

# ALPS処理水希釈放出設備及び関連施設の新設について ALPS処理水審査会合（第9回）

2022年3月15日



東京電力ホールディングス株式会社

## ALPS処理水の海洋放出設備の申請内容等に係る主要な論点※

### に対する回答

※：ALPS処理水審査会合（第3回）資料1-2

#### （2 - 1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）

#### （2）海洋放出時の保安上の措置

##### ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

#### （1）海洋放出設備

##### ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

##### ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護、誤操作防止、信頼性等

## **ALPS処理水の海洋放出設備の申請内容等に係る主要な論点**※

### **に対する回答**

※：ALPS処理水審査会合（第3回）資料1-2

### **（2－1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）**

#### **（2）海洋放出時の保安上の措置**

##### **①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制**

- トリチウム（H-3）、炭素（C-14）及びALPSによる除去対象62核種以外に線量評価に影響を与える核種を選定するための方針を説明すること。

# 1. ALPS処理水の測定対象核種に関する検討概要

## 2 - 1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

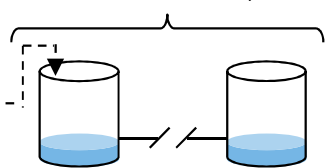
### 1.1 検討概要

- ALPS処理水の海洋放出では、下図に示す②測定・確認工程で希釈放出前に放出基準（ALPS処理水に含まれるトリチウム以外の放射性物質の告示濃度限度比総和が1未満）を満たしていることを確認する計画としている。
- 当該工程で確認する核種は、ALPS処理水を海洋放出するに当たり、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。
- 選定の過程で、低エネルギーの放射線のため、測定が困難かつ人体への影響が小さい核種が検討対象として加わることが予想されるが、本検討を実施する中で、これらの核種がALPS処理水の線量評価に影響を与え得るかを確認する。

#### 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。

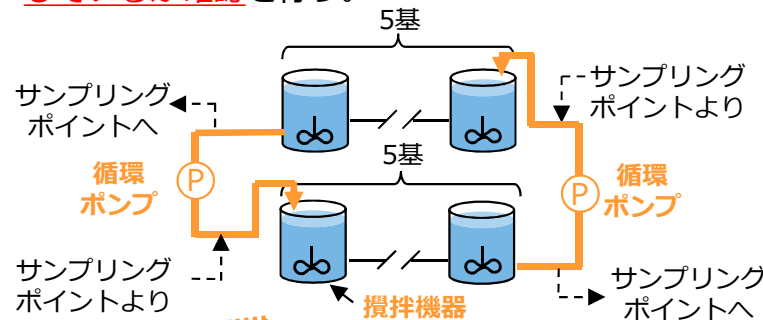
1群 (10基: 約10,000m<sup>3</sup>)



※: 受入については既設の移送配管を使用

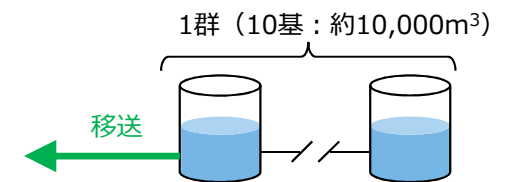
#### ②測定・確認工程

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。



ALPS処理水は、排水前に測定・確認用設備において、H-3及びH-3以外の放射性核種を分析し、H-3以外の放射性核種が基準を満たしていることを確認するとともに、H-3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

(実施計画: III-3-2-1-2)

### 1.2 検討の方向性

- 海洋放出に当たり、福島第一原子力発電所（以下、「1F」という）の建屋滞留水等に有意に含まれる可能性のある核種について、改めて徹底的に検証する。具体的には下記の内容で検討を進める。

#### 検討の方向性

- 1～3号機の燃料及び構造材を考慮して、下記の核種分析並びにインベントリ評価を実施した上で、両者の結果及び線量評価への影響を踏まえて、放出時の測定対象核種を選定する。

#### 核種分析

- 廃止措置や埋設施設に関する研究において評価対象としている核種が、建屋滞留水等に有意に存在するか否か、実際に分析して確認する。また、過去の核種分析結果についても確認する。

#### インベントリ評価

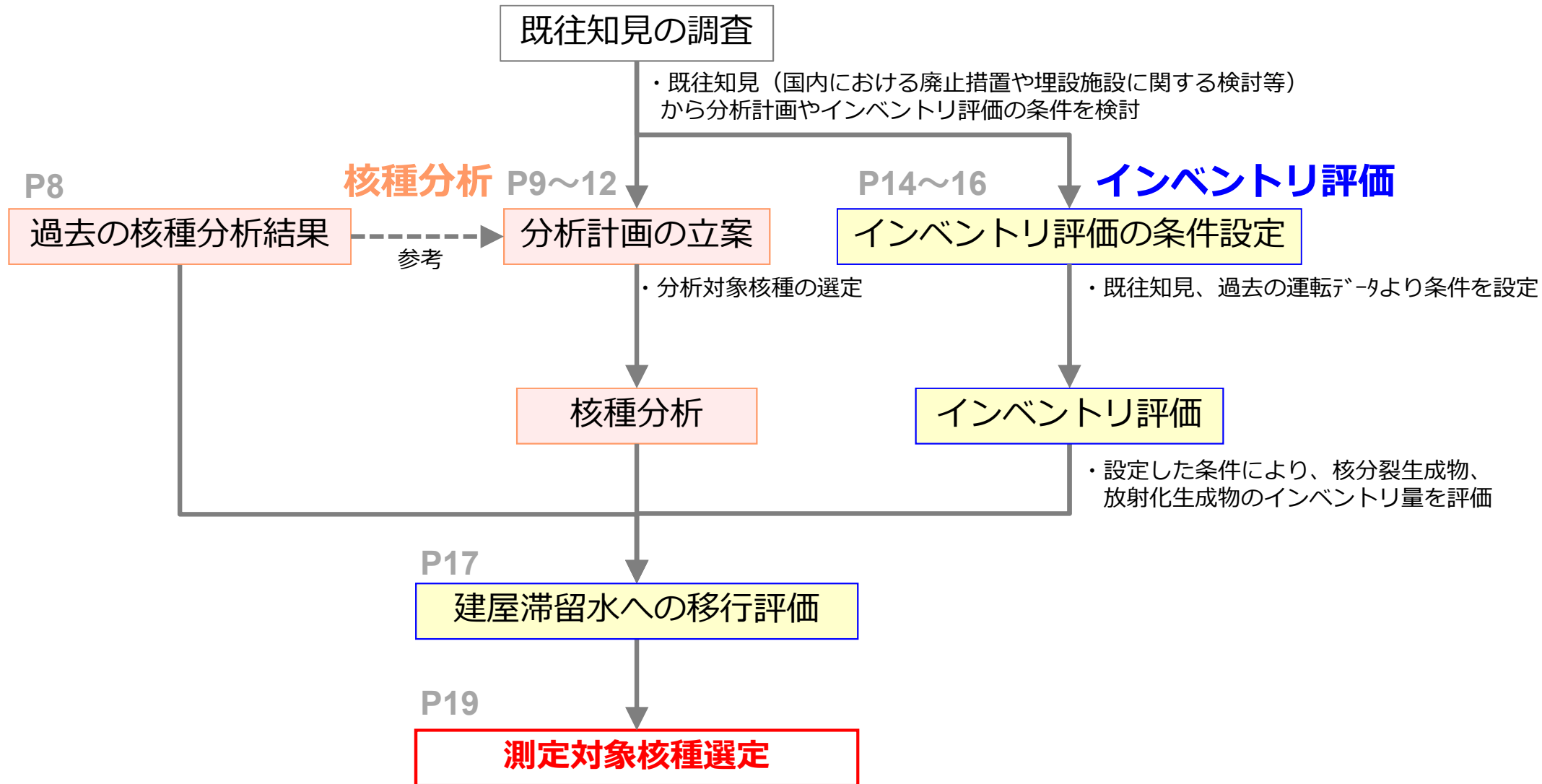
- ALPS除去対象核種検討時と同様に核分裂生成物のインベントリ評価を実施すると共に、廃止措置や埋設施設に関する研究を参考に、原子炉圧力容器内の構造物等の放射化により生成するインベントリ量を評価する。なお、評価に当たっては、震災後から放出までに12年経過したことを考慮して、減衰によるインベントリ量の減少を考慮する。  
上記評価結果から、水への移行しやすさ等を考慮した上で、建屋滞留水中に含まれる可能性のある核種の存在を確認する。

- なお、本検討では、 $\alpha$ 核種についても核種分析、インベントリ評価を実施するが、これは建屋滞留水に含まれる可能性のある $\alpha$ 核種の性状を確認することが目的であり、実際の運用ではこれまで通り全 $\alpha$ で測定を行う。

## 2 - 1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

### 【補足】 検討の全体像

- 検討の方向性をまとめると下図の通り。



- ・  $\beta$ ・ $\gamma$ 核種は、告示濃度限度比を基準に測定対象核種を選定
- ・  $\alpha$ 核種は、全 $\alpha$ で測定を行うことから、全 $\alpha$ の結果に包含されることを確認

## 2. 汚染水、処理水の核種分析について



## 2 - 1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

### 2.1 過去の核種分析結果

- ALPS処理水等の核種分析は、至近に当社で測定を実施しているALPS除去対象核種（62核種）、H-3、C-14以外に、JAEA殿及び当社で20核種を分析している（JAEA殿、当社にて公表済み※）。
- 測定対象核種の検討に当たっては、これら過去の分析結果を考慮すると共に、必要に応じて追加で分析を計画する。

※<https://frandli-db.jaea.go.jp/FRAnDLi/>にて公表（一部、当社が公表しているデータを引用して掲載）

核分裂生成物：56核種

Rb-86	Sr-89	Sr-90	Y-90	Y-91	Nb-95	Tc-99
Ru-103	Ru-106	Rh-103m	Rh-106	Ag-110m	Cd-113m	Cd-115m
Sn-119m	Sn-123	Sn-126	Sb-124	Sb-125	Te-123m	Te-125m
Te-127	Te-127m	Te-129	Te-129m	I-129	Cs-134	Cs-135
Cs-136	Cs-137	Ba-137m	Ba-140	Ce-141	Ce-144	Pr-144
Pr-144m	Pm-146	Pm-147	Pm-148	Pm-148m	Sm-151	Eu-152
Eu-154	Eu-155	Gd-153	Tb-160	Pu-238	Pu-239	Pu-240
Pu-241	Am-241	Am-242m	Am-243	Cm-242	Cm-243	Cm-244

腐食生成物：6核種

Mn-54
Fe-59
Co-58
Co-60
Ni-63
Zn-65

左記以外の核種：2核種

H-3	C-14
-----	------

64核種以外の核種：20核種

Cl-36	Ca-41	Ni-59
Se-79	Nb-94	Mo-99
Tc-99m	Te-132	I-131
I-132	La-140	U-233
U-234	U-235	U-236
U-238	Np-237	Pu-242
Cm-245	Cm-246	

過去の核種分析核種一覧

### 2.2 分析計画における既往知見

- 今回、改めて実施する核種分析では、廃止措置や埋設施設に関する研究において着目されている核種が、建屋滞留水等に有意に存在するか否か確認する。
- 確認した既往知見は下記の通り。

- ① 電力共同研究『BWR型原子炉の廃止措置に関する研究（その2）』（平成8年度）
- ② 東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設事業許可申請『主要な放射性核種の選定について』（平成30年2月 日本原子力発電株式会社）
- ③ JAEAが1F放射性廃棄物性状把握のため、分析対象核種を検討した際の研究資料
  - 『低レベル放射性廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について』においてトレンチ処分、ピット処分、余裕深度処分を対象に原子炉廃棄物とサイクル廃棄物のいずれかに含まれる核種のうち相対重要度D/Cが最大となる核種に対して上位3桁までの核種
  - 『TRU廃棄物処分技術検討書－第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ』において重要核種に選定されているもの
  - 『わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－総論レポート』において重要核種に選定されているもの
  - 『日本原燃六ヶ所低レベル放射性廃棄物貯蔵センター（浅地中ピット処分）及びJPDR（浅地中トレンチ処分）の埋設事業許可申請書』

- 既往知見における評価対象核種には、ALPS除去対象核種検討時に確認した核種も多く含まれることを確認。そのため、以下観点で分析計画を立案。

- 既往知見から抽出した核種のうち、これまで評価が出来ていない核種（ただし、半減期が短く、減衰によるインベントリ量が十分減少する核種を除く）

## 2 - 1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

### 2.3 既往知見から抽出した分析候補核種 (α核種以外)

- 先の既往知見より、α核種以外の分析対象核種を下表の通り抽出。なお、ここで抽出された核種は、現時点で当社での測定が困難な核種であるため、外部機関を利用した測定を計画。
- 下表で抽出した核種は、1Fにおいて代表的な核種であるCs-137 (Ba-137m) : 0.662MeV (γ線)、Sr-90 (Y-90) : 2.28MeV (β線) と比べると、主にエネルギーが小さい核種が抽出されている。

No.	文献 (P9)	候補核種	壊変 形式	エネルギー [MeV]	告示濃度限度 [Bq/cm <sup>3</sup> ]	測定方法 (案)	備考
1	①～③	Cl-36	β-	0.709550	9.0E-01	前処理 (分離、沈殿) 後、 低バックグラウンド計数装置	分析検討中 社外にて分析実績有※1
2	①、③	Se-79	β-	0.150630	2.0E-01	前処理 (分離、沈殿、再溶解) 後、 液体シンレーションカウンタ	社外にて分析実績有※1
3	①～③	Zr-93	β-	0.090800	1.0E+00	前処理 (分離) 後、 誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS)	
4	③	Pd-107	β-	0.034000	2.0E+01		
5	①～③	Ca-41	EC	0.003310	4.0E+00	前処理 (分離、ろ過、蒸発乾固) 後、 Si (Li) 検出器	社外にて分析実績有※1
6	①、②	Fe-55	EC	0.005900	2.0E+00		
7	①～③	Ni-59	EC	0.006930	1.0E+01		
8	②	Nb-93m	IT	0.016615	7.0E+00	前処理 (分離) 後、 低バックグラウンド光子測定装置 (LEPS)	
9	①、③	Mo-93	EC	0.016615	3.0E-01		
10	③※2	Sn-121m	β- IT	0.359800 0.026359	2.0E+00		※2: 研究資料より、被 覆管等のジルカロイから Snの同位体の中で最も 生成されるため抽出
11	①、②	Ba-133	EC	0.356013	5.0E-01	ゲルマニウム半導体検出器 (Ge)	

※1: Cl-36: 検出限界未滿 (8.0E-03~1.4E-01Bq/cm<sup>3</sup>: 2011~2015年)、Ca-41: 検出限界未滿 (2.0E+01~1.7E+02Bq/L: 2011~2013年)

Se-79: 滞留水では2.2E-01~8.3E+00Bq/cm<sup>3</sup>で検出 (2011~2013年)、ALPS入口~出口では検出限界未滿 (5.0E-02~3.0E-01Bq/cm<sup>3</sup>: 2013~2017年)

## 2 - 1 (2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

### 2.4 既往知見から抽出した分析候補核種 (α核種)

- 同様に、α核種についても、既往知見から分析候補核種を抽出。なお、ここで抽出された核種は、現時点で当社での測定が困難な核種であるため、外部機関を利用した測定を計画。
- これらを分析することで、建屋滞留水中に有意に含まれる可能性のあるα核種を確認する。

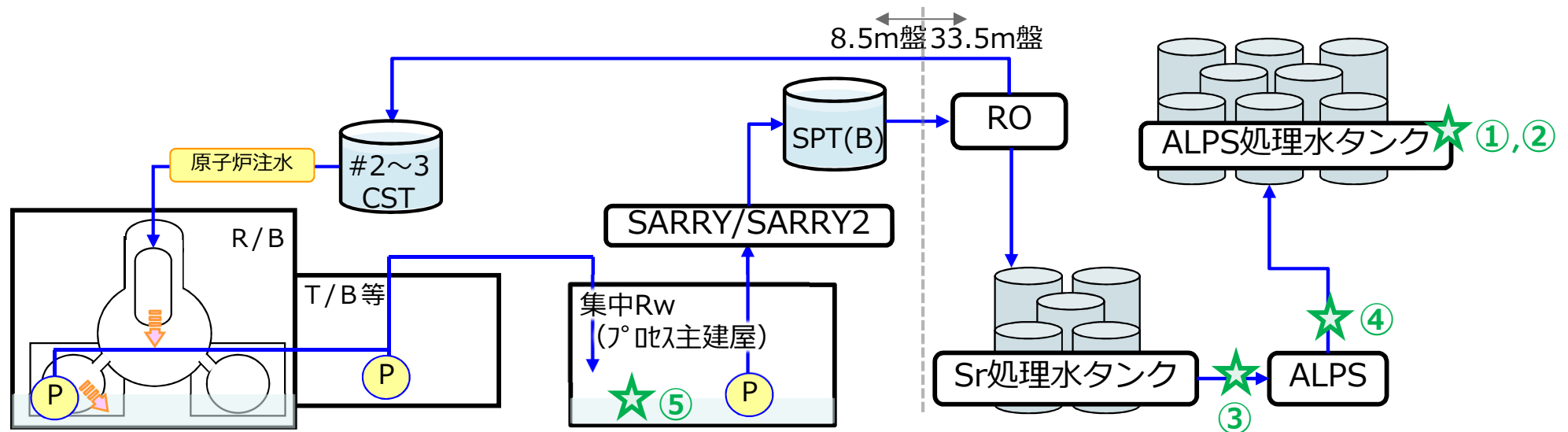
No.	文献 (P9)	候補核種	壊変形式	エネルギー [MeV]	告示濃度限度 [Bq/cm <sup>3</sup> ]	半減期 [y]	測定方法 (案)	備考
1	③	U-233	α	4.824200	2.0E-02	1.6E+05	前処理 (分離) 後、 誘導結合プラズマ 質量分析装置 (ICP-MS)	社外にて分析実績有(N.D.)
2	①、③	U-234	α	4.774600	2.0E-02	2.5E+05		社外にて分析実績有
3	①、③	U-235	α	4.395400	2.0E-02	7.0E+08		社外にて分析実績有
4	①、③	U-236	α	4.494000	2.0E-02	2.3E+07		社外にて分析実績有
5	①、③	U-238	α	4.198000	2.0E-02	4.5E+09		社外にて分析実績有
6	①、③	Np-237	α	4.788000	9.0E-03	2.1E+06		社外にて分析実績有
7	①~③	Pu-238	α	5.499030	4.0E-03	8.8E+01	前処理 (分離) 後、 αスペクトロメータ	Pu-238~Pu-241はALPS除去 対象核種 Pu-241は同位体により濃度 を推定
8	①~③	Pu-239	α	5.156590	4.0E-03	2.4E+04		
9	①~③	Pu-240	α	5.168170	4.0E-03	6.6E+03		
10	①~③	Pu-241	β-	0.020780	2.0E-01	1.4E+01	—	
11	①、③	Pu-242	α	4.902300	4.0E-03	3.8E+05	前処理 (分離) 後、 αスペクトロメータ	社外にて分析実績有(N.D.)
12	①~③	Am-241	α	5.485560	5.0E-03	4.3E+02		Am-241~Am-243はALPS除 去対象核種
13	①、③	Am-242m	IT	0.018856	5.0E-03	1.4E+02	—	Am-241とAm-243はI補正が 近い合算値で測定 Am-242mは同位体により濃 度を推定
14	①、③	Am-243	α	5.275300	5.0E-03	7.4E+03	前処理 (分離) 後、 αスペクトロメータ	
15	③	Cm-242	α	6.112720	6.0E-02	4.5E-01		Cm242~Cm-234はALPS除 去対象核種
16	③	Cm-243	α	5.785200	6.0E-03	2.9E+01		Cm-243とCm-244、Cm- 245とCm-246はI補正が近 いため合算値で測定
17	①、③	Cm-244	α	5.804770	7.0E-03	1.8E+01		Cm-245、Cm-246は社外に て分析実績有
18	③	Cm-245	α	5.361100	5.0E-03	8.4E+03		
19	③	Cm-246	α	5.386500	5.0E-03	4.7E+03		

## 2-1(2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

### 2.5 分析試料

■ 前頁までに抽出した分析候補核種について、下表の試料の分析で確認を実施中。

No.	採取箇所	目的	選定理由
①	K4タンク群 (ALPS処理水)	ALPS処理水中に有意に存在しない (ALPSで除去されている) ことを 確認するため	構内に貯留されているALPS処理水で最も告示 濃度比総和が低い
②	H4-E7タンク (ALPS処理水)		ALPS処理水タンクの中で、C-14の測定値が 最も大きい
③	増設ALPS処理前 (Sr処理水)	ALPS処理前に有意に存在するこ とが確認された核種が、ALPS処理後 には除去されていることを確認する ため	ALPS処理前の水の性状を確認
④	増設ALPS処理後 (ALPS処理水)		③と同時期のALPS処理後の水の性状を確認
⑤	プロセス主建屋 (建屋滞留水)	建屋滞留水中に有意に存在する核種 を確認するため	建屋滞留水の性状を確認



