

福島県原子力発電所安全確保技術検討会

多核種除去設備処理水希釈放出設備に関する
追加意見・コメントへのご回答



2022年2月24日

東京電力ホールディングス株式会社

<No.4、41 回答>

<No.4>

- 事前了解の対象としている希釈放水設備については、その運用にあたり、処理途上水を二次処理してトリチウムを除く放射性核種が告示濃度比総和1未満を満足するまで放射性物質（トリチウムを除く）を低減することを前提としている。ついては、この前提条件をどのように実現するのか、処理途上水のタンク毎の濃度・保管量、タンク毎（濃度毎）の二次処理の方法・スケジュール等について具体的に説明願いたい。
- 二次処理がALPS処理水希釈放出のスケジュールと整合していることを示すこと。二次処理性能確認試験の状況からJ1-C群の1000m³処理に6日間、J1-G群の1000m³処理に8日間を要しておりタンク貯蔵水の70%（告示濃度総和比> 1、約93万m³）の2次処理がALPS希釈水放出スケジュールの律速になる懸念がある。

<No.41>

- 現状で告示濃度比総和が1を超えているタンク内貯蔵水（全貯水量の約70%）の浄化スケジュール、ALPSの処理能力及び測定・確認用設備からの放出スケジュールを関連付け、どのように浄化と放出を運用管理するのか説明のこと。

<No.4、41 回答>

次ページ以降に回答を示す。

<No.4、No.41 回答>

- 2020年度に実施した二次処理性能確認試験は、増設多核種除去設備（増設ALPS）の3系統あるうちの1系統を用いて実施
- 二次処理性能確認試験においてJ1-C群及びJ1-G群の1,000m³処理を実施したが、処理期間はそれぞれ6日間、8日間であり、高性能容器（HIC）の交換等を考慮すると、想定の範囲内
- 増設ALPSの3系統で処理した場合は、2、3日での処理が可能

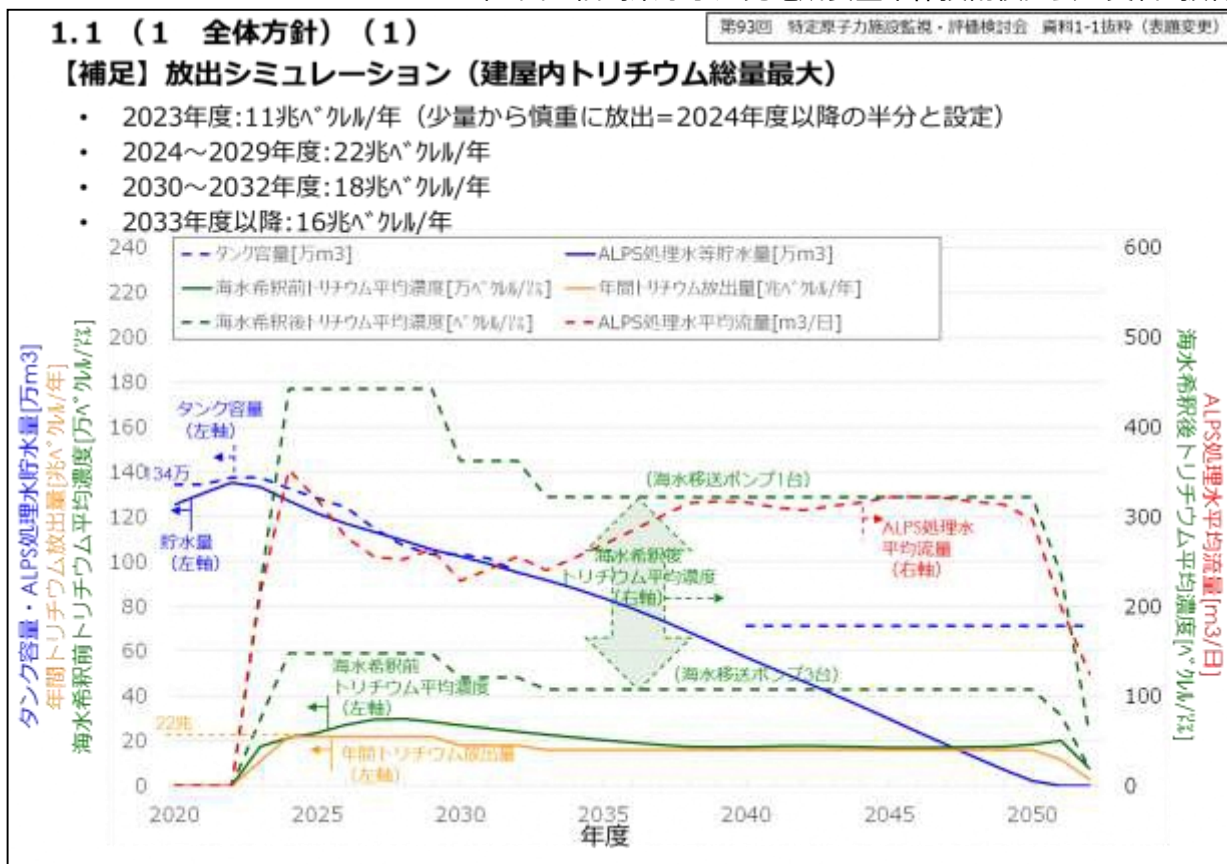
	J1-C群	J1-G群
処理の状況	1,000m ³ 処理完了(9/18~9/23)	1,000m ³ 処理完了(10/2~10/9)
増設ALPSの処理	<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>増設ALPS（B）系で試験を実施</u> ■ <u>処理流量（設定値）：204m³/日※</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ■ <u>増設ALPS（A）系で試験を実施</u> ■ <u>処理量（設定値）：156m³/日※</u>

※ALPSの処理流量の設定値は、フィルタ等の圧力損失を考慮して適宜調整を実施

<No.4、No.41 回答>

- 希釈放出にあたり、トリチウムの年間放出量を22兆Bq未満とする場合、ALPS処理水平均流量は、最大で350m³/日であり、前ページの結果を踏まえても、二次処理がALPS希釈水放出スケジュールの律速になることはない。
 - さらに、日々の汚染水の増加（100～150m³/日）によるALPS処理を踏まえると、二次処理が律速になることはない。

第4回 福島県原子力発電所安全確保技術検討会 資料1抜粋



<No.4、No.41 回答>

- ALPS処理水希釈放出にあたっては、トリチウム濃度が低く且つ二次処理が不要なALPS処理水、及び日々の汚染水の発生により生じるALPS処理水を優先的に処理
 - 『トリチウム濃度が低く且つ二次処理が不要なALPS処理水を優先』する理由
 - ✓ 年間のALPS処理水希釈放出量が多く、将来に必要な施設の設置エリアを早期に確保するため
 - ✓ 二次処理が不要なALPS処理水を貯留していたタンクを空けることで、二次処理後のALPS処理水の貯留タンクを確保するため
 - 『日々の汚染水の発生により生じるALPS処理水を優先』する理由
 - ✓ ALPS処理水希釈放出直後は、タンク容量がひっ迫しているため、貯留先のタンクが確保できないこと
 - ✓ 二次処理後のALPS処理水の貯留タンクを確保するため
- 上記理由により、ALPS処理水希釈放出後しばらくは二次処理を行えないが、ALPS処理水を貯留しているタンクの処理により、将来必要な施設の設置エリアの確保ができ、且つタンクの空き容量に余裕が生じたら二次処理を行っていく
 - 具体的な二次処理の計画は、将来施設の必要時期、必要面積を精査の上決定する。

<No.9 回答>

<No.9>

- ALPS除去対象核種62種の選定根拠とは。
- 測定対象核種の選定（62核種+C-14）根拠についても併せて説明すること。

<No.9 回答>

ALPS除去対象核種としては、核分裂生成核種（FP核種）と腐食生成核種（CP核種）を考慮しており、滞留水中に含まれる溶解性の核種の濃度が、告示濃度の1/100以上のものを除去対象として選定した。

また、C-14については、ALPS処理の主要7核種（Cs-134/137、Sr-90、I-129、Ru-106、Sb-125、Co-60）の濃度合算値と全β濃度値に乖離があり、調査した結果、C-14の存在が確認されたことから、測定対象核種として選定した。

なお、ALPS処理水を環境へ放出するにあたり、廃止措置や埋設施設の知見を踏まえ、改めて徹底的に検証した上で、放出前に確認する必要がある核種を選定する。本件について、2022年2月15日に行われたALPS処理水に係る原子力規制庁殿の審査会合で説明をしており、廃炉安全監視協議会でも別途説明をさせて頂く。

- ALPSで除去対象としている62核種は、以下の考え方に基づき選定

【核分裂生成物（核分裂により生成した核種）】

- 原子炉停止30日後の炉心に存在する核種を評価※1、その中からトリチウム、不溶性核種（滞留水へ移行し難い）、希ガスといった核種を除外
- 滞留水に含まれるCs-137の放射能濃度測定結果等から各核種の滞留水への移行※2を評価し、原子炉停止365日後の滞留水中の放射能濃度を推定
- 滞留水中の放射能濃度が告示濃度限度の1/100を超える核種を除去対象として抽出（56核種を抽出）

【腐食生成物（原子炉冷却系等で使用している金属が放射化された核種）】

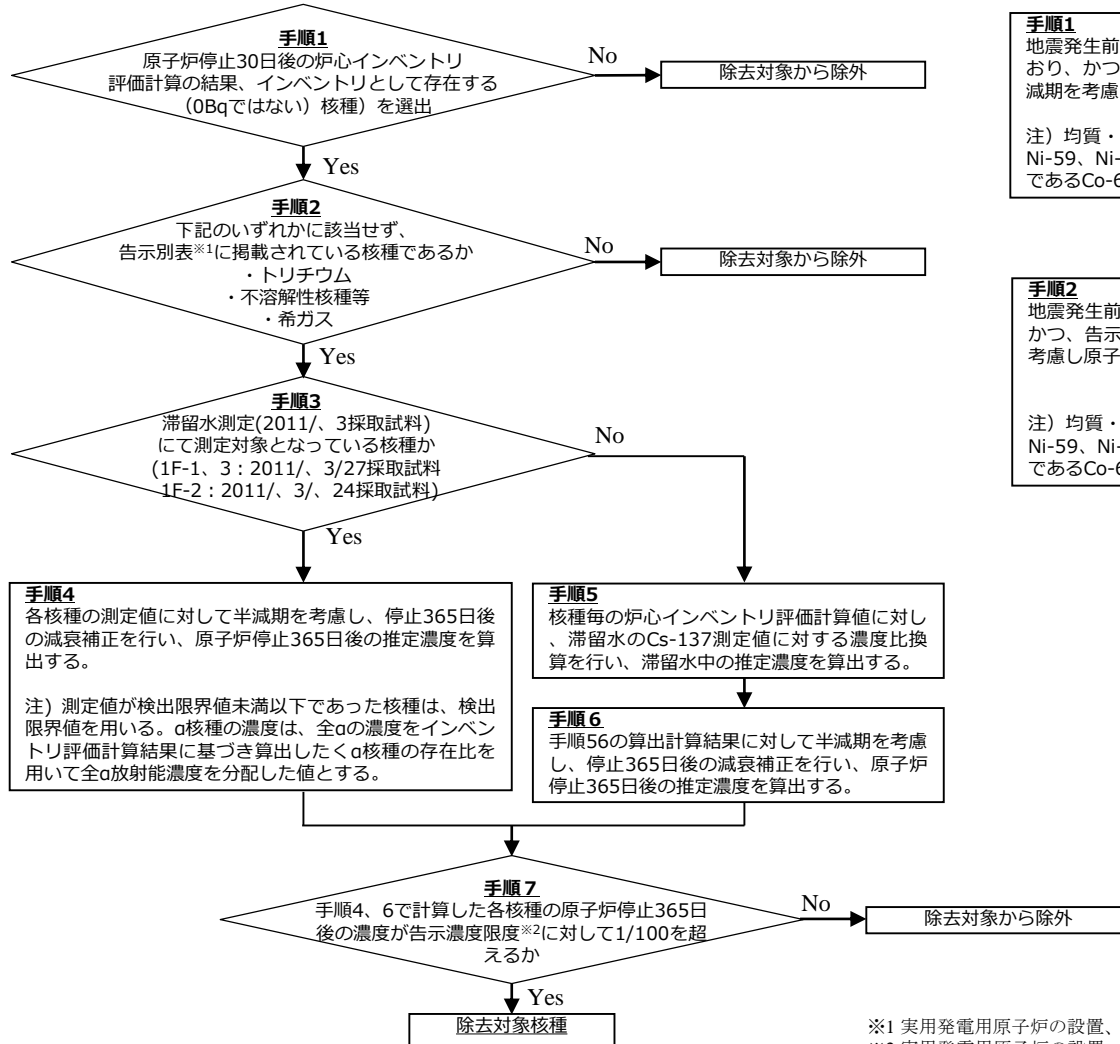
- 震災の影響による1～3号機の原子炉保有水、濃縮廃液タンクから滞留水への移行を考慮
- 地震発生前における1～3号機原子炉保有水の放射能濃度測定結果及び濃縮廃液タンク保有水の放射能濃度測定結果から、海水流入等による希釈及び1年後の減衰を考慮し、滞留水中の放射能濃度が告示濃度限度の1/100を超えるものについて、除去対象核種として抽出（6核種を抽出）

※1 ORIGEN（放射性物質の生成、壊変、減損について計算を行うためのコードシステム）による評価

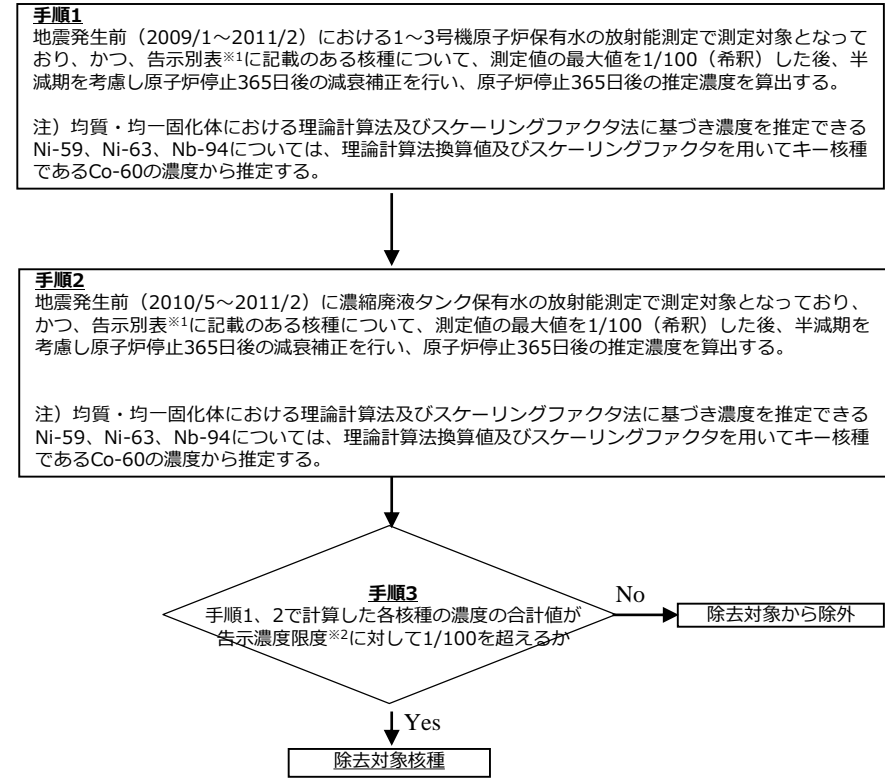
※2 滞留水におけるCs-137等の測定結果及び事故解析コード（MAAP）による滞留水への移行を評価

追加意見・コメントへのご回答（補足説明②）

<核分裂生成物>

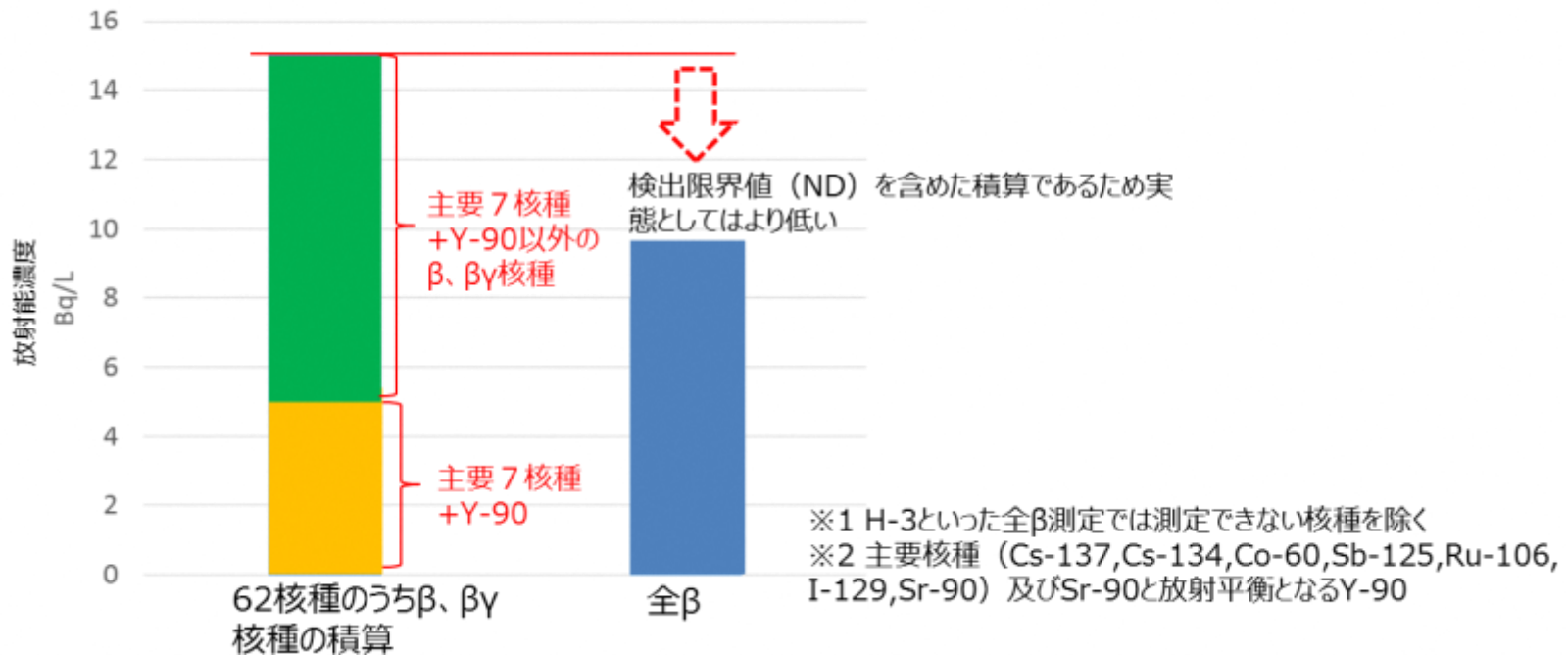


<腐食生成物>



*1 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示（別表第2第六欄）
 *2 実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則の規定に基づく線量限度等を定める告示（別表第2第六欄）周辺監視区域外の水中の濃度限度

- 2018年度上期時点において、多核種除去設備等処理水の主要7核種分析結果の合計値と全ベータ値に一定のかい離が生じているタンクの存在が確認された。
- この事実に対して、当初は主要7核種以外の除去対象核種が検出下限値以下の濃度で存在しており、それらの核種から放出されるベータ線の影響を受けた結果、主要7核種の合計値よりも全ベータ値が高くなったと評価した。



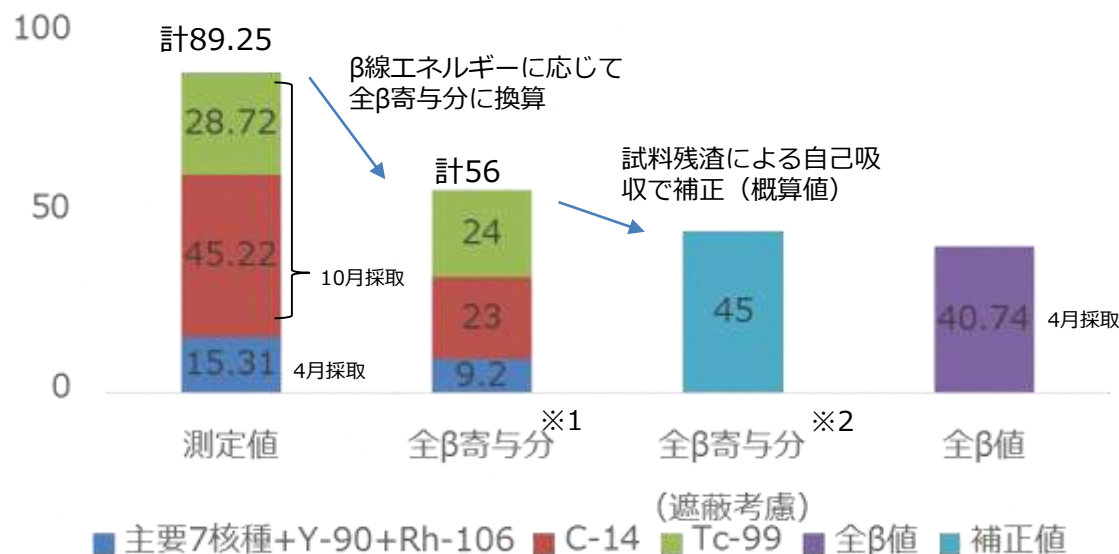
K4タンクにおけるβ、βγ核種（62核種）の積算と全βの比較

- 前項の評価はあくまで推察であったため、かい離に影響を及ぼしている具体的な核種を絞り込むため、主要7核種放射能濃度合計値と全ベータ値のかい離が最も大きなH4N-A6タンクについて調査を実施
- その結果、ベータ線スペクトルにおいて、定性されていないスペクトル2本（I-129と同等の最大エネルギー及びそのエネルギーの2倍程度のエネルギー）の存在が示唆された。
- 以上より、C-14（I-129と同等の最大エネルギーのベータ線を放出）とTc-99（I-129の2倍程度の最大エネルギーを放出）の存在に着目し、それぞれの核種を測定したところ、告示濃度限度に対しては低い濃度であるものの、全βへの寄与として有意な濃度で検出された。

C-14及びTc-99の測定結果

核種	測定器	濃度 (Bq/L)
C-14	LSC	45.22
Tc-99	ICP-MS	28.72

※1：「egs5による東京電力福島第一原子力発電所における測定対象核種毎の全ベータ換算係数の計算 (KEK Internal 2018-6 January 2019 R)」に基づき全ベータ寄与分を計算
 ※2：アイソトープ手帳に記載されている自己吸収の補正式を使用



C-14及びTc-99を含めた全β値評価結果 (Bq/L)

■ 乖離調査の結果、全ベータ値への寄与が確認されたTc-99とC-14の扱いは以下のとおり

➤ Tc-99

ALPSの除去対象核種としており、当初より告示濃度比総和に考慮

➤ C-14

✓ 滞留水中の濃度が低い（告示濃度比0.01未満）と評価されたためALPSの除去対象核種としていない

✓ しかしながら、多核種除去設備等処理水を貯蔵するタンクにおけるC-14の分析の結果において確認された濃度の最大は、告示濃度比0.11であり告示濃度限度に対して十分低い

○ALPS処理水タンクにおけるC-14の告示濃度比

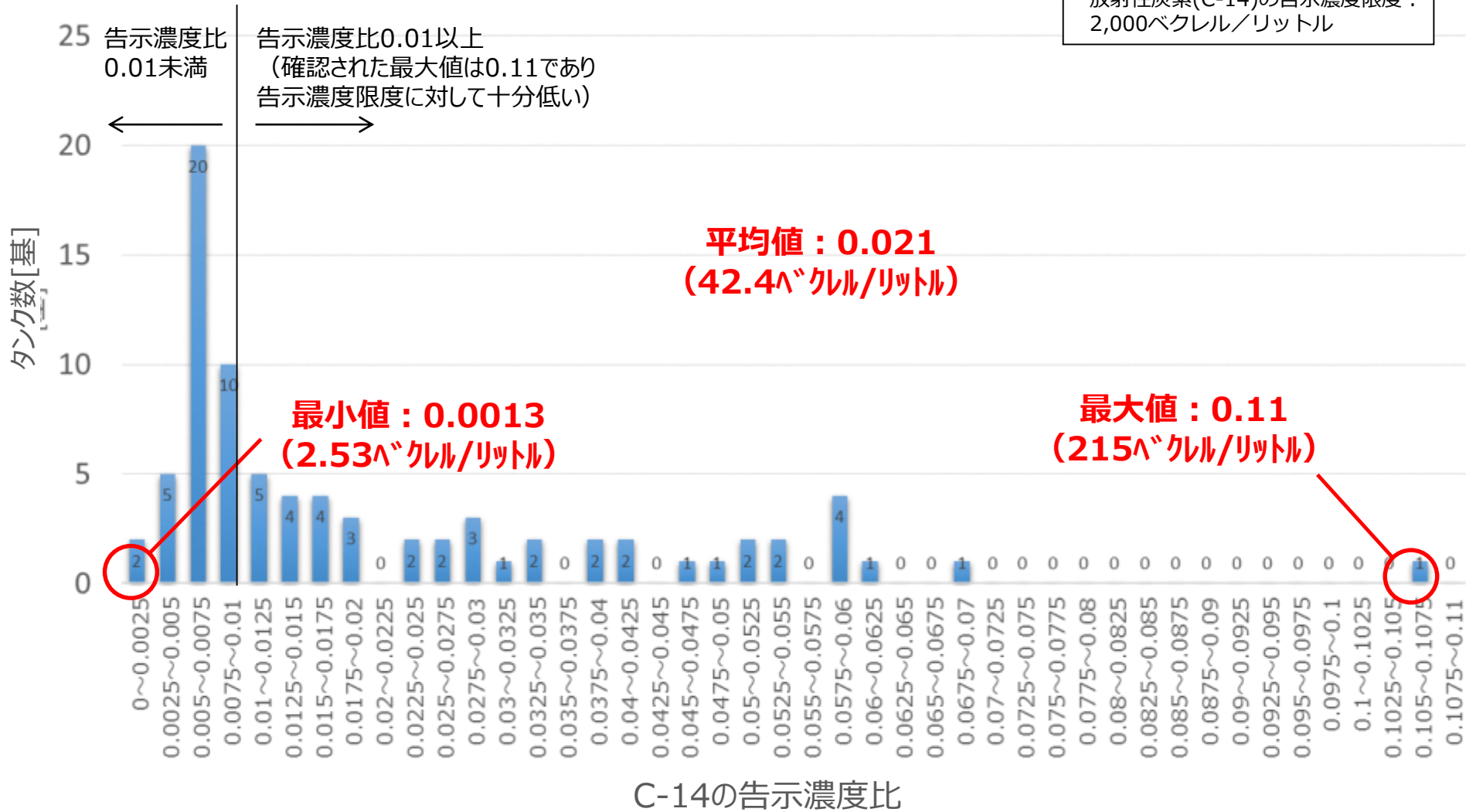
最大	最小	平均
0.11	0.0013	0.021

* 80基の分析結果（2020年6月末時点）
C-14の濃度分布については次ページ参照

✓ 乖離調査の結果を踏まえ、ALPSの処理では、除去対象核種にC-14を加えた63核種において告示濃度比総和 1 未満となることを確認し、告示濃度比総和 1 を超える場合は二次処理を行うこととしている

多核種除去設備等処理水を貯蔵するタンク※における C-14の告示濃度比分布

<参考>
放射性炭素(C-14)の告示濃度限度：
2,000ベクレル/リットル



<No.11 回答>

<No.11>

- ALPS処理水希釈放水設備の範囲から放水設備が除外され関連施設とされているが、放水設備は、ALPS処理水をトリチウム濃度の1500 Bq/L未満に希釈するためにALPS処理水と希釈海水との混合した放出水を外洋に放水する設備であること、また、放出水が希釈用の海水と直接混合しないようにする設備であること、更に、放出水を外洋と充分混合・拡散させて周辺海域の平均濃度と同程度にすることで、風評影響を抑制するために重要な設備である。放水設備の設計や運用等の適切性について、説明のこと。

<No.11 回答>

次ページ以降に放水設備（放水立坑～トンネル～放水口）の設計や運用等について、具体的なご質問事項について次頁以降に回答する。

<No.11 回答>

次ページ以降に、以下内容を踏まえた、放水設備の構造強度、耐震性等について回答いたします。

放水立坑、海水トンネル及び放水口の構造強度、耐震性（安定し地盤・岩盤に設置され耐震性に優れた構造であること、また、構造欠陥や割れ発生が無く、漏えいリスクが少ないこと）を説明すること

放水立坑（上流水槽）の設計

【設計上の留意ポイント】

- 一般土木構造物としての準拠規格及び基準に則り、「安全性：荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であること」、「耐久性：設計供用期間中に、ひび割れや塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食により、構造物の性能が低下しないこと」「耐震性：耐震Cクラスとし、設計水平震度 $kh=0.2$ を用いて照査を行うこと」の各々評価を実施し、健全性を確認 **20～28頁**
- 地震以外にも、津波、台風（高潮）、積雪の自然現象にも配慮 **22頁**
- 供用期間中は、鉄筋コンクリート製の躯体に対して、保全を不要とするまでの保守的な設計としている。（定期点検は長期点検計画に基づき実施する。）
- 設備品質向上・作業省力化をおよび施工作業時の安全性の向上のため、プレキャスト製品を活用するが、プレキャスト製品同士の接続方法や現場打ちコンクリート部との接続方法についても確認 **30～32頁**

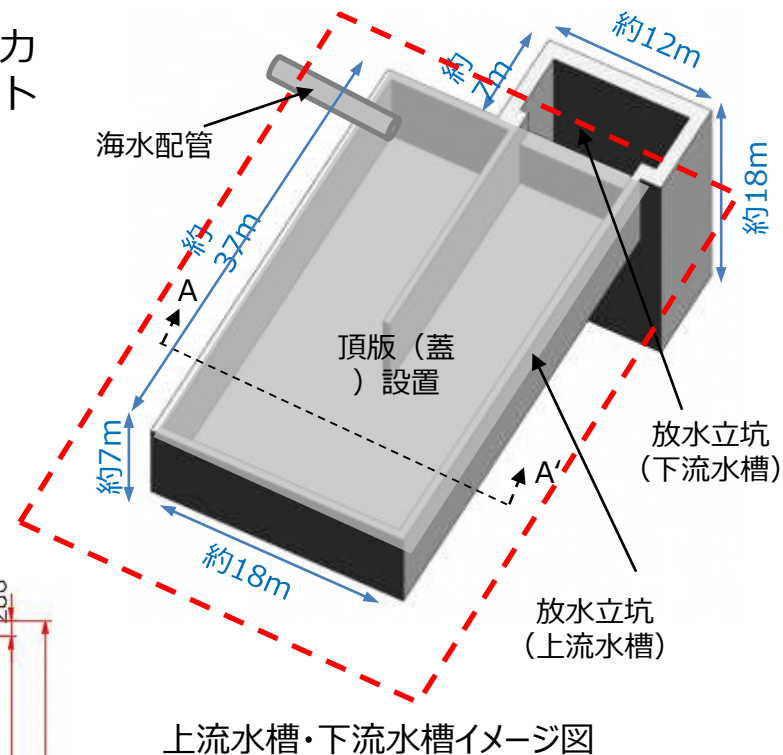
放水立坑（上流水槽）の設備概要

- ▶ 放水立坑（上流水槽）については、設備品質向上・作業省力化をおよび施工作业時の安全性の向上のため、プレキャスト製品を活用する。

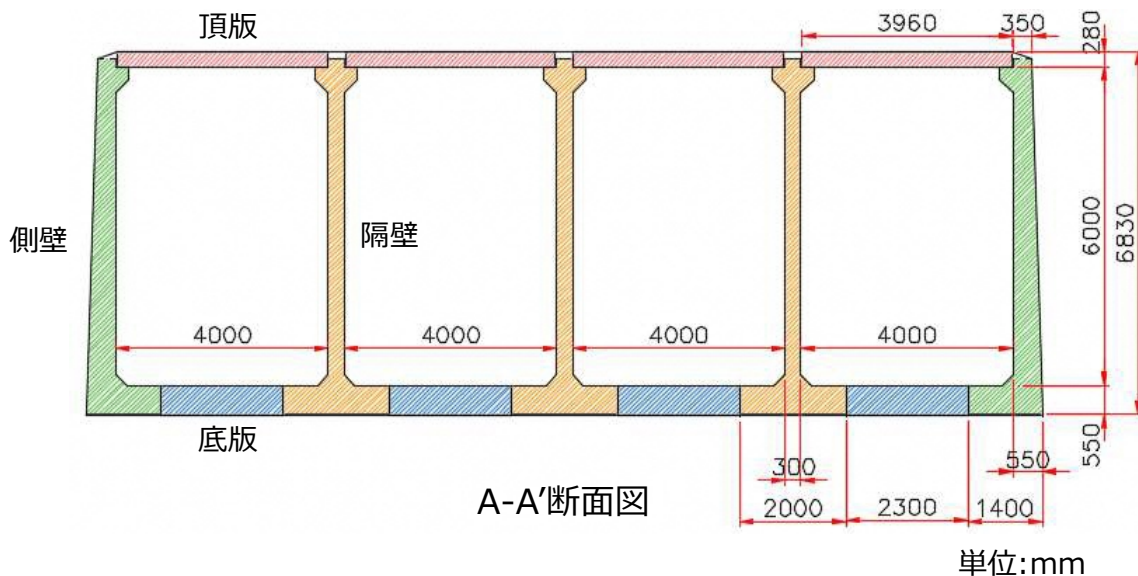
放水立坑（上流水槽）の諸元※

躯体寸法	幅 約18m × 長さ 約37m × 高さ 約7m
------	---------------------------

※：構造強度に影響のない範囲内で寸法変更の可能性あり。



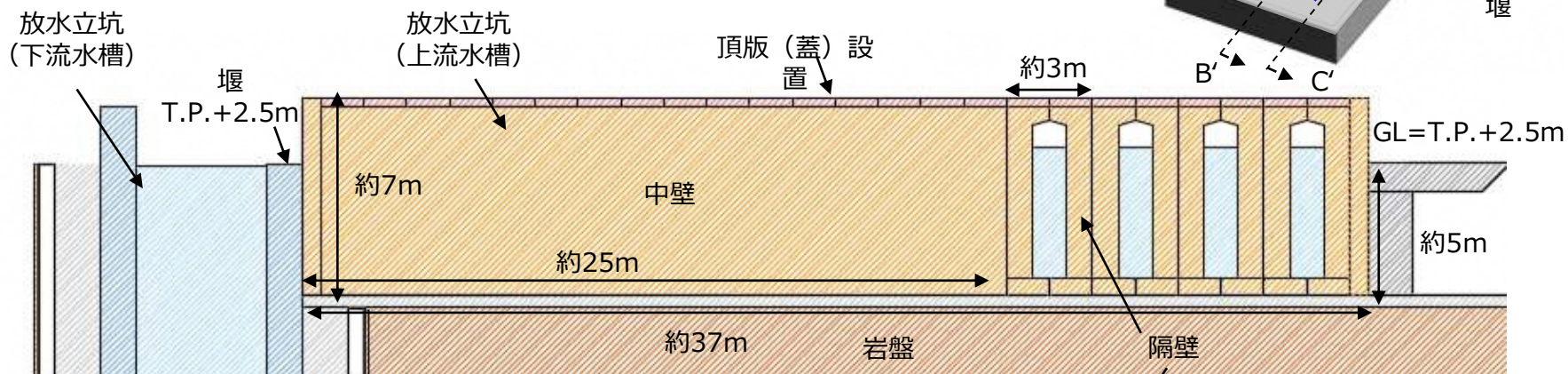
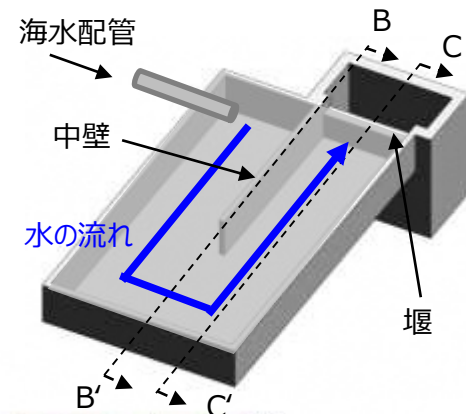
上流水槽・下流水槽イメージ図



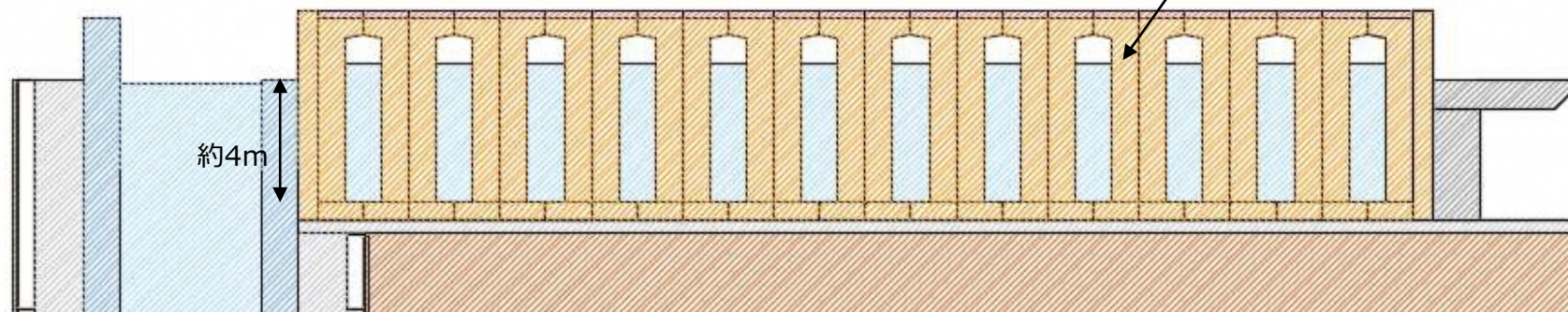
単位:mm

【補足】放水立坑（上流水槽）断面図

- 海水配管から流入した希釈水を下流水槽に導くため、上流水槽内北側の一部に中壁を設ける。
- 上流水槽から下流水槽の間に設けられた堰を越流することで、下流水槽に流入する。



