炉施設の施設管理）の規定に適合するよう、流路縮小工設置後についても保安規定に紐づく社内規定類で定める保全計画に基づき、適切に施設管理を行う。

a. 1号及び2号炉の保安確保における該当条文

○第33条（計測および制御設備）

- ・中央制御室非常用循環系計装（照射済燃料移動中において動作可能であること）
- ・ディーゼル発電機起動計装（照射済燃料移動中において動作可能であること）

○第68条（中央制御室非常用循環系）

- ・2系統以上が動作可能であること（使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中において）

○第71条（外部電源－モード5、6および照射済燃料移動中－）

- ・外部電源1系列以上が動作可能であること

○第73条（ディーゼル発電機－モード1、2、3および4以外－）

- ・非常用発電機を含め、ディーゼル発電機2基が動作可能であること

○第74条（ディーゼル発電機の燃料油、潤滑油および始動用空気）

- ・所要のディーゼル発電機に対し必要油量、空気圧力が確保されていること

○第76条（非常用直流電源－モード5、6および照射済燃料移動中－）

- ・非常用直流母線に接続する系統（蓄電池および充電器）が動作可能であること

○第78条（所内非常用母線－モード5、6および照射済燃料移動中－）

- ・所要の設備の維持に必要な非常用高圧母線、非常用低圧母線、非常用直流母線、非常用計装用母線が受電していること

○第82条（使用済燃料ピットの水位および水温）

- ・使用済燃料ピットの水位が T.P. 30.47m 以上であること
- ・使用済燃料ピットの水温が 65℃ 以下であること

b. 保安規定上直接影響がある条文

上記（a）の該当条文の整理結果から、流路縮小工設置に伴い直接影響がある条文を以下に示す。

○第73条（ディーゼル発電機－モード1、2、3および4以外－）

- ・ディーゼル発電機の冷却水として原子炉補機冷却海水系を使用しているため、関連する。

○第82条（使用済燃料ピットの水位および水温）

- ・使用済燃料ピットの冷却水として、原子炉補機冷却水系を使用しており、流路縮小工の設置により原子炉補機冷却水の冷却水である原子炉補機冷却海水系の通水面積が小さくなるため、関連する。

c. 保安規定上の影響

3. (2) の結果から、流路縮小工設置後においても、1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水系に必要な流量を確保することが可能であるため、保安規定上要求される事項への影響がないことを確認した。

## 6. まとめ

流路縮小工を設置することによる影響について、以下のとおり確認した。

### (1) 流路縮小工設置による津波の敷地への到達，流入防止

- a. 流路縮小工の開口径は，要求機能を満足する上限値及び下限値に対して十分な裕度を持った値とする。
- b. 津波時の砂によって，敷地への到達，流入を防止する機能に悪影響を与えない。
- c. 津波時の漂流物によって，敷地への到達，流入を防止する機能に悪影響を与えない。

### (2) 1号及び2号炉の取水機能への影響

- a. 原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能への影響はない。
- b. 津波による水位の低下に対して，プラントの安全性は確保される。
- c. 海水中に含まれる砂に対して，取水機能へ悪影響を与えない設計とする。
- d. 通常時の漂流物による流路縮小工の閉塞の可能性はない。
- e. 海洋生物による流路縮小工の閉塞の可能性はない。
- f. 通常時に流路縮小工部が閉塞する可能性はないと評価しているものの，仮に閉塞を仮定した場合には，取水ピットスクリーン室の水位の異常を中央制御室で検知（警報を確認）した後，保安規定に紐づくQMS文書に基づき対応が可能であることを確認した。

### (3) 流路縮小工に関する許認可上の扱いについて

- a. 流路縮小工は，津波防護施設として設置変更許可申請（補正）を行い，設置変更許可申請書には，1号及び2号炉のプラント状態の前提を記載し，1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計とすることを記載する。また，1号及び2号炉の新規制基準適合性審査においては，流路縮小工を撤去し，防水壁等の1号，2号及び3号炉の共用の津波防護対策として設置変更許可申請（補正）し，適合性について説明する方針である。
- b. 流路縮小工は，「浸水防護施設」として，設計及び工事計画認可申請を行い，1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の取水機能に影響がない設計とすることを工事計画書に記載する。また，流路縮小工設置による1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計として，取水機能に影響を与えない流路縮小工の開口寸法を設定し，開口部は，自主的に設置している貯留堰の天端高さよりも下方に設けることで津波による引き波時の海水貯留容積に影響を与えない設計とする。
- c. 流路縮小工設置後においても，1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水系に必要な流量は確保されていることから，保安規定上要求される事項への影響がないことを確認した。

### (4) 流路縮小工については，津波防護施設としての機能並びに1号及び2号炉取水機能を維持していくため，保安規定に紐づく社内規定類で定める保全計画に基づき，適切に管理していく。

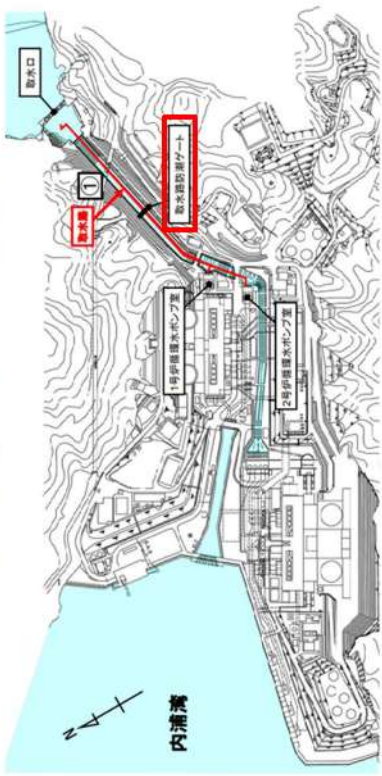
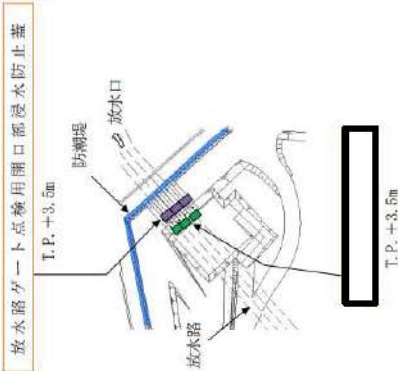


- 参考1 他社先行審査実績を踏まえた流路縮小工の適用性について
- 参考2 流路縮小工設置に伴い増加する抵抗（損失）について
- 参考3 流路縮小工の開口径設定の考え方について
- 参考4 流路縮小工の構造成立性
- 参考5 流路縮小工設置に伴う取水ポンプ室の水位について，貝付着等の保守的な条件を考慮した場合の1号及び2号炉の安全性等への影響
- 参考6 流路縮小工の施工方針及び常時における津波防護機能維持の確認方法
- 参考7 流路縮小工設置による許認可上の取扱い（他社先行プラントとの相違）
- 参考8 流路縮小工に係る各審査段階の説明内容について

## 他社先行審査実績を踏まえた流路縮小工の適用性について

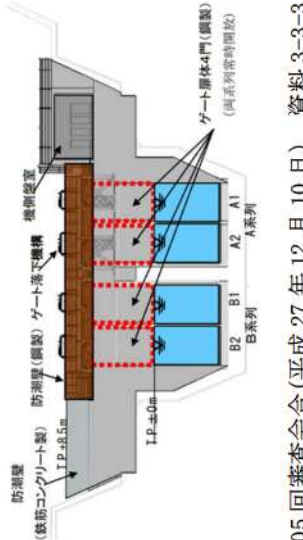

流路縮小工は、3号炉の津波防護施設として敷地への津波の到達、流入を防止するため、1号及び2号炉の取水路に設置する。取水路又は放水路からの津波の遡上を防止する津波防護対策については、多様な他社先行審査実績がある。そのため、泊の流路縮小工と先行の取水路又は放水路からの津波の遡上を防止する津波防護対策について、構造、仕様、許認可上の位置付け及び重要度分類等を表1にて整理、比較を行い、流路縮小工の適用性について確認した。

表1 他社先行審査実績との比較 (1/6)

|           |  |  |
|-----------|--|--|
| 項目        | 高浜3号炉及び4号炉   | 東海第二発電所  |
| 設備名称      | 取水路防潮ゲート   | 放水路ゲート   |
| 設備分類      | 津波防護施設   | 津波防護施設   |
| 設置目的      | 取水路側からの津波の流入防止を目的として、取水路を横断するように設置する。  | 津波が放水路から津波防護対象設備（非常用取水設備を除く。）の設置された敷地に流入することを防止する。                                       |
| 設置位置      | 1, 2, 3及び4号炉 取水路<br>                          | 放水路<br> |
| 既許可上の位置付け | 第305回審査会合(平成27年12月10日) 資料3-3-3より 赤枠追記<br>高浜3, 4号炉の新規制基準適合性審査において、高浜3, 4号炉の津波防護施設として申請。高浜1, 2号炉の新規制基準適合性審査において、高浜発電所共用の津波防護施設に変更。 | 第520回審査会合(平成29年10月17日) 資料1-3-2より 赤枠追記<br>東海第二発電所の新規制基準適合性審査において、津波防護施設として申請。             |
| 設置環境      | 気中(高浜3, 4号炉申請時は片系列は常時閉鎖, 片系列は津波時に水路を閉鎖。高浜1, 2号申請時は, 1, 2, 3及び4号炉共用とし両系列常時開放)   | 気中(津波時に水路を閉鎖)  |

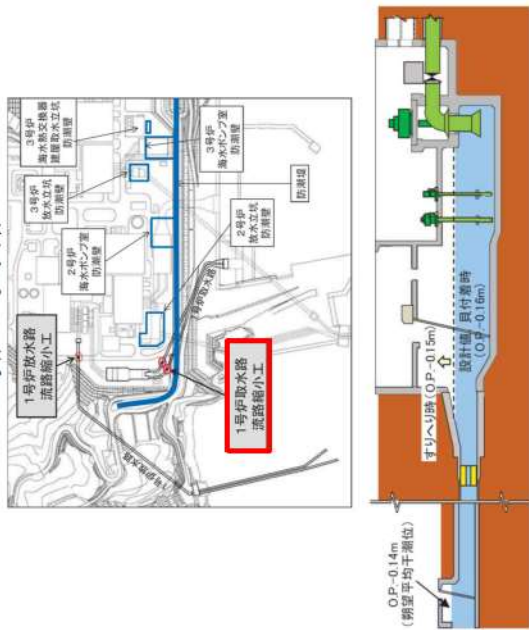
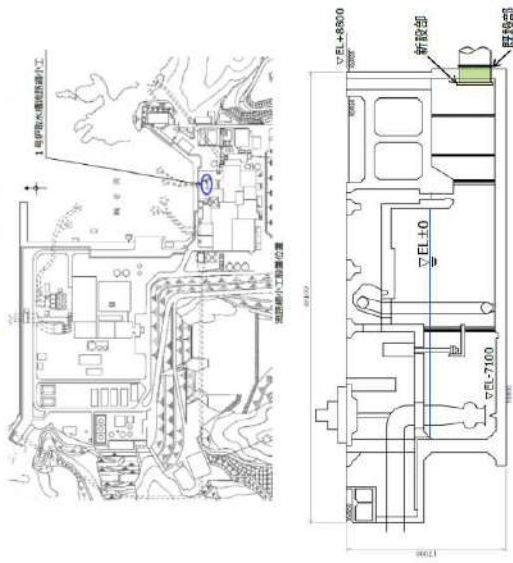
※他社記載事項について、審査会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものである。

表 1 他社先行審査実績との比較 (2/6)

| 項目    | 高浜発電所 3号炉及び4号炉   | 東海第二発電所  |
|-------|--|--|
| 重要度分類 | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐震重要度：Sクラス</li> <li>安全重要度：MS-1</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐震重要度：Sクラス</li> <li>安全重要度：MS-1</li> </ul>   |
| 動作原理  | ゲート落下機構：機械式又は電磁式 (動的)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>開閉装置：機械式又は電動駆動式 (動的)</li> <li>小扉 (フラップ式)：津波による水圧 (静的)</li> </ul>  |
| 動作内容  | ゲート落下機構：通常時、機械式クランチ及び電磁式クランチが連結されており、ゲート開状態が維持されている。津波時、遠隔閉止信号により機械式クランチ又は電磁式クランチが切り離され、ゲートは落下する。  | <ul style="list-style-type: none"> <li>開閉装置：高浜同様</li> <li>小扉 (フラップ式)：放水路ゲートが閉止の状態においても非常用海水ポンプの運転に伴い発生する系統からの排水を放水できよう、扉体に放水方向の流れのみ開となる。津波時、津波の水圧によりフラップゲートが閉となる。</li> </ul>   |
| 構造    |    |    |
| 仕様    | <p>第 305 回審査会合 (平成 27 年 12 月 10 日) 資料 3-3-3 より</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法：約 4.15m × 約 6m (ゲート扉体)</li> <li>種類：防潮壁 (ゲート落下機構付き)</li> <li>材料：鉄筋コンクリート, 炭素鋼</li> <li>個数：1 基</li> <li>付属機能：ゲート落下機構</li> </ul> | <p>第 520 回審査会合 (平成 29 年 10 月 17 日) 資料 1-3-2 より</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法：約 3.7m × 約 4.2m (全体)</li> <li>種類：逆流防止設備 (ゲート, フラップゲート)</li> <li>材料：炭素鋼</li> <li>個数：3 基 (各放水路に 1 箇所)</li> <li>付属機能：開閉装置, 小窓 (フラップ式)</li> </ul> |

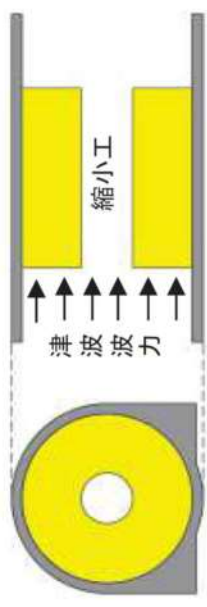
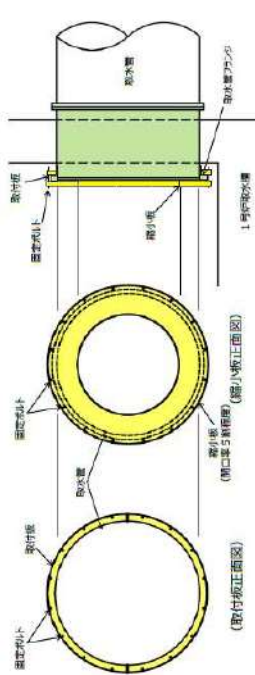
※他社記載事項について、審査会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものである。

表 1 他社先行審査実績との比較 (3/6)

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| 項目        | 女川原子力発電所 2号炉  | 島根原子力発電所 2号炉  |
| 設備名称      | 取放水路流路縮小工 (取水路側を比較対象とする)  | 流路縮小工   |
| 設備分類      | 津波防護施設  | 津波防護施設  |
| 設置目的      | 取水路からの敷地への津波の流入を防止する。   | 取水槽から敷地への津波の到達、流入を防止する。   |
| 設置位置      |  <p>1号炉 取水路</p>                         |  <p>1号炉 取水槽</p>                       |
| 既許可上の位置付け | 第734回審査会合(令和元年6月25日) 資料1-2-2より 赤枠追記<br>女川2号炉の新規制基準適合性審査において、津波防護施設として申請し、1号炉(廃止措置プラント)の取水機能に影響を与えない設計とする(補機冷却海水ポンプの取水機能維持)。 | 第876回審査会合(令和2年7月14日) 資料2-1-2より<br>島根2号炉の新規制基準適合性審査において、津波防護施設として申請し、1号炉(廃止措置プラント)の取水機能に影響を与えない設計とする(原子炉補機海水ポンプの取水機能維持)。 |
| 設置環境      | 水中(取水路の流路を縮小)   | 水中(取水管の流路を縮小)   |
| 重要度分類     | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐震重要度：Sクラス</li> <li>安全重要度：津波防護施設(耐震Sクラス)</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐震重要度：Sクラス</li> <li>安全重要度：津波防護施設(耐震Sクラス)</li> </ul>                              |

※他社記載事項について、審査会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものである。

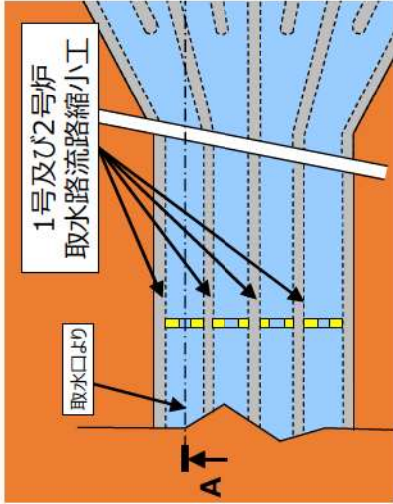
表1 他社先行審査実績との比較 (4/6)

| 項目     | 女川原子力発電所2号炉  | 島根原子力発電所2号炉   |
|--------|--|---|
| 動作方法   | — (動作なし)   | — (動作なし)  |
| 構造     |   |    |
| 仕様     | <p>第734回審査会合(令和元年6月25日)資料1-2-2より</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法：直径約 <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span> m (全体)</li> <li>開口径：約 φ1.0m</li> <li>種類：流路縮小工</li> <li>材料：コンクリート</li> <li>个数：2基 (各取水路に1箇所)</li> </ul> | <p>第876回審査会合(令和2年7月14日)資料2-1-2より</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法：直径約3.9m (全体)</li> <li>開口径：約 φ2.4m</li> <li>種類：流路縮小工</li> <li>材料：炭素鋼</li> <li>个数：2基 (各取水管に1箇所)</li> </ul> |
| 施設管理   | <p>取水路について、定期的な放水による点検・清掃等を実施することにより、流路縮小工部の変状の有無等の確認が可能である。</p>   | <p>潜水士により取水槽内の定期的な点検・清掃を行い、流路縮小工の各部位の確認が可能である。</p>  |
| 異常の検知性 | <p>取水槽側で流路縮小工部が仮に閉塞した場合、海水ポンプ室内口水位が低下傾向を示すため、中央制御室においてその兆候が確認可能であり、水位の低下が継続した場合は、「海水ポンプ(A)または(B)室入口水位 低」の警報が中央制御室で発報することから、対応可能である。</p>  | <p>流路縮小工部が仮に閉塞した場合、取水槽水位が低下傾向を示すため、「取水槽水位低」の警報が中央制御室において発報することから対応可能である。</p>  |

※他社記載事項について、審査会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものである。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

表 1 他社先行審査実績との比較 (5/6)

|           |   |
|-----------|---|
| 項目        | 泊発電所 3号炉  |
| 設備名称      | 1号及び2号炉取水路流路縮小工   |
| 設備分類      | 津波防護施設  |
| 設置目的      | 取水路から遡上する津波が1号及び2号炉取水ピットクリンソン室上端開口部から敷地への到達、流入するのを防止する。   |
| 設置位置      | <div data-bbox="491 1070 1034 1771" style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>  <p>1号及び2号炉 取水路</p> |
| 既許可上の位置付け | 泊3号炉の新規制基準適合性審査において、泊3号炉の津波防護施設として申請し、1号炉（設置変更許可申請中プラント）の取水機能に影響を与えない設計とする（原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能維持）。泊1号及び2号炉の新規制基準適合性審査において、本設備を撤去し泊1号、2号及び3号炉共用の津波防護対策を別途申請予定。   |
| 設置環境      | 水中（取水路の流路を縮小）   |
| 重要度分類     | <ul style="list-style-type: none"> <li>・耐震重要度：Sクラス</li> <li>・安全重要度：津波防護施設（耐震Sクラス）</li> </ul>  |

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

表 1 他社先行審査実績との比較 (6/6)

| 泊発電所 3号炉   |   |
|------------|---|
| 項目         |   |
| 動作方法       | — (動作なし)  |
| 構造         |   |
| 仕様         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 外形寸法：約 3.5m×約 3.75m (全体)</li> <li>• 貫通部径：φ 0.743m</li> <li>• 種類：流路縮小工</li> <li>• 材料：鋼製</li> <li>• 個数：4 基 (各取水路に 1 箇所)</li> </ul> |
| 施設管理       | 取水路について、定期的な放水による点検、清掃等を実施することにより、流路縮小工の変状の有無の確認が可能である。   |
| 異常の<br>検知性 | 流路縮小工の開口部が仮に閉塞した場合、取水ピットスクリーン室の水位が低下傾向を示すため、中央制御室においてその兆候が確認可能であり、水位の低下が継続した場合には、「CWPピット水位低」の警報が中央制御室において発報することから、対応が可能である。   |



## 【比較結果】

表1の他社先行審査実績との比較の結果、泊の流路縮小工と他社先行審査実績において以下の項目について相違があり、流路縮小工の適用性について確認した。

### 1. 安全重要度について

高浜3号炉及び4号炉の取水路防潮ゲート及び東海第二発電所の放水路ゲートは、それぞれ外部入力により動作する機構（駆動部）を有する動的機器であり、駆動部である取水路防潮ゲートのゲート落下機構及び放水路ゲートの開閉装置については、重要安全施設（MS-1）として多重性又は多様性及び独立性を確保する設計とし、ゲート自体は静的機器として設計（多重化していない）している。

泊の流路縮小工は、外部入力により動作する機構を有しないことから、静的機器として設計し、津波が敷地へ到達、流入することを防止し、重要な安全機能を有する設備を防護するために必要な設備である観点で、津波防護施設として信頼性を確保した設計とすることが適切と考える。

### 2. 許認可上の位置付けについて

女川の取放水路流路縮小工及び島根の流路縮小工は、それぞれ廃止措置プラントの取水路（取水管）に設置しており、泊の流路縮小工は、設置変更許可申請中プラントの取水路に設置する観点で相違がある。

一方で、廃止措置プラントと設置変更許可申請中プラントで相違はあるものの、原子炉に燃料を装荷しないこと、循環水ポンプの停止を前提とするプラント状態及び流路縮小工に求められる機能要求（敷地への津波の到達、流入を防止及び取水機能の維持）は同様であり、流路縮小工の設置による許認可への影響については、女川2号炉の津波防護対策として1号炉に取放水路流路縮小工設置することによる許認可影響への整理を踏まえ、泊は設置変更許可申請中プラントに設置することを考慮の上、整理を添付資料31の5.のとおり行っており、適切に対応することで津波防護対策として適用性はあるものとする。

### 3. 流路縮小工の仕様について

女川の取放水路流路縮小工（取水側）と泊の流路縮小工を比較した場合、女川の取放水路流路縮小工はコンクリート製に対し、泊は鋼製であることが相違としてあげられるが、島根の流路縮小工は、鋼製で泊の流路縮小工と同様であり、鋼製の流路縮小工についても実績がある。また、流路縮小工の設計・施工上の配慮事項を踏まえ、構造成立性は確保可能であることを参考4にて整理しており、泊の流路縮小工について、津波防護対策として適用性はあるものとする。

流路縮小工設置に伴い増加する抵抗（損失）について

図 1 に示す流路縮小工設置に伴い，スリーブがオリフィスとして機能することから，図 2 に示すように，オリフィス部で①急縮による抵抗（損失），②急拡による抵抗（損失），③摩擦による抵抗（損失）が働く。

なお，スリーブの奥側（スクリーン室側）に主梁があるものの，主梁はスリーブを通る流れを阻害しない位置に配置することから，流体の流れに与える影響は軽微であり，管路解析においては考慮しない。

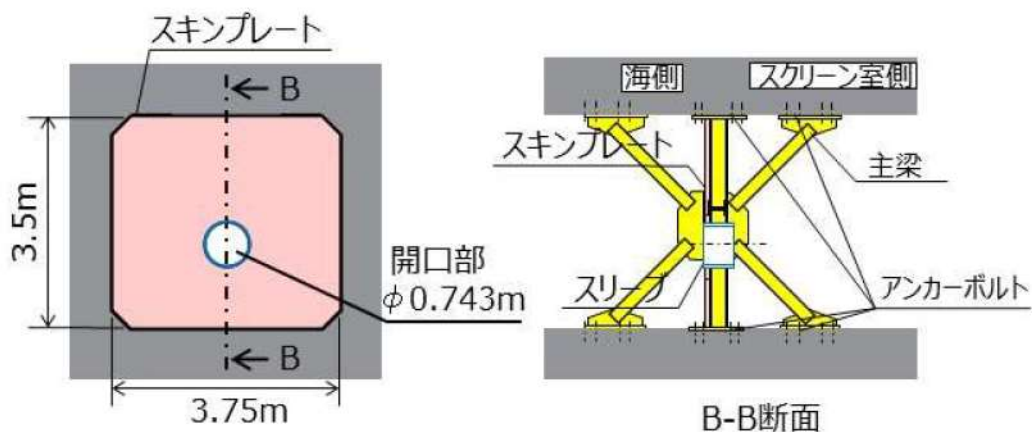


図 1 1号及び2号炉取水路流路縮小工の構造例

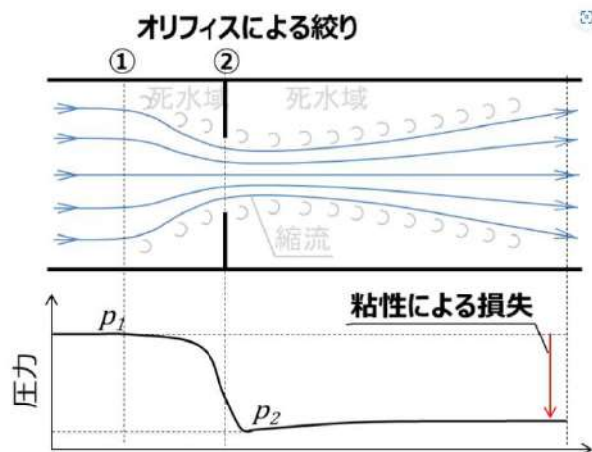


図 2 : オリフィスによる流れの変化と圧力損失のイメージ

(1) 津波の流入防止評価

津波の流入防止評価としては、水の流れの抵抗（損失）が小さいほうが評価上厳しい結果となる。流路縮小工の開口部の急縮・急拡・摩擦の効果のみを考慮しており、主梁の抵抗（損失）を無視することで、津波対策としての効果としては保守的な設定としている。

(2) 通常時及び外部電源喪失時の原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能評価

原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能としては、水の流れの抵抗（損失）が大きいほうが評価上厳しい結果となる。

管路内の流速が遅いことから、流路面積が小さくなる開口部以外での抵抗（損失）の効果も小さく、開口部の急縮・急拡・摩擦による効果が支配的である。

取水路を対象とした管路解析（原子炉補機冷却海水系運転時）から得られる流路縮小工内の流速（ $V_2=2.31\text{m/s}$ ）を用いて、開口部の抵抗（損失）を算定した結果を以下に示す。

①急縮による抵抗（損失）

$$h_{sc} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g} = 0.14(m)$$

②急拡による抵抗（損失）

$$h_{se} = f_{se} \frac{V_1^2}{2g} = 0.26(m)$$

③摩擦による抵抗（損失）

$$h_f = n^2 \cdot V^2 \frac{L}{R^{4/3}} = 0.01(m)$$

①+②+③=0.41m（管路解析による流路縮小工設置前後の取水ピットポンプ室水位差 0.39m と整合的である。）

原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の管路内の流速が遅いことから、オリフィス部の抵抗（損失）の値も小さく、主梁による抵抗の効果は無視できる程度であると考えられる。

表 1 各局所損失の算定式

|      | 公式   | 係数  | 根拠                 |
|------|--|---|--------------------|
| 摩擦損失 | $h_f = n^2 \cdot V^2 \frac{L}{R^{4/3}}$  | <p><math>V</math> : 平均流速 (m/s)</p> <p><math>L</math> : 水路の長さ (m)</p> <p><math>R</math> : 水路の径深 (m)</p> <p><math>n</math> : 粗度係数 (<math>m^{-1/3} \cdot s</math>)</p>                                   | 電力土木技術協会<br>(1995) |
| 急拡損失 | $h_{se} = f_{se} \frac{V_1^2}{2g}$ $f_{se} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$ | <p><math>f_{se}</math> : 急拡損失係数<sup>*1</sup></p> <p><math>V_1</math> : 急拡前の平均流速 (m/s)</p> <p><math>A_1</math> : 急拡前の管断面積 (<math>m^2</math>)</p> <p><math>A_2</math> : 急拡後の管断面積 (<math>m^2</math>)</p> | 電力土木技術協会<br>(1995) |
| 急縮損失 | $h_{sc} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g}$   | <p><math>f_{sc}</math> : 急縮損失係数<sup>*2</sup><br/>(管路断面による値)</p> <p><math>V_2</math> : 急縮後の平均流速 (m/s)</p>  | 電力土木技術協会<br>(1995) |

※ 1 流路形状から  $f_{se} = 0.935$  と設定した。

※ 2 流路形状から  $f_{sc} = 0.492$  と設定した。

## 流路縮小工の開口径設定の考え方について

流路縮小工に求められる要求事項及び開口径の設定に関する留意点を以下に示す。また、開口径の設定の流れを図1に、流路縮小工設置による抵抗（損失）の概念図を図2に、開口径の大小による機能への影響を表1に示す。

## (1) 流路縮小工に求められる要求事項

## 【取水路から敷地への津波の到達，流入防止】

- ① 基準津波による取水ピットスクリーン室の水位上昇が敷地高さを上回らないこと（構造成立性を含む）。

## 【プラント停止状態における1号及び2号炉の取水機能】

- ② 1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態における，通常時及び外部電源喪失時の1号及び2号炉の取水機能が確保できること（原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能維持）。

## (2) 開口径の設定に関する留意点

- ① 基準津波による取水ピットスクリーン室の水位が敷地高さ以下となる，十分な抵抗（損失）が得られる開口径であること（水位上昇側の観点）。
- ② 流路縮小工設置に伴う抵抗（損失）の増加が，通常時及び外部電源喪失時の取水機能（原子炉補機冷却海水ポンプの機能保持）に影響を及ぼさない開口径とすること（水位下降側の観点）。

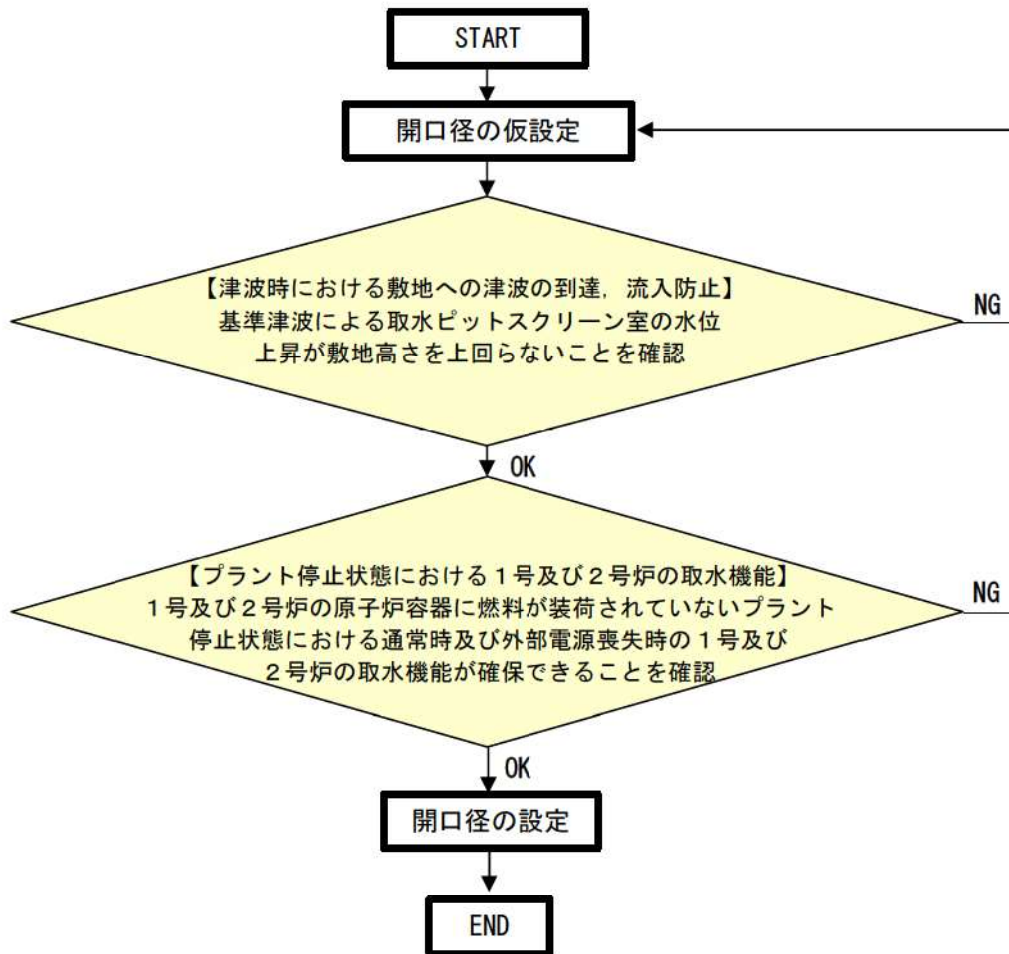


図1 開口径の設定の流れ

表1 開口径の大小による機能への影響

| 機能              | 開口径を大きくした場合                   | 開口径を小さくした場合                   |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 敷地への津波の到達, 流入防止 | 抵抗 (損失) 減少 : 水位上昇             | 抵抗 (損失) 増加 : 水位上昇を抑制          |
| 取水機能            | 抵抗 (損失) 減少 : 水位上昇 (取水ピットポンプ室) | 抵抗 (損失) 増加 : 水位下降 (取水ピットポンプ室) |