### 3. 核分裂生成物、放射化生成物の検討

### 3.1 インベントリ評価の概要

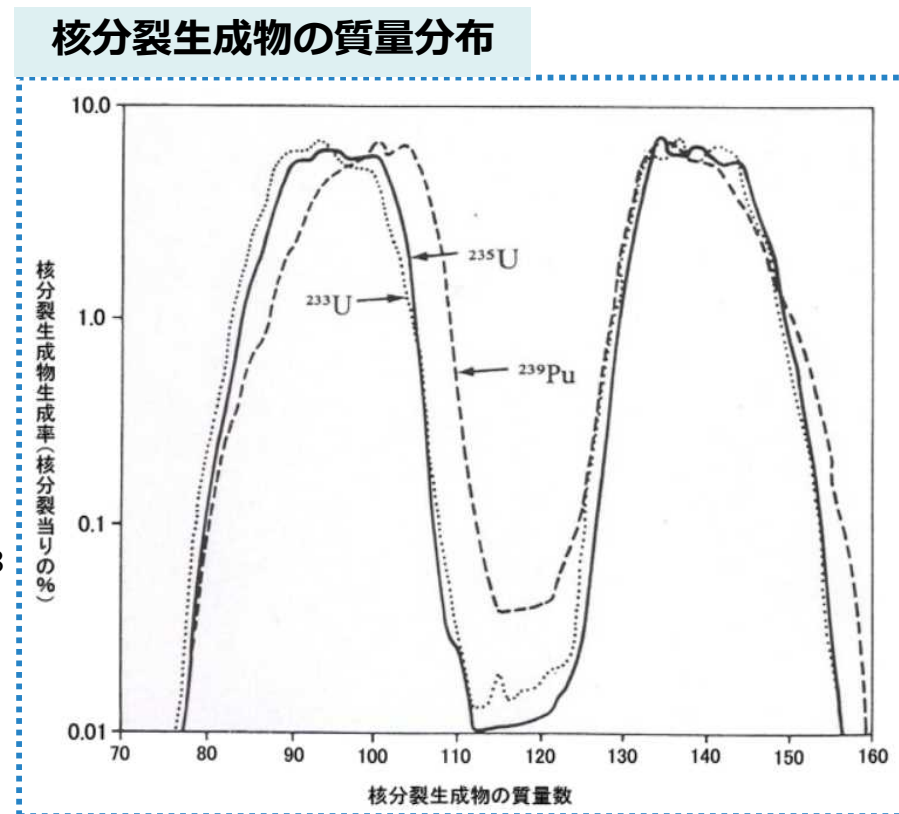
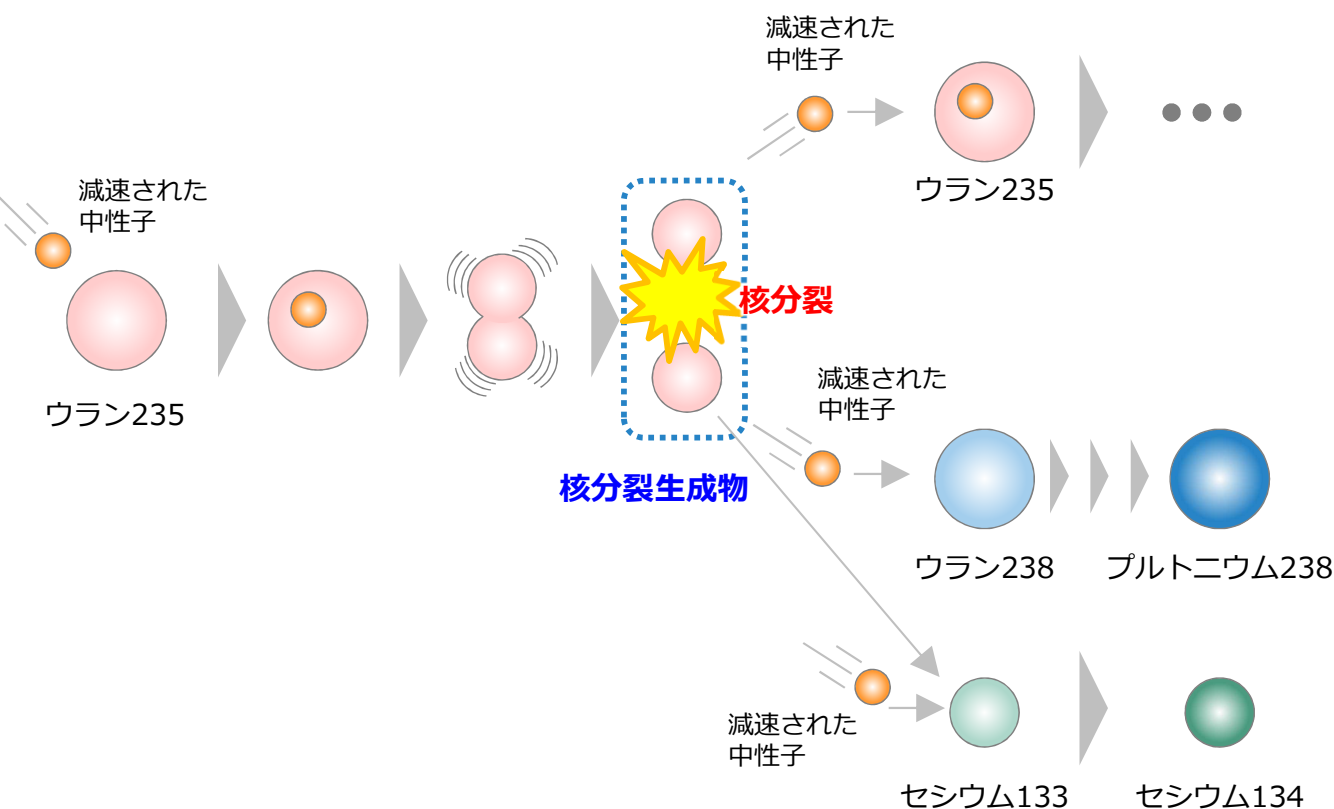
- インベントリ評価では、これまで原子力発電所の安全評価で核分裂生成物を評価している（ALPS除去対象核種検討にも使用）他、廃止措置や埋設施設に関する研究では、原子力発電所内の機器の放射化計算が実施されている。
- 本検討では上記2つの評価を参考に、下表の通り検討を進める。なお、使用するコードは、過去の評価と同様にORIGEN※とする。

※：ORNL Isotope Generation and Depletion Code. 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

No.	評価	内容
1	核分裂生成物評価	<p>通常の原子炉発電所の安全評価を参考（ALPS除去対象核種検討時と同様）に、1F-1～3の原子炉圧力容器内に装荷されていた燃料の条件および、各燃料の装荷期間から想定される燃焼度等の条件から、2011年3月時点のインベントリ量を評価。</p> <p>2011年3月以降は、減衰による12年間のインベントリ量の減少を計算。</p>
2	放射化生成物評価	<p>廃止措置や埋設施設に関する研究を参考に、原子炉圧力容器内及びその下部に存在する、以下4種類の機器・構造物について、炉心からの照射期間を踏まえた、2011年3月時点のインベントリ量を評価。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 炉内構造物</li> <li>・ 燃料体（核燃料物質除く）</li> <li>・ 圧力容器</li> <li>・ ペDESTAL</li> </ul> <p>他に、原子炉冷却システムを構成している機器等の構成材料の腐食、放射化により生成される腐食生成物についても、運転時の給水金属データ等を使用して、2011年3月時点のインベントリ量を評価。</p> <p>いずれの評価においても、2011年3月以降は、減衰による12年間のインベントリ量の減少を計算。</p>

### 3.2 インベントリ評価の概要（核分裂生成物）

- ALPS除去対象核種検討時と同様に、核分裂により発生する生成物を評価すると共に、今回は2011年3月から12年間経過することを踏まえた減衰を考慮して評価する。
- 本評価では、主に以下の現象によって生成、壊変、減損されるインベントリ量を評価する。
  - ウラン235が核分裂する際、主に質量数95と140付近をピークに2つの核種に分裂する。
  - ウラン238が中性子を吸収して生成するプルトニウムなどの核種や、核分裂生成物が中性子を吸収して生成するセシウム134のような核種も発生する。



参考：エネ百科「ウランの核分裂とプルトニウムの生成・核分裂」  
環境省 原子炉内の生成物

ATOMICA「核分裂生成物の質量数分布」より  
出典：W.マーシャル編：原子炉技術の発展（上）、裳華房、P72

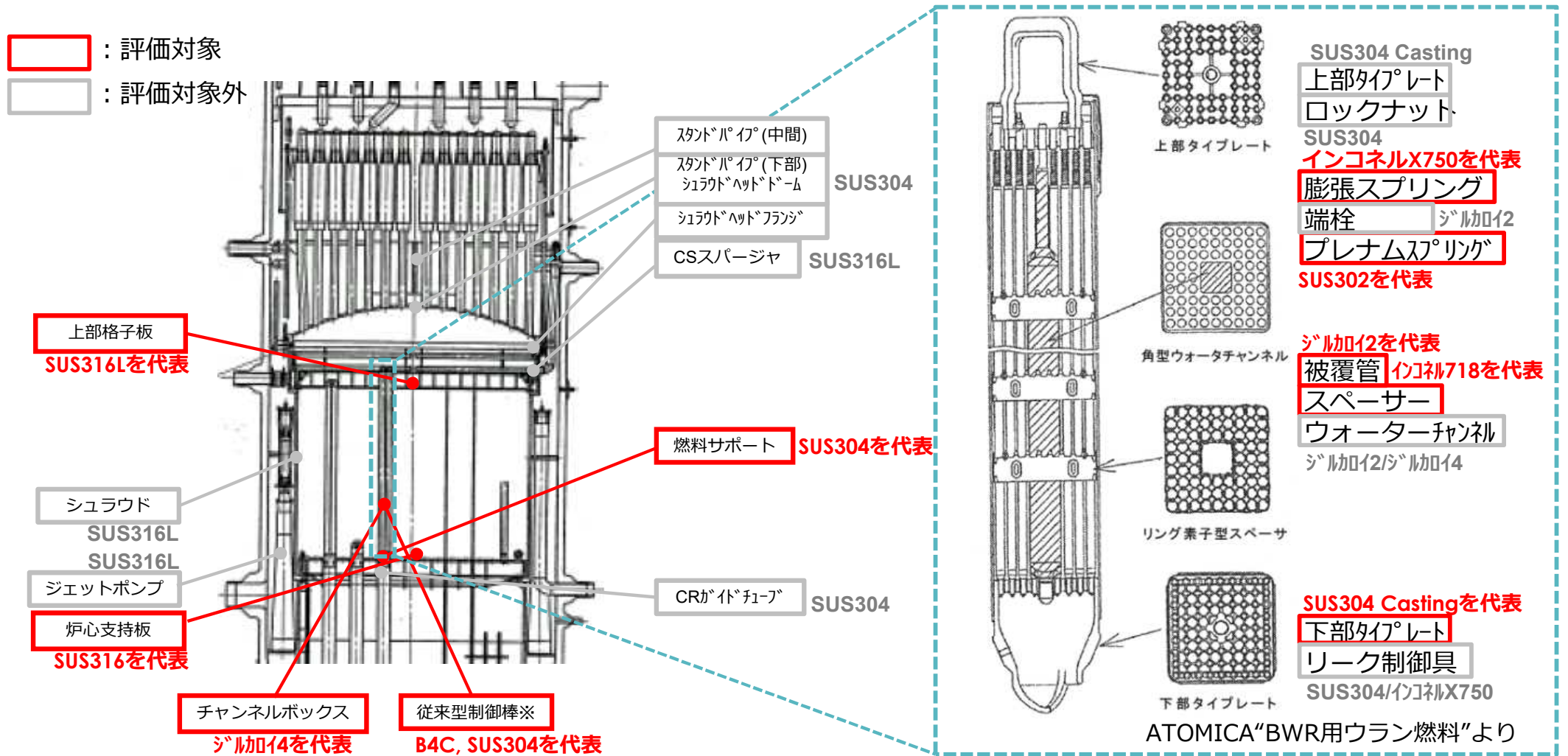


## 2-1(2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

### 3.3 インベントリ評価の概要（放射化生成物）

- 放射化生成物の評価では、材料に中性子が吸収されることによって生じる放射化を計算によって評価する。なお、本評価では、全ての機器を評価するのではなく、材料が重複する場合は、保守的に炉心に近い（放射化量が多い）ものを選定して評価を行う。

: 評価対象  
 : 評価対象外



※震災時、1F-1~3の炉内にHf型制御棒が存在しないことを確認

BWR炉内構造物点検評価ガイドライン“BWR炉内構造物構造図”より

炉内構造物インベントリ評価の対象

燃料体（核燃料物質除く）の  
インベントリ評価の対象

3.4 建屋滞留水への移行評価

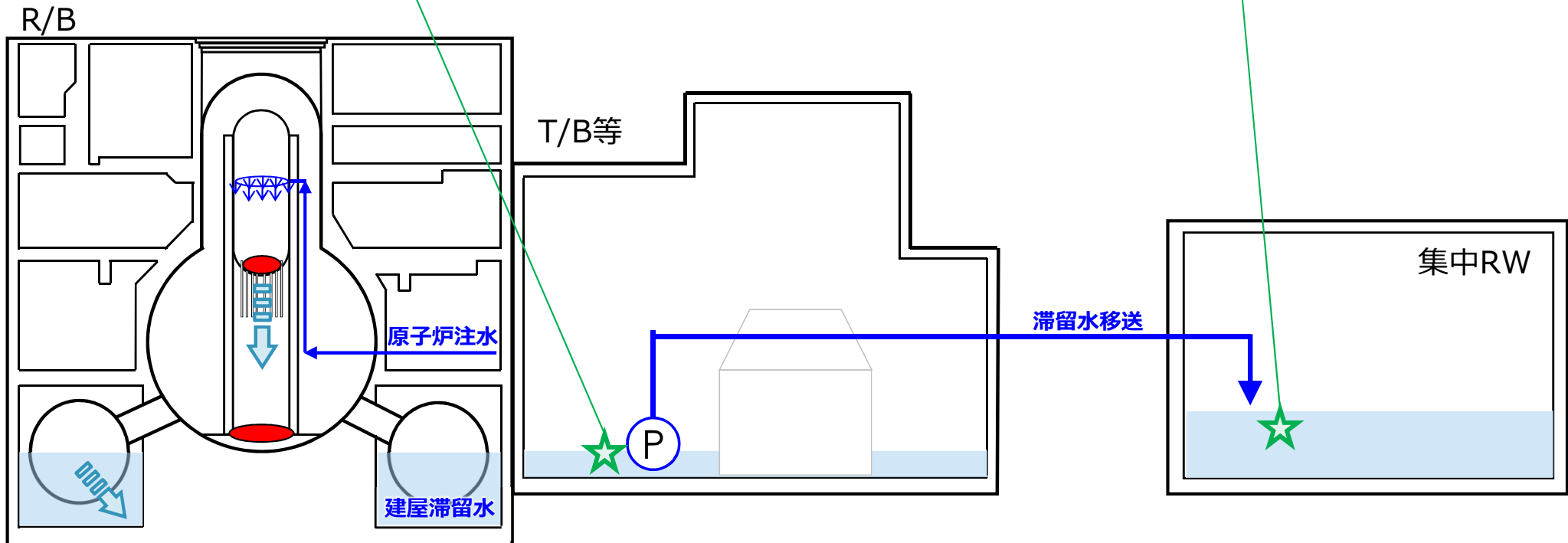
- 核分裂生成物並びに放射化生成物のインベントリ量を評価した上で、これらの放射性物質が建屋滞留水へ移行していることを踏まえて、過去の建屋滞留水の分析結果及び廃止措置や埋設施設に関する研究、その他の文献等から建屋滞留水への移行評価を行う。

過去の建屋滞留水の分析結果 [Bq/L]

建屋	日付	I-131	Cs-137	Sr-90
1号機T/B	2011.3.27	3.0E+07	1.6E+08	2.1E+04
2号機T/B	2011.3.24	2.0E+09	2.8E+08	1.4E+08
3号機T/B	2011.3.27	1.6E+09	1.6E+08	1.5E+07

過去の建屋滞留水の分析結果 [Bq/L]

建屋	日付	Co-60	Cs-137	Sr-90
PMB	2011.8.30	1.1E+04	9.6E+08	1.1E+08
PMB	2011.11.1	4.9E+03	7.4E+08	2.9E+08



過去の建屋滞留水の分析結果と震災直後の建屋滞留水の状況 (イメージ)

## 4. ALPS処理水の測定対象核種選定の考え方（案）

審査会合における主な指摘事項（主要な論点毎）※1

2-2 政府方針への取り組みに関する確認

(3) 海洋放出による周辺環境への放射線影響評価※2

- ソースタームとして、64核種（トリチウム、炭素14及びALPS除去対象62核種）を設定しているが、ソースタームの設定に当たっては、ALPS処理水中に理論的にどのような核種が存在しうるのかを評価した上で、評価対象核種を絞り込むなどの選定の考え方を明示すること

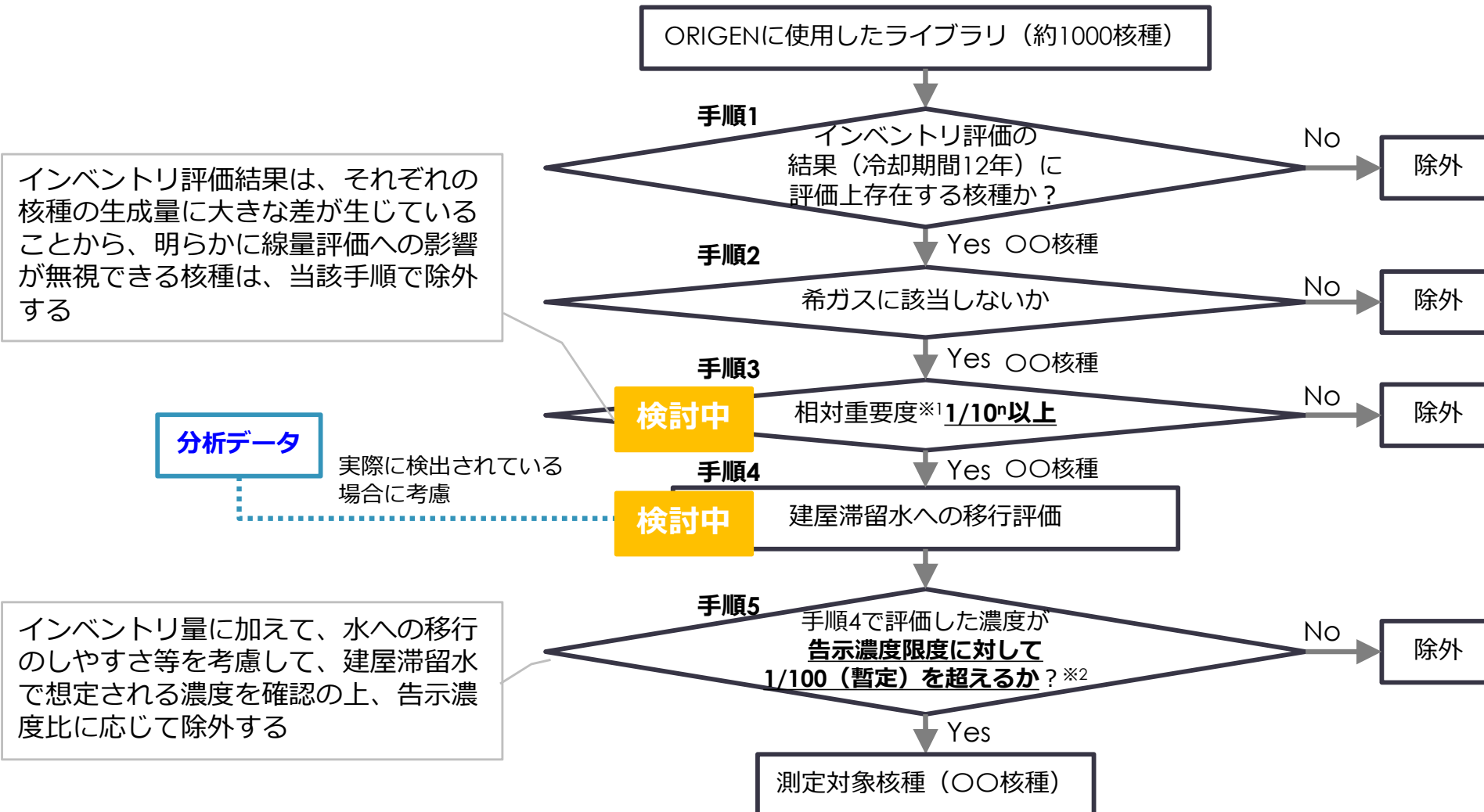
※1：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

※2：論点の内容は異なるものの、核種の選定の考え方は本項目にて回答する。

## 2-1(2) ①ALPS処理水中の核種の放射能濃度の分析方法・体制

### 4.1 ALPS処理水の測定対象核種選定の考え方（案）

- 汚染水、処理水の核種分析の結果並びにインベントリ評価の結果から、以下のフローに従い、測定対象核種を選定することを検討中。当該フローで選定された核種にて放出基準を確認する予定。
- なお、今回の測定対象核種選定において、ALPS除去対象核種が除外されたとしても、ALPSで除去されたことを確認するため、当社が自主的にこれらの核種も確認する計画。



※1：それぞれの核種のインベントリ量を告示濃度限度で除した値と、その総和に対する比により、線量評価に影響を与える核種を確認  
※2： $\alpha$ 核種は全 $\alpha$ で測定するため、 $\alpha$ 核種の全Bq数に対して、最も厳しい告示濃度（4Bq/L）に対する比により評価する

## ALPS処理水の海洋放出設備の申請内容等に係る主要な論点※ に対する回答

※ALPS処理水審査会合（第3回）資料1-2

### （2－1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）

#### （1）海洋放出設備

#### ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

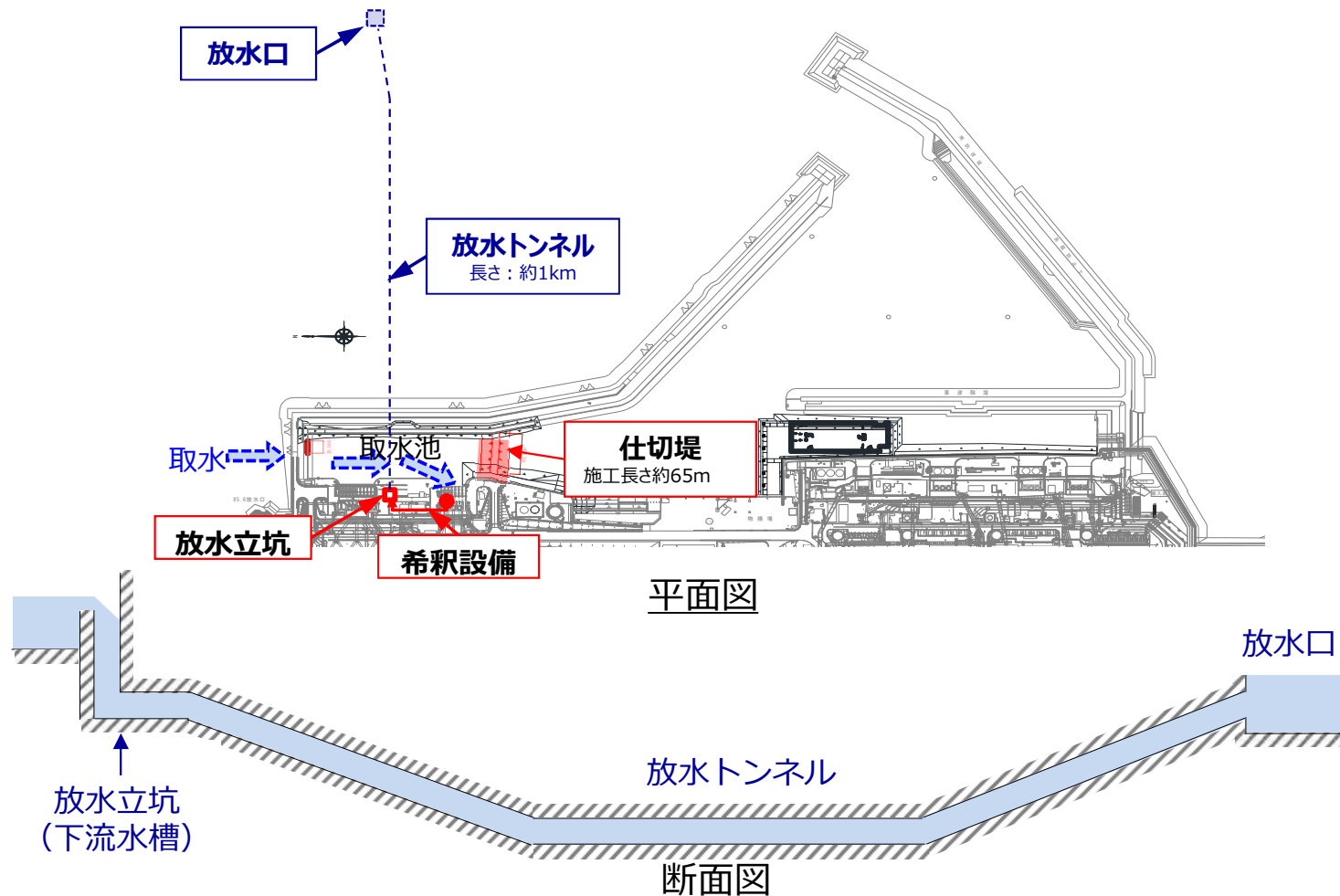
- 混合希釈率の設定や敷地境界における実効線量の評価に当たっては、海水の取水箇所が存在する放射性物質の影響を考慮するとともに、その影響が無視できない場合には、港湾内の放射性物質の取水箇所への移行を防止するための対策を説明すること。

## 2 - 1 (1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

### 1. 取水方法および放水トンネルの全体像

#### ■ 取放水設備

- 取水設備は、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号機側の港湾から仕切り、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設計とする。
- 放水設備は、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。