B-B'断面図



C-C'断面図

- 設計、材料の選定、製作について、下記に準拠して設計を実施した。
- プレキャスト式雨水地下貯留施設技術マニュアル（改訂版；2020年）（公財）日本下水道新技術機構
- コンクリート標準示方書（設計編；2017年制定）（公社）土木学会
- コンクリート標準示方書（構造性能照査編；2002年制定）（公社）土木学会
- 下水道施設の耐震対策指針と解説 2014年版（公社）日本下水道協会
- 道路橋示方書・同解説Ⅰ 共通編2012年（公社）日本道路協会
- 道路橋示方書・同解説Ⅳ 下部構造編 2012年（公社）日本道路協会
- 道路橋示方書・同解説Ⅴ 耐震設計編 2012年（公社）日本道路協会
- エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（改訂版；2013年）（公社）土木学会
- 共同溝設計指針1986年（公社）日本道路協会

- 構造
 - 放水立坑（上流水槽）を岩盤に着底することで、地震の影響を受けにくい構造とする。
- 健全性に対する考慮
 - 常時荷重、地震時荷重に対して、許容応力度以内であることを確認し、構造を設定している。また、構造物の浮上がりが生じないことを確認している。さらに、鉄筋コンクリート製の躯体に生じるひび割れ幅および塩害の照査を実施し、適切な鉄筋かぶりを設定し、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。なお、供用期間中は、鉄筋コンクリート製の躯体に対して、保全を不要とするまでの保守的な設計とする。（定期点検は長期点検計画に基づき実施する。）
 - ALPS処理水希釈放出設備のうち放水立坑（上流水槽）については、下表の照査を行うことで、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。

放水立坑（上流水槽）の照査項目

照査項目		放水立坑 (上流水槽)	照査内容
常時	構造	○	許容応力度以内であること※1
	ひび割れ	○	ひび割れ幅が許容ひび割れ幅以下であること※2
	塩害	○	鋼材位置の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界に達しないこと※2
	浮き上がり	○	浮き上がりが生じないこと
地震時		○	地震に対して許容応力度以内であること※3

※1 安全性：荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であること

※2 耐久性：設計供用期間中に、ひび割れや塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食により、構造物の性能が低下しないこと

※3 耐震性：耐震Cクラスとし、設計水平震度kh=0.2を用いて照査を行う。

■ 地震

- 耐震Cクラスとし、設計水平震度 $kh=0.2$ を用いて照査を行う。

■ 津波

- 津波に対する浸水は不可避であることから、復旧性に応じて、耐波圧性を有する仕様とする。

■ 台風（高潮）

- 台風（高潮）で海面が上昇することによる影響についても考慮した設計とする。

■ 積雪

- 積雪による設備の損傷を防止するため、建築基準法施行令及び福島県建築基準法施工細則に相当する積雪荷重を見込んだ設計とする。

■ 応力度の照査

- 放水立坑（上流水槽）に用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリート（普通ポルトランドセメント）とし、設計基準強度は 40N/mm^2 とする。鉄筋はSD345とする。
- 荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であることを確認する。

コンクリートの許容応力度

コンクリートの 設計基準強度	長期		短期	
	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
40N/mm^2	14.0	0.55	21.0	0.825

鉄筋の許容応力度

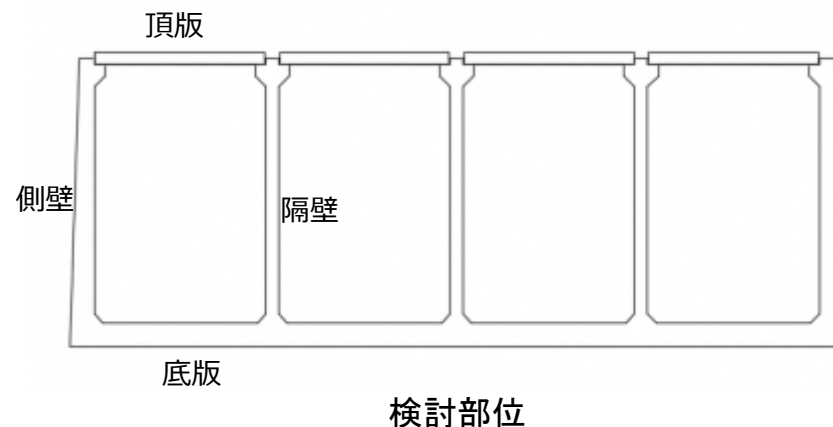
使用材料	長期	短期
	引張 (N/mm^2)	引張 (N/mm^2)
SD345	200	300

応力度照査の結果①

- 応力度照査の結果、耐力が確保されることを確認した。

荷重の組合せ

検討荷重	常時（長期）	地震時（短期）
自重	○	○
載荷荷重	○	○
土圧	○	○
内水圧	○	○
浮力	○	○
地震時慣性力		○
動水圧		○



- 作用応力を許容応力と比較し、作用応力/許容応力の比が最大となる部位および荷重ケースの照査結果を下表に示す。
- 常時荷重および地震時荷重に対して、許容応力度以内であること（作用応力/許容応力<1.00）を確認した。

応力度照査の結果

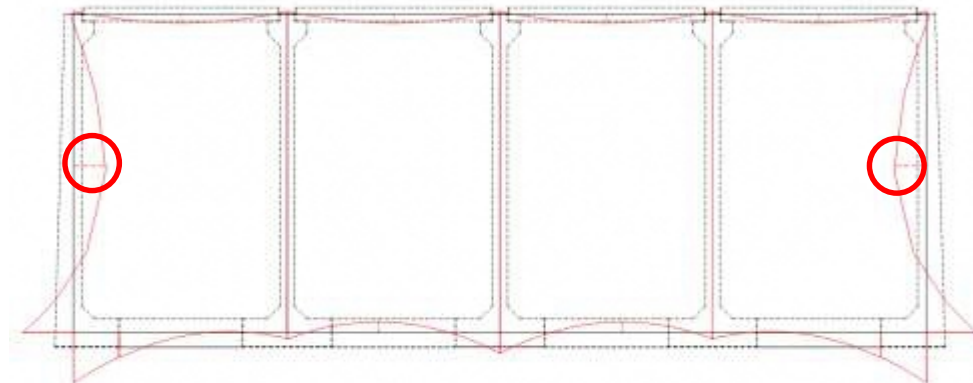
検討部位	荷重ケース	対象材料	応力	作用応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	作用応力/許容応力
底版	常時	鉄筋	曲げモーメント	75	200	0.38
側壁	常時	コンクリート	せん断力	0.31	0.55	0.56
隔壁	地震時	鉄筋	曲げモーメント	94	300	0.31
頂版	常時	コンクリート	せん断力	0.15	0.55	0.27

■ 各検討部位の応力度照査結果

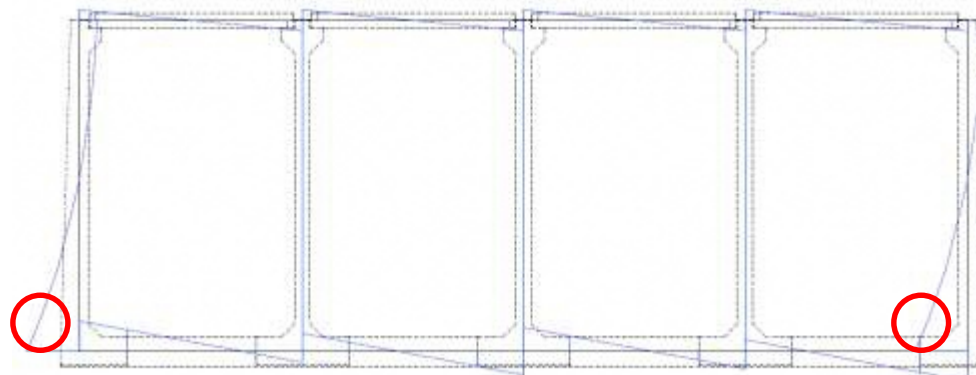
応力度照査の結果

検討部位	応力度照査 (作用/許容)	
	曲げ モーメント	せん断力
底版	0.38	0.33
側壁	0.45	0.56
隔壁	0.31	0.22
頂版	0.22	0.27

※赤字：応力度照査の最大値



断面力図（曲げモーメント）



断面力図（せん断力）

○：応力度照査 最大位置

■ ひび割れ幅の照査

- ひび割れ幅の照査は、以下の式にて行い、コンクリート表面のひび割れ幅 w が鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値 w_a 以下であることを確認する。

$$w / w_a \leq 1.0$$

ひび割れ幅 w

$$w = 1.1 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \left\{ 4c + 0.7(c_s - \phi) \right\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right]$$

ここに、

k_1 ：鋼材の表面形状にひび割れ幅の及ぼす影響を表す係数。エポキシ樹脂塗装鉄筋を採用しているため1.1

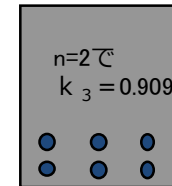
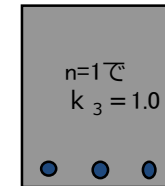
k_2 ：コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす係数で、次式による

$$k_2 = \frac{15}{f'_c + 20} + 0.7$$

f'_c ：コンクリートの圧縮強度（N/mm²）、一般に設計圧縮強度 f'_{cd} を用いる

k_3 ：引張鋼材の段数 n の影響を表す係数で次式による

$$k_3 = \frac{5(n+2)}{7n+8}$$



引張鋼材段数 n と k_3 の関係模式図

c ：かぶり(mm)、 c_s ：鋼材の中心間隔(mm)、 ϕ ：鋼材径（mm）、

σ_{se} ：鉄筋の応力度の増加量（N/mm²）、

ε'_{csd} ：コンクリートの収縮及びクリープによるひび割れ幅の増加を考慮するためのひずみ

（鋼材の腐食に対する照査を行う場合、 ε'_{csd} の値は 150×10^{-6} 程度）

■ 塩害の照査

- 鋼材位置における塩化物イオン濃度が、設計供用期間中に鋼材腐食発生限界濃度に達しないことを確認する。
- 鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値は、環境条件、かぶり、鋼材の種類に応じて定める。
- 上流水槽では、エポキシ樹脂塗装鉄筋を採用することで、耐久性を確保している。
- 環境条件は特に厳しい腐食性環境とし、ひび割れ幅の限界値は $0.0035c \cdot 1.1$ (mm) とする。
(c : 純かぶり)

	照査式
設計拡散係数 算定式	$D_d = \gamma_c \cdot D_k + \left[\frac{w}{l} \right] \cdot \left[\frac{w}{w_a} \right]^2 \cdot D_0$
鋼材位置における塩化物イオン濃度設計値の算定式	$C_d = \gamma_{cl} \cdot \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(0.1 / 2\sqrt{t} \left(c / \sqrt{D_d} + c_{ep} / \sqrt{D_{epd}} \right) \right) \right\}$
鋼材位置における塩化物イオン濃度の照査式	鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値が鋼材腐食発生限界濃度以下 $\gamma_i \cdot \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0$

D_d : 設計拡散係数

D_k : コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数特性値 (cm²/年)

D_0 : コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す係数(cm²/年) 。一般に200cm²/年とする

w : ひび割れ幅(mm)

w_a : 鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値(mm) 、 γ_i : 構造物係数。一般に1.0とする。

w/l : ひび割れ幅とひび割れ間隔の比

C_d : 鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値

C_{ep} : エポキシ樹脂塗膜厚さの期待値(mm)

D_{epd} : エポキシ樹脂塗膜内への塩化物イオンの侵入を拡散現象とみなした場合の塩化物イオンに対する見かけの拡散係数の設計用値 (cm²/年)。一般に 2.0×10^{-6} cm²/年とする。

- 放水立坑（上流水槽）のひび割れ幅および塩害の照査の結果、供用期間中の耐久性が確保されることを確認した。

【ひび割れ幅の照査】

放水立坑（上流水槽）の発生曲げひび割れ幅を許容曲げひび割れ幅と比較し、発生曲げひび割れ幅/許容曲げひび割れ幅の比が最大となる部位の照査結果を下表に示す。

ひび割れ幅の照査結果

検討部位	発生曲げひび割れ幅 (mm)	許容曲げひび割れ幅 (mm)	発生曲げひび割れ幅/ 許容曲げひび割れ幅
底版	0.22	0.27	0.81
側壁	0.25	0.27	0.93
隔壁	0.06	0.27	0.22
頂版	0.15	0.27	0.56

【塩害の照査】

放水立坑（上流水槽）における塩化物イオン濃度を鉄筋腐食発生限界濃度と比較し、鉄筋位置における塩化物イオン濃度/鉄筋腐食発生限界濃度の比が最大となる部位の照査結果を下表に示す。

塩害に対する照査結果

検討部位	鉄筋位置における 塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	鉄筋腐食発生限界 濃度 (kg/m ³)	鉄筋位置における塩 化物イオン濃度/鉄筋 腐食発生限界濃度
底版	0.06	1.20	0.05
側壁	0.07	1.20	0.06
隔壁	0.04	1.20	0.03
頂版	0.05	1.20	0.04

■ 浮上がりの照査

浮上がりの照査は、以下の式にて行う。

$$F_s = W / U$$

$$U = V_w \cdot \gamma_w$$

U : 浮力 (kN/m)

W : 鉛直荷重 (kN/m)

V_w : 地下水位以下の容積 (m³/m)

γ_w : 水(海水)の単位体積重量 (kN/m³)

浮上がりに対する安全率

適用条件	常時
浮上がり安全率	1.20

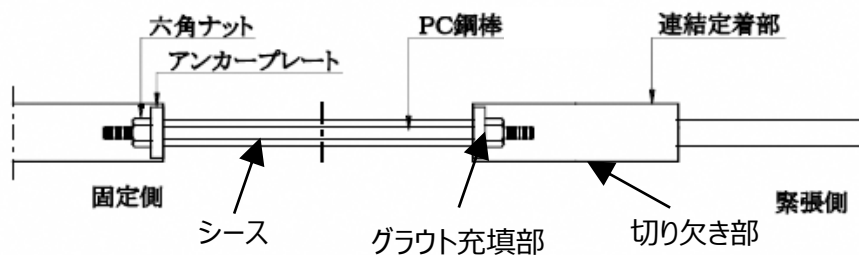
- 放水立坑（上流水槽）の浮上がりの照査の結果、供用期間中の耐力が確保されることを確認した。

浮上がりに対する照査結果

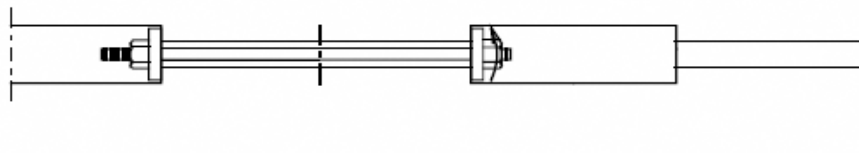
	常時
計算値	1.48
浮上り安全率	1.20

- プレキャスト部材同士の接続は、トルク連結方法により接続する。トルク連結は、一般的なPC部材同士の接続方法として採用されている。
- 切り欠き部より、トルクレンチを用いてトルク管理を行い、シーす内の空隙にはグラウトを充填し、鋼材に錆が生じないように保護する。
- 連結定着のための切り欠き部は、締付け完了後に無収縮モルタルを充填して防護を行う。
- 詳細な接続方法については検討中。

① PC鋼棒挿入および定着具のセット。



② メガネレンチ等で六角ナットを締め付ける。



トルク連結方法の一例



切り欠き部

プレキャスト製品組立状況例

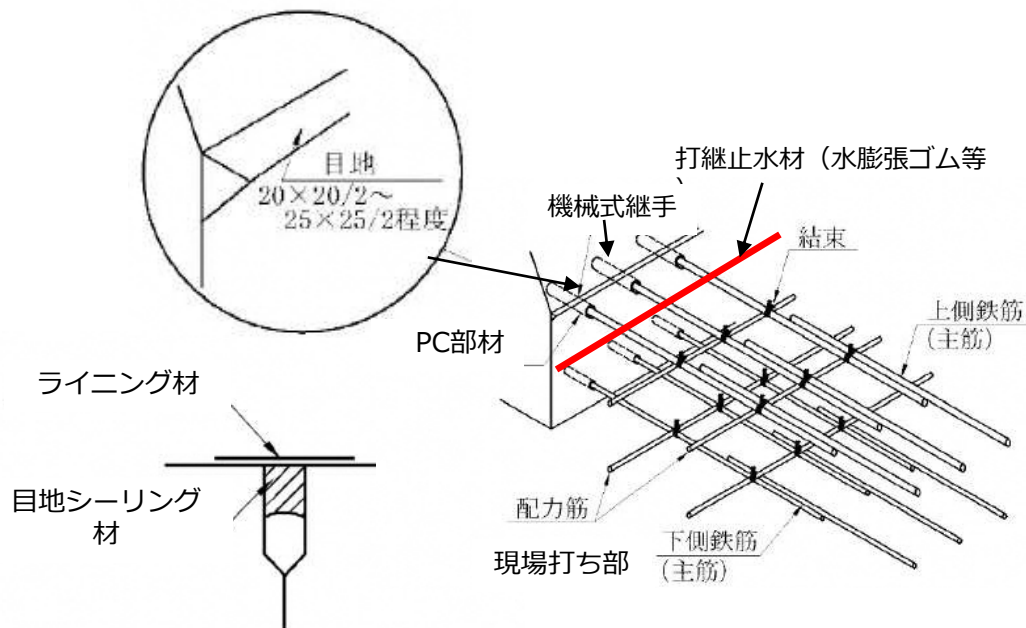


充填



切り欠き部のモルタル充填

- 底版現場打ち部の配筋は、主筋、配力筋および本体ブロックからの継手鉄筋で構成され、強固に結束する。
- 本体ブロックからの継手鉄筋は、一般的に採用されている機械式継手を採用する。また、PC部材は事前に製作工場で見荒らしを行い、現場打ちコンクリートの一体化を行う。
- 止水対策としては、打継止水材や目地シーリング材を使用するのが一般的であり、詳細な止水方法については検討中。



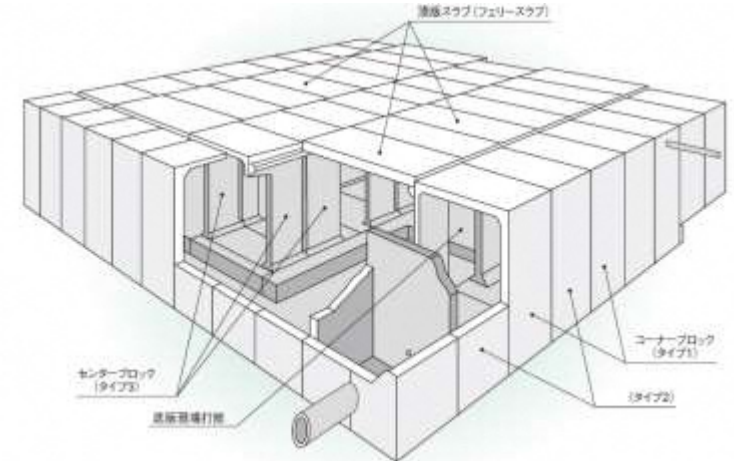
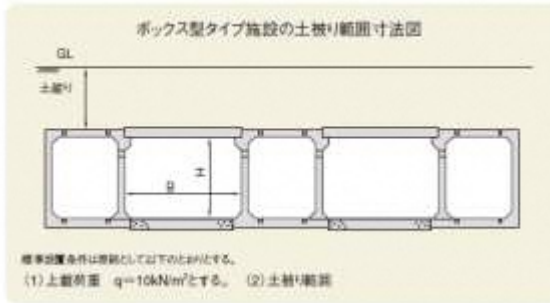
止水対策の施工状況の一例
(目地シーリング材)

底版現場打ち部の機械式継手および止水対策の一例

【補足】プレキャスト水槽の実績

- プレキャスト雨水地下貯留施設の技術を活用。
- プレキャスト製品であることの特徴として、耐震性能に優れ、工場製品であるため、品質の向上、施工工期の短縮、施工の省力化が可能。

■土被り範囲



日比谷公園の地下貯水槽の事例

国土交通省と東京都下水道局の連携により、限られた工期および狭小な作業帯の施工条件の下、工期短縮が可能な、プレキャスト式水槽を採用

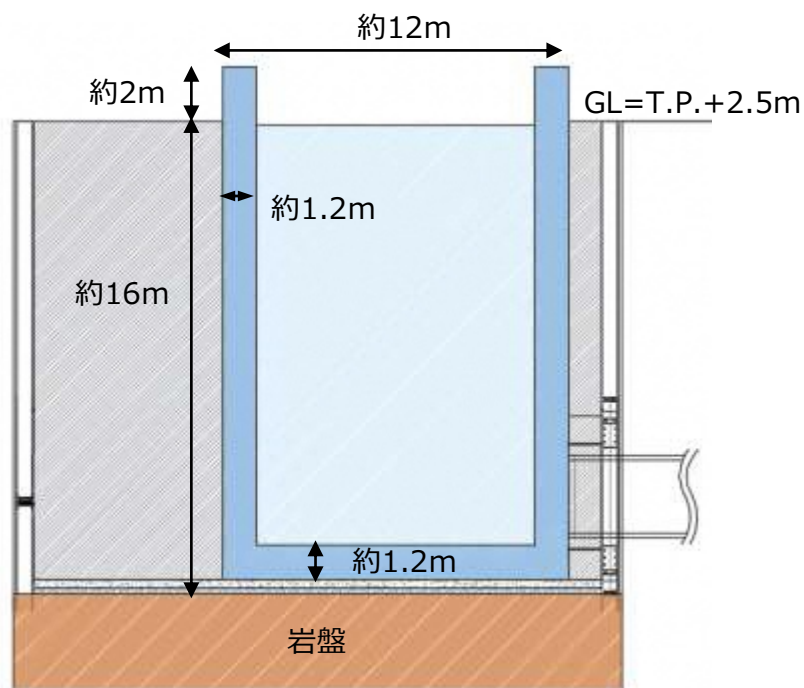
放水立坑（下流水槽）の設計

【設計上の留意ポイント】

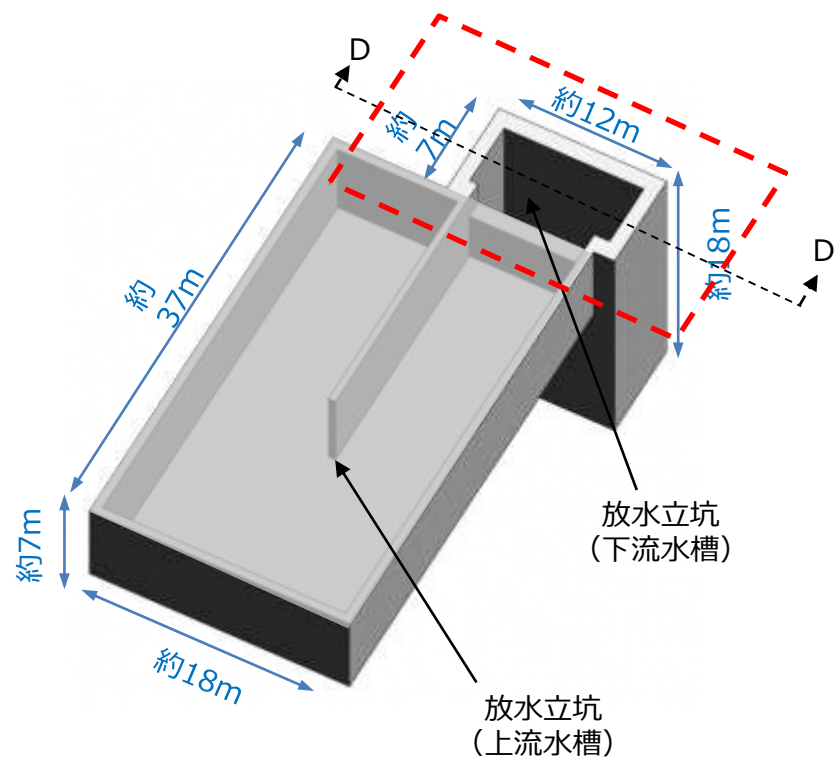
- 一般土木構造物としての準拠規格及び基準に則り、「安全性：荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であること」、「耐久性：設計供用期間中に、ひび割れや塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食により、構造物の性能が低下しないこと」、「耐震性：耐震Cクラスとし、設計水平震度 $kh=0.2$ を用いて照査を行うこと」の各々評価を実施し、健全性を確認 35~43頁
- 地震以外にも、津波、台風（高潮）の自然現象にも配慮 36頁
- 供用期間中は、鉄筋コンクリート製の躯体に対して、保全を不要とするまでの保守的な設計としている。（定期点検は長期点検計画に基づき実施する。）

放水立坑（下流水槽）の諸元

躯体寸法	幅 約7m × 長さ 約12m × 高さ 約18m
------	---------------------------



D-D'断面図



上流水槽・下流水槽イメージ図

- 設計、材料の選定、製作について、下記に準拠して評価を行う。
 - 火力・原子力発電所土木構造物の設計（増補改訂版）（一社）電力土木技術協会
 - コンクリート標準示方書（設計編；2017年制定）（公社）土木学会
 - コンクリート標準示方書（構造性能照査編；2002年制定）（公社）土木学会*
 - 共同溝設計指針1986年日本道路協会

■ 地震

- 耐震Cクラスとし、設計水平震度 $kh=0.2$ を用いて照査を行う。

■ 津波

- 津波に対する浸水は不可避であることから、復旧性に応じて、耐波圧性を有する仕様とする。

■ 台風（高潮）

- 台風（高潮）で海面が上昇することによる影響についても考慮した設計とする。

■ 構造

- 放水設備を岩盤に着底することで、地震の影響を受けにくい構造とする。

■ 健全性に対する考慮

- 常時荷重、地震時荷重に対して、許容応力度以内であることを確認し、構造を設定している。また、構造物の浮上がりが生じないことを確認している。さらに、鉄筋コンクリート製の躯体に生じるひび割れ幅および塩害の照査を実施し、適切な鉄筋かぶりを設定し、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。なお、供用期間中は、鉄筋コンクリート製の躯体に対して、保全を不要とするまでの保守的な設計とする。（定期点検は長期点検計画に基づき実施する。）
- 放水設備については、下表の照査を行うことで、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。

放水設備の照査項目

照査項目		放水立坑 (下流水槽)	放水 トンネル	放水口	照査内容
常時	構造	○	○	○	許容応力度以内であること※1
	構造 (波浪)			○	許容応力度以内であること※1
	ひび割れ	○	○	○	ひび割れ幅が許容ひび割れ幅以下であること※2
	塩害	○	○	○	鋼材位置の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界に達しないこと※2
	浮き上がり	○		○	浮き上がりが生じないこと
地震時		○	○	○	地震に対して許容応力度以内であること※3

※1 安全性：荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であること

※2 耐久性：設計供用期間中に、ひび割れや塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食により、構造物の性能が低下しないこと

※3 耐震性：耐震Cクラスとし、設計水平震度kh=0.2を用いて照査を行う。

■ 応力度の照査

- 放水設備（放水立坑（下流水槽））に用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリート（普通ポルトランドセメント）とし、設計基準強度は 24N/mm^2 とする。鉄筋はSD345とする。
- 荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であることを確認する。

コンクリートの許容応力度

コンクリートの設計基準強度	長期		短期		備考
	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	
24N/mm^2	9.0	0.45	13.5	0.675	放水立坑 (下流水槽)
30N/mm^2	11.0	0.50	16.5	0.75	放水口
42N/mm^2	16.0	0.73	24.0	1.095	放水トンネル

鉄筋の許容応力度

使用材料	長期	短期
	引張 (N/mm^2)	引張 (N/mm^2)
SD345	200	300

- 応力度照査の結果、耐力が確保されることを確認した。

荷重の組合せ

検討荷重	常時	地震時
自重	○	○
地表面載荷	○	
側圧	○	○
揚圧力	○	○
内水圧	○	○
慣性力		○
動水圧		○

- 作用応力を許容応力と比較し、作用応力/許容応力の比が最大となる部位および荷重ケースの照査結果を下表に示す。
- 常時荷重および地震時荷重に対して、許容応力度以内であること（作用応力/許容応力<1）を確認した。

応力度照査の照査結果

検討部位	荷重ケース	対象材料	応力	作用応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	作用応力/ 許容応力
底版	常時	鉄筋	曲げモーメント	98.0	200	0.49
側壁	常時	鉄筋	曲げモーメント	148.3	200	0.74

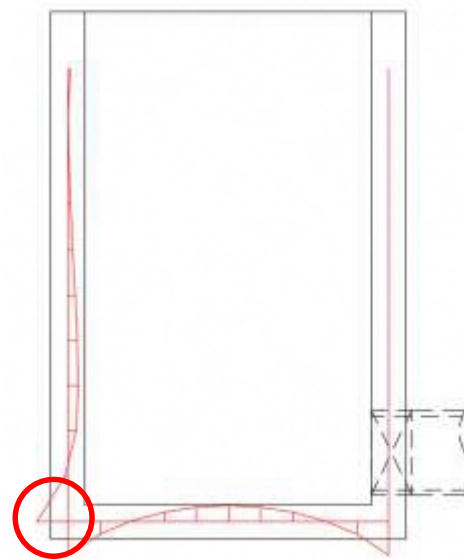
■ 各検討部位の応力度照査結果

応力度照査の結果

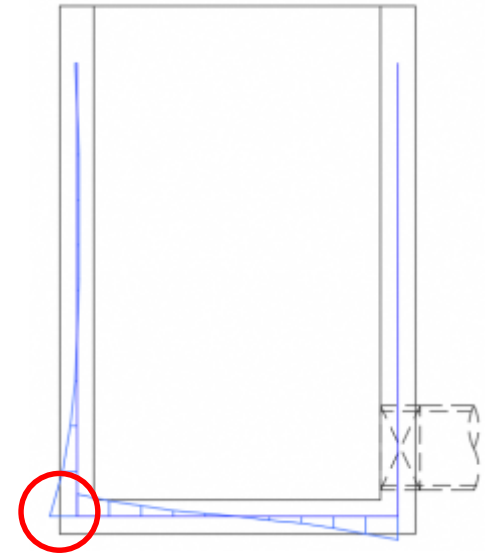
検討部位	応力度照査 (作用/許容)	
	曲げ モーメント	せん断力
底版	0.49	-*
側壁	0.74	-*

※赤字：応力度照査の最大値

*せん断力の評価については、作用応力が許容応力を超過するが、せん断補強筋を配筋することで、耐力を確保している。（コンクリート標準示方書（構造性能照査編；2002年制定）（公社）土木学会準拠）



断面力図（曲げモーメント）



断面力図（せん断力）

○：応力度照査 最大位置

■ ひび割れ幅の照査

- ひび割れ幅の照査は、以下の式にて行い、コンクリート表面のひび割れ幅 w が鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値 w_a 以下であることを確認する。

$$w / w_a \leq 1.0$$

ひび割れ幅 w

$$w = 1.1 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right]$$

ここに、

k_1 : 鋼材の表面形状にひび割れ幅の及ぼす影響を表す係数。一般に、異形鉄筋の場合1.0

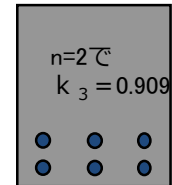
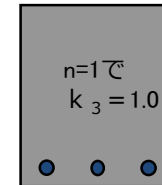
k_2 : コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす係数で、次式による

$$k_2 = \frac{15}{f'_c + 20} + 0.7$$

f'_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)、一般に設計圧縮強度 f'_{cd} を用いる

k_3 : 引張鋼材の段数 n の影響を表す係数で次式による

$$k_3 = \frac{5(n+2)}{7n+8}$$



引張鋼材段数 n と k_3 の関係模式図

c : かぶり(mm)、 c_s : 鋼材の中心間隔(mm)、 ϕ : 鋼材径 (mm)、

σ_{se} : 鉄筋の応力度の増加量 (N/mm²)、

ε'_{csd} : コンクリートの収縮及びクリープによるひび割れ幅の増加を考慮するためのひずみ

(鋼材の腐食に対する照査を行う場合、 ε'_{csd} の値は 150×10^{-6} 程度)

■ 塩害の照査

- 鋼材位置における塩化物イオン濃度が、設計供用期間中に鋼材腐食発生限界濃度に達しないことを確認する。
- 鋼材の腐食に対するひびわれ幅の限界値は、環境条件、かぶり、鋼材の種類に応じて定める。
- ひび割れ幅の限界値は $0.005c^*$ （mm）とする。（ c ：純かぶり）

*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5からの記載の適正化

	照査式
設計拡散係数 算定式	$D_d = \gamma_c \cdot D_k + \lambda \cdot \left(\frac{w}{l}\right) \cdot D_0$
鋼材位置における塩化物イオン濃度設計値の算定式	$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \cdot \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 \cdot C_d}{2 \cdot \sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right\} + C_i$
鋼材位置における塩化物イオン濃度の照査式	鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値が鋼材腐食発生限界濃度以下 $\gamma_i \cdot \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0$

D_d ：設計拡散係数

D_k ：コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数特性値（ $\text{cm}^2/\text{年}$ ）

D_0 ：コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す係数（ $\text{cm}^2/\text{年}$ ）。 $400\text{cm}^2/\text{年}$ とする

w ：ひび割れ幅（mm）

w_a ：鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値（mm）

w/l ：ひび割れ幅とひび割れ間隔の比

C_d ：鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値

γ_i ：構造物係数。一般的に1.0とする。

- 放水立坑（下流水槽）のひび割れ幅および塩害の照査の結果、供用期間中の耐久性が確保されることを確認した。

【ひび割れ幅の照査】

放水立坑（下流水槽）の発生曲げひび割れ幅を許容曲げひび割れ幅と比較し、発生曲げひび割れ幅/許容曲げひび割れ幅の比が最大となる部位の照査結果を下表に示す。

ひび割れ幅の照査結果

検討部位	発生曲げひび割れ幅 (mm)	許容曲げひび割れ幅 (mm)	発生曲げひび割れ幅/ 許容曲げひび割れ幅
底版	0.34	0.50	0.68
側壁	0.39	0.50	0.78

【塩害の照査】

放水立坑（下流水槽）における塩化物イオン濃度を鉄筋腐食発生限界濃度と比較し、鉄筋位置における塩化物イオン濃度/鉄筋腐食発生限界濃度の比が最大となる部位の照査結果を下表に示す。

塩害に対する照査結果

検討部位	鉄筋位置における 塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	鉄筋腐食発生限界 濃度 (kg/m ³)	鉄筋位置における塩 化物イオン濃度/鉄筋 腐食発生限界濃度
底版	0.94	1.84	0.51
側壁	1.66	1.84	0.90

■ 浮上がりの照査

浮上がりの照査は、以下の式にて行う。

$$F_s = W / U$$

$$U = V_w \cdot \gamma_w$$

U : 浮力 (kN/m)

W : 鉛直荷重 (kN/m)

V_w : 地下水位以下の容積 (m³/m)

γ_w : 水(海水)の単位体積重量 (kN/m³)

浮上がりに対する安全率

適用条件	常時
浮上がり安全率	1.20

- 放水立坑（下流水槽）の浮上がりの照査の結果、供用期間中の耐力が確保されることを確認した。

浮き上がりに対する照査結果

	常時
計算値	1.68
浮上り安全率	1.20

放水トンネルの設計

【設計上の留意ポイント】

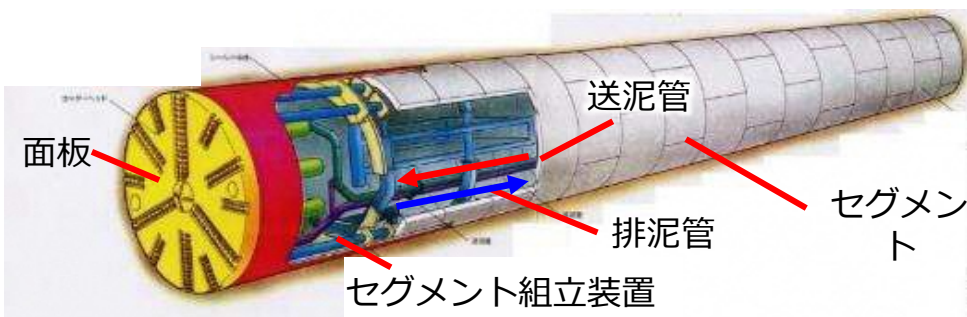
- 放水トンネルを安定した岩盤内に設置するために、平面線形および縦断線形への配慮 50～51頁
- 安全に海底部にトンネルを施工するために、放水トンネルの工法にシールド工法を採用 53～54頁
- 「シールドトンネル施工技術安全向上協議会報告書（国土交通省）」等の指針に関する確認 56～58頁
- 一般土木構造物としての準拠規格及び基準に則り、「安全性：荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であること」、「耐久性：設計供用期間中に、ひび割れや塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食により、構造物の性能が低下しないこと」「耐震性：耐震Cクラスとし、照査を行うこと」の各々評価を実施し、健全性を確認 60～70頁
- 地震以外にも、津波、台風（高潮）の自然現象にも配慮 61頁
- 供用期間中は、鉄筋コンクリート製の躯体に対して、保全を不要とするまでの保守的な設計としている。（定期点検は長期点検計画に基づき実施する。）
- セグメントの高さ（厚さ）、セグメントの止水構造、継手構造にも配慮

■ 構造設計の概要

- 岩盤層を通過させるため漏洩リスクが小さく、耐震性に優れる。
- シールド工法を採用し、鉄筋コンクリート製のセグメントに2重のシール材を取り付けることで止水性を持つ。
- 台風（高波浪）や高潮（海面上昇）の影響を考慮した設計を実施。