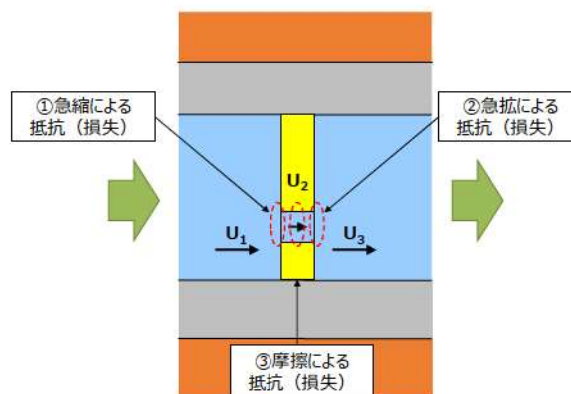


図2 流路縮小工設置による抵抗 (損失) の概念図

## 流路縮小工の構造成立性

流路縮小工は津波防護施設であることから、基準地震動による地震荷重や基準津波による津波荷重に対し、構成する部材がおおむね弾性領域内に収まるよう設計する。

ここでは、地震荷重や流水圧等の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等により損傷する以外に、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、流路縮小工の各部位が損傷して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。

## (1) 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損失しうる事象の抽出に当たり、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、流路縮小工の開口部を高流速の津波が通過する。「水門鉄管技術基準（水圧鉄管・鉄鋼構造物編）令和4年版（（社）水門鉄管協会）」によれば、水圧鉄管の固定台（アンカーブロック）の設計において、考慮すべき外力として、管の重量（管傾斜による推力）や湾曲部に作用する遠心力等に加え、管内流水の摩擦による推力が挙げられる。
- ・津波時には、流路縮小工の開口部を高流速の津波が通過する。「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、流水による洗堀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。
- ・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。「ダム・堰施設技術基準（案）平成28年版（（社）ダム・堰施設技術協会）」によれば、高流速の水が流れる放流管内では、管路の湾曲や壁面の凹凸によって局所的に圧力降下が生じ、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へ移動すると水蒸気の気泡は急激に圧潰され壁面に著しい損傷を与えるとしている。

(2) 要求機能を喪失しうる事象の抽出

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。表1～表3に検討結果を示す。

表1 地震荷重や津波荷重により要求機能を喪失しうる事象と設計・施工上の配慮事項（流路縮小工全体）

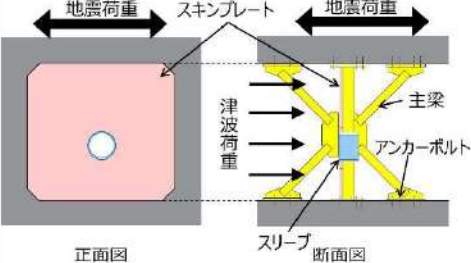
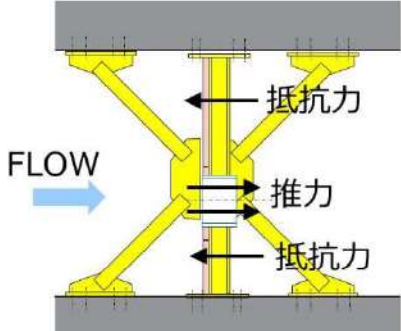
| 部位の名称   | 要求機能を喪失しうる事象  | 設計・施工上の配慮  | 照査   |
|---------|---|--|--|
| 流路縮小工全体 | <p>・地震荷重や津波荷重*により、主梁やスキンプレートが曲げ破壊又はせん断破壊することで、津波防護機能を喪失する。</p> <p>・主梁やスキンプレートから伝達する荷重により、アンカーボルトが破断し、津波防護機能を喪失する。</p> <p>※：津波荷重として、流水の摩擦による推力も考慮する（下項目参照）。</p>  | <p>・主梁やスキンプレートに生じる応力度が許容限界以下となるように詳細設計段階で設計する。</p> <p>・アンカーボルト生じる断面力による応力度が、許容限界以下となるように詳細設計段階で設計する。</p> <p>・砂や小さな漂流物の影響については、詳細設計段階で設計する。</p> | <p>○<br/>取水路内で十分な強度を有した材料や構造を適用可能なことから、構造成立性は確保可能。</p> |
| 流路縮小工全体 | <p>・開口部における流水の摩擦により推力が生じ、主梁やスキンプレートが曲げ破壊又はせん断破壊することで津波防護機能を喪失する。</p> <p>・主梁やスキンプレートから伝達する荷重により、アンカーボルトが破断し、津波防護機能を喪失する。</p>                                    | <p>・津波時及び重畳時の津波荷重として、流水の摩擦による推力を考慮する。</p>  | <p>○<br/>取水路内で十分な強度を有した材料や構造を適用可能なことから、構造成立性は確保可能。</p> |



表1 地震荷重や津波荷重により要求機能を喪失しうる事象と  
設計・施工上の配慮事項（流路縮小工全体）（続き）

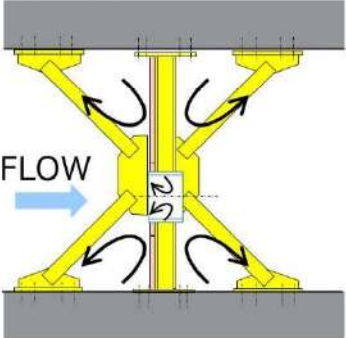
| 部位の名称       | 要求機能を喪失しうる事象   | 設計・施工上の配慮  | 照査  |
|-------------|--|--|---|
| 流路縮小工<br>全体 | <p>・急縮部・急拡部で発生する渦や流水による摩耗によって形状に変化が生じ、津波防護機能を喪失する。</p>  | <p>・津波は短期的な事象であるが、安全側に以下の配慮を行う。「水門鉄管技術基準(水圧鉄管・鉄鋼構造物編) 令和4年版((社)水門鉄管協会)」によれば、管の摩耗による板厚の減少に対して余裕厚を確保する方法が用いられていることから、鋼製部材に対して適切な余裕厚を詳細設計段階で設定する。</p> <p>・仮に摩擦が生じた場合でも、津波の遡上に対して十分な裕度を確保する。</p> | <p>○<br/>取水路内で十分な強度を有した材料を適用可能なことから、構造成立性は確保可能。</p> |

表2 地震荷重や津波荷重により要求機能を喪失しうる事象と  
設計・施工上の配慮事項（流路縮小工開口部）

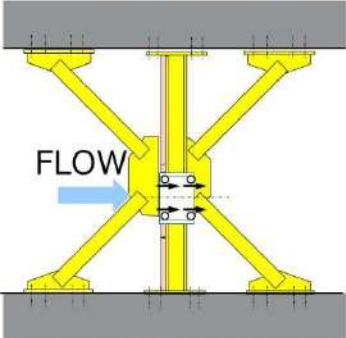
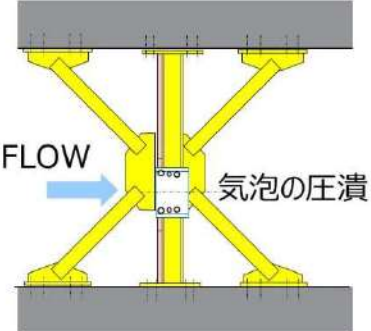
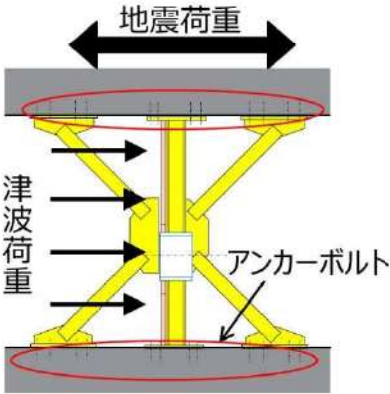
| 部位の名称        | 要求機能を喪失しうる事象   | 設計・施工上の配慮  | 照査  |
|--------------|--|--|---|
| 流路縮小工<br>開口部 | <p>・砂や貝を含んだ津波の流入により、スリーブ表面が摩耗が発生することによって、開口部が広がり津波防護機能を喪失する。</p>    | <p>・津波は短期的な事象であるが、安全側に以下の配慮を行う。「水門鉄管技術基準(水圧鉄管・鉄鋼構造物編) 令和4年版((社)水門鉄管協会)」によれば、管の摩耗による板厚の減少に対して余裕厚を確保する方法が用いられていることから、鋼製部材に対して適切な余裕厚を詳細設計段階で設定する。</p> <p>・仮に摩擦が生じた場合でも、津波の遡上に対して十分な裕度を確保する。</p> | <p>○<br/>取水路内で十分な強度を有した材料を適用可能なことから、構造成立性は確保可能。</p> |
|              | <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、津波防護機能を喪失する。</p>  |  |   |

表3 地震荷重や津波荷重により要求機能を喪失しうる事象と  
設計・施工上の配慮事項（取水路）

| 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   |
|-------|--|--|--|
| 取水路   | <p>・地震荷重や流路縮小工から伝達する津波荷重により、取水路のコンクリートがせん断破壊又は引張破壊することで、津波防護機能を喪失する。</p>  | <p>・取水路のコンクリートに生じる応力度が、許容限界以下であることを確認する。</p> | <p>○<br/>取水路のコンクリートに生じる応力度が、許容限界以下となるようアンカーボルトの増設、分散配置が可能なことから、構造成立性は確保可能。</p> |

(3) 流路縮小工全体の構造成立性

(2) の整理結果を踏まえて、流路縮小工全体の構造成立性について検討を行った。要求機能を喪失しうる事象に対して、防潮堤直下の取水路内で十分な強度を有した材料や構造を適用可能なことから、構造成立性は確保可能である(図1参照)。

なお、地震荷重や津波荷重による発生応力の評価については、詳細設計段階で示す。

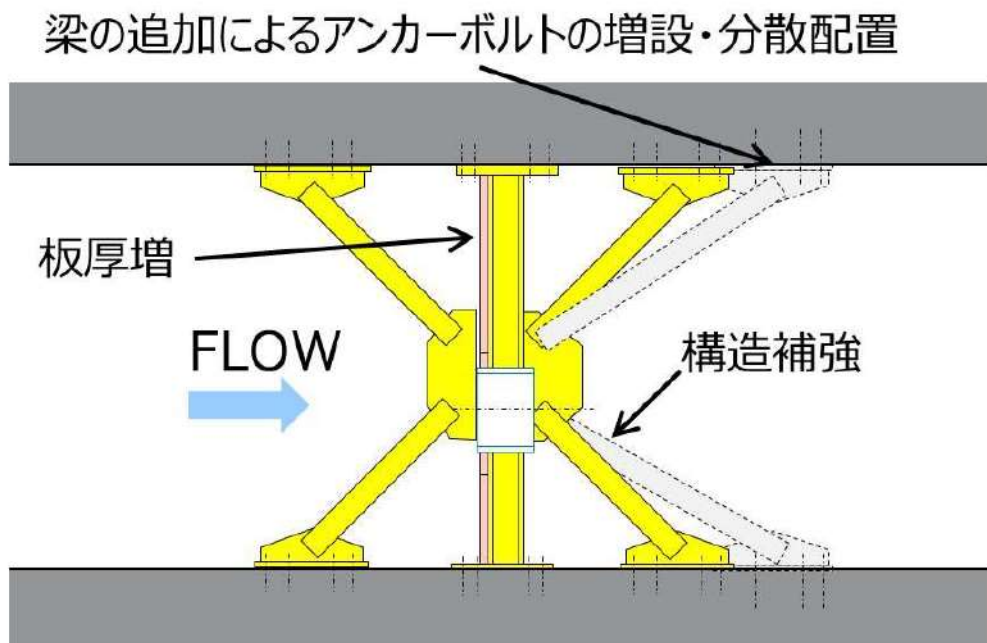


図1 流路縮小工 補強構造案

(4) キャビテーションの発生の可能性に関する評価

a. キャビテーションに関する知見の整理

配管内の絞り部で流体の流速が速くなると圧力が低下し、飽和蒸気圧より低くなるとキャビテーション気泡が発生する。気泡は絞り部の下流へ流動し、流速低下により周りの圧力が回復し始めると収縮し、崩壊する。この気泡崩壊が配管壁面付近で生じると、高い崩壊圧が作用して配管系の振動や壁面に壊食が発生する。

「Cavitation Guide for Control Valves, NUREG/CR-6031, Tullis ら」によれば、キャビテーションは段階的に発達し、軽い間欠的なキャビテーションの発生領域を初生キャビテーションとしており、更に発達すると壁面等に損傷を及ぼす初生損傷キャビテーションと定義されている（図2参照）。

キャビテーションの発生有無は図3により算定されるキャビテーション係数により予測できるとされており<sup>\*1, 2</sup>、文献<sup>\*3</sup>によるとキャビテーション現象の発生限界とされる初生キャビテーション係数（ $\sigma_i$ ）を1.8としている。

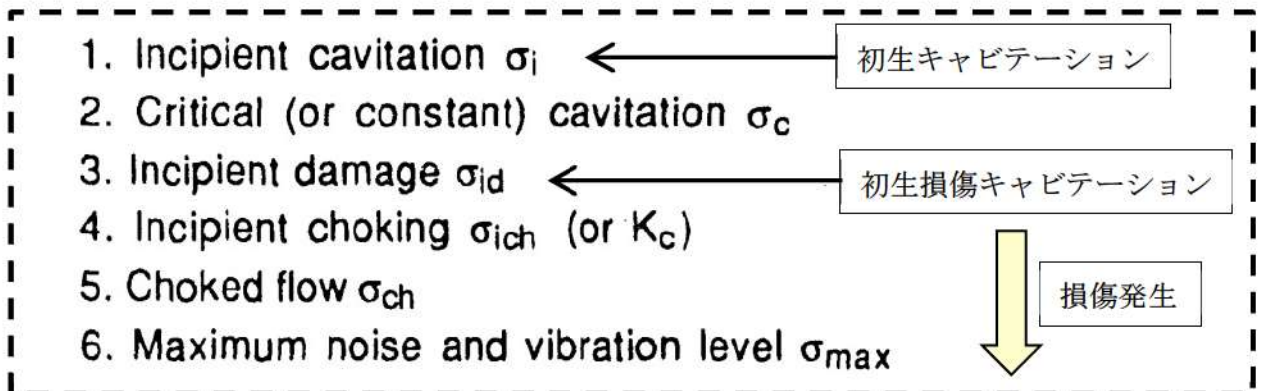


図2 キャビテーションの発達過程（文献<sup>\*4</sup>による，一部加筆）

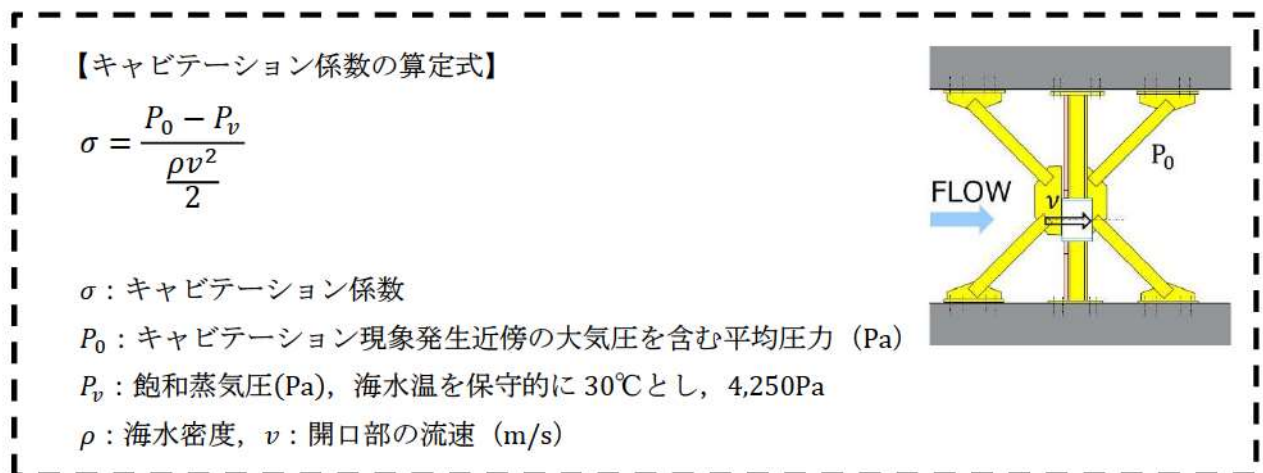


図3 キャビテーション係数の算定式

- ※1 「応用水理工学, 巻幡ら」
- ※2 「水理公式集[昭和60年版], 土木学会」
- ※3 「Hydraulics Engineering, Hunter Rouse」
- ※4 「Cavitation Guide for Control Valves, NUREG/CR-6031, Tullisら」

b. 評価方針及び保守性確保の考え方

キャビテーションによる影響は経年的に劣化するものと分類されているが、津波時においても評価を行う。

キャビテーションの発生によって損傷が生じる可能性があるが、ここでは閾値を保守的に初生キャビテーション係数とする。

キャビテーション係数の算定においては、キャビテーション現象発生近傍の大気圧を含む平均圧力 ( $P_0$ ) や飽和蒸気圧 ( $P_v$ ) が支配的な要因の一つであることから、これらの不確実性を考慮し、保守的に設定する。

① 大気圧を含む平均圧力算定における保守性

$P_0$  は大気圧と開口部下端からの上流側水深の合算によって算定されることから、図4のとおり開口部下端の標高を仮想的に T.P. ±0m と高く設定することにより、相対的に水深を小さくした場合を想定し、保守的に  $P_0$  を算定する。

② 飽和蒸気圧の設定における保守性

泊発電所の設計海水最高温度 26°C よりも高い温度として 30°C を設定する。

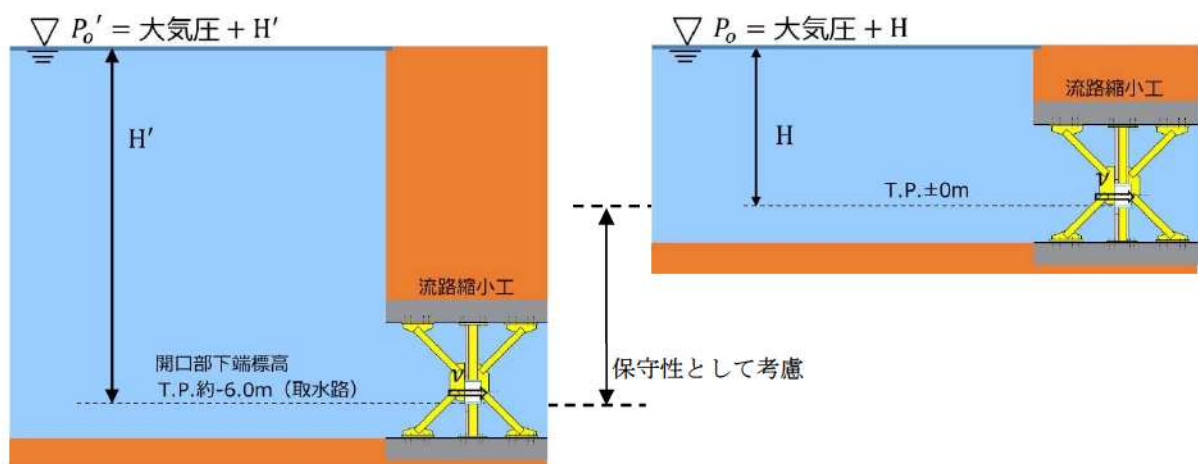


図4 平均圧力  $P_0$  算定時における保守性の考え方

c. キャビテーションの発生の可能性に関する評価

前述の評価方針に基づき、表4のとおり Case 1は「②飽和蒸気圧の設定における保守性」を考慮し、Case 2は更に「①大気圧を含む平均圧力算定における保守性」を考慮して、開口部周辺のキャビテーション係数を評価した（満管状態となっている場合の評価）。

表4 流路縮小工の開口部のキャビテーション係数評価結果

追而  
(キャビテーション係数評価結果について、  
入力津波の解析結果を踏まえて記載する)

流路縮小工設置に伴う取水ポンプ室の水位について、貝付着等の保守的な条件を考慮した場合の1号及び2号炉の安全性等への影響

流路縮小工開口部の貝付着は、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態における取水ポンプ室の水位評価に影響を与えることから、開口部の流速等を踏まえた、開口部への貝付着の可能性について検討した。

(1) 文献調査

坂口<sup>\*</sup>らは、貝等の付着に影響する流速は、壁面付近での流速であり、平均流速が同一でも管径により壁面付近の流速が異なるため、付着限界流速の検討は、壁面付近の流速を対象としなければならないとしている。

また、図1に示す「発電所海水設備の汚損対策ハンドブック（火力原子力発電協会編）」によれば、流速は貝付着の重要な要因とされている。同ハンドブックでは、実験により、管路の流速と海生生物の付着との関係を調べており、壁面流速が1.0m/s以上であれば、付着量は極めて少量で実用上はこの程度の流速でほとんど問題は生じないとされ、1.4m/sでは付着しなかったとしている。

※海水管内の流速と汚損生物付着との関係，化学工学，47(5)，316-318

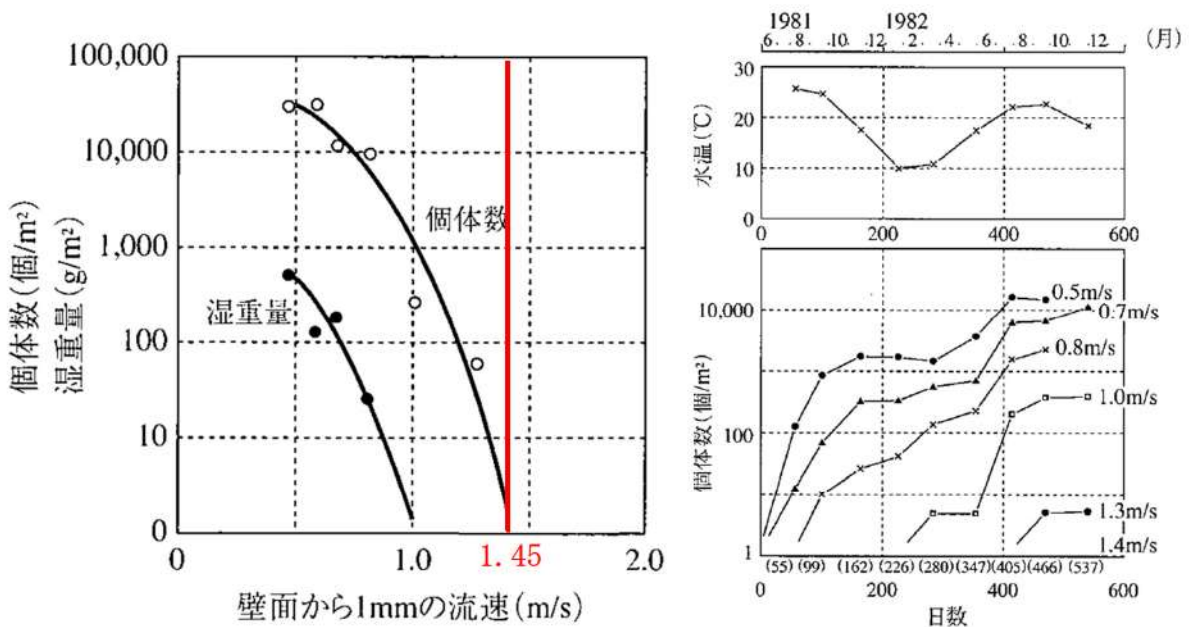


図1 生物付着と流速の関係  
(発電所海水設備の汚損対策ハンドブック p156)

## (2) 貝付着の可能性

流路縮小工開口部の平均流速は 2.31m/s（開口部内径 0.743m，原子炉補機冷却海水ポンプ流量 1.0m<sup>3</sup>/s）であり，対数分布則（図 2 参照）に基づけば壁面流速は 1.45m/s となる。文献によれば，壁面流速が 1.45m/s の場合，付着した貝等の湿重量は 1g/m<sup>2</sup> 未満であることから，流路縮小工開口部は貝等の海生生物が付着しない環境であると考えられる。

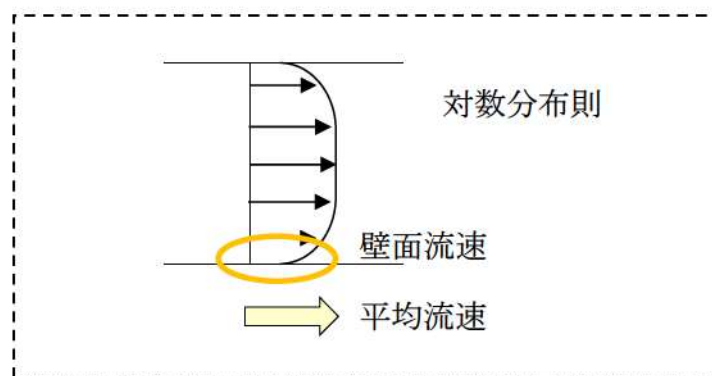


図 2 対数分布則

## (3) 取水ピットポンプ室の水位評価

開口部は貝等の汚損生物が付着しにくい環境にあるが，保守的に貝付着を考慮した場合の取水ピットポンプ室の水位を算定し，原子炉補機冷却海水ポンプの取水性への影響について検討した。

表 1 に貝付着を考慮した場合の取水ピットポンプ室水位を示す。

貝付着厚さの設定にあたっては，貝付着の実績及び貝付着に関する既往文献等を踏まえ，開口部内を一律全面的に貝付着代 10cm<sup>\*</sup> に設定した。この場合，貝付着が無い場合に比べ取水ピットポンプ室の水位は約 1m 下降するが，原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能最低水位から十分余裕があることから，1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態における海水系の取水機能への影響はない（表 1 参照）。

以上のとおり，開口部への貝付着等の保守的な条件を考慮しても，1号及び2号炉の安全性に影響がないことを確認した。

なお，貝等の開口部への付着については，抜水点検で変状有無を定期的に確認していく。

※ 電力土木技術協会(1995)：火力・原子力発電所土木構造物の設計-増補改訂版-に基づき設定。

表1 流路縮小工設置による1号及び2号炉の取水機能への影響（貝代考慮）

| 流路縮小工 | 流量<br>(m <sup>3</sup> /s) | 水路断面積<br>(m <sup>2</sup> )          | 流速<br>(m/s)          | 取水口水位<br>(m)             | 取水ピットポン<br>プ室水位 <sup>※6</sup> (m) | ポンプ取水可能<br>最低水位(m) |
|-------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 設置前   |                           | 12.945                              | 0.08 <sup>※3</sup>   |                          | T.P. -0.15                        |                    |
| 設置後   | 1.0 <sup>※1</sup>         | 0.433<br>(φ0.743m×1条)               | 2.31 <sup>※3,4</sup> | T.P. -0.14 <sup>※5</sup> | T.P. -0.53                        | T.P. -4.17         |
|       |                           | 0.231 <sup>※2</sup><br>(φ0.543m×1条) | 4.33 <sup>※3,4</sup> |                          | T.P. -1.53                        |                    |

※1 原子炉補機冷却海水ポンプ (1,900 m<sup>3</sup>/h≒0.5 m<sup>3</sup>/s) は、取水路1条あたり2台が設置されているため、2台運転時の取水路1条あたりの流量は0.5 m<sup>3</sup>/s×2台=1.0m<sup>3</sup>/sとなる。

※2 貝付着代10cmを考慮

※3 「建設省河川砂防基準(案)同解説 設計編[I]」で定める一般的な設計流速(常時2~5m/s程度)であることから、通水性に問題はない。

※4 流路縮小工部の流速

※5 朔望平均干潮位

※6 取水路の流路縮小工における局所損失(急拡, 急縮)及び摩擦損失を考慮(「参考3」図2参照)



## 流路縮小工の施工方針及び常時における津波防護機能維持の確認方法

流路縮小工の施工に際し、取水路は2条ある水路を切り替えながら施工する計画であり、施工ステップ図及び既往の施工実績を示す。

常時において津波防護機能を維持していく観点から、その機能が喪失しうる事象<sup>※1</sup>を踏まえた設計・施工上等の配慮<sup>※2</sup>を行うとともに、機能が喪失しうる事象の進展速度が緩速であることや先行の類似構造物の維持管理事例等を踏まえ、定期的に抜水点検等により機能が維持されていることを確認することで、流路縮小工の通常時の健全性を維持する方針とする。

- ※1 機能が喪失しうる事象として、砂礫や貝を含んだ海水の流下による開口部表面のすりへり、貝付着による流路の縮小、及び水路内の異物混入による流路阻害。
- ※2 設計・施工上等の配慮として、鋼製部材に対して適切な余裕厚の設定、開口部に貝付着を防止する観点から付着しにくい流速となっていることを確認する。また、定期的な点検時に貝や異物の除去を行う。

### (1) 流路縮小工の施工について

流路縮小工は基準地震動 $S_s$ 及び津波波圧等に十分耐えられるよう頑健で耐久性のある鋼製の構造物として計画している。なお、流路縮小工は1号及び2号炉再稼働の際に撤去し、取水路の復旧を行う。

取水路に設置及び撤去する流路縮小工の施工フローを図1に示す。

工事に当たっては、2条ある取水路を1条ずつ抜水しドライ環境の中で工事を行う<sup>※</sup>。

設置時は、水路内の貝等の付着物の除去を行った後、搬入口から取水路内へ部材を搬入する。次に、取水路の天面及び底面にアンカーボルトを打設し、部材を組み立て固定する。

撤去時は、主梁やスキンプレート等の鋼材を切断、撤去を行った後、アンカーボルトを切断し埋設部分以外撤去する。流路縮小工を設置していた面について、取水路の構造及び機能に影響を及ぼさないよう、取水路同等に表面を仕上げる。

設置並びに撤去の施工完了後、設計上必要な寸法が確保されているか確認を行う。

- ※ 1条ずつ抜水することで1号及び2号炉の取水機能は維持される。

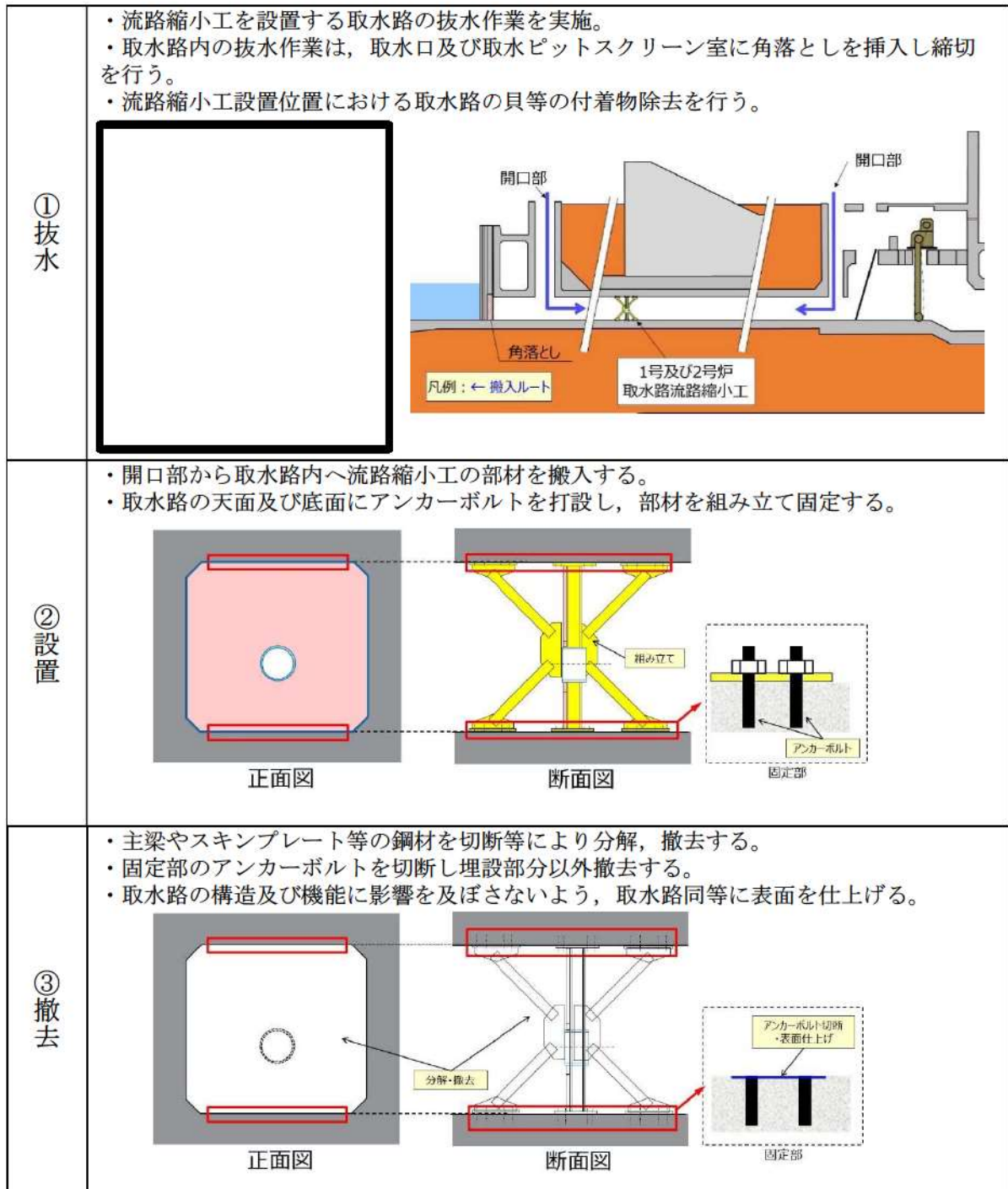


図1 流路縮小工の施工フロー

(2) 既往の施工実績について

既設のコンクリート躯体に対してあと施工のアンカーボルトを用いた施工方法について、安全対策工事等における配管・設備等の耐震補強でも多々実績のある施工方法である。今回の流路縮小工についても、設備重量、施工範囲や施工方法等実績の範囲内にある。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(3) 常時における津波防護機能維持の確認方針について