# 2 - 1 (1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

## 2. 安全確保のための設備の全体像



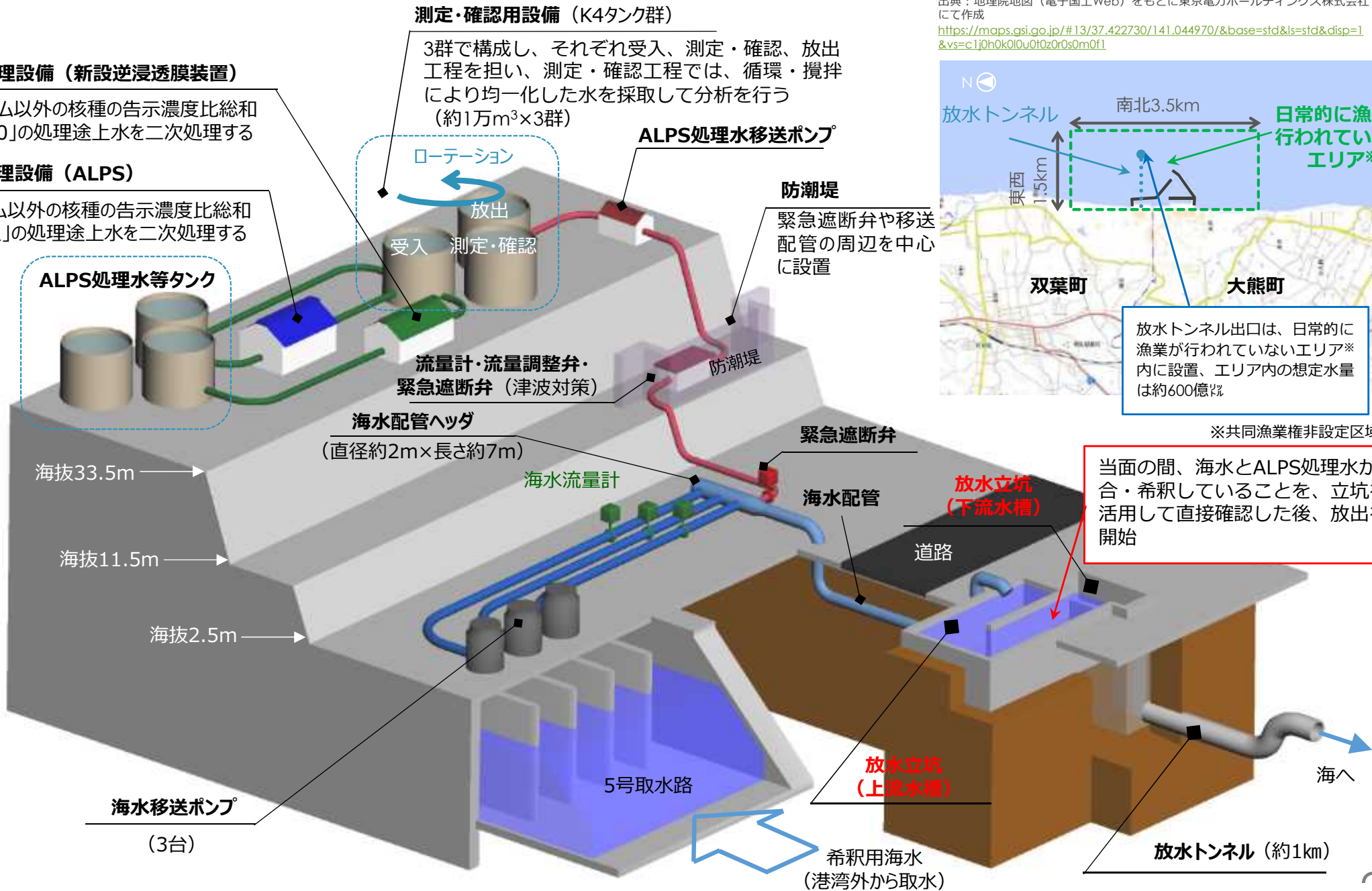
出典：地理院地図（電子国土Web）をもとに東京電力ホールディングス株式会社にて作成  
<https://maps.gsi.go.jp/#13/37.422730/141.044970/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>



放水トンネル出口は、日常的に漁業が行われていないエリア※内に設置、エリア内の想定水量は約600億ℓ

※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取して分析を行う（約1万m<sup>3</sup>×3群）

ローテーション

受入 測定・確認 放出

**ALPS処理水移送ポンプ**

**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）**

**防潮堤**

**海水配管ヘッダ（直径約2m×長さ約7m）**

**緊急遮断弁**

海拔33.5m

**海水流量計**

**海水配管**

**放水立坑（下流水槽）**

海拔11.5m

**道路**

海拔2.5m

**5号取水路**

**放水立坑（上流水槽）**

海へ

**海水移送ポンプ（3台）**

希釈用海水（港湾外から取水）

**放水トンネル（約1km）**

## 海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

### 希釈用海水に含まれる放射性物質による被ばくへの影響について

審査会合における主な指摘事項（主要な論点毎）※1

- 取水側の海水中の放射性物質濃度を含めた水質の確認結果を示すこと。

※1：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

取水方法

放水方法



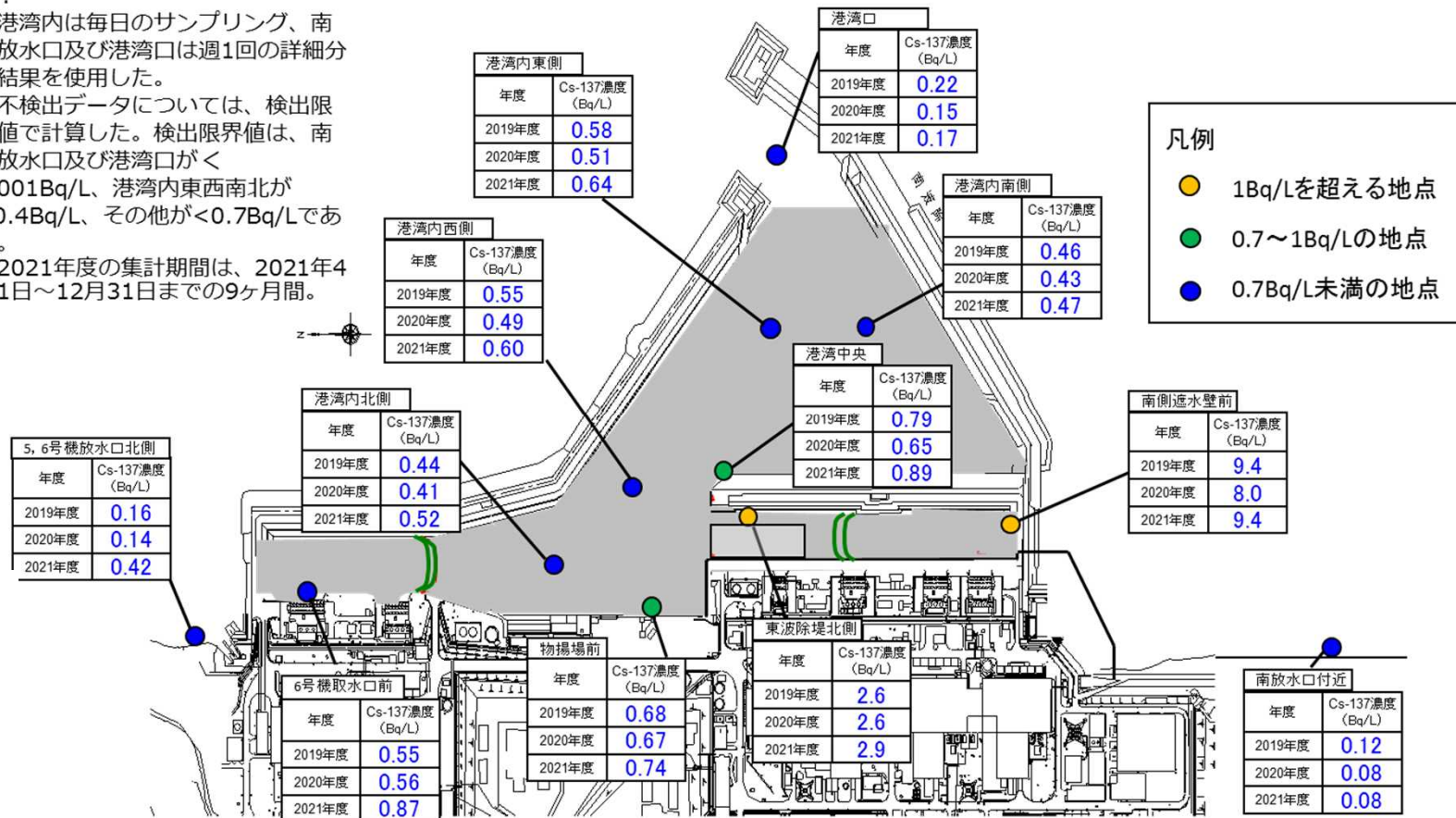
## 2-1(1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

### 3.1 港湾の海水濃度について

- ALPS処理水の希釈用海水は、5号機取水口から取水する計画であるが、港湾内の海水濃度は周辺海域の海水よりも若干高い放射性物質濃度となっていることや、港湾内の海底土等の影響を考慮し、5,6号機放水口北側から海水を引き込む計画である。
- 5,6号機放水口北側から港湾外の海水を取水した場合と、港湾内の海水を取水した場合で、海洋に放出した場合の影響がどの程度異なるのか、放射線影響評価報告書（2021.11.17公表）の方法により比較を行った。
- 港湾のCs-137濃度の現状は下図の通り。

注：

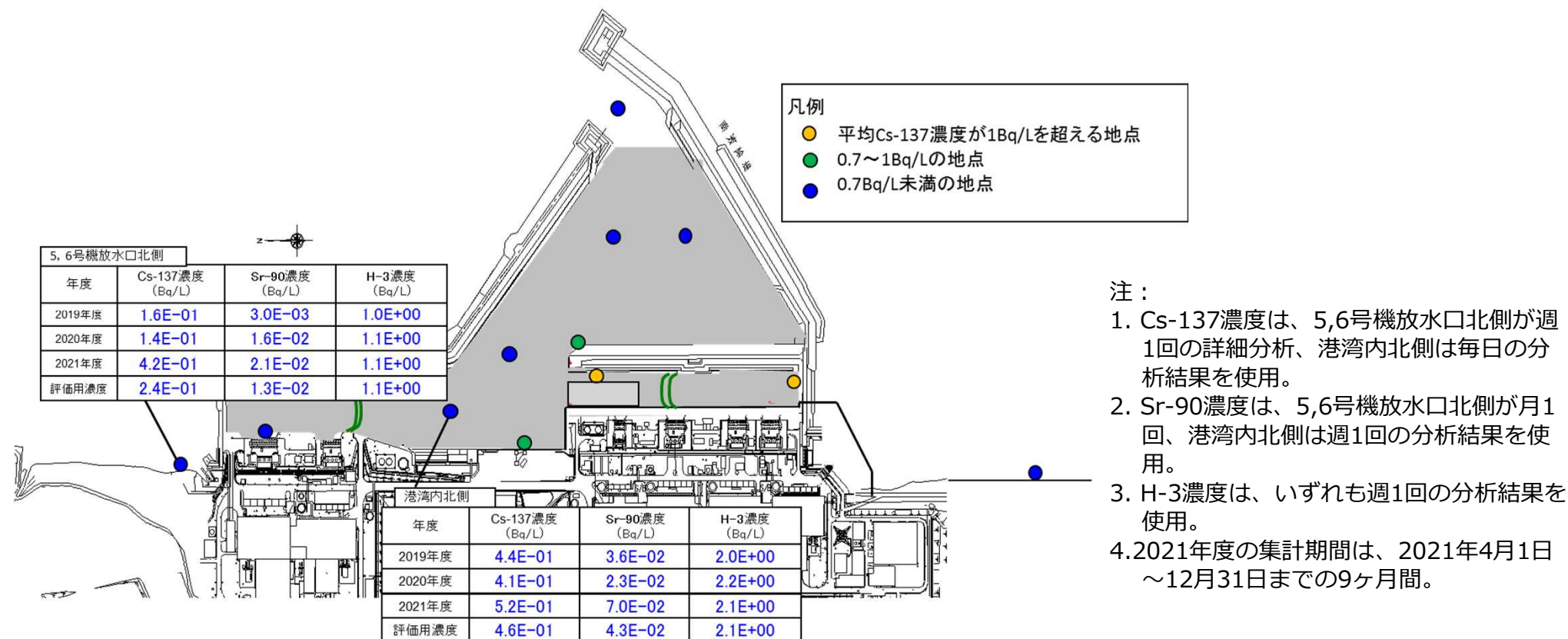
1. 港湾内は毎日のサンプリング、南北放水口及び港湾口は週1回の詳細分析結果を使用した。
2. 不検出データについては、検出限界値で計算した。検出限界値は、南北放水口及び港湾口が <math>0.001\text{Bq/L}</math>、港湾内東西南北が <math><0.4\text{Bq/L}</math>、その他が <math><0.7\text{Bq/L}</math> である。
3. 2021年度の集計期間は、2021年4月1日～12月31日までの9ヶ月間。



## 2 - 1 (1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

### 3.2 評価に使用する海水濃度について

- 取水する海水の濃度としては、港湾外取水が5,6号機放水口北側、港湾内取水が港湾内北側のモニタリング結果（2019年度から約3年間）から下表の通り設定した。
- 対象核種は、Cs-137、Sr-90、H-3（Cs-137、Sr-90は、子孫核種Ba-137とY-90が同じ濃度で含まれるものとした）とした。
- なお、港湾内外で検出下限値が異なる（港湾内の方が高い）ため、港湾内北側のCs-137、H-3は過大評価となっている可能性が高いものの、5,6号機放水口北側の方が低濃度であることは変わらない。



- 注：
1. Cs-137濃度は、5,6号機放水口北側が週1回の詳細分析、港湾内北側は毎日の分析結果を使用。
  2. Sr-90濃度は、5,6号機放水口北側が月1回、港湾内北側は週1回の分析結果を使用。
  3. H-3濃度は、いずれも週1回の分析結果を使用。
  4. 2021年度の集計期間は、2021年4月1日～12月31日までの9ヶ月間。

### 3.3 被ばく評価の方法

- 以下の式により、希釈用海水の中に含まれる核種毎のインベントリ（年間の放射能移動量）を求め、被ばく評価用のソースターム（ALPS処理水の年間放出放射エネルギー）に加えて評価した。

$$\text{年間移動量[Bq/年]} = \text{評価用海水濃度[Bq/L]} \times 34\text{万[m}^3\text{/日]} \times 1000\text{[L/m}^3\text{]} \times 365\text{[日/年]} \times 0.8\text{(稼働率)}$$

- 被ばく評価用のソースタームとして、放射線影響評価に用いた「K4タンク群の実測値」及び「仮想したALPS処理水」の2種類を用いた。また、追加した放射能移動量は下表の通り。

表 希釈用海水の核種毎の年間の放射能移動量

	5, 6号機放水口北側取水		港湾内北側取水	
	評価用濃度 (Bq/L)	移動量 (Bq/年)	評価用濃度 (Bq/L)	移動量 (Bq/年)
Cs-137	2.4E-01	2.4E+10	4.6E-01	4.6E+10
Sr-90	1.3E-02	1.3E+09	4.3E-02	4.3E+09
H-3	1.1E+00	1.1E+11	2.1E+00	2.1E+11

## 2 - 1 (1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

### 3.4 評価結果

- 被ばく評価の結果は下表の通り。
- いずれの評価結果も線量限度1mSv/年や線量目標値0.05mSv/年と比べてわずかであるが、港湾外の5,6号機放水口北側からの取水の方が、被ばく影響は小さい。

表1 人に関する被ばく評価結果

評価ケース		K4タンク群の実測値			仮想したALPS処理水			備考
		放射線影響評価 報告書	5, 6号機放水口 北側取水	港湾内北側取水	放射線影響評価 報告書	5, 6号機放水口 北側取水	港湾内北側取水	
外部被ばく (mSv/年)	海水面からの被ばく	6.5E-09	5.1E-08	9.3E-08	1.8E-07	2.3E-07	2.7E-07	
	船体からの被ばく	5.2E-09	4.1E-08	7.4E-08	1.4E-07	1.7E-07	2.0E-07	
	海中作業における被ばく	2.8E-10	2.3E-09	4.1E-09	7.9E-09	9.9E-09	1.2E-08	
	砂浜からの被ばく	5.0E-07	4.1E-06	7.5E-06	1.4E-05	1.7E-05	2.1E-05	
	漁網からの被ばく	1.6E-06	1.2E-05	2.1E-05	4.5E-05	5.5E-05	6.4E-05	
内部被ばく (mSv/年)		6.1E-05	6.9E-05	7.6E-05	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	成人の値
合計 (mSv/年)		6.3E-05	8.5E-05	1.1E-04	2.1E-03	2.1E-03	2.1E-03	

表2 年齢別の内部被ばく評価結果

評価ケース		K4タンク群の実測値			仮想したALPS処理水			備考
		放射線影響評価 報告書	5, 6号機放水口 北側取水	港湾内北側取水	放射線影響評価 報告書	5, 6号機放水口 北側取水	港湾内北側取水	
内部被ばく (mSv/年)	成人	6.1E-05	6.9E-05	7.6E-05	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	
	幼児	9.4E-05	9.7E-05	1.0E-04	3.1E-03	3.1E-03	3.1E-03	
	乳児	1.1E-04	1.1E-04	1.2E-04	3.9E-03	3.9E-03	3.9E-03	

## 海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

希釈用海水に含まれる放射性物質による被ばくへの影響について

### 取水方法

審査会合における主な指摘事項（主要な論点毎）※1

- 取水設備、海底トンネル等の放水関係の説明の際には、仕切提の考え方や海水取水箇所への移行率の考え方を示すこと。

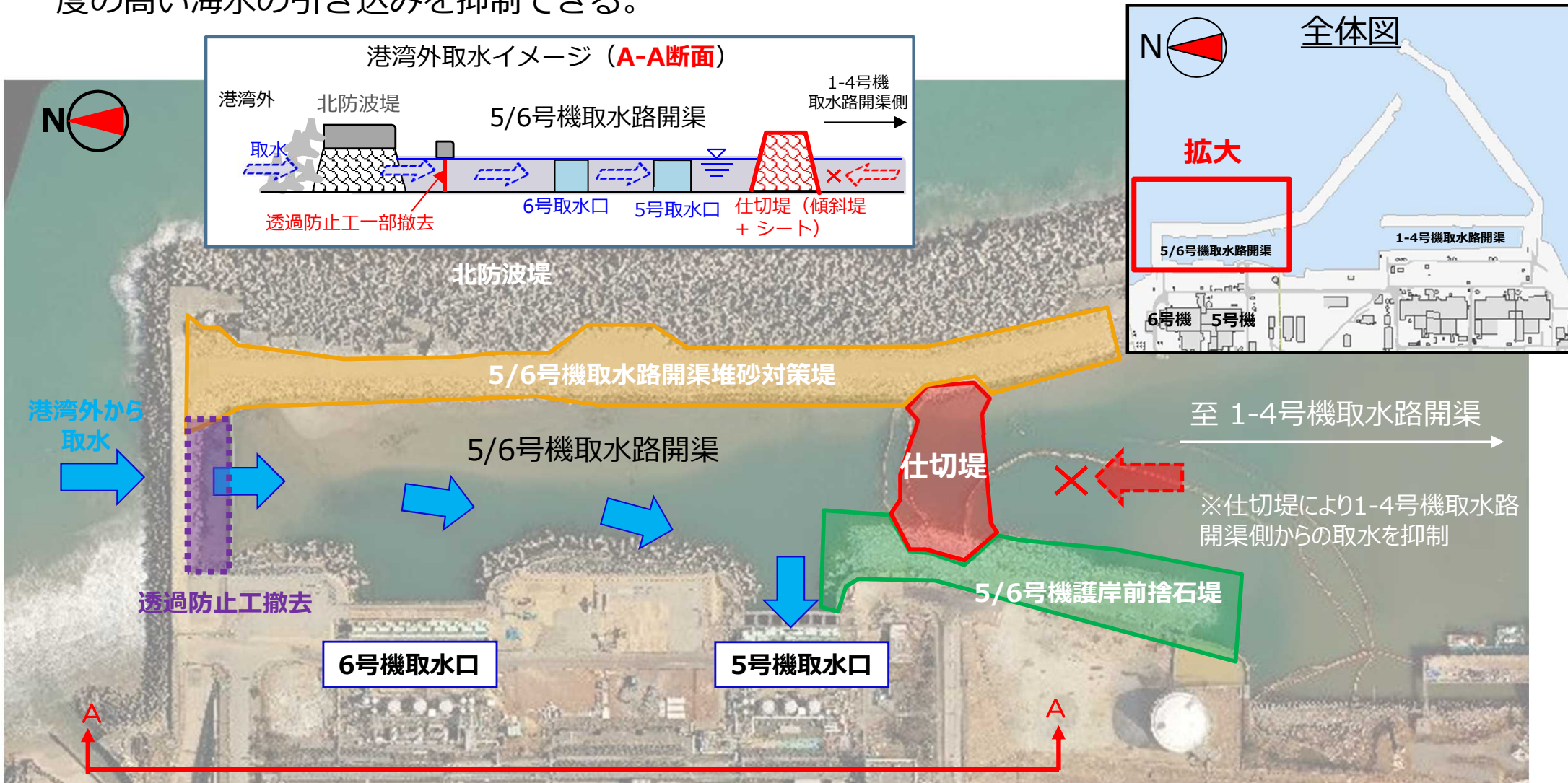
※1：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

### 放水方法

## 2-1(1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

### 4.1 取水方法 全体概要図

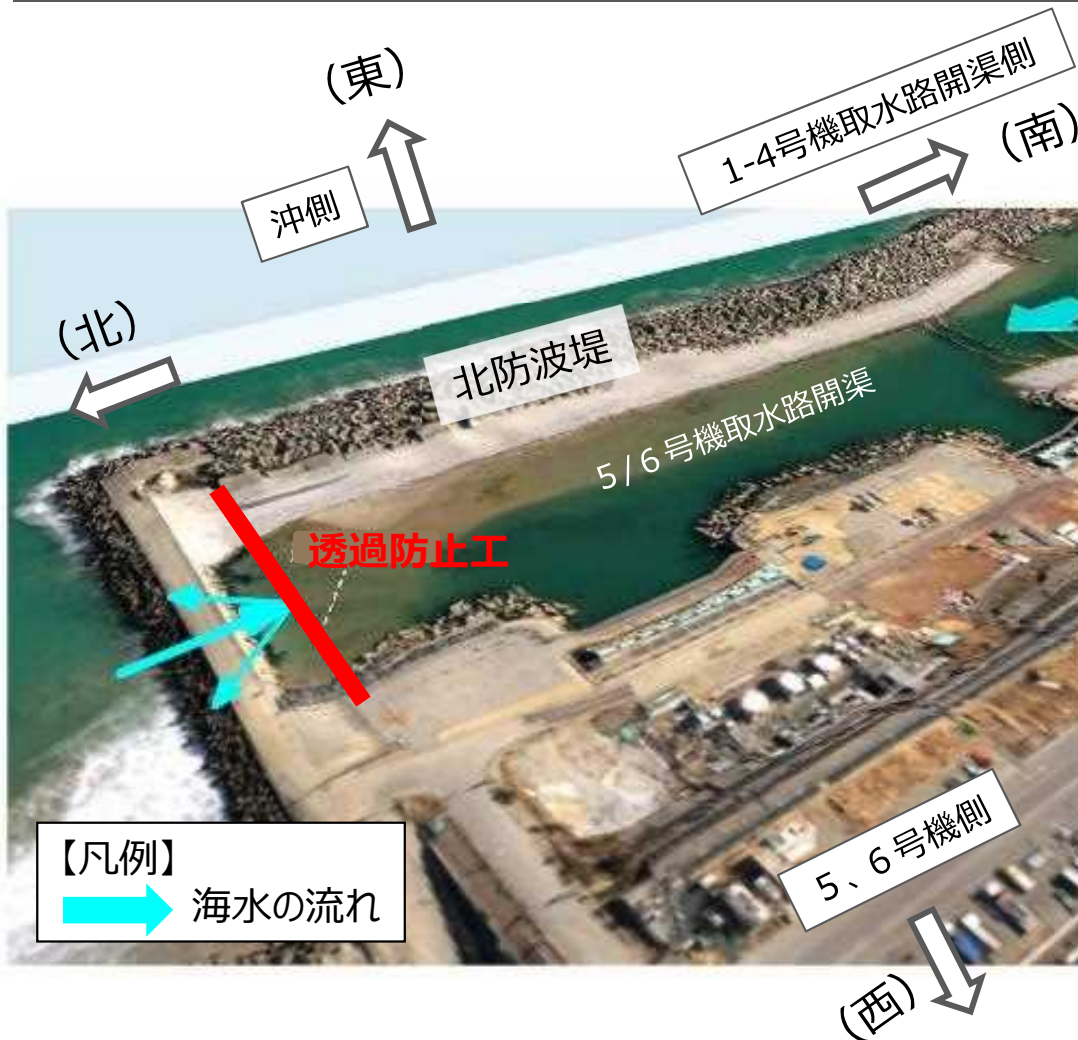
- 5/6号機取水路開渠を仕切堤（捨石傾斜堤+シート）にて、1-4号機側の港湾から締め切り、北防波堤透過防止工の一部を改造し、港湾外から希釈用の海水を取水する。
- 1-4号機側の港湾から締め切り、港湾外から海水を取水することで、港湾内の比較的放射性物質濃度の高い海水の引き込みを抑制できる。