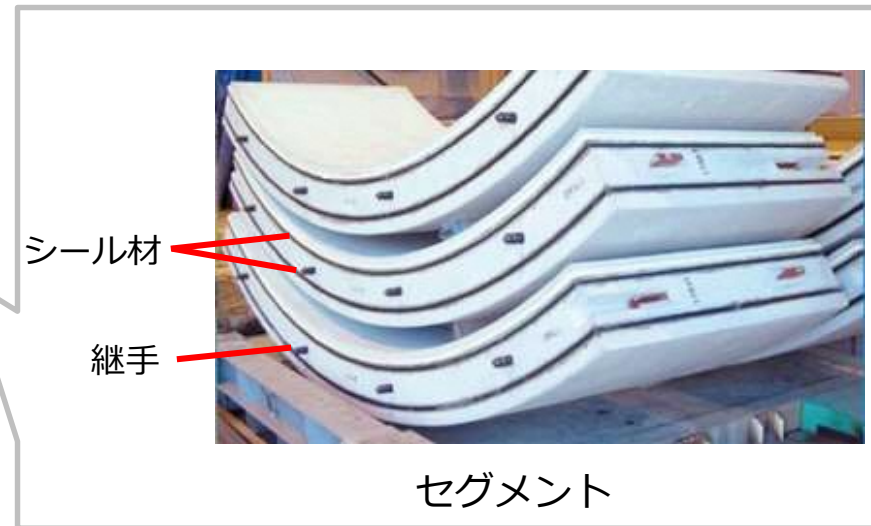
■ 放水トンネルの施工（シールド工法）の概要

- シールド工法による放水トンネルの施工実績は多数あり、確実な施工によりトラブルの発生の可能性が少ない。
- 今回は泥水式シールド工法※を採用。



シールドマシンの概要図

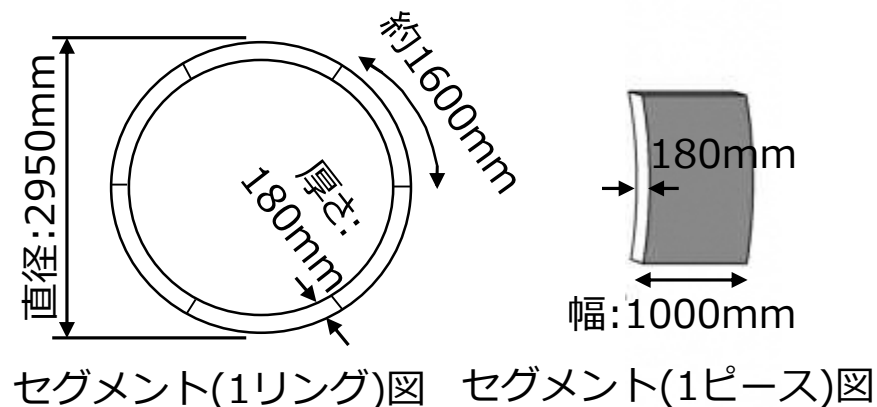
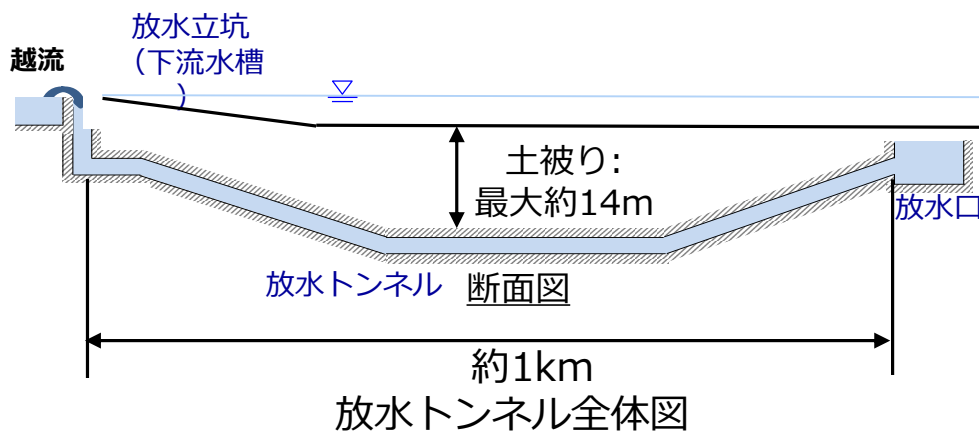
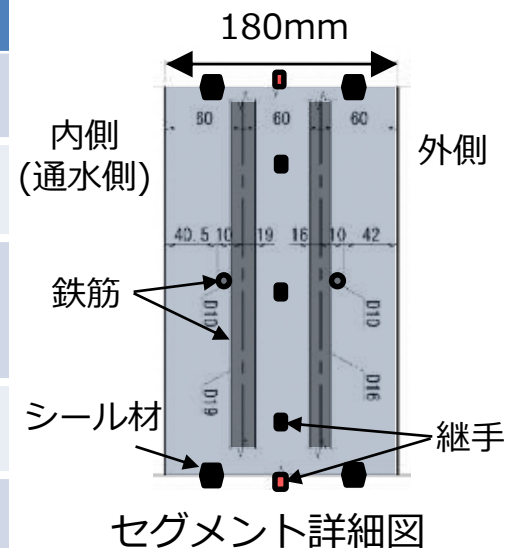
※泥水に所定の圧力を加えることにより、地山の土水圧に対抗させて切羽（トンネル先端掘削面）を安定させ、掘削土とともに泥水を循環させることで掘削土を流体輸送する仕組みを持ったシールド工法



放水トンネルの構造概要

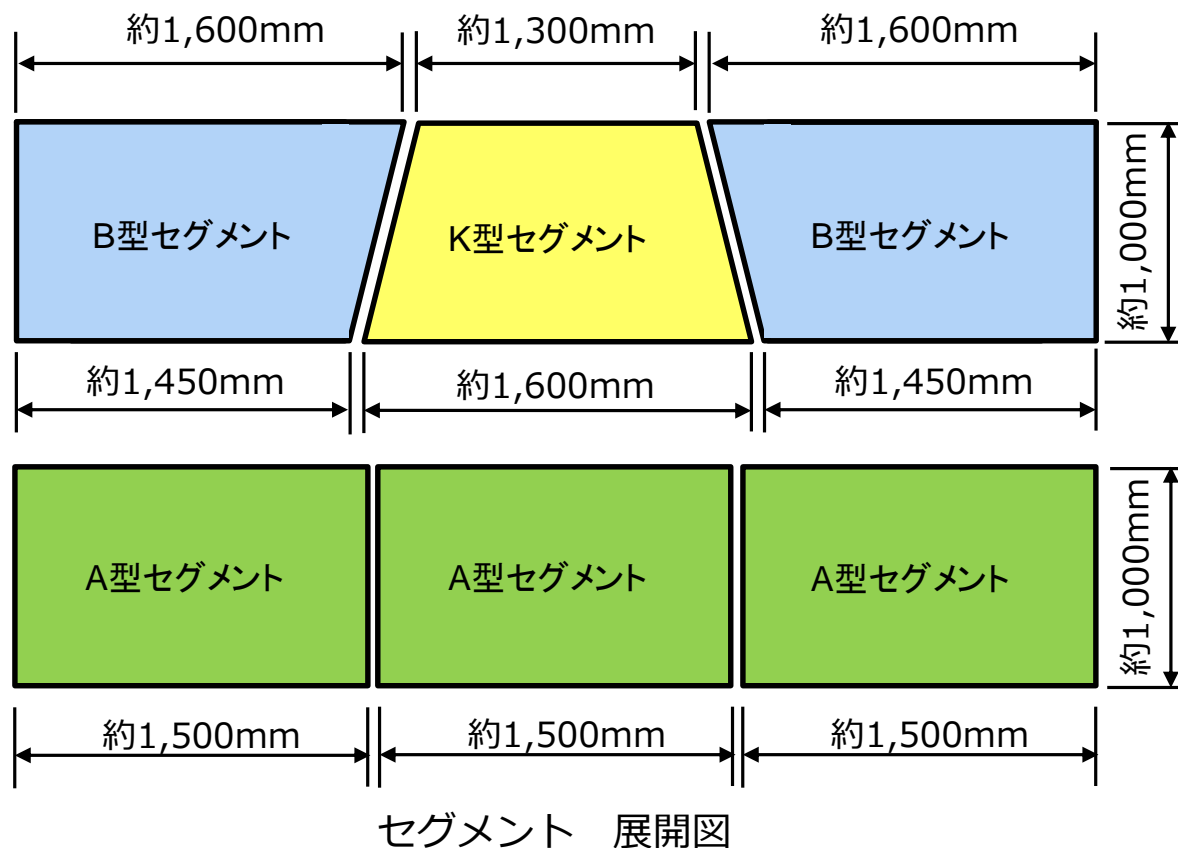
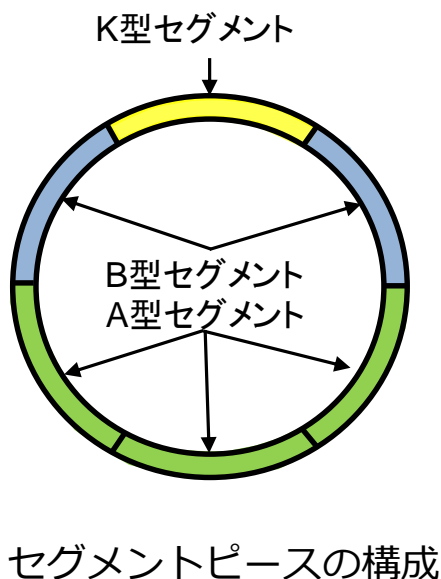
放水トンネル(鉄筋コンクリート製)の寸法

諸元	寸法
放水トンネル	直径2,950mm(内径2,590mm)×長さ約1km
セグメント(1リング)	直径2,950mm×厚さ180mm×幅1,000mm
セグメント(1ピース)	長さ(外側の弧長)約1,600mm×厚さ180mm×幅1,000mm
材質	鉄筋コンクリート製
最大土被り	約14m



■ セグメントピースと寸法

- 今回のセグメントのピースはA型、B型、K型の3種類を使用
- 下図はセグメントを展開したものであり、寸法は弧長ではなく、各々のセグメントを上側から見た時の射影長さを示す。



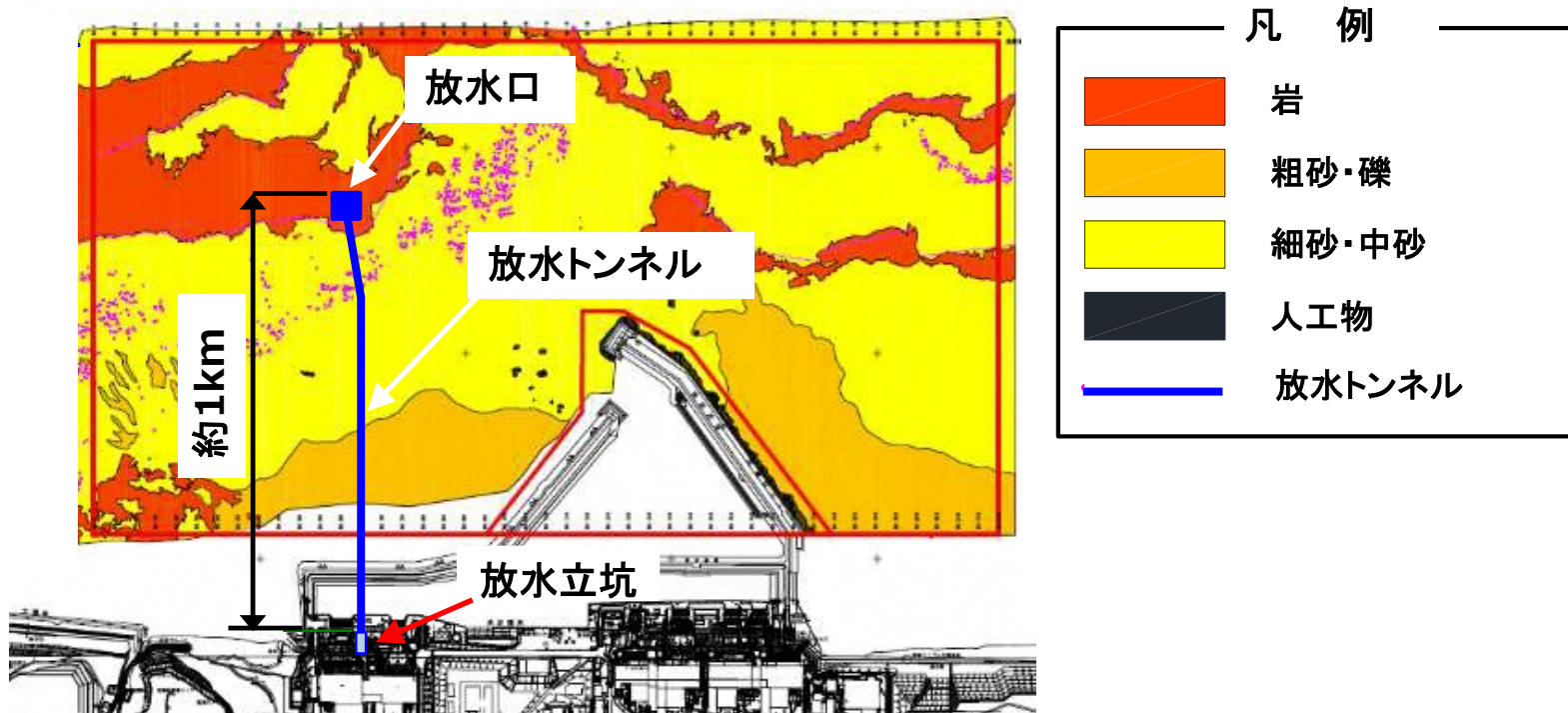
放水トンネルの線形の選定

放水トンネルの工法の選定

放水トンネルの設計（構造）

■ 放水トンネルの平面線形の選定理由

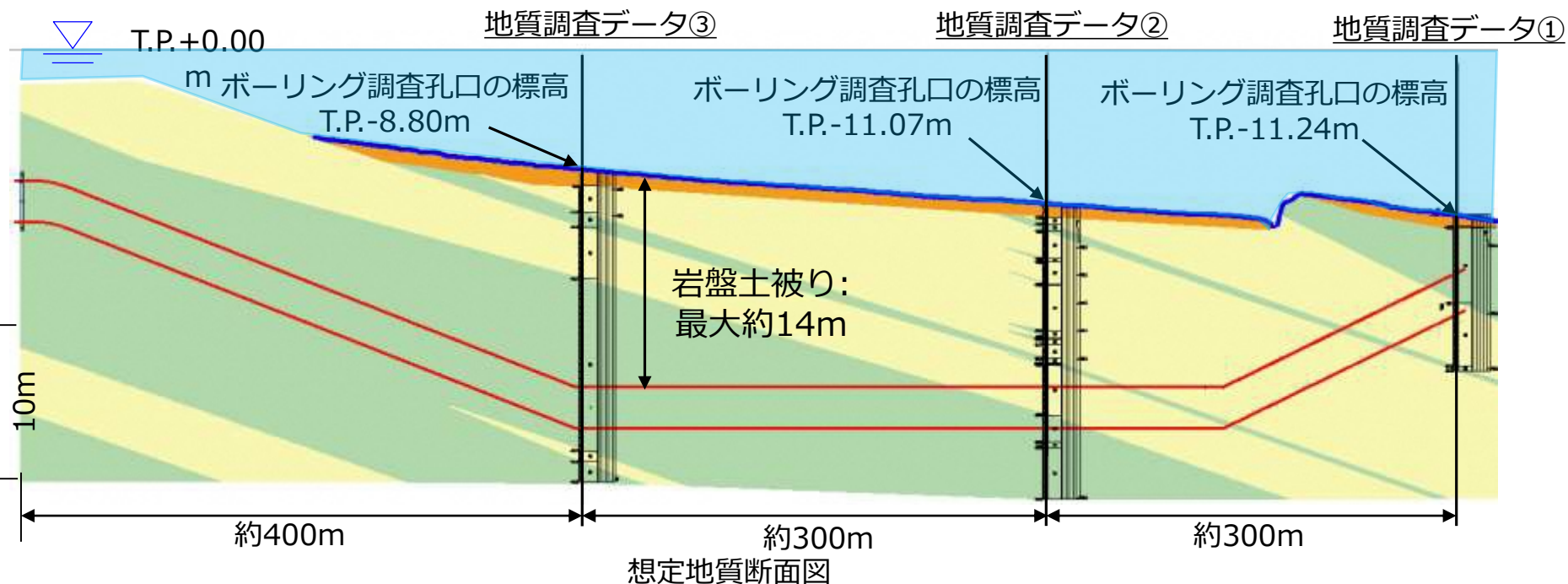
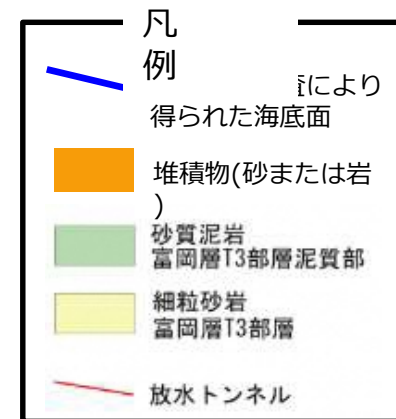
- 既往の地質データや海域調査データ等を基に、安定した岩盤露頭に放水口を設置することを前提に平面線形を検討した。
- 放水立坑と放水口ができる限り直線になるように放水トンネルの平面線形を検討し、放水トンネルは一部、曲線区間 (R=500m) を設ける線形とした。
(放水口は、放水立坑から約20m北側に配置した。)



想定地質平面図

■ 放水トンネルの縦断線形の選定理由

- 海域で実施した地質調査データ①～③および既往地質データ等を活用し、岩盤内に放水トンネルを設置することを前提に縦断線形を検討した。
- 放水トンネルの縦断線形を、地質調査データから想定した地質断面図に重ね合わせた結果、放水トンネルはすべての区間において岩盤内を通ると判断した。



放水トンネルの線形の選定

放水トンネルの工法の選定

放水トンネルの設計（構造）

■ トンネルの工法

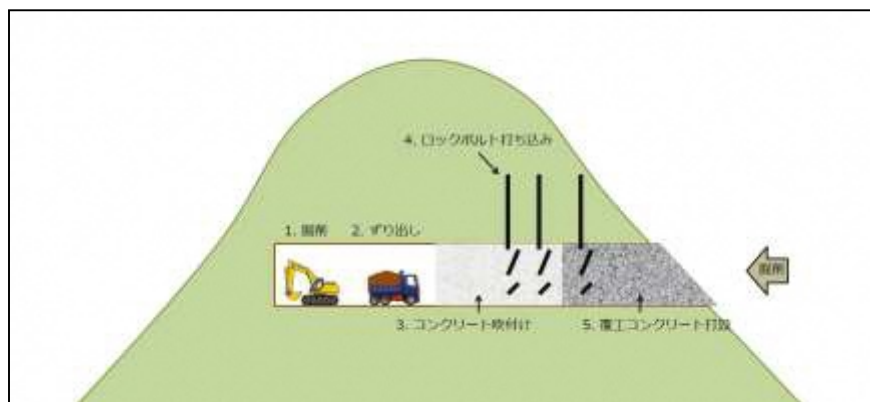
- 当該位置に適したトンネル工法としては、トンネル工法は大きく「山岳トンネル」「シールドトンネル」の2種類が考えられる。

■ 山岳トンネルの特徴

- 山岳トンネルは岩盤のように、トンネルを掘っても地山が崩壊しない硬い地盤に用いられる工法である。
- 地山を掘削すると圧力で崩れようとするが、地盤が硬ければトンネル周囲の地盤同士で支え合う(これをアーチ効果と呼ぶ)ためトンネルは崩れない。

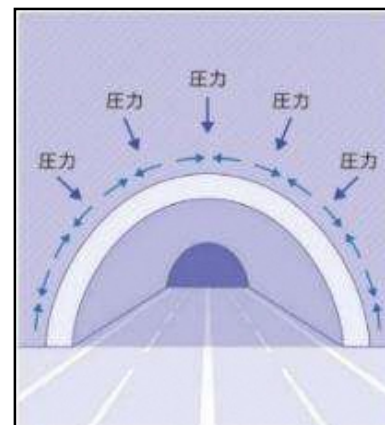
■ 山岳トンネル工法のデメリット

- 軟弱な地盤にトンネルを掘る場合、地盤が弱くトンネルが崩れてしまうため、軟弱地盤に山岳トンネル工法は適用できない。



山岳トンネル工法

<https://bonperson-civil.com/moutaintunnel-natm/>
引用



アーチ効果イメージ

<https://www.pacific.co.jp/magazine/2018/04/post-27.html> 引用

■ シールドトンネルの特徴

- シールド工法とは、シールドマシンと呼ばれる掘削用の機械を使いトンネルを掘削する工法である。
- このトンネルは「セグメント」と呼ばれる鉄筋コンクリートやスチールでできたピースを円形に組立て作る。
- トンネルの周囲をシールドマシンやセグメントで支えながら掘削するため、軟弱な地盤でも適用可能。

■ シールドトンネル工法の留意事項

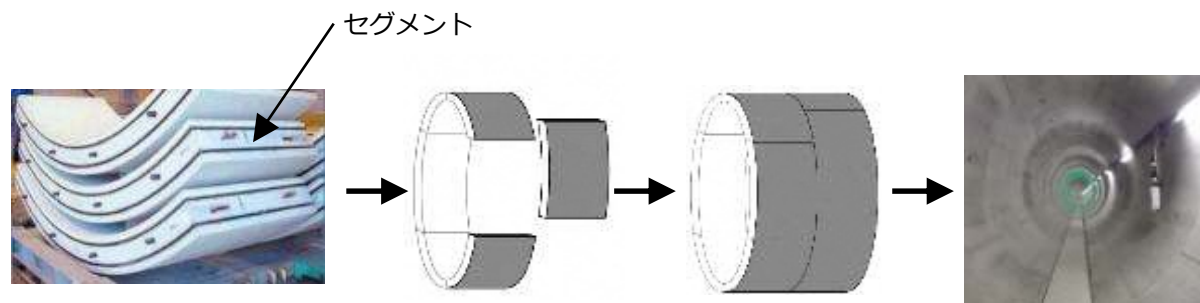
- 地山が崩壊するような軟弱な地盤においてセグメント厚を小さくした場合、セグメントが周囲の地盤の土圧に耐え切れずトンネルが崩壊する恐れが生じる。過去にはセグメント厚を小さくしたことが原因と推定される水没事故が起きている。

■ シールドトンネルの選定理由

- 今回の放水トンネルの施工地盤は軟岩であるため山岳トンネル工法を用いることも可能であるが、より安全に海底部にトンネルを施工するため、シールドトンネル工法を採用する。



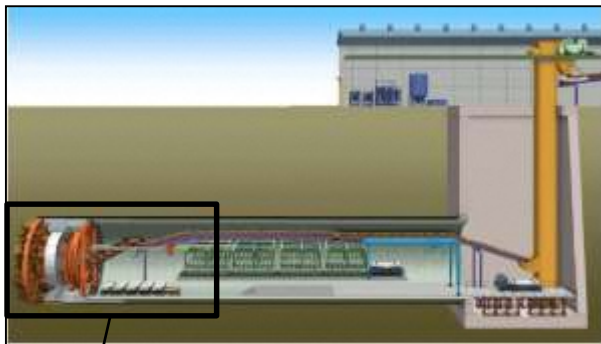
シールド工法（東京電力株式会社 2009年
東京湾横断部 東西連携ガス導管トンネル：約18 km）



シールドトンネルの組立イメージ

【参考】 シールド機の概要

シールド機の構造



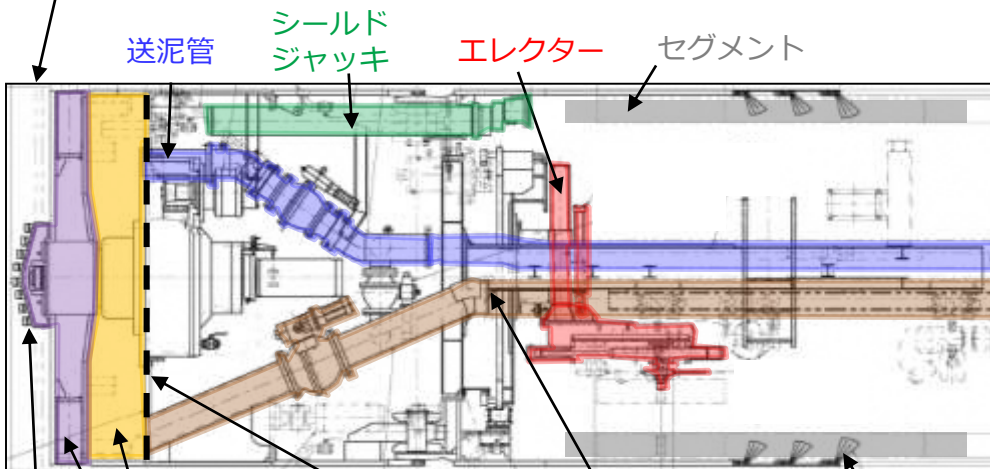
シールド工法イメージ



テールシール

セグメントと地山の間隙イメージ※

※)出典:
https://m.youtube.com/watch?time_continue=2&v=qBihbM14zWE&feature=emb_logo



シールド機イメージ

シールド機の各部位の説明

名称	説明
セグメント	放水トンネルの躯体。エレクターにより組み上げられる
送泥管	泥水をカッターチャンバ内へ送り込み、カッターヘッドをその圧力で安定させる管
排泥管	カッターチャンバ内へ溜まった掘削土と、送泥管から送られてきた泥水を屋外へ圧送する管
エレクター	セグメントを所定の形に組み立てる装置
テールシール	セグメント外面との間からの裏込め注入材や、土砂を伴う地下水の流入防止を図るもの
シールドジャッキ	セグメントから反力を取り、シールドを推進させるためのもの
カッタービット	カッターヘッド前面に備えられた、地山切削用または破碎用の特殊な金属などを用いた刃
カッターヘッド	シールド前面にあるカッタービットなどの切削機構を備えた部分
カッターチャンバ	送泥管から送られてきた泥水および掘削された土が混ざる場所
隔壁	カッターヘッドの安定を図るための泥土あるいは泥水の圧力を保持する目的の壁

- 放水トンネルの設計および施工において、「シールドトンネル施工技術安全向上協議会報告書（国土交通省）」等の指針に関する確認し、以下の通り考慮

事項	考慮内容
海底調査	海底のシールドトンネルの線形計画にあたり、海底深さ、堆砂厚さ、岩盤位置を海上調査の結果に基づき確定させて、トンネル線形が安定する岩盤層内に確実に収まる線形計画とする。
セグメント形状・寸法・分割に対する対策	セグメントの幅（1000mm）、厚さ（180mm）は、過去の実績と比較して十分に安全な形状・寸法としている。また、セグメントの分割は6分割として、1ピースの弧長と重量を大きくすることなく、組立時のセグメントの損傷に配慮した分割数としている。
RCセグメントの鉄筋量、シール材の対策	RCセグメントの鉄筋量は、施工時の影響も考慮した安全な鉄筋量を使用している。また、セグメントのシール材(止水材)は海底トンネルで実績のある水膨張シール材を採用した。止水性能の確保は、セグメント外面側シール材1段にて可能とすることを基本とするが、止水性を十分に確保するために同性能のシール材を内面側にも配置する。

考慮事項	具体的対策
<p>曲線施工に対する対策</p>	<p>シールドトンネルの急曲線区間では、セグメントリングに偏圧が作用する可能性があることから、急曲線区間を設けず直線を主体とするトンネル線形としている。一部の曲線区間では曲線半径500m以上の緩やかな線形とし、中折れ機構を装備したうえで掘進ジャッキを独立に制御することで線形管理の精度を高め、セグメントの損傷を低減している。</p>
<p>シールド機的设计</p>	<p>シールド機のテールシールは、施工中に地下水や裏込め注入材等のトンネル内への流入を防止するための性能を確保する必要があり、3段構造のテールシールとすることで、十分な止水性と耐久性を確保している。</p> <p>また、カッタービットは今回の対象地盤である岩盤層に対して十分に安全な掘削性能を確保しており、カッター駆動部は掘進距離に必要な耐久性を担保している。</p>
<p>安定した継手構造の採用</p>	<p>セグメントに締結力のない継手を採用すると、組立時に目開きや目違いが生じて、漏水が発生することになることから、セグメントの継手には、数多くのシールドトンネルで施工実績のある締結力の高い継手構造を採用し、継手曲げ試験によりその性能を確認する。</p>
<p>シールド工事の施工</p>	<p>今回の施工では、泥水式シールドを採用しており、ポンプ輸送で排出される掘削土砂の量を密度計と流量計で連続的に計測して、排泥量の管理を確実行うことで周辺地盤の安定を確保する。また、裏込め注入の施工管理は、注入圧と注入量の両方法で管理することにより、セグメントと地山の確実な安定を図る。</p>

考慮事項	具体的対策
RCセグメントの塩害対策①	<p>RC（鉄筋コンクリート製）セグメントの材料に高炉セメント（B種）を使用し、海洋の厳しい塩害環境においても十分耐え得る安全なRCセグメントを組立て、放水トンネルを構築する。</p> <p>高炉セメントを使用したコンクリートは、塩化物遮蔽性が大きく、一般的なコンクリート（普通ポルトランドセメントのみを使用）よりも耐久性が増す。</p>
RCセグメントの塩害対策②	<p>RCセグメントの鉄筋は、鉄筋被りを適切に設けることにより塩害に対する確実な対策を施す。</p>

放水トンネルの線形の選定
放水トンネルの工法の選定
放水トンネルの設計（構造）

- 設計、材料の選定、製作について、下記に準拠して評価を行う。
 - コンクリート標準示方書（設計編；2017年制定）（公社）土木学会
 - コンクリート標準示方書（構造性能照査編；2002年制定）（公社）土木学会
 - トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説/〔シールド工法編〕・同解説（2016年制定）（公社）土木学会
 - トンネル標準示方書開削工法・同解説（2016年制定）
 - 共同溝設計指針 1986年日本道路協会
 - 内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き（1999年制定）（財団法人）先端建設技術センター
 - 下水道施設の耐震対策指針と解説-2014年版-（公社）日本下水道協会
 - 土木研究所資料 大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン（案）-平成4年3月」 建設省土木研究所・地震防災部耐震研究所*
 - 下水道施設耐震計算例-管路施設編-2015年版（公社）日本下水道協会
 - シールド工事用標準セグメント 土木学会・日本下水道協会共編（2001年制定）

■ 地震

- 耐震Cクラスとし、共同溝設計指針、下水道施設の耐震対策指針と解説他に準拠する。

■ 津波

- 津波で海面が上昇することによる影響についても考慮した設計とする。

■ 台風（高潮）

- 台風（高潮）で海面が上昇することによる影響についても考慮した設計とする。

- 構造
 - 放水トンネルについては、岩盤内部に設置することとし、海底部の掘進における施工時のリスクや供用期間中の耐久性を考慮し、シールド工法を採用する。放水トンネルを構成する鉄筋コンクリート製の覆工板にシール材を設けることで止水性を確保する。
- 健全性に対する考慮
 - 常時荷重、波浪荷重および地震時荷重に対して、許容応力度以内であることを確認し、構造を設定している。また、構造物の浮上がりが生じないことを確認している。さらに、鉄筋コンクリート製の躯体に生じるひび割れ幅および塩害の照査を実施し、適切な鉄筋かぶりを設定し、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。なお、供用期間中は、鉄筋コンクリート製の躯体に対して、保全を不要とするまでの保守的な設計とする。（定期点検は長期点検計画に基づき実施する。）
 - 放水トンネルについては、下表の照査を行うことで、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。

放水設備の照査項目

照査項目		放水立坑 (下流水槽)	放水 トンネル	放水口	照査内容
常時	構造	○	○	○*	許容応力度以内であること※1
	構造 (波浪)		○*	○	許容応力度以内であること※1
	ひび割れ	○	○	○	ひび割れ幅が許容ひび割れ幅以下であること※2
	塩害	○	○	○	鋼材位置の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界に達しないこと※2
	浮き上がり	○		○	浮き上がりが生じないこと
地震時		○	○	○	地震に対して許容応力度以内であること※3

※1 安全性：荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であること

※2 耐久性：設計供用期間中に、ひび割れや塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食により、構造物の性能が低下しないこと

※3 耐震性：耐震Cクラスとし照査を行う。

■ 応力度の照査

- 放水設備（放水トンネル）に用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリート（高炉セメントB種）とし、設計基準強度は 42N/mm^2 とする。鉄筋はSD345とする。
- 荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であることを確認する。

コンクリートの許容応力度

コンクリートの設計基準強度	長期		短期		備考
	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	
24N/mm^2	9.0	0.45	13.5	0.675	放水立坑（下流水槽）
30N/mm^2	11.0	0.50	16.5	0.75	放水口
42N/mm^2	16.0	0.73	24.0	1.095	放水トンネル

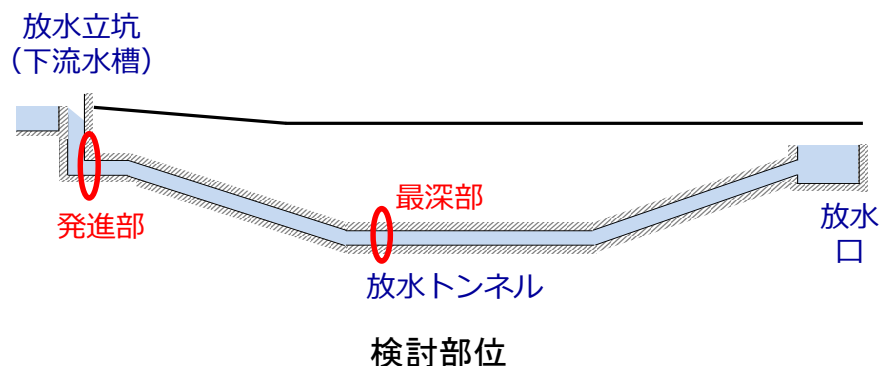
鉄筋の許容応力度

使用材料	長期	短期
	引張 (N/mm^2)	引張 (N/mm^2)
SD345	200	300

- 応力度照査の結果、耐力が確保されることを確認した。

荷重の組合せ

検討荷重	常時	地震時
自重	○	○
載荷荷重	○	○
土圧	○	○
内水圧(波浪含む)	○	○
外水圧(波浪含む)	○	○
地震時慣性力		○



- 作用応力を許容応力と比較し、作用応力/許容応力が最大となる部位および荷重ケースの照査結果を下表に示す。
- 常時荷重および地震時荷重に対して、許容応力度以内であること（作用応力/許容応力<1）を確認した。

覆工板(セグメント) 応力度照査の照査結果

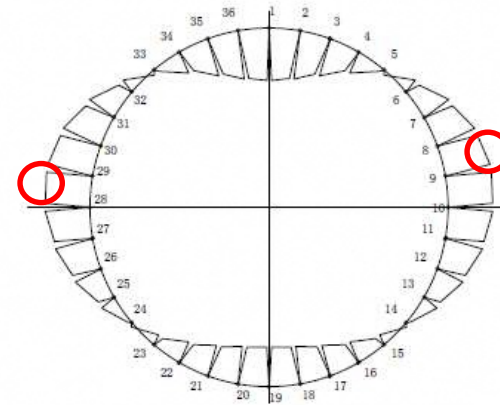
検討部位	荷重ケース	対象材料	応力	作用応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	作用応力/許容応力
覆工板 (発進部)	常時	鉄筋	曲げモーメント	78	200	0.39
覆工板 (最深部)	常時	鉄筋	曲げモーメント	91	200	0.46

■ 各検討部位の応力度照査結果

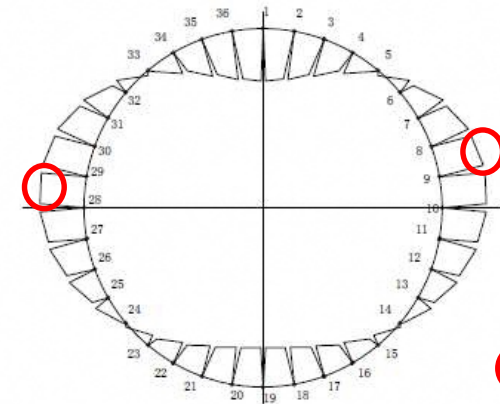
覆工板(セグメント) 応力度照査の照査結果

検討部位	応力度照査 (発生/許容)
	曲げ モーメント
覆工板 (発進部)	0.39
覆工板 (最深部)	0.46

※赤字：応力度照査の最大値



発進部 断面力図(曲げモーメント)



○ 応力度照査 最大位置

最深部 断面力図(曲げモーメント)

■ 地震時の変位照査結果

- 発進部（下流水槽と放水トンネルの接続部）および到達部（放水口ケーソンと放水トンネルの接続部）における地震時の抜出しに相当する水平変位量を照査し、安全であることを確認した。
- 具体的には、地震時における放水トンネルの接合部(下図●)の位置における水平変位量は、地盤の屈曲に伴う変位量と、地盤のひずみに伴う抜出し量の合計を水平変位量とし、地震時においては特に有意な影響はないと判断した。

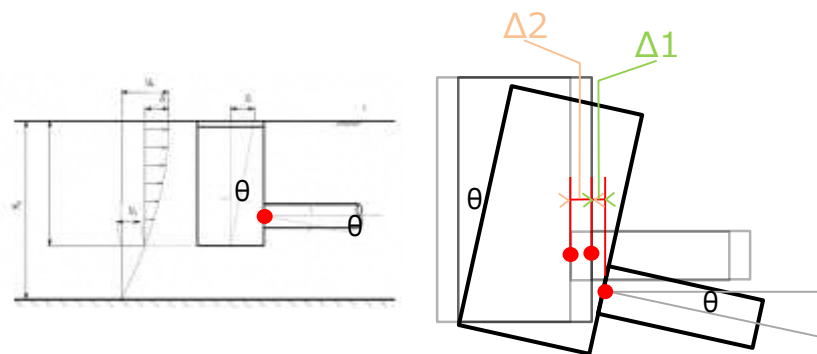
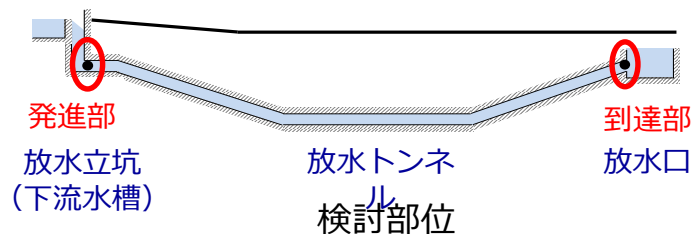
水平変位量の照査結果

検討部位	屈曲※1による変位 $\Delta 1$ (mm)	抜出し量※2 $\Delta 2$ (mm)	合計水平変位量(mm)
発進部	2.9	0.3	3.2
到達部	1.0	0.1	1.1

※赤字：変位量の最大値

※1 放水立坑および放水トンネルが地震時に θ だけ屈曲するとし、それを●の位置において水平変位に換算したもの

※2 ●の位置における地盤のひずみから求めたもの



例 接続部変位イメージ

検討ケース

検討部位	荷重パターン	トンネルの状態	土圧	外水位	
覆工板 (発進部)	常時	空水時	2D	G.L.±0.00	
		内水圧作用時(長期 ^{※1)})			
		内水圧作用時(短期 ^{※2)})			
	地震時	空水時	0.175D		
		内水圧作用時(長期)			
		内水圧作用時(短期)			
覆工板 (最深部)	常時	空水時	2D	H.W.L(T.P.+0.757m)	
		内水圧作用時(長期)		L.W.L(T.P.-0.778m)	
		内水圧作用時(短期)			
		空水時		0.175D	H.W.L(T.P.+0.757m)
		内水圧作用時(長期)			L.W.L(T.P.-0.778m)
		内水圧作用時(短期)			
	地震時	空水時 [※]	2D	H.W.L(T.P.+0.757m)	
			0.175D	L.W.L(T.P.-0.778m)	