流路縮小工の常時における津波防護機能維持を図っていく観点から、海水中に設置されていることや構造的な特徴に鑑み機能が喪失しうる事象を挙げ、それを踏まえた設計・施工上の配慮及び事象の進展予想等を行った上で、機能維持の確認方針を検討した。

常時において機能が喪失しうる事象と、それを踏まえた設計・施工上の配慮及び事象の進展予想を表1に示す。

表1 通常時において要求機能を喪失しうる事象を踏まえた設計・施工上の配慮及び事象の進展予想

| 部位の名称        | 要求機能の喪失しうる事象   | 設計・施工上の配慮   | 事象の進展予想   |
|--------------|--|---|---|
| 流路縮小工<br>開口部 | <p>・港湾から供給される砂礫や海生生物(主に貝)を含んだ流水により、開口部表面にすりへり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>正面図                      断面図</p> | <p>・砂礫や海生生物(主に貝)に対して、十分な強度を有するスリーブ(鋼材)で設計を行う。</p>   | <p>・すりへり現象は事象の進展速度が緩速であるものと想定される。</p>                                   |
|              | <p>・貝が開口部内に付着し、開口部の海水が流れにくくなり、取水機能を喪失する。</p> <p>正面図                      断面図</p>                                     | <p>・定期的な点検時に貝の除去を行う。<br/>・文献等を踏まえ貝が付着しない流速を参照し、開口部に貝付着を防止する観点から付着しにくい流速となっていることを確認する。</p> | <p>・貝は時間をかけて成長することから、事象の進展速度が緩速であるものと想定される。<br/>・なお、流速によっては貝が付着しない。</p> |
|              | <p>・水路内に入った貝や異物(貝の死骸等)が開口部前面に付着、堆積し開口部を塞ぐことで開口部の水が流れにくくなり、取水機能を喪失する。</p> <p>正面図                      断面図</p>         | <p>・貝や異物(貝の死骸等)に対して、十分な余裕を有する高さに開口部を設ける。<br/>・定期的な点検時に貝や異物の除去を行う。</p>                     | <p>・貝は時間をかけて成長し、死骸も同様に徐々に増えることから、事象の進展速度が緩速であるものと想定される。</p>             |

流路縮小工は、先に述べたとおり、頑健で耐久性のある鋼製の構造物であるとともに、施工はドライ環境で確実にでき、機能が喪失しうる事象に対しては、設計・施工上等の配慮を行った上で、事象の進展速度が緩速であることを示した。

これを踏まえると、常時における津波防護機能維持の確認方法としては、定期的な抜水点検による点検が有効と考えられる。

施工の段階で寸法管理が確実にできることから、点検については有意な損傷や変状に着目し実施する。

#### 点検内容（案）

- ① 流路縮小工は取水路内部にある海水中に設置された設備となるため、点検は定期点検時に合わせ実施する。
- ② 取水路については定期的な抜水による目視点検、清掃等を実施する。
- ③ 損傷や変状の状況に応じ、詳細な点検を行う。
- ④ 点検結果を踏まえ、必要に応じ点検期間の見直しを行う。

事象の進展影響として各構造物における水位の変動が考えられるが、砂礫や海生生物(主に貝)によるスリーブ(鋼材)のすりへりは微小であり、津波防護機能には影響を及ぼさない。また、貝付着による水位変動については取水機能に影響を及ぼさない(参考5参照)。したがって、水位の経時変化による事象進展の検出は難しく、定期的な抜水等による直接的な点検が維持管理には適しているものと考えられる。

○女川2号炉の審査実績（女川1号炉への取放水路流路縮小工の設置）を踏まえた比較

- ・女川2号炉では、1号炉の取水路及び放水路に流路縮小工を設置し、取水機能及び放水機能へ影響を与えるため、1号炉のプラント状態において機能要求がある系統を抽出し、1号炉への悪影響の整理として、設置変更許可申請書等の記載事項への反映要求を確認している。

- ・泊3号炉も同様に、1号及び2号炉の取水路に流路縮小工を設置するため、泊1号及び2号炉のプラント状態で求められる機能要求への影響について確認した。以下に女川2号炉と泊3号炉を比較した結果を示す。

| No. | 比較項目                                      |        | 泊3号炉   | 女川2号炉   |
|-----|---|--------|--|---|
|     | 1   | 津波防護対策 | 設置対象のプラント<br>津波防護施設  | 1号及び2号炉<br>流路縮小工  |
| 2   | No. 1のプラントの審査上の位置付け                       |        | 供用プラント（設置変更許可申請中）  | 廃止措置プラント  |
| 3   | 審査時のNo. 1のプラント状態                          |        | 原子炉容器へ燃料は装荷されていないプラント停止状態  |   |
| 4   | No. 2かつNo. 3のプラント状態において機能要求がある取水系統*及びその用途 |        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・系統：原子炉補機冷却海水系</li> <li>・用途：上記系統にて、使用済燃料ピットの冷却,外部電源喪失時のディーゼルの発電機の冷却及び空調用冷凍機の冷却を行う。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・系統：①原子炉補機冷却海水系, ②非常用補機冷却海水系</li> <li>・用途：①により使用済燃料プールの冷却, ②により非常用ディーゼル発電機の冷却を行う。</li> </ul> |
| 5   | 津波防護対策に求められる機能要求                          |        | 取水路から敷地への津波の到達, 流入を防止し, 取水機能を維持すること。   |   |
| 6   | No. 5の機能要求を満たすための前提条件                     |        | 海水の取水機能の確保のため, 循環水ポンプ停止が前提   |   |

\*なお、海水の取水系統としては、泊1号及び2号炉は、原子炉補機冷却海水系及び循環水系があり、女川1号炉は残留熱除去海水系、非常用補機冷却海水系、原子炉補機冷却海水系及び循環水系があり、この中から燃料未装荷のプラント停止状態において機能要求がある系統を抽出している。

- ・泊3号炉の流路縮小工は、取水路に設置する津波防護対策であり、女川2号炉の取放水路流路縮小工に求められる機能要求や前提条件（No. 3～6）と同様であるため、設置変更許可申請書等の記載事項への反映等は、女川との相違点（女川1号炉は廃止措置プラント、泊1号及び2号炉は設置変更許可申請中のプラント）を踏まえ女川の審査実績と比較し、整理を行った。

流路縮小工の設備分類,耐震重要度,安全重要度及び許認可上の扱いを女川2号炉の審査実績を踏まえ,以下のとおり整理した。安全重要度は,取水路に設置する津波防護施設に対し重要安全施設とした実績のある高浜3号炉及び4号炉との相違を整理した。

流路縮小工設置による許認可上の取扱い(他社先行プラントとの相違)(1/4)

| 項目    | 泊3号炉  | 女川2号炉との相違  | 高浜3号炉及び4号炉との相違   |
|-------|---|--|--|
| 設備分類  | 津波防護施設  | 相違なし   | 相違なし   |
| 耐震重要度 | 耐震Sクラス  | 相違なし   | 相違なし   |
| 安全重要度 | <p>【対象設備】<br/>流路縮小工</p> <p>【整理結果】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・流路縮小工は,津波が敷地へ到達,流入することを防止し,重要な安全機能を有する設備を防護するために必要な設備であるため,津波防護施設として信頼性を確保した設計とする。</li> <li>・他社先行審査実績でクラス1として設定している外部入力により動作する機構(駆動部)は設けない設計とする。</li> </ul> | <p>【対象設備】<br/>取放水路流路縮小工</p> <p>【整理結果】<br/>相違なし</p> | <p>【対象設備】<br/>取水路防潮ゲート</p> <p>【整理結果】<br/>取水路防潮ゲートは,外部入力により動作する駆動部(ゲート落下機構)を有し,重要安全施設(MS-1)としている。</p> <p>一方,泊の流路縮小工は,外部入力により動作する機構を有しない静的機器であるが,津波が敷地へ到達,流入することを防止し,重要な安全機能を有する設備を防護するために必要な設備であるため,津波防護施設として信頼性を確保した設計とする。</p> |

流路縮小工設置による許認可上の取扱い（他社先行プラントとの相違）（2/4）

| 項目            | 泊3号炉  | 女川2号炉との相違   |
|---------------|---|---|
| <p>設置変更許可</p> | <p>○設置変更許可申請（補正）の要否</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3号炉の津波防護施設の位置付けのため、本文記載事項を変更する工事に該当し、設置変更許可申請（補正）を行う。</li> <li>・1号及び2号炉の新規制基準適合性審査においては、流路縮小工を撤去し、1号、2号及3号炉の共用の津波防護対策として設置変更許可申請（補正）し、適合性について説明する方針である。</li> </ul> <p>○設置変更許可申請書への記載方針</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 設置変更許可申請書 本文             <ul style="list-style-type: none"> <li>・1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないことを前提とすることを記載する。（添付書類十にも記載する。）</li> </ul> </li> <li>➤ 設置変更許可申請書 添付書類八             <ul style="list-style-type: none"> <li>・1号及び2号炉の取水路に流路縮小工、1号及び2号炉の放水路に逆流防止設備を設置することから、1号及び2号炉の循環水ポンプの停止を前提とすることを記載する。（1.5耐津波設計）</li> <li>・1号及び2号炉の取水路及び放水路に対しては、津波の流入を防止するため、流路縮小工及び逆流防止設備を設置することが、1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計とすることを記載する。（10.6 津波及び内部溢水に対する浸水防護設備）</li> </ul> </li> </ul> <p>○津波防護施設として1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計<br/>流路縮小工設置後も原子炉補機冷却海水系に必要な流量を確保し、1号及び2号炉の取水機能に影響を与えない設計とする。</p> | <p>○設置変更許可申請（補正）の要否</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・相違なし</li> <li>・女川1号炉は廃止措置プラントであるが、泊は設置変更許可申請中のプラントであることを踏まえた整理。</li> </ul> <p>○設置変更許可申請書への記載方針</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 設置変更許可申請書 本文             <ul style="list-style-type: none"> <li>・相違なし</li> </ul> </li> <li>➤ 設置変更許可申請書 添付書類八             <ul style="list-style-type: none"> <li>・相違あり（ただし、島根2号炉と相違なし）</li> <li>・相違なし</li> </ul> </li> </ul> <p>○津波防護施設として1号炉に悪影響を及ぼさない設計<br/>相違なし</p> |

管路縮小工設置による許認可上の取扱い（他社先行プラントとの相違）（3/4）

| 項目            | 泊3号炉   | 女川2号炉との相違   |
|---------------|--|---|
| <p>工事計画認可</p> | <p>○設計及び工事の計画の認可申請の要否</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3号炉の外郭浸水防護設備として、設計及び工事の計画の認可を申請する。</li> <li>・設置変更許可で示した管路縮小工の機能及び仕様を含め、3号炉の工事計画書の本文及び添付資料で詳細設計の結果を示す。</li> </ul> <p>○工事計画書への記載方針</p> <p>管路縮小工は1号及び2号炉の取水路内に設置するため、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態の1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプの維持が必要であることを踏まえ、通常時及び外部電源喪失時における原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の取水機能に影響がない設計とすることを「基本設計方針」及び「添付書類（設備別記載事項の設定根拠に関する説明書）」に記載し、管路縮小工の開口径を「要目表」に記載する。</p> <p>○津波防護施設として1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計</p> <p>設置変更許可申請書へ1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計とすることを記載するに当たり、管路縮小工について以下を考慮し設計する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機冷却海水ポンプの定格容量を確保でき、取水機能に影響を与えない開口寸法を設定する。</li> <li>・管路縮小工の開口部について、自主的に設置している貯留堰の天端高さ（T.P.-3.0m）及び原子炉補機冷却海水ポンプ取水可能水位（T.P.-4.17m）よりも下方に設ける（管路縮小工開口部下端高さ T.P.-6.00m）ことで津波による引き波時の海水貯留容量に影響を与えない設計とする。</li> </ul> | <p>○設計及び工事の計画の認可申請の要否</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・相違なし</li> <li>・相違なし</li> </ul> <p>○工事計画書への記載</p> <p>相違なし</p> <p>○津波防護施設として1号炉に悪影響を及ぼさない設計</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・相違なし</li> <li>・女川2号炉の審査資料において、取水路管路縮小工に求められる要求事項として、基準津波による水位の低下に対して冷却に必要な海水が確保（貯留）できるところとしているが、泊の管路縮小工に津波による引き波時の海水貯留機能は期待せず、自主的に設置している貯留堰の海水貯留容量に影響を与えない設計とする。</li> </ul> |



流路縮小工設置による許認可上の取扱い（他社先行プラントとの相違）（4/4）

| 項目               | 泊 3号炉  | 女川2号炉との相違   |
|------------------|--|---|
| <p>原子炉施設保安規定</p> | <p><b>【原子炉施設保安規定上直接影響がある条文】</b><br/>                     ○第 73 条（ディーゼル発電機－モード 1、2、3 および 4 以外一）<br/>                     ・非常用発電機を含め、ディーゼル発電機 2 基が動作可能であること<br/>                     ○第 82 条（使用済燃料ピットの水位および水温）<br/>                     ・使用済燃料ピットの水位が T.P. 30.47m 以上であること<br/>                     ・使用済燃料ピットの水温が 65℃ 以下であること<br/> <b>【原子炉施設保安規定上の影響】</b><br/>                     流路縮小工設置後においても、1 号及び 2 号炉の原子炉補機冷却海水系に必要な流量は確保することが可能であるため、原子炉施設保安規定上の影響はない。</p> | <p><b>【原子炉施設保安規定上直接影響がある条文】</b><br/>                     相違なし</p> <p><b>【原子炉施設保安規定上の影響】</b><br/>                     相違なし</p> |

## 流路縮小工に係る各審査段階の説明内容について

流路縮小工は、3号炉新規制基準適合性審査の中で津波防護施設の位置付けであるため、津波時における敷地への津波の到達、流入防止機能が要求される。また、1号及び2号炉の取水路内に設置することから、1号及び2号炉の取水機能に悪影響を与えない設計とする。

流路縮小工の設置により1号及び2号炉の循環水ポンプの運転に必要となる海水取水量の確保が困難になることから、設置変更許可申請書本文に「1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないことを前提とする」ことを記載した上で、添付書類八に「1号及び2号炉の循環水ポンプの停止を前提とする」ことを記載する。

以上を踏まえ、流路縮小工について3号炉の設置変更許可段階及び工事計画認可段階の説明内容を次表のとおり整理した。

表 1 流路縮小工に係る各審査段階の説明

| 項目   | 3号炉設置変更許可  | 3号炉工事計画認可   |
|--|--|---|
| <p>基本設計方針</p>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>取水路から遡上する津波が敷地への到達、流入することを防止するため、津波防護施設として1号及び2号炉取水路に1号及び2号炉取水路流路縮小工を設置することをご説明する。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>津波防護施設のうち流路縮小工については、1号及び2号炉の取水路からの津波の流入を抑制し、入力津波に対して浸水を防止する設計とする。また、1号及び2号炉の取水機能に悪影響を及ぼさない設計とする。</li> <li>流路縮小工については、津波防護機能並びに1号及び2号炉の取水機能を維持する運用を保安規定に紐づくQMS文書に定めて管理する。</li> <li>開口径について、設計値である公称値（取水路：φ0.743m）を示すとともに、外郭浸水防護設備として津波の流入を防止する設計確認値（上限値）の設定根拠をご説明する。</li> </ul> |
| <p>1号及び2号炉の取水路からの敷地への津波の流入防止（3号炉 津波防護機能）</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>流路縮小工の開口径について、取水ピットスクリーン室の入力津波高さが敷地 T.P. 10.0m を超えない高さとなる径の最大開口（設計確認値（上限値））とし、最大開口径に対し、流路縮小工の開口径（φ0.743m）が十分に裕度を持った値であることをご説明する。</li> </ul> |   |

表 1 流路縮小工に係る各審査段階の説明 (続き)

| 項目                            | 3号炉設置変更許可  | 3号炉工事計画認可   |
|-------------------------------|--|---|
| <p>通常時の1号及び2号炉の取水機能への影響</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>開口径の縮小は水路の損失水頭を増加し、取水ピットスクリーン室水位の低下につながることから原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能に影響を与えるため、通常時の取水ピットスクリーン室水位が1号及び2号炉原子炉補機冷却海水ポンプの取水可能最低水位 (T.P.-4.17) を下回らない高さとなる開口径を最小開口径 (設計確認値 (下限値)) とし、その最小開口径 (φ0.430m) に対し、流路縮小工の開口径 (φ0.743m) が十分な余裕を持った開口径であることをご説明する。</li> <li>通常時において、開口部への貝等の付着の可能性を整理した上で、貝等の付着により開口径が縮小した場合であっても、最小開口径 (設計確認値 (下限値)) に対して十分な余裕があることをご説明する。</li> <li>海水中に含まれる砂による取水機能への影響を評価し、流路縮小工設置後も原子炉補機冷却海水ポンプの取水性に悪影響を与えない設計とすることをご説明する。</li> <li>引き波時の水位低下に対して、流路縮小工に貯留機能はないが、1号及び2号炉の使用済燃料ピットの水温上昇と保安規定上の制限値に到達するまでの期間を評価し、保安規定第17条の2 (電源機能等喪失時の体制の整備) に基づく代替手段 (送水ポンプ車等) により対応できることを確認した結果についてご説明する。</li> <li>なお、自主対策として貯留堰*を設置している。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>開口径について、設計値である公称値 (取水路: φ0.743m) を示すとともに、1号及び2号炉原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の取水機能に影響を及ぼさない設計確認値 (下限値) の設定根拠をご説明する。</li> </ul> |
| <p>通常時の漂流物の閉塞による取放水機能への影響</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>通常時の1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能維持の観点で、取水路内に流入する可能性がある漂流物を選定し、漂流物の大きさや形状等から流路縮小工の閉塞の可能性についてご説明する。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>漂流物の影響に関しては、3号炉設置変更許可からの漂流物の変更有無を踏まえ、取水機能が確保されていることをご説明する。</li> </ul>  |

※1号及び2号炉の新規制基準適合性審査において基準適合性をご説明する。

表 1 流路縮小工に係る各審査段階の説明 (続き)

| 項目                               | 3号炉設置変更許可   | 3号炉工事計画認可  |
|----------------------------------|---|--|
| <p>施設管理</p>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>保安規定に紐づく社内規定類で定める保全計画に基づき、定期的な放水による点検、清掃等を実施し、変状が確認された場合は、詳細な調査を行うことをご説明する。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>3号炉設置変更許可の内容に基づき、保安規定に紐づく社内規定類で定める保全計画に基づき施設管理をしていくことをご説明する。</li> </ul>                   |
| <p>通常時に閉塞・閉固着した場合の異常の検知性について</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>通常時の1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプの取水機能維持の観点で、流路縮小工が仮に閉塞した場合における検知の方法についてご説明する。また、検知後の対応として、中央制御室で異常を検知した後、保安規定に紐づくQMS文書に基づき対応することをご説明する。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>3号炉設置変更許可の内容に基づき、検知方法及び保安規定に紐づくQMS文書に基づき対応することをご説明する。</li> </ul>                          |
| <p>流路縮小工の損傷モードを踏まえた設計</p>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>流路縮小工の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・施工上の配慮事項を示した上で、梁の追加によるアンカーボルトの増設・分散配置、強度を考慮した板厚の設定、構造補強を行うことで、構造成立性の確保は可能であることをご説明する。</li> <li>また、開口部付近において流速が高まりキャビテーションが発生する事象に対し、開口部にかかる大気圧を含む平均圧力を保守的に設定した条件で評価を行い、キャビテーションの影響が無いことをご説明する。</li> <li>砂礫や海生生物(主に貝)によるすり減り事象に対して、十分な強度を有するスリーブ(鋼材)で設計を行うことをご説明する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>3号炉設置変更許可で示した方針、要目表に示す設計値を踏まえ、津波時及び重畳時における耐震計算書及び強度計算書にて十分な構造強度を有していることをご説明する。</li> </ul> |

## 1号及び2号炉放水路逆流防止設備について

## 1. はじめに

1号及び2号炉放水路逆流防止設備（以下「逆流防止設備」という。）は、1号及び2号炉の放水路を遡上する津波に対して、1号及び2号炉放水ピット立坑、1号及び2号炉原子炉補機冷却海水放水ピット上端開口部並びに1号及び2号炉原子炉補機冷却海水配管破壊板から敷地への津波の到達、流入を防止するために必要な設備であり、3号炉新規規制基準適合性審査の中で津波防護施設として整理している。逆流防止設備の設置位置を図1に示す。



図1 1号及び2号炉放水路逆流防止設備の設置位置

## 2. 逆流防止設備の設置目的と構造概要

## (1) 逆流防止設備の設置目的

逆流防止設備は、1号及び2号炉の放水路から遡上する津波に対して、放水路内で逆流防止設備のフラップゲートが閉止することで、津波が1号及び2号炉放水ピット等から敷地への到達、流入するのを防止するために設置する。

## (2) 逆流防止設備に対する要求事項

## a. 逆流防止設備に求められる機能

逆流防止設備は、通常時及び外部電源喪失時において以下の機能が要求される。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

(a) 津波時における敷地への津波の到達，流入防止

基準津波による放水路からの津波の遡上に対して，逆流防止設備のフラップゲートで流路を閉止すること（構造成立性\*を含む）。

※逆流防止設備の構造成立性についての検討結果は参考3参照。

(b) プラント停止状態における1号及び2号炉の放水機能

逆流防止設備を設置しても，1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態における，通常時及び外部電源喪失時の1号及び2号炉の放水機能に影響がないこと（原子炉補機冷却海水ポンプの放水機能維持）。

b. 逆流防止設備の許認可上の位置付けについて

(a) 逆流防止設備の設備分類について

逆流防止設備は，津波が放水ピット等から敷地への到達，流入するのを防止するための設備である。本設備は，土木構築物である防潮堤直下の放水路に設置し，放水路（4m×3.4m）の規模を踏まえて，津波防護施設として扱う。

(b) 逆流防止設備の耐震重要度及び安全重要度

○耐震重要度：耐震Sクラス

津波防護施設であることから，耐震Sクラスに該当する。

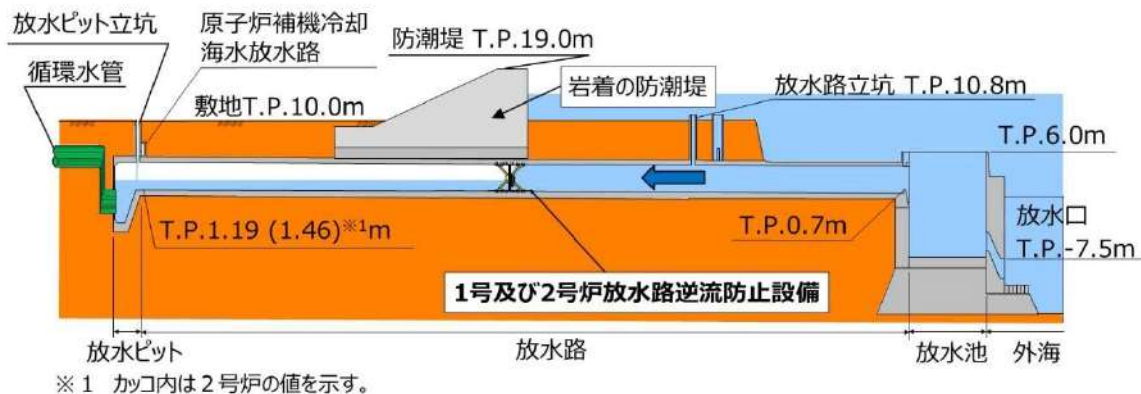
○安全重要度

- ・逆流防止設備は，津波が敷地へ到達，流入することを防止し，重要な安全機能を有する設備を防護するために必要な設備であるため，津波防護施設として信頼性を確保した設計とする。
- ・他社先行審査実績でクラス1として設定している外部入力により動作する機構（駆動部）は設けない設計とする。
- ・津波防護施設の安全重要度に関する他社先行審査実績は，参考1参照。

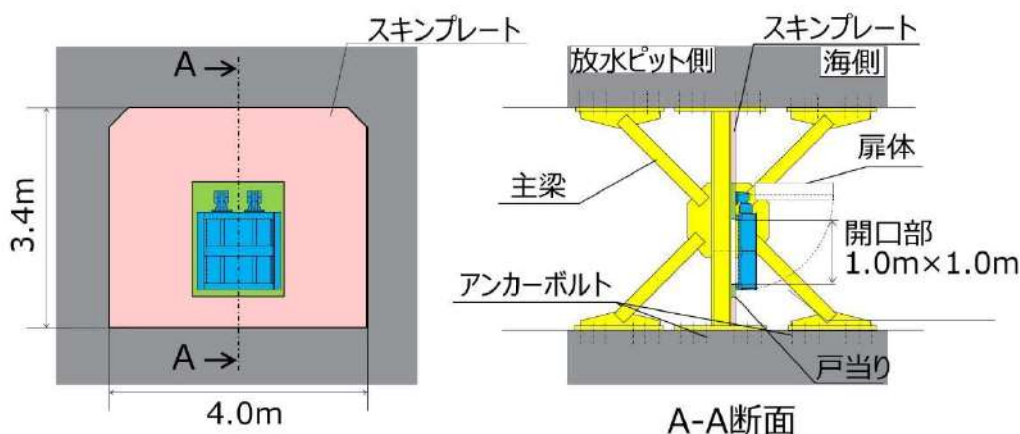
(3) 逆流防止設備の構造概要（図2参照）

逆流防止設備は，主梁，スキンプレート，フラップゲート及びアンカーボルトから構成する鋼製の構造物とし，岩着の防潮堤直下にある放水路内に設置する。逆流防止設備の設置は，放水路の底面及び天井面をアンカーボルトで固定する。

逆流防止設備には，1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプの排水を放水するため，開口部（1.0m×1.0m×4条）を設けるとともに，津波時に流路を閉止するためのフラップゲートを開口部に設ける。



【1号及び2号炉放水系断面図】



【逆流防止設備拡大イメージ図】

図2 1号及び2号炉放水路逆流防止設備の構造例（水位は津波時のイメージ）

#### （4）逆流防止設備の最小開口寸法について

逆流防止設備は、1号及び2号炉放水路から敷地への津波の到達、流入を防止することに加え、1号及び2号炉原子炉補機冷却海水系等からの排水の放水機能に影響を与えないことが求められる。

津波の流入防止の観点からは、逆流防止設備のフラップゲートが動作することにより津波の流入を防止することができる。一方で、通常時は、フラップゲートが設置されている開口部から排水されることから、開口部が小さくなると水路の損失水頭が増加し、放水機能に影響を与える。従って、逆流防止設備の開口寸法について、1号及び2号炉原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の放水機能に影響を及ぼさない設計確認値（下限値）を検討する。

設計確認値（下限値）については、放水ピット立坑水位が原子炉補機冷却海水放水路下端高さを上回らない開口寸法を最小開口寸法（設計確認値（下限値））とした。最小開口寸法の検討に用いる指標高さは、1号炉と2号炉のうち、より低い高さにある1号炉の高さ（T.P. 5.29m）を使用した。検討の結果、放水機能に影響を与えない最小開口寸法は0.46m×0.46mであり、その場合の放水ピット立坑水位はT.P. 5.22mとなった。



以上より、逆流防止設備の開口寸法（1.0m×1.0m）は、放水性に対して十分な余裕を持った開口寸法である。

（５）砂移動及び洗堀土砂による閉機能への影響について

逆流防止設備のフラップゲート下端高さは、放水路底面より約 0.7m 高い位置に設置することから、基準津波による砂移動に伴い逆流防止設備前面に砂が堆積した場合にも、砂の堆積高さがフラップゲート下端高さまで到達し、逆流防止設備の閉機能を阻害することは考え難い。また、1号及び2号炉放水路の防潮堤より海側には、放水路内へのアクセス用に立坑開口部を設置しているが、立坑開口部周辺はコンクリート舗装されており、基準津波による洗堀土砂が放水路立坑開口部から放水路内に流入することはない。

以上より、基準津波による砂移動及び洗堀土砂が逆流防止設備の閉機能に影響を及ぼすことはない。

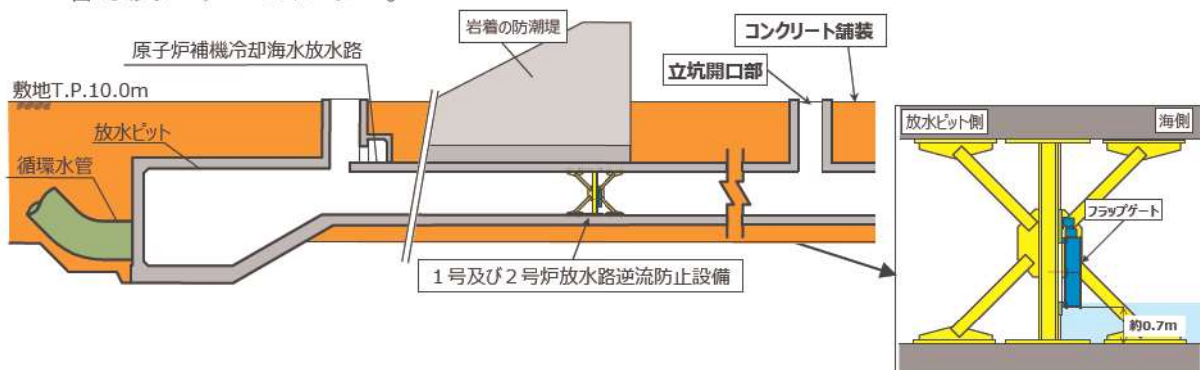


図3 1号及び2号炉放水路逆流防止設備の設置イメージ図

（６）漂流物による開閉機能への影響について

(a) 津波時の漂流物の選定について

図4及び図5に示すとおり、1号及び2号炉放水路下口（放水面積：3.0m×4.0m，4口）がある1号及び2号炉放水池は、3号炉取水口と同じ発電所の港湾内に位置し、放水路下口の離隔は約580m程度であるため、1号及び2号炉放水路内に設置する逆流防止設備の閉機能可能性の検討において考慮すべき漂流物は、3号炉取水口が閉塞する可能性で考慮した漂流物と同様と考える。

「別添資料1 2.5(2)津波の二次的な影響による非常用海水冷却系の機能保持確認」において、上記と同様に3号炉取水口が閉塞する可能性を評価しており、3号炉取水口前面に到達する可能性がある施設・設備として、発電所敷地内からは、導標、防波堤灯台、車両、大地電位上昇用保安装置、制御盤等、非常用発電機収納盤、鋼管杭モニタリングボックス及び魚類迷込防止網等を考慮し、発電所敷地外からは、発電所復水冷却器水放流孔表示ブイ、航路表示ブイ、漁業権消滅区域表示ブイ、漁業制限区域表示ブイ、波高計・流向流速計、養殖施設、定置網・刺網、標

識ブイ、がれき等を考慮したが、3号炉取水口の取水面積との比較や形状、水面を浮遊することから、いずれも3号炉取水口を閉塞することはないと評価している。

3号炉取水口が閉塞する可能性で考慮した漂流物のうち漂流はせずに滑動するものについては放水地上部から入る可能性は低く、仮に放水池に入った場合においても比重が大きいことから放水池底部に留まることから1号及び2号炉放水路下口に到達することはない。