取水方法 全体概要図

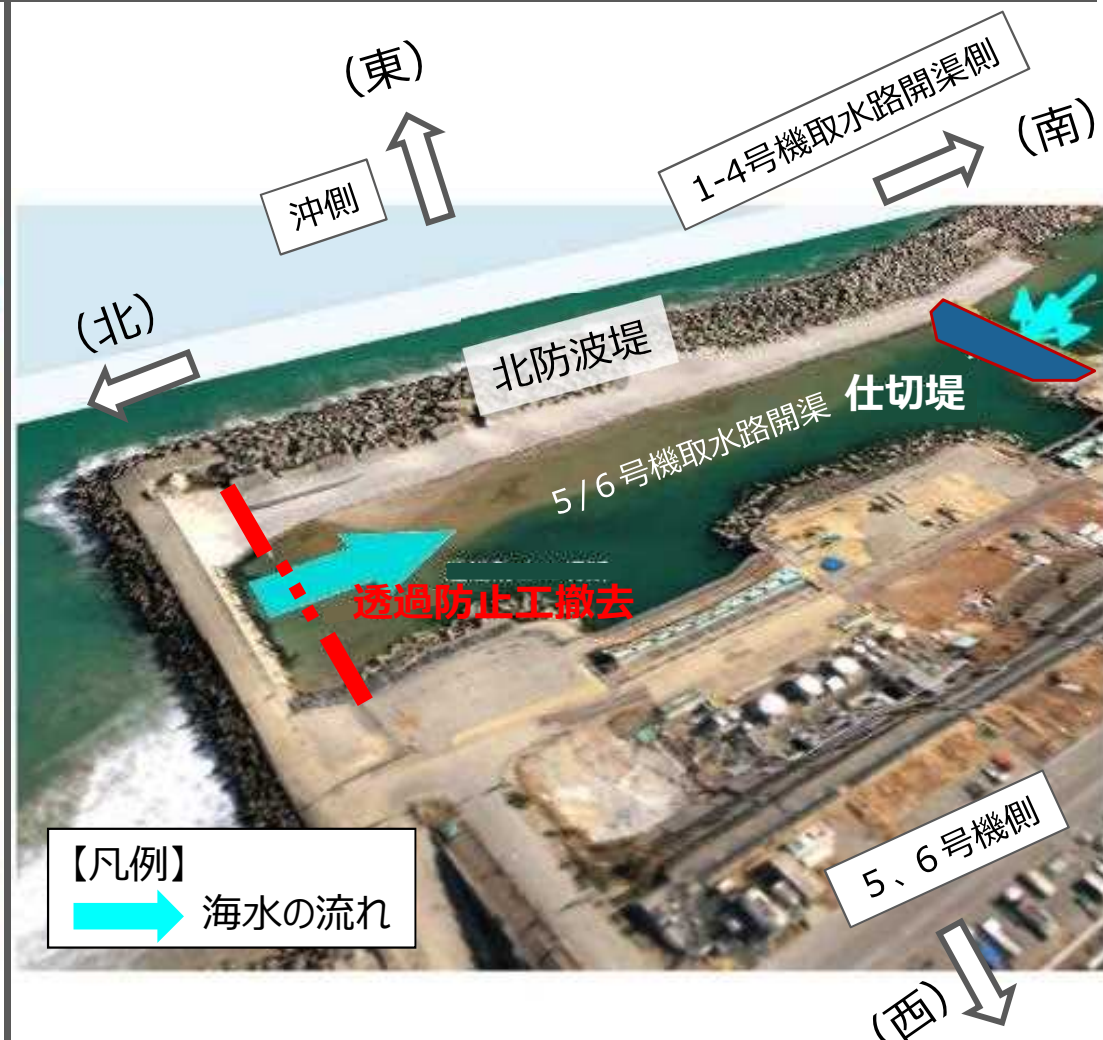
# 【補足】 海水の取水方法のイメージ

## 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。

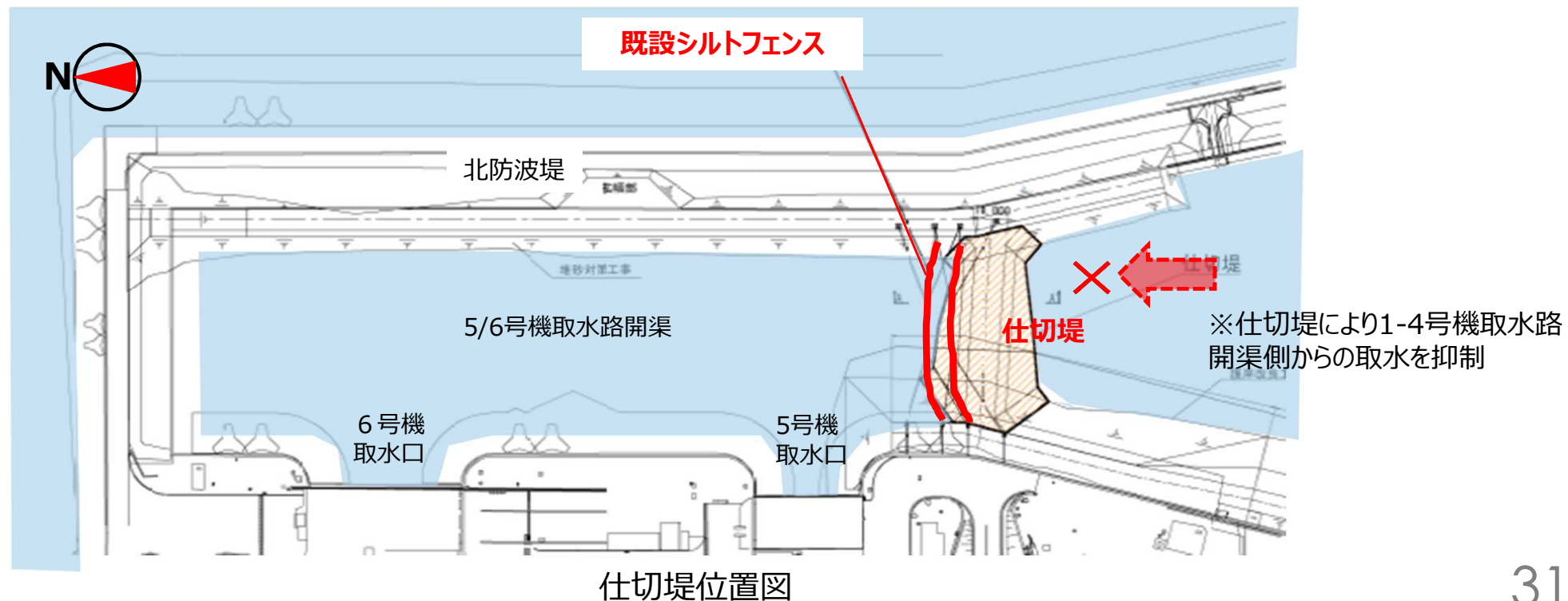
### 4.2 取水方法 仕切堤の位置付け(1/2)

#### ■ 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。

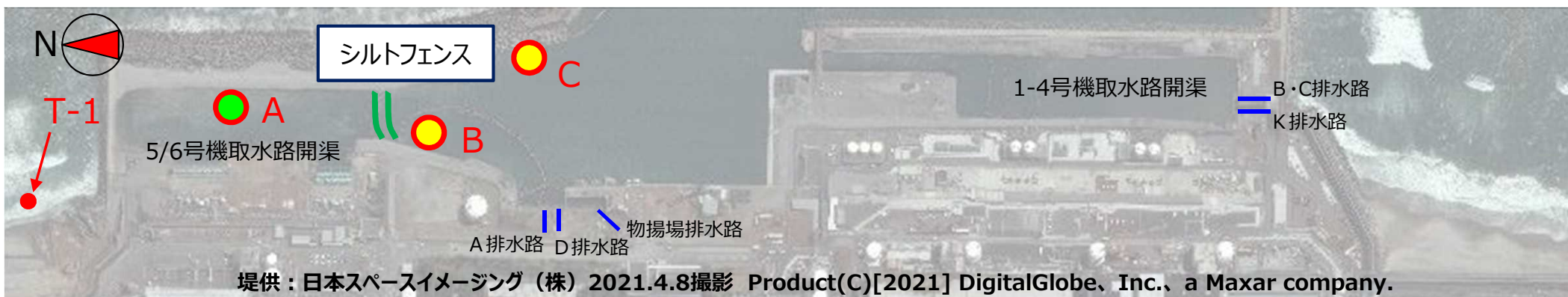
#### ■ 仕切堤構築後

- 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。

## 2 - 1 (1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

### 4.3 取水方法 仕切堤構築後の海底土の放射性物質濃度について

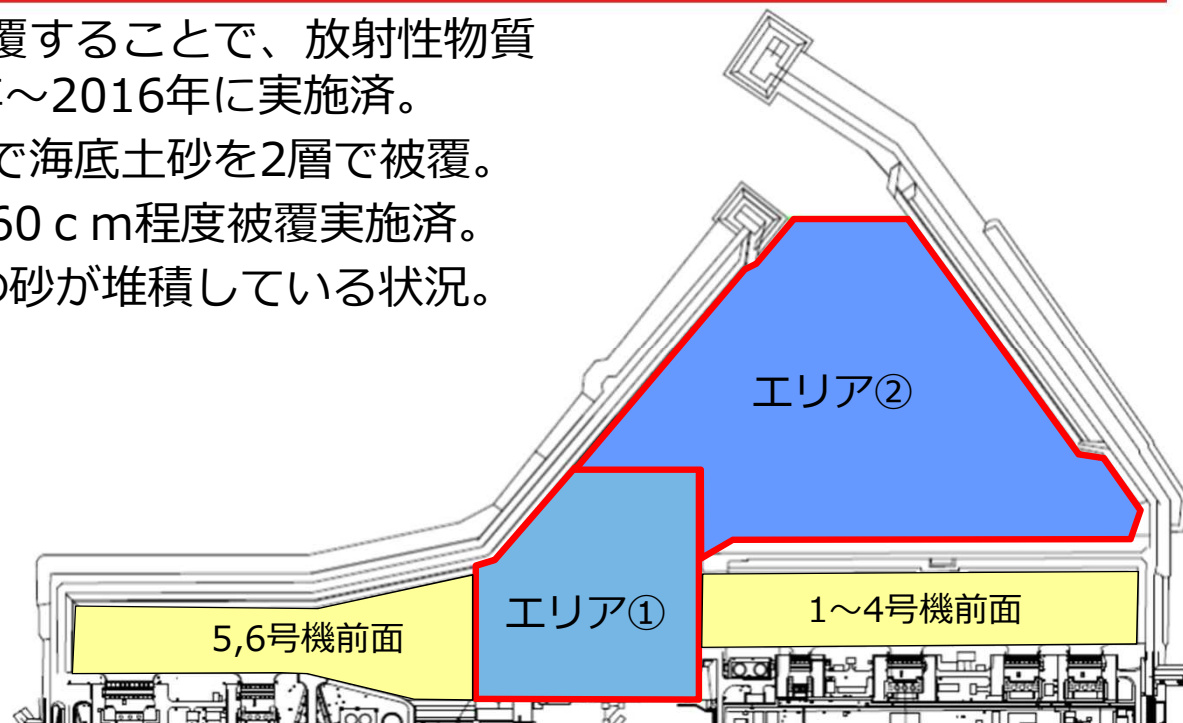
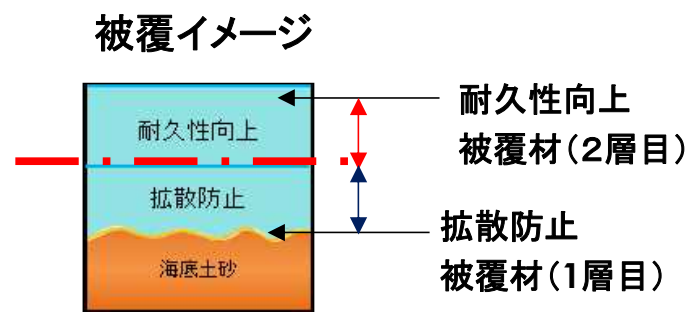
- 5/6号機取水路開渠内の被覆土上の堆砂は(A)、北防波堤を透過したものであり、港湾外(T-1)と同等レベルである。一方で、シルトフェンスより南側(B,C)は、濃度が高く、1-4号機側の港湾内からの海底土（K排水路等からの持込土砂含む）の影響があるものと考えられる。
- シルトフェンスを仕切堤に切り替えることで、1-4号機側の港湾内からの海水および海底土の移動が抑制されるため、港湾内の放射性物質の取水箇所への移行を防止するための対策となる。



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 <sup>2</sup> )	拡散防止：1層目			耐久性向上：2層目		
		打設量 (m <sup>3</sup> )	開始日	完了日	打設量 (m <sup>3</sup> )	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		

4.4 取水方法 仕切堤構築方法の検討

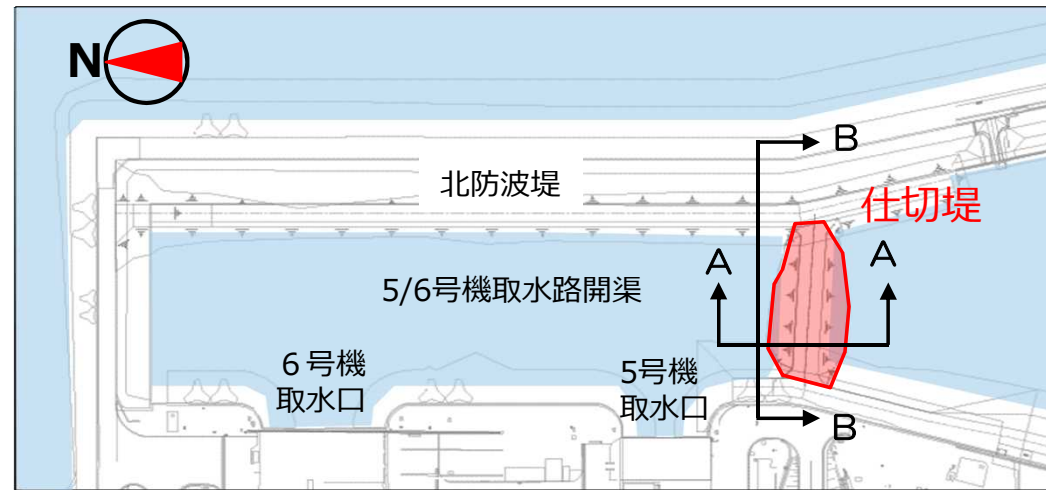
- 下表の通り、仕切堤構築方法について比較検討の結果、捨石傾斜堤の両側面にシート（軟質塩化ビニル製マット）を敷設する。

仕切堤構築方法の比較

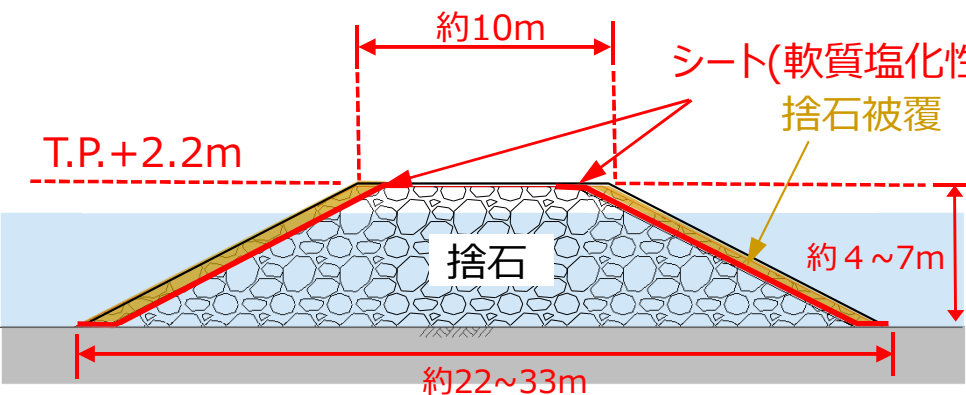
	捨石傾斜堤+シート	コンクリート壁	土留鋼矢板
施工方法			
施工性	○ 陸上から捨石を投入し、シートを敷くのみ。多数実績あり	× 水中における止水処理の施工が困難	△ 海底土の被覆を破るため困難
放射性物質に対する懸念	○ 至近の工事において多数実績あり	× 底板基礎部の掘削時に海底土を巻き上げる	× 鋼矢板の打設時に海底土を巻き上げる
評価	○	×	×

### 4.5 取水方法 仕切堤の構造

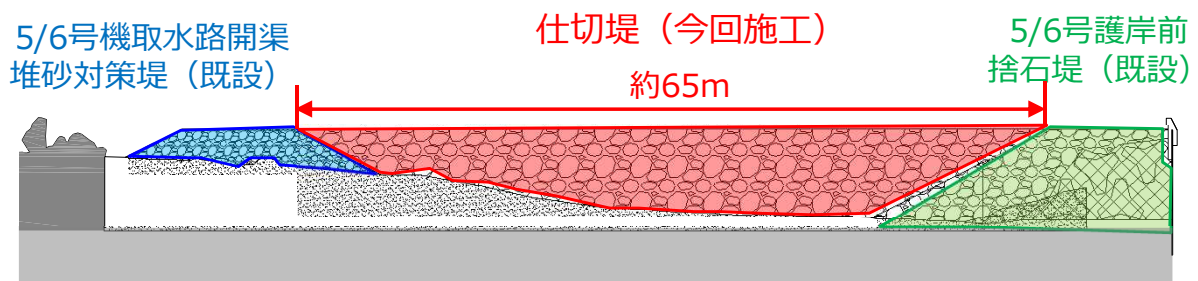
- 仕切堤の構造断面は下図の通り。
- 仕切堤の天端高さはT.P.+2.2mであり、HHWL(既往最高潮位：T.P.+1.15m)の条件よりも高く、1～4号機側からの海水の流入は抑制できる。



仕切堤平面図



A-A断面図



B-B断面図

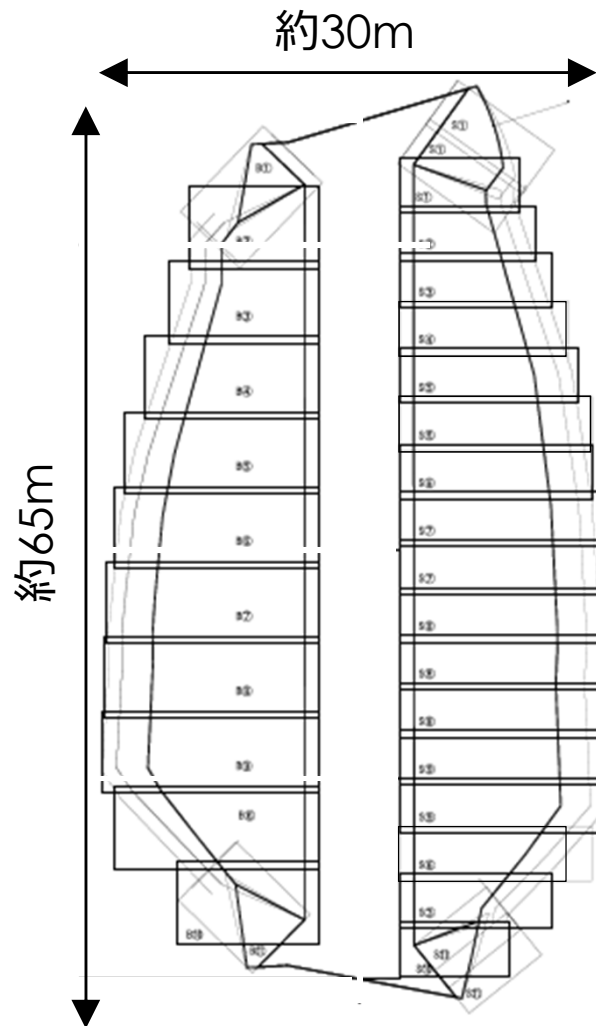
## 4.6 取水方法 仕切提（シート）の仕様

### ■ 仕切提（シート）

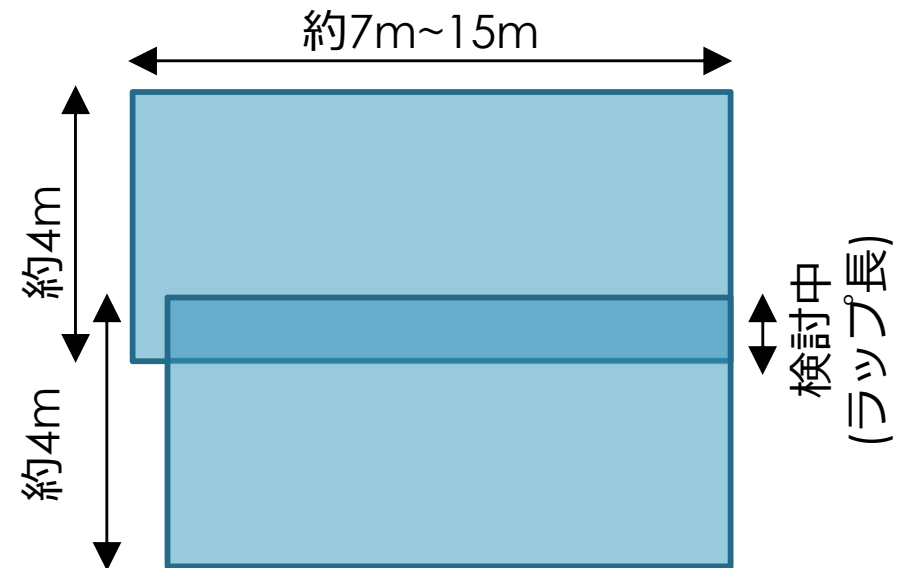
- シート仕様：軟質塩化ビニル製マット、t=5mm
- シートは重ね合わせ（ラップ）や溶着を計画しており、詳細については今後検討していく。

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)