赤字:
覆工板(発進部)の
クリティカルケース

青字:
覆工板(最深部)の
クリティカルケース

※1)50年確率の有義
波高から求めた
内水位T.P.+6.40m

※2)50年確率の最大
波高から求めた
内水位T.P.+9.30m

※3)地震時に最も
厳しいケース

■ ひび割れ幅の照査

- ひび割れ幅の照査は、以下の式にて行い、コンクリート表面のひび割れ幅 w が鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値 w_a 以下であることを確認する。

$$w / w_a \leq 1.0$$

ひび割れ幅 w

$$w = 1.1 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right]$$

ここに、

k_1 ：鋼材の表面形状にひび割れ幅の及ぼす影響を表す係数。一般に、異形鉄筋の場合1.0

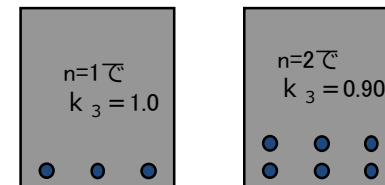
k_2 ：コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす係数で、次式による

$$k_2 = \frac{15}{f'_c + 20} + 0.7$$

f'_c ：コンクリートの圧縮強度（N/mm²）、一般に設計圧縮強度 f'_{cd} を用いる

k_3 ：引張鋼材の段数 n の影響を表す係数で次式による

$$k_3 = \frac{5(n+2)}{7n+8}$$



引張鋼材段数 n と k_3 の関係模式図

c ：かぶり(mm)、 c_s ：鋼材の中心間隔(mm)、 ϕ ：鋼材径（mm）、

σ_{se} ：鉄筋の応力度の増加量（N/mm²）、

ε'_{csd} ：コンクリートの収縮及びクリープによるひび割れ幅の増加を考慮するためのひずみ

（鋼材の腐食に対する照査を行う場合、 ε'_{csd} の値は 150×10^{-6} 程度）

■ 塩害の照査

- 鋼材位置における塩化物イオン濃度が、設計供用期間中に鋼材腐食発生限界濃度に達しないことを確認する。
- 鋼材の腐食に対するひびわれ幅の限界値は、環境条件、かぶり、鋼材の種類に応じて定める。
- 環境条件は腐食性環境条件とし、ひび割れ幅の限界値は $0.0035 c^*$ (mm) とする (c: 純かぶり)

	照査式
設計拡散係数 算定式	$D_d = \gamma_c \cdot D_k + \lambda \cdot \left(\frac{w}{l}\right) \cdot D_0$
鋼材位置における塩化物イオン濃度設計値の算定式	$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \cdot \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 \cdot C_d}{2 \cdot \sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right\} + C_i$
鋼材位置における塩化物イオン濃度の照査式	鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値が鋼材腐食発生限界濃度以下 $\gamma_i \cdot \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0$

D_d : 設計拡散係数

D_k : コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数特性値 (cm²/年)

D_0 : コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す係数 (cm²/年)。一般に200cm²/年とする

w: ひび割れ幅 (mm)

w_a : 鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値 (mm)

w/l: ひび割れ幅とひび割れ間隔の比

C_d : 鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値

*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5
からの記載の適正化 400cm²/年

- 放水トンネルのひび割れ幅および塩害の照査の結果、供用期間中の耐久性が確保されることを確認した。

【ひび割れ幅の照査】

放水トンネルの発生曲げひび割れ幅を許容曲げひび割れ幅と比較し、発生曲げひび割れ幅/許容曲げひび割れ幅の比が最大となる部位の照査結果を下表に示す。

ひび割れ幅の照査結果

検討部位	発生曲げひび割れ幅 (mm)	許容曲げひび割れ幅 (mm)	発生曲げひび割れ幅/ 許容曲げひび割れ幅
覆工板 (発進部)	0.135*	0.177	0.76
覆工板 (最深部)	0.148	0.177	0.84

【塩害の照査】

放水トンネルにおける塩化物イオン濃度を鉄筋腐食発生限界濃度と比較し、鉄筋位置における塩化物イオン濃度/鉄筋腐食発生限界濃度の比が最大となる部位の照査結果を下表に示す。

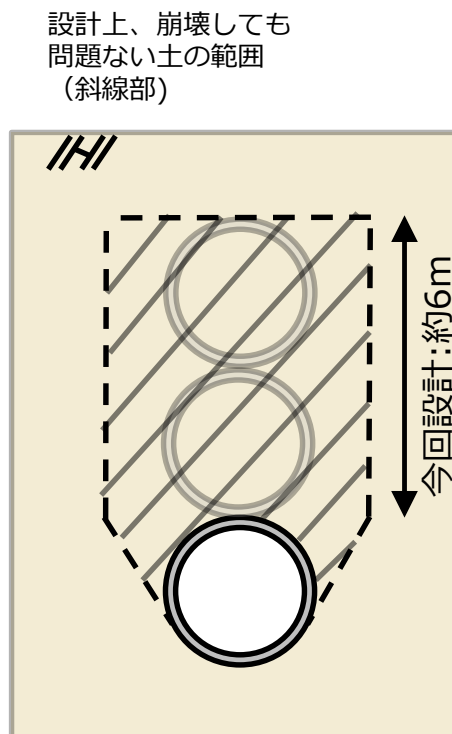
塩害に対する照査結果

検討部位	鉄筋位置における 塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	鉄筋腐食発生限界 濃度 (kg/m ³)	鉄筋位置における塩 化物イオン濃度/鉄筋 腐食発生限界濃度
覆工板 (発進部)	1.97	2.19	0.90
覆工板 (最深部)	2.16	2.19	0.98

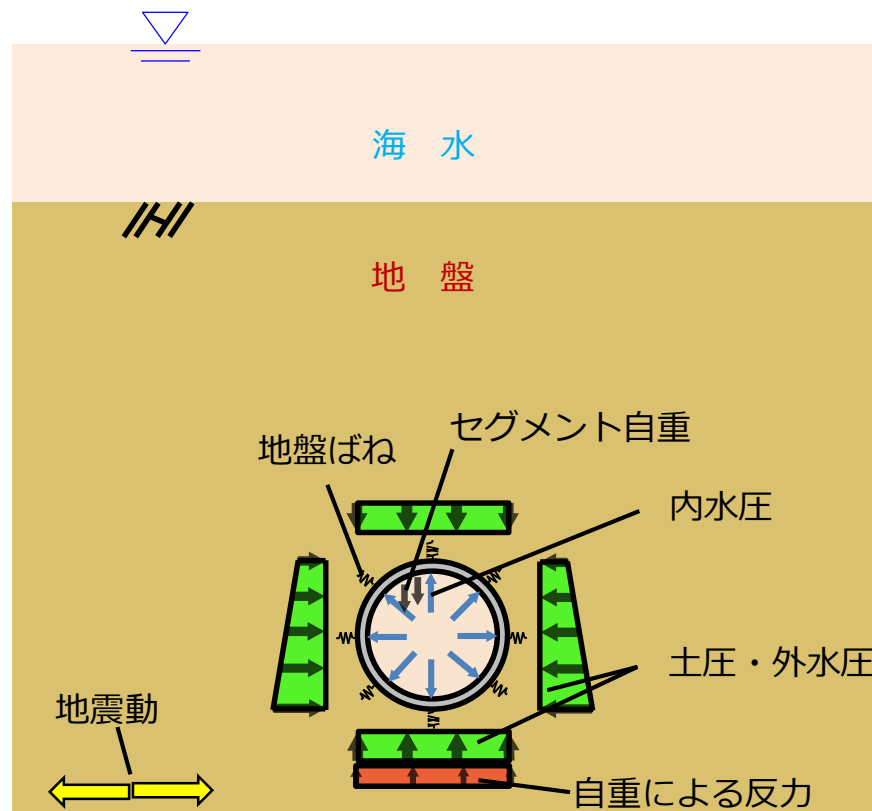
【参考】放水トンネルに作用する荷重の考え方

- 今回の地盤において、トンネル天端より上の地盤が緩む高さを計算した結果、地盤が緩まないことを確認している
- しかし、地盤の土圧(土による荷重)は、トンネルの天端から鉛直上方向にトンネル外径の2倍(約6m)の範囲の地盤が崩壊したときの値を設定し※、セグメントが健全であることを確認した
- 内水圧は、50年確率の最大波高から求めた内水位T.P.+9.30mを設定し求めた

※シールド工事用標準セグメント,P95



設計で土圧を見込む範囲イメージ



設計荷重イメージ

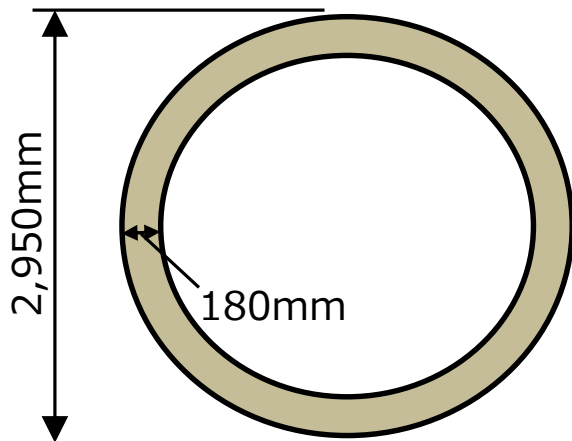
【参考】セグメントの高さ(厚さ)と外径

■ セグメントの高さ(厚さ)と外径

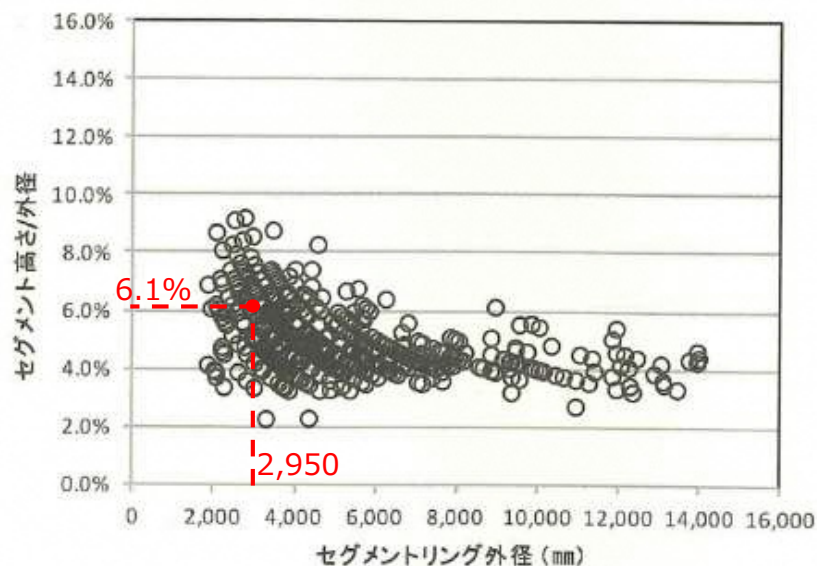
- セグメント外径2,950mmに対するセグメントの高さ(厚さ)180mmの比率は6.1%※

セグメントの寸法

寸法	外径(mm)	高さ(厚さ)(mm)	高さ(厚さ)/外径
セグメント	2,950	180	6.1%



セグメント断面図

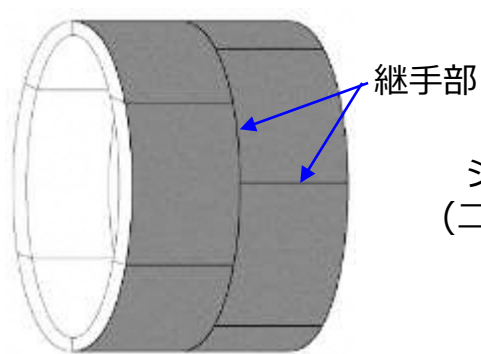


セグメント高さ(厚さ)/外径と外径 散布図※)

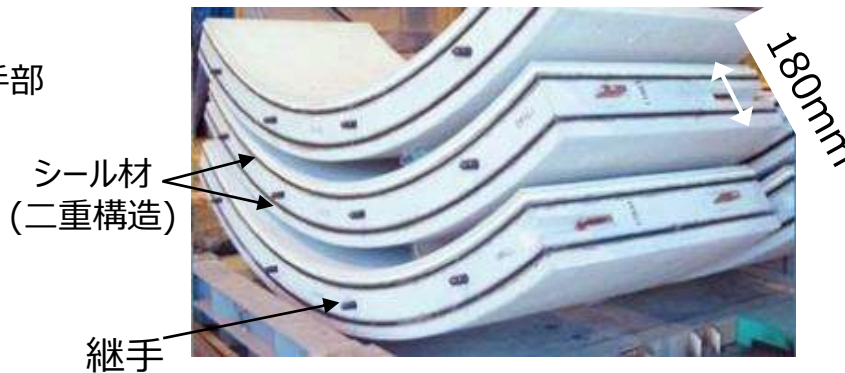
※)トンネル標準示方書[共通編]・同解説/[シールド工法編]・同解説 (2016年制定),P.84, 解説 図 2.5.1 鉄筋コンクリート製セグメント高さ(厚さ)の実績

【補足】セグメントの止水

- シールドトンネルの漏水(外部および内部からの水の出入り)は、セグメントの継手部に限定される。
- 継手部からの漏水に対し、シール材（水に触れると膨れて止水性を発揮するゴム）を配置して止水する。
- シール材は、一般的に1段のみ設置されるが、今回は内水圧が作用することから、放水トンネルの円周方向および延長方向（全周）に2段配置して止水性を担保する。
- シール材は、シール材の接面応力、目開き量および目違い量を考慮し、漏水がないことを確認している。



想定漏水箇所

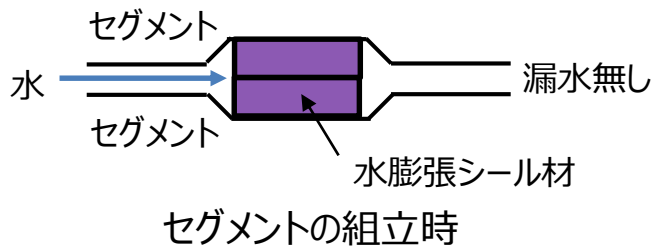


鉄筋コンクリート製セグメント

シール材	諸元
厚さ	約4mm
幅	約17mm
材質	クロロプレン合成ゴム系

シール材諸元

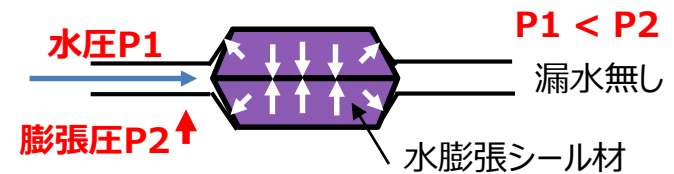
【止水の原理】



万が一漏水



地盤の変状等によりセグメント間の目開きが生じたとしても、シール材の水膨張により水みちを閉塞

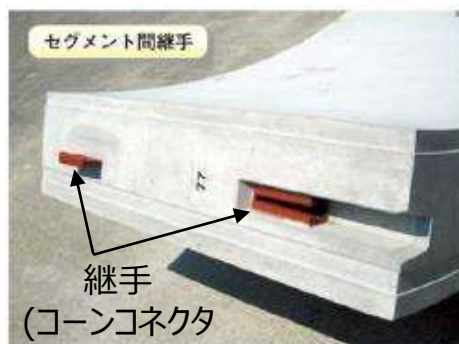


■ セグメントの継手

- セグメント間の継手は、セグメントの円周方向の継手(コーンコネクタ継手)と放水トンネルの延長方向の継手(スクリーボルト継手)の2種類



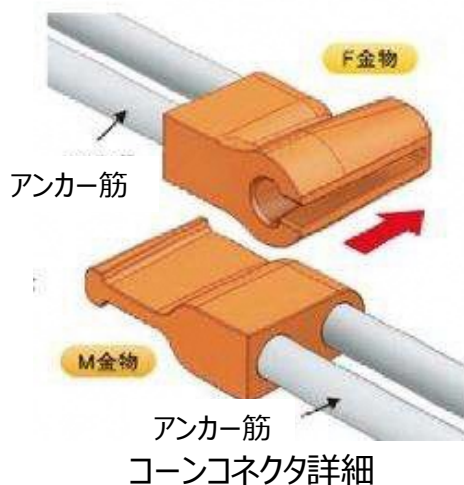
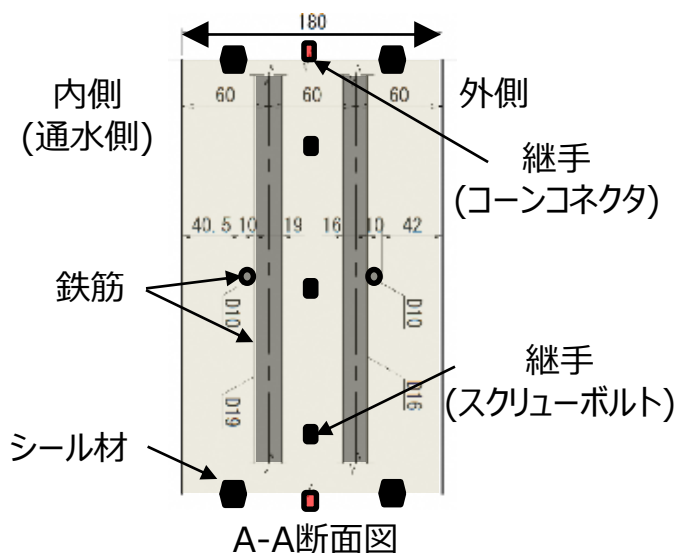
鉄筋コンクリート製セグメント



円周方向の継手(コーンコネクタ)



延長方向の継手(スクリーボルト)



スクリーボルト詳細

継手の構造的特徴

継手の種類	特 徴
<p>コーンコネクタ継手 (くさび継手構造)</p>	<ul style="list-style-type: none"> くさび作用を用いてセグメント同士を引き寄せ、締結する 継手の回転剛性が大きく、セグメントの変形が生じにくい トンネルの軸方向にくさびを打ち込むため、トンネルに継手が露出しない
<p>スクリーボルト継手 (ピン挿入型継手構造)</p>	<ul style="list-style-type: none"> セグメント同士を押し付けることで締結できるため作業効率が良い ピンとピン孔径の余裕を適切に設定することで、引抜力に対し摩擦力で抵抗する

放水口ケーソンの設計

【設計上の留意ポイント】

- 一般土木構造物としての準拠規格及び基準に則り、「安全性：荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であること」、「耐久性：設計供用期間中に、ひび割れや塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食により、構造物の性能が低下しないこと」、「耐震性：耐震Cクラスとし、設計水平震度 $kh=0.2$ を用いて照査を行うこと」の各々評価を実施し、健全性を確認 80~86頁
- 地震以外にも、津波、台風（高潮）の自然現象にも配慮 81頁
- 供用期間中は、鉄筋コンクリート製の躯体に対して、保全を不要とするまでの保守的な設計としている。（定期点検は長期点検計画に基づき実施する。）

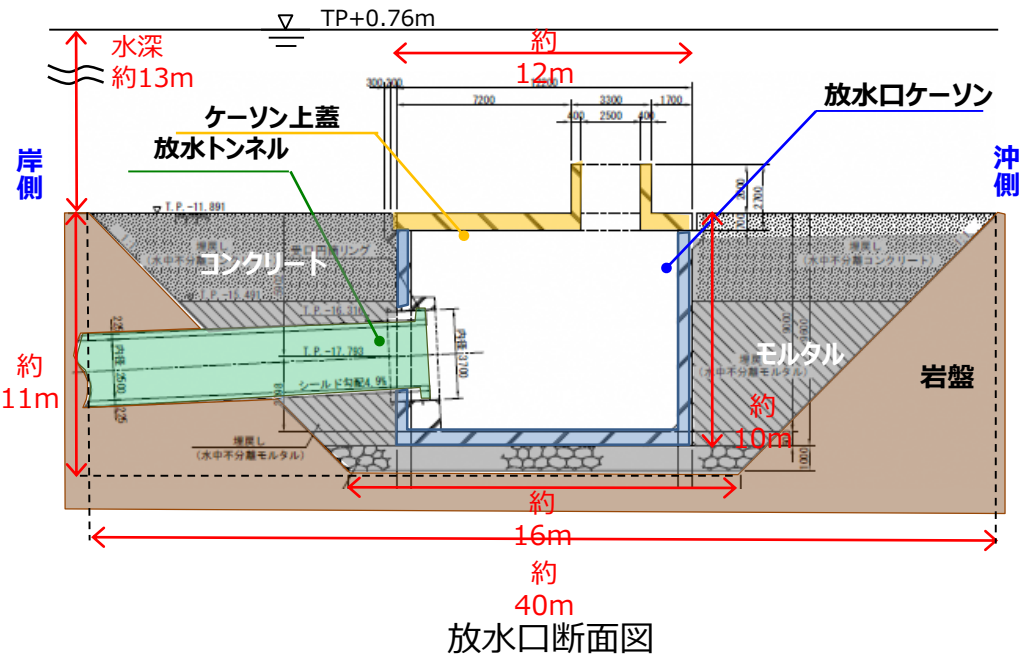
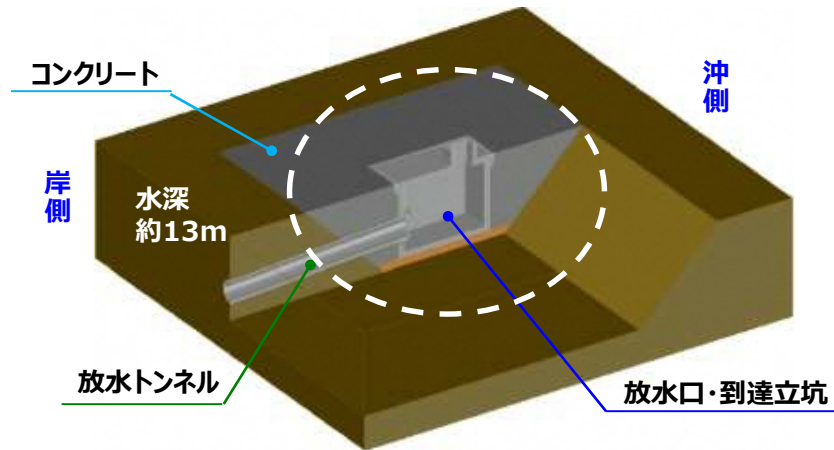
放水口ケーソンの設備概要

放水口ケーソンの諸元

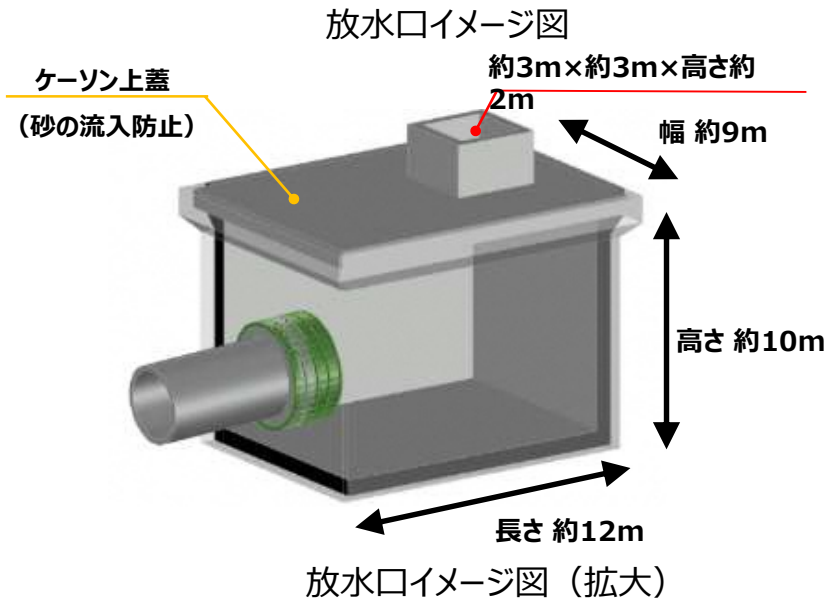
躯体寸法	幅 約9m × 長さ 約12m × 高さ 約10m
------	---------------------------

ケーソン上蓋の諸元

寸法	幅 約9m × 長さ 約12m × 高さ 約1m
----	--------------------------

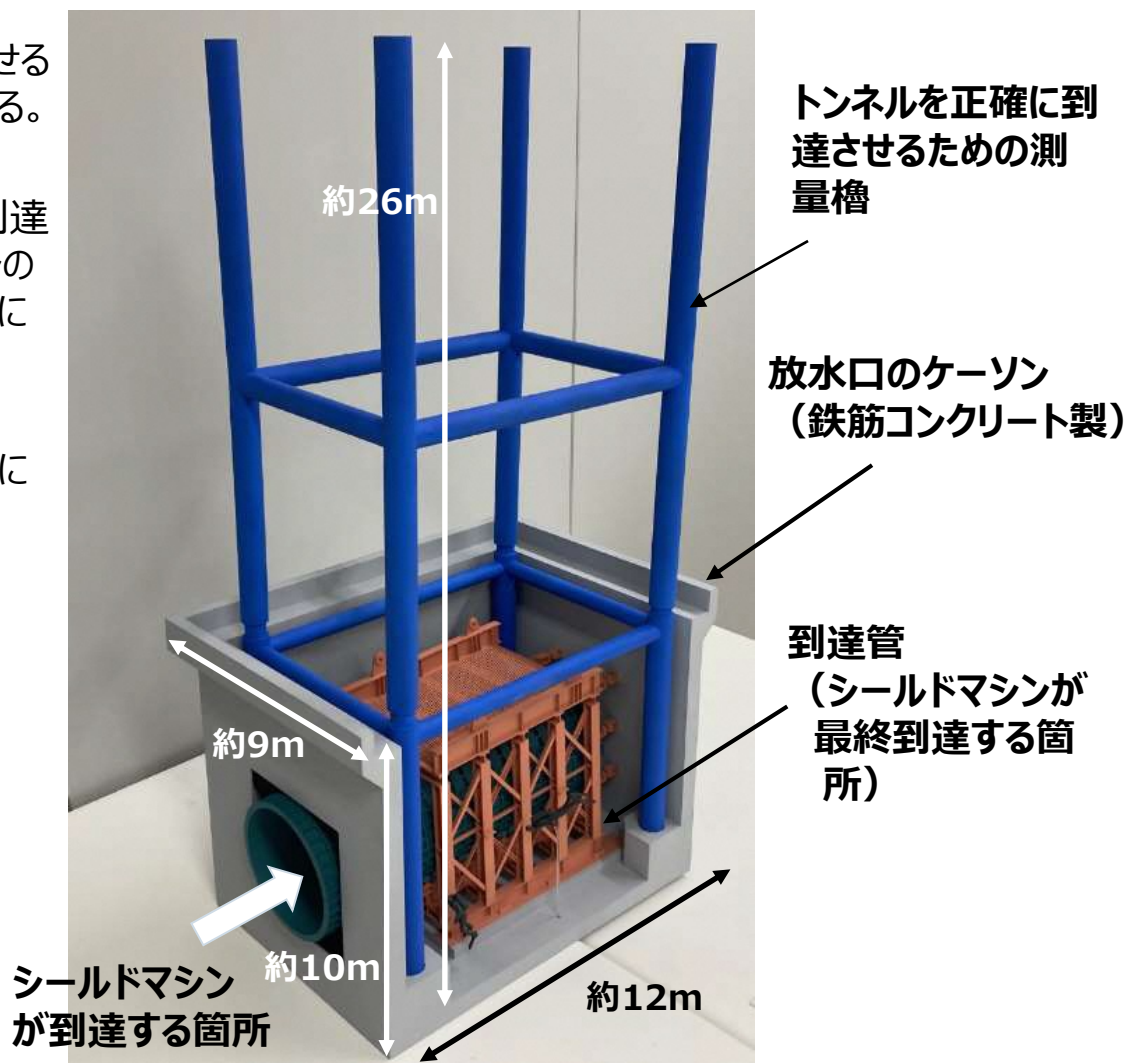


放水口断面図



【参考】放水口ケーソンイメージ図

- 放水ケーソンには、シールドマシンが到達させるための、「到達管」をケーソン内部に設置する。
- シールドマシンが正確に放水口ケーソンに到達させるために、放水ケーソンやシールドマシンの位置情報や管理するための測量櫓も事前に設置する。
- 最終的には、シールドマシンは到達管とともに海中から引き上げる。



放水口ケーソンイメージ図

放水口ケーソンの設計（構造）

- 設計、材料の選定、製作について、下記に準拠して評価を行う。
 - コンクリート標準示方書（設計編；2017年制定）（公社）土木学会
 - コンクリート標準示方書（構造性能照査編；2002年制定）（公社）土木学会
 - トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説/〔シールド工法編〕・同解説（2016年制定）（公社）土木学会
 - トンネル標準示方書開削工法・同解説（2016年制定）

■ 地震

- 耐震Cクラスとし、設計水平震度 $kh=0.2$ を用いて照査を行う。

■ 津波

- 津波に対する浸水は不可避であることから、復旧性に応じて、耐波圧性を有する仕様とする。

■ 台風（高潮）

- 台風（高潮）で海面が上昇することによる影響についても考慮した設計とする。

■ 構造

➤ 放水設備（放水口ケーソン）を岩盤に着底することで、地震の影響を受けにくい構造とする。

■ 健全性に対する考慮

➤ 常時荷重、地震時荷重に対して、許容応力度以内であることを確認し、構造を設定している。また、構造物の浮上がりが生じないことを確認している。さらに、鉄筋コンクリート製の躯体に生じるひび割れ幅および塩害の照査を実施し、適切な鉄筋かぶりを設定し、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。なお、供用期間中は、鉄筋コンクリート製の躯体に対して、保全を不要とするまでの保守的な設計とする。（定期点検は長期点検計画に基づき実施する。）

➤ 放水設備については、下表の照査を行うことで、供用期間中の耐久性が確保されることを確認している。

放水設備の照査項目

照査項目		放水立坑 (下流水槽)	放水 トンネル	放水口	照査内容
常時	構造	○	○	○	許容応力度以内であること※1
	構造 (波浪)			○	許容応力度以内であること※1
	ひび割れ	○	○	○	ひび割れ幅が許容ひび割れ幅以下であること※2
	塩害	○	○	○	鋼材位置の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界に達しないこと※2
	浮き上がり	○		○	浮き上がりが生じないこと
地震時		○	○	○	地震に対して許容応力度以内であること※3

※1 安全性：荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であること

※2 耐久性：設計供用期間中に、ひび割れや塩化物イオンの進入に伴う鋼材腐食により、構造物の性能が低下しないこと

※3 耐震性：耐震Cクラスとし、設計水平震度kh=0.2を用いて照査を行う。

応力度の照査

- 放水設備に用いる材料のうち、コンクリートは普通コンクリート（高炉セメントB種）とし、設計基準強度は30N/mm²とする。鉄筋はSD345とする。
- 荷重の作用によって生じる材料の応力度が許容応力度以内であることを確認する。

コンクリートの許容応力度

コンクリートの設計基準強度	長期		短期		備考
	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	圧縮 (N/mm ²)	せん断 (N/mm ²)	
24N/mm ²	9.0	0.45	13.5	0.675	放水立坑（下流水槽）
30N/mm ²	11.0	0.50	16.5	0.75	放水口
42N/mm ²	16.0	0.73	24.0	1.095	放水トンネル

鉄筋の許容応力度

使用材料	長期	短期
	引張 (N/mm ²)	引張 (N/mm ²)
SD345	200	300

- 応力度照査の結果、耐力が確保されることを確認した。

荷重の組合せ

検討部位	常時	波浪時	地震時
自重	○	○	○
水圧（浮力）	○	○	○
損失水頭による圧力	○	○	○
波力		○	
地震時慣性力			○
動水圧			○

- 作用応力を許容応力と比較し、作用応力/許容応力の比が最大となる部位および荷重ケースの照査結果を下表に示す。
- 常時荷重、波浪荷重および地震時荷重に対して、許容応力度以内であること（作用応力/許容応力<1）を確認した。

応力度照査の照査結果

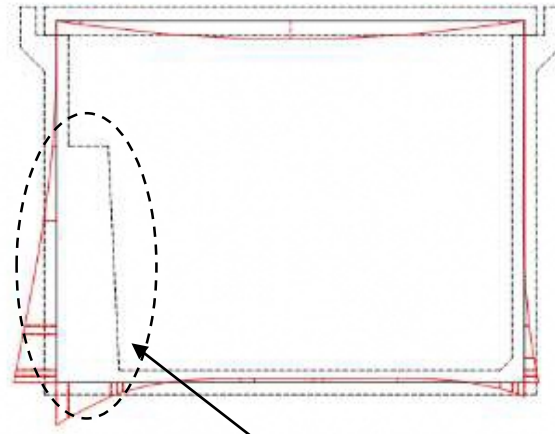
検討部位	荷重ケース	対象材料	応力	作用応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	作用応力/許容応力
底版	常時*	コンクリート	せん断力	0.23	0.50	0.46
側壁	常時*	コンクリート	せん断力	0.24	0.50	0.48

■ 最大応力の発生位置

応力度の照査結果（常時）

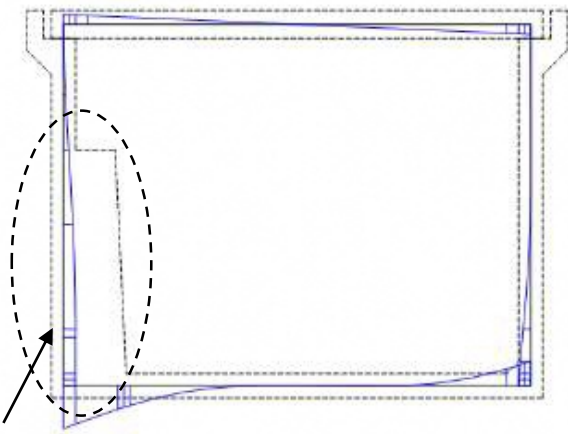
検討部位	応力度照査 (発生/許容)	
	曲げ モーメント	せん断力
底版	0.41	0.46
側壁	0.41	0.48

※赤字：応力度照査の最大値



開口部の補強のため、部材厚を大きくしている

断面力図（曲げモーメント）



断面力図（せん断力）



断面図

×：最大応力発生位置（曲げモーメント）

×：最大応力発生位置（せん断力）

■ ひび割れ幅の照査

- ひび割れ幅の照査は、以下の式にて行い、コンクリート表面のひび割れ幅 w が鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値 w_a 以下であることを確認する。

$$w / w_a \leq 1.0$$

ひび割れ幅 w

$$w = 1.1 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \left\{ 4c + 0.7(c_s - \phi) \right\} \left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right]$$

ここに、

k_1 ：鋼材の表面形状にひび割れ幅の及ぼす影響を表す係数。一般に、異形鉄筋の場合1.0

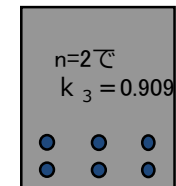
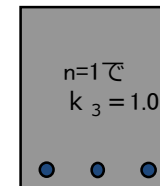
k_2 ：コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす係数で、次式による

$$k_2 = \frac{15}{f'_c + 20} + 0.7$$

f'_c ：コンクリートの圧縮強度（N/mm²）、一般に設計圧縮強度 f'_{cd} を用いる

k_3 ：引張鋼材の段数 n の影響を表す係数で次式による

$$k_3 = \frac{5(n+2)}{7n+8}$$



引張鋼材段数 n と k_3 の関係模式図

c ：かぶり(mm)、 c_s ：鋼材の中心間隔(mm)、 ϕ ：鋼材径 (mm)、

σ_{se} ：鉄筋の応力度の増加量（N/mm²）、

ε'_{csd} ：コンクリートの収縮及びクリープによるひび割れ幅の増加を考慮するためのひずみ

（鋼材の腐食に対する照査を行う場合、 ε'_{csd} の値は 150×10^{-6} 程度）

■ 塩害の照査

- 鋼材位置における塩化物イオン濃度が、設計供用期間中に鋼材腐食発生限界濃度に達しないことを確認する。
- 鋼材の腐食に対するひびわれ幅の限界値は、環境条件、かぶり、鋼材の種類に応じて定める。
- ひび割れ幅の限界値は0.0035c（内面）～0.004c（外面）（mm）*とする。（c：純かぶり）

*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5からの記載の適正化

	照査式
設計拡散係数 算定式	$D_d = \gamma_c \cdot D_k + \lambda \cdot \left(\frac{w}{l}\right) \cdot D_0$
鋼材位置における塩化物イオン濃度設計値の算定式	$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \cdot \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 \cdot C_d}{2 \cdot \sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right\} + C_i$
鋼材位置における塩化物イオン濃度の照査式	鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値が鋼材腐食発生限界濃度以下 $\gamma_i \cdot \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0$

D_d ：設計拡散係数

D_k ：コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数特性値（ $\text{cm}^2/\text{年}$ ）

D_0 ：コンクリート中の塩化物イオンの移動に及ぼすひび割れの影響を表す係数（ $\text{cm}^2/\text{年}$ ）。 $400\text{cm}^2/\text{年}$

w：ひび割れ幅（mm）

w_a ：鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値（mm）

w/l：ひび割れ幅とひび割れ間隔の比

C_d ：鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値

γ_i ：構造物係数。一般的に1.0とする。

- 放水口ケーソンのひび割れ幅および塩害の照査の結果、供用期間中の耐久性が確保されることを確認した。

【ひび割れ幅の照査】

放水口の発生曲げひび割れ幅を許容曲げひび割れ幅と比較し、発生曲げひび割れ幅/許容曲げひび割れ幅の比が最大となる部位の照査結果を下表に示す。

ひび割れ幅の照査結果

検討部位	発生曲げひび割れ幅 (mm)	許容曲げひび割れ幅 (mm)	発生曲げひび割れ幅/許容曲げひび割れ幅
底版	0.262	0.400	0.66
側壁	0.302	0.400	0.76

【塩害の照査】

放水口における塩化物イオン濃度を鉄筋腐食発生限界濃度と比較し、鉄筋位置における塩化物イオン濃度/鉄筋腐食発生限界濃度の比が最大となる部位の照査結果を下表に示す。

塩害に対する照査結果

*港湾の施設の技術上の基準・同解説
2018年日本港湾協会に準拠

検討部位	鉄筋位置における塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	鉄筋腐食発生限界濃度 (kg/m ³) *	鉄筋位置における塩化物イオン濃度/鉄筋腐食発生限界濃度
底版	1.93	2.00	0.97
側壁	1.95	2.00	0.98

■ 浮上がりの照査

浮上がりの照査は、以下の式にて行う。

$$F_s = W / U$$

$$U = V_w \cdot \gamma_w$$

U : 浮力 (kN/m)