一方、漂流するものについては到達する可能性がある。

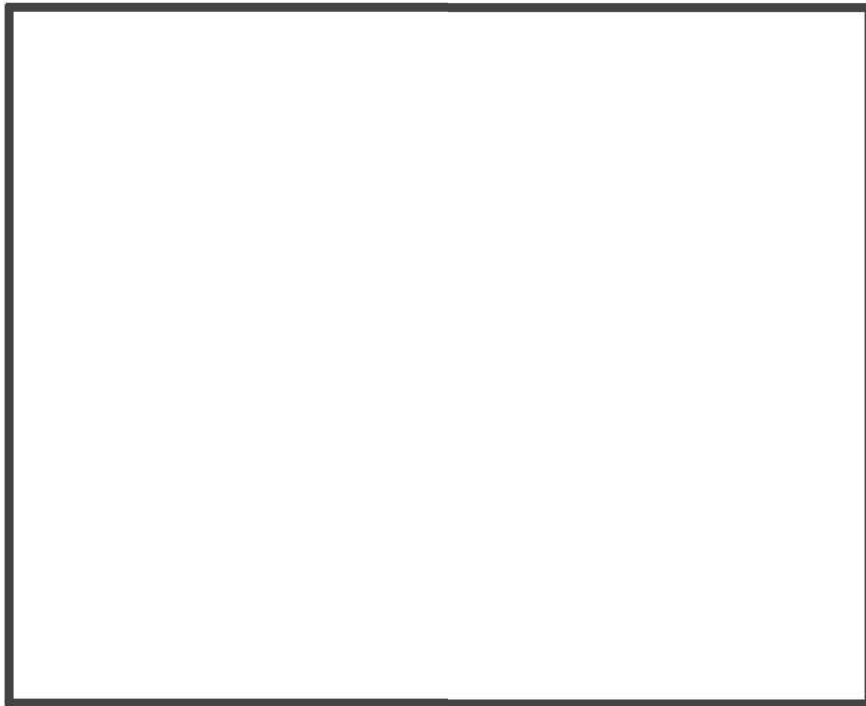


図4 1号及び2号炉放水路下口と3号炉取水口の位置関係

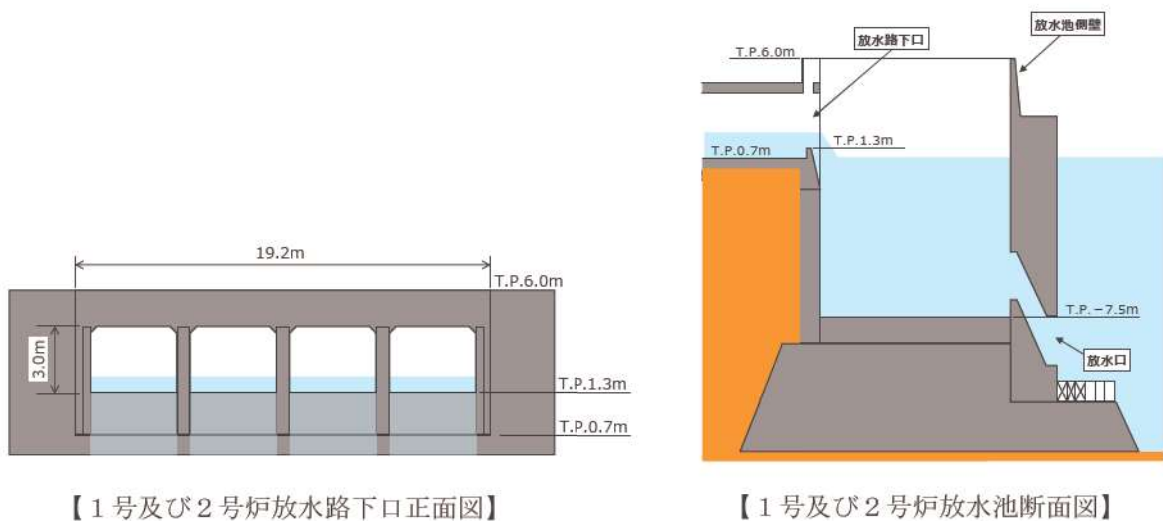


図5 1号及び2号炉放水路下口概要図

(b) 漂流物による開閉機能への影響について

通常時及び津波来襲時に漂流物が1号及び2号炉放水路下口に到達し、1号及び2号炉放水路内に設置する逆流防止設備の開閉機能を喪失させる可能性について評価した。

通常時及び津波来襲時における、漂流物による逆流防止設備の機能喪失要因を表1に整理した。

表1 漂流物により想定される機能喪失要因

| 状況    | 要求機能            | 漂流物により想定される機能喪失要因  | 概要図   |
|-------|-----------------|--|---|
| 通常時   | 開機能<br>(放水機能)   | 逆流防止設備のフラップゲートを構成する扉体と放水路躯体の間に堆積した漂流物が挟まり、フラップゲートの開機能を喪失（放水機能を喪失）する。 | <p>この図は、通常時の放水機能喪失のメカニズムを示しています。放水ピット側（左）と海側（右）の水位差により、放水路内に漂流物が堆積し、扉体と躯体の間に挟まり、開機能を喪失する。図には「放水ピット側」、「海側」、「扉体」、「漂流物」、「戸当り」などのラベルがあり、水流の方向（FLOW）も示されています。</p>                |
| 津波来襲時 | 閉機能<br>(津波防護機能) | 逆流防止設備のフラップゲートを構成する扉体と戸当りの間に堆積した漂流物が挟まり、フラップゲートの閉機能を喪失（津波防護機能を喪失）する。 | <p>この図は、津波来襲時の閉機能喪失のメカニズムを示しています。津波により、扉体と戸当りの間に漂流物が挟まり、閉機能を喪失する。図には「放水ピット側」、「海側」、「扉体」、「戸当り」などのラベルがあり、水流の方向（FLOW）も示されています。また、「漂流物が扉体と戸当りの間に挟まり扉体が閉とならない」という説明が添えられています。</p> |

通常時及び津波来襲時における、想定される漂流物の挙動を表2に示す。表2に示すとおり、通常時においては、放水路内の水位差により放水ピット側から海側（放水池側）へ海水（系統水）による水流が生じるため、放水池から水流に逆らって漂流物が放水路内に流入することはない。

第1波の押し津波来襲時においては、1号及び2号炉放水路下口（3.0m×4.0m）は、放水池の側壁よりも低い位置に接続されていることから、放水池の側壁を超えて漂流物が放水池内に入るときには放水路は水没しており、津波により漂流物が放水路内に入りにくい構造となっている。また、放水池天端（T.P. 6.0m）まで水位が上昇した場合、フラップゲートは閉止しているため、放水路内を漂流物を含む津波が遡上することはない。

第1波の押し波によって漂流物が放水路に入ることにはないが、放水池天端より水位が上昇した後、引き波に転じ、放水池天端から漂流物が放水池に入ることが考えられる。この際、漂流物が選択的に放水池に入るとは考えにくい。漂流物が放水池に残存した場合は、第2波の押し波によって放水池に残存する漂流物が放水路下口から流入する可能性がある。ただし、第2波の押し波では、放水地内の水位が上昇し上向きの流れが支配的となると考えられ、放水路へ流入する方向へは流れずらいことから、可能性は低いものと想定される。また、放水口下口には図6に示すようなパイプスクリーンが設置されるため、大きな漂流物の流入は防止される。また、パイプスクリーンは溶接接合した構造とするため、仮に変形するようなことがあっても、個々の鋼材が分離し漂流物化することや大きな開口が生じることは考えにくい。

仮に放水池の水位上昇に伴い、放水路へ流入した場合においても漂流物が逆流防止設備に到達する前に、逆流防止設備のフラップゲートは閉止すると考えられる。

以上より、逆流防止設備が漂流物によって機能喪失する可能性はない。

表2 想定される漂流物の挙動 (1/2)

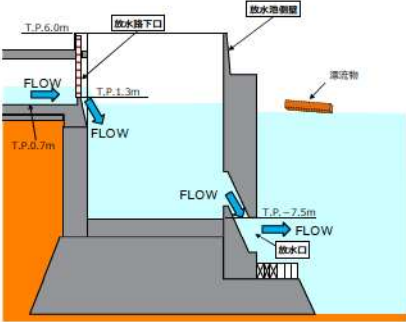
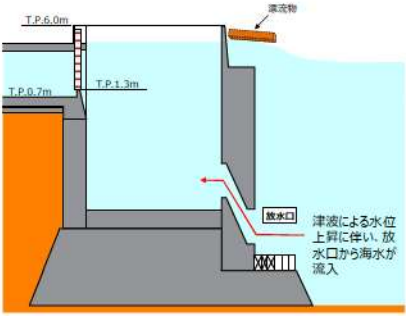
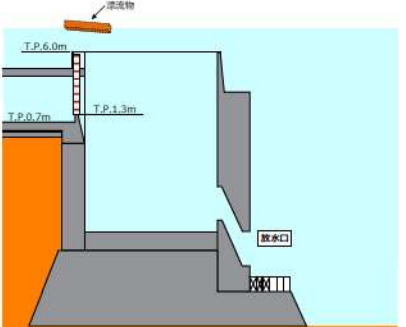
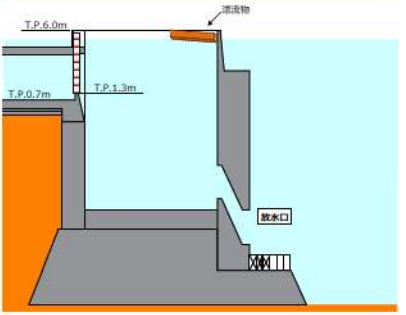
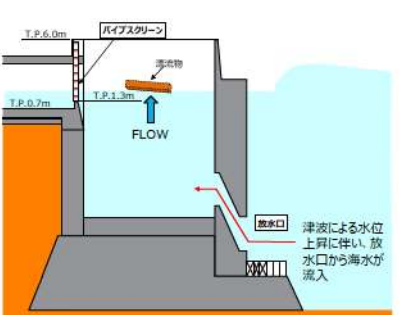
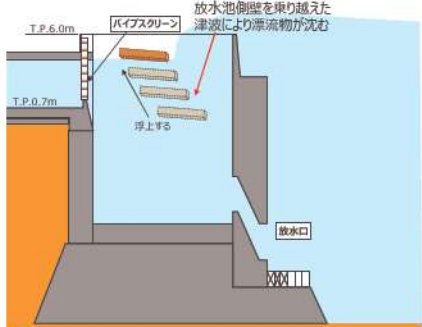
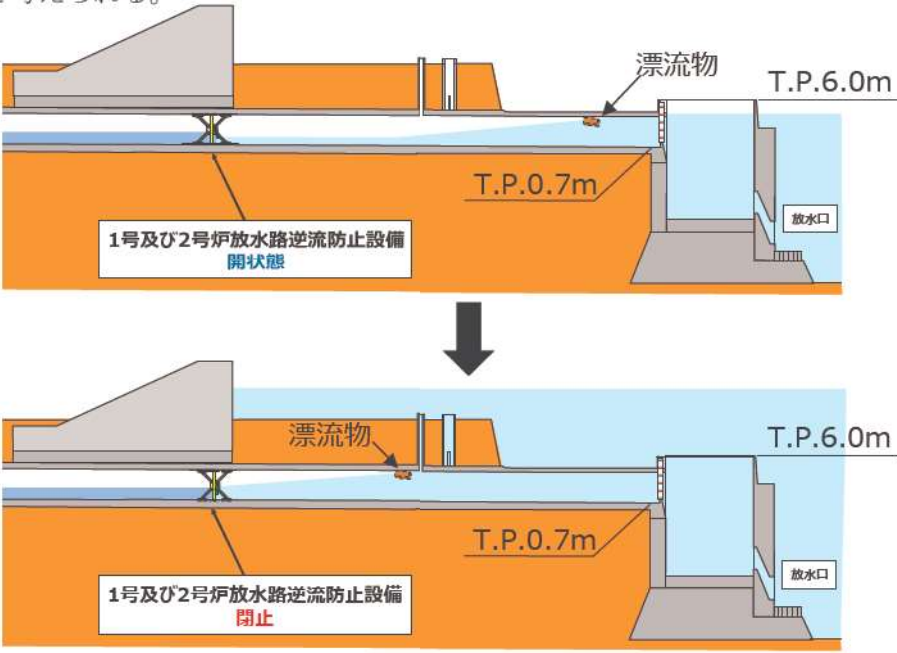
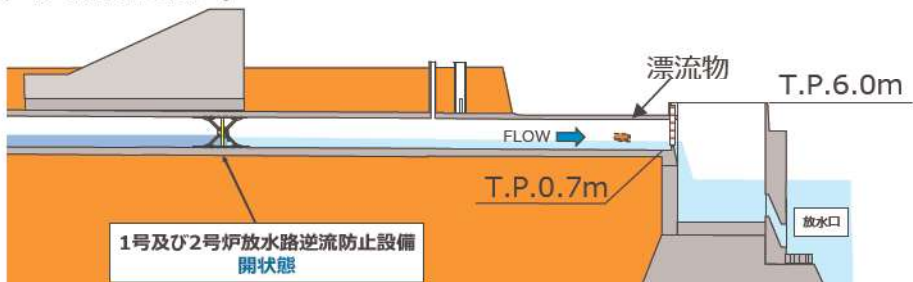
| No. | 想定される漂流物の挙動   |
|-----|---|
| 1   | <p><b>【通常時】</b><br/>通常時においては、放水路内の水位差により放水ピット側から海側（放水池側）へ海水（系統水）による水流が生じるため、放水池から水流に逆らって漂流物が放水路内に流入することはない。</p>   |
| 2   | <p><b>【押し波第1波】</b><br/>津波による水位上昇に伴い海水が放水池に流入するが、漂流物が放水池の側壁を超える際には既に放水路は水没しており、フラップゲートは閉状態となることから、漂流物が扉体と戸当りの間に挟まる恐れはない。</p>   |
| 3   | <p><b>【押し波第1波】</b><br/>更に水位上昇した場合は、放水池天端以上の水位で漂流物が浮遊する。</p>    |
| 4   | <p><b>【引き波】</b><br/>引き波に転じると、放水池天端以上の水位で浮遊する漂流物が水位の低下に伴い、放水池に入る可能性がある。</p>    |
| 5   | <p><b>【押し波第2波】</b><br/>第2波の押し波では、海中の放水口からの津波の流入により、放水池の水位が上昇する。海中の放水口からの津波の流入のため、上向きの流れが支配的となると考えられ、放水池に残存した漂流物は、放水路へ流入する方向へは流れにくい。また、放水路下口に設置するパイプスクリーンにより流入は防止される。</p>  |

表2 想定される漂流物の挙動 (2/2)

| No. | 想定される漂流物の挙動  |
|-----|--|
| 6   | <p><b>【押し波第2波】</b><br/>                     放水池側壁を乗り越えた津波により放水池内の漂流物が沈められてとしても、浮力によって、水面まで上昇することから放水路へは流入しない。</p>    |
| 7   | <p><b>【押し波第2波】</b><br/>                     No. 6までの想定において、放水路へ漂流物は流入しにくい構造であると考えられるが、仮に比較的小さな漂流物が放水路へ流入した場合を想定しても、漂流物は浮遊していることから逆流防止設備に到達する前に、逆流防止設備のフラップゲートは閉止すると考えられる。</p>     |
| 8   | <p><b>【押し波第2波以降】</b><br/>                     泊発電所の基準津波の特性を踏まえると、押し波の第2波以降は、第3波到達まで時間、第3波と第4波の間の時間が空くことから、放水路に流入した漂流物は放水池側へ流れていくと考えられ、放水路内（逆流防止設備付近）に残存した状態で押し波が到達する可能性は低い。</p>  |

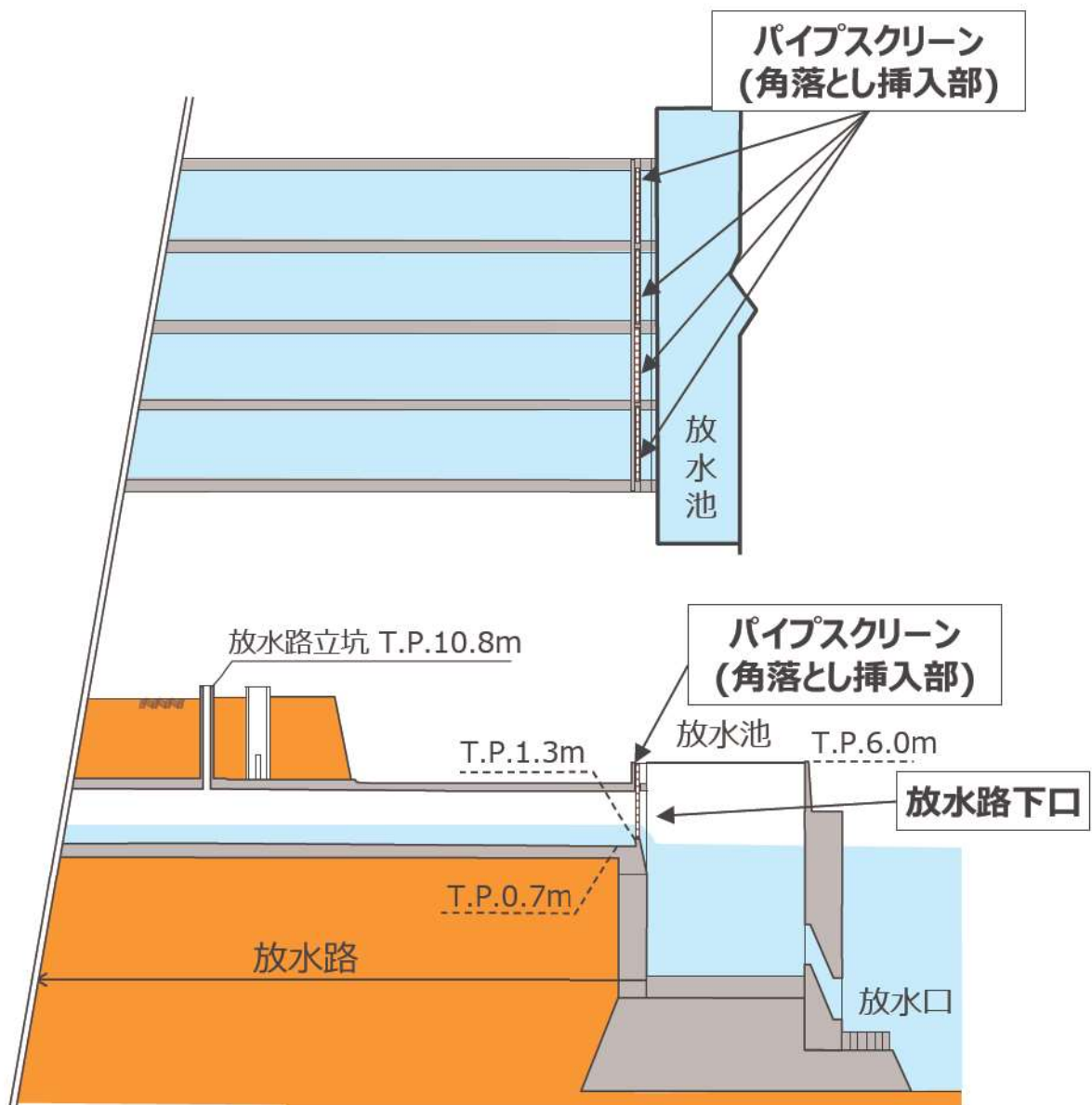


図6 パイプスクリーン計画

(7) 海生生物による閉機能への影響について

1号及び2号炉の放水路について、現在プラント停止状態で循環水ポンプは停止中（逆流防止設備が運用される条件と同様）であり、1号及び2号炉の放水路の至近の定期点検（2023年2月）時における調査結果では、前回定期点検（2021年2月）後からの新たな貝等の付着は確認されていない（写真1参照）。

また、1号及び2号炉の放水路に設置する逆流防止設備の開口部は1.0m×1.0mであり、水路の断面縮小に伴い逆流防止設備の開口部の流速が増大するため、逆流防止設備設置前より海生生物が付着しにくい環境となる（添付資料31参考5参照）。

さらに、循環水ポンプ停止中において放水路内を流下する海水は、主として原子炉補機冷却海水であり、原子炉補機冷却海水系には海生生物の成長による機器の閉塞を防ぐ目的で、地元との安全協定の範囲内で次亜塩素酸ナトリウムを注入しており、海生生物の成長が抑制された水質環境となっている。

加えて、放水路の定期的な点検と清掃については逆流防止設備設置後も継続して実施され、点検、清掃範囲に変更はないことから、海生生物が仮に滞留部等に堆積が確認されたとしても定期的に除去される。

以上より、海生生物の付着による逆流防止設備の閉機能への影響はない。





2023年2月点検時の写真



(参考：新たな貝が付着した状態)  
2012年定検時の除貝前の壁面写真  
※循環水ポンプ停止運用前  
黒色部分は全て貝



2023年2月点検時の写真(壁面拡大)  
新たな貝の付着なし

写真1 1号炉放水路の貝付着状況

(8) 通常時に逆流防止設備が開固着する可能性と異常の検知性について

逆流防止設備は3号炉の津波防護施設として、基準津波による放水路からの津波の遡上に対し、敷地への津波の流入防止の観点で、フラップゲートが確実に動作する必要があることから、通常時に健全な状態を維持することが求められる。通常時に開固着が発生する可能性について検討し、通常時に逆流防止設備が開固着した場合の検知性について整理した。

(7)に記載の通り、前回点検からの新たな貝等の海生生物は確認されておらず、逆流防止設備の戸当たり部等に貝等が付着し、フラップゲートの閉機能が阻害されることや摺動部が固着することは考え難い。

また、フラップゲートは水路を流れる海水の流量によって開閉する構造であり、一定の開度に固定して使用する構造ではなく、流量の変化や波立ち等によって開度が適宜変わるため、焼き付き等の要因で固着することも考え難い。

さらに、フラップゲートの回転中心となるリンクピンの位置は、水路よりも上部に位置しており、海水中に水没していないことから、急激な腐食等による固着の可能性も考え難い。

この他にも通常時に逆流防止設備の津波防護機能が喪失しうる事象として、参考4に示したとおり、摺動部の経年劣化、流水による開口部のすりへり、砂の堆積等が考えられるが、これらの事象の進展速度は非常に緩やかであることに加え、逆流防止設備は十分な強度を有するよう設計上の考慮を行うことから、定期的な抜水による直接的な設備点検や清掃を行うことで設備の維持管理が可能であり、通常時にこれらの要因による異常発生の可能性は考え難い。

以上を踏まえ、逆流防止設備が通常時に開固着する可能性は低いと評価する。なお、3号炉の津波防護施設として、津波時に確実に動作することが求められることから、図7に示すように、防潮堤外側の点検口から定期的にカメラを挿入し、水流によって動作するフラップゲートの状況から、フラップゲートの軸が固着していないことを確認する。異常が確認された場合、閉塞側の放水路を隔離、抜水し、保守を行うことで固着事象への対応を行う。対応手順は保安規定に紐づく品質マネジメントシステム文書（以下「QMS文書」という。）に定める。

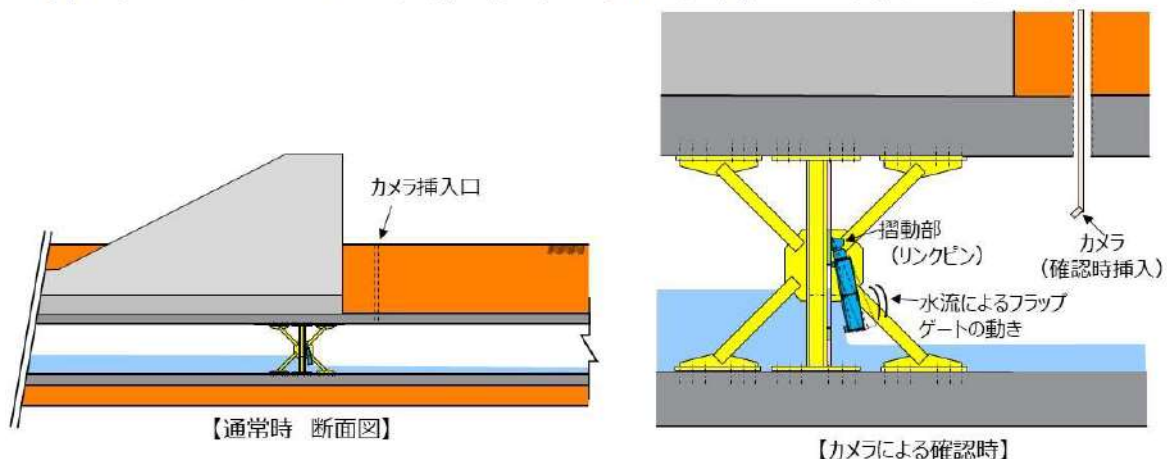


図7 フラップゲートのカメラによる確認のイメージ図

### 3. 逆流防止設備設置による1号及び2号炉への影響について

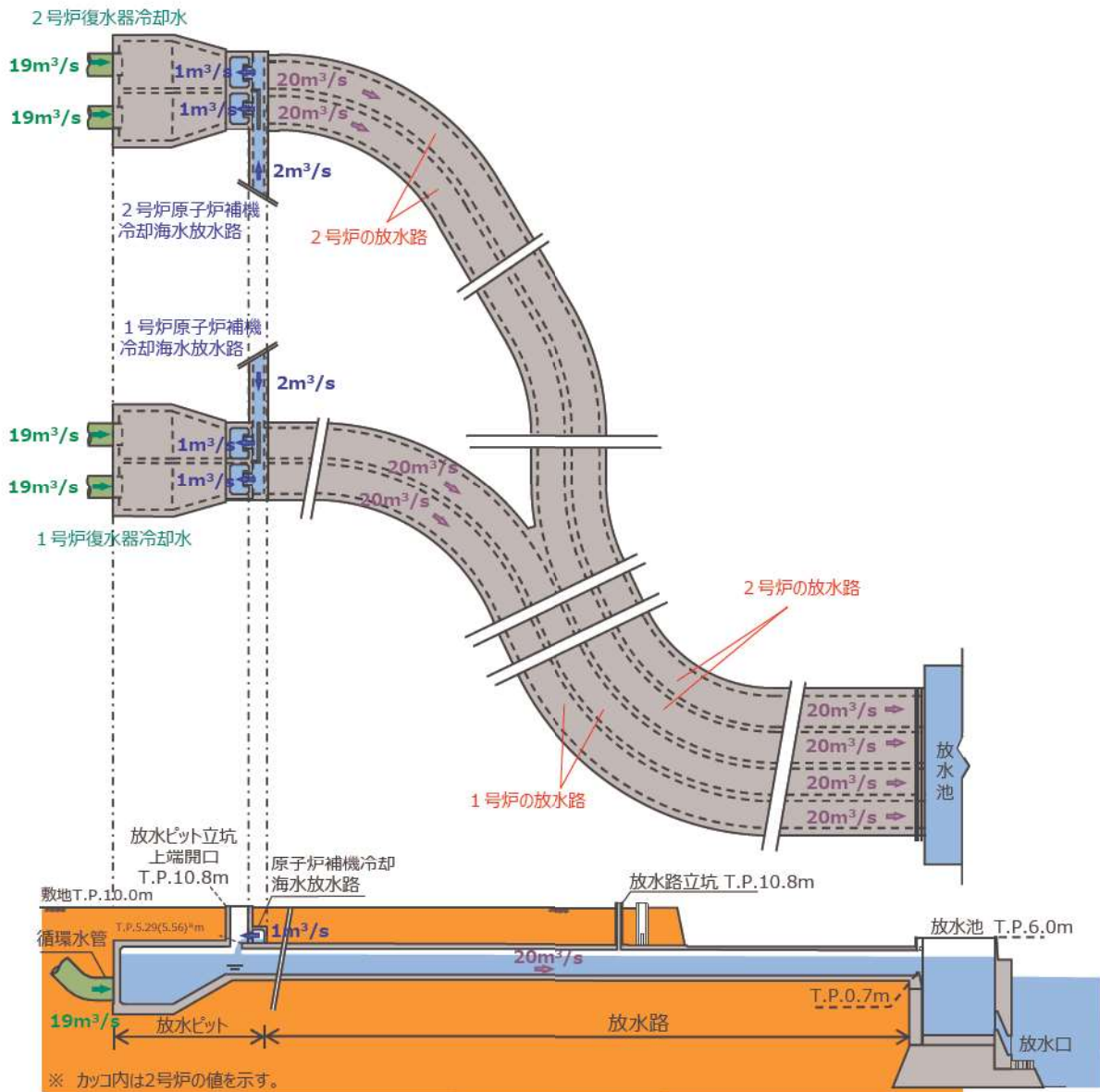
#### (1) 既設設備が有する機能と役割について

逆流防止設備設置による既設設備への影響を評価するに当たり、1号及び2号炉放水路に係る既設設備の本来有する機能と役割を、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態、並びに循環水ポンプの停止を前提として整理した。

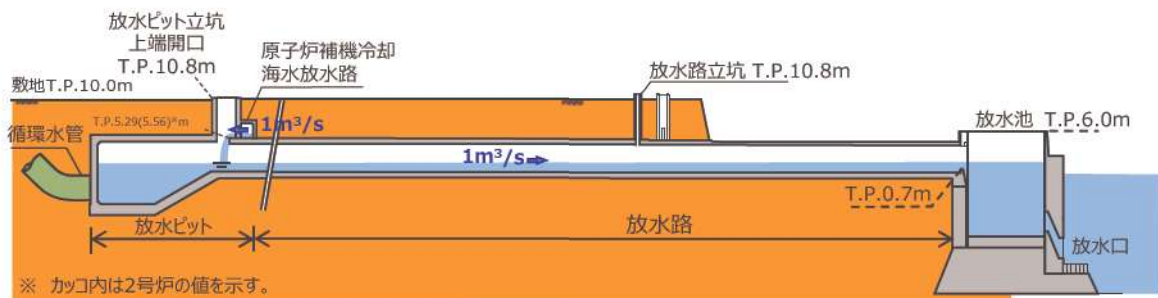
#### a. 放水路

##### (a) 機能と役割

放水路は、タービン駆動蒸気と熱交換された復水器冷却水、原子炉補機冷却水冷却器等と熱交換された原子炉補機冷却海水、温水ピット排水等のその他の排水を放水ピットから放水池まで導くための水路であり、1号及び2号炉それぞれ2条ずつ（計4条）設置している。放水路は、図8に示すとおり、各号炉 $40\text{m}^3/\text{s}$ （復水器冷却水として約 $38\text{m}^3/\text{s}$ 、原子炉補機冷却海水として約 $2\text{m}^3/\text{s}$ ）、1条あたり $20\text{m}^3/\text{s}$ （復水器冷却水として約 $19\text{m}^3/\text{s}$ 、原子炉補機冷却海水として約 $1\text{m}^3/\text{s}$ ）が通水可能な設計としている。なお、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態、並びに循環水ポンプの停止中においては、放水路内に復水器冷却水が流れないため、原子炉補機冷却海水及び温水ピット排水等のその他の排水のみが流れる。



【循環水ポンプ運転時の水位及び流量】



【循環水ポンプ停止時の水位及び流量】

図8 1号及び2号炉放水系概要

(b) 放水路の耐震重要度及び安全重要度

○耐震重要度：耐震Sクラスの間接支持構造物

3号炉新規制基準適合性審査において、1号及び2号炉放水路の防潮堤直下については、耐震Sクラスである防潮堤及び逆流防止設備の間接支持構造物として設計する。

なお、1号及び2号炉建設時においては、1号及び2号炉放水路は、耐震Sクラス及び耐震Bクラスに属する施設以外の施設のため、耐震Cクラスに該当する。

○安全重要度

1号及び2号炉のプラント状態としては、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態、並びに循環水ポンプの停止を前提としており、一時的に逆流防止設備を設置した状態において、安全重要度は設定しないが、プラント通常運転状態における安全重要度は以下のとおり。

【プラント通常運転状態の安全重要度：PS-3】

放水路は、重要度分類審査指針において、「異常事態の起因事象となるものであって、PS-1及びPS-2以外の構築物、系統及び機器」のうち、当該系の循環水系（PS-3）の間接関連系としてPS-3に該当する。

b. 原子炉補機冷却海水ポンプ

(a) 機能と役割

原子炉補機冷却海水ポンプは、通常時及び外部電源喪失時において、安全上重要な機器である原子炉補機冷却水冷却器、ディーゼル発電機及び空調用冷凍機に海水を供給し、最終的な熱の逃がし場である海へ熱を輸送するための取水機能を有する。原子炉補機冷却海水ポンプにより取水ピットから取水され各冷却器を通して熱交換された海水は、原子炉補機冷却海水放水路を通して放水ピットへ放水される。

1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態、並びに循環水ポンプの停止を前提とした場合においても、使用済燃料ピットの冷却、空調用冷凍機の冷却機能の維持が必要であり、外部電源喪失時にはこれらに加えてディーゼル発電機の冷却が必要となる。これらの補機類の冷却のために、原子炉補機冷却海水ポンプの運転維持が求められる。表3にプラント停止状態において必要となる原子炉補機冷却海水ポンプの台数及び流量を示す。

原子炉補機冷却海水ポンプは号炉毎に4台が設置されており、通常時は各取水路で1台の合計2台運転であることから、約 $1.0\text{m}^3/\text{s}$  ( $1,900\text{m}^3/\text{h} \div 0.5\text{m}^3/\text{s} \times 2$ 台)の海水が原子炉補機冷却海水放水路を通し、放水ピットへ放水される。

プラント停止状態の原子炉補機冷却海水ポンプ運転台数と放水路の流量について、下記及び表4にまとめる。

#### ① 通常時

放水路の両トレンで海水を通水している場合、原子炉補機冷却海水ポンプ2台分の流量の海水 ( $1.0\text{m}^3/\text{s}=0.5\text{m}^3/\text{s}\times 2$  台) が原子炉補機冷却海水放水路を通して放水ピットへ放水され、各トレンには  $0.5\text{m}^3/\text{s}$  の海水が通水される。

放水路の片トレンが定期点検により隔離されており、もう片方のトレンで海水を通水している場合、原子炉補機冷却海水ポンプ2台分の流量の海水 ( $1.0\text{m}^3/\text{s}=0.5\text{m}^3/\text{s}\times 2$  台) が原子炉補機冷却海水放水路を通して片方のトレンに通水される。

#### ② 外部電源喪失時

放水路の両トレンで海水を通水している際に外部電源喪失が発生した場合、ブラックアウトシーケンスが作動し一時的に原子炉補機冷却海水ポンプ全台 (4台) が運転するため、 $2.0\text{m}^3/\text{s}$  ( $2.0\text{m}^3/\text{s}=0.5\text{m}^3/\text{s}\times 4$  台) の海水が原子炉補機冷却海水放水路を通して放水ピットへ放水され、各トレンには  $1\text{m}^3/\text{s}$  の海水が通水される。

放水路の片トレンが定期点検により隔離されており、もう片方のトレンで海水を通水している際に外部電源喪失が発生した場合、ブラックアウトシーケンスが作動するが、放水路の点検時には取水路も合わせて点検しているため、原子炉補機冷却海水ポンプの運転台数は最大2台から変更なく、各トレンには通常時と同様に  $1\text{m}^3/\text{s}$  の海水が通水される。

表3 プラント停止状態<sup>※1</sup>で必要となる海水系ポンプ（1号炉<sup>※2</sup>の例）

| ポンプ名称        | ポンプ台数 | 流量   | 用途  |
|--------------|-------|--|---|
| 原子炉補機冷却海水ポンプ | 2台    | 1,900 m <sup>3</sup> /(h・台)<br>(≒0.5m <sup>3</sup> /(s・台)) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 使用済燃料ピットの冷却</li> <li>・ 空調用冷凍機の冷却</li> <li>・ 外部電源喪失時のディーゼル発電機の冷却</li> </ul> |