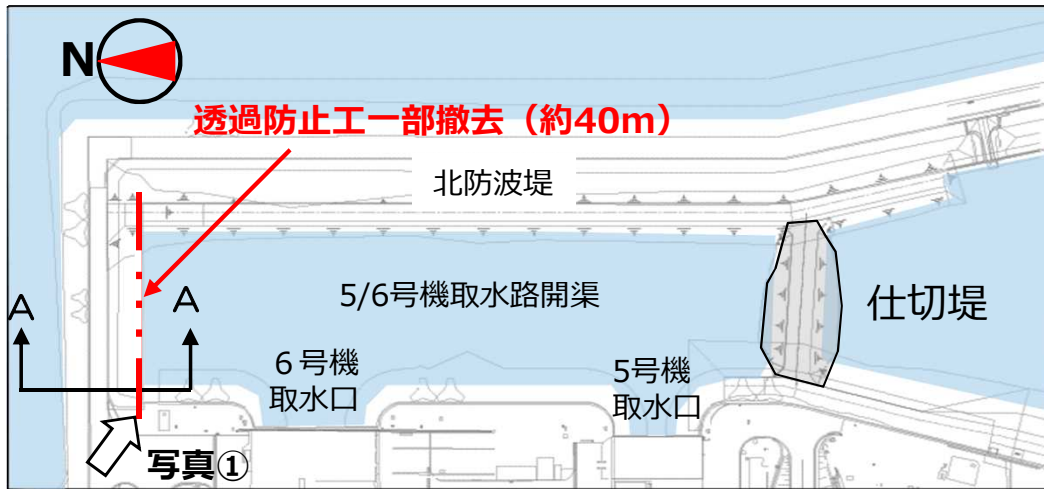


シート イメージ図

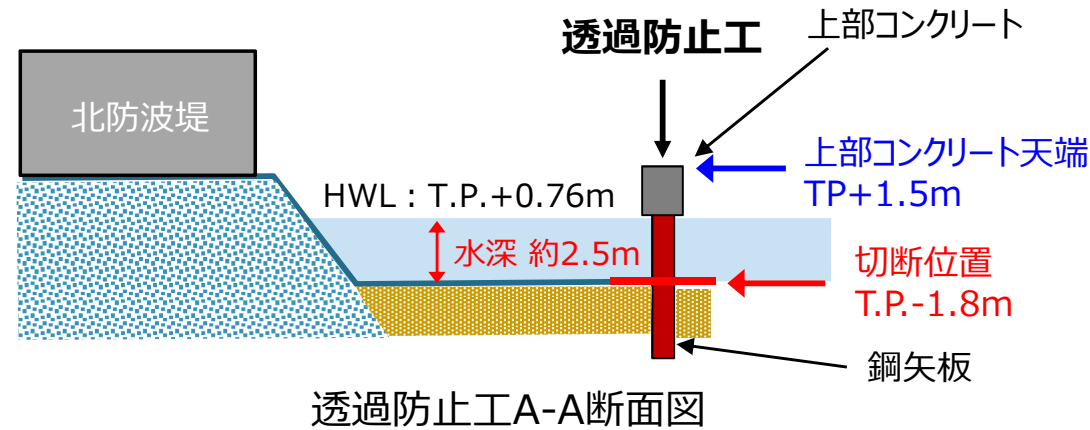
## 2-1(1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

### 4.7 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1.3m<sup>3</sup>/s）には影響はない。



透過防止工撤去イメージ図

- 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。

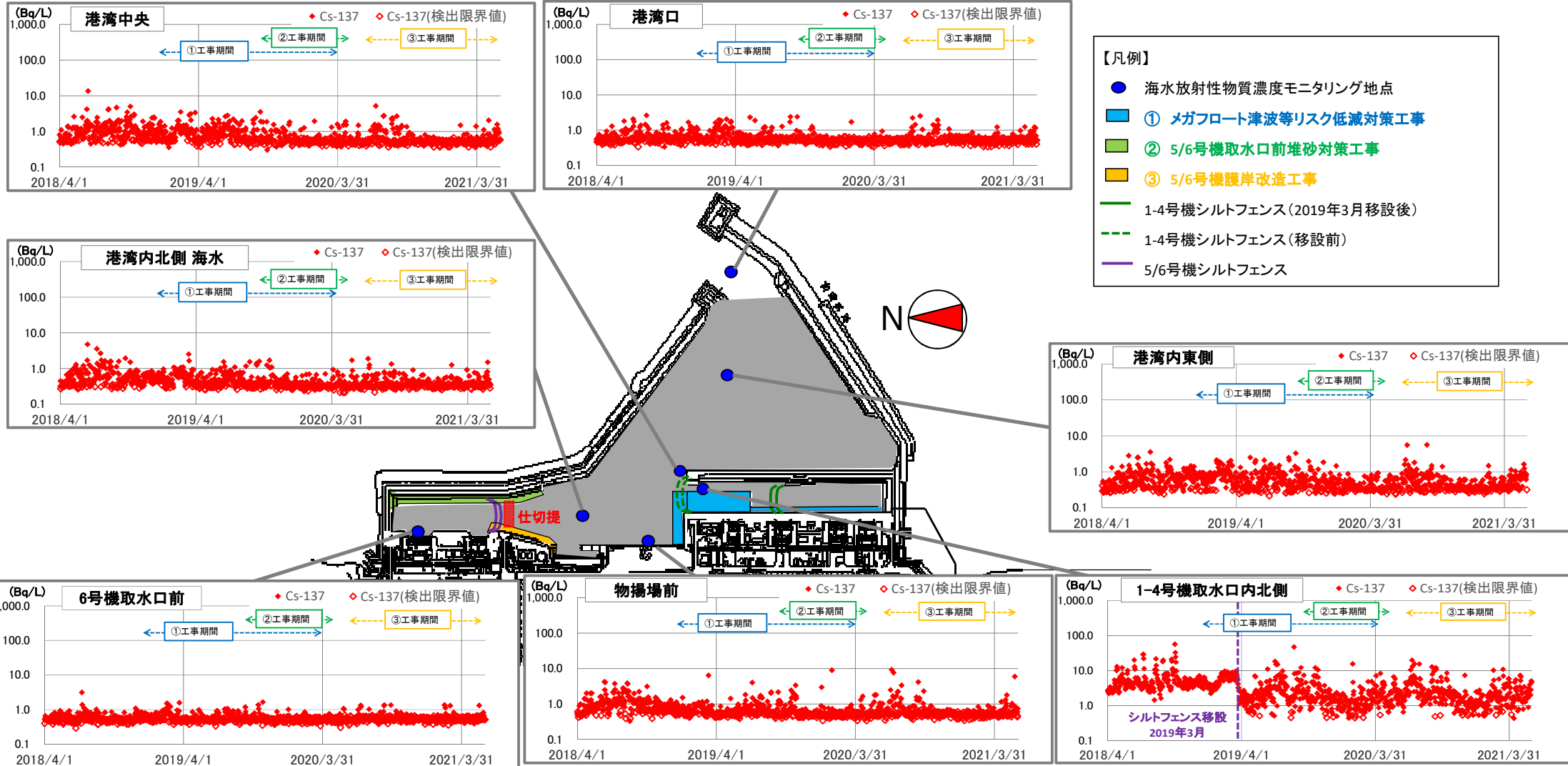




## 2-1(1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

### 4.8 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)

- 至近3年間で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

※2019年3月に1-4号機取水路開渠内シルトフェンスを南へ移設後に1-4号機取水口内北側の海水放射性物質濃度が低下した、

- 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4.0～6.0m<sup>3</sup>/s  
震災後5/6号機補器冷却水：約1.3m<sup>3</sup>/s  
震災前5/6号機燃料冷却水：約112m<sup>3</sup>/s

## 海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

希釈用海水に含まれる放射性物質による被ばくへの影響について

取水方法

放水方法

審査会合における主な指摘事項（主要な論点毎）※1

- 全体の配置や高低差等の関係で、立坑内の海水が逆流等を考慮しても確実に1キロ先の放出口から排出されることを示すこと。

※1：第97回特定原子力施設監視・評価検討会 資料2-2 別紙2

## 2-1(1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

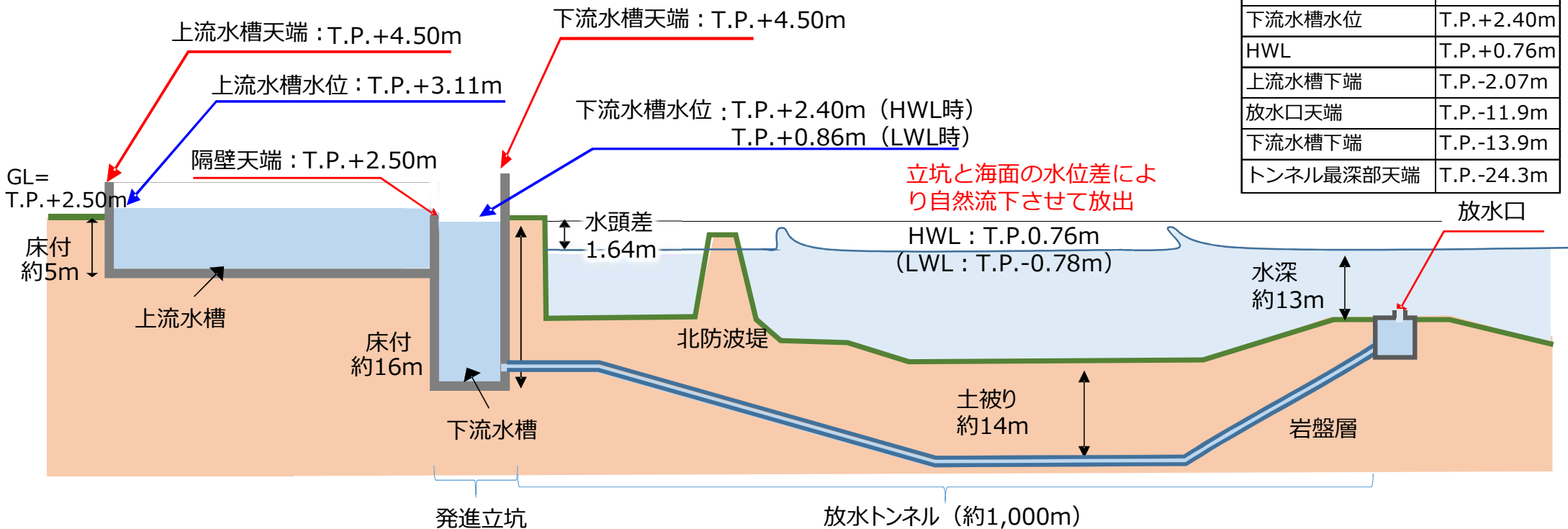
### 5.1 水理設計の考え方 (1/2)

#### ■ 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<sup>3</sup>/日=6m<sup>3</sup>/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

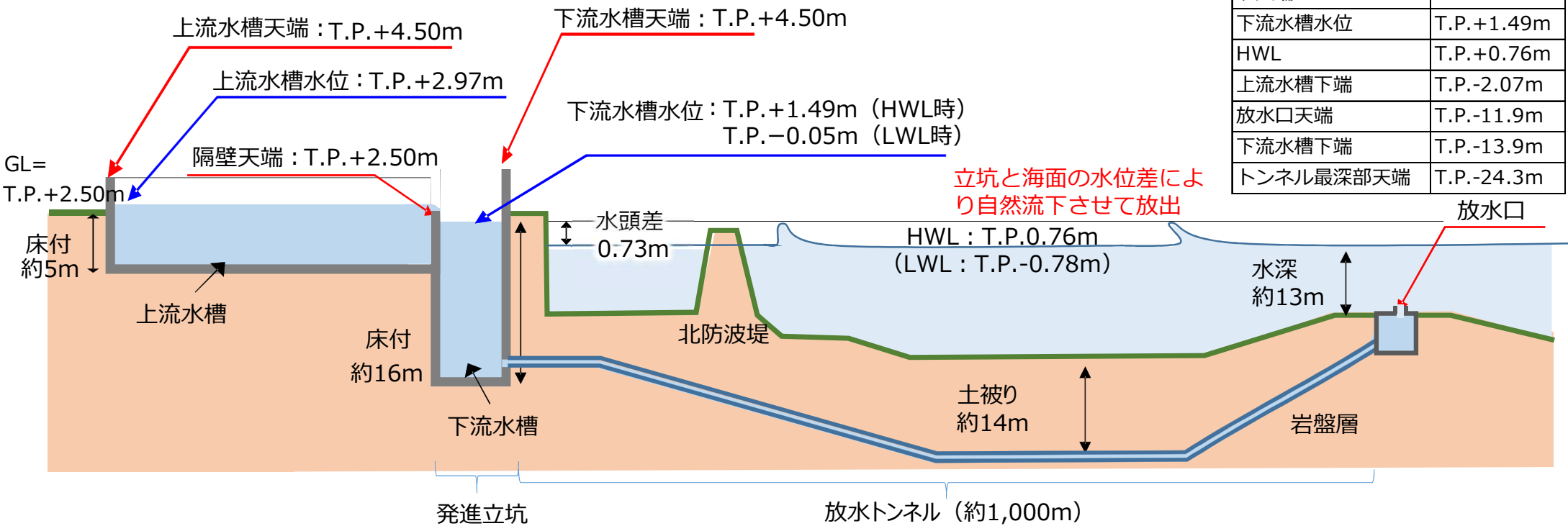
5.2 水理設計の考え方 (2/2)

■ 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m<sup>3</sup>/日=4m<sup>3</sup>/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

### 5.3 水理計算結果

- ポンプ2台（流量：4m<sup>3</sup>/s）又は3台（流量：6m<sup>3</sup>/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 <sup>3</sup> /s)	T.P.+2.97m	T.P.+1.49m	T.P.-0.05m	0.89m/s
3台運転 (6m <sup>3</sup> /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。

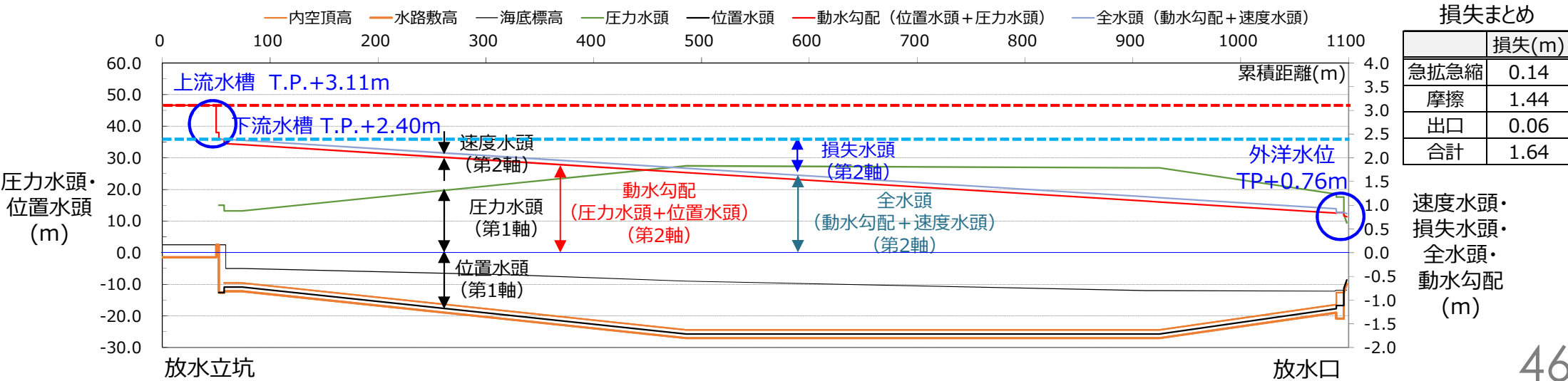
# 2-1(1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

## 【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 m<sup>3</sup>/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 庄:1 開:0	面積 m <sup>2</sup>	径深 m	流速 m/s	屈折曲 急拡縮 損失 係数	摩擦 損失 係数	出口 入口 損失 係数	屈折曲 急拡縮 損失 係数	摩擦 損失 係数	出口 入口 損失 係数	損失 計	エネ ルギ- TP m	速度 水頭 m	動水 勾配 TP m	水面 高さ TP m	圧力 水頭 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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	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	0.93	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	0.93	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	0.93	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	0.18	0.01			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	0.85	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	0.85	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		0.03	0.82	0.07	0.76	0.76	9.40		
出口		1098.4																					0.76	0.00	0.76	0.76				

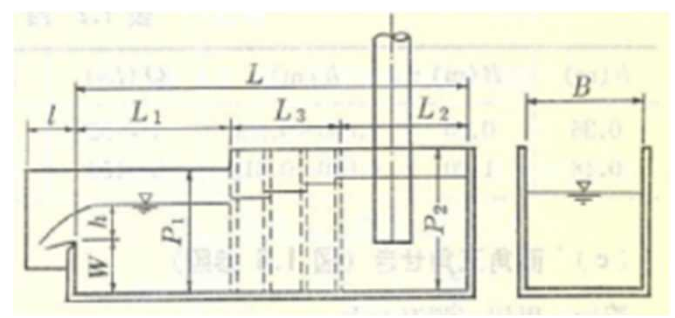
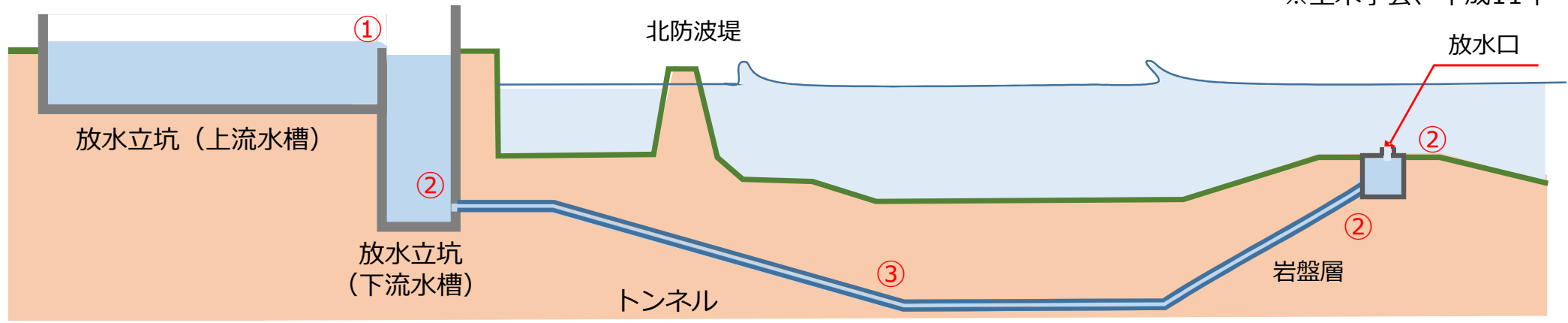




## 2-1(1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

### 【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

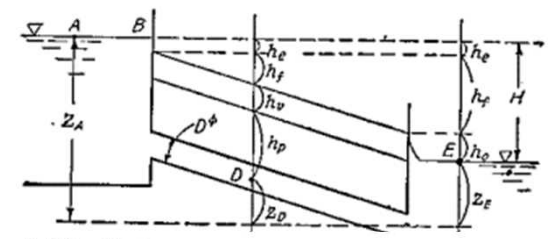


#### ①堰の評価（立坑隔壁部）

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(m<sup>3</sup>/s)、B:堰の幅(m)、h:越流水深(m)、C:越流係数(m<sup>1/2</sup>/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)

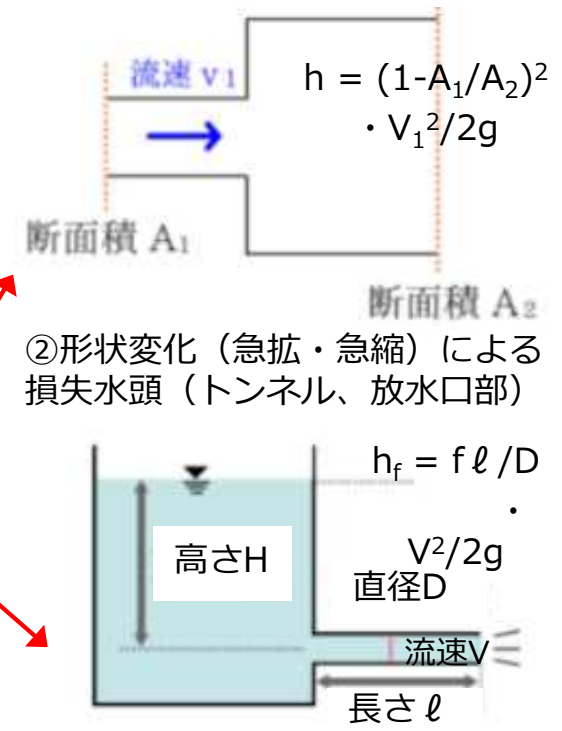


A点:  $E = z_A$   
D点:  $E = z_D + \frac{p_D}{w} + \frac{v_D^2}{2g} + (A \sim D \text{ 間の損失水頭})$   
 $= z_D + \frac{p_D}{w} + (1 + f_s + f \frac{L}{D}) \frac{v^2}{2g}$

ただし  
流入損失水頭  $h_s = f_s \frac{v^2}{2g}$  ( $v$ : 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  $h_v = \frac{v_D^2}{2g} = \frac{v^2}{2g}$   
圧力水頭  $h_p = \frac{p_D}{w}$

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

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）



②形状変化（急拡・急縮）による損失水頭（トンネル、放水口部）



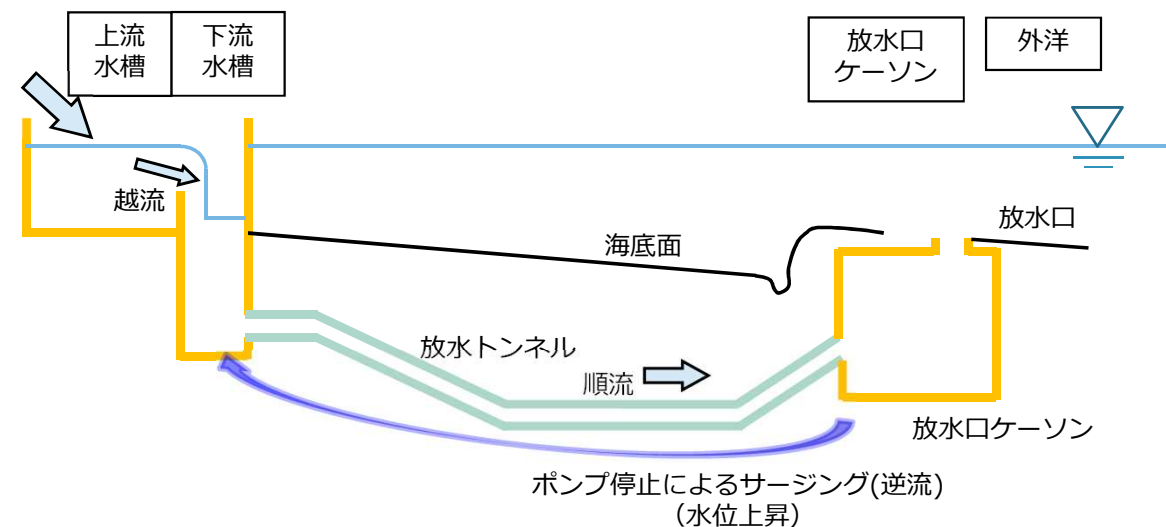
## 2-1(1) ③海水の取水方法・希釈後のALPS処理水の放水方法

## 【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 <sup>3</sup> /s (ポンプ3台運転)
ポンプ停止時間	30秒



放水設備の概略図

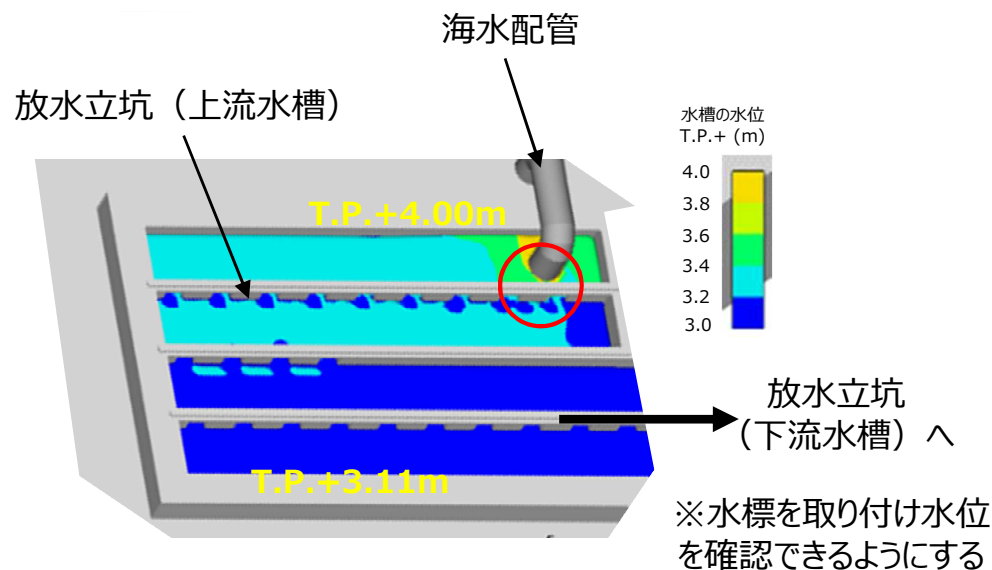
## 5.4 放水立坑（上流水槽）の水位変動に伴う影響

### ■ 水理計算・流況解析

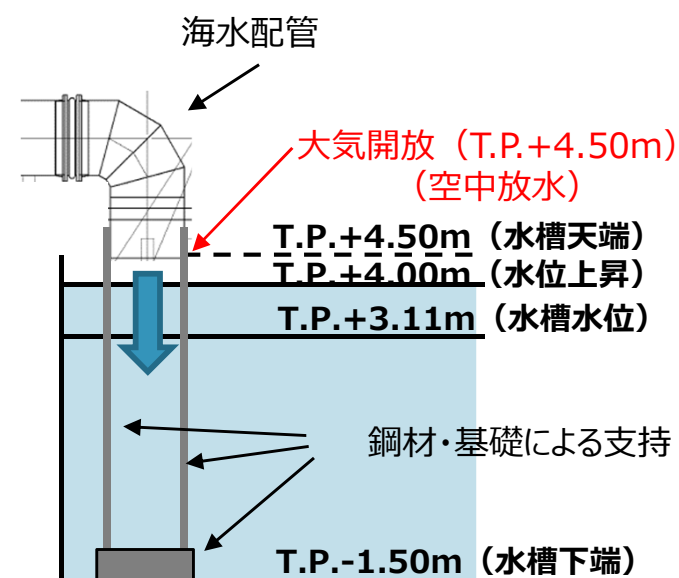
- 放水立坑（上流水槽）の水位はT.P.+3.11m（ポンプ運転台数3台=6m<sup>3</sup>/s）となる。
- 海水配管の流入位置において、局所的に水位がT.P.+4.00mに上昇する。
- 海水配管の放水端は大気開放としており、放水立坑（上流水槽）に水没しない。そのため、ポンプトリップ時の逆流は生じない。