W : 鉛直荷重 (kN/m)

V_w : 地下水位以下の容積 (m³/m)

γ_w : 水(海水)の単位体積重量 (kN/m³)

浮上がりに対する安全率

適用条件	常時
浮上がり安全率	1.20

- 放水口ケーソンの浮上がりの照査の結果、供用期間中の耐力が確保されることを確認した。

浮上がりに対する照査結果

	波浪時
計算値	1.99
浮上がり安全率	1.20

<No.11 回答>

水理設計（海水位の変動、トンネル圧力損失、圧力上昇等を考慮して、放水立坑と外洋海面の水頭差により、放出水が定格流量流れること）について
詳細に説明のこと。放水立坑(下流水槽)と海面の水頭差1.64mで立坑～放水口の損失合計を上回り放出水が自然流下可能であることを水理計算結果で示すこと。

<No.11 回答>

次ページ以降に水理設計について回答いたします。

水理設計の考え方

【設計上の留意ポイント】

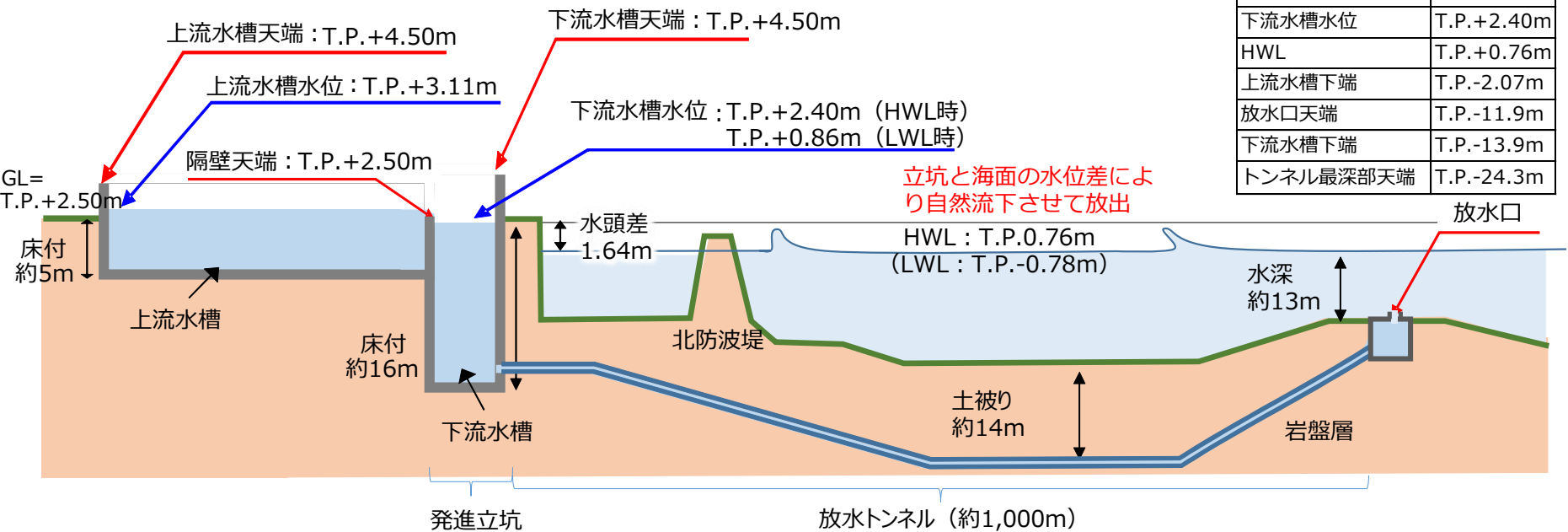
- ポンプ2台（流量：4m³/s）、3台（流量：6m³/s）運転の条件において、変動要素となる潮位および貝付着代を考慮して水理計算を実施 92～93,95頁
- ポンプ2台のケース、ポンプ3台のケースでも、放水立坑（下流水槽）の水位と立坑天端に対して約1.5～2.1m程度余裕があり、溢水するリスクが少ないことを確認 92～93,95頁
- 放水立坑（上流水槽）の水位は、潮位の影響を受けずポンプからの放水流量により変動する。 94頁
- 放水立坑（下流水槽）の水位は、放水トンネルを通して自然流下とするため、潮位により変動する。 94頁
- なお、台風等設計波高相当（7mの高波浪）の条件も計算に反映し、外洋波浪の変動による影響が小さいことも確認している。 94,97頁

■ 水理設計の考え方 (海水移送ポンプ3台運転時)

- 放水立坑 (下流水槽) において大気開放することで、管内圧力を低減させる。
- 放水立坑 (下流水槽) は、放水トンネル、放水口を通して外洋の潮位と連動する構造となるが、海水移送ポンプ3台 (51万 m^3 /日=6 m^3 /s) の条件下においても、放水立坑 (下流水槽) と海面の水頭差 (約1.6m : 放水立坑 (下流水槽) ~ 放水口の損失合計) により、自然流下可能であることを確認した。

水位・標高一覧

上流水槽天端	T.P.+4.50m
下流水槽天端	T.P.+4.50m
上流水槽水位	T.P.+3.11m
GL	T.P.+2.50m
堰天端	T.P.+2.50m
下流水槽水位	T.P.+2.40m
HWL	T.P.+0.76m
上流水槽下端	T.P.-2.07m
放水口天端	T.P.-11.9m
下流水槽下端	T.P.-13.9m
トンネル最深部天端	T.P.-24.3m



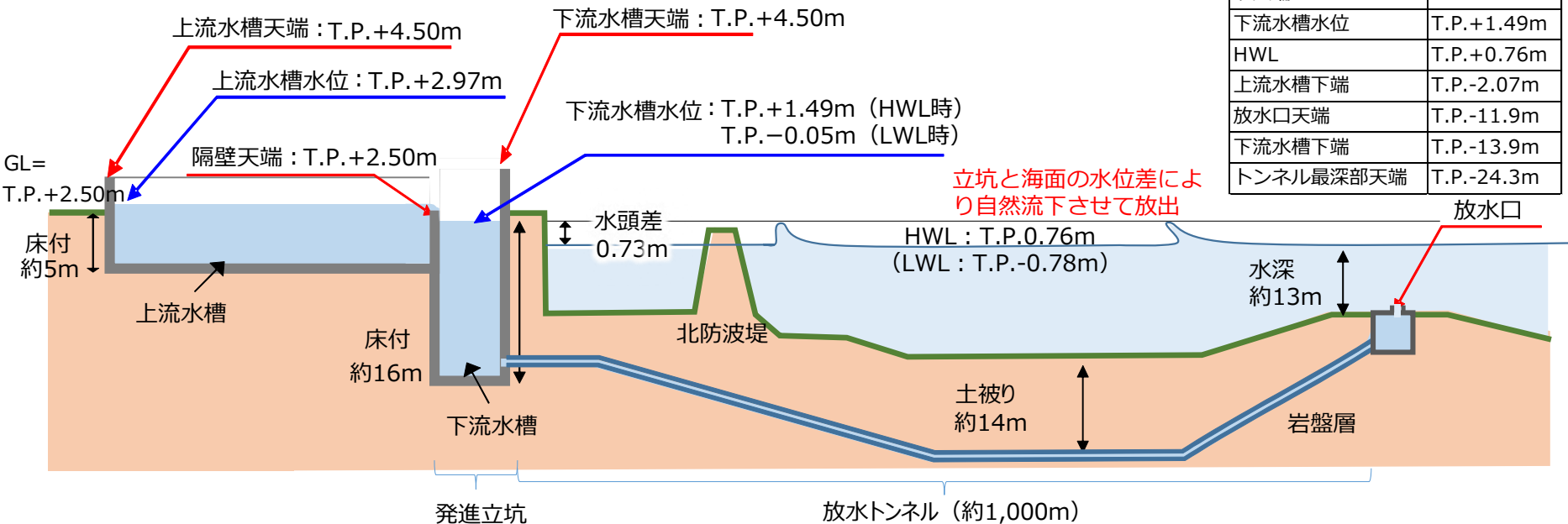
放水設備概念図

■ 水理設計の考え方 (海水移送ポンプ2台運転時)

- 万が一ポンプ1台が停止した際の対応や、点検等の保守面を考慮し、ポンプ3台を用意しているが、通常は2台運転1台待機の運用とする。
- 海水移送ポンプ2台運用 (34万m³/日=4m³/s) の条件においても、放水立坑 (下流水槽) と海面の水頭差 (約0.7m: 放水立坑 (下流水槽) ~放水口の損失合計) により、自然流下可能であることを確認した。

水位・標高一覧

上流水槽天端	T.P.+4.50m
下流水槽天端	T.P.+4.50m
上流水槽水位	T.P.+2.97m
GL	T.P.+2.50m
堰天端	T.P.+2.50m
下流水槽水位	T.P.+1.49m
HWL	T.P.+0.76m
上流水槽下端	T.P.-2.07m
放水口天端	T.P.-11.9m
下流水槽下端	T.P.-13.9m
トンネル最深部天端	T.P.-24.3m



放水設備概念図

- ポンプ2台（流量：4m³/s）又は3台（流量：6m³/s）運転の条件において、変動要素となる潮位および貝付着代を考慮して水理計算を行った。結果を下表に示す。（放水トンネル内部の貝付着10cm考慮）
- ポンプ2台のケースでは、放水立坑（下流水槽）の水位が約1.5mとなり、立坑天端に対して約3.0mの余裕がある。
- ポンプ3台のケースでは、放水立坑（下流水槽）の水位が約2.4mとなり、立坑天端に対して約2.1mの余裕がある。

放水立坑（上流水槽・下流水槽）の水位（水理計算結果）

放水立坑（上流水槽）の天端
：TP+4.50m

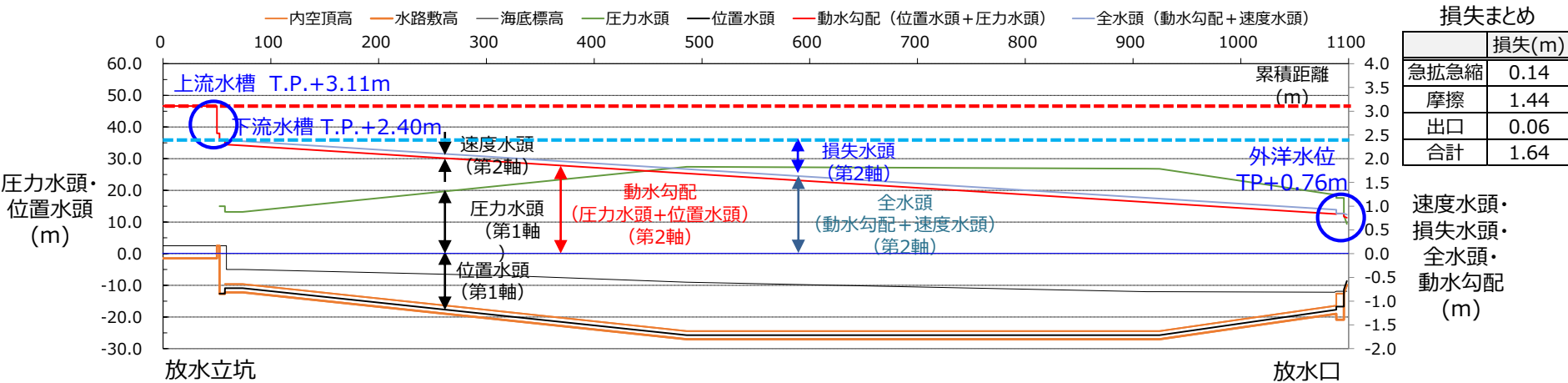
ポンプ運転台数 （放水流量）	放水立坑 （上流水槽）	放水立坑 （下流水槽）		トンネル内流速
		HWL （T.P.+0.76m）	LWL （T.P.-0.78m）	
2台運転(4m ³ /s)	T.P.+2.97m	T.P.+1.49m	T.P.-0.05m	0.89m/s
3台運転 (6m ³ /s)	T.P.+3.11m	T.P.+2.40m	T.P.+0.86m	1.34m/s

※ 放水立坑（上流水槽）の水位は、潮位の影響を受けずポンプからの放水流量により変動する。
 放水立坑（下流水槽）の水位は、放水トンネルを通して自然流下とするため、潮位により変動する。
 台風等設計波高相当（7mの高波浪）の条件も計算に反映し、外洋波浪の変動による影響が小さいことも確認している。

【参考】放水設備の水理計算の概要（水理計算結果詳細）

【計算条件】 潮位 T.P. 0.76 m (HWL)、流量 6.0 m³/s、貝代 0.10 m

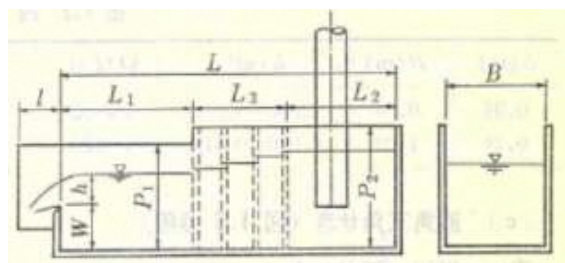
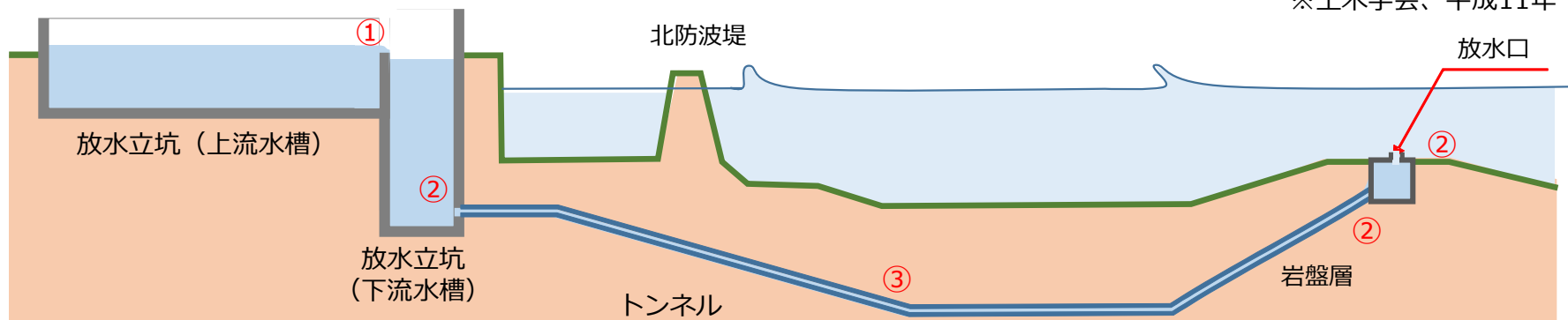
区間	距離 m	累積 距離 m	地上 海底 標高 TP m	内空 敷高 TP m	内空 頂高 TP m	水路 形状	水路 内径 m	立坑 内幅 m	貝代 m	敷高 -貝代 TP m	頂高 -貝代 TP m	水路 内径 -貝代 m	立坑 内幅 -貝代 m	動水 勾配 TP m	流況 圧:1 開:0	面積 m ²	径深 m	流速 m/s	屈折曲り 急拡縮 損失 係数	摩擦 損失 係数	出口 入口 損失 係数	屈折曲り 急拡縮 損失 m	摩擦 損失 m	出口 入口 損失 m	損失 計 m	E _h ルキ- TP m	速度 水頭 m	動水 勾配 TP m	水面 高さ TP m	圧力 水頭 m		
																															水路 形状	水路 内径 m
上流水槽	50.00	0.00	2.50	-1.50	5.00	矩形	-	4.00	0.10	-1.40	5.00	-	3.80	3.11	0	17.13	1.34	0.18		0.01				0.00	3.11	0.00	3.11	3.11	4.51			
		50.00	2.50	-1.50	5.00	"	-	4.00	0.10	-1.40	5.00	-	3.80	3.11	0	17.14	1.34	0.17					0.00	3.11	0.00	3.11	3.11	4.51				
堰部	2.30	50.00	2.50	2.50	5.00	"	-	4.00	0.00	2.50	5.00	-	4.00	-	-	-	-	-					0.00	3.11	0.00	3.11	3.11	-				
		52.30	2.50	2.50	5.00	"	-	4.00	0.00	2.50	5.00	-	4.00	-	-	-	-	-					0.61	3.11	-	-	3.11	-				
下流水槽	5.00	52.30	2.50	-12.70	5.00	"	-	4.60	0.10	-12.60	4.90	-	4.40	2.40	0	65.98	1.92	0.09		0.01			0.00	2.40	0.00	2.40	2.40	15.00				
		57.30	2.50	-12.70	5.00	"	-	4.60	0.10	-12.60	4.90	-	4.40	2.30	0	65.58	1.92	0.09					0.00	2.40	0.00	2.40	2.40	15.00				
水槽壁	1.50	57.30	2.50	-12.21	-9.62	円形	2.59		0.10	-12.11	-9.72	2.39		2.30	1	4.49	0.60	1.34		0.04			0.00			0.00	2.40	0.09	2.30	-9.72	13.22	
		58.80	2.50	-12.21	-9.62	"	2.59		0.10	-12.11	-9.72	2.39		2.30	1	4.49	0.60	1.34					0.00			0.00	2.39	0.09	2.30	-9.72	13.21	
トンネル取付 水平部	15.00	58.80	-5.00	-12.21	-9.62	"	2.59		0.10	-12.11	-9.72	2.39		2.28	1	4.49	0.60	1.34		0.04			0.02			0.02	2.39	0.09	2.30	-9.72	13.21	
		73.80	-5.00	-12.21	-9.62	"	2.59		0.10	-12.11	-9.72	2.39		2.28	1	4.49	0.60	1.34					0.00			0.00	2.37	0.09	2.28	-9.72	13.19	
斜路部1	250.02	73.80	-5.00	-12.21	-9.62	"	2.59		0.10	-12.11	-9.72	2.39		1.93	1	4.49	0.60	1.34	0.00	0.04		0.00	0.36			0.36	2.37	0.09	2.28	-9.72	13.19	
		323.82	-7.00	-21.21	-18.62	"	2.59		0.10	-21.11	-18.72	2.39		1.93	1	4.49	0.60	1.34					0.00			0.00	2.02	0.09	1.93	-18.72	21.84	
斜路部2	162.03	323.82	-7.00	-21.21	-18.62	"	2.59		0.10	-21.11	-18.72	2.39		1.69	1	4.49	0.60	1.34		0.04			0.23			0.23	2.02	0.09	1.93	-18.72	21.84	
		485.85	-9.00	-27.04	-24.45	"	2.59		0.10	-26.94	-24.55	2.39		1.69	1	4.49	0.60	1.34					0.00			0.00	1.79	0.09	1.69	-24.55	27.44	
水平部1	426.80	485.85	-9.00	-27.04	-24.45	"	2.59		0.10	-26.94	-24.55	2.39		1.09	1	4.49	0.60	1.34	0.00	0.04		0.00	0.61			0.61	1.79	0.09	1.69	-24.55	27.44	
		912.65	-12.00	-27.04	-24.45	"	2.59		0.10	-26.94	-24.55	2.39		1.09	1	4.49	0.60	1.34					0.00			0.00	1.18	0.09	1.09	-24.55	26.83	
水平部2	11.99	912.65	-12.00	-27.04	-24.45	"	2.59		0.10	-26.94	-24.55	2.39		1.07	1	4.49	0.60	1.34		0.04			0.02			0.02	1.18	0.09	1.09	-24.55	26.83	
		924.64	-12.00	-27.04	-24.45	"	2.59		0.10	-26.94	-24.55	2.39		1.07	1	4.49	0.60	1.34					0.00			0.00	1.16	0.09	1.07	-24.55	26.82	
斜路部3	162.32	924.64	-12.00	-27.04	-24.45	"	2.59		0.10	-26.94	-24.55	2.39		0.84	1	4.49	0.60	1.34	0.00	0.04		0.00	0.23			0.23	1.16	0.09	1.07	-24.55	26.82	
		1087.0	-12.20	-19.09	-16.50	"	2.59		0.10	-18.99	-16.60	2.39		0.84	1	4.49	0.60	1.34					0.00			0.00	0.93	0.09	0.84	-16.60	18.63	
放水口 取付部	1.72	1087.0	-12.20	-19.09	-16.50	"	2.59		0.10	-18.99	-16.60	2.39		0.84	1	4.49	0.60	1.34		0.04			0.00			0.00	0.93	0.09	0.84	-16.60	18.63	
		1088.7	-11.89	-19.00	-16.41	"	2.59		0.10	-18.90	-16.51	2.39		0.85	1	4.49	0.60	1.34	0.86				0.08			0.08	0.93	0.09	0.84	-16.51	18.54	
放水口 ケーソン	7.03	1088.7	-11.89	-20.89	-12.59	矩形	8.30	8.00	0.10	-20.79	-12.69	8.10	7.80	0.85	1	63.18	1.99	0.09		0.01			0.00	0.00			0.00	0.85	0.00	0.85	-12.69	17.59
		1095.7	-11.89	-20.89	-12.59	"	8.30	8.00	0.10	-20.79	-12.69	8.10	7.80	0.78	1	63.18	1.99	0.09					0.00			0.00	0.85	0.00	0.85	-12.69	17.59	
放水口	2.70	1095.7	-11.89	-12.59	-	"	-	2.50	0.10	-12.49	-	2.30	2.30	0.76	1	5.29	0.58	1.13	0.41	0.01			0.03		0.00		0.03	0.85	0.07	0.78	0.76	12.13
		1098.4	-11.89	-9.89	-	"	-	2.50	0.10	-9.79	-	2.30	2.30	0.76	1	5.29	0.58	1.13				1.00			0.07		0.07	0.82	0.07	0.76	0.76	9.40
出口		1098.4																								0.76	0.00	0.76	0.76			



【参考】放水設備の水理計算の概要（水理計算方法）

➤ 水理計算はベルヌイの式および連続式を用い、損失係数は水理公式集※に基づき設定した。

※土木学会、平成11年



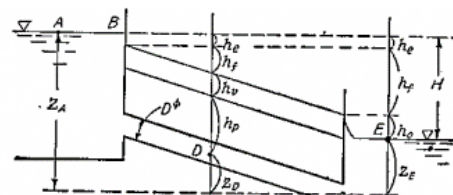
①堰の評価（立坑隔壁部）

石原・石田の式

$$Q = CBh^{3/2}$$

$$C = 1.785 + (0.00295/h + 0.237h/W)(1 + \epsilon)$$

ここに、Q:越流量(m³/s)、B:堰の幅(m)、h:越流水深(m)、C:越流係数(m^{1/2}/s、W:水路底面より堰縁までの高さ(m)、ε:補正項 W ≤ 1m のときε=0、W > 1m のときε=0.55(W-1)



A点: $E = z_A$
 D点: $E = z_D + \frac{p_D}{\rho g} + \frac{v_D^2}{2g} + (A \sim D \text{ 間の損失水頭})$
 $= z_D + \frac{p_D}{\rho g} + (1 + f_s + f \frac{l}{D}) \frac{v^2}{2g}$

ただし

流入損失水頭 $h_e = f_e \frac{v^2}{2g}$ (v: 管内流速)

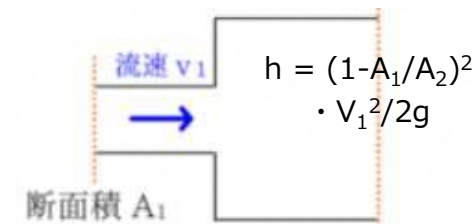
摩擦損失水頭 $h_f = f \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}$ (l: Dまでの管長)

流速水頭 $h_v = \frac{v^2}{2g} = \frac{v^2}{2g}$

圧力水頭 $h_p = \frac{p}{\rho g}$

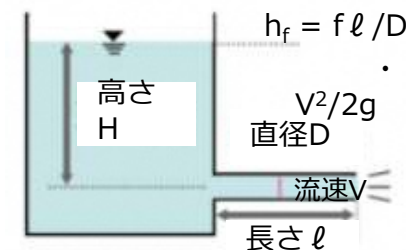
E点: $E = z_E + (A \sim E \text{ 間の損失水頭})$
 $= z_E + h_e + h_f + h_v$

定断面管路の水理計算式（水理公式集） ③円管での摩擦損失水頭（トンネル部）



$$h = (1 - A_1/A_2)^2 \cdot V_1^2/2g$$

②形状変化（急拡・急縮）による損失水頭（トンネル、放水口部）



$$h_f = f l / D$$

$$V^2/2g$$

$$\text{直径 } D$$

$$\text{流速 } V$$

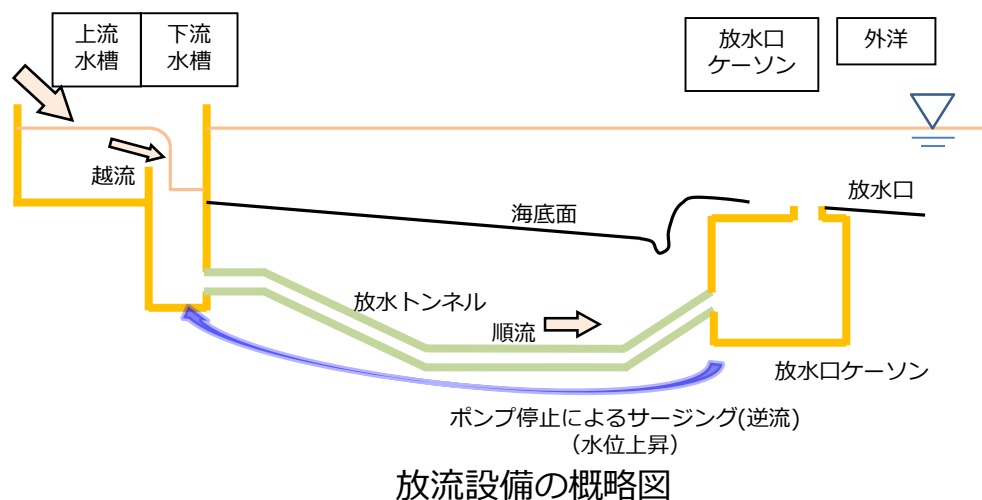
$$\text{長さ } l$$

【参考】放水設備の水理計算の概要（サージング解析）

- ポンプの異常停止（地震・津波時等）に伴い、水槽およびトンネル内においてサージング(逆流)の発生が懸念されるため、異常時の水位変動を計算した。
- サージング解析では、非定常一次元管路流れモデルにより水位および流速の変動を算出している。
また、エネルギー損失が小さくなる（下流水槽水位が上昇する）条件として、貝代は考慮していない。
- 設計波高相当（50年確率有義波高：7.0m）の波浪および高潮(HHWL(既往最高潮位)：T.P.+1.15m)の条件を解析に反映し計算した結果、上流水槽の最大水位はT.P.+2.50m、下流水槽の最大水位はT.P.+2.40mとなった。
- 上流水槽および下流水槽の天端はT.P.+4.50mであることから、溢水しないことを確認した。

解析条件・結果

項目	数値
潮位	T.P.+0.76m (HWL)
流量	6m ³ /s (ポンプ3台運転)
ポンプ停止時間	30秒



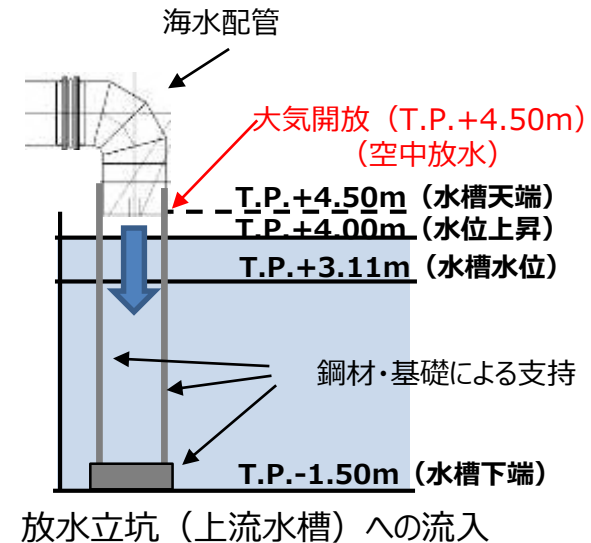
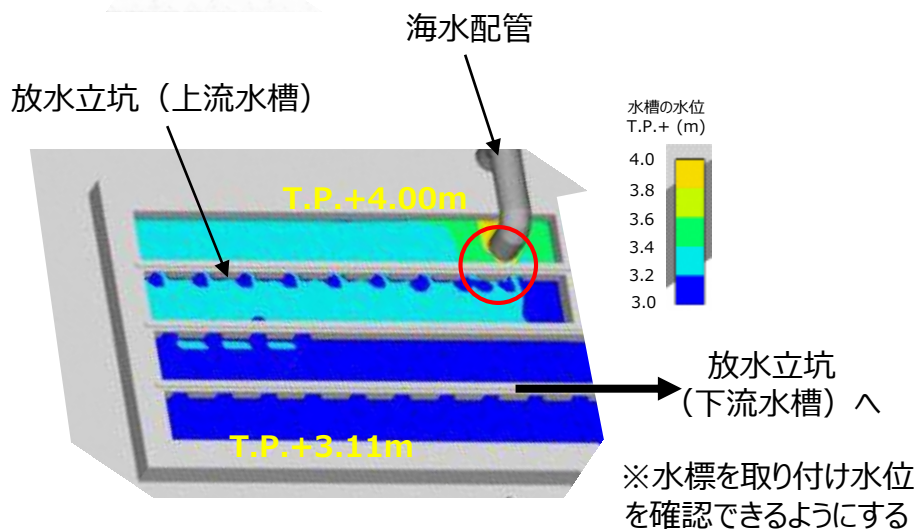
【参考】放水立坑（上流水槽）の水位変動に伴う影響

■ 水理計算・流況解析

- 放水立坑（上流水槽）の水位はT.P.+3.11m（ポンプ運転台数3台=6m³/s）となる。
- 海水配管の流入位置において、局所的に水位がT.P.+4.00mに上昇する。
- 海水配管の放水端は大気開放としており、放水立坑（上流水槽）に水没しない。そのため、ポンプトリップ時の逆流は生じない。

■ 構造検討

- 水位変動により内水圧が上昇するが、放水立坑（上流水槽）は水槽内部が空水の方が厳しい条件（水槽外側は地下水を考慮）であり、照査結果は審査会合第8回にて説明済み。
- 台風時等の水槽内の水位変動や地震時のスロッシングの影響を回避するため、蓋（頂版）を設けている。なお、頂版は側壁および隔壁と結合し、構造上有利となる。
- 海水配管は鋼材および基礎により支持する。



放水立坑（上流水槽）の水位

<No.13、15 回答>

<No.13>

- ・ トンネルに海底土が流入することはないのか。海底土の流入対策はどのようになっているのか。

<No.13>

- ・ 放出口の形状、大きさはどのようになっているのか。

<No.15>

- ・ 処理水の放出により海底土を巻き上げ、放射性物質が拡散することはないのか。現在行っているモニタリング値に変化を与えることはないのか。

<No.12回答>

設置場所が岩礁帯であり、放水口のまわりはコンクリートで周辺を埋め戻しております。また放水口の形状から海底土が入流するリスクは少ないと考えております。

<No.13回答>

N0.11で回答しておりますので、ご確認ください。

<No.15回答>

放水口のまわりはコンクリートで周辺を埋め戻しており、海底土を巻き上げる可能性は低いと考えております。また、モニタリング値に変化を与えることはないと考えておりますが、引き続き海域モニタリングは継続的に実施していきます。

<No.19 回答>

<No.19>

- 放水立坑、海水トンネル及び放水口の構造強度、耐震性（安定した地盤・岩盤に設置され耐震性に優れた構造であること、また、構造欠陥や割れ発生が無く、漏えいのリスクが少ないこと）及び水理設計（海水位の変動、トンネル圧力損失、圧力上昇等を考慮して、放水立坑と外洋海水面の水頭差により、放出水が定格流量で流れること）について、定量的に説明のこと。

<No.19 回答>

NO.11 で回答しておりますので、ご確認ください。

<No.21 回答>

<No.21>

- 海域での地質調査等の結果を速やかに示してほしい。とくに、ボーリング調査の柱状図やコア写真、各種試験結果と、陸側から海底放出口までの海底トンネル沿いの詳細な地質断面図および説明を提示してほしい。設計に利用した地質データ（過去に行った調査結果、文献）もあわせて説明すること。
- 3箇所ボーリング調査結果だけでなく海底トンネルに沿って厚くかたい岩盤が連続して存在することを陸側から放水口迄の海底トンネル沿いの地質断面図を作成して説明のこと。また、地質断面図に3カ所のボーリング調査箇所、調査結果との位置関係を関連付けて示すこと。

<No.21 回答>

詳細については、次頁以降に回答いたします。

別途ご要望のコア写真の件でございますが、当社でコアを公開することで計画しており（時期は未定）、その際に直接ご確認いただければと思います。またコアの欠損部に関しては、陸上でのボーリングとちがい、海上ボーリングの場合は、波浪による振動があるため、ボーリングコアを採集する際にコアチューブにスムーズにコア入らない場足もあり（通称；コア詰まり）、上手く採集できない場合があります。陸上でのボーリングではあまりない事象であることは当社も理解しており、今回は想定の範囲内です。

また、別途ご要望の掘削時の孔内水位ですが、ほぼ海水面（T.P.0m前後）であるため、柱状図はT.P.-10m以下で記載しているため、孔内水位は記載することができません。

■ ボーリング調査の目的

- 放水トンネル工事を安全に施工する目的で調査を実施するもの。
- 国土交通省シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン（案）等^(※)に則り、下記の調査を行った。

調査地点：トンネル標準示方書〔共通編〕・同解説/〔シールド工法編〕・同解説に則り、3地点を設定

調査深度：設計のトンネル下端レベルから1Dを目安に設定（設計上は一定以上の土被りを確保できればよい）

主な調査項目と結果

主な調査項目	調査結果
地質	富岡層T ₃ 部層
標準貫入試験（N値） [※]	トンネル構築箇所はN値50以上
可燃性ガスの状況	ガス検知無し
地盤の強度 （一軸圧縮強度）	3,000kN/m ² 以上（原子炉設置許可申請書の解析用物性値以上）
粒度試験	主に砂質細粒土（排泥時の作泥の設計に反映）

※ 標準貫入試験
均質な岩盤であることを確認することが目的であり、N値50以上であることを確認できた後は、調査地点の下端のN値を計測した。

（※）（参考）シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン（案）の地質調査に関する記載

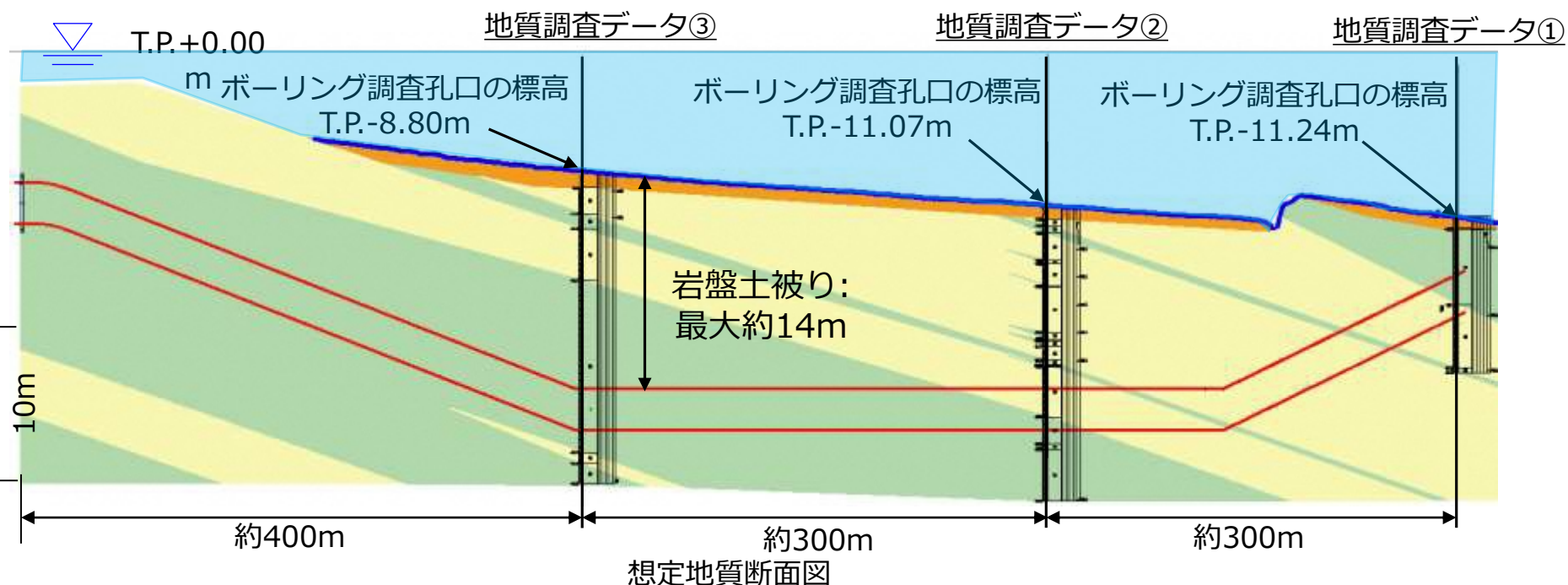
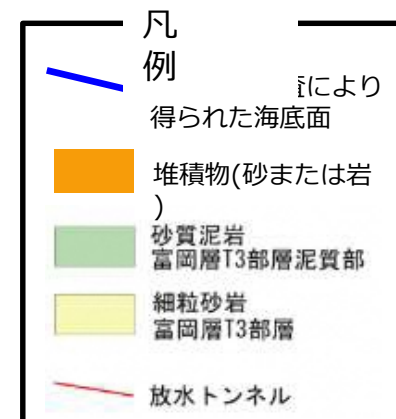
シールドトンネル工事の地質調査は、掘進対象地盤の地質状況及びその変化を把握するため、地形・地歴等を考慮した上で適切な計画のもとにボーリング調査等を実施すること。また、地下水の状況及びその変化、可燃性ガスの状況等の必要な調査を実施すること。注意すべき地質の分布範囲・性状等が不確実なことによる地質リスクに関する情報は、設計及び施工に確実に引き継ぐこと。

（※）（参考）シールドトンネルの施工に係る安全対策検討会報告書・平成28年6月厚生労働省労働基準局）の地質調査に関する記載

海底シールドトンネル水没災害（水島事故）をうけ、掘進する地山の地形、地層及び地質の状況が充分明らかでない場合には、ボーリング調査等の実施を検討し、災害につながる要因の把握に努めること。