※1 循環水ポンプ停止を前提

※2 2号炉も同じ

表4 プラント停止状態<sup>※1</sup>の原子炉補機冷却海水ポンプ運転台数と放水路流量

| プラント状態  | 放水路の状態                | 項目      | 1号炉                   |                       | 2号炉                   |                       | 平面図 |
|---------|-----------------------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----|
|         |                       |         | 1A                    | 1B                    | 2A                    | 2B                    |     |
| 通常時     | 両トレン通水時               | ポンプ運転台数 | 1台                    | 1台                    | 1台                    | 1台                    | 図9  |
|         |                       | 流量      | 0.5 m <sup>3</sup> /s | 0.5 m <sup>3</sup> /s | 0.5 m <sup>3</sup> /s | 0.5 m <sup>3</sup> /s |     |
|         | 片トレン通水時 <sup>※3</sup> | ポンプ運転台数 | 2台                    | 0台                    | 1台                    | 1台                    | 図10 |
|         |                       | 流量      | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 0 m <sup>3</sup> /s   | 0.5 m <sup>3</sup> /s | 0.5 m <sup>3</sup> /s |     |
| 外部電源喪失時 | 両トレン通水時               | ポンプ運転台数 | 2台 <sup>※2</sup>      | 2台 <sup>※2</sup>      | 2台 <sup>※2</sup>      | 2台 <sup>※2</sup>      | 図11 |
|         |                       | 流量      | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 1.0 m <sup>3</sup> /s |     |
|         | 片トレン通水時 <sup>※3</sup> | ポンプ運転台数 | 2台                    | 0台                    | 2台 <sup>※2</sup>      | 2台 <sup>※2</sup>      | 図12 |
|         |                       | 流量      | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 0 m <sup>3</sup> /s   | 1.0 m <sup>3</sup> /s | 1.0 m <sup>3</sup> /s |     |

※1 循環水ポンプ停止を前提

※2 外部電源喪失により、ブラックアウトシーケンスが作動した時の台数と流量であり、ブラックアウト信号のリセット後は各1台運転となる。

※3 放水路の点検として、1号炉のBトレンを放水した状態を記載。他号炉及び他トレンを放水した場合は、当該水路の流量が0m<sup>3</sup>/sとなる。なお、放水路を点検している際は取水路も同時に点検している。

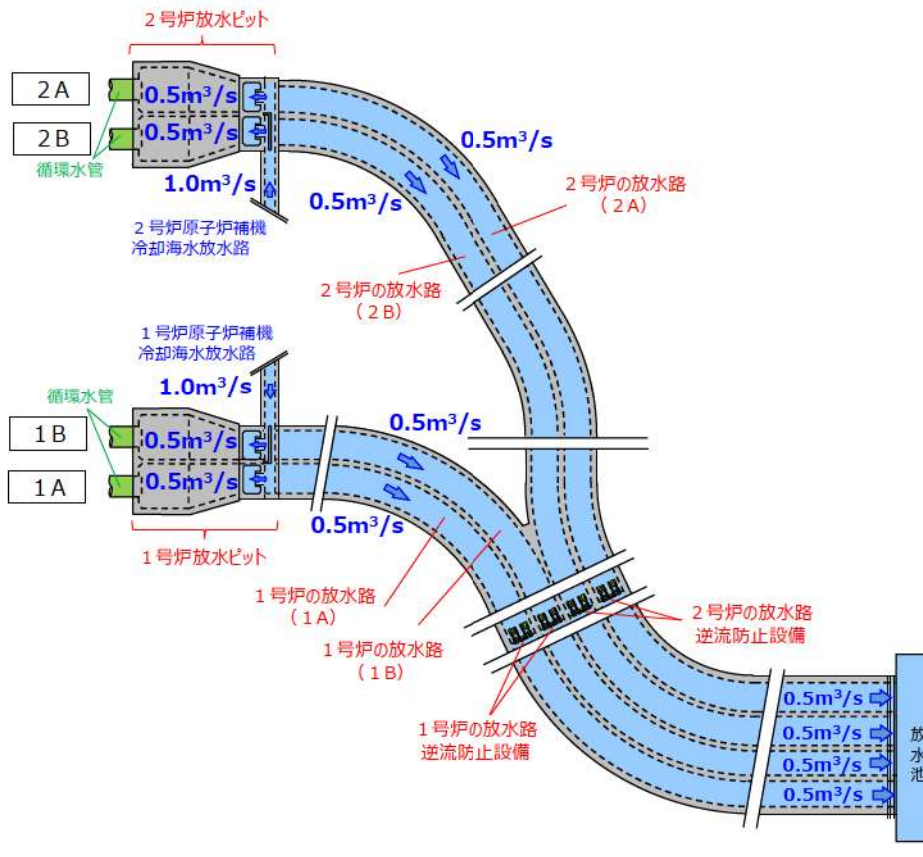


図9 放水路の流量を示す平面図  
(プラント状態：通常時，放水路の状態：両トレン通水時)

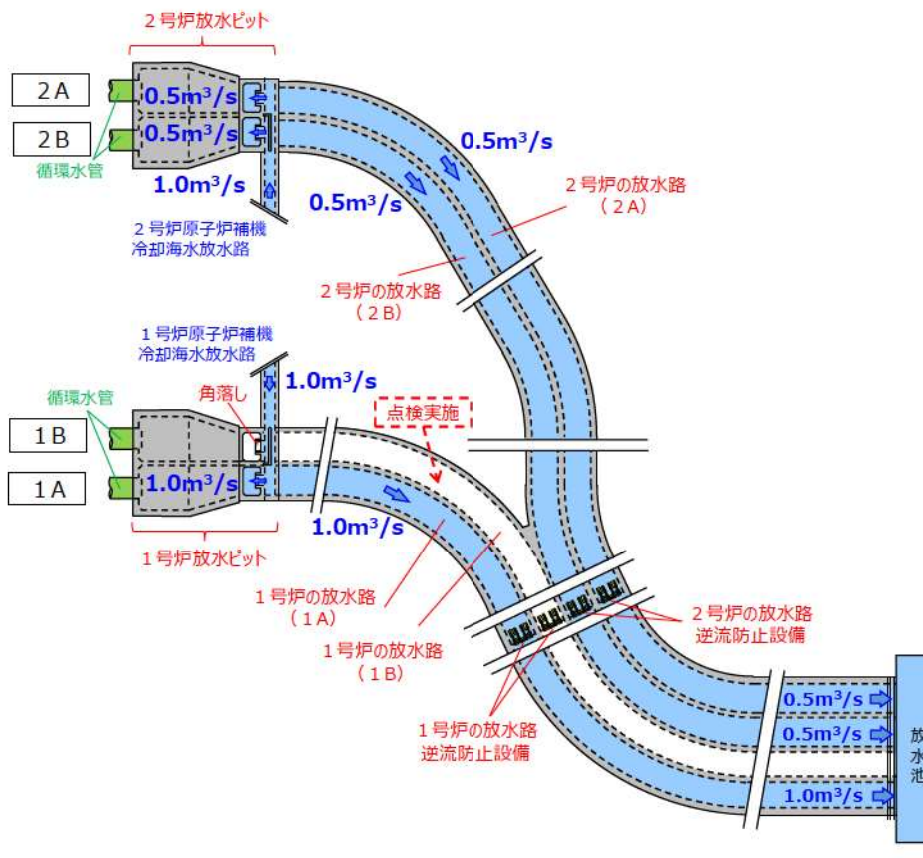


図10 放水路の流量を示す平面図  
(プラント状態：通常時，放水路の状態：片トレン通水時)



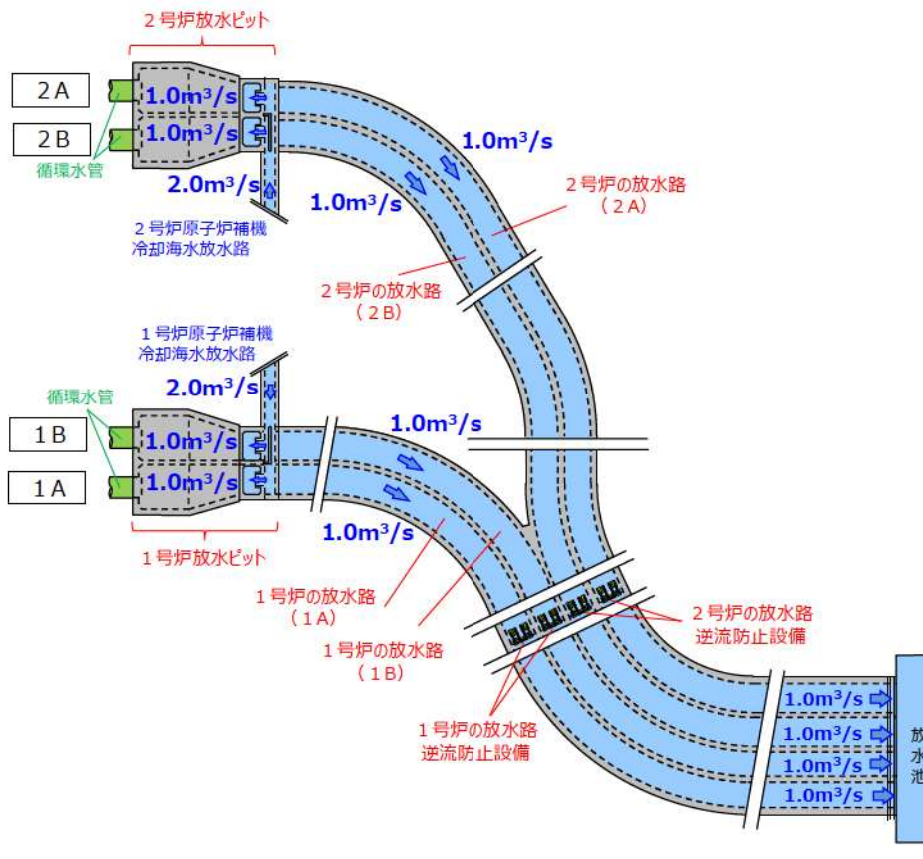


図 11 放水路の流量を示す平面図

(プラント状態：外部電源喪失時，放水路の状態：両トレン通水時)

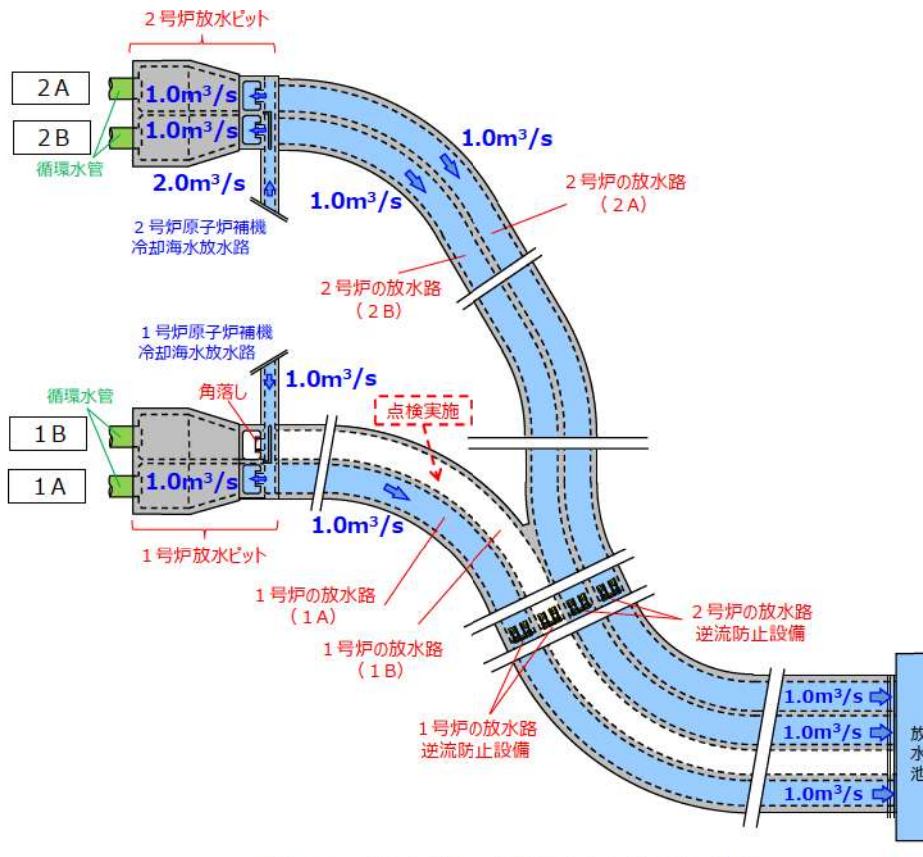


図 12 放水路の流量を示す平面図

(プラント状態：外部電源喪失時，放水路の状態：片トレン通水時)

(b) 原子炉補機冷却海水ポンプの耐震重要度及び安全重要度

○耐震重要度：耐震Sクラス

3号炉新規制基準適合性審査において、1号及び2号炉の設備である1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプに耐震要求はないが、1号及び2号炉建設時においては、1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプは、原子炉停止後、炉心からの崩壊熱を除去するための設備のため、耐震Sクラスに該当する。

○安全重要度

1号及び2号炉のプラント状態としては、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態、並びに循環水ポンプの停止を前提としており、一時的に逆流防止設備を設置した状態において、安全重要度は設定しないが、プラント通常運転状態における安全重要度は以下のとおり。

【プラント通常運転状態の安全重要度：MS-1】

原子炉補機冷却海水ポンプは、重要度分類審査指針において、「安全上必須なその他の構築物、系統及び機器」のうち、当該系としてMS-1に該当する。

(2) 逆流防止設備設置により既設設備が有する機能に与える影響

(1) に記載した既設設備が有する機能と役割を踏まえ、逆流防止設備設置により 1 号及び 2 号炉の放水機能に与える影響を以下のとおり整理した。

a. 原子炉補機冷却海水ポンプの通常時の放水性評価

通常時及び外部電源喪失時において、放水路への逆流防止設備設置により、逆流防止設備が堰となることから、1 号及び 2 号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態における原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の放水ピット立坑水位が上昇するため、通常時の 1 号及び 2 号炉の放水機能へ与える影響について評価した。評価においては、表 4 で示した原子炉補機冷却海水ポンプの運転台数のケーススタディから、最大流量である  $1.0\text{m}^3/\text{s}$  を評価条件として設定した。

参考 2 に示すとおり、逆流防止設備の設置により、放水ピット立坑の水深が約 1.5m となることから、逆流防止設備設置前の水深 0.29m から、1.21m 上昇する。そのため、放水ピット立坑水位は逆流防止設備設置前の T. P. 1.48m (2 号炉は T. P. 1.75m) から逆流防止設備設置後は T. P. 2.69m (2 号炉は T. P. 2.96m) に上昇するものの、原子炉補機冷却海水放水路下端高さ T. P. 5.29m (2 号炉は T. P. 5.56m) に比べ放水ピット立坑水位は T. P. 2.69m (2 号炉は T. P. 2.96m) であり十分低いことから、原子炉補機冷却海水ポンプの放水機能への影響はない (表 5, 図 13 参照)。

表 5 逆流防止設備設置による 1 号及び 2 号炉の放水機能への影響

| 逆流防止設備 | 流量<br>( $\text{m}^3/\text{s}$ ) | 通水面積<br>( $\text{m}^2$ ) | 流速<br>( $\text{m}/\text{s}$ ) | 放水ピット立坑<br>水位 <sup>※4</sup> (m)          | 放水ピット立坑<br>天端高さ (m) | 原子炉補機冷却海水<br>放水路下端高さ (m)                 |
|--------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--|---------------------|--|
| 設置前    | 1.0 <sup>※1</sup>               | 1.124                    | 0.89 <sup>※2</sup>            | T. P. 1.48<br>(T. P. 1.75) <sup>※5</sup> | T. P. 10.8          | T. P. 5.29<br>(T. P. 5.56) <sup>※5</sup> |
| 設置後    |                                 | 0.75<br>(1.0m×1.0m×1条)   | 1.33 <sup>※2※3</sup>          | T. P. 2.69<br>(T. P. 2.96) <sup>※5</sup> |                     |  |

※1 放水路は号炉あたり 2 条設置されており、原子炉補機冷却海水ポンプ ( $1,900\text{ m}^3/\text{h} \div 0.5\text{ m}^3/\text{s}$ ) 2 台分の流量が放水路 1 条に流れるため、放水路 1 条あたりの流量は  $0.5\text{ m}^3/\text{s} \times 2 = 1.0\text{ m}^3/\text{s}$  となる。

※2 「建設省河川砂防基準(案)同解説 設計編 [ I ]」で定める一般的な設計流速 (常時 2~5m/s 程度) より小さいことから、通水性に問題はない。

※3 逆流防止設備の流速

※4 逆流防止設備の開口高さ、越流水深を考慮 (「参考 2」図 1 参照)。

※5 カッコ内は 2 号炉の値を示す。

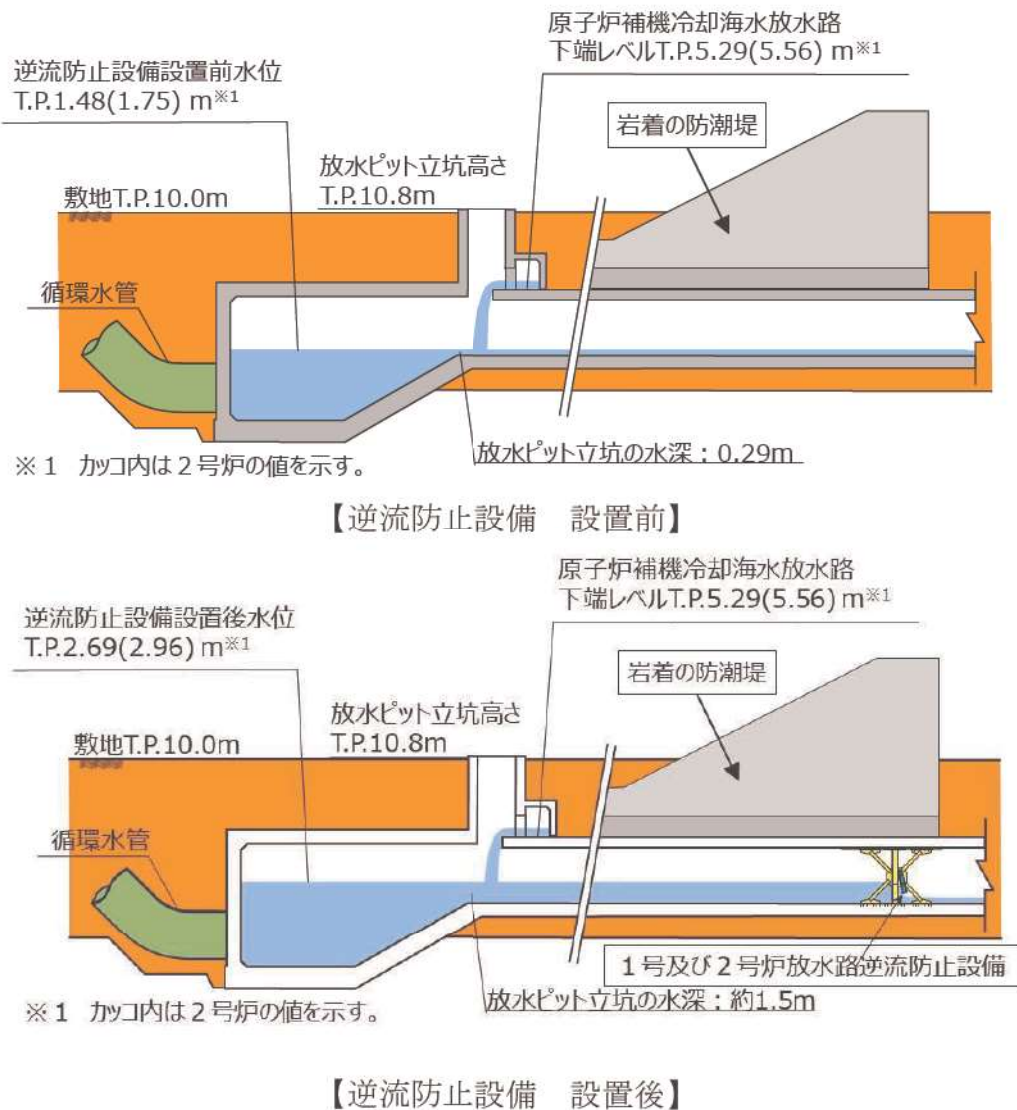


図 13 逆流防止設備設置前後の放水ピット水位

b. 海生生物の付着による海水ポンプの放水機能への影響

2項(7)に記載の通り、逆流防止設備は海生生物が付着しにくい環境であり、加えて、放水路の定期的な点検と清掃については逆流防止設備設置後も継続して実施され、点検、清掃範囲に変更はないことから、海生生物が仮に滞留部等に堆積が確認されたとしても定期的に除去される。

以上より、海生生物の付着による海水ポンプの放水機能への影響はない。

c. 通常時に逆流防止設備が閉塞・閉固着した場合の検知性について

b. 項に記載のとおり、通常時に貝等の海生生物の付着の可能性は低く、適切な施設管理を行うことから、逆流防止設備が閉塞する可能性は低いと評価しているものの、仮に閉塞や固着を仮定した場合の検知性について検討する。

図 14 に逆流防止設備の閉塞・閉固着発生時の検知に関するイメージ図を、図 15 に逆流防止設備の異常の検知までの放水ピット水位上昇プロセスを示す。通常時には原子炉補機冷却海水ポンプ 2 台分の流量である  $1.0\text{m}^3/\text{s}$  の海水が原子炉補機冷却海水放水路に流れており、2 つの放水路に  $0.5\text{m}^3/\text{s}$  の流量で放水される（図 15 の No. 1）。逆流防止設備が仮に閉塞もしくは閉固着した場合、放水できなくなった海水により放水ピット立坑の水位が上昇するため、放水ピット立坑上部から放水ピット水位を日常的に確認することで異常を検知することが可能である（図 15 の No. 2）。また、二つある逆流防止設備が同時に閉塞もしくは閉固着する事象は考えにくく、仮にどちらか一方が何らかの要因により閉塞もしくは閉固着した場合、異常側の放水ピット立坑から敷地へ溢れる前に、健全なもう片方の放水路を通して放水池へ海水が放水される。この場合、健全なもう片方の放水路には、原子炉補機冷却海水ポンプ 2 台分の流量である  $1.0\text{m}^3/\text{s}$  の海水が流れることになり、放水ピットの水位は a. 項の放水性評価で示した T.P. 2.69m（2号炉では T.P. 2.96m）となる（図 15 の No. 3）。従って、異常を確認した段階でも放水ピット水位は原子炉補機冷却海水放水路下端高さ T.P. 5.29m（2号炉は T.P. 5.56m）以下であることから放水機能は維持されており、異常の確認後、閉塞側の放水路の隔離、抜水補修を行うことで、閉塞事象への対応を行うことが可能である。対応手順については、保安規定に紐づく QMS 文書に定める。また、1号及び2号炉の自主設置設備として、放水ピット立坑に異常な水位上昇を検知可能な計器を設置し、1号及び2号炉中央制御室に警報を発報することにより、更なる検知性の向上を図る。

なお、閉塞・閉固着事象発生時に外部電喪失が重なる可能性は考え難いが、仮に閉塞時に外部電源喪失が発生した場合、ブラックアウトシーケンスにより原子炉補機冷却海水ポンプが 4 台起動するため、一時的に流量  $2.0\text{m}^3/\text{s}$  の海水が閉塞していない方のトレンに流れることになる。この場合であっても、図 15 に示す通り、流量増加に伴う損失水頭増加を見込んだ放水ピット立坑の水位が T.P. 3.19m（2号炉は T.P. 3.46m）であり、原子炉補機冷却海水放水路下端高さ T.P. 5.29m（2号炉は T.P. 5.56m）以下であるため、放水機能に影響を与えずに異常の検知は可能である（図 15 の No. 4）。

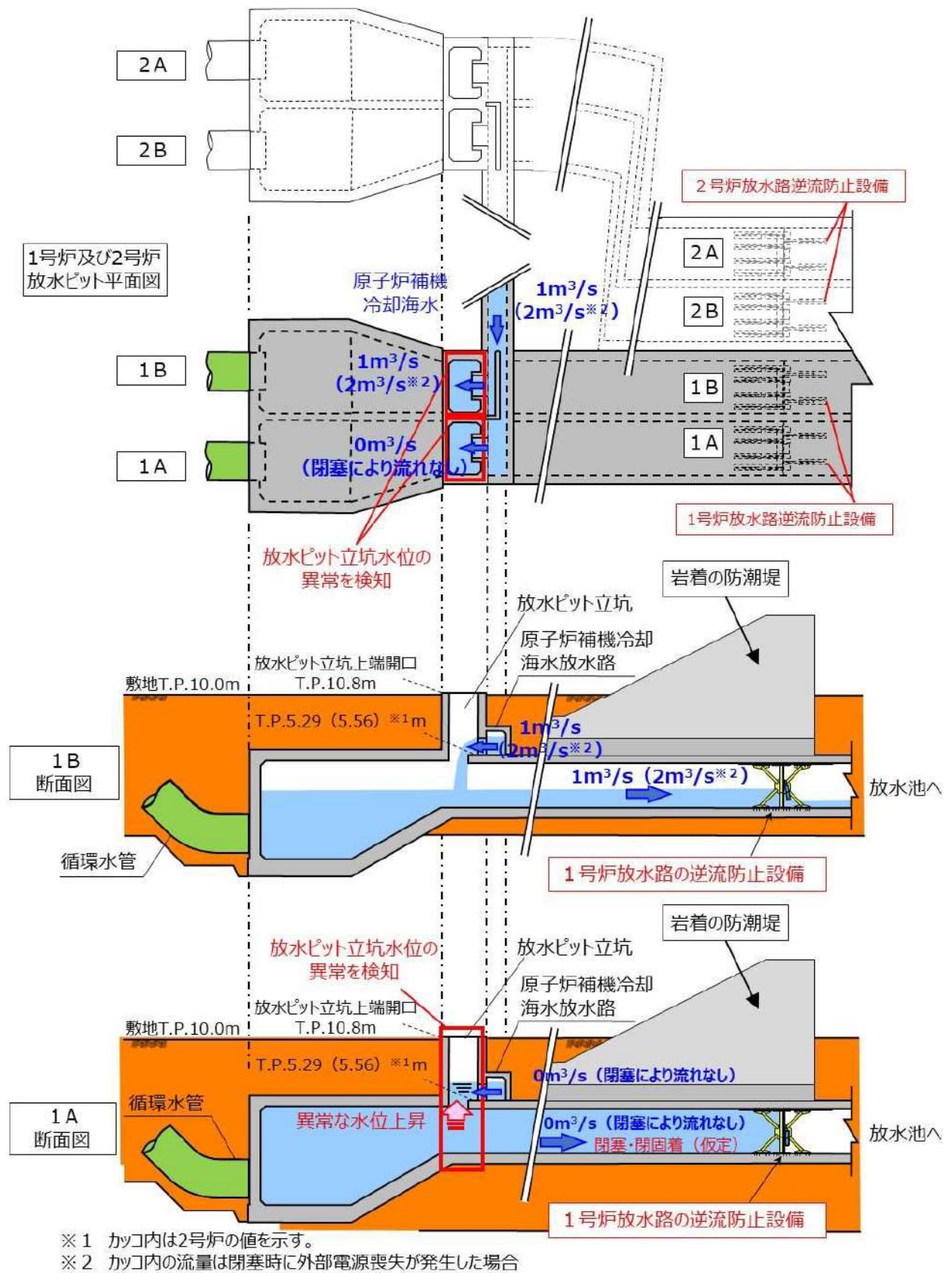


図 14 逆流防止設備の閉塞・閉固着発生時の検知に関するイメージ図  
 (1号炉で発生した場合)

| 異常発生時の想定プロセス                        | 放水路 1 A の水位 | 放水路 1 B の水位 |
|-------------------------------------|-------------|-------------|
| <p>1</p> <p>通常時の排水 (異常なし)</p>       |             |             |
| <p>2</p> <p>片側の放水路で閉塞・閉固着が発生</p>    |             |             |
| <p>3</p> <p>閉塞・閉固着側の放水路が満水</p>      |             |             |
| <p>4</p> <p>3に加え, 外部電源喪失が発生した場合</p> |             |             |

図 15 逆流防止設備の異常の検知までの放水ピット水位上昇プロセス (1号炉で閉塞・閉固着が発生した例)

#### 4. 逆流防止設備及び放水路の施設管理について

逆流防止設備については、3号炉の津波防護施設としての機能並びに1号及び2号炉の放水機能を維持していくため、保安規定に紐づく社内規定で定める保全計画に基づき、適切に管理していく。

具体的には、3号炉の津波防護施設として点検計画に基づき、3号炉の保全サイクルに従って1号及び2号炉の放水路について、定期的に抜水<sup>\*</sup>による点検、清掃等を実施することにより、逆流防止設備の変状の有無やフラップゲートの動作を確認し、変状が確認された場合は詳細な調査を行うこととする。さらに、原子炉補機冷却海水系が流れている状態において、定期的に逆流防止設備の状態をカメラ等により行う。

また、逆流防止設備設置による放水路の施設管理に与える影響も踏まえ、逆流防止設備設置後の放水路及び逆流防止設備の施設管理方針を以下に示す。

※ 1号及び2号炉の放水路はそれぞれ2条ずつ（計4条）設置しており、放水ピットに角落としを挿入し、1条ずつ抜水することで1号及び2号炉ともに放水機能は維持しつつ、放水路の点検、清掃が可能である。

##### (1) 逆流防止設備設置前の放水路の施設管理

###### a. 放水路

内容：外観目視点検として、周辺地盤の確認及び放水路内抜水後に放水路のコンクリートの状態確認を行う。放水路のこれまでの定期点検結果から循環水ポンプが停止中の状態では貝等の付着が発生していない状況ではあるが、貝等が放水路内に付着した場合は、必要に応じて海生生物の除去を行う。

放水路はコンクリート構造物であり、劣化モードは、中性化及び塩害等が考えられ、劣化事象としては、コンクリート表面のひび割れ、剥離等が考えられることから、コンクリート表面の状態を外観目視点検により確認している。

周辺地盤の確認としては、放水路の地上ルート上の沈下、陥没、隆起の確認を行っている。

##### (2) 逆流防止設備設置後の放水路及び逆流防止設備の施設管理方針

###### a. 放水路

内容：逆流防止設備設置箇所の前には、放水路内へのアクセスが可能な開口が確保されており、逆流防止設備設置後においても放水路全体の外観目視点検は可能であり、点検内容は逆流防止設備設置前と同様とする。（図16参照）

###### b. 逆流防止設備

内容：放水路内抜水後に放水路内の外観目視点検として、主梁、スキンプレート、フラップゲート及びアンカーボルトの状態を確認する。放



水路のこれまでの定期点検結果から循環水ポンプが停止中の状態では貝等の付着が発生していない状況ではあるが、貝等が逆流防止設備に付着した場合は海生生物の除去を行う。

逆流防止設備は鋼製の構造物であり、劣化事象は、塗膜の剥離で海水と接触した場合の腐食、海生生物等を含んだ流水による開口部及びフラップゲートのすりへり、フラップゲートの摺動部の摩耗等が考えられることから、外観目視点検による状態確認及びフラップゲートの動作に異常がないことを確認する。また、逆流防止設備は摺動部のある構造であることから、定期的に逆流防止設備の状態をカメラ等により確認する。

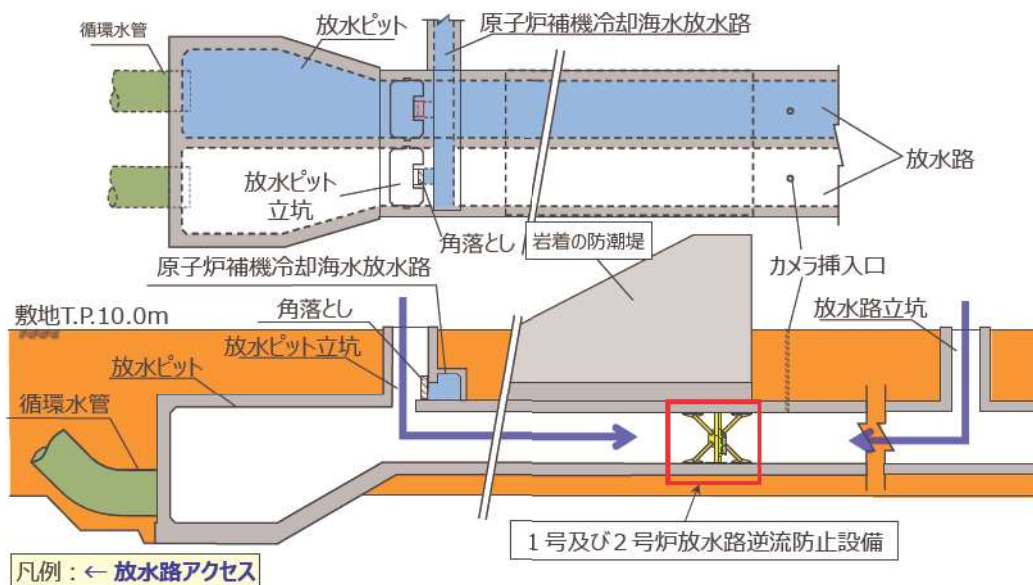


図 16 逆流防止設備設置後の施設管理

## 5. 逆流防止設備に関する許認可上の扱いについて

逆流防止設備は、3号炉新規規制基準適合性審査の中で津波防護施設の位置付けであるが、1号及び2号炉の放水路に設置するため許認可への影響の確認として、設置変更許可申請（補正）、設計及び工事の計画の認可申請の要否を確認した上で、逆流防止設備の設置が1号及び2号炉の放水機能に与える影響に対するそれぞれの申請書への記載方針を整理した。