### ■ 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



放水立坑（上流水槽）への流入

## ALPS処理水の海洋放出設備の申請内容等に係る主要な論点※

### に対する回答

※ALPS処理水審査会合（第3回）資料1-2

### （2－1 原子炉等規制法に基づく審査の主要論点）

#### （1）海洋放出設備

- ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護、誤操作防止、信頼性等

## 放水設備の設計※

放水トンネル 設備概要/設計

放水ロケーション 設備概要/設計

審査会合第8回の指摘事項に対する回答

※：一般土木構造物としての規格及び基準に準拠し、十分な安全性・耐久性・耐震性等を有する設計であることを照査した結果を記載したものである。

## 放水トンネル 設備概要/設計

### 設備概要

放水トンネルの線形の選定

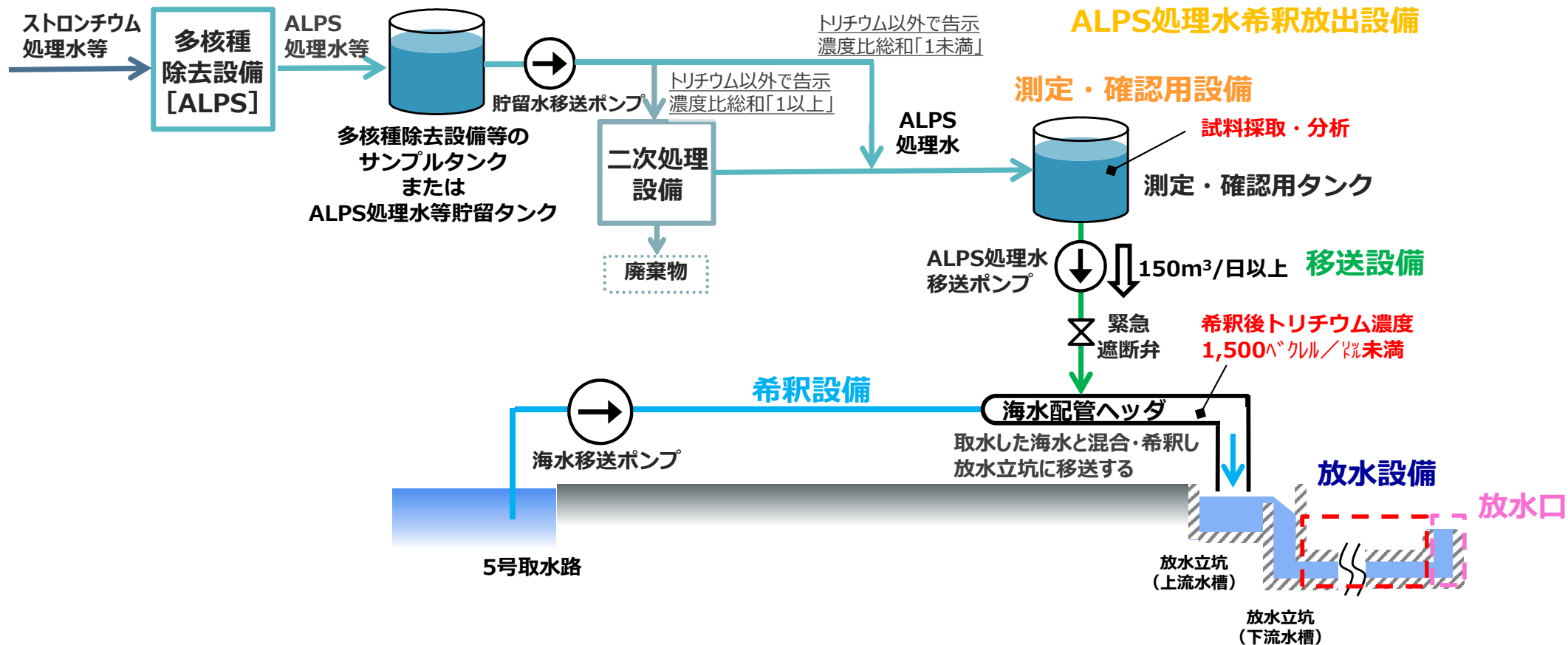
放水トンネルの工法の選定

放水トンネルの設計(構造)

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 1.1.1 ALPS処理水希釈放出設備の全体概要

- 放水トンネルについて、構造・強度、自然現象に対する防護及び信頼性を整理した。



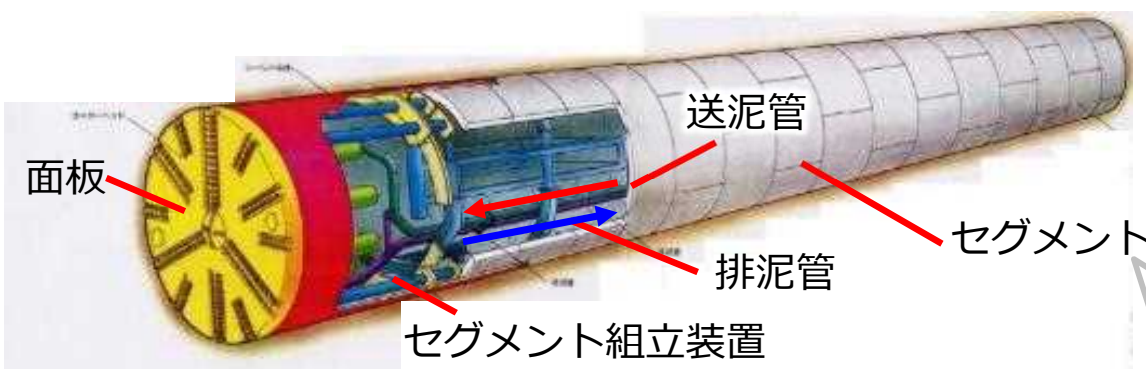
### 1.1.2 放水トンネルの設計および施工概要

#### ■ 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

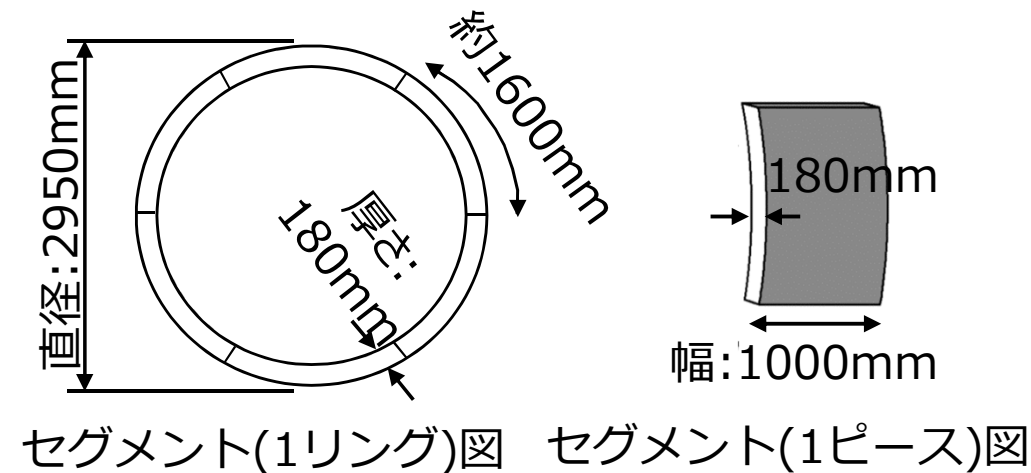
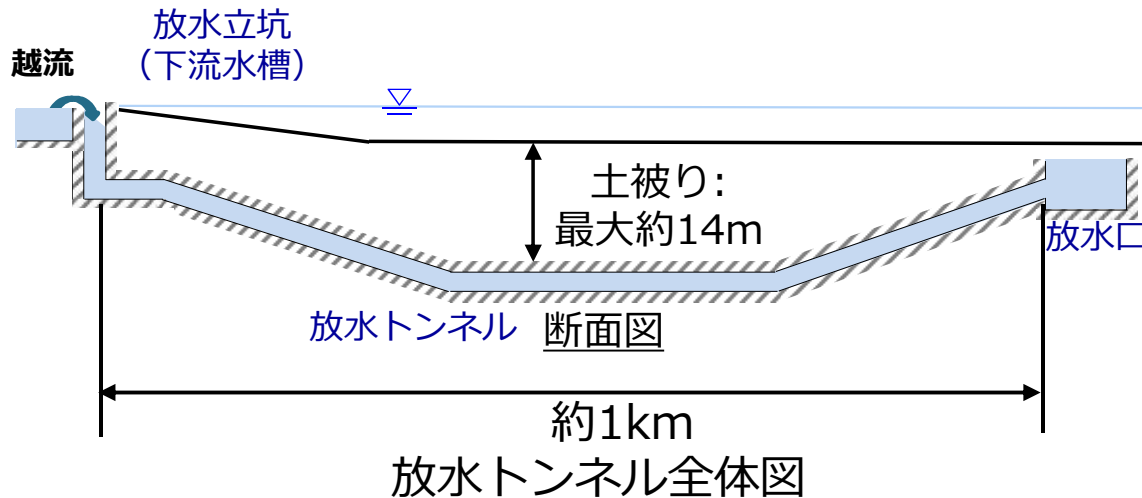
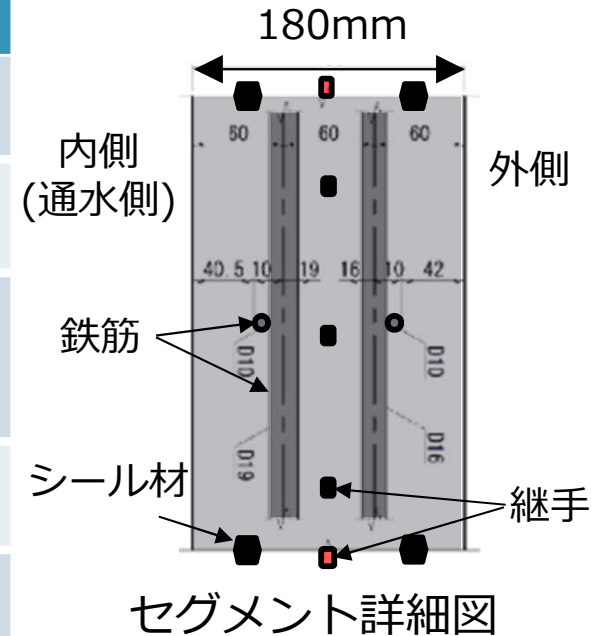


※泥水に所定の圧力を加えることにより、地山の土水圧に対抗させて切羽（トンネル先端掘削面）を安定させ、掘削土とともに泥水を循環させることで掘削土を流体輸送する仕組みを持ったシールド工法

1.1.3 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





【参考】セグメントピースと寸法

■ 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。



セグメントピースの構成

セグメント 展開図

## 放水方法 設備概要/設計

### 設備概要

#### 放水トンネルの線形の選定

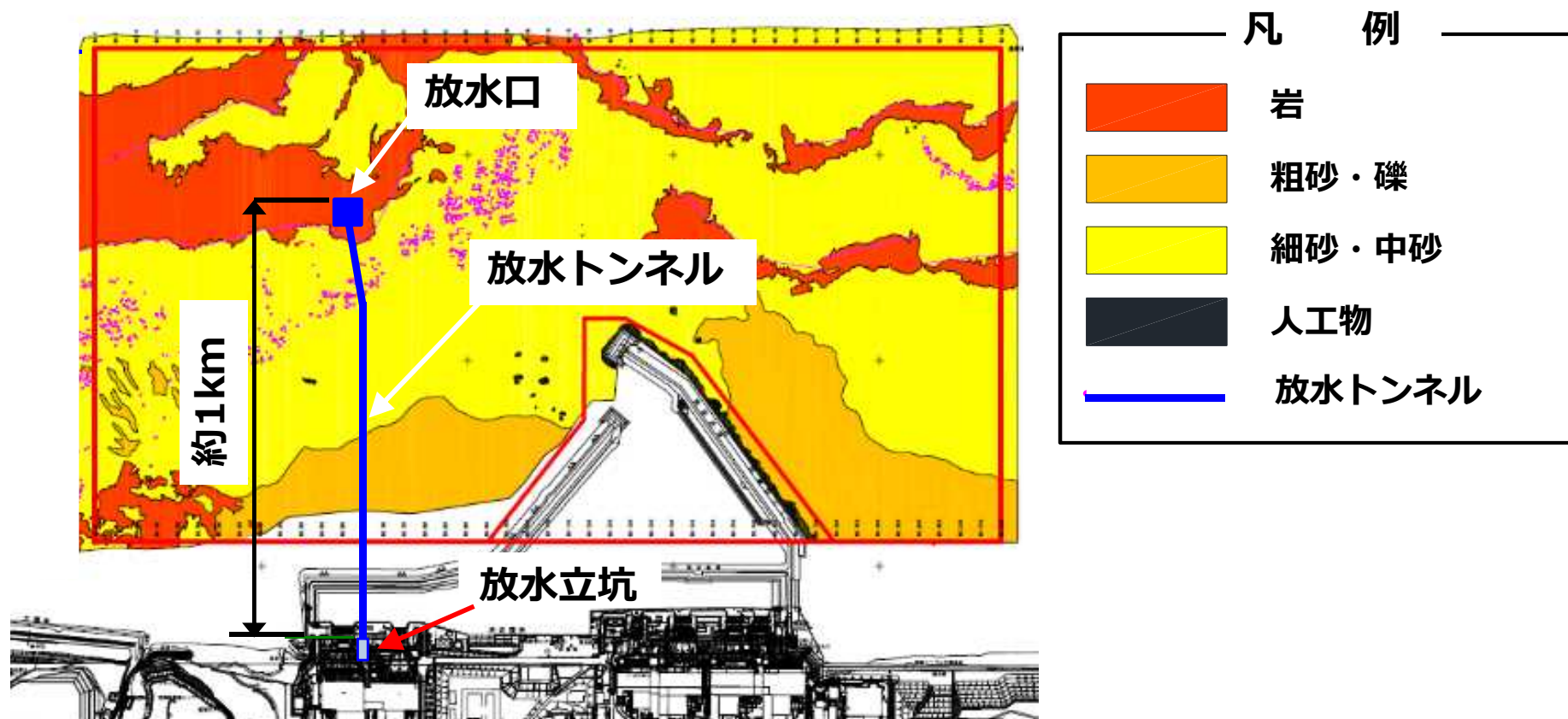
#### 放水トンネルの工法の選定

#### 放水トンネルの設計(構造)

### 1.2.1 放水トンネルの平面線形

#### ■ 放水トンネルの平面線形の選定理由

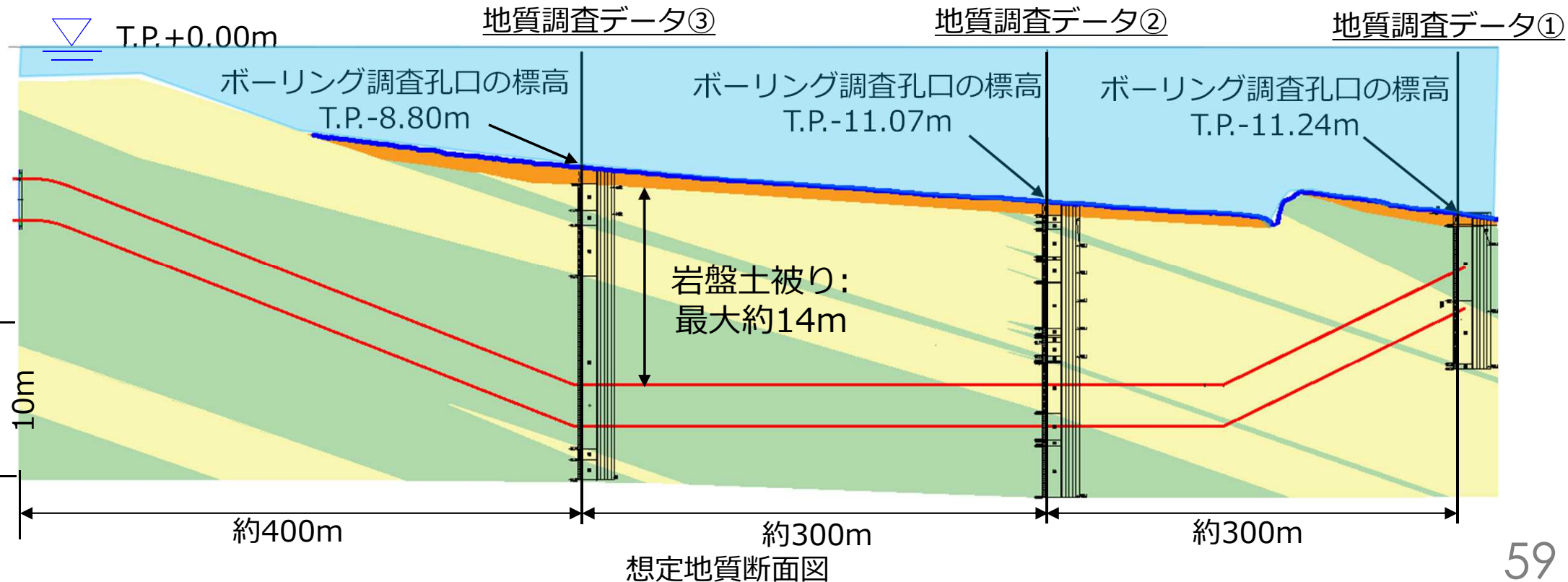
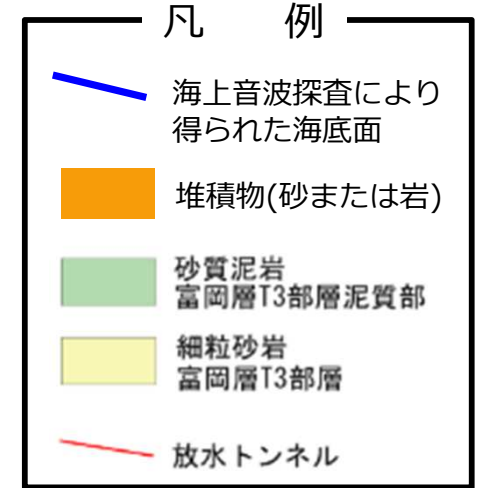
- 既往の地質データや海域調査データ等を基に、安定した岩盤露頭に放水口を設置することを前提に平面線形を検討した。
- 放水立坑と放水口ができる限り直線になるように放水トンネルの平面線形を検討し、放水トンネルは一部、曲線区間 (R=500m) を設ける線形とした。  
(放水口は、放水立坑から約20m北側に配置した。)



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。



### 【補足】ボーリング調査の目的と内容

#### ■ 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 <sub>3</sub> 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 <sup>2</sup> 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。