■ 想定地質断面図

- 海域で実施した地質調査データ①～③および既往地質データ等を活用し、岩盤内に放水トンネルを設置することを前提に縦断線形を検討した。
- 放水トンネルの縦断線形を、地質調査データから想定した地質断面図に重ね合わせた結果、放水トンネルはすべての区間において岩盤内を通ると判断した。



【参考】地質調査データ①

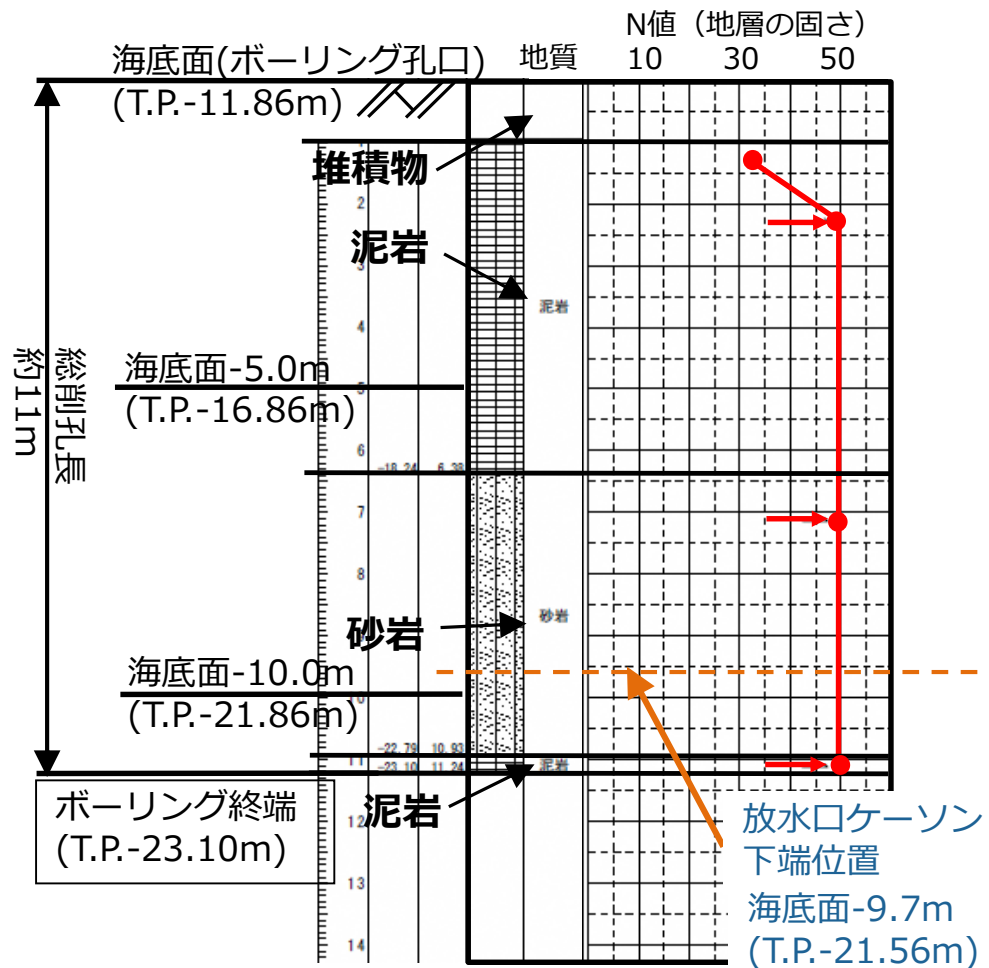
■ 地質調査データ①は右図の通り。

- ボーリング孔口(T.P.-11.86m)からボーリング終端(T.P.-23.10m)までの総削孔長約11mを調査した。
- この地質調査データ①の地点は、放水口設置位置および放水トンネル到達地点であり、岩盤内(富岡の砂岩、泥岩)に設置できることを確認した。

[放水口の下端位置:海底面 約-10m]

※N値について

- 標準貫入試験 (JIS A 1219) によって求められるもので、地層の硬軟を示す値。
- この値が大きくなるほど地層は硬い。関東ローム層のN値は3~5程度、軟弱な沖積粘性土は0~2程度である。中高層建築物の基礎は、一般にN値30~50以上を支持層としている。

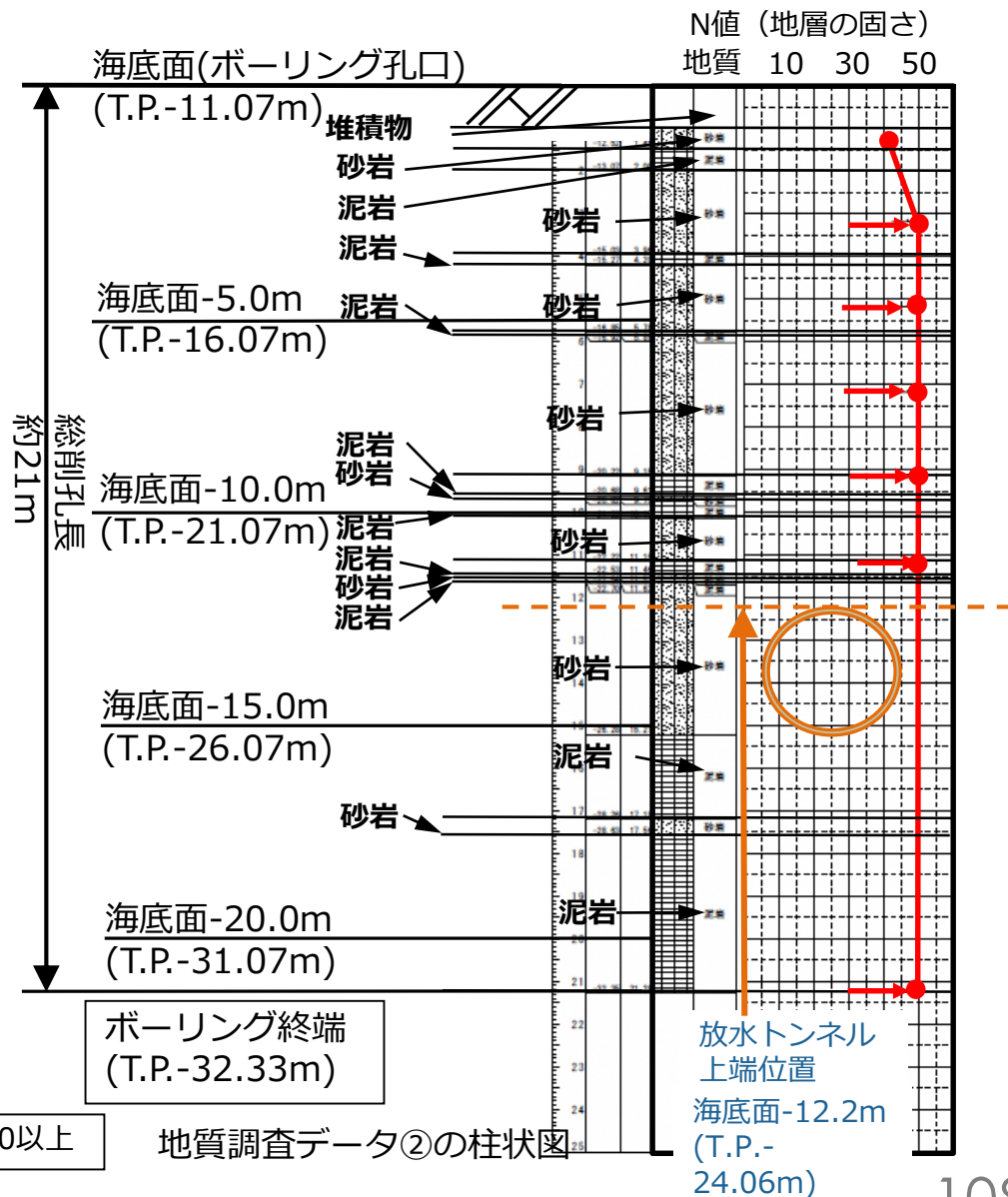


地質調査データ①の柱状図

【参考】地質調査データ②

- 地質調査データ②は右図の通り。また、放水トンネルの設置位置も右図に記載した。
- ボーリング孔口(T.P.-11.07m)からボーリング終端(T.P.-32.35m)までの総削孔長約21mを調査した。
- この地質調査データ②の地点において、放水トンネルが岩盤内(富岡層の砂岩、泥岩)に設置できることを確認した。

[放水トンネルの上端位置:海底面約-12m]



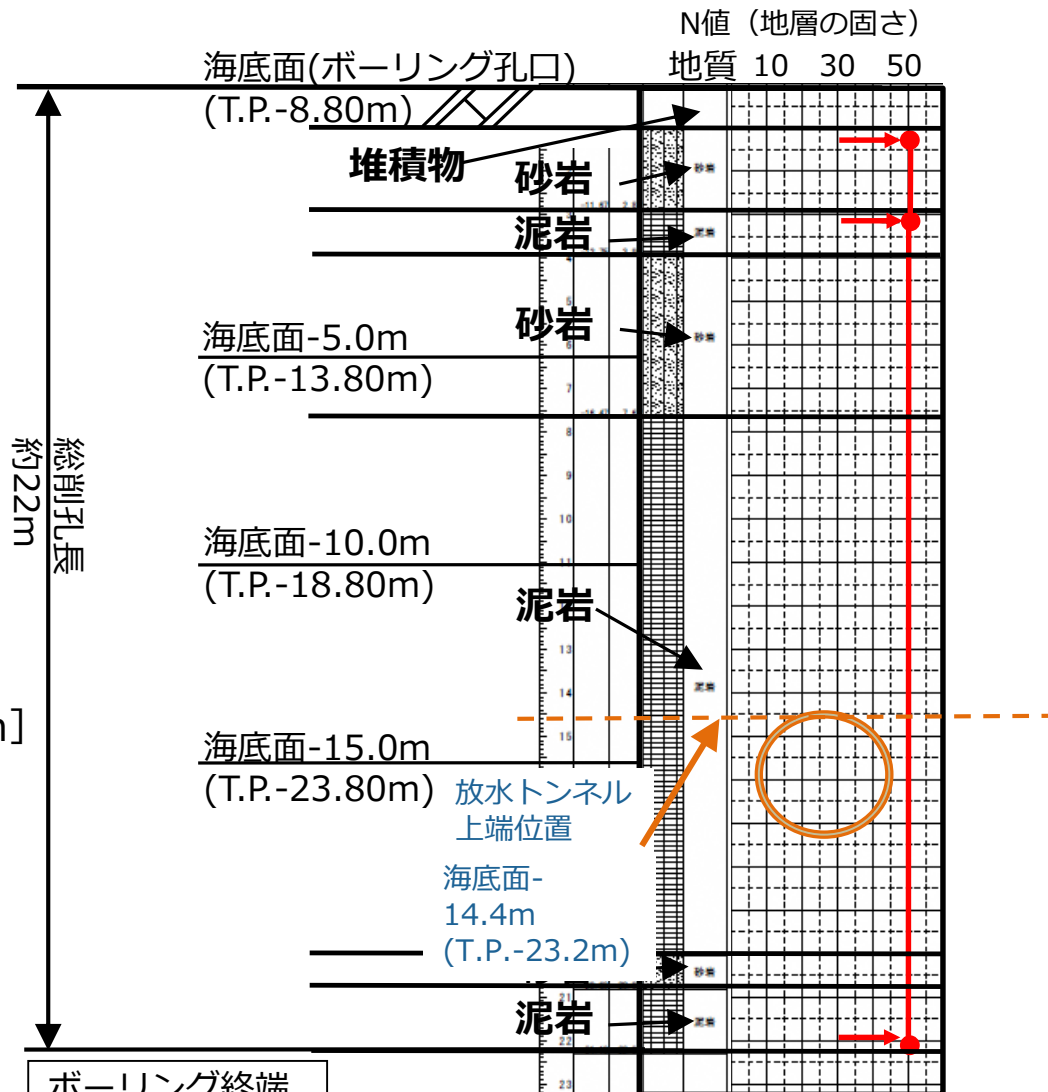
【参考】地質調査データ③

■ 地質調査データ③は右図の通り。また、放水トンネルの設置位置も右図に記載した。

➤ ボーリング孔口(T.P.-8.80m)からボーリング終端(T.P.-31.10m)までの総削孔長約22mを調査した。

➤ この地質調査データ③の地点において、放水トンネルを岩盤内(富岡層の泥岩)に設置できることを確認した。

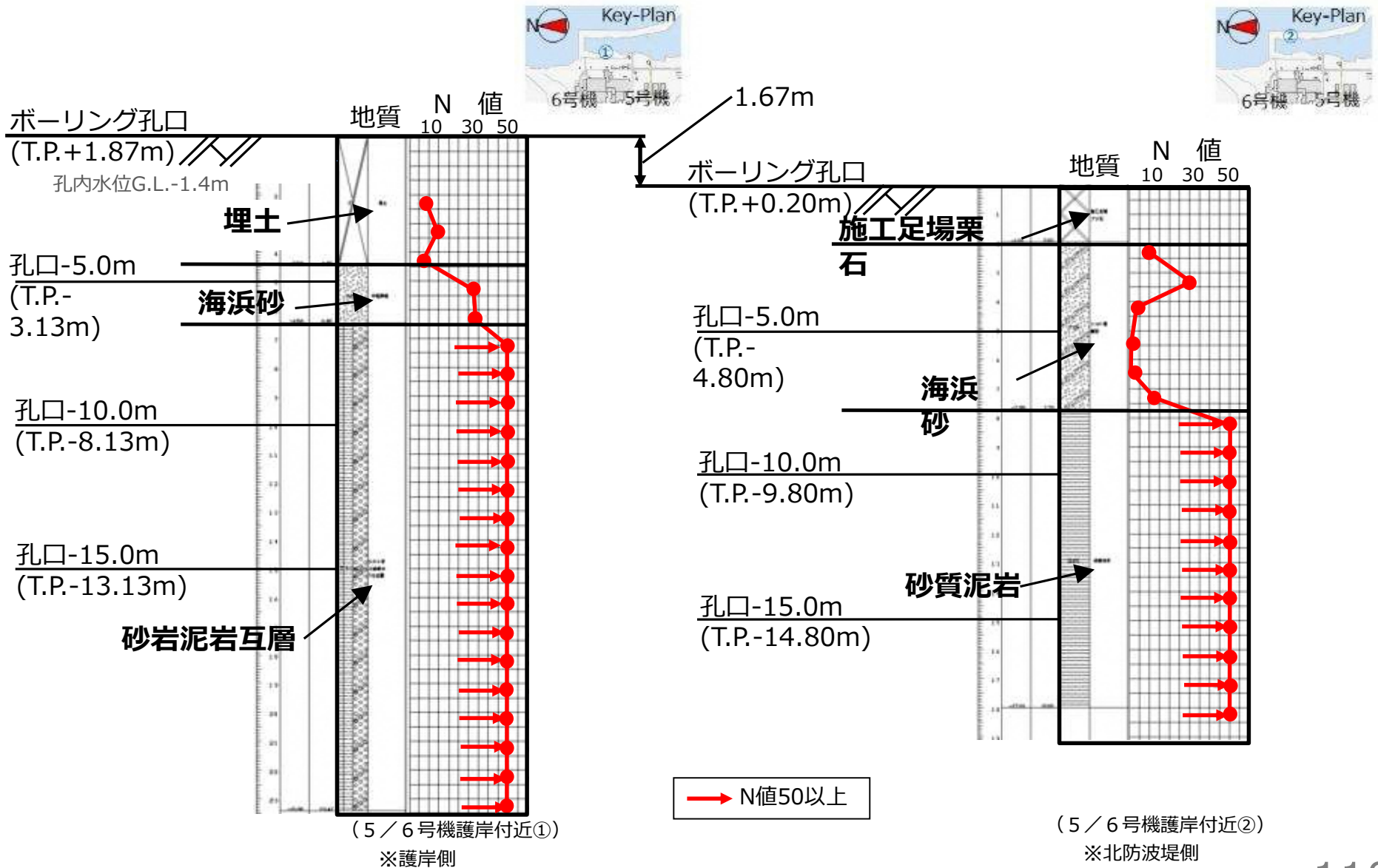
[放水トンネルの上端位置:海底面約-14m]



→ N値50以上

地質調査データ③の柱状図

【参考】 既往5 / 6号機護岸付近の地質調査データ



【参考】 既往地質調査データと今回地質調査データの整合確認

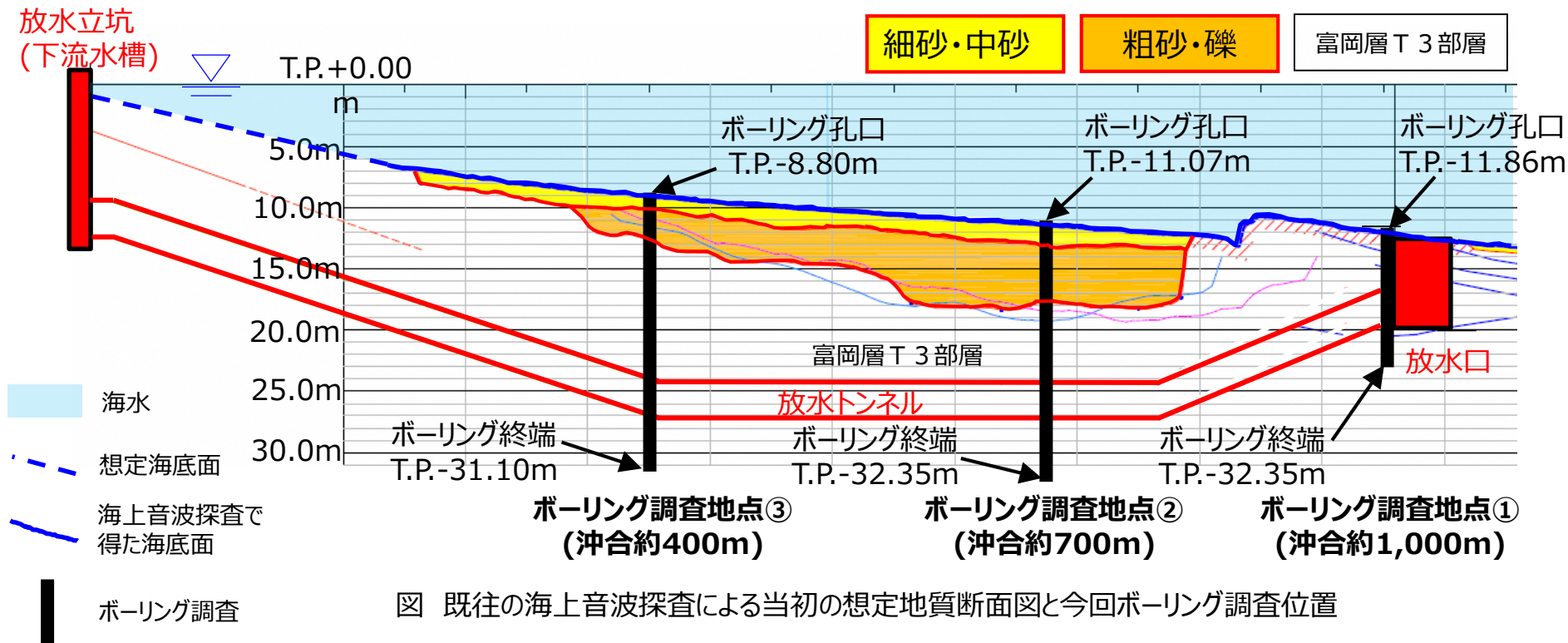


図 既往の海上音波探査による当初の想定地質断面図と今回ボーリング調査位置

【既往実施の海上音波探査による当初の想定地質断面図と今回の海上ボーリングによる地質調査結果】

- ✓ 既往の海上音波探査による地層構成では、上図のように表層に細砂・中砂、粗砂・礫が堆積し、その下に富岡層T3部層がある地層構成であると想定した。
- ✓ 今回、①(沖合1,000m)地点、②(沖合700m)地点および③(沖合400m)地点におけるボーリング調査を行った結果、②および③の地点において表層の砂を中心とする堆積層は、音波探査の結果に基づいた想定よりも薄いことが確認された。また、すべての地点において、砂岩と泥岩の互層から成る地層(富岡層T₃部層)構成であることが確認され、既往の海上音波探査と整合し、放水トンネルを構築する際には安全に施工できると判断した。

当社公表資料

福島第一原子力発電所福島第二原子力発電所敷地内の地質・地質構造について 5頁（平成24年8月10日）

<https://www.tepco.co.jp/cc/direct/images/120810d.pdf>

敷地内の地質層序

- 福島第一原子力発電所敷地内の地質は、新第三系鮮新統の富岡層、第四系更新統の段丘堆積物及び第四系完新統の沖積層で構成されており、富岡層の下位には古第三系～新第三系中新統の堆積岩が分布している。
- 富岡層と下位の地層とは不整合関係にある。

地質時代	地層名	主な岩相・層相	
第四紀	沖積層	暗緑灰色～褐色の粘土及び砂，未固結	
	段丘堆積物	黄褐色の砂礫及び砂，半固結	
新第三紀	仙石層群 富岡層	T ₃ 部層	砂質泥岩～泥岩 軽石粒，凝灰岩を狭在上部に砂岩を挟在
		T ₂ 部層	泥質砂岩 軽石粒，凝灰岩を挟在
		T ₁ 部層	泥質砂岩 軽石粒，凝灰岩を多く挟在
	中新世	多賀層群	上部 泥質砂岩
			下部 泥質砂岩
	湯長谷層群	泥岩，砂岩泥岩互層	
古第三紀	白木層群	硬質な泥質砂岩～泥岩	

〰〰〰 不整合

<No.22、23、24 回答>

<No.22>

- 放水路への海生生物付量の増加は、放水路の狭矮化を招くので、最悪を想定すると、放水立坑水槽からの溢水の可能性もある。生物付着の兆候について、どのように監視をするのか説明のこと。また、放水トンネルの摩擦損出を考慮する場合、生物付着を考慮に入れるか、または十分な貝代（例えば20cm）を設けるのか。

<No.23>

- トンネルに貝殻等が大量に付着して放水に影響することはないのか。どのような対応おこなうのか。

<No.24>

- 海底トンネル及び放水口の維持管理方法（点検方法、堆砂・付着生物対策等）を具体的に説明願いたい。

<No.22、23回答>

貝代は10cmでの水理計算を実施した結果は、No.11の回答をご確認ください。また貝代は20cmでも検討していますが、立坑水槽からの溢水リスクは限りなく低いと判断しています。なお、上流水槽に水標をつけて水位の異常は検知いたします。放水トンネル内も水中ROVで点検する計画です。

<No.24回答>

放水立坑（上流水槽/下流水槽）、放水トンネル、放水口に関しては、水中ROV等を活用して、点検していく計画ですが、具体的な保守・管理の計画に関しては、今後検討していくこととなります。また堆砂関係についても数値シミュレーションや水理模型実験等で検討しておりますが、引き続き検討を進めていくところです。

<No.37 回答>

<No.37>

- 受入、測定・確認、放出の工程でタンク群はタンク間連絡弁を開けて運用されることから、R3.2.13福島沖地震において確認された地震時滑動変位に対する対策（連絡弁は閉止して運用する等）が採れないので、耐震性を検討し必要な対策をすること。
- 地震によるタンク損傷した場合の放射線影響評価結果が載っているが、地震時滑動対策については検討中とのことであり、地震時滑動対策については別途説明のこと。

<No.37 回答>

- 測定・確認用タンク（現在のK4エリアタンクを流用）は、原子力規制委員会の「耐震設計の考え方」（2021年7月7日）に基づき、耐震クラス分類は『Cクラス』が適切と考えている。
 - 「設備等の機能喪失による公衆への放射線影響の程度」に基づき耐震分類を設定
 - K4タンクが全数破損したとしても公衆に与える影響は50 μ Sv未満であり、その影響は非常に小さい。
- 2021年2月13日に発生した福島県沖地震では、耐震クラス分類『Bクラス』に適用する地震加速度以上の地震加速度が作用した可能性があり、滑動が生じたタンクエリアも存在（Dエリア他）が、K4エリアはタンクの滑動が確認されておらず、タンク設置エリア直下の地盤の影響も考えられる。
- そのため、K4エリアの地震対応としては、以下の機動的対応を基本とする。
 - 震度5弱以上の地震発生時、連結弁が開状態となっているタンクについて、優先的に現場確認を行い、漏えいが確認された場合は速やかに連結弁を閉とする。
 - 地震により耐震Cクラスのタンク等が損傷し、貯留水が敷地外へ著しく漏えいすることを防止するために基礎外周堰を設置する。当該堰については耐震Bクラスとし、Bクラスの構築物に要求される水平方向設計震度に対して、必要な強度を確保する。
 - 貯留水が漏えいし、基礎外周堰内に溜った場合には、仮設ポンプ・高圧吸引車等にて漏えい水の回収を行う。回収した漏えい水は、健全なタンク・建屋に排水を行う。

<No.50、51、52 回答>

<No.50>

- ・ 取水ポンプの稼働により港湾内の海底土を巻き上げ、外海に流出させることはないのか。

<No.51>

- ・ 既設5・6号機の取水槽開渠を使用した、貯水池および取水槽の造成・整備工事の仕方、設計の考え方等について説明のこと。

<No.52>

- ・ 海水移送ポンプの取水に港湾内から海水中の放射性物質が流入しないこと、既設5・6号機の取水槽開渠を使用するが事故時及び事故後に汚染水等の流入により取水池や貯水槽に残存している汚染物質が浮遊し流入しないこと。これらの対策について説明のこと。

<No.50回答>

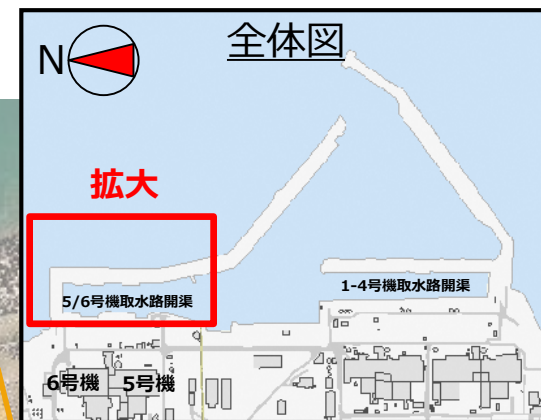
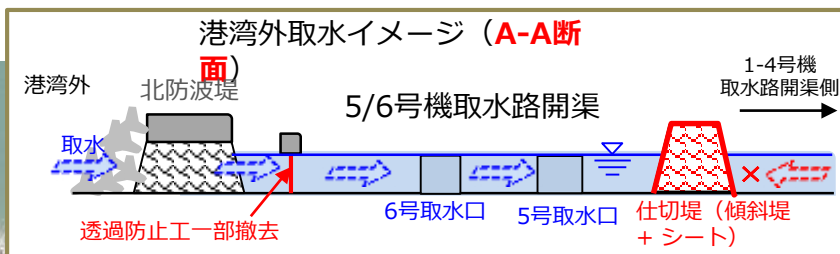
5 / 6号取水路開渠に堆積しているものは細砂が主体でございますが、移動限界シールズ数（それ以下では砂は移動しない）は0.11と一般的に定められております。今回の取水量からは、シールズ数0.01であり、移動限界シールズ数よりも十分小さいため、港湾内の海底土（細砂）の移動するリスクは低いと考えております。

<No.51回答> < No.52回答>

基本的な考え方としては、5/6号機取水路開渠を仕切堤（捨石傾斜堤+シート）にて、1-4号機側の港湾から締め切り、北防波堤透過防止工の一部を改造し、港湾外から希釈用の海水を取水する。その結果、1-4号機側の港湾から締め切り、港湾外から海水を取水することで、港湾内の比較的放射性物質濃度の高い海水の引き込みを抑制できる。と考えております。次ページ以降に詳細に回答させていただきます。

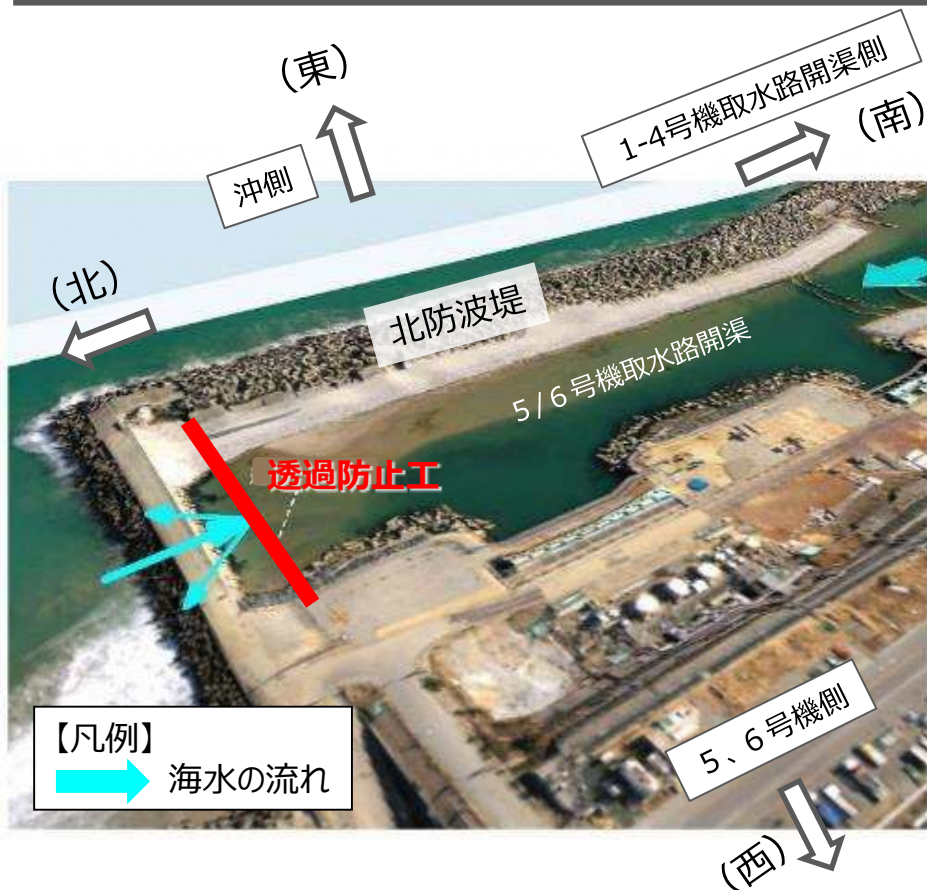
取水方法 全体概要図

- 5/6号機取水路開渠を仕切堤（捨石傾斜堤+シート）にて、1-4号機側の港湾から締め切り、北防波堤透過防止工の一部を改造し、港湾外から希釈用の海水を取水する。
- 1-4号機側の港湾から締め切り、港湾外から海水を取水することで、港湾内の比較的放射性物質濃度の高い海水の引き込みを抑制できる。



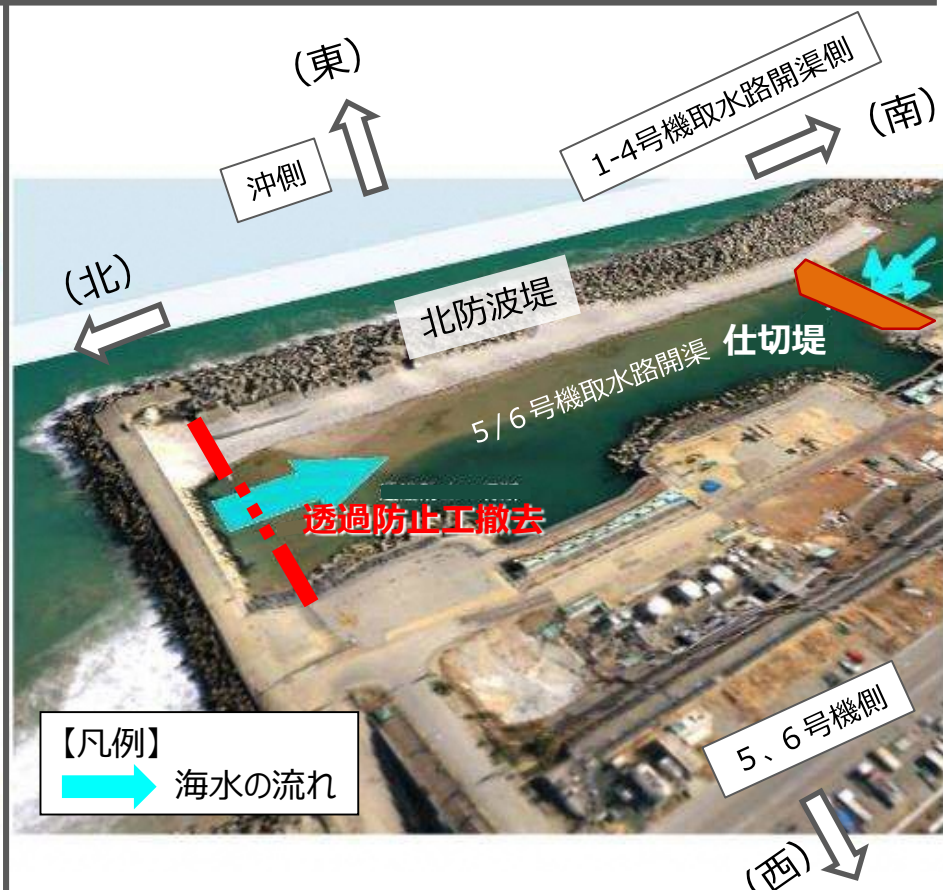
取水方法 全体概要図

現況



- 北防波堤の透過防止工により、港湾外北側からの海水流入がない。

工事完了後



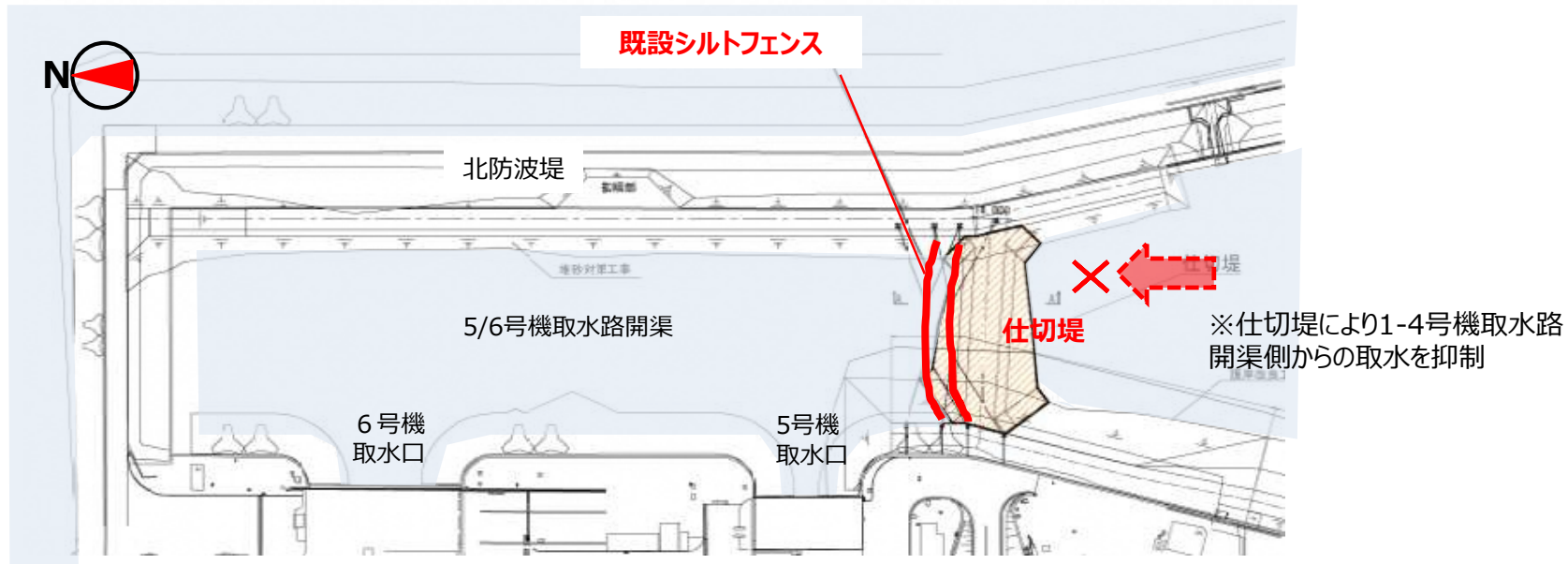
- 北防波堤の透過防止工を一部撤去することにより、港湾外からの海水を取水する。
- 仕切堤を構築することで、1 - 4号機取水路開渠側の港湾内海水の流入を抑制する。

■ 現状

- 港湾内の海水の放射性物質濃度は、1-4号機取水路開渠内の濃度が比較的高い。
- 港湾内の海底土の放射性物質濃度は、5/6号機側が港湾外と同等である一方、1-4号機側の濃度が比較的高い。

■ 位置付け

- 今後、希釈用の海水を5号機取水口から継続的に取水することで、放射性物質濃度が比較的高い1-4号機側の海水および海底土の影響が想定されるため、希釈用の海水放射性物質濃度が上昇するリスクがある。
- そのため、仕切堤の構築により1-4号機取水路開渠側からの取水を抑制する。



※仕切堤により1-4号機取水路開渠側からの取水を抑制

仕切堤位置図

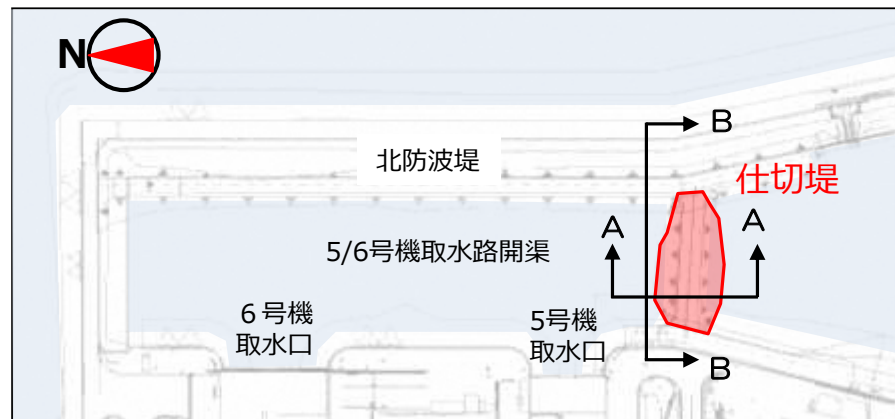
■ 仕切堤構築前

- シルトフェンス（二箇所）により、5/6号機取水路開渠と1-4号機取水路開渠を仕切っている。
- 潮位による干満や波浪による影響から、シルトフェンスやロープが損傷（摩耗）するため、定期的なメンテナンスと共に、2～3年おきに取り替を実施（至近実績2016.2、2018.2、2021.3）している。
- シルトフェンスは、潮位による干満や波浪による影響から、完全に放射性物質濃度の高い海水の引き込みを抑制できていない。