また、原子炉施設保安規定への影響についても整理した。整理に当たっては、女川2号炉において、2号炉の津波防護対策として1号炉の取水路及び放水路に取放水路流路縮小工を設置し、取水機能及び放水機能へ影響を与えるため、1号炉への悪影響の整理として、許認可上の取り扱いの整理を行っており、その結果を踏まえ実施した（参考5参照）。

### (1) 設置変更許可

#### a. 設置変更許可申請（補正）の要否

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「法」という。）」第四十三条の三の五（設置の許可）及び「実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（以下「規則」という。）」第三条（発電用原子炉の設置の許可の申請）の規定より、逆流防止設備は3号炉の津波防護施設であることから、本文記載事項を変更する工事に該当（耐津波構造）し、設置変更許可申請（補正）が必要となる。

逆流防止設備は1号及び2号炉の放水路に設置するため、1号及び2号炉の放水機能に影響があることから、設置変更許可申請書本文に「1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないことを前提とする」と記載した上で、添付書類八には「1号及び2号炉の循環水ポンプの停止を前提とする」と記載し、設置変更許可申請を行う。なお、1号及び2号炉のプラント状態は、3号炉における重大事故等及び大規模損壊に係る対応の観点から、1号及び2号炉の複数号炉同時被災を想定した場合においても3号炉への対応に影響を与えないよう、1号及び2号炉の新規制基準適合までの間「プラント停止状態」として扱う。

設置変更許可申請書の本文または添付書類八における記載案を以下に示す。

#### 【設置変更許可申請書 本文記載案】

本文へ以下の記載をする。

#### 五 発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備

##### イ 発電用原子炉施設の位置

#### (2) 敷地内における主要な発電用原子炉施設の位置

3号原子炉本体は、2号炉の南側に設置する。排気口は、原子炉格納施設上部に設置する。復水器冷却水の取水口は、敷地西側の専用港湾内に、また、放水口は敷地西側の北防波堤基部に設置する。また、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されてい

ないことを前提とする。

十 発電用原子炉の炉心の著しい損傷その他の事故が発生した場合における当該事故に対処するために必要な施設及び体制の整備に関する事項

ハ 重大事故に至るおそれがある事故又は重大事故

(1) 重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力

東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故の教訓を踏まえた重大事故等対策の設備強化等の対策に加え、重大事故に至るおそれがある事故若しくは重大事故が発生した場合又は大規模な自然災害若しくは故意による大型航空機の衝突その他のテロリズムによる発電用原子炉施設の大規模な損壊が発生するおそれがある場合若しくは発生した場合における以下の重大事故等対策設備に係る事項、復旧作業に係る事項、支援に係る事項及び手順書の整備、教育及び訓練の実施並びに体制の整備を考慮し、当該事故等に対処するために必要な手順書の整備、教育及び訓練の実施並びに体制の整備等運用面での対策を行う。また、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないことを前提とする。\*

※本記載は、添付書類十の「重大事故の発生及び拡大の防止に必要な措置を実施するために必要な技術的能力」にも記載する。

【設置変更許可申請書 添付書類八記載案】

添付書類八へ以下の記載をする。

1.5 耐津波設計

1.5.1 設計基準対象施設の耐津波設計

1.5.1.1 設計基準対象施設の耐津波設計の基本設計

(3) 入力津波の設定

d. 取水路・放水路等の経路からの流入に伴う入力津波

取水路、放水路等からの流入に伴う入力津波は、流入口となる港湾内における津波高さについては、上記 a. 及び b. に示した事項を考慮し、上記 c. に示した数値シミュレーションにより安全側の値を設定する。また、取水路及び放水路内における津波高さについては、各水路の特性を考慮した水位を適切に評価するため、開水路及び管路において非定常管路流の連続式及び運動方程式を使用し、上記の港湾内における津波高さの時刻歴波形を入力条件として管路解析を実施することにより算定する。その際、1号及び2号炉の取水口から取水ピットポンプ室に至る系、3号炉の取水口から取水ピットポンプ室に至る系並びに3号炉の放水口から放水ピットに至る系をモデル化し、管路の形状、材質及び表面の状況に応じた損失を考慮するとともに、貝付着やスクリーン

損失を不確かさとして考慮した計算条件とし、安全側の値を設定する。

なお、原子炉補機冷却海水ポンプの取水性を確保するため、貯留堰を設置するとともに、発電所を含む地域に大津波警報が発表された場合、循環水ポンプを停止する運用を定める。このため、取水ピットスクリーン室の入力津波高さの設定に当たっては、水位の評価は貯留堰の存在を考慮に入れるとともに、循環水ポンプの停止を前提として実施する。

また、1号及び2号炉の取水路に1号及び2号炉取水路流路縮小工、1号及び2号炉の放水路に1号及び2号炉放水路逆流防止設備を設置することから、1号及び2号炉循環水ポンプの停止を前提とする。

## 10.6 津波及び内部溢水に対する浸水防護設備

### 10.6.1 津波に対する防護設備

#### 10.6.1.1 設計基準対象施設

##### 10.6.1.1.2 設計方針

- (1)c. 取水路、放水路等の経路から、重要な安全機能を有する施設の設置された敷地並びに重要な安全機能を有する設備を内包する建屋及び区画に津波の流入する可能性について検討した上で、流入する可能性のある経路（扉、開口部、貫通口等）を特定し、必要に応じ流入防止の対策を施すことにより、津波の流入を防止する設計とする。また、津波の流入を防止するため、3号炉放水ピットに対しては、3号炉放水ピット流路縮小工を、3号炉原子炉補機冷却海水放水路が接続される3号炉放水ピット内側壁面に対しては、3号炉原子炉補機冷却海水放水路逆流防止設備を設置するが、3号炉に悪影響を及ぼさない設計とする。1号及び2号炉取水路に対しては、1号及び2号炉取水路流路縮小工を、1号及び2号炉放水路に対しては、1号及び2号炉放水路逆流防止設備を設置するが、1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計とする。

また、1号及び2号炉の新規制基準適合性審査においては、逆流防止設備を撤去し、防水壁等の1号、2号及び3号炉の共用の津波防護対策として設置変更許可申請（補正）し、適合性について説明する方針である。

#### b. 1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計

逆流防止設備設置による1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計として、逆流防止設備設置後も原子炉補機冷却海水系に必要な流量を確保し、1号及び2号炉の放水機能に影響を与えない設計とする。

## (2) 工事計画認可

逆流防止設備は、3号炉の新規制基準適合性審査において、敷地への津波の流入を防止するための構造物であることから、「浸水防護施設」に該当する。また、逆流防止設備は、放水路内へ設置することから、これらの観点で規則第八条（設計及び工事の計画の認可を要しない工事等）及び規則第十一条（設計及び工事の計画の届出を要する工事等）の規定より、設計及び工事の計画の認可・届出を要する改造等に該当するか確認を行った。

### a. 設計及び工事の計画の認可申請の要否

逆流防止設備は、3号炉の外郭浸水防護設備として設置するため、規則別表第一の中欄に定める「改造であって外郭浸水防護設備に係るもの」に該当することから、「浸水防護施設」として、設計及び工事計画認可申請が必要となる。

設置変更許可で示した逆流防止設備の機能及び仕様を含め、3号炉の工事計画書の本文及び添付資料で詳細設計の結果を示す。

表6 逆流防止設備の施設区分

|    |             |
|----|-------------|
|    | 浸水防護施設（3号炉） |
| 区分 | 外郭浸水防護設備    |
| 分類 | 津波防護施設      |

また、逆流防止設備の設置により1号及び2号炉の放水機能に対して影響を与えることから、逆流防止設備に係る設計結果について、「基本設計方針」及び「添付書類（設備別記載事項の設定根拠に関する説明書）」において、通常時及び外部電源喪失時における1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の放水機能に影響がない設計とすることを記載し、逆流防止設備の「要目表」においては、浸水防護施設としての機能を有し、放水機能に影響のない開口寸法を記載する。

### b. 1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計

設置変更許可申請書へ1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計とすることを記載するに当たり、逆流防止設備について以下を考慮し設計する。

- ・原子炉補機冷却海水ポンプの定格容量を確保でき、放水機能に影響を与えない開口寸法を設定する。

## (3) 原子炉施設保安規定への影響

逆流防止設備設置による1号及び2号炉における保安管理に関する事項として、原子炉施設保安規定（以下「保安規定」という。）上の影響について、以下のとおり整理した。1号及び2号炉のプラント状態は、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態、並びに循環水ポンプの停止を前提とする。また、保安規定第8章施設管理については、規則第八十一条（発電用原子炉施設の施設管理）の規定に適合するよう、逆流防止設備設置後

についても保安規定に紐づく社内規定で定める保全計画に基づき、適切に施設管理を行う。

a. 1号及び2号炉の保安確保における該当条文

○第33条（計測および制御設備）

- ・中央制御室非常用循環系計装（照射済燃料移動中において動作可能であること）
- ・ディーゼル発電機起動計装（照射済燃料移動中において動作可能であること）

○第68条（中央制御室非常用循環系）

- ・2系統以上が動作可能であること（使用済燃料ピットでの照射済燃料移動中において）

○第71条（外部電源－モード5、6および照射済燃料移動中－）

- ・外部電源1系列以上が動作可能であること

○第73条（ディーゼル発電機－モード1、2、3および4以外－）

- ・非常用発電機を含め、ディーゼル発電機2基が動作可能であること

○第74条（ディーゼル発電機の燃料油、潤滑油および始動用空気）

- ・所要のディーゼル発電機に対し必要油量、空気圧力が確保されていること

○第76条（非常用直流電源－モード5、6および照射済燃料移動中－）

- ・非常用直流母線に接続する系統（蓄電池および充電器）が動作可能であること

○第78条（所内非常用母線－モード5、6および照射済燃料移動中－）

- ・所要の設備の維持に必要な非常用高圧母線、非常用低圧母線、非常用直流母線、非常用計装用母線が受電していること

○第82条（使用済燃料ピットの水位および水温）

- ・使用済燃料ピットの水位がT.P. 30.47m以上であること
- ・使用済燃料ピットの水温が65℃以下であること

b. 保安規定上直接影響がある条文

上記（a）該当条文の整理結果から、逆流防止設備設置に伴い直接影響がある条文を以下に示す。

○第73条（ディーゼル発電機－モード1、2、3および4以外－）

- ・ディーゼル発電機の冷却水として原子炉補機冷却海水系を使用しているため。

○第82条（使用済燃料ピットの水位および水温）

- ・使用済燃料ピットの冷却水として、原子炉補機冷却水系を使用しているため、関連する。

c. 保安規定上の影響

3. (2)の結果から、逆流防止設備設置後においても、1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水系に必要な流量を確保することが可能であるため、保安規定上要求される事項への影響がないことを確認した。

## 6. まとめ

逆流防止設備を設置することによる影響について、以下のとおり整理した。

- (1) 逆流防止設備設置による津波の敷地への到達，流入防止
  - a. 逆流防止設備のフラップゲートが動作することにより津波の流入を防止することができる。
  - b. 至近の点検結果で新たな貝の付着の可能性は確認されていないこと等から，海生生物による閉機能への影響はないと評価した。
  - c. 逆流防止設備の設置環境や通水時の接液状況等から通常時にフラップゲートが開固着する可能性は低いと評価した。なお，津波防護施設としての機能維持の観点から，定期的にカメラによりフラップゲートの軸が固着していないことを確認する。
- (2) 1号及び2号炉の放水機能への影響
  - a. 逆流防止設備の開口寸法は，1号及び2号炉原子炉補機冷却海水系等からの排水の放水機能に影響を与えない，十分に余裕を持った開口寸法であり，原子炉補機冷却海水ポンプの放水機能への影響はない。
  - b. 海洋生物による逆流防止設備の閉塞の可能性は低い。
  - c. 逆流防止設備が閉塞や閉固着，開固着が生じる可能性は低いと評価しているものの，日常点検において放水ピット立坑の水位やフラップゲート摺動部を確認し，異常があった場合には異常事象への対応を行う。対応手順は，保安規定に紐づくQMS文書に定める。
- (3) 逆流防止設備については，津波防護施設としての機能並びに1号及び2号炉の放水機能を維持していくため，保安規定に紐づく社内規定で定める保全計画に基づき，適切に管理していく。
- (4) 逆流防止設備に関する許認可上の扱いについて
  - a. 逆流防止設備は，津波防護施設として設置変更許可申請（補正）を行い，設置変更許可申請書には，1号及び2号炉のプラント状態の前提を記載し，1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計とすることを記載する。また，1号及び2号炉の新規制基準適合性審査においては，逆流防止設備を撤去し，防水壁等の1号，2号及び3号炉の共用の津波防護対策として設置変更許可申請（補正）し，適合性について説明する方針である。
  - b. 逆流防止設備は，「浸水防護施設」として，設計及び工事計画認可申請を行い，1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の放水機能に影響がない設計とすることを工事計画書に記載する。また，逆流防止設備設置による1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計として，放水機能に影響を与えない逆流防止設備の開口寸法を設定する。
  - c. 逆流防止設備設置後も，1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水系に必要な流量を確保することが可能であるため，保安規定上要求される事項への影響はない。

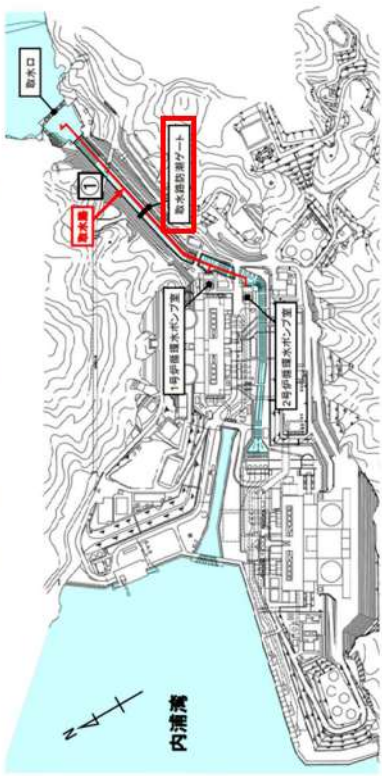



- 参考1 他社先行審査実績を踏まえた逆流防止設備の適用性について
- 参考2 逆流防止設備設置に伴い上昇する水位について
- 参考3 逆流防止設備の構造成立性について
- 参考4 逆流防止設備の施工方針及び通常時における津波防護機能維持の確認方法
- 参考5 逆流防止設備設置による許認可上の取り扱い（他社先行プラントとの差異）
- 参考6 逆流防止設備に係る各審査段階の説明内容について

## 他社先行審査実績を踏まえた逆流防止設備の適用性について

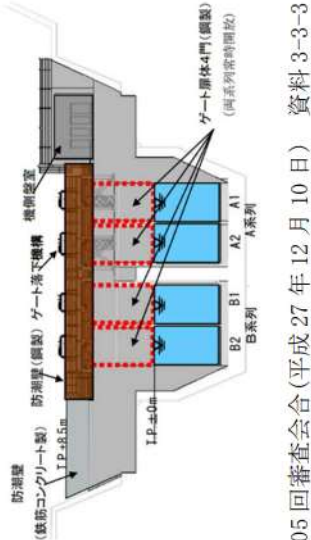
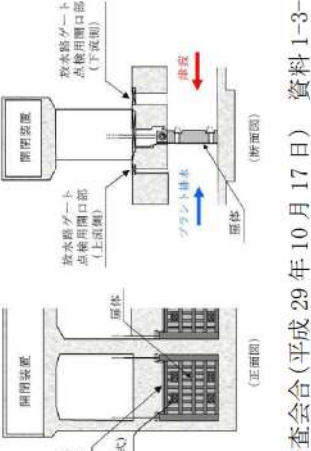
逆流防止設備は、3号炉の津波防護施設として敷地への津波の到達、流入を防止するため、1号及び2号炉の放水路に設置する。取水路または放水路からの津波の遡上を防止する津波防護対策については、多様な他社先行審査実績がある。そのため、泊の逆流防止設備と先行の取水路または放水路からの津波の遡上を防止する津波防護対策について、構造、仕様、許認可上の位置付け及び重要度分類等を表1にて整理、比較を行い、逆流防止設備の適用性について確認した。

表 1 他社先行審査実績との比較 (1/5)

|           |  |  |
|-----------|--|--|
| 項目        | 高浜 3 号炉及び 4 号炉   | 東海第二発電所  |
| 設備名称      | 取水路防潮ゲート   | 放水路ゲート   |
| 設備分類      | 津波防護施設   | 津波防護施設   |
| 設置目的      | 取水路側からの津波の流入防止を目的として、取水路を横断するように設置する。  | 津波が放水路から津波防護対象設備（非常用取水設備を除く。）の設置された敷地に流入することを防止する。                                       |
| 設置位置      | 1, 2, 3 及び 4 号炉 取水路<br>                                       | 放水路<br> |
| 既許可上の位置付け | 第 305 回審査会合(平成 27 年 12 月 10 日) 資料 3-3-3 より 赤枠追記<br>高浜 3, 4 号炉の新規制基準適合性審査において、高浜 3, 4 号炉の津波防護施設として申請。高浜 1, 2 号炉の新規制基準適合性審査において、高浜発電所共用の津波防護施設に変更。 | 第 520 回審査会合(平成 29 年 10 月 17 日) 資料 1-3-2 より 赤枠追記<br>東海第二発電所の新規制基準適合性審査において、津波防護施設として申請。   |
| 設置環境      | 気中(高浜 3, 4 号炉申請時は片系列は常時閉鎖, 片系列は津波時に水路を閉鎖。高浜 1, 2 号申請時は, 1, 2, 3 及び 4 号炉共用とし両系列常時開放)  | 気中(津波時に水路を閉鎖)  |

※他社記載事項について、審査会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものである。

表 1 他社先行審査実績との比較 (2/5)

| 項目    | 高浜 3 号炉及び 4 号炉   | 東海第二発電所   |
|-------|--|---|
| 重要度分類 | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐震重要度：Sクラス</li> <li>安全重要度：MS-1</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐震重要度：Sクラス</li> <li>安全重要度：MS-1</li> </ul>  |
| 動作原理  | ゲート落下機構：機械式又は電磁式（動的）   | <ul style="list-style-type: none"> <li>開閉装置：機械式又は電動駆動式（動的）</li> <li>小扉（フラップ式）：津波による水圧（静的）</li> </ul>  |
| 動作内容  | ゲート落下機構：通常時、機械式クランチ及び電磁式クランチが連結されており、ゲート開状態が維持されている。津波時、遠隔閉止信号により機械式クランチ又は電磁式クランチが切り離され、ゲートは落下する。  | <ul style="list-style-type: none"> <li>開閉装置：高浜同様</li> <li>小扉（フラップ式）：放水路ゲートが閉止の状態においても非常用海水ポンプの運転に伴い発生する系統からの排水を放水できよう、扉体に放水方向の流れのみ開となる。津波時、津波の水圧によりフラップゲートが閉となる。</li> </ul>   |
| 構造    |    |   |
| 仕様    | <p>第 305 回審査会合(平成 27 年 12 月 10 日) 資料 3-3-3 より</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法：約 4.15m×約 6m (ゲート扉体)</li> <li>種類：防潮壁 (ゲート落下機構付き)</li> <li>材料：鉄筋コンクリート，炭素鋼</li> <li>個数：1 基</li> <li>付属機能：ゲート落下機構</li> </ul> | <p>第 520 回審査会合(平成 29 年 10 月 17 日) 資料 1-3-2 より</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>外形寸法：約 3.7m×約 4.2m (全体)</li> <li>種類：逆流防止設備 (ゲート，フラップゲート)</li> <li>材料：炭素鋼</li> <li>個数：3 基 (各放水路に 1 箇所)</li> <li>付属機能：開閉装置，小窓 (フラップ式)</li> </ul> |

※他社記載事項について、審査会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものである。

表 1 他社先行審査実績との比較 (3/5)

|           |  |   |
|-----------|--|---|
| 項目        | 女川発電所 2 号炉   | 泊発電所 3 号炉   |
| 設備名称      | 補機冷却海水系放水水路逆流防止設備  | 1 号及び 2 号炉放水水路逆流防止設備  |
| 設備分類      | 浸水防止設備   | 津波防護施設  |
| 設置目的      | 2 号炉補機冷却海水系放水水路には防潮壁横断部に開口があるため、逆流防止設備を設置し津波の流入を防止する。                              | 放水路から遡上する津波が 1 号及び 2 号炉放水ピット等から敷地への到達、流入するのを防止するために設置する。  |
| 設置位置      | <p>2 号炉放水立坑 補機放水路の防潮壁横断部</p>   | <p>1 号及び 2 号炉 放水路</p>   |
| 既許可上の位置付け | 第 734 回審査会合(令和元年 6 月 25 日) 資料 1-2-2 より 赤枠追記<br>女川 2 号炉の新規制基準適合性審査において、浸水防止設備として申請。 | 泊 3 号炉の新規制基準適合性審査において、泊 3 号炉の津波防護施設として申請し、1 号炉の放水機能に影響を与えない設計とする (原子炉補機冷却海水ポンプの放水機能維持)。泊 1 号及び 2 号炉の新規制基準適合性審査において、本設備を撤去し泊 1 号、2 号及び 3 号炉共用の津波防護対策を別途申請予定。 |
| 設置環境      | 水中 (補機冷却海水を常時放水)   | 気中及び水中 (原子炉補機冷却海水を常時放水)   |

※他社記載事項について、審査会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものである。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

表 1 他社先行審査実績との比較 (4/5)

|       |  |  |
|-------|--|--|
| 項目    | 女川発電所 2 号炉   | 泊発電所 3 号炉  |
| 重要度分類 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・耐震重要度：S クラス</li> <li>・安全重要度：津波防護施設 (耐震 S クラス)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・耐震重要度：S クラス</li> <li>・安全重要度：津波防護施設 (耐震 S クラス)</li> </ul>   |
| 動作原理  | フラップゲート：津波による水圧 (静的)   | フラップゲート：津波による水圧 (静的)   |
| 動作内容  | フラップゲート：通常時，補機放水系統の運転に伴い発生する系統からの排水を放水できるように，放水方向の流れのみ開となる。津波時，津波の水圧によりフラップゲートが閉となる。   | フラップゲート：通常時，放水系統の運転に伴い発生する系統からの排水を放水できるように，放水方向の流れのみ開となる。津波時，津波の水圧によりフラップゲートが閉となる。   |
| 構造    | <p>第 734 回審査会合 (令和元年 6 月 25 日) 資料 1-2-2 より</p>   |  |
| 仕様    | <ul style="list-style-type: none"> <li>・外形寸法：約 2m × 約 1.6m (全体/フラップゲート)</li> <li>・種類：逆流防止設備 (フラップゲート)</li> <li>・材料：ステンレス鋼</li> <li>・個数：2 基</li> <li>・付属機能：フラップゲート</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・外形寸法：約 3.4m × 約 4.0m (全体)<br/>開口部：1.0m × 1.0m</li> <li>・種類：逆流防止設備 (フラップゲート)</li> <li>・材料：炭素鋼</li> <li>・個数：4 基 (各放水路に 1 箇所)</li> <li>・付属機能：フラップゲート</li> </ul> |

※他社記載事項について，審査会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものである。

表 1 他社先行審査実績との比較 (5/5)

| 項目         | 女川発電所 2 号炉     | 泊発電所 3 号炉  |
|------------|----------------|--|
| 施設管理       | 目視による確認が可能である。 | 放水路について、定期的な抜水、カメラ等を用いた点検、清掃等を実施することにより、逆流防止設備の変状の有無やフラップゲートの状態確認が可能である。   |
| 異常の<br>検知性 | 目視による確認が可能である。 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・逆流防止設備が仮に閉塞、閉固着した場合、放水できなくなつた海水により放水ピット立坑水位が上昇するため、放水ピット立坑上部から放水ピット水位を日常的に確認することで異常の検知は可能である。各号炉の放水路に逆流防止設備は 2 基設置しているが、仮にどちらか一方が閉塞もしくは閉固着した場合でも、異常側の放水ピット立坑から敷地へ溢れる前に、健全なもう一方の放水路を通して海水が放水されため、異常が確認した段階でも放水機能は維持されていると考えられる。また、自主設置の放水ピット立坑に異常な水位上昇を検知可能な計器により、1 号及び 2 号炉中央制御室に警報を発報し、早期に検知可能とする。</li> <li>・なお、逆流防止設備の開固着については、点検実績から逆流防止設備の戸当たり部等に貝等が付着し、フラップゲートの閉機能が阻害されることや摺動部が固着することは考え難く、また、フラップゲートの構造からも摺動部の焼き付き、急激な腐食等の要因で固着する可能性は低いものと考ええる。</li> </ul> |

※他社記載事項について、審査会合資料等をもとに弊社の責任において独自に解釈したものである。

## 【比較結果】

表1の他社先行審査実績との比較の結果、泊の逆流防止設備と他社先行審査実績において以下の項目について差異があり、逆流防止設備の適用性について確認した。

### 1. 安全重要度について

高浜3号炉及び4号炉の取水路防潮ゲート及び東海第二発電所の放水路ゲートは、それぞれ外部入力により動作する機構（駆動部）を有する動的機器であり、駆動部である取水路防潮ゲートのゲート落下機構及び放水路ゲートの開閉装置については、重要安全施設（MS-1）として多重性又は多様性及び独立性を確保する設計とし、ゲート自体は静的機器として設計（多重化していない）している。

泊の逆流防止設備は、外部入力により動作する機構を有しないことから、静的機器として設計し、津波が敷地へ到達、流入することを防止し、重要な安全機能を有する設備を防護するために必要な設備である観点で津波防護施設として信頼性を確保した設計とすることが適切と考える。

### 2. 設置箇所について

女川の補機冷却海水系放水路逆流防止設備と泊の逆流防止設備は、設置箇所に差異がある。女川の補機冷却海水系放水路逆流防止設備はその設置箇所から、放水立坑より目視にて施設管理や異常時の検知の対応が可能である。一方、泊の逆流防止設備は放水路内（暗渠）に設置しており、目視が困難であるものの、逆流防止設備の施設管理については、定期的に放水ピットに角落しを挿入し、放水路内について排水し目視で確認することやカメラ等で確認することで対応は可能と考える。また、異常時の検知については、放水ピット立坑上部から放水ピット水位を日常的に確認することや自主設置の放水ピット立坑の異常な水位上昇を検知可能な計器による検知等で対応可能と考える。

以上より、泊の逆流防止設備は津波防護対策として適用性はあるものと考えられる。



逆流防止設備設置に伴い上昇する水位について

放水路への逆流防止設備設置により，逆流防止設備が堰となることや，フラップゲートによる抵抗の影響から原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の放水ピット立坑水位が上昇する。そのため，原子炉補機冷却海水ポンプの放水性評価として，放水ピット立坑の水深を評価する。

1号及び2号炉は1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態のため，原子炉補機冷却海水ポンプの排水により放水路は開水路として自由水面を保ちつつ一定の流量が生じていることから，逆流防止設備により上昇する水位を算定した結果を以下に示す。

- ①四角堰による越流水深  
 $Q = 1.84(b - 0.2h)h^{3/2} \quad (m^3)$   
 $h \approx 0.75(m)$
  - ②逆流防止設備 開口部下端高さ  
 $D = \text{約 } 0.7(m)$
- ①+② ≈ 約 1.5m

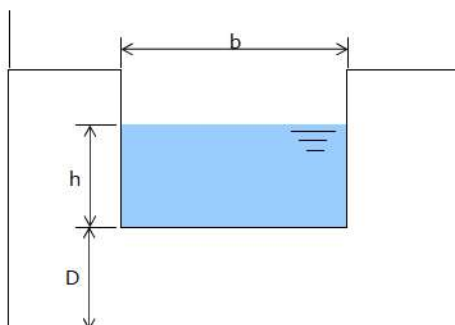


図1 逆流防止設備開口部 四角堰の模式図

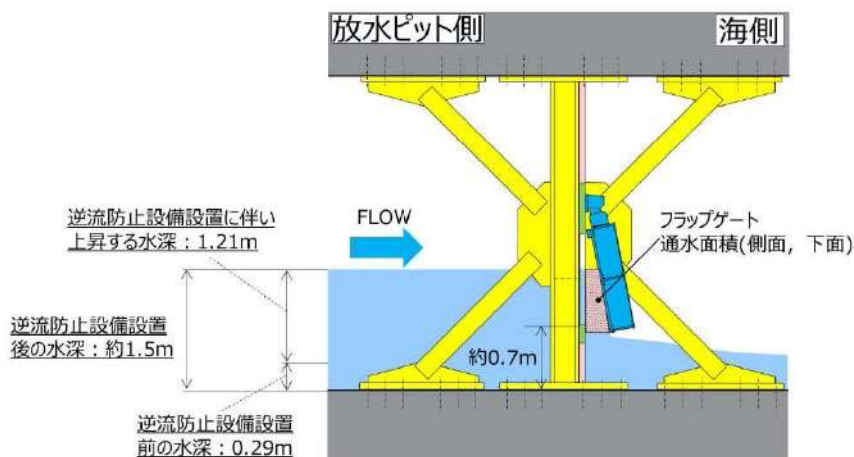


図2 逆流防止設備開口部

原子炉補機冷却海水系運転時の流路の流量が小さいことから、逆流防止設備開口部における水位上昇は小さいものとなっている。また、フラップゲートの開度は、図3に示す通り水流の流水圧力による開方向のモーメントとフラップゲートの自重による閉方向のモーメントが釣り合う位置となる。水流によって開いたフラップゲートの通水面積は、越流落下により十分な流量が確保できる面積であることから、フラップゲートの抵抗による水位の上昇は小さい。

表1 四角堰の算定式

|     | 公式                          | 係数  | 根拠         |
|-----|-----------------------------|---|------------|
| 四角堰 | $Q = 1.84(b - 0.2h)h^{3/2}$ | $Q$ : 流量(=1.0m <sup>3</sup> /s)<br>$b$ : 水路の幅(=1.0m)<br>$h$ : 越流水深(m) | JIS K 0094 |

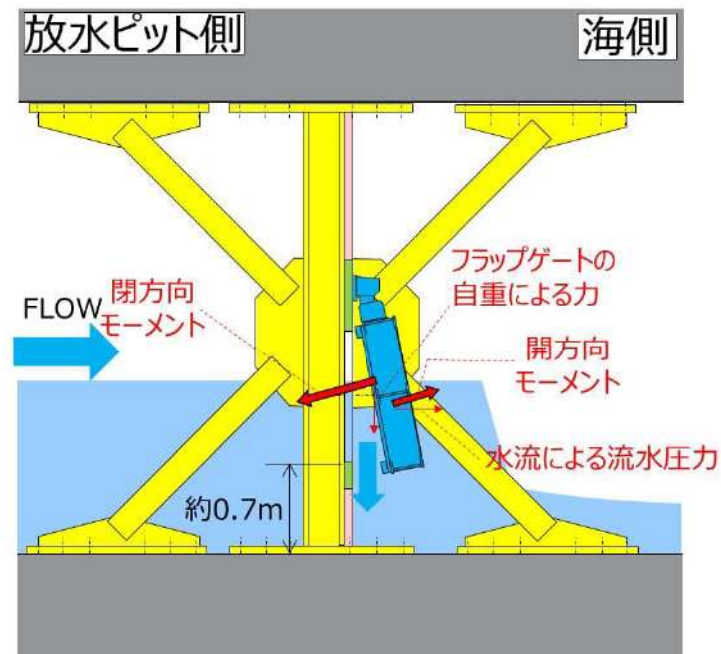


図3 通常時に逆流防止設備のフラップゲートに作用する力について

## 逆流防止設備の構造成立性について

逆流防止設備は津波防護施設であることから、基準地震動による地震荷重や基準津波による津波荷重に対し、構成する部材がおおむね弾性領域内に収まるよう設計する。

ここでは、地震荷重や流水圧等の津波荷重により逆流防止設備を構成する部材が曲げやせん断等により損傷する以外に、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、逆流防止設備の各部位が損傷して要求機能を損失しうる事象（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。

## (1) 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

逆流防止設備の各部位が損傷して要求機能を損失しうる事象の抽出に当たり、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、逆流防止設備に高流速の津波が到達する。「水門鉄管技術基準（水門編）令和4年版（（社）水門鉄管協会）」によれば、予想されるすべての荷重を考慮して設計しなければならず、扉体が円滑に開閉できるための精度、強度及び剛性を有することとしている。
- ・津波時には、逆流防止設備に高流速の津波が到達する。「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、流水による洗堀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。

(2) 要求機能を喪失しうる事象の抽出

前述を踏まえ、逆流防止設備の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。表1～表3に検討結果を示す。

表1 地震荷重や津波荷重により要求機能を喪失しうる事象と設計・施工上の配慮事項（逆流防止設備全体）

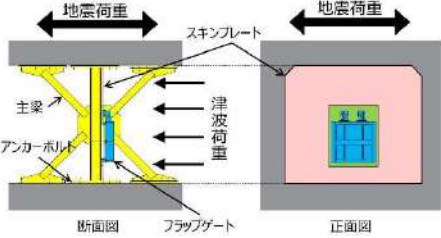
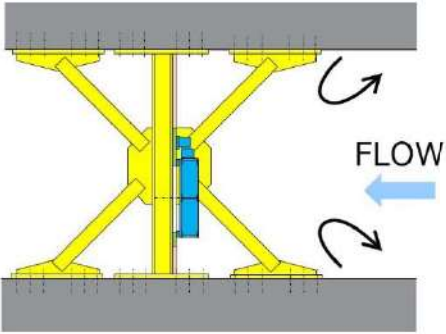
| 部位の名称    | 要求機能を喪失しうる事象   | 設計・施工上の配慮   | 照査   |
|----------|--|---|--|
| 逆流防止設備全体 | <p>・地震荷重や津波荷重により、主梁、スキンプレート、フラップゲートが曲げ破壊またはせん断破壊することで、津波防護機能を喪失する。</p> <p>・主梁やスキンプレートから伝達する荷重により、アンカーボルトが破断し、津波防護機能を喪失する。</p>  | <p>・主梁、スキンプレートやフラップゲートに生じる断面力による応力度が許容限界以下となるように詳細設計段階で設計する。</p> <p>・アンカーボルトに生じる断面力による応力度が、許容限界以下となるように詳細設計段階で設計する。</p> <p>・砂や小さな漂流物の影響については、詳細設計段階で設計する。</p>               | <p>○<br/>放水路内で十分な強度を有した材料や構造を適用可能なことから、構造成立性は確保可能。</p> |
|          | <p>・設備近傍で発生する渦や流水による摩耗によって形状に変化が生じ、津波防護機能を喪失する。</p>   | <p>・津波は短期的な事象であるが、安全側に以下の配慮を行う。「水門鉄管技術基準(水門編) 令和4年版(社)水門鉄管協会」によれば、板厚の減少に対して余裕厚を確保する方法が用いられていることから、鋼製部材に対して適切な余裕厚を詳細設計段階で設定する。</p> <p>・仮に摩擦が生じた場合でも、津波の遡上に対して十分な余裕を確保する。</p> | <p>○<br/>放水路内で十分な強度を有した材料を適用可能なことから、構造成立性は確保可能。</p>    |

表2 地震荷重や津波荷重により要求機能を喪失しうる事象と  
設計・施工上の配慮事項（フラップゲート）

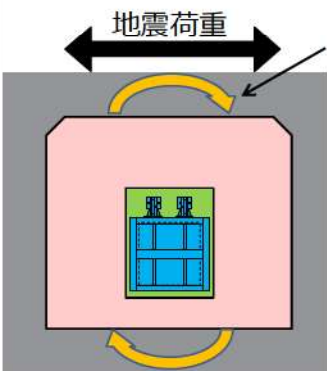
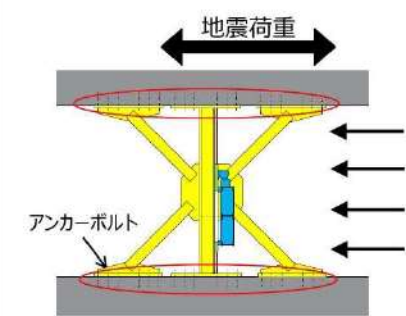
| 部位の名称   | 要求機能を喪失しうる事象  | 設計・施工上の配慮  | 照査  |
|---------|---|--|---|
| フラップゲート | <p>・地震荷重や津波荷重により、放水路が変形・損壊等し、津波流入防止時にフラップゲートの閉動作を阻害し、津波防護機能を喪失する。</p>  | <p>・逆流防止設備は、岩着の防潮堤直下の放水路に設置する。逆流防止設備近傍の放水路は再構築により耐震化を図るため、変形・損壊等を生じない。</p> | <p>○<br/>放水路及び逆流防止設備の耐震化を図ることから、構造成立性は確保可能。</p> |

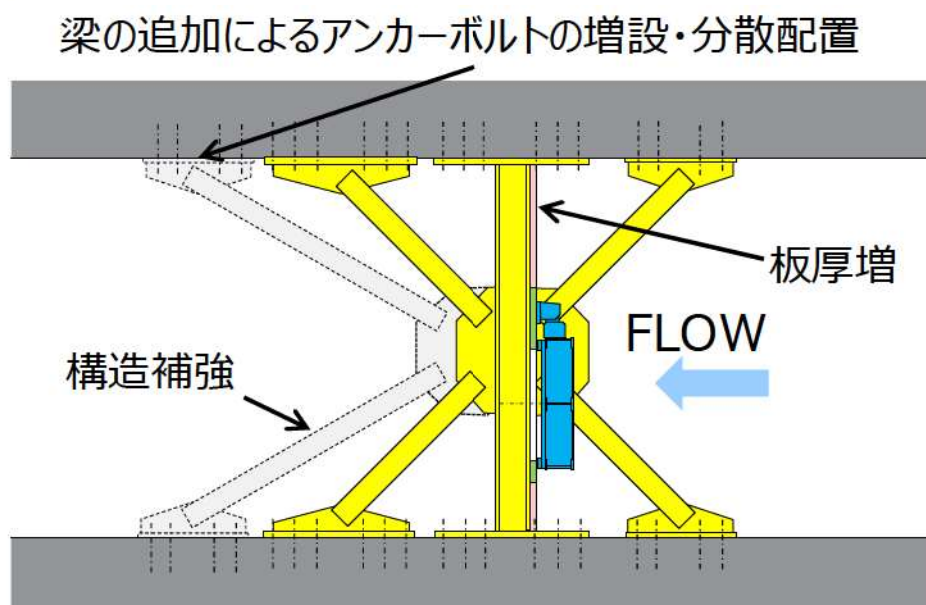
表3 地震荷重や津波荷重により要求機能を喪失しうる事象と  
設計・施工上の配慮事項（放水路）

| 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   |
|-------|--|--|--|
| 放水路   | <p>・地震荷重や逆流防止設備から伝達する津波荷重により、放水路のコンクリートがせん断破壊または引張破壊することで、津波防護機能を喪失する。</p>  | <p>・放水路のコンクリートに生じる応力度が、許容限界以下であることを確認する。</p> | <p>○<br/>放水路のコンクリートに生じる応力度が、許容限界以下となるようアンカーボルトの増設、分散配置が可能なことから、構造成立性は確保可能。</p> |

### (3) 逆流防止設備全体の構造成立性

(2) の整理結果を踏まえて、逆流防止設備全体の構造成立性について検討を行った。要求機能を喪失しうる事象に対して、防潮堤直下の放水路内で十分な強度を有した材料や構造を適用可能なことから、構造成立性は確保可能である(図1参照)。

なお、地震荷重や津波荷重による発生応力の評価については、詳細設計段階で示す。



## 逆流防止設備の施工方針及び通常時における津波防護機能維持の確認方法

逆流防止設備の施工に際し、放水路は2系統ある水路を切り替えながら施工する計画であり、施工フローを示す。

通常時において津波防護機能を維持していく観点から、その機能が喪失しうる事象<sup>※1</sup>を踏まえた設計・施工上等の配慮<sup>※2</sup>を行うとともに、機能が喪失しうる事象の進展速度が緩速であることや先行の類似構造物の維持管理事例等を踏まえ、定期的に抜水点検等により機能が維持されていることを確認することで、逆流防止設備の通常時の健全性を維持する方針とする。

- ※1 機能が喪失しうる事象として、フラップゲート摺動部の経年劣化、砂礫や貝を含んだ海水の流下による開口部及びフラップゲートのすりへり、貝付着による流路の縮小、及び水路内の異物混入による流路阻害。
- ※2 設計・施工上等の配慮として、開口部に貝付着を防止する観点から付着しにくい流速となっていることを確認する。また、定期的な点検時に貝や異物の除去を行う。

### (1) 逆流防止設備の施工について

逆流防止設備は基準地震動及び津波波圧等に十分耐えられるよう頑健で耐久性のある鋼製の構造物として計画している。なお、逆流防止設備は1号及び2号炉再稼働の際に撤去し、放水路の復旧を行う。

放水路に設置及び撤去する逆流防止設備の施工フローを図1に示す。

工事に当たっては、2系統ある放水路を1系統ずつ抜水しドライ環境の中で工事を行う<sup>※</sup>。なお、放水路は健全性を確保するため再構築を行うことから、逆流防止設備の設置位置に貝等の付着はない。

設置時は、搬入口から放水路内へ部材を搬入する。次に、放水路の天面及び底面にアンカーボルト打設し、部材を組み立てで固定する。

撤去時は、主梁、スキンプレートやフラップゲート等の鋼材を切断、撤去を行った後、アンカーボルトを切断し埋設部分以外撤去する。逆流防止設備を設置していた面について、放水路の構造及び機能に影響を及ぼさないよう、放水路同等に表面を仕上げる。

設置並びに撤去の施工完了後、設計上必要な寸法が確保されているか確認を行う。

- ※ 1系統ずつ抜水することで1号及び2号炉の放水機能は維持される。

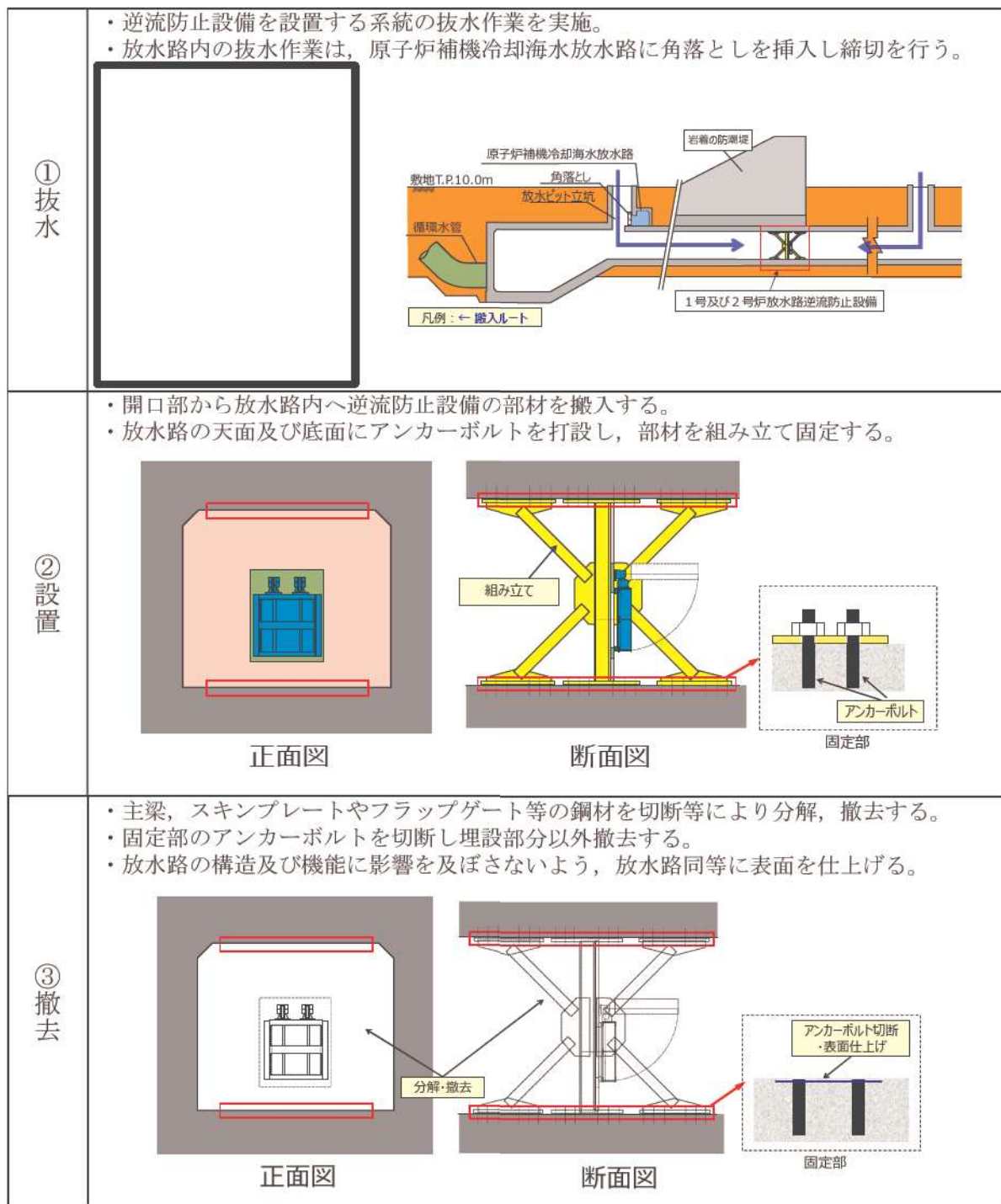


図1 逆流防止設備の施工フロー

(2) 既往の施工実績について

放水路は安全対策工事において再構築することから、アンカーボルトを先施工することが可能である。アンカーボルトを用いた施工方法について、安全対策工事等における配管・設備等の設置・耐震補強でも多々実績のある施工方法である。今回の逆流防止設備についても、設備重量、施工範囲や施工方法など実績の範囲内にある。

枠囲みの内容は機密情報に属しますので公開できません。

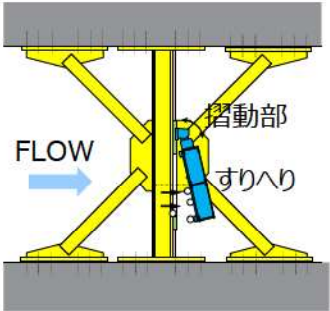
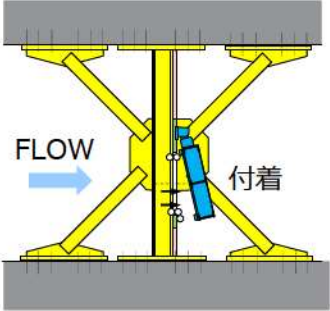


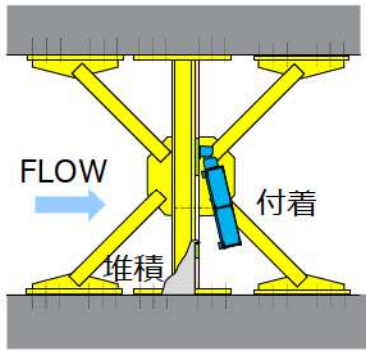
(3) 通常時における津波防護機能維持の確認方針について

逆流防止設備の通常時における津波防護機能維持を図っていく観点から、海水中に設置されていることや構造的な特徴に鑑み機能が喪失しうる事象を挙げ、それを踏まえた設計・施工上等の配慮及び事象の進展予想等を行った上で、機能維持の確認方針を検討した。

通常時において機能が喪失しうる事象と、それを踏まえた設計・施工上の配慮及び事象の進展予想を表1に示す。

表1 通常時において要求機能を喪失しうる事象を踏まえた設計・施工上等の配慮及び事象の進展予想

| 部位<br>の名称     | 要求機能の喪失しうる事象   | 設計・施工上等の配慮   | 事象の進展予想   |
|---------------|--|--|---|
| 逆流防止設備<br>開口部 | <p>・フラップゲート摺動部等の経年劣化や、砂礫や海生生物を含んだ流水による開口部及びフラップゲートにすりへりが発生することによって、津波防護機能を喪失する。</p>  | <p>・摺動部等の経年劣化や砂礫や海生生物(主に貝)に対して、十分な強度を有する材料で設計を行う。</p> <p>・「水門鉄管技術基準(水圧鉄管・鉄鋼構造物編)令和4年版(社)水門鉄管協会」によれば、管の摩耗による板厚の減少に対して余裕厚を確保する方法が用いられていることから、鋼製部材に対して適切な余裕厚を詳細設計段階で設定する。</p> | <p>・経年劣化及びすりへり現象は事象の進展速度が緩速であるものと想定される。</p> <p>・なお、放水路内は原子炉補機冷却海水ポンプの排水のみのため、砂礫や海生生物は極めて少ない。</p>                      |
|               | <p>・貝が開口部内に付着し、開口部の海水が流れにくくなり、放水機能を喪失する。</p>                                        | <p>・定期的な点検時に貝が確認された場合には除去を行う。</p> <p>・文献等を踏まえ貝が付着しない流速を参照し、貫通部に貝付着を防止する観点から付着しにくい流速となっていることを確認する。</p>  | <p>・貝は時間をかけて成長することから、事象の進展速度が緩速であるものと想定される。</p> <p>・なお、放水路内は原子炉補機冷却海水ポンプによる放水のみのため、砂礫や海生生物は極めて少なく、開口部への付着の可能性は低い。</p> |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>・水路内に入った貝や異物（貝の死骸等）が開口部前面に付着、堆積し開口部を塞ぐことで開口部の水が流れにくくなり、放水機能を喪失する。</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a backflow prevention device. It consists of a central vertical pipe with four diagonal support arms forming an X-shape. A blue arrow labeled 'FLOW' points from left to right through the central pipe. At the bottom of the central pipe, there is a blue component labeled '付着' (Accumulation). Below this component, there is a grey area labeled '堆積' (Accumulation), representing shells or debris blocking the flow.</p> | <p>・定期的な点検時に貝が確認された場合には貝や異物の除去を行う。</p> | <p>・貝は時間をかけて成長し、死骸も同様に徐々に増えることから、事象の進展速度が緩速であるものと想定される。</p> <p>・なお、放水路内は原子炉補機冷却海水ポンプによる放水のみのため、砂礫や海生生物は極めて少なく、開口前面部へ付着、堆積する可能性は低い。</p> |
|--|--|--|

逆流防止設備は、先に述べたとおり、頑健で耐久性のある鋼製の構造物であるとともに、施工はドライ環境で確実にでき、機能が喪失しうる事象に対しては、設計・施工上等の配慮を行った上で、事象の進展速度が緩速であることを示した。

これを踏まえると、通常時における津波防護機能維持の確認方法としては、定期的な抜水、カメラ等による点検が有効と考えられる。

施工の段階で寸法管理が確実にできることから、点検については有意な損傷や変状に着目し実施する。

#### 点検内容（案）

- ① 逆流防止設備は放水路内部に設置された設備となるため、点検は定期点検時に合わせ実施する。
- ② 放水路については定期的な抜水、カメラ等による目視点検、清掃等を実施する。
- ③ 損傷や変状の状況に応じ、詳細な点検を行う。
- ④ 点検結果を踏まえ、必要に応じ点検期間の見直しを行う。

事象の進展影響として各構造物における水位の変動が考えられるが、水位による事象検出は難しく、定期的な抜水等による直接的な点検が維持管理には適しているものと考えられる。

○女川2号炉の審査実績（女川1号炉への取放水路流路縮小工の設置）を踏まえた比較

- ・女川2号炉では、1号炉の取水路及び放水路に流路縮小工を設置し、取水機能及び放水機能へ影響を与えるため、1号炉のプラント状態において機能要求がある系統を抽出し、1号炉への悪影響の整理として、設置変更許可申請書等の記載事項への反映要否を確認している。

- ・泊3号炉も同様に、1号及び2号炉の放水路に逆流防止設備を設置するため、泊1号及び2号炉のプラント状態で求められる機能要求への影響について確認した。以下に女川2号炉と泊3号炉を比較した結果を示す。

| No. | 比較項目   |        | 泊3号炉  | 女川2号炉   |
|-----|--|--------|---|---|
|     | 1  | 津波防護対策 | 設置対象のプラント<br>津波防護施設   | 1号及び2号炉<br>逆流防止設備   |
| 2   | No. 1のプラントの審査上の位置付け                                    |        | 供用プラント（設置変更許可申請中）   | 廃止措置プラント  |
| 3   | 審査時のNo. 1のプラント状態                                       |        | 原子炉容器へ燃料は装荷されていないプラント停止状態   |   |
| 4   | No. 2かつNo. 3のプラント状態において機能要求がある取水系統 <sup>※</sup> 及びその用途 |        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・系統：原子炉補機冷却海水系</li> <li>・用途：上記系統にて、使用済燃料ピットの冷却、外部電源喪失時のディーゼルの冷却、発電機の冷却及び空調用冷凍機の冷却を行う。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・系統：①原子炉補機冷却海水系、②非常用補機冷却海水系</li> <li>・用途：①により使用済燃料プールの冷却、②により非常用ディーゼル発電機の冷却を行う。</li> </ul> |
| 5   | 津波防護対策に求められる機能要求                                       |        | 放水路から敷地への津波の到達、流入を防止し、放水機能を維持すること。  |   |
| 6   | No. 5の機能要求を満たすための前提条件                                  |        | 海水の放水機能の確保のため、循環水ポンプ停止が前提   |   |

※なお、海水の取水系統としては、泊1号及び2号炉は、原子炉補機冷却海水系及び循環水系があり、女川1号炉は残留熱除去海水系、非常用補機冷却海水系、原子炉補機冷却海水系及び循環水系があり、この中から燃料未装荷のプラント停止状態において機能要求がある系統を抽出している。

- ・泊3号炉の逆流防止設備は、取水路に設置する津波防護対策であり、女川2号炉の取放水路流路縮小工に求められる機能要求や前提条件（No. 3～6）と同様であるため、設置変更許可申請書等の記載事項への反映等は、女川との相違点（女川1号炉は廃止措置プラント、泊1号及び2号炉は設置変更許可申請中のプラント）を踏まえ女川の審査実績と比較し、整理を行った。

逆流防止設備設置による許認可上の取り扱い（他社先行プラントとの差異）（1/4）

逆流防止設備の設備分類、耐震重要度、安全重要度及び許認可上の扱いを女川2号炉の審査実績を踏まえ、以下のとおり整理した。安全重要度は、取水路に設置する津波防護施設に対し重要安全施設とした実績のある高浜3号炉及び4号炉との差異を整理した。

| 項目    | 泊3号炉  | 女川2号炉との差異  | 高浜3号炉及び4号炉との差異  |
|-------|---|--|---|
| 設備分類  | 津波防護施設  | 差異なし   | 差異なし  |
| 耐震重要度 | 耐震Sクラス  | 差異なし   | 差異なし  |
| 安全重要度 | <p><b>【対象設備】</b><br/>逆流防止設備</p> <p><b>【整理結果】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・逆流防止設備は、津波が敷地へ到達、流入することを防止し、重要な安全機能を有する設備を防護するために必要な設備であるため、津波防護施設として信頼性を確保した設計とする。</li> <li>・他社先行審査実績でクラス1として設定している外部入力により動作する機構（駆動部）は設けない設計とする。</li> </ul> | <p><b>【対象設備】</b><br/>取放水路流路縮小工</p> <p><b>【整理結果】</b><br/>差異なし</p> | <p><b>【対象設備】</b><br/>取水路防潮ゲート</p> <p><b>【整理結果】</b><br/>取水路防潮ゲートは、外部入力により動作する駆動部（ゲート落下機構）を有し、重要安全施設（MS-1）としている。</p> <p>一方、泊の逆流防止設備は、外部入力により動作する機構を有しない静的機器であるが、津波が敷地へ到達、流入することを防止し、重要な安全機能を有する設備を防護するために必要な設備であるため、津波防護施設として信頼性を確保した設計とする。</p> |

逆流防止設備設置による許認可上の取り扱い（他社先行プラントとの差異）（2/4）

| 項目     | 泊3号炉   | 女川2号炉との差異   |
|--------|--|---|
| 設置変更許可 | <p>○設置変更許可申請（補正）の要否</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3号炉の津波防護施設の位置付けのため、本文記載事項を変更する工事に該当し、設置変更許可申請（補正）を行う。</li> <li>・1号及び2号炉の新規制基準適合性審査においては、逆流防止設備を撤去し、防水壁等の1号、2号及3号炉の共用の津波防護対策として設置変更許可申請（補正）し、適合性について説明する方針である。</li> </ul> <p>○設置変更許可申請書への記載方針</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 設置変更許可申請書 本文             <ul style="list-style-type: none"> <li>・1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないことを前提とすることを記載する。（添付書類十にも記載する。）</li> </ul> </li> <li>➤ 設置変更許可申請書 添付書類八             <ul style="list-style-type: none"> <li>・1号及び2号炉の取水路に流路縮小工、1号及び2号炉の放水路に逆流防止設備を設置することから、1号及び2号炉の循環水ポンプの停止を前提とすることを記載する。（1.5耐津波設計）</li> <li>・1号及び2号炉の取水路及び放水路に対しては、津波の流入を防止するため、流路縮小工及び逆流防止設備を設置することが、1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計とすることを記載する。（10.6 津波及び内部溢水に対する浸水防護設備）</li> </ul> </li> </ul> <p>○津波防護施設として1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計<br/>逆流防止設備設置後も原子炉補機冷却海水系に必要な流量を確保し、1号及び2号炉の放水機能に影響を与えない設計とする。</p> | <p>○設置変更許可申請（補正）の要否</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・差異なし</li> <li>・女川1号炉は廃止措置プラントであるが、泊は設置変更許可申請中のプラントであることを踏まえた整理。</li> </ul> <p>○設置変更許可申請書への記載方針</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 設置変更許可申請書 本文             <ul style="list-style-type: none"> <li>・差異なし</li> </ul> </li> <li>➤ 設置変更許可申請書 添付書類八             <ul style="list-style-type: none"> <li>・差異あり（ただし、島根2号炉と差異なし）</li> <li>・差異なし</li> </ul> </li> </ul> <p>○津波防護施設として1号炉に悪影響を及ぼさない設計<br/>差異なし</p> |

逆流防止設備設置による許認可上の取り扱い（他社先行プラントとの差異）（3/4）

| 項目            | 泊3号炉   | 女川2号炉との差異   |
|---------------|--|---|
| <p>工事計画認可</p> | <p>○設計及び工事の計画の認可申請の要否</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・3号炉の外郭浸水防護設備として、設計及び工事の計画の認可を申請する。</li> <li>・設置変更許可で示した逆流防止設備の機能及び仕様を含め、3号炉の工事計画書の本文及び添付資料で詳細設計の結果を示す。</li> </ul> <p>○設計及び工事の計画の認可申請書への記載方針</p> <p>逆流防止設備は1号及び2号炉の放水路内に設置するため、1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないプラント停止状態の1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水ポンプの維持が必要であることを踏まえ、通常時及び外部電源喪失時における原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の放水機能に影響がない設計とすること</p> <p>を「基本設計方針」及び「添付書類（設備別記載事項の設定根拠に関する説明書）」に記載し、逆流防止設備の開口寸法を「要目表」に記載する。</p> <p>○津波防護施設として1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計</p> <p>設置変更許可申請書へ1号及び2号炉に悪影響を及ぼさない設計とすることを記載するに当たり、逆流防止設備について以下を考慮し設計する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・原子炉補機冷却海水ポンプの定格容量を確保でき、放水機能に影響を与えない開口寸法を設定する。</li> </ul> | <p>○設計及び工事の計画の認可申請の要否</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・差異なし</li> <li>・差異なし</li> </ul> <p>○設計及び工事の計画の認可申請書への記載</p> <p>差異なし</p> <p>○津波防護施設として1号炉に悪影響を及ぼさない設計</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・差異なし</li> </ul> |



## 逆流防止設備に係る各審査段階の説明内容について

逆流防止設備は、3号炉新規制基準適合性審査の中で津波防護施設の位置付けであるため、津波時における敷地への津波の到達、流入防止機能が要求される。また、1号及び2号炉の放水路内に設置することから、1号及び2号炉の放水機能に悪影響を与えない設計とする。

逆流防止設備の設置により1号及び2号炉の循環水ポンプの運転に伴う復水器冷却水の放水が困難になることから、設置変更許可申請書本文に「1号及び2号炉の原子炉容器に燃料が装荷されていないことを前提とする」ことを記載した上で、添付書類八に「1号及び2号炉の循環水ポンプの停止を前提とする」ことを記載する。

以上を踏まえ、逆流防止設備について3号炉の設置変更許可段階及び工事計画認可段階の説明内容を次表のとおり整理した。



表 1 逆流防止設備に係る各審査段階の説明

| 項目                                    | 3号炉設置変更許可   | 3号炉工事計画認可  |
|---------------------------------------|---|--|
| 基本設計方針                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>放水路から遡上する津波が敷地へ流入することを防止するため、津波防護施設として1号及び2号炉放水路に逆流防止設備を設置することを説明する。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>津波防護施設のうち逆流防止設備については、1号及び2号炉の放水路からの津波の流入を防止し、入力津波に対して浸水を防止する設計とする。また、1号及び2号炉の放水機能に悪影響を及ぼさない設計とする。</li> <li>逆流防止設備については、津波防護機能並びに1号及び2号炉の放水機能を維持する運用を保安規定に紐づくQMS文書に定めて管理する。</li> </ul> |
| 1号及び2号炉の放水路からの敷地への津波の流入防止（3号炉 津波防護機能） | <ul style="list-style-type: none"> <li>逆流防止設備は開口部を設けるとともに、フラップゲートを開口部に設けることで、津波の敷地 T.P. 10.0m への流入を防止することを説明する。</li> </ul>  |  |
| 通常時の1号及び2号炉の放水機能への影響                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>開口部が小さくなると水路の損失水頭が増加し、放水機能に影響を与えるため、通常時の放水ピット水位が原子炉補機冷却海水放水路下端高さとなる開口寸法を最小開口寸法（設計確認値（下限値））とし、その最小開口寸法（0.46m×0.46m）に対して逆流防止設備の開口寸法（1.0m×1.0m）が十分な余裕を持った開口寸法であることを説明する。</li> <li>至近の定期点検時における調査結果では、前回定期点検後からの新たな貝等の付着は確認されていないことから、通常時において貝付着による閉塞の可能性は低いことをご説明する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>逆流防止設備の開口寸法について、1号及び2号炉原子炉補機冷却海水ポンプ運転時の放水機能に影響を及ぼさない設計確認値（下限値）の設定根拠をご説明する。</li> </ul>   |

表 1 逆流防止設備に係る各審査段階の説明 (続き)

| 項目                                  | 3号炉設置変更許可  | 3号炉工事計画認可   |
|-------------------------------------|--|---|
| 通常時の漂流物の閉塞による放水機能への影響               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 通常時の1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水系統等の排水の放水機能維持の観点で、放水路内に流入する可能性がある漂流物を選定し、漂流物の大きさや形状等から逆流防止設備の閉塞の可能性についてご説明する。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 漂流物の影響に関しては、3号炉設置変更許可からの漂流物の変更有無を踏まえ、放水機能が確保されていることをご説明する。</li> </ul>        |
| 津波来襲時の漂流物・浮遊砂・洗掘土砂による津波防護機能への影響について | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 津波来襲時に漂流物・浮遊砂・洗掘土砂が放水路内に流入する可能性についてご説明し、逆流防止設備の閉動作に与える影響についてご説明する。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 漂流物の影響に関しては、3号炉設置変更許可からの漂流物の変更有無を踏まえ、逆流防止設備の閉動作に与える影響がないことをご説明する。</li> </ul> |
| 施設管理                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 保安規定に紐づく社内規定で定める保全計画に基づき、定期的な放水、カメラ等による点検、清掃等を実施し、変状が確認された場合は、詳細な調査を行うことをご説明する。</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3号炉設置変更許可の内容に基づき、保安規定に紐づく社内規定で定める保全計画に基づき施設管理していくことをご説明する。</li> </ul>        |
| 通常時に閉塞・閉固着した場合の異常の検知性について           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 通常時の1号及び2号炉の原子炉補機冷却海水系統等の排水の放水機能維持の観点で、逆流防止設備が仮に閉塞・閉固着した場合における検知の方法についてご説明する。また、検知後の対応として、日常点検や中央制御室への警報発報により異常を検知した後、保安規定に紐づくQMS文書に基づき対応することをご説明する。</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3号炉設置変更許可の内容に基づき検知の方法及び保安規定に紐づくQMS文書に基づき対応することをご説明する。</li> </ul>             |
| 通常時に開固着する可能性と異常の検知性について             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 逆流防止設備の設置環境や通水時の接液状況等から通常時に逆流防止設備のフラップゲートが開固着する可能性は低いことをご説明した上で、定期的にカメラによりフラップゲートの軸が固着していないことを確認し、3号炉の津波防護施設としての機能維持を確認することをご説明する。</li> <li>• 上記の検査により逆流防止設備の摺動部に異常が検知された場合には、保安規定に紐づくQMS文書に基づき対応することをご説明する。</li> </ul> |   |

表 1 逆流防止設備に係る各審査段階の説明（続き）

| 項目                  | 3号炉設置変更許可   | 3号炉工事計画認可  |
|---------------------|---|--|
| 逆流防止設備の損傷モードを踏まえた設計 | <ul style="list-style-type: none"> <li>逆流防止設備の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・施工上の配慮事項を示した上で、梁の追加によるアンカーボルトの増設・分散配置、強度を考慮した板厚の設定、構造補強を行うことで、構造成立性の確保は可能であることを説明。</li> <li>摺動部の経年劣化や砂礫や海生生物(主に貝)によるすり減り事象に対して、十分な強度を有する材料で設計を行うことをご説明する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>3号炉設置変更許可で示した方針、要目表に示す設計値を踏まえ、津波時及び重畳時における耐震計算書及び強度計算書にて十分な構造強度を有していることをご説明する。</li> </ul> |

## 3号炉放水ピット流路縮小工について

## 1. はじめに

3号炉放水ピット流路縮小工（以下「流路縮小工」という。）は、3号炉放水路を遡上する津波に対して、3号炉放水ピット（以下「放水ピット」という。）から敷地への津波の到達、流入を防止するための設備であり、3号炉の津波防護施設である。流路縮小工の設置位置を図1に示す。



図1 流路縮小工の設置位置

## 2. 流路縮小工の設置目的と構造概要

## (1) 流路縮小工の設置目的

流路縮小工は、放水路から遡上する津波に対して、放水ピットをコンクリート構造物により開口縮小することで流路抵抗を増加させ、放水ピット上端開口部から敷地へ流入することを防止するために設置するものである。