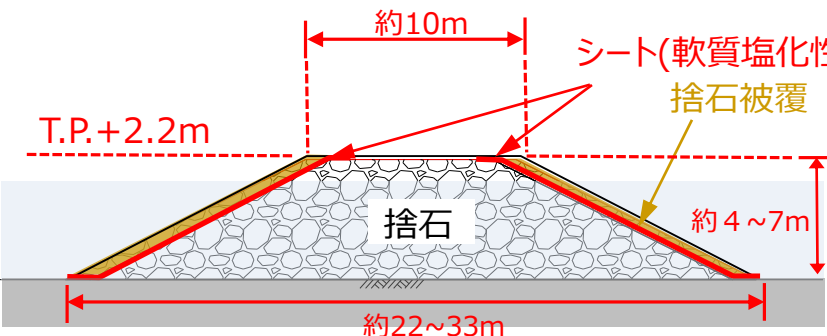
■ 仕切堤構築後

- 仕切堤の両側にシートを敷設することで、1-4号機取水路開渠側からの取水を抑制する設備としての機能・安定性は、現状のシルトフェンスよりも向上する。
- 仕切堤構築後に仕切堤の5/6号機取水路開渠（北）側と1-4号機取水路開渠（南）側の海水をサンプリングし、放射性物質濃度の比較を行うことで仕切堤による抑制効果を確認する。
- また長期点検計画に基づき、定期点検を実施した上で、必要に応じて修繕・改造等を実施していく。

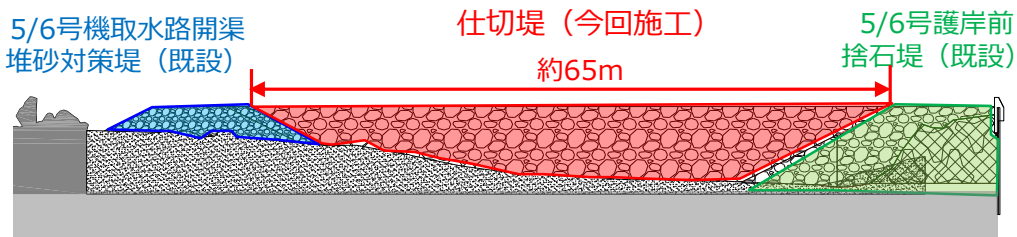
- 仕切堤の構造断面は下図の通り。
- 仕切堤の天端高さはT.P.+2.2mであり、HHWL(既往最高潮位：T.P.+1.15m)の条件よりも高く、1～4号機側からの海水の流入は抑制できる。



仕切堤平面図



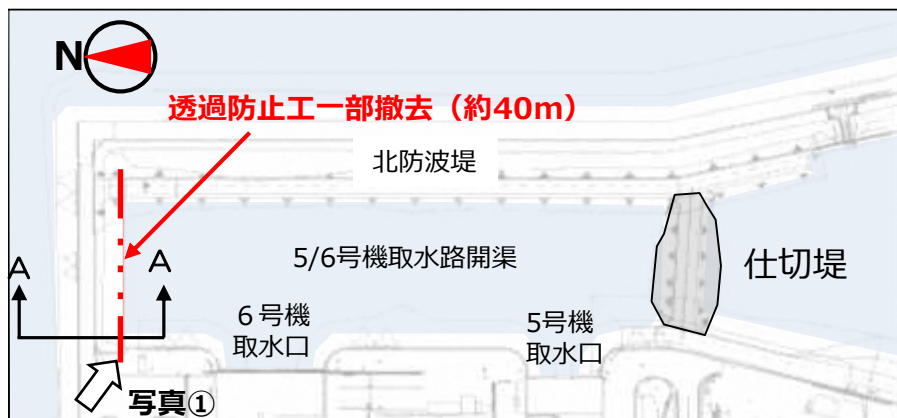
A-A断面図



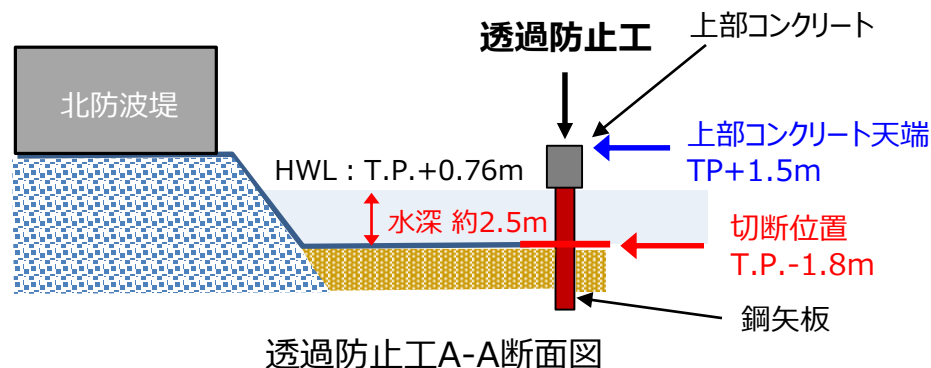
B-B断面図

取水方法 透過防止工の撤去

- 北防波堤内側（南側）に位置する透過防止工（仕切り壁）の一部を切断撤去し、港湾外から希釈用の海水を取水する。
- 撤去した透過防止工（コンクリートおよび鋼矢板）は、固体廃棄物として発電所構内に保管する。



透過防止工一部撤去平面図



透過防止工A-A断面図

※仕切堤構築後から透過防止工一部撤去の間は、1-4号機取水路開渠側からの海水の供給はほとんどないが、北防波堤側からの海水供給があるため、5/6号機の非常用冷却水の取水（約 $1.3\text{m}^3/\text{s}$ ）には影響はない。



透過防止工撤去イメージ図

- 希釈水の取水量は、これまでの5/6号機補機冷却取水に比べて大きくなる※が、仕切堤構築により、1-4号機側の港湾内からの放射性物質濃度の比較的高い海水の引き込みを抑制できること。
- 仕切堤構築により、これまでシルトフェンスにより防止してきた1-4号側の港湾内からの持込み土砂が抑制されることから、5/6号機取水口への土砂堆積による希釈用海水の放射性物質濃度上昇リスクが抑制できること。
- また、希釈用海水として、より放射性物質濃度が低い海水を港湾外から取水できること。

以上より、仕切堤構築を実施することが、港湾内海水放射性物質のALPS処理水の希釈用海水への移行抑制対策となる。

※希釈用海水取水量：約4.0～6.0m³/s
震災後5/6号機補器冷却水：約1.3m³/s
震災前5/6号機燃料冷却水：約112m³/s

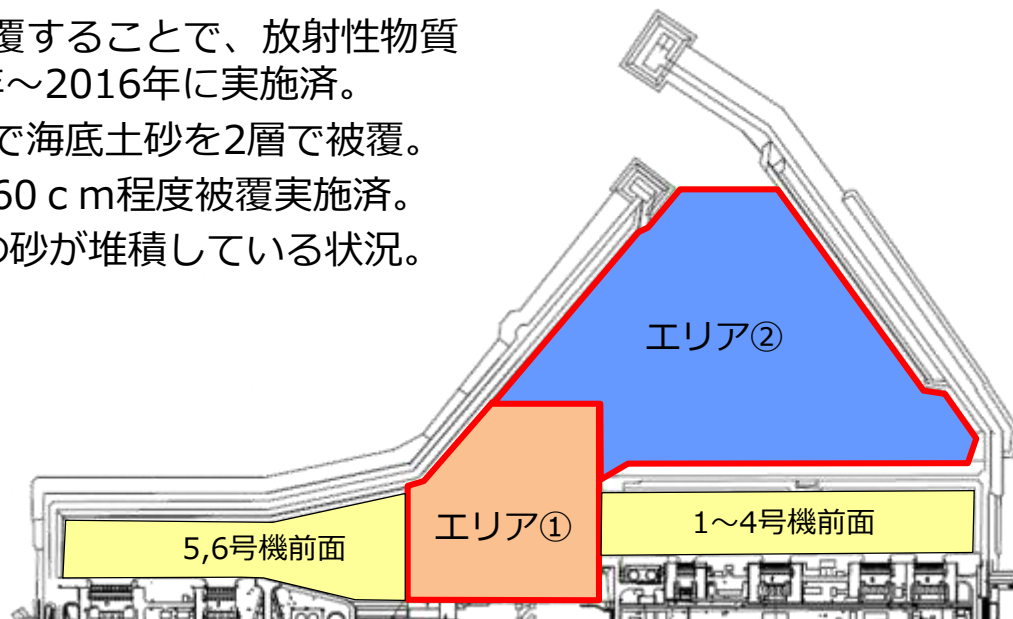
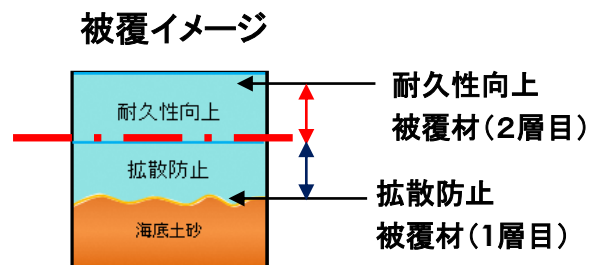
- 5/6号機取水路開渠内の被覆土上の堆砂は(A)、北防波堤を透過したものであり、港湾外(T-1)と同等レベルである。一方で、シルトフェンスより南側(B,C)は、濃度が高く、1-4号機側の港湾内からの海底土（K排水路等からの持込土砂含む）の影響があるものと考えられる。
- シルトフェンスを仕切堤に切り替えることで、1-4号機側の港湾内からの海水および海底土の移動が抑制されるため、港湾内の放射性物質の取水箇所への移行を防止するための対策となる。



調査地点	放射性物質濃度 (Bq/kg 乾土)		調査年度
T-1 (港湾外)	Cs-134	6~69	2017~2021
	Cs-137	110~410	
港湾内 A(GL±0) シルトフェンス北側	Cs-134	4~26	2018~2021
	Cs-137	187~281	
港湾内 A(GL-500) シルトフェンス北側	Cs-134	17~20	2021
	Cs-137	467~554	
港湾内 B (GL±0) シルトフェンス南側	Cs-134	723	2018
	Cs-137	6,475	
港湾内 C(GL±0) シルトフェンス南側	Cs-134	183	2018
	Cs-137	1,893	

【参考】 5 / 6 号機取水路開渠内の状況（海底土被覆状況）

- 海底土砂を海底地盤を固化処理土により被覆することで、放射性物質の拡散を抑制する海底土被覆工事を2012年～2016年に実施済。
- ベントナイト、セメントを主材とした材料で海底土砂を2層で被覆。
- 5/6号機前面では1層、2層合計で平均約60cm程度被覆実施済。
- 現在はその被覆材の上に平均約1.5m以上の砂が堆積している状況。



港湾内海底土被覆箇所

港湾内海底土被覆実績

施工エリア	施工面積 (m ²)	拡散防止：1層目			耐久性向上：2層目		
		打設量 (m ³)	開始日	完了日	打設量 (m ³)	開始日	完了日
1 - 4号機前	34,000	6,200	2012.3.14	2012.3.39	9,600	2012.4.5	2012.5.11
5, 6号機前	38,600	7,700	2012.5.16	2012.5.29	9,700	2012.5.31	2012.7.5
エリア①	50,900	10,700	2014.07.17	2014.10.03	21,200	2015.06.23	2015.12.21
エリア②	129,700	21,800	2014.12.14	2015.04.23	48,600	2016.03.21	2016.12.26
合計	253,200	46,400			89,100		

- 下表の通り、仕切堤構築方法について比較検討の結果、捨石傾斜堤の両側面にシート（軟質塩化ビニル製マット）を敷設する。

仕切堤構築方法の比較

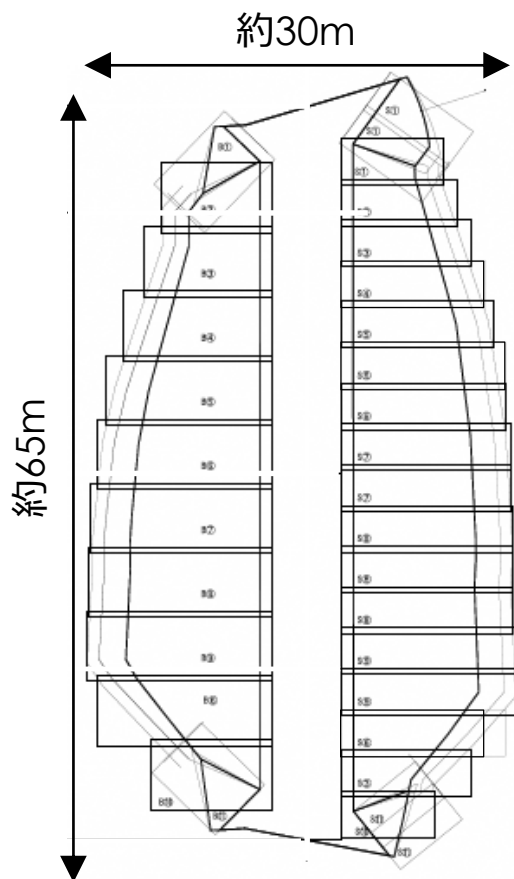
	捨石傾斜堤+シート	コンクリート壁	土留鋼矢板
施工方法	<p>シート (軟質塩化ビニル製) 捨石被覆 捨石</p>		
施工性	○ 陸上から捨石を投入し、シートを敷くのみ。多数実績あり	× 水中における止水処理の施工が困難	△ 海底土の被覆を破るため困難
放射性物質に対する懸念	○ 至近の工事において多数実績あり	× 底版基礎部の掘削時に海底土を巻き上げる	× 鋼矢板の打設時に海底土を巻き上げる
評価	○	×	×

■ 仕切堤（シート）

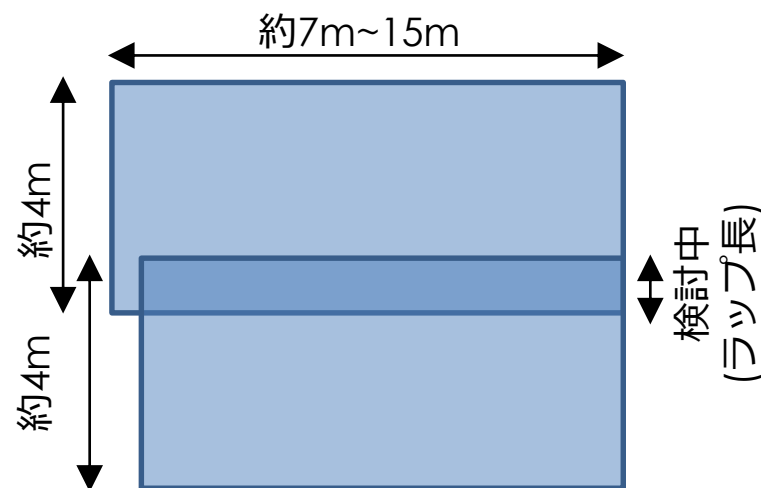
- シート仕様：軟質塩化ビニル製マット、t=5mm
- シートは重ね合わせ（ラップ）や溶着を計画しており、詳細については今後検討していく。

シートの仕様

項目	仕様
材質	軟質塩化ビニル
寸法	幅4m×長さ7m~15m
厚さ	5mm
ラップ長	検討中



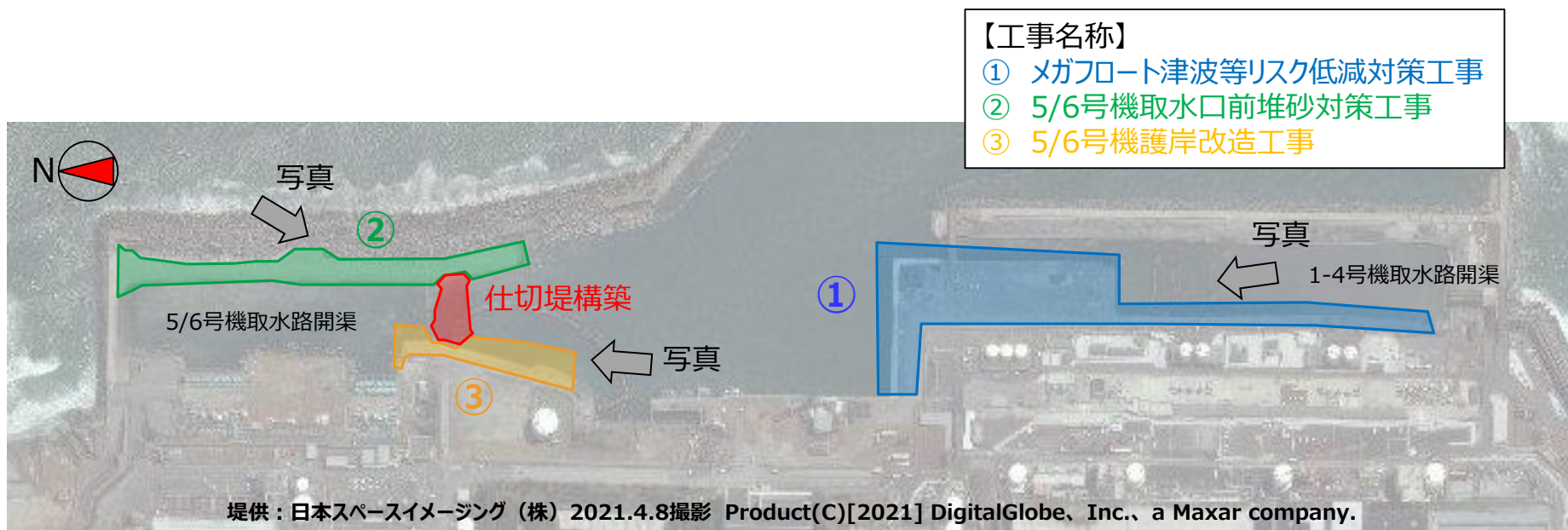
シート割付図(現計画)



シート イメージ図

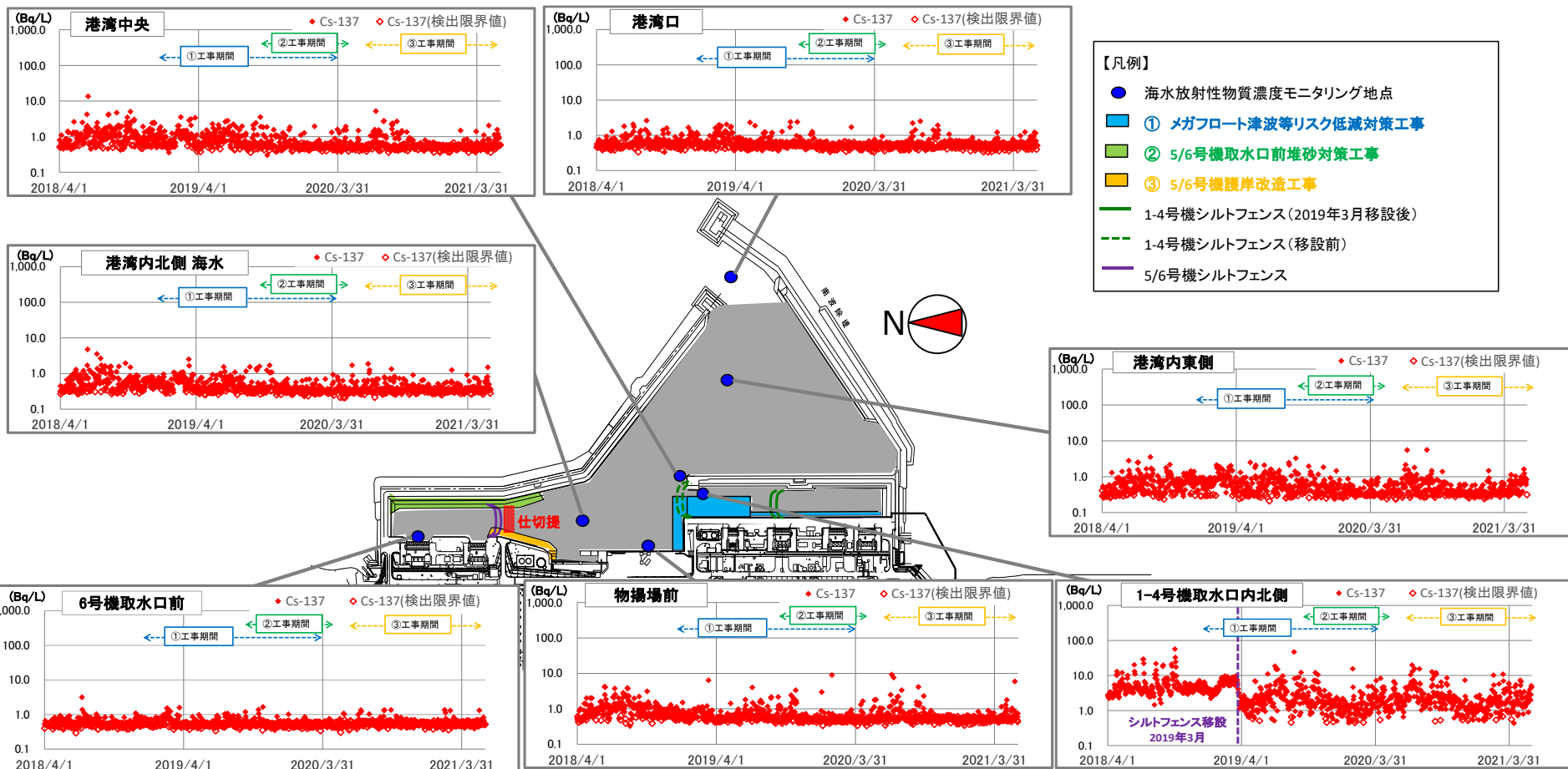
【参考】取水方法 仕切堤施工中の海水放射性物質濃度について (1/2) **TEPCO**

- 至近3年間において、港湾内で作業船やバックホウを使用して捨石等の材料を海中投入した実績がある。
- 工事施工中は、工事用汚濁防止フェンスを設置するとともに、通常よりも施工速度を落とし慎重に施工することで、海底土砂の巻き上げ、拡散を抑制した。
- 工事中の海水放射性物質濃度モニタリング結果に有意な変動はなかった。



【参考】取水方法 仕切堤施工中の海水放射性物質濃度について (2/2) **TEPCO**

- 至近3年間の港湾内工事中の海水放射性物質濃度 (Cs-137) モニタリング結果は以下の通り。
- 港湾内工事による有意な影響はない。



港湾内工事中の海水放射性物質濃度

<No.63 回答>

<No.63>

- 準備工事、測定・管理用設備、希釈設備、移送設備、放水設備設置のための主要な作業を示し、それらの労働安全対策について説明のこと。特に海上での事故が発生しないよう、工事実施の基準（海洋の気象条件等）について説明のこと。

<No.63 回答>

主要工事の施工方法などの進め方に関しては次回以降にご回答させていただきますが、海上工事に限らず、当社の工事中止基準を次ページ以降で説明いたします。

【参考】作業中止基準（その1）

■ 悪天候時

緊急事態ケース	主な原因	作業中止基準
悪天候	豪雨、強風、積雪 雷	雨：1回の降雨量50mm 以上 風：10分間平均10m/sec 以上 雷：警報発令 雪：1回の降雪量が25cm 以上
地震	同左	震度4以上
津波	津波	津波注意報・警報発令時
火災	電気系統からの出火、 その他からの出火	初期消火により消火できない場合
雷鳴、稲光	落雷	雷鳴・稲光確認時 携帯型雷検知器約10 km圏内探知時
連続ダストモニタリング結果の異常	空気中の放射線濃度の上昇	状況を確認し当社、元請けの指示を仰ぐ
爆発	プラント設備等において何等かの理由による	大音響、煙、臭気など感じた場合即避難
災害発生	労働災害等	人命救助に関する作業以外は作業を中止し元請の指示を仰ぐ
その他	上記以外の異常事態発生	異常を感じた場合まず作業中止すること

津波注意報・警報発令時には5/6号機建屋に一次避難し、点呼確認後厚生棟へ二次避難する

■ クレーン作業時

	確認日時	観測・確認方法
作業前日	昼の打合せ時	日本気象協会の天気予報にて、作業日の風の状況の確認。
作業当日	朝礼時	当日の詳細予報の確認と周知。
	作業中	現場内の吹き流しの状況確認と、詳細予報の確認。
	天候急変時	現地吹き流し等により強風を確認した際、携帯型風速計を用いて現地の風速のモニタリングの実施。

■ 掘進時

緊急事態	主な原因	避難基準
火災（坑内外、函内外）	電気系統からの出火 その他からの出火	初期消火により消火できない場合
停電	電気系統の故障、落雷	即避難
酸素欠乏	土中の酸素欠乏空気の流入	濃度：18.0vol%未満 (一次管理値：20.0vol%)
有害ガス	一酸化炭素 (CO)	送気空気汚染 50ppm以上 (一次管理値：25ppm)
	メタン (CH ₄)	土中の嫌気性細菌代謝 土中蓄積ガスの噴出 1.5vol%以上 (一次管理値：0.5vol%)
	硫化水素 (H ₂ S)	泥土中の細菌代謝 10ppm以上 (一次管理値：5ppm)

【参考】作業中止基準（その2）

■ 悪天候時（陸上工事共通）

緊急事態ケース	主な原因	作業中止基準
悪天候	豪雨、強風、積雪 雷	雨：1回の降雨量50mm 以上 風：10分間平均10m/sec 以上 雷：警報発令 雪：1回の降雪量が25cm 以上
地震	同左	震度4以上
津波	津波	津波注意報・警報発令時
火災	電気系統からの出火、 その他からの出火	初期消火により消火できない場合
雷鳴、稲光	落雷	雷鳴・稲光確認時 携帯型雷検知器約10 k m圏内探知時
連続ダストモニタリング結果の異常	空気中の放射線濃度の上昇	状況を確認し当社、元請けの指示を仰ぐ
爆発	プラント設備等において何等かの理由による	大音響、煙、臭気など感じた場合即避難
災害発生	労働災害等	人命救助に関する作業以外は作業を中止し元請の指示を仰ぐ
その他	上記以外の異常事態発生	異常を感じた場合まず作業中止すること

津波注意報・警報発令時には5/6号機建屋に一次避難し、点呼確認後厚生棟へ二次避難する

■ クレーン作業時（陸上工事共通）

確認日時	観測・確認方法
作業前日	昼の打合せ時 日本気象協会の天気予報にて、作業日の風の状況の確認。
作業当日	朝礼時 当日の詳細予報の確認と周知。
	作業中 現場内の吹き流しの状況確認と詳細予報の確認。
	天候急変時 現地吹き流し等により強風を確認した際、携帯型風速計を用いて現地の風速のモニタリングの実施。

■ 海上作業時

工 種	有義波高(m)	周期(s)	船 舶
海上掘削工	0.75	10	浚渫船
基礎捨石投入・均し工	1.00	10	起重機船(500t吊)
ケーソン据付	0.60	7	起重機船(1,600t吊)
ケーソン埋戻し	0.75	10	CP船
到達管撤去等	0.75	7	起重機船(500t吊)
潜水作業	0.80	10	
測量作業	0.75	10	

<No.64 回答>

<No.64>

- ALPSを含めた希釈放水設備全体の設備の保守・管理の計画を示すこと。

<No.64 回答>

【保全計画の全体的な考え方】

- 機器（ポンプ、弁、計装機器、電源機器等）の具体的な保全計画は、『実施計画Ⅲ 特定原子力施設の保安 第1編 1号炉、2号炉、3号炉及び4号炉に係る保安措置 第8章 施設管理』に基づき、点検の方法並びにそれらの実施頻度及び実施時期を定めた点検計画点を定める。また、保全活動から得られた情報等から、保全の有効性を評価し、保全が有効に機能していることを確認するとともに、継続的な改善につなげる。

【ALPS】

- ALPS本体の保全方式は、劣化状況や故障実績、重要度に応じて事後保全（BDM）から時間基準保全（TBM）への見直しを実施しており、現時点において全機器の約9割がTBM管理となっている。

【ALPS処理水希釈放出設備（測定・確認用設備/移送設備/希釈設備） 関連施設（放水設備）】

- 点検計画を供用開始までに策定することになるが、基本的な考え方は以下の通り。
 - ALPS処理水希釈放出設備の保全方式は、設備の重要度を踏まえ基本的には時間基準保全とする予定である。
 - 時間基準保全の実施頻度については、これまでの原子力発電所における各機器の実施頻度をもとに適切に定める。
- なお、放水立坑（上流水槽/下流水槽）、放水トンネル、放水口設備に関しては、今後、点検方法、保守管理方法の具体的な方法を検討していくが、現時点では水中ROV等を活用して点検していく計画である。

以下、参考資料

2021年12月21日公表

多核種除去設備等処理水の取扱いに関する実施計画変更認可申請【概要】

第Ⅱ章 特定原子力施設の設計、設備

2.50 ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設

- ・以下の主要な機器について、実施計画に設計の詳細を新規記載
 1. 測定・確認用設備
 2. 移送設備
 3. 希釈設備
 4. 放水設備

第Ⅲ章 第3編 保安に係る補足説明

2 放射性廃棄物等の管理に関する補足説明

- ・ALPS処理水の海洋放出に係る以下記載を追記
 1. 管理方法
 2. 線量評価
 3. 「東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所における多核種除去設備等処理水の処分に関する基本方針」を踏まえた対応および、環境への放射線の影響評価

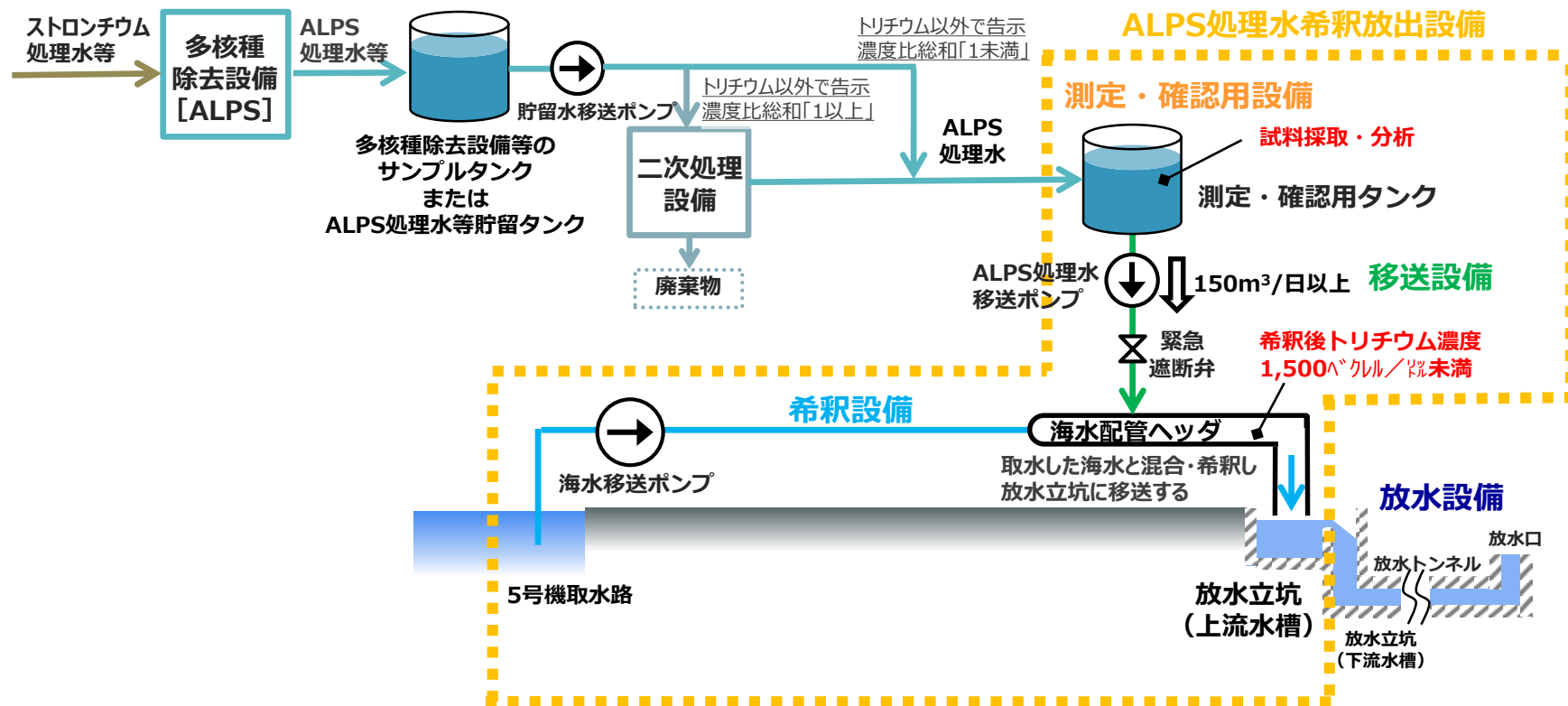
2-1. ALPS処理水希釈放出設備の全体概要

■ 目的

多核種除去設備で放射性核種を十分低い濃度になるまで除去した水が、ALPS処理水（トリチウムを除く放射性核種の告示濃度比総和 1 未満を満足した水）であることを確認し、海水にて希釈して、海洋に放出する。

■ 設備概要

測定・確認用設備は、測定・確認用タンク内およびタンク群の放射性核種の濃度を均一にした後、試料採取・分析を行い、ALPS処理水であることを確認する。その後、移送設備でALPS処理水を海水配管ヘッダに移送し、希釈設備により、5号機取水路より海水移送ポンプで取水した海水と混合し、トリチウム濃度を1,500ベクレル/l未満に希釈したうえで、放水設備に排水する。

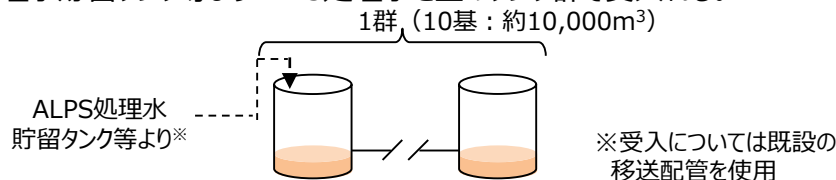


■ 測定・確認用設備

- 測定・確認用タンクはK4エリアタンク(計約30,000m³)を転用し、A～C群各10基(1基約1,000m³)とする。
- タンク群毎に、下記①～③の工程をローテーションしながら運用すると共に、②測定・確認工程では循環・攪拌により均一化した水を採取して分析を行う。

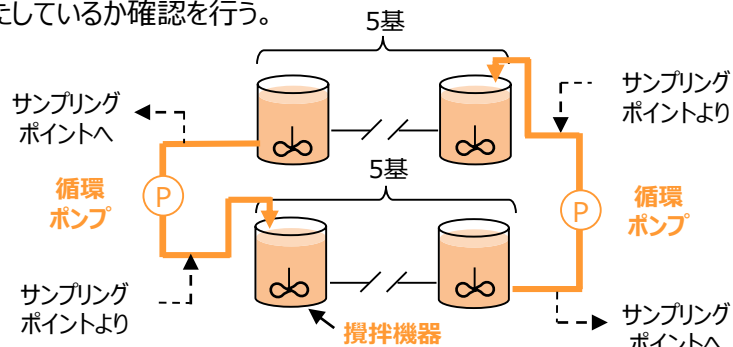
①受入工程

ALPS処理水貯留タンク等よりALPS処理水を空のタンク群で受入れる。



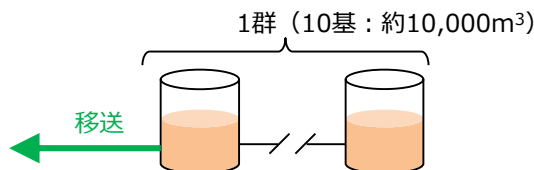
②測定・確認工程

攪拌機器・循環ポンプにてタンク群の水質を均一化した後、サンプリングを行い、放出基準を満たしているか確認を行う。

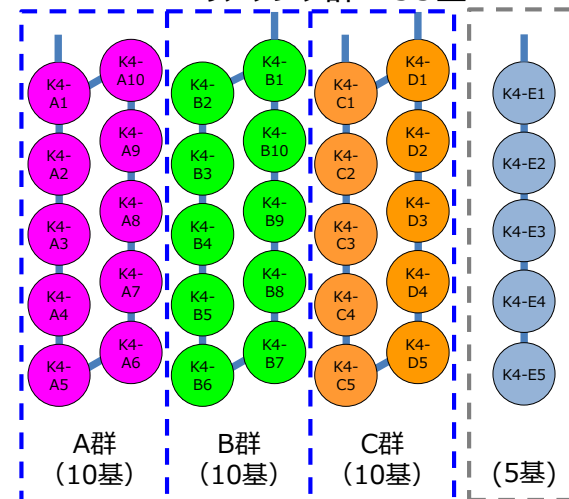


③放出工程

放出基準を満たしていることを確認した後、ALPS処理水を移送設備により希釈設備へ移送する。



K4エリアタンク群 : 35基



2.50章 ALPS処理水希釈放出設備

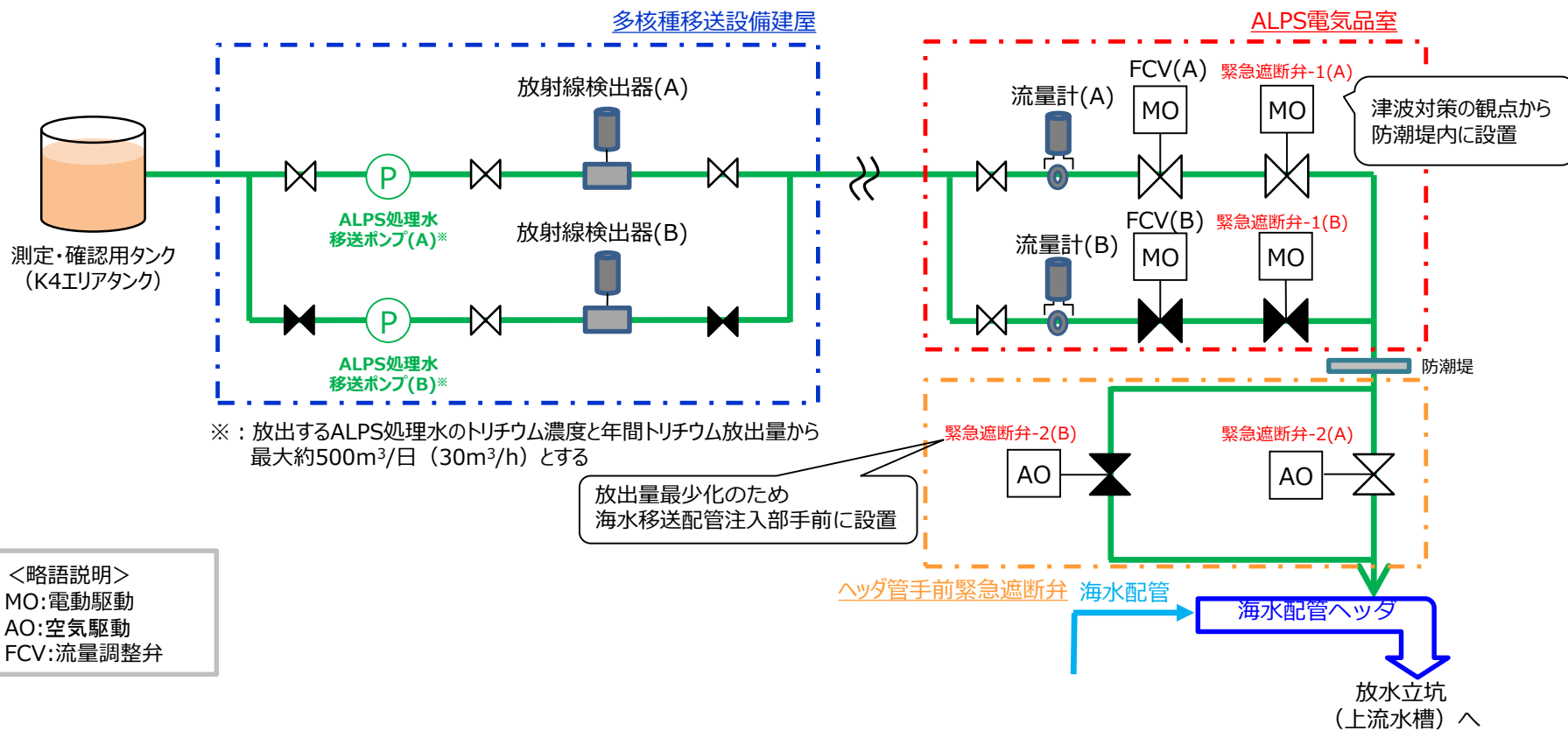
2.5章 多核種処理水貯槽

	A群	B群	C群
1周目	受入	—	—
2周目	測定・確認	受入	—
3周目	放出	測定・確認	受入
4周目	受入	放出	測定・確認
...	測定・確認	受入	放出