## (2) 流路縮小工の構造概要（図2,表1）

流路縮小工は、放水ピット内に設置するコンクリート構造物であり、循環水管の下端よりも上部に設置する。流路縮小工には、原子炉補機冷却海水放水路及び温水ピット排水配管等からの排水を放水ピット立坑へ放水するための排水路（幅5m・深さ1mの溝、 $\phi$ 4m立坑及び $\phi$ 1.5m配管）を図2の通り設ける。また、流路縮小工には、循環水系統の水張・初期通水時の管内の空気抜きのため、循環水管近傍にベント管を設ける。津波来襲時は、流路縮小工の排水路（ $\phi$ 4m立坑及び $\phi$ 1.5m配管）による流路抵抗の増加により、津波の敷地への流入を防止する。放水ピットについては、流路縮小工の間接支持構造物としての機能が維持で

きるよう、コンクリートの増厚による補強を実施する。

流路縮小工の詳細構造については、参考3に示す。

なお、3号炉原子炉補機冷却海水放水路が接続される放水ピット内側壁面には逆流防止設備が設置されるが、本設備の目的、構造等に関しては、添付資料38にて詳細を示す。

表1 流路縮小工を構成する内容と役割

| 項目        | 役割                                   |
|-----------|--------------------------------------|
| コンクリート構造物 | ・放水ピット立坑からの津波の遡上量を低減させる              |
| 排水路（配管）   | ・原子炉補機冷却海水等の排水路<br>・津波遡上時の流路縮小効果     |
| 排水路（立坑）   | ・原子炉補機冷却海水等の排水路<br>・津波遡上時の流路縮小効果     |
| 排水路（溝）    | ・原子炉補機冷却海水等の排水路                      |
| ベント管      | ・循環水ポンプ水張・通水時の空気抜き<br>・放水ピットの自由水面の維持 |

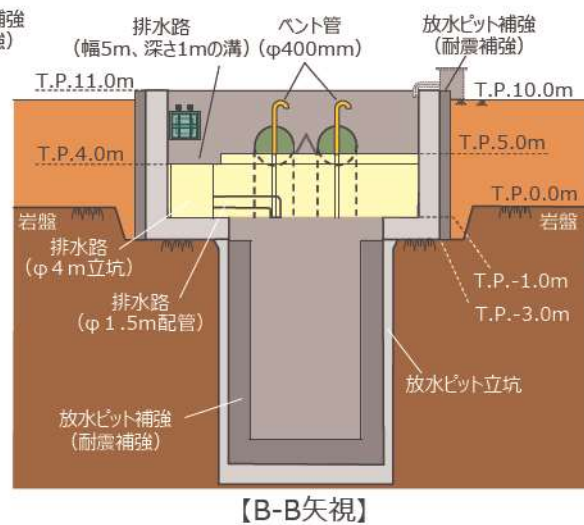
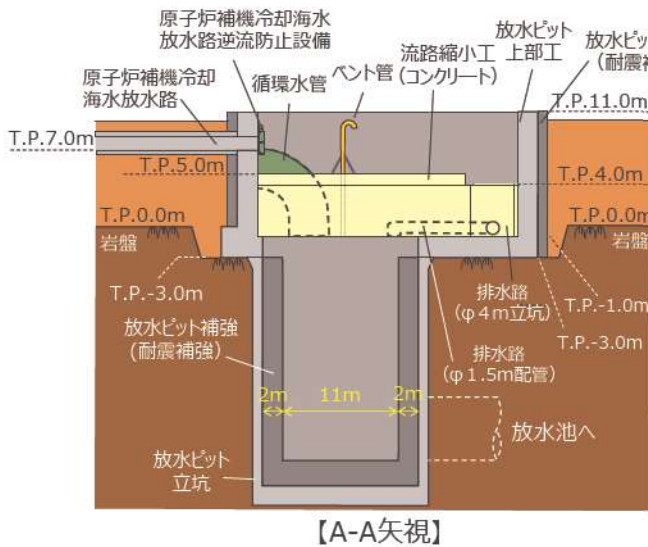
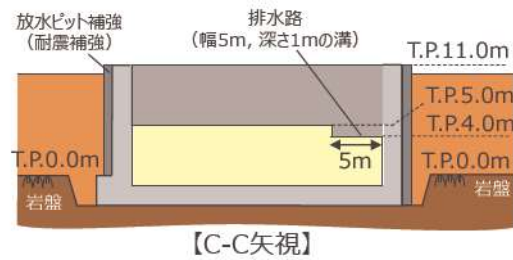
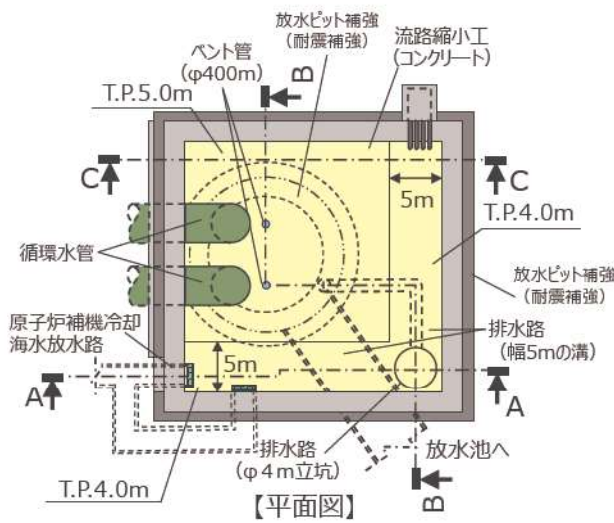
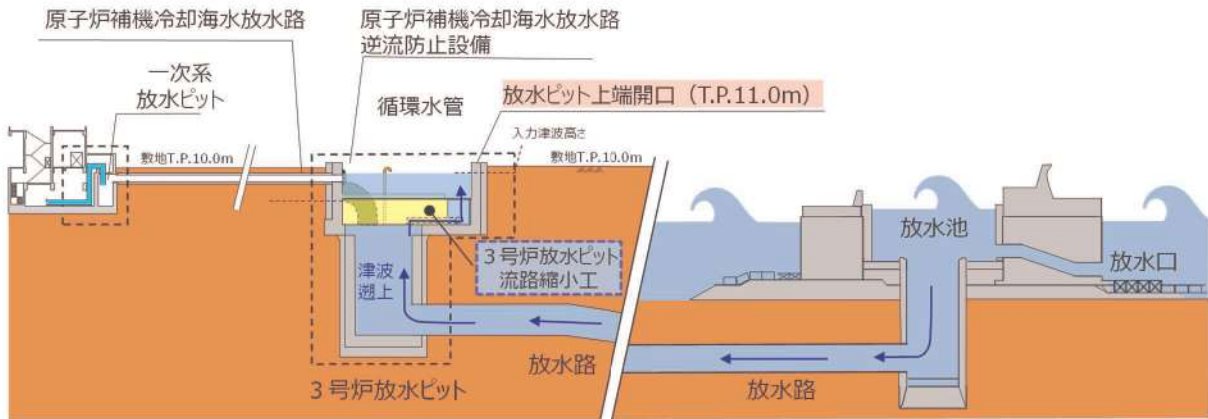


図2 流路縮小工の構造概要

### 3. 流路縮小工設置による3号炉放水機能への影響について

#### (1) 既設設備が有する機能と役割について

流路縮小工設置による既設設備への影響評価に当たり、放水ピットに関係する既設の設備が本来有する機能と役割を整理した。

#### a. 3号炉放水設備

##### (a) 概要

3号炉放水設備（以下「放水設備」という。）は放水ピット、放水路、放水池及び放水口で構成される。放水ピットは、タービン駆動蒸気と熱交換された復水器冷却水、原子炉補機冷却水冷却器等と熱交換された原子炉補機冷却海水、及び温水ピット排水等のその他の排水を合流させて放水路へと導く設備（図3）であり、放水ピットと放水池の水頭差により海水等を外海に水中放流する。放水設備の設計流量は、復水器冷却水として約 $64\text{m}^3/\text{s}$ 、原子炉補機冷却海水系統等で約 $2\text{m}^3/\text{s}$ 、合計約 $66\text{m}^3/\text{s}$ として設計している。

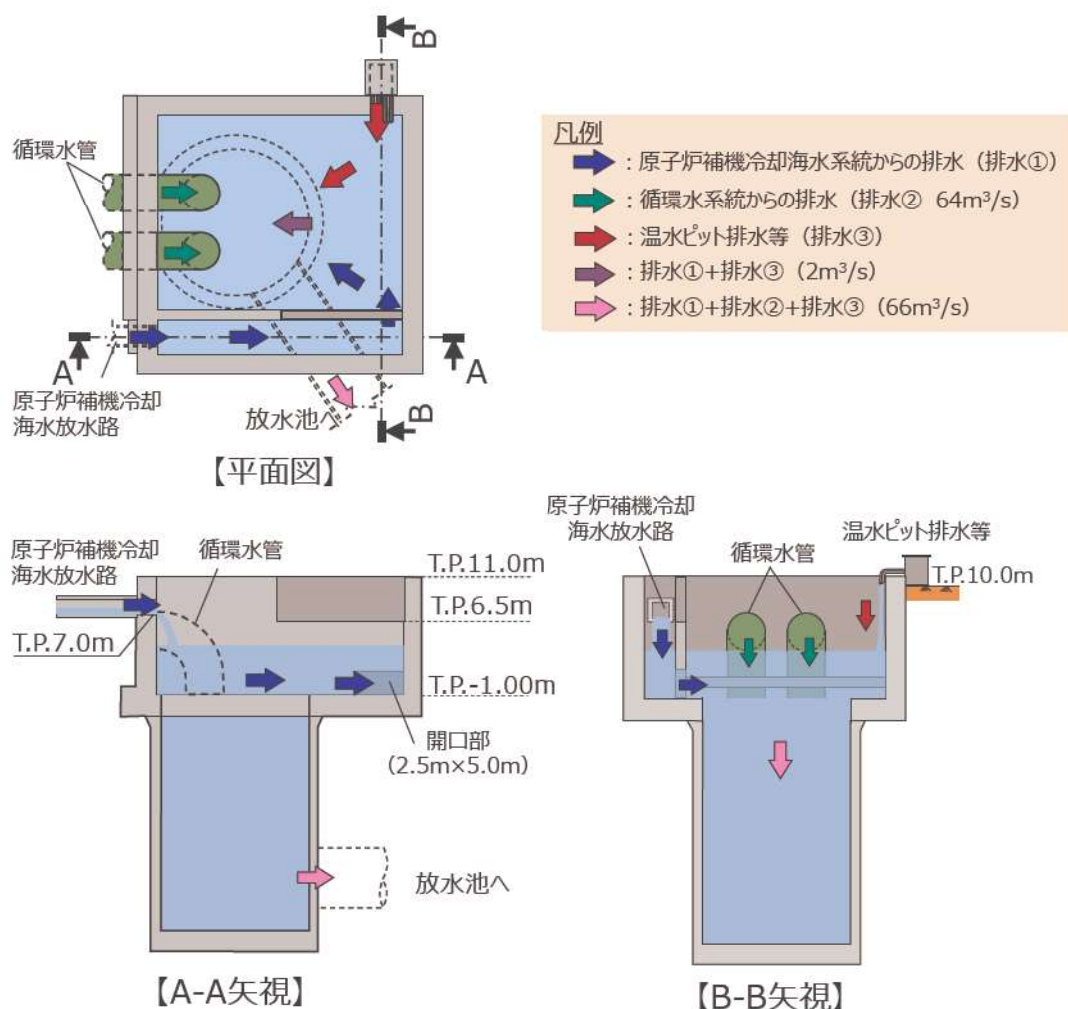


図3 放水ピット内の各排水の放水経路  
(流路縮小工施工前)

(b) 放水設備に対する規制上の要求事項

○安全重要度：P S - 3

放水設備は、「発電用軽水型原子炉施設の安全上の機能別重要度分類に関する審査指針」において、「異常事態の起因事象となるものであって、P S - 1 及びP S - 2 以外の構築物、系統及び機器」のうち、当該系の循環水系統（P S - 3）の間接関連系としてP S - 3に該当する。

○耐震重要度：耐震Cクラス

放水設備は、耐震Sクラス及び耐震Bクラスに属する施設以外の施設のため、耐震Cクラスに該当する。

(c) 放水ピット寸法及び形状設定の考え方

流路縮小工の設置により放水ピットの内空形状が変わり、既設の機能への影響評価を行うため、既設の放水ピットの寸法及び形状に関する設計根拠を整理した（図4）。

放水設備は、放水ピットと放水池の水頭差を利用して外海へ放水する設計であり、放水ピット为天端高さは、設計流量  $66\text{m}^3/\text{s}$  で海水を放水した際に生じる管路の損失水頭を考慮しても、放水ピットから敷地へ流入しない高さ（T.P. 11.0m）を確保している。

放水ピットの立坑部は建設時に放水路の施工を行う上で、施工性の観点から放水路の内径以上を確保している。放水ピット立坑の上部に設置されている上部工は、この立坑部を囲うように設置しており、施工性・構造強度の観点で正方形形状を採用している。また、放水口周辺の景観への配慮のため、原子炉補機冷却海水放水路からの落水により発生する泡が、放水ピット立坑を經由して放水口へ流下しないように、原子炉補機冷却海水放水路からの排水が迂回経路を取るよう仕切壁を設置し、泡が浮上する長さとして25mの幅寸法を確保している。



■ 放水ピット水位の算出式

$$\text{放水ピット水位 } H_a(\text{m}) = \text{放水池水位 } H_b(\text{m}) + \text{放水時の管路損失 } \sum_{k=1}^{10} h_k(\text{m})$$

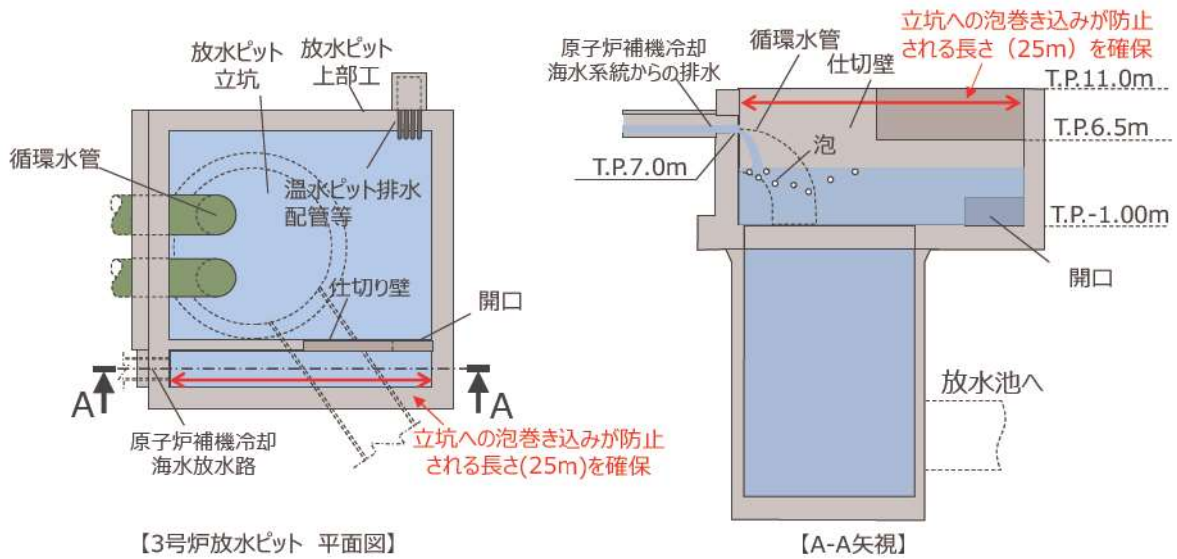
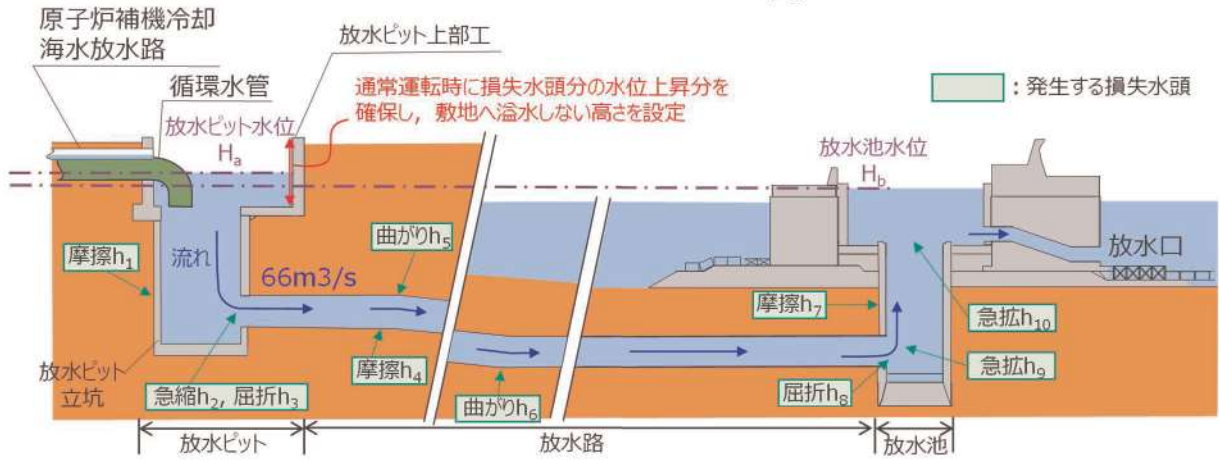


図4 放水ピット寸法及び形状設定の考え方について

## b. 放水ピットに放水する既施設設

### (a) 概要

#### ① 3号炉原子炉補機冷却海水系統（図5）

原子炉補機冷却海水系統は、通常運転、過渡変化時、事故時等のプラントのあらゆる運転モードにおいて、安全上重要な機器である原子炉補機冷却水冷却器、非常用ディーゼル発電機等に海水を供給し、最終的な熱の逃がし場である海へ熱を輸送する設備であり、取水ピットから取水した冷却海水を各冷却器を通し、熱交換された排水を電気建屋内に設置されている一次系放水ピットへ導き、原子炉補機冷却海水放水路を通して放水ピットへ放水される。通常時、原子炉補機冷却海水系統は原子炉補機冷却海水ポンプ全4台のうち2台運転し、約 $1.0\text{m}^3/\text{s}$  ( $1,700\text{m}^3/\text{h} \approx 0.5\text{m}^3/\text{s} \times 2$ 台)で放水され、外部電源喪失によりブラックアウトシーケンスが作動しポンプ4台全台が運転した場合には、約 $2.0\text{m}^3/\text{s}$ の海水が放水される。

原子炉補機冷却海水系統はサイフォン効果を利用して原子炉補機冷却海水ポンプにより各機器まで送水しており、原子炉補機冷却海水ポンプの実揚程は、取水ピットと一次系放水ピットの水位差となる。原子炉補機冷却海水系統の海水放出口はダムアップ方式を採用しており、放水管下端高さ (T.P. 6.7m) を原子炉補機冷却海水放水路下端高さ (T.P. 7.2m) よりも低く設計し一次系放水ピットの水面をダムアップすることにより、自由水面 (大気開放位置) と高位置の海水配管との高さがサイフォンリミット以内となるよう設計し、高位置における海水管中の静圧低下を防止している。

また、原子炉補機冷却海水系統は、放水経路となる放水路が万一閉塞した場合でも、プラント安全停止に必要な最低限の海水を通水させるため、一次系放水ピット上部に開口部 (T.P. 10.4m) を設けている。そのため、通常時に一次系放水ピットの水位が T.P. 10.4m まで上昇し、取水ピットとの水頭差が生じたとしても原子炉補機冷却水冷却器や非常用ディーゼル発電機等に必要な最低流量 (定格流量の 90% 以上) を確保できる設計としている。

追而【一次系放水ピット上部開口高さ等の記載】

破線囲部分については、開口部のコンクリート閉塞もしくは高さの変更を検討中であり、今後の検討結果を踏まえて記載を適正化する。

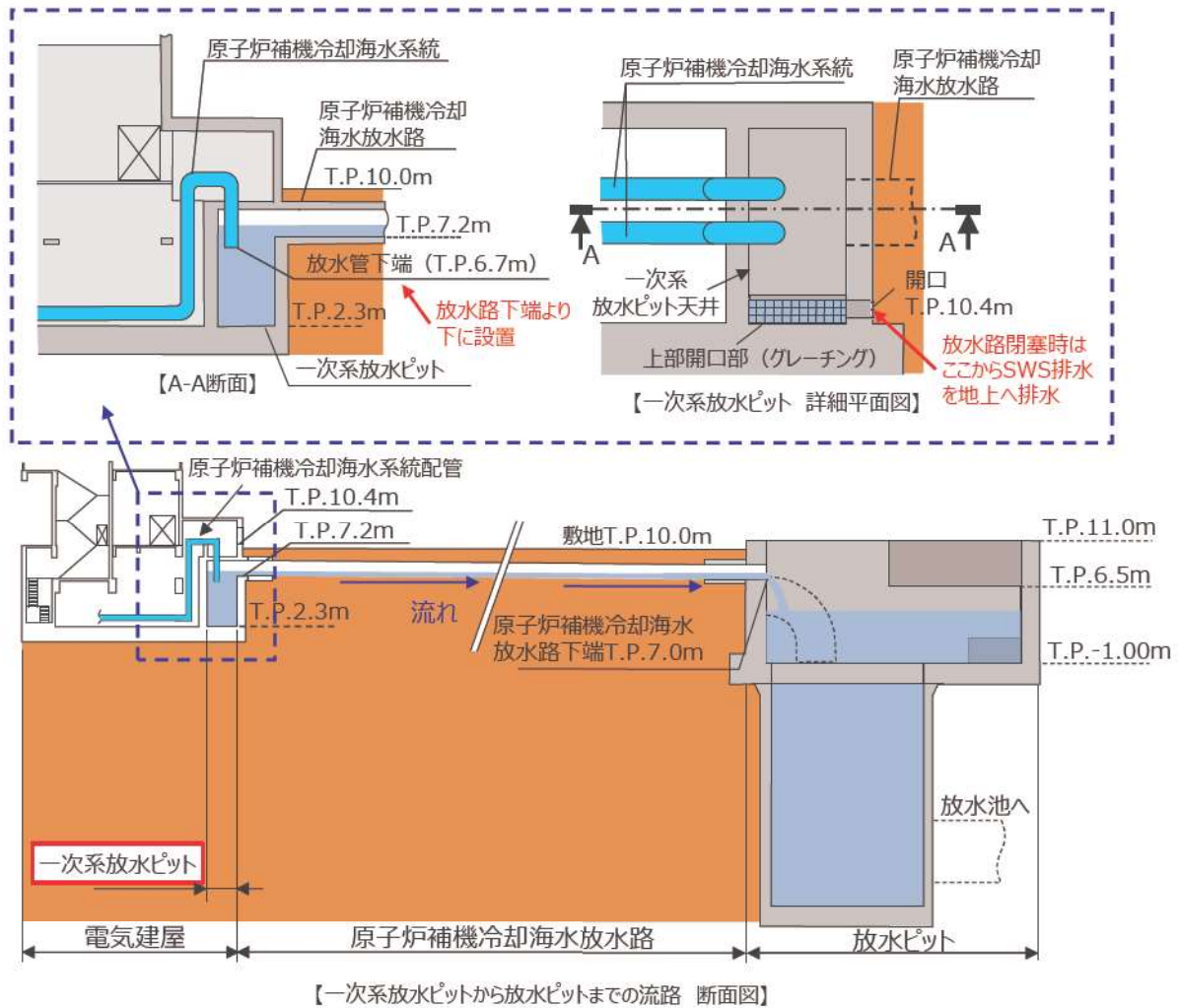


図5 3号炉原子炉補機冷却海水系統の放水経路

② 3号炉循環水系統

循環水系統は、取水ピットから循環水ポンプにより取水した海水をタービン建屋に設置している復水器へ送水し、タービン駆動蒸気と熱交換された冷却水を放水ピットへ放水する。通常時、循環水系統は可動翼型の循環水ポンプ全2台のうち2台運転となり、定格運転時に約  $64\text{m}^3/\text{s}$  ( $114,000\text{m}^3/\text{h} \times 2$  台) で通水される。循環水系統は原子炉補機冷却海水系統と同様にサイフォン効果を利用して循環水ポンプにより復水器まで送水しており、循環水ポンプの実揚程は、取水ピットと放水ピットの水位差として設計されている。そのため、循環水ポンプの起動時には、復水器水室出口の空気抜き弁や復水器水室の空気抜きポンプで空気抜きを行い、サイフォンを形成しながら水張・初期通水を実施している。なお、系統内の空気抜きは上記の弁やポンプを利用して実施するものの、一部の空気は海水の流れに伴って下流に流れていき、放水ピットの自由水面から放出される（図6）。

また、循環水系統は外洋潮位により放水ピット水位（大気開放位置）が低下した場合も、系統の高位置（復水器出口水室トップチューブ及び循環水系統頂部）との高さがサイフォンリミット以内となることを確認している。

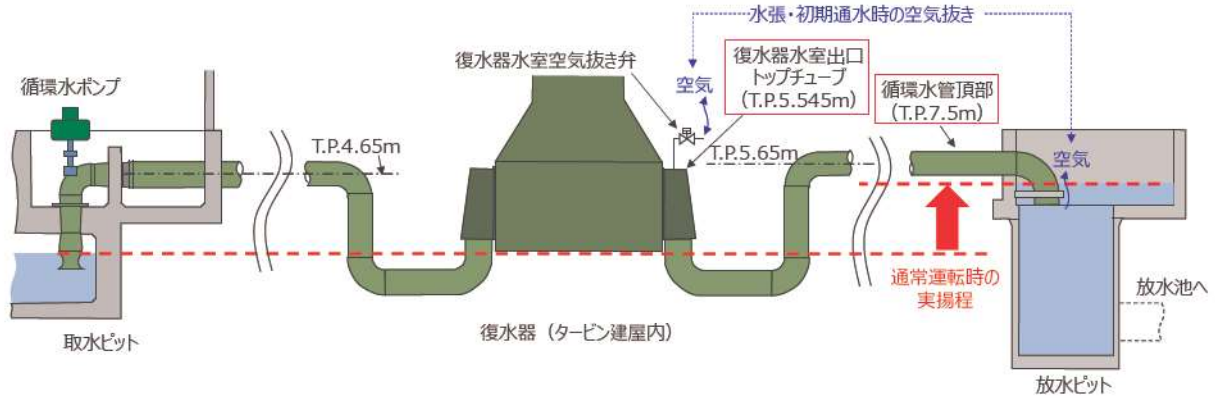


図6 3号炉循環水系統の放水経路

③ その他、放水ピットに放水する排水系統

放水ピットには原子炉補機冷却海水系統や循環水系統からの排水のほか、タービン建屋内ピット（温水ピット、海水ピット）からの排水、給排水処理後の排水（定常排水処理水、非定常排水処理水）、定検用軸冷水海水管、海水淡水化設備からの排水（濃縮海水排水）及び原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ排水が放水されている。これらの配管からの排水は原子炉補機冷却海水ポンプ出口ストレーナ排水のように定常的に流れるものと、温水ピット排水のようにタービン建屋に設置されているピットの水位が一定以上になった際にポンプが起動し放水される非定常の排水がある。いずれの排水配管も放水管の下端はT.P. 10.3mであり放水ピットの高位置に敷設され、気中放水されている（図7）。

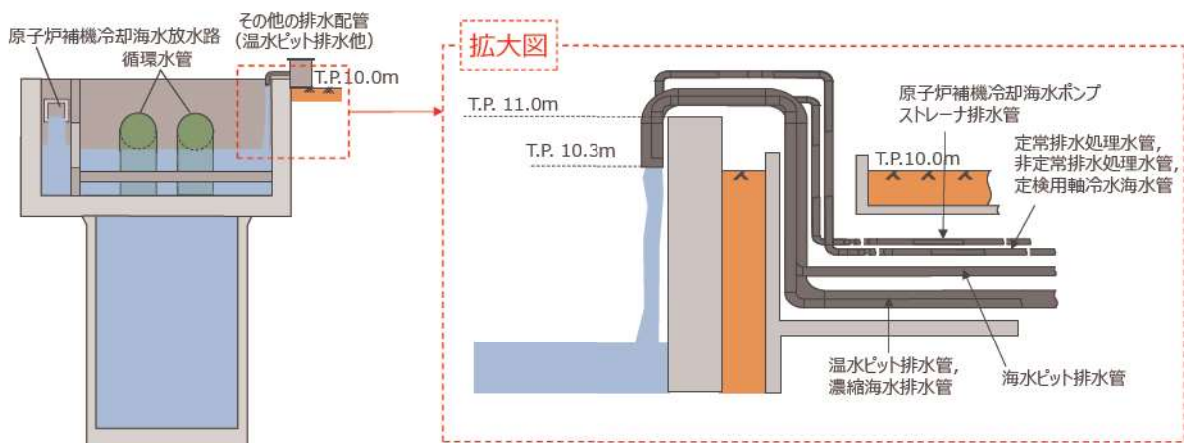


図7 放水ピットに敷設されているその他排水配管

(b) 規制上の要求事項

放水ピットに放水する既施設（原子炉補機冷却海水系統，循環水系統及び温水ピット排水等の排水系統）の安全重要度及び耐震重要度は以下のとおり。

- 安全重要度：MS－3（原子炉補機冷却海水系統），PS－3（循環水系統），クラス外（温水ピット排水等の排水系統）

放水ピットに放水する既施設のうち，原子炉補機冷却海水系統（海水放出ライン）は，「発電用軽水型原子炉施設の安全上の機能別重要度分類に関する審査指針」において，「安全上必須なその他の構築物、系統及び機器」のうち，当該系の原子炉補機冷却海水系統（MS－1）の間接関連系としてMS－3に該当する。

循環水系統は，「異常事態の起因事象となるものであって，PS－1及びPS－2以外の構築物、系統及び機器」のうち，当該系のPS－3に該当する。

また，温水ピット排水等の排水系統は，「安全機能に関連しない構築物、系統及び機器」に該当する。

- 耐震重要度：耐震Cクラス（原子炉補機冷却海水系統，循環水系統，温水ピット排水等の排水系等）

放水ピットに放水する既施設の原子炉補機冷却海水系統（海水放出ライン），循環水系統及び温水ピット排水等の排水系統は，放水先の放水ピットと同様に耐震Cクラスに該当する。

(2) 流路縮小工設置により既設機能に与える影響

(1) で整理した既施設が有する機能と役割を踏まえ，流路縮小工設置により既設機能に与える影響を以下の通り整理した。

a. 排水経路の変更による影響

流路縮小工の設置により，原子炉補機冷却海水放水路からの排水と温水ピット排水等の排水の排水経路が縮小され，損失水頭が増加することになるため，各設備の放水機能に影響を与える可能性がある。また，流路縮小工の間接支持構造物となる放水ピットの耐震性確保のためのコンクリートによる補強により，放水ピット立坑の流路が既設のφ15mからφ11mへ縮小されるため，放水設備の排水性に影響を与える可能性がある。流路縮小工設置による損失水頭の増分に関する検討については，参考1に示す。

b. 循環水系統の水張・初期通水時の空気抜きへの影響

循環水管上部に流路縮小工を設置することにより，これまで循環水系統の水張・初期通水時に放水ピットの自由水面から放出されていた空気の移動が制限されるため，残留空気により循環水系統の放水機能に影響を与える。

c. 循環水ポンプ揚程への影響

流路縮小工の設置により放水ピットの水位が上昇した場合、循環水ポンプの実揚程が変更となり、循環水系統の放水機能に影響を与える。

(3) 流路縮小工設置により既設機能に与える影響への評価

a. 排水経路の変更による影響

(a) 放水設備の放水機能に与える影響について

① 通常時

参考1で評価したとおり、流路縮小工の設置により増加する損失水頭は約1mであり、放水ピットの自由水面の水位がわずかに上昇するものの、放水ピット上端高さ(T.P. 11.0m)よりも低い水位で維持されるため、通常時に3号炉放水ピットから敷地への系統水の流入は生じない(表2)。

表2 流路縮小工設置による放水設備の放水機能への影響

| 流路縮小工 | 放水設備<br>流量           | 放水設備流量の内訳            |                                     | 潮位                        | 放水ピットの<br>自由水面の水位 <sup>※3</sup> | 放水ピット<br>上端高さ |
|-------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------|
|       |                      | 循環水系統                | 循環水系統以外                             |                           |                                 |               |
| 設置前   | 66 m <sup>3</sup> /s | 64 m <sup>3</sup> /s | 2.0 m <sup>3</sup> /s <sup>※1</sup> | T. P. 0.41m <sup>※2</sup> | T. P. 3.90m                     | T. P. 11.0m   |
| 設置後   |                      |                      |                                     |                           | T. P. 4.90m                     |               |

※1 通常時の原子炉補機冷却海水系統はポンプ2台運転であるが、放水ピットへの温水ピット排水等の排水量を考慮し、ポンプ4台運転時の流量(0.5m<sup>3</sup>/s×4台)を排水路流量とした。

※2 「別添資料1 1.5 水位変動・地殻変動の考慮」の潮位等の考慮方法と同様、朔望平均満潮位(T.P. 0.26m)に潮位のばらつき(0.14m)と観測地点の潮位差(0.01m)を加算したもの。

※3 流路縮小工における排水路の摩擦、急縮、急拡等を考慮(「参考1」参照)

追而【流路縮小工設置後の放水ピットの自由水面の水位】  
破線囲部分については、流路縮小工の構造決定後に精緻化する。

② 津波来襲時

追而  
(津波来襲時の評価については、入力津波の解析結果を踏まえ記載する)