2-3. ALPS処理水希釈放出設備（移送設備）の概要

■ 移送設備

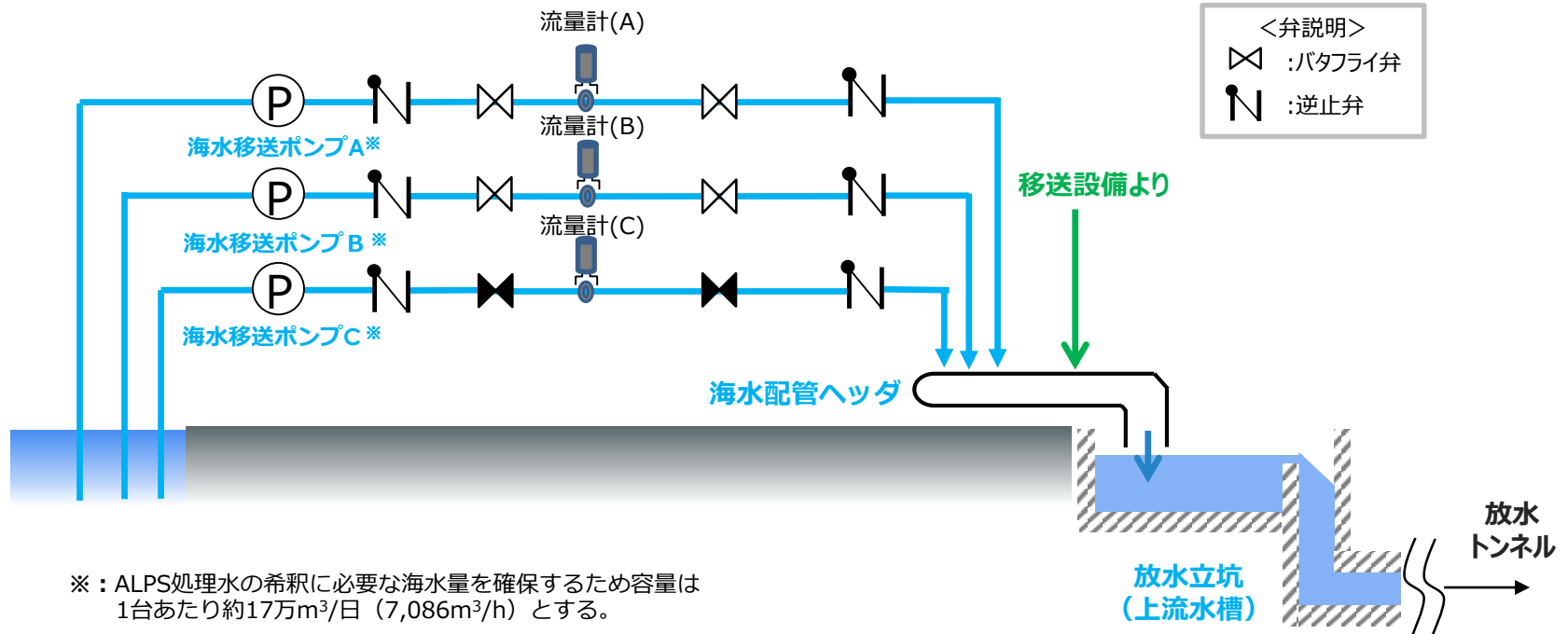
- 移送設備は、ALPS処理水移送ポンプ及び移送配管により構成する。
- ALPS処理水移送ポンプは、運転号機と予備機の2台構成とし、測定・確認用タンクから希釈設備までALPS処理水の移送を行う。
- また、異常発生時に速やかに移送停止できるよう緊急遮断弁を海水配管ヘッダ手前及び、津波対策として防潮堤内のそれぞれ1箇所にする。



<略語説明>
 MO: 電動駆動
 AO: 空気駆動
 FCV: 流量調整弁

■ 希釈設備

- ALPS処理水を海水で希釈し、放水立坑(上流水槽)まで移送し、放水設備へ排水することを目的に、海水移送ポンプ、海水配管(ヘッダ管含む)、放水立坑(上流水槽)により構成する。
- 海水移送ポンプは、移送設備により移送されるALPS 処理水を100倍以上に希釈する流量を確保する。



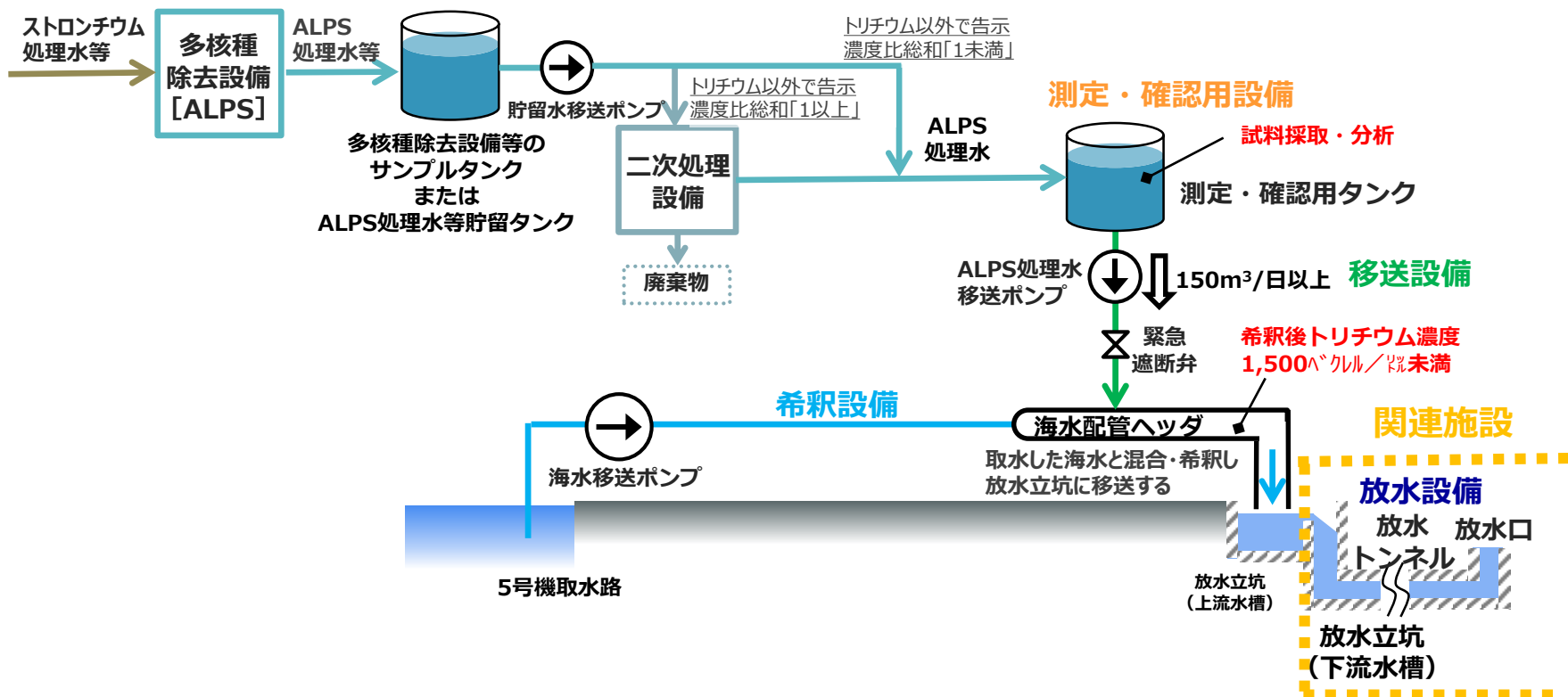
3-1.関連施設（放水設備）の全体概要

■ 目的

ALPS処理水希釈放出設備の排水（海水で希釈して、トリチウムを含む全ての放射性核種の告示濃度比総和1未満を満足した水）を、沿岸から約1km離れた場所から海洋へ放出する。

■ 設備概要

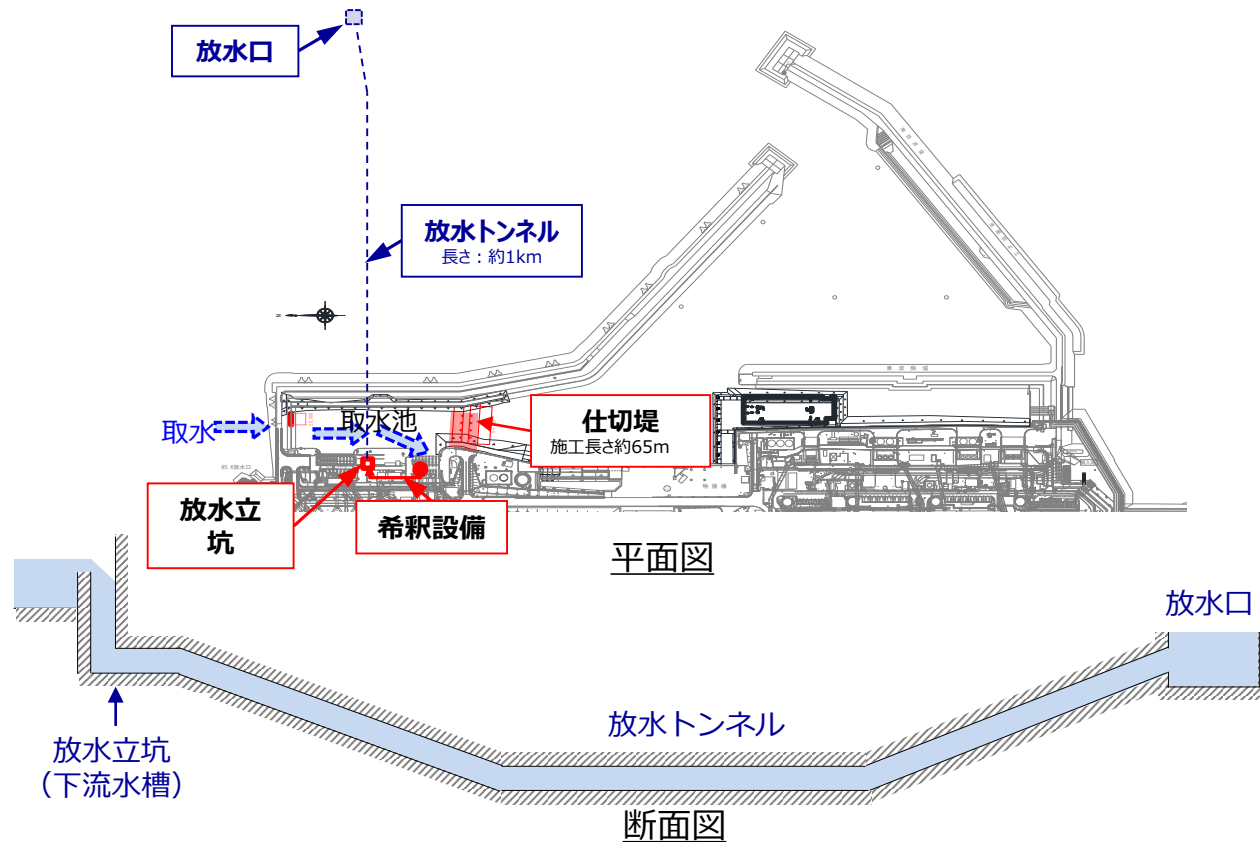
放水設備は、上記目的を達成するため、放水立坑（下流水槽）、放水トンネル、放水口により構成する。



3-2.関連施設（放水設備）の概要（1/2）

■ 放水設備

- 放水立坑内の隔壁を越流した水を、放水立坑（下流水槽）と海面との水頭差により、約1km離れた放水口まで移送する設計とする。また、放水設備における摩擦損失や水位上昇等を考慮した設計とする。



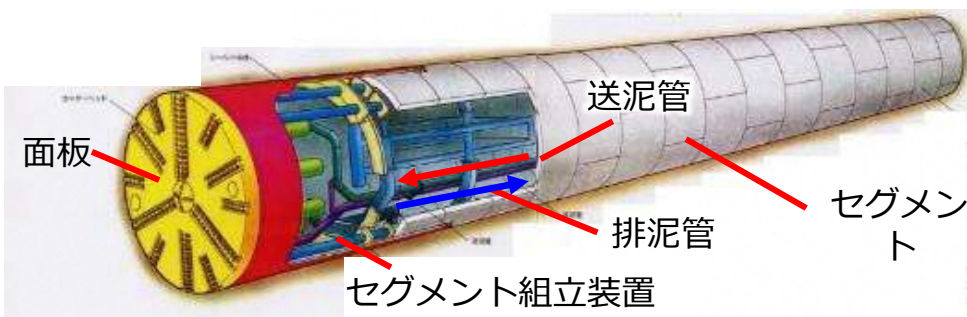
3-3.関連施設（放水設備）の概要（2/2）

■ 構造設計の概要

- 岩盤層を通過させるため、漏洩リスクが小さく、且つ耐震性に優れた構造を確保。
- シールド工法を採用し、鉄筋コンクリート製のセグメントに2重のシール材を設置することで止水性を確保。
- 台風（高波浪）や高潮（海面上昇）の影響を考慮したトンネル躯体（セグメント）の設計を実施。

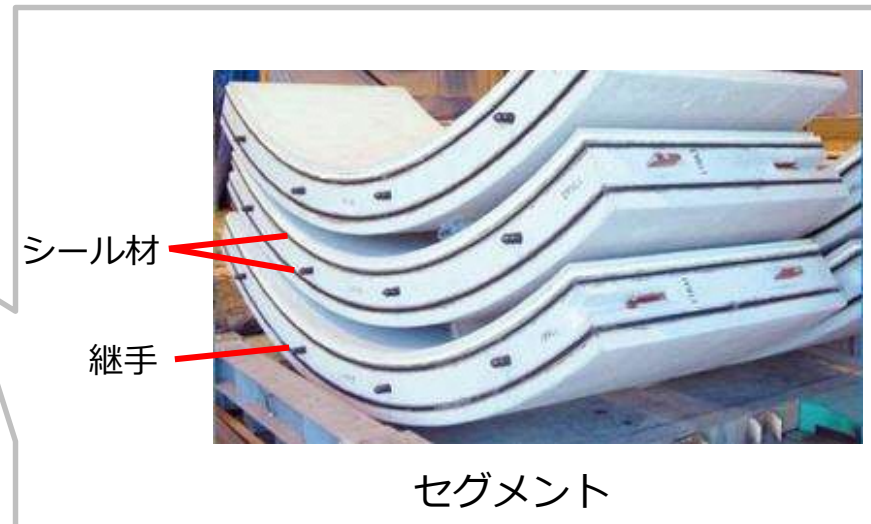
■ トンネルの施工（シールド工法）

- シールド工法による放水トンネルの施工実績は多数あり、確実な施工によりトラブルの発生の可能性が小さい。



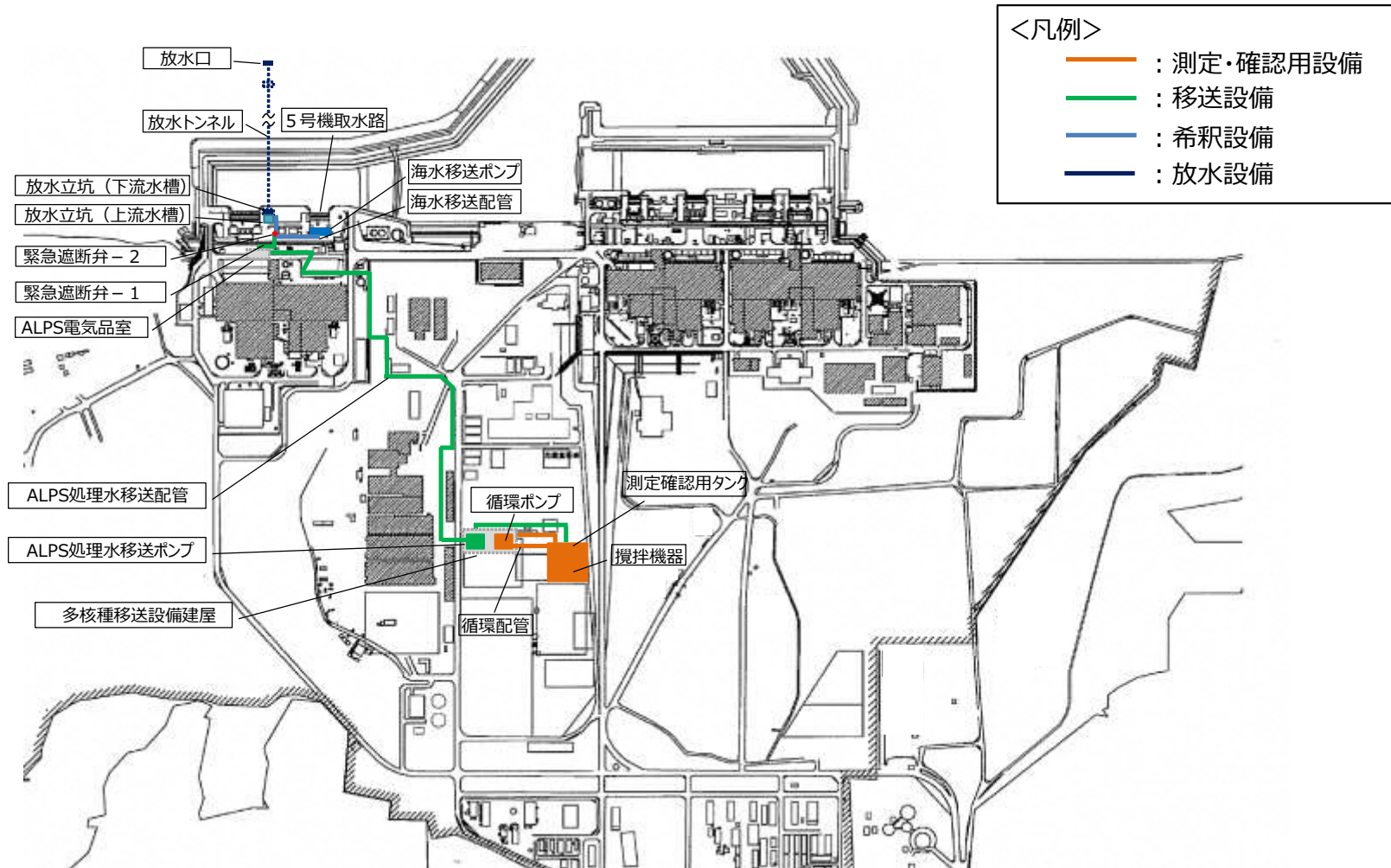
※：今回は泥水式シールド工法を採用

シールドマシンの概要図



4. ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設の配置計画

- ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設を構成する設備の配置は以下の通り。
(実施計画：Ⅱ-2-50-添1-2)



5. ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設の設置工程

- 原子力規制委員会の審査を経て認可等が得られれば、現地据付組立に着手し、2023年4月中旬頃の設備設置完了を目指す。

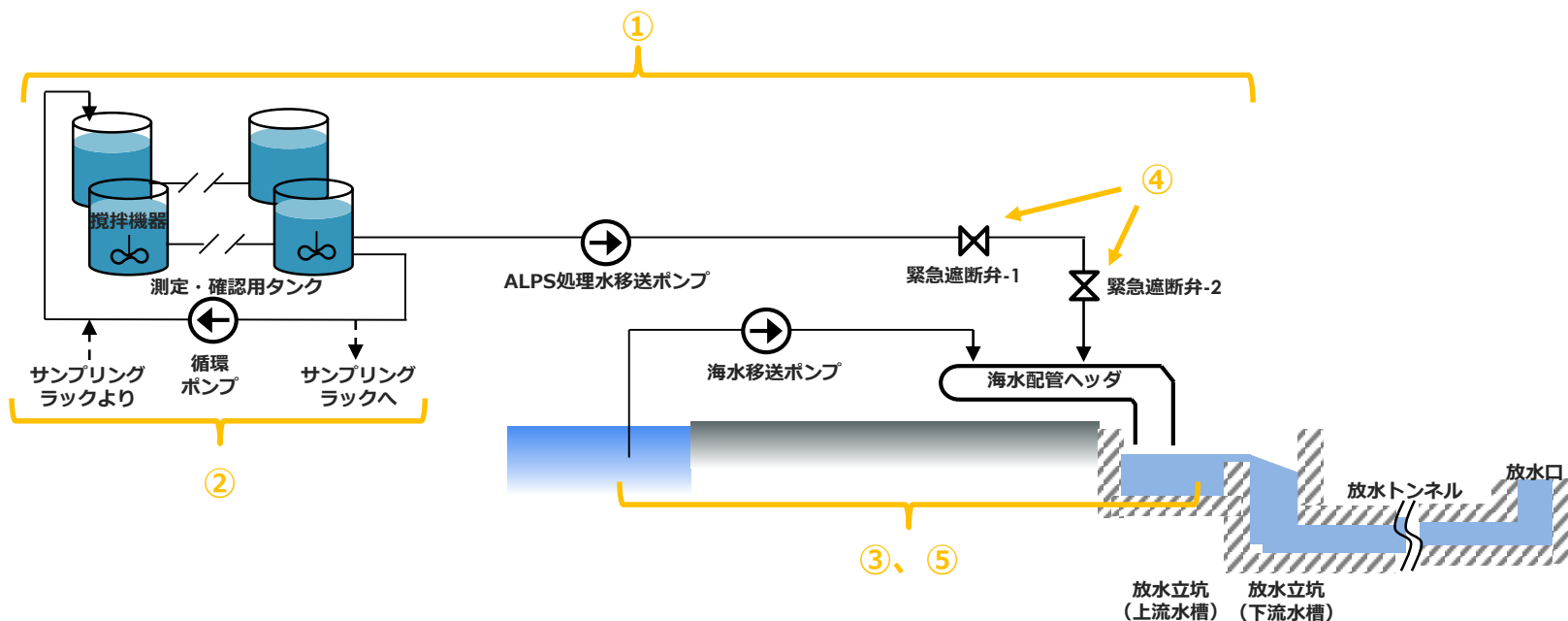
	2022年												2023年												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設設置						[現地据付組立]																			

△
使用前検査

[Blue Box] : 現地据付組立

- ① 海洋への放出量は、発生する汚染水の量（地下水、雨水の流入による増量分）を上回る能力を有すること。
- ② 希釈放出前の水がALPS処理水であることを確認するため、タンク内およびタンク群の放射性物質濃度の均一化および試料採取ができること。
- ③ ALPS 処理水を海水で希釈し、海洋へ放出できること。
- ④ 異常が発生した場合、速やかにALPS 処理水の海洋への放出を停止できる機能を有すること。
- ⑤ 海水希釈後のトリチウム濃度が告示濃度限度（60,000Bq/L）を十分下回る水準となるよう、ALPS 処理水を100 倍以上に希釈する能力を有すること。

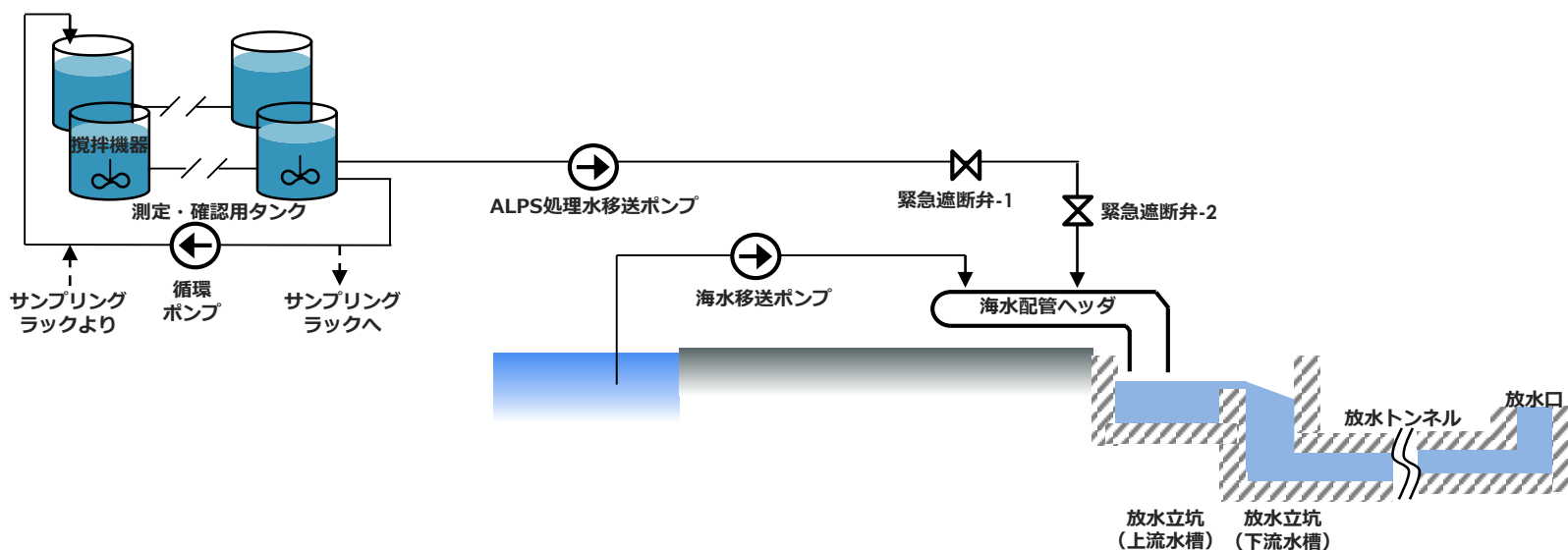
(実施計画：Ⅱ-2-50-1)



【参考】放水設備 要求される機能(1/2)

- ① ALPS処理水希釈放出設備の排水（海水で希釈して、トリチウムを含む全ての放射性核種の告示濃度比総和が1を下回った水）を、沿岸から約1km離れた海洋から放出できること。

(実施計画：Ⅱ-2-50-7)

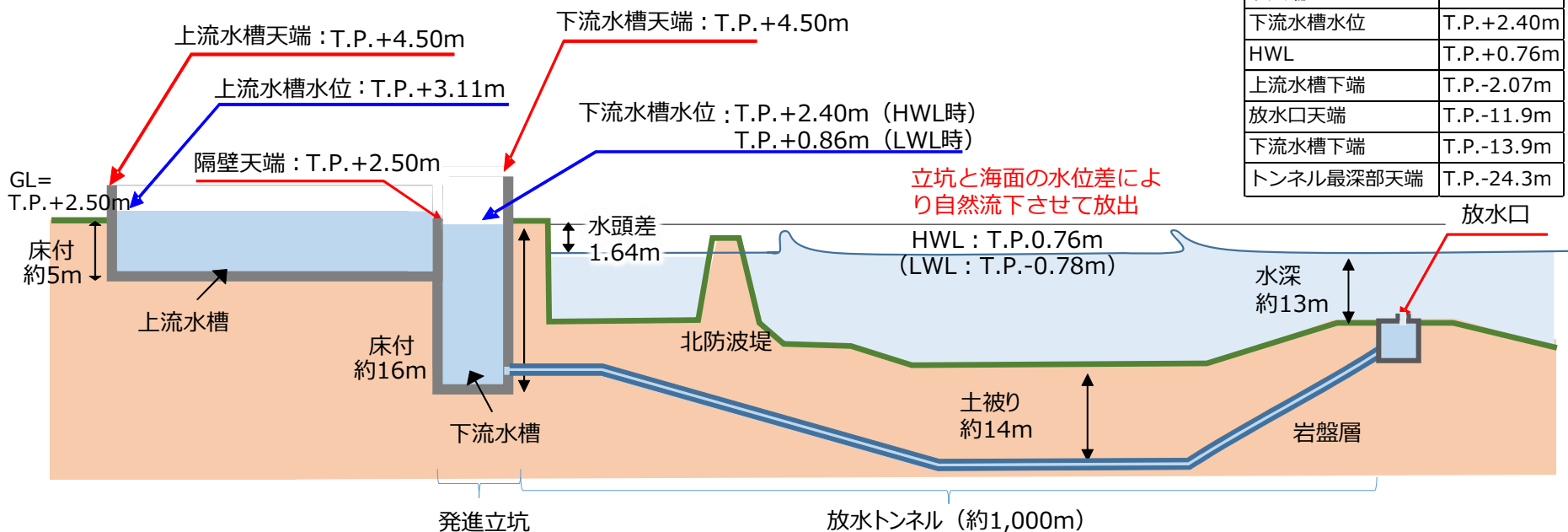


■ 水理設計の考え方 (海水移送ポンプ3台運転時)

- 放水立坑において大気開放することで、管内圧力を低減させる。
- 放水立坑は、放水トンネル、放水口を通して外洋の潮位と連動する構造となるが、海水移送ポンプ3台 (51万m³/日=6m³/s) の条件下においても、放水立坑 (下流水槽) と海面の水頭差 (約1.6m : 立坑～放水口の損失合計) により、自然流下可能であることを確認。

水位・標高一覧

上流水槽天端	T.P.+4.50m
下流水槽天端	T.P.+4.50m
上流水槽水位	T.P.+3.11m
GL	T.P.+2.50m
堰天端	T.P.+2.50m
下流水槽水位	T.P.+2.40m
HWL	T.P.+0.76m
上流水槽下端	T.P.-2.07m
放水口天端	T.P.-11.9m
下流水槽下端	T.P.-13.9m
トンネル最深部天端	T.P.-24.3m



放水設備概念図

■ 概要

汚染水処理設備の処理水及び処理設備出口水について、多核種除去設備により放射性核種（トリチウムを除く）の低減処理を行い、ALPS処理水（トリチウムを除く放射性核種の告示濃度比総和 1 未満を満足した水）を海水にて希釈して排水するための管理方法、およびALPS処理水の排水による発電所敷地境界の線量評価について説明する。

■ 管理方法

排水前の測定・確認用設備から試料を採取し、トリチウム及びトリチウムを除く放射性核種を分析し、ALPS処理水であること確認したうえで、トリチウム濃度を低減させるために、希釈設備にて海水で希釈した上で排水する。

- ALPS処理水は、トリチウムを除く放射性核種の告示濃度比の和が1未満であることを測定等により確認する。
- 放水立坑（上流水槽）におけるトリチウム濃度を1,500ベクレル/ℓ未満、且つ、100倍以上の希釈となるよう排水流量と希釈海水流量を設定する。
- トリチウム放出量を年間22兆ベクレルの範囲内とする。

■ 線量評価

ALPS処理水の排水による敷地境界の実効線量の評価結果は0.035ミリシーベルト/年となる。よって、放射性液体廃棄物等の排水による実効線量の評価値（0.22ミリシーベルト/年）に変更はない。

- トリチウムの線量寄与分は、排水時に1,500ベクレル/ℓ未満となるまで海水で希釈することから、告示濃度60,000ベクレル/ℓに対して、保守的に告示濃度比を0.025（1,500/60,000）と評価
- トリチウムを除く放射性核種の線量寄与分は、測定・確認用設備で告示濃度比総和が1未満であることを確認して、排水時には海水により100倍以上に希釈されることから、保守的に告示濃度比総和を0.01（1/100）と評価

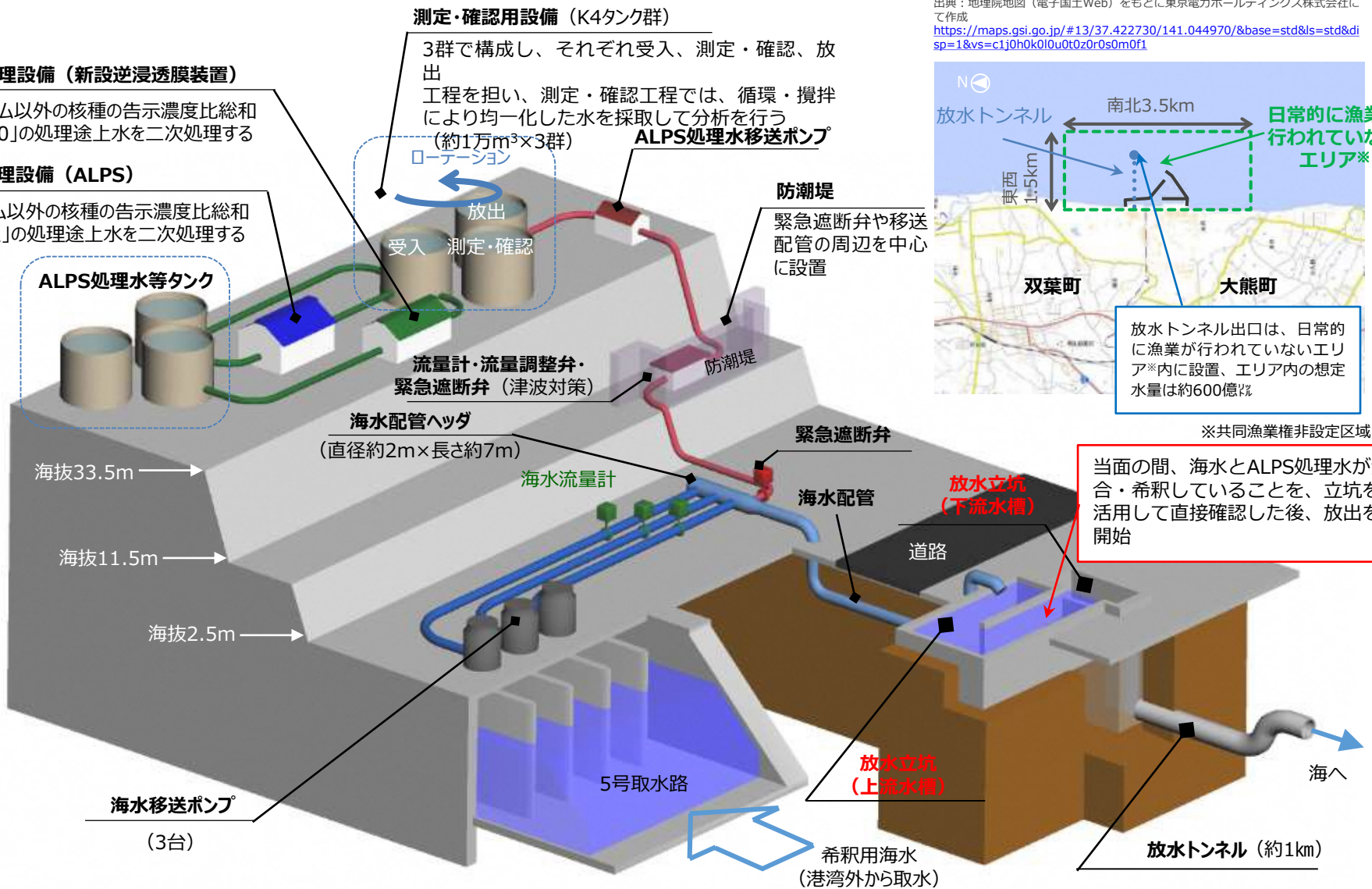
(参考)安全確保のための設備の全体像

出典：地理院地図（電子国土Web）をもとに東京電力ホールディングス株式会社にて作成
<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&dsp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>



※共同漁業権非設定区域

当面の間、海水とALPS処理水が混合・希釈していることを、立坑を活用して直接確認した後、放出を開始



二次処理設備（新設逆浸透膜装置）

トリチウム以外の核種の告示濃度比総和「1～10」の処理途上水を二次処理する

二次処理設備（ALPS）

トリチウム以外の核種の告示濃度比総和「1以上」の処理途上水を二次処理する

測定・確認用設備（K4タンク群）

3群で構成し、それぞれ受入、測定・確認、放出工程を担い、測定・確認工程では、循環・攪拌により均一化した水を採用して分析を行う（約1万m³×3群）

ALPS処理水移送ポンプ

防潮堤

防潮堤

緊急遮断弁や移送配管の周辺を中心に設置

ALPS処理水等タンク

流量計・流量調整弁・緊急遮断弁（津波対策）

海水配管ヘッド

（直径約2m×長さ約7m）

海水流量計

緊急遮断弁

海水配管

放水立坑（下流水槽）

道路

海拔33.5m

海拔11.5m

海拔2.5m

海水移送ポンプ

（3台）

5号取水路

放水立坑（上流水槽）

希釈用海水（港湾外から取水）

放水トンネル（約1km）

海へ