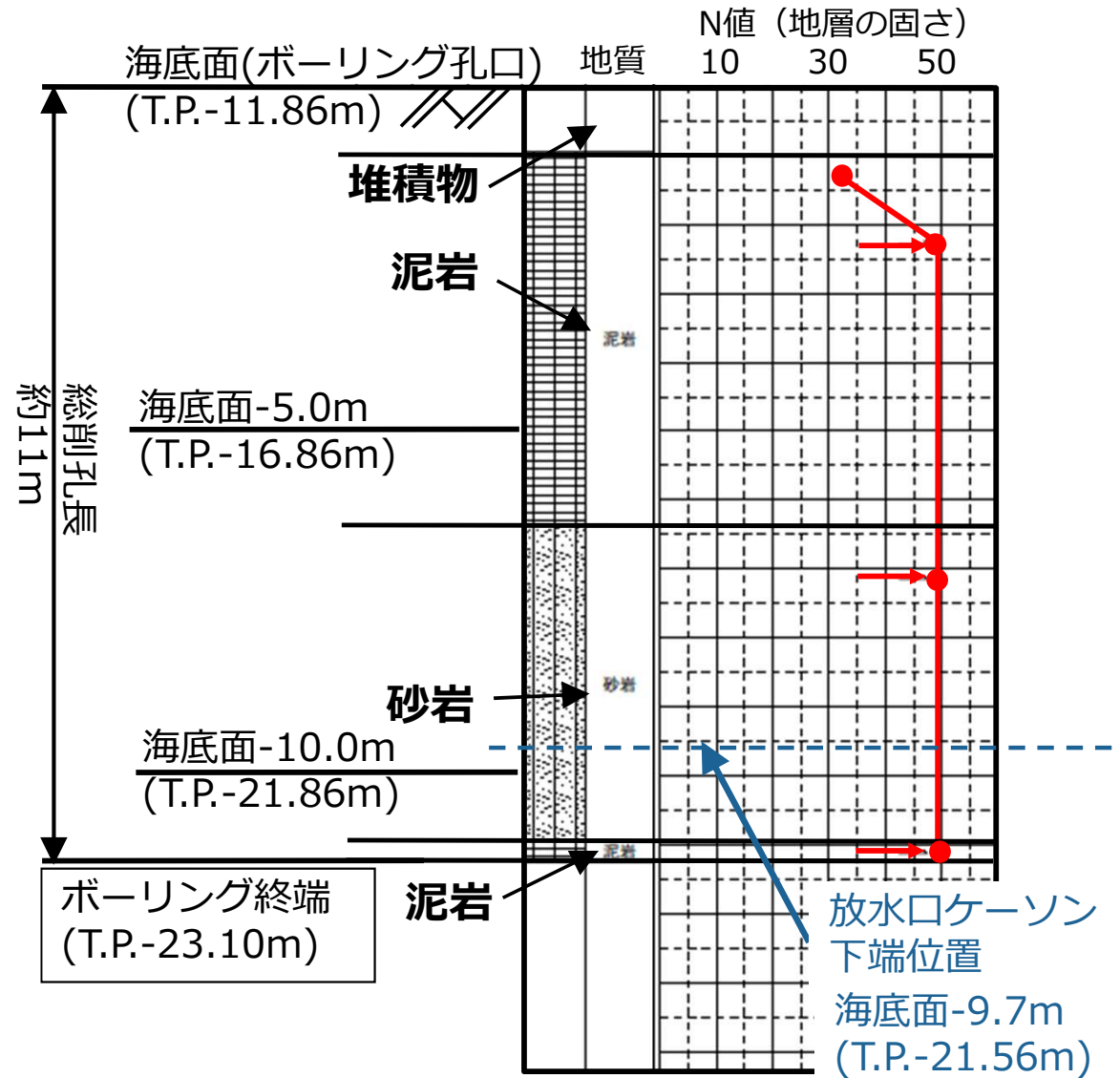
■ 地質調査データ①は右図の通り。

- 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

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

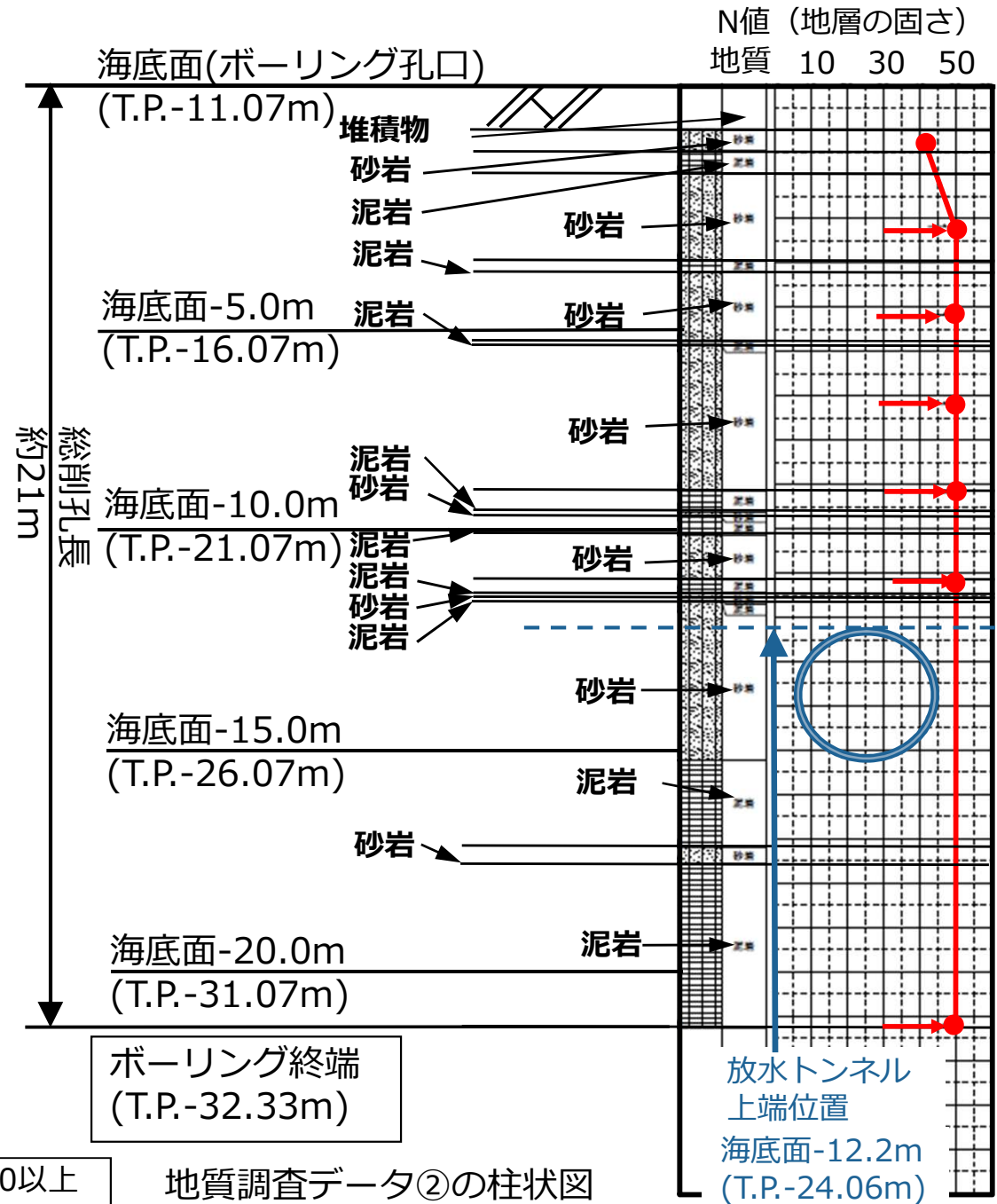
### 【参考】地質調査データ②

■ 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]



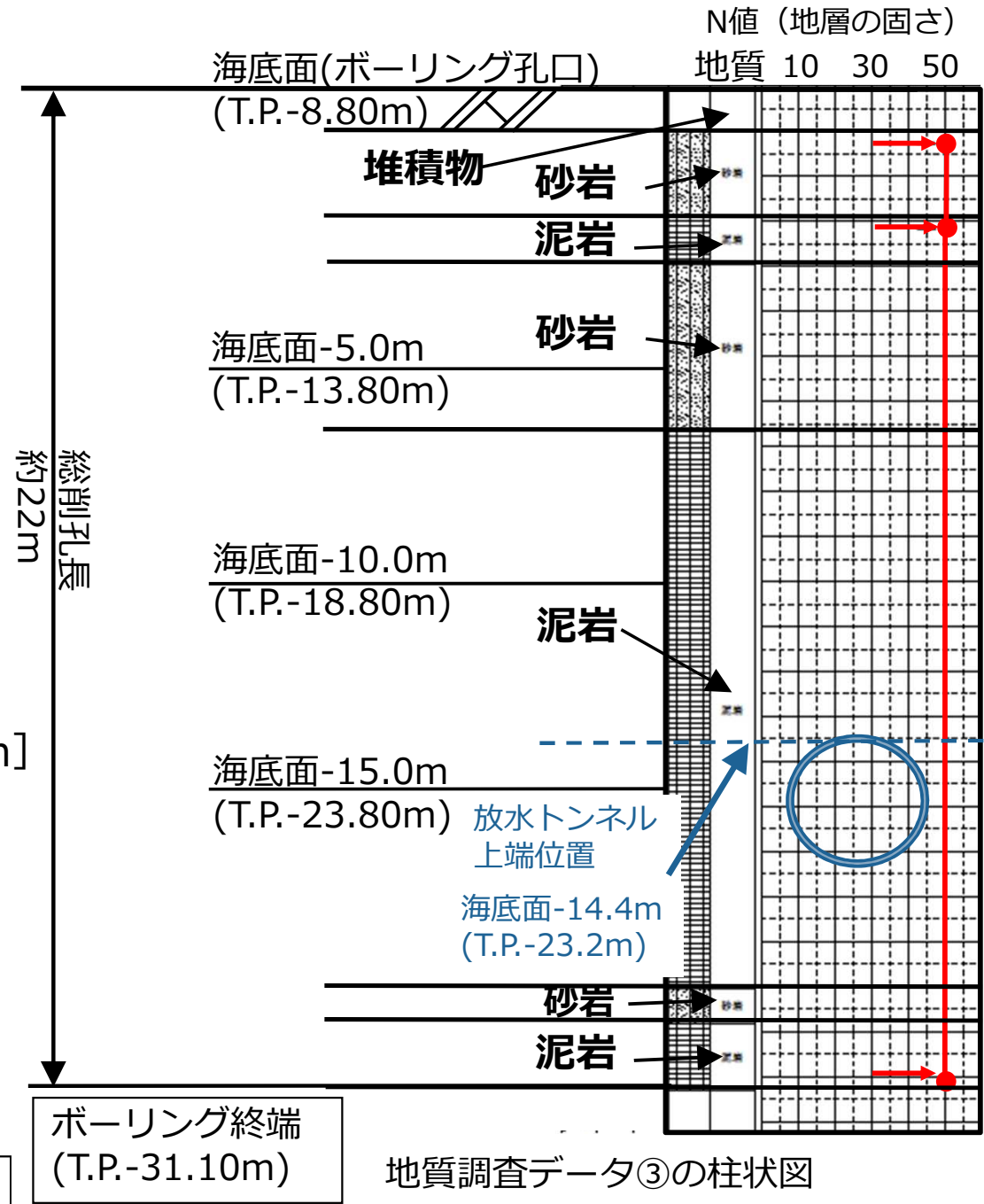
## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 【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。

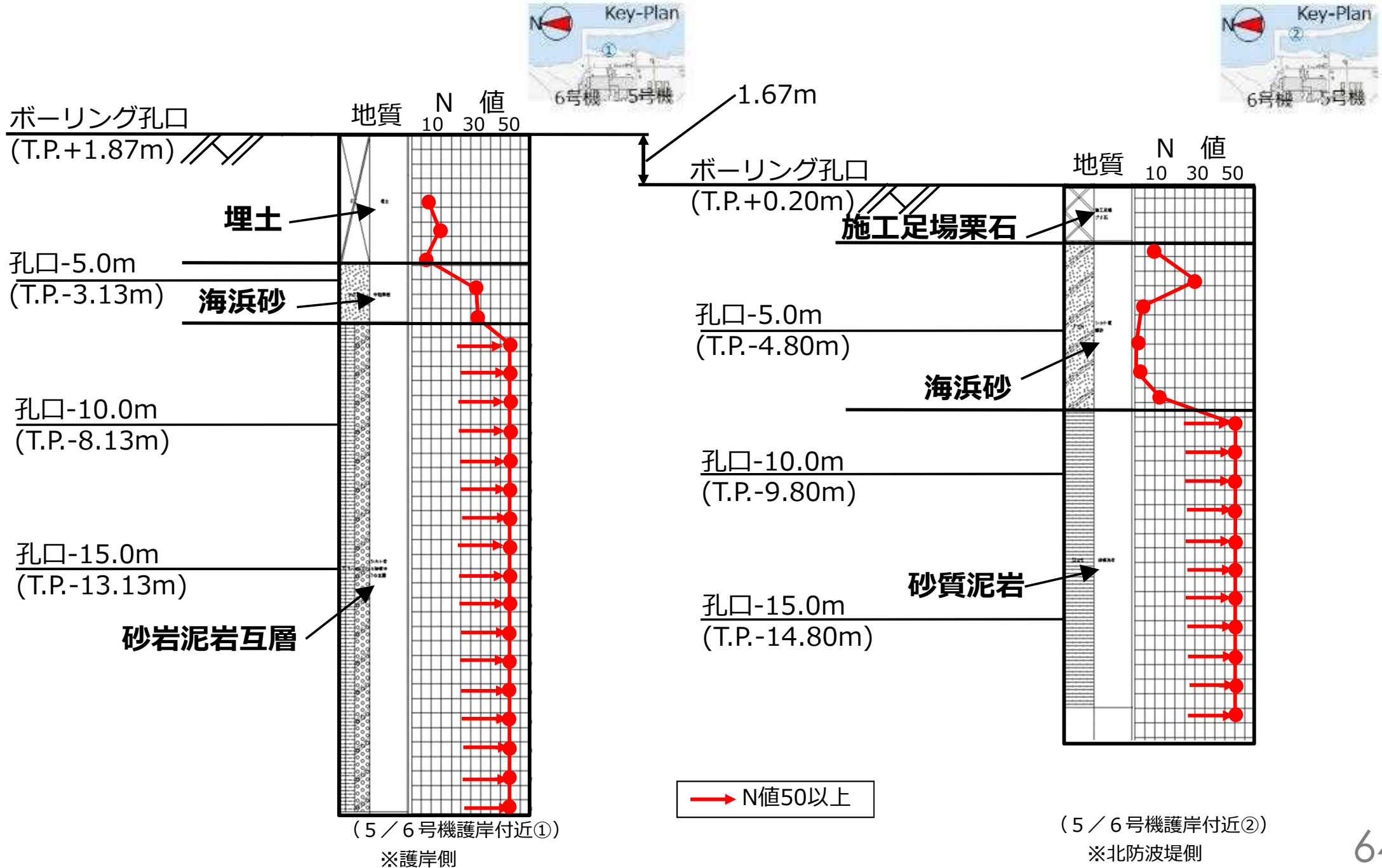
[放水トンネルの上端位置:海底面約-14m]





## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

【参考】 既往5 / 6号機護岸付近の地質調査データ



## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

【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

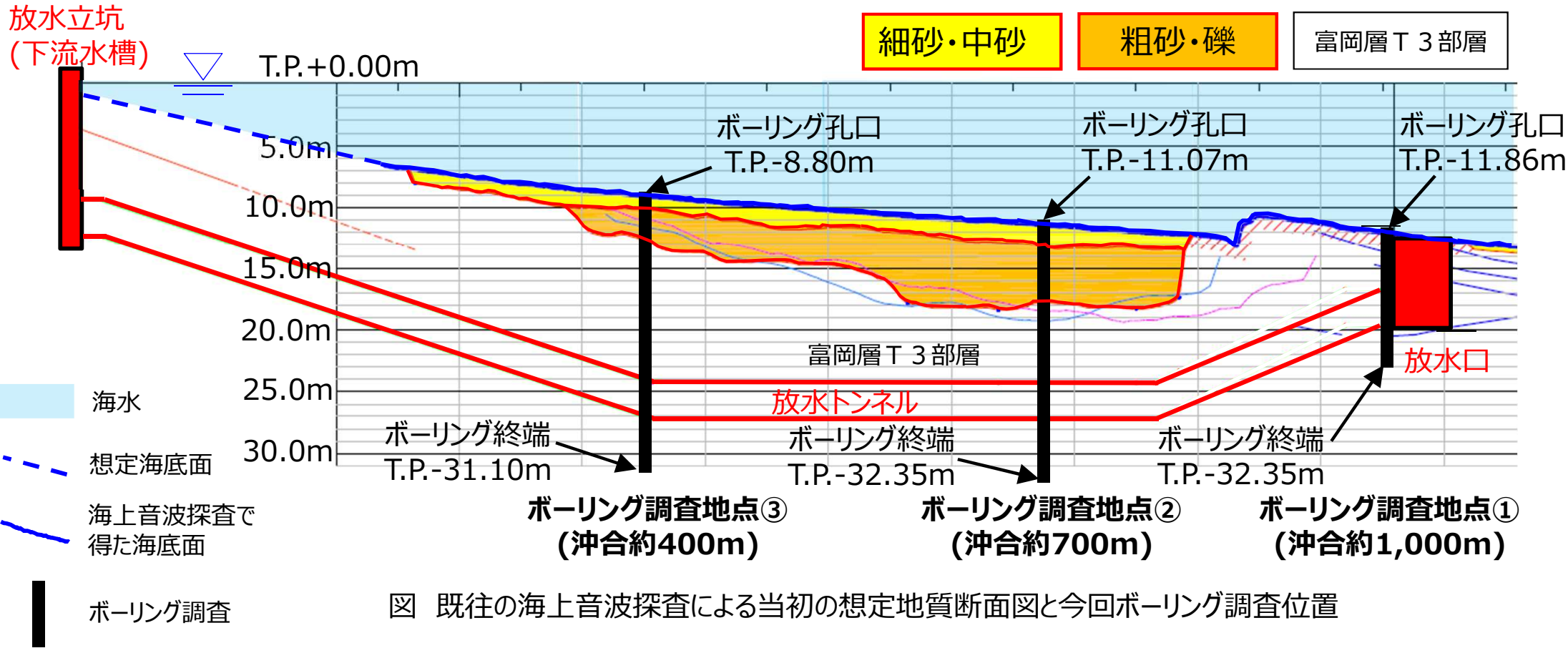


図 既往の海上音波探査による当初の想定地質断面図と今回ボーリング調査位置

### 【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T<sub>3</sub>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		
新第三系	鮮新世	富岡層 T <sub>3</sub> 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	
		富岡層 T <sub>2</sub> 部層	泥質砂岩 軽石粒、凝灰岩を挟在	
		富岡層 T <sub>1</sub> 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
		長谷層群	泥岩、砂岩泥岩互層	軽石粒、スコリア粒、凝灰岩等を挟在
古第三系	漸新世	白水層群	硬質な泥質砂岩～泥岩	

~~~~~ 不整合

## 放水方法 設備概要/設計

### 設備概要

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)

### 1.3.1 放水トンネル工法の選定 (1/2)

#### ■ トンネルの工法

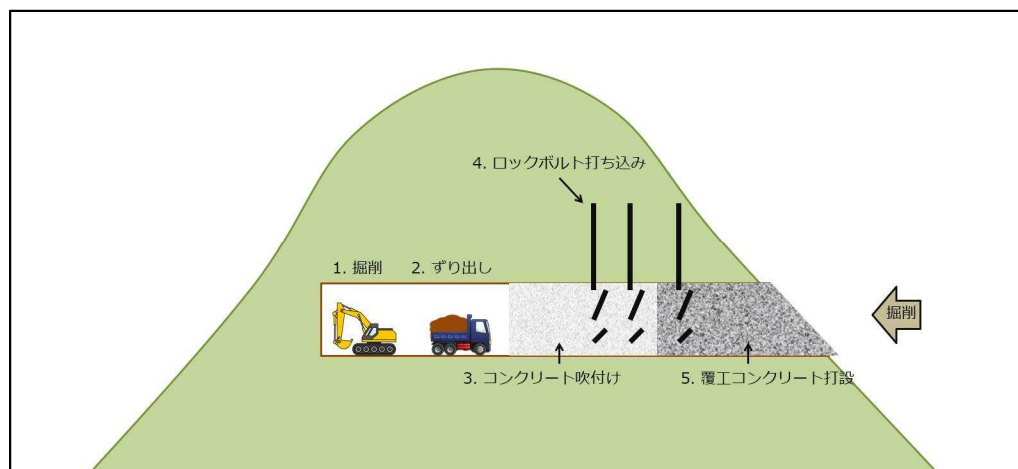
- 当該位置に適したトンネル工法としては、トンネル工法は大きく「山岳トンネル」「シールドトンネル」の2種類が考えられる。

#### ■ 山岳トンネルの特徴

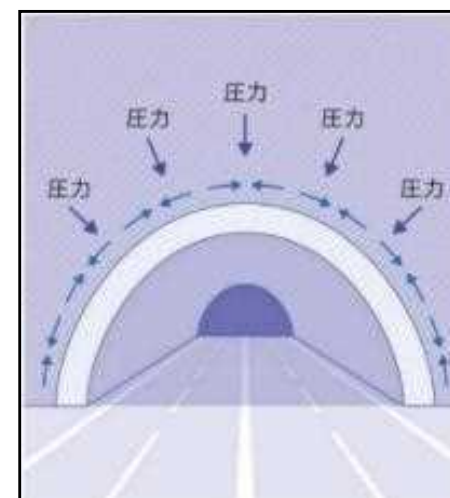
- 山岳トンネルは岩盤のように、トンネルを掘っても地山が崩壊しない硬い地盤に用いられる工法である。
- 地山を掘削すると圧力で崩れようとするが、地盤が硬ければトンネル周囲の地盤同士で支え合う(これをアーチ効果と呼ぶ)ためトンネルは崩れない。

#### ■ 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

### 1.3.1 放水トンネル工法の選定 (2/2)

#### ■ 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

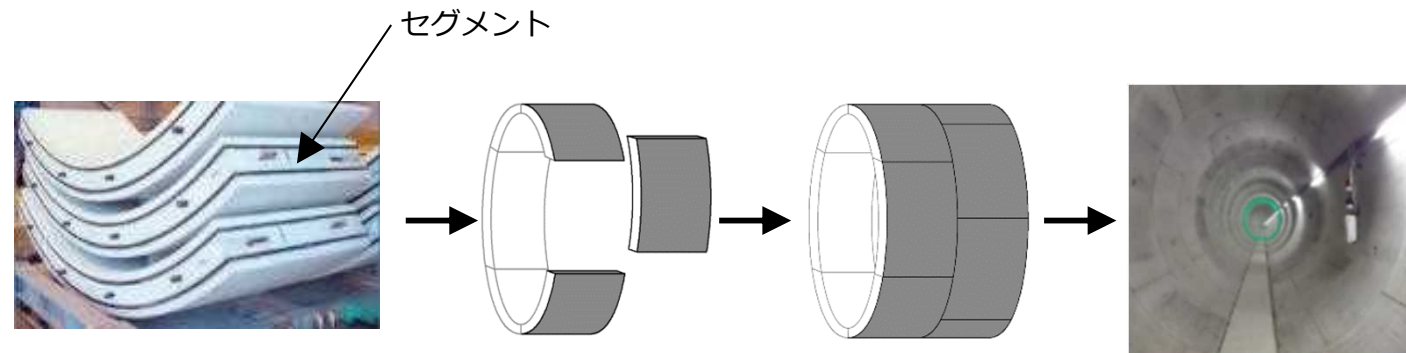
- 地山が崩壊するような軟弱な地盤においてセグメント厚を小さくした場合、セグメントが周囲の地盤の土圧に耐え切れずトンネルが崩壊する恐れが生じる。過去にはセグメント厚を小さくしたことが原因と推定される水没事故が起きている。

#### ■ 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。

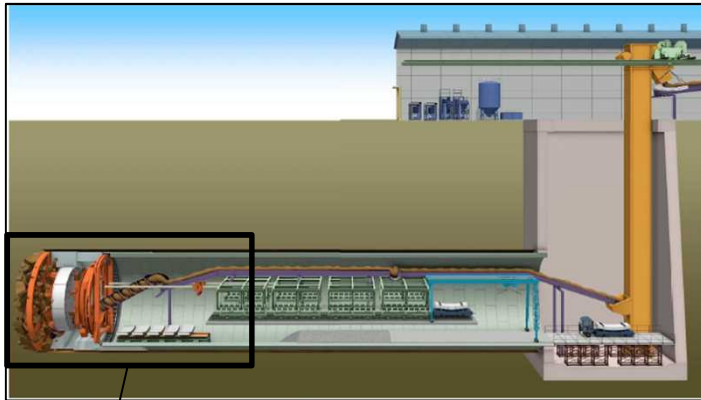


シールド工法 (東京電力株式会社 2009年  
東京湾横断部 東西連携ガス導管トンネル : 約18 km)

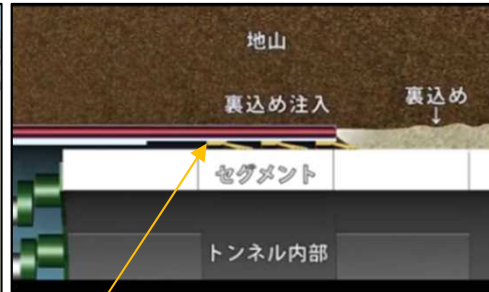


シールドトンネルの組立イメージ

■ シールド機の構造



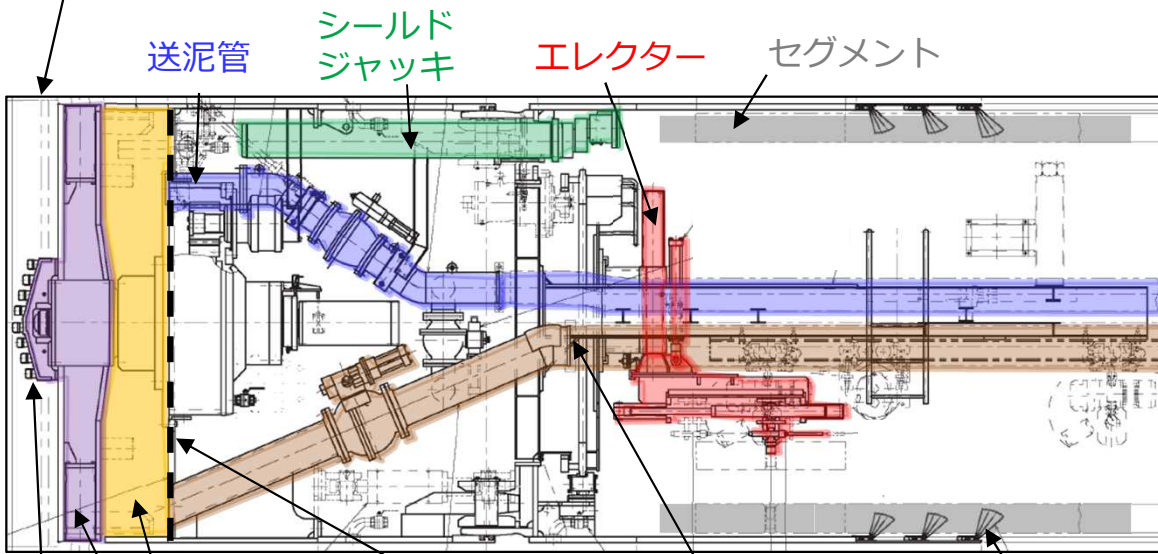
シールド工法イメージ



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](https://m.youtube.com/watch?time_continue=2&v=qBihbM14zwe&feature=emb_logo)



送泥管 シールドジャッキ エレクター セグメント  
 カッターチャンバ カッターヘッド カッタービット 隔壁(点線部) 排泥管 テールシール  
 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      |

## 【参考】放水トンネルの設計および施工の考慮事項

- 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も確認し、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>シールド機の設計</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。<br/>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>                                                                                                                        |

## 放水方法 設備概要/設計

### 設備概要

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）

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 1.4.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

#### 「14. 設計上の考慮 ①準拠及び基準」

- 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、設計、材料の選定、製作及び検査について、それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであること。
- 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・原子力発電所土木建造物の設計（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\***
  - **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）**
  - **港湾の施設の技術上の基準・同解説 2018年日本港湾協会**
  - **道路橋示方書・同解説 I 共通編 2017年日本道路協会**
  - **道路橋示方書・同解説IV下部構造編 2017年日本道路協会**
  - **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 大規模地下建造物の耐震設計法・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）\***

※赤字：放水トンネルの設計に適用

\*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5からの記載の適正化

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 1.4.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

#### 「14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮」（地震）

- 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。
- ALPS処理水希釈放出設備のうち上流水槽は、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）を取り扱うことを踏まえ、設備等の機能喪失による公衆への放射線影響の程度により、耐震Cクラスと位置付けられる。  
(実施計画：Ⅱ-2-50-添5-1)

#### 【評価方法】

- ✓ 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(耐震Cクラスに準拠)

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 1.4.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

#### 「14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮」（地震以外の自然現象）

- 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。
- 津波（実施計画：Ⅱ-2-50-8）
  - 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）（実施計画：Ⅱ-2-50-8）
  - 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。

#### 【評価方法】

- ✓ 日本海溝津波相当の津波に対する海水面の上昇を考慮
- ✓ 設計波高相当（50年確率有義波高：7.0m、周期：15.0秒）の波浪等を考慮

## 2 - 1 (1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護 等

### 1.4.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

#### 「14. 設計上の考慮 ④火災に対する設計上の考慮」

- 火災発生防止、火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて、火災により施設の安全性を損なうことのない設計であること。
- 火災（実施計画：Ⅱ-2-50-5）
    - ALPS処理水希釈放出設備は、火災発生を防止するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。

#### 【評価方法】

- ✓ RC構造物であるため、火災の懸念は無い。

## 2 - 1 (1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護 等

### 1.4.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

#### 「14. 設計上の考慮 ⑧信頼性に対する設計上の考慮」

- 安全機能や監視機能を有する構築物、系統及び機器は、十分に高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設計であること。

#### ■ 構造（実施計画：Ⅱ-2-50-7）

- 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。また、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（実施計画：Ⅱ-2-50-7）

- 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。）

※赤字：放水トンネルの設計に適用



## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

## 1.4.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

## 「14. 設計上の考慮 ⑧信頼性に対する設計上の考慮」（続き）

- 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<br>(下流水槽) | 放水<br>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<br>(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。

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

## 1.4.2 措置を講ずべき事項への適合性確認（主要材料の許容応力度）

## ■ 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（普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種）とし、設計基準強度は24N/mm<sup>2</sup>、30N/mm<sup>2</sup>、42N/mm<sup>2</sup>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 ※赤字：放水トンネルの設計に適用

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

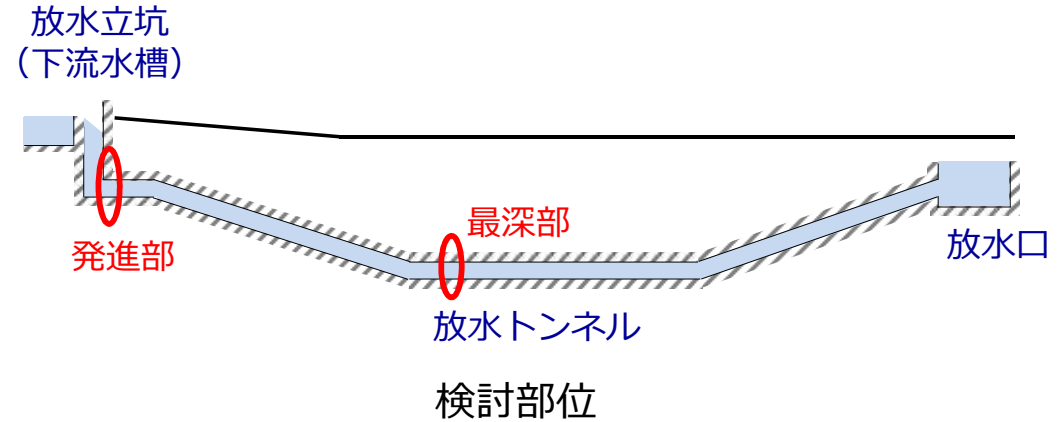
鉄筋の許容応力度

| 使用材料  | 長期                         | 短期                         |
|-------|----------------------------|----------------------------|
|       | 引張<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 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 <sup>2</sup> ) | 許容応力 (N/mm <sup>2</sup> ) | 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      |

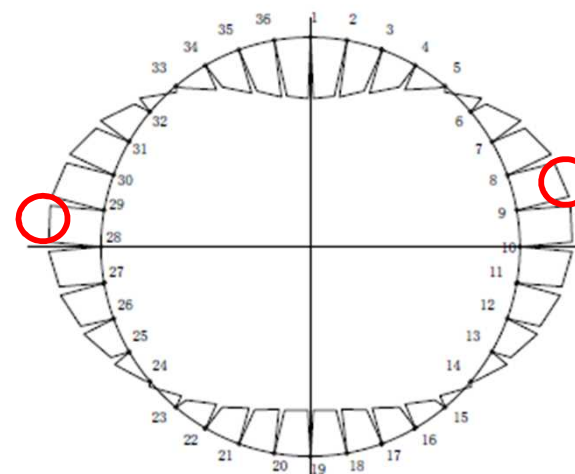
\*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5からの記載の適正化

■ 各検討部位の応力度照査結果

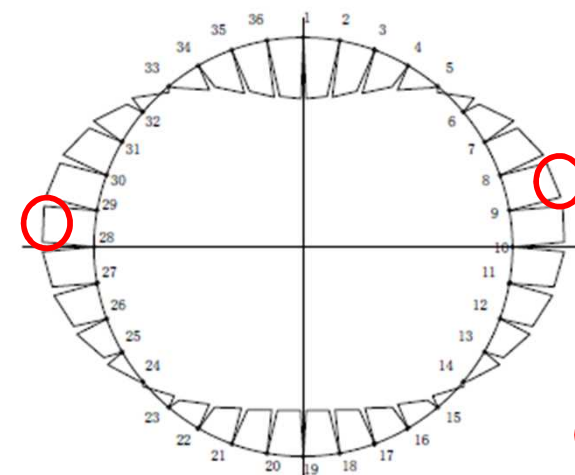
覆工板(セグメント) 応力度照査の照査結果

| 検討部位         | 応力度照査<br>(発生/許容) |
|--------------|------------------|
|              |                  |
| 覆工板<br>(発進部) | 0.39             |
| 覆工板<br>(最深部) | <b>0.46</b>      |

※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）における地震時の拔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拔出し量の合計を水平変位量とし、地震時には特に有意な影響はないと判断した。

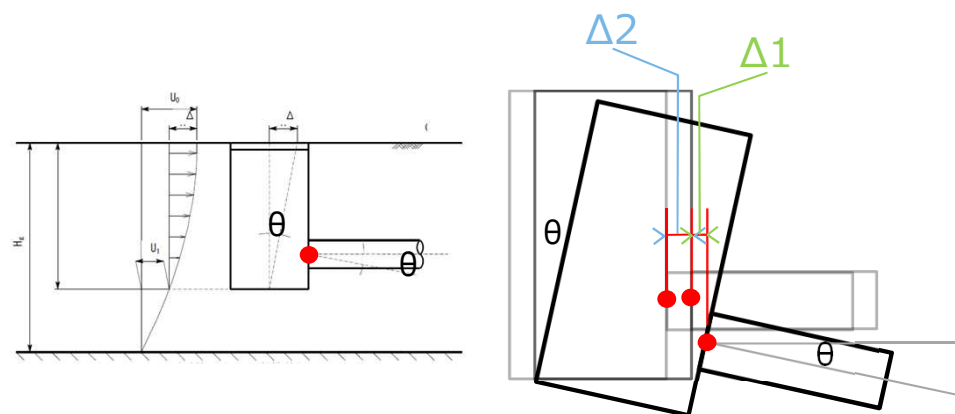
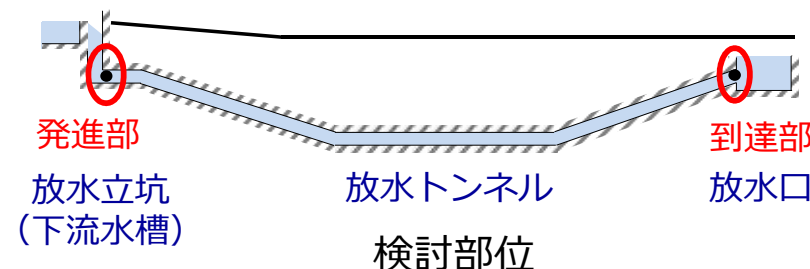
水平変位量の照査結果

| 検討部位 | 屈曲※1による変位 $\Delta 1$ (mm) | 拔出し量※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 $\theta$ 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



## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 【参考】措置を講ずべき事項への適合性確認（検討ケース）

#### 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<br>(発進部) | 常時               | 空水時                        | 2D                 | G.L.±0.00           | 赤字:<br>覆工板(発進部)の<br>クリティカルケース           |                                         |
|              |                  | 内水圧作用時(長期 <sup>※1)</sup> ) |                    |                     |                                         |                                         |
|              |                  | 内水圧作用時(短期 <sup>※2)</sup> ) |                    |                     |                                         |                                         |
|              | 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<br>(最深部) | 常時               | 空水時                        | 2D                 | H.W.L(T.P.+0.757m)  | ※1)50年確率の有義<br>波高から求めた<br>内水位T.P.+6.40m |                                         |
|              |                  | 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                        | 0.175D             | H.W.L(T.P.+0.757m)  |                                         | ※2)50年確率の最大<br>波高から求めた<br>内水位T.P.+9.30m |
|              |                  | 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 <sup>※</sup> | 2D                         | H.W.L(T.P.+0.757m) | ※3)地震時に最も<br>厳しいケース |                                         |                                         |
|              |                  | 0.175D                     | L.W.L(T.P.-0.778m) |                     |                                         |                                         |

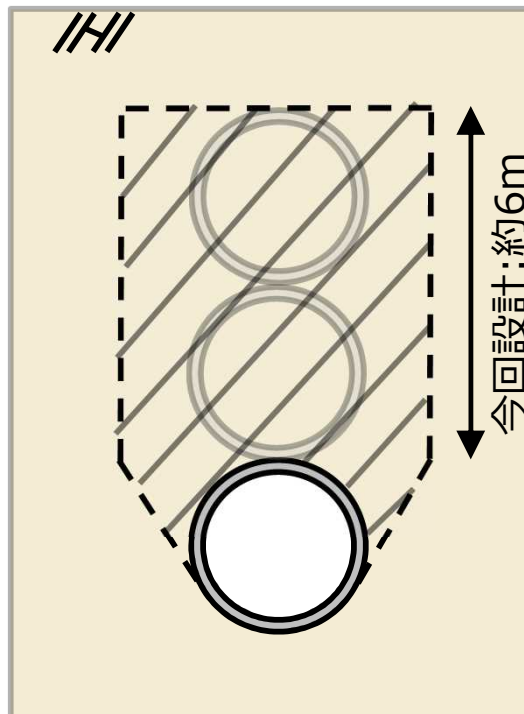
## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 【参考】放水トンネルに作用する荷重の考え方

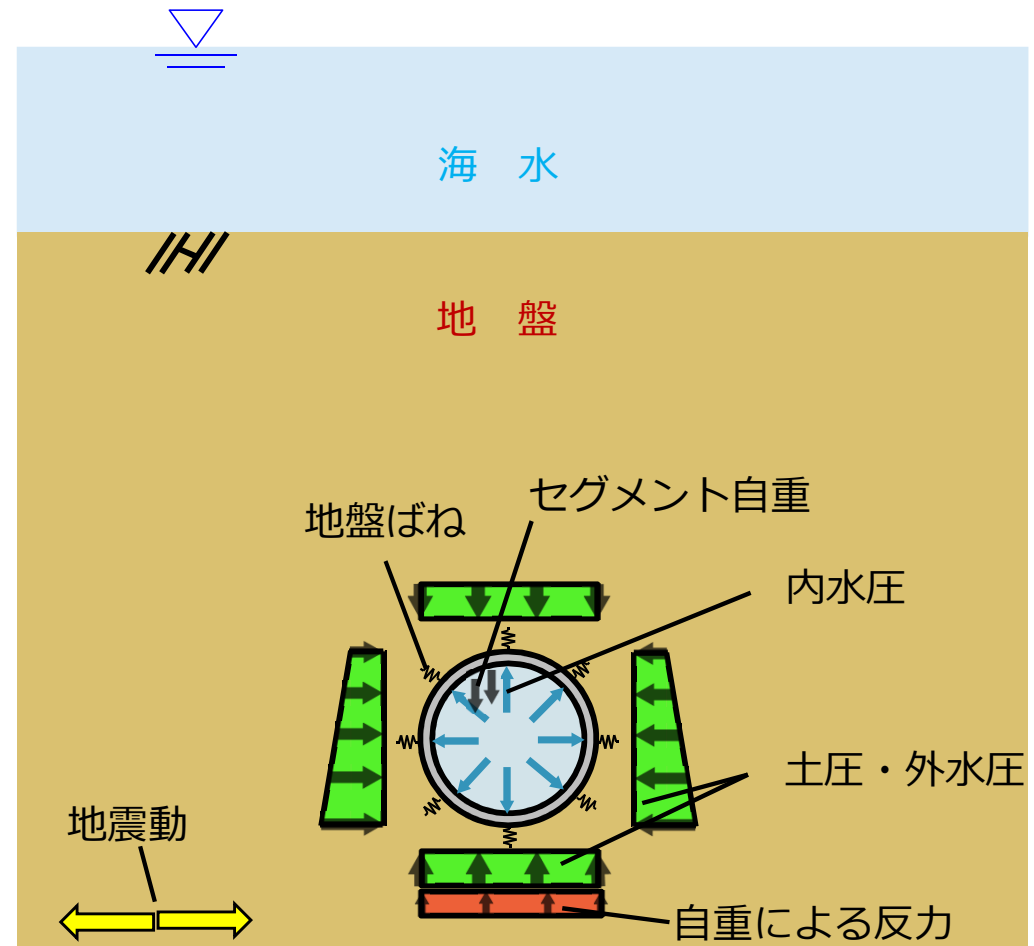
- 今回の地盤において、トンネル天端より上の地盤が緩む高さを計算した結果、地盤が緩まないことを確認している
- しかし、地盤の土圧(土による荷重)は、トンネルの天端から鉛直上方向にトンネル外径の2倍(約6m)の範囲の地盤が崩壊したときの値を設定し※、セグメントが健全であることを確認した
- 内水圧は、50年確率の最大波高から求めた内水位T.P.+9.30mを設定し求めた

※シールド工事用標準セグメント,P95

設計上、崩壊しても  
問題ない土の範囲  
(斜線部)



設計で土圧を見込む範囲イメージ



設計荷重イメージ

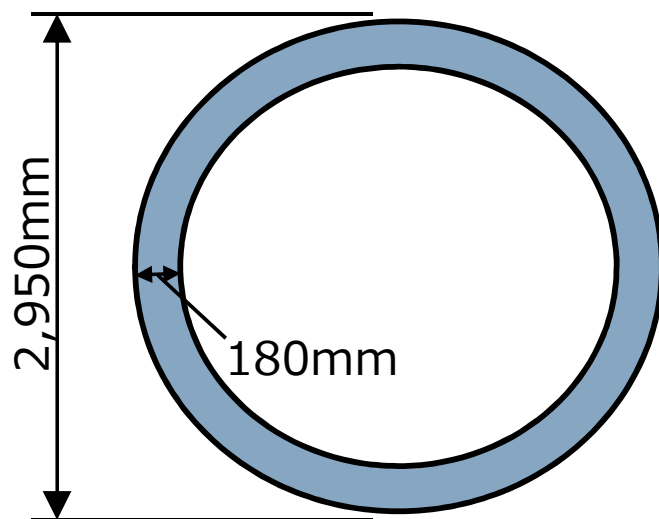
【参考】セグメントの高さ(厚さ)と外径

■ セグメントの高さ(厚さ)と外径

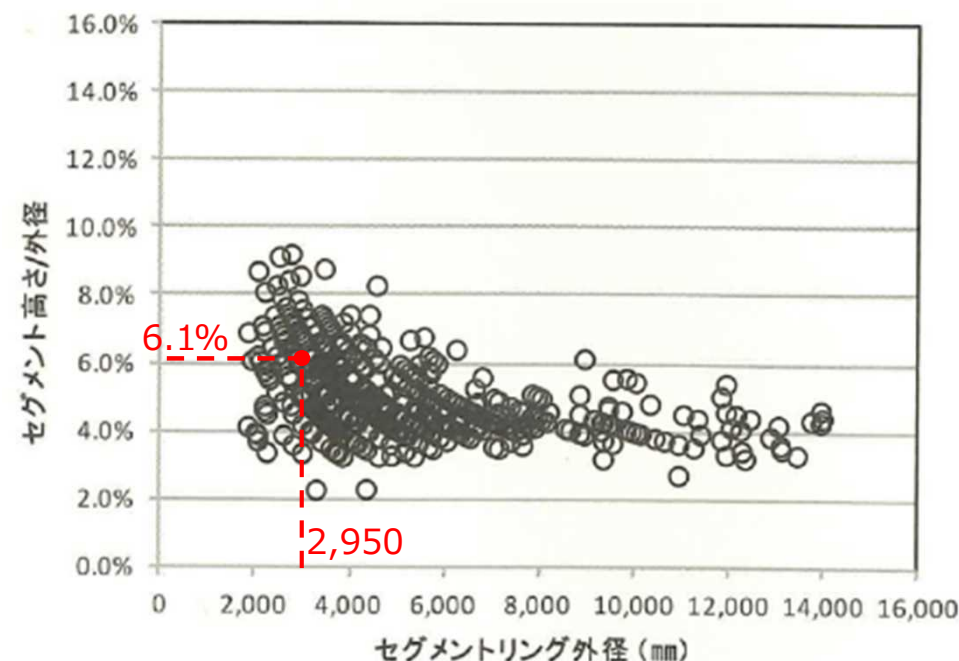
- セグメント外径2,950mmに対するセグメントの高さ(厚さ)180mmの比率は6.1%※

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



## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

## 1.4.5 措置を講ずべき事項への適合性確認（耐久性の評価（ひび割れ幅））

## ■ 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 $w_q$ 以下であることを確認する。

$$w / w_q \leq 1.0$$

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

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

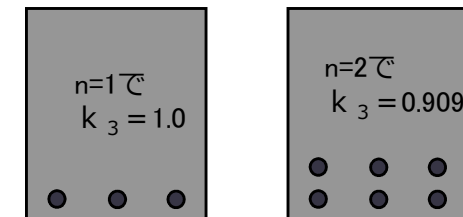
$k_2$ ：コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす係数で、次式による

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

$f'_c$ ：コンクリートの圧縮強度（N/mm<sup>2</sup>）、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)、 $\phi$ ：鋼材径（mm）、

$\sigma_{se}$ ：鉄筋の応力度の増加量（N/mm<sup>2</sup>）、

$\varepsilon'_{csd}$ ：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、 $\varepsilon'_{csd}$ の値は $150 \times 10^{-6}$ 程度）

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

## 1.4.6 措置を講ずべき事項への適合性確認（耐久性の評価（塩害））

## ■ 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<br>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<br>$\gamma_i \cdot \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0$                                                                |

$D_d$  : 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 (cm<sup>2</sup>/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(cm<sup>2</sup>/年) 。一般に200cm<sup>2</sup>/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 400cm<sup>2</sup>/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】**

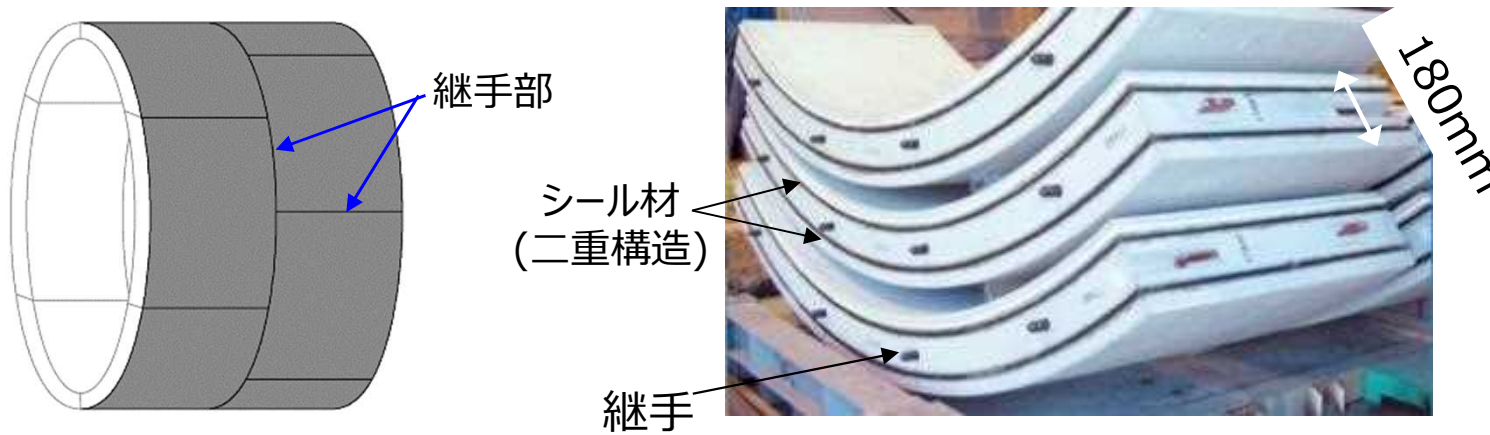
放水トンネルにおける塩化物イオン濃度を鉄筋腐食発生限界濃度と比較し、鉄筋位置における塩化物イオン濃度/鉄筋腐食発生限界濃度の比が最大となる部位の照査結果を下表に示す。

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 <sup>3</sup> ) | 鉄筋腐食発生限界濃度 (kg/m <sup>3</sup> ) | 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                        |

\*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5からの記載の適正化

- 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。



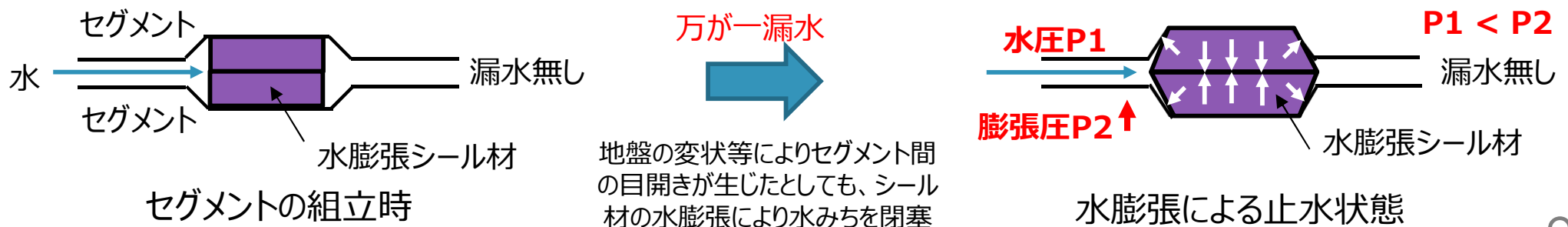
| シール材 | 諸元          |
|------|-------------|
| 厚さ   | 約4mm        |
| 幅    | 約17mm       |
| 材質   | クロロプレン合成ゴム系 |

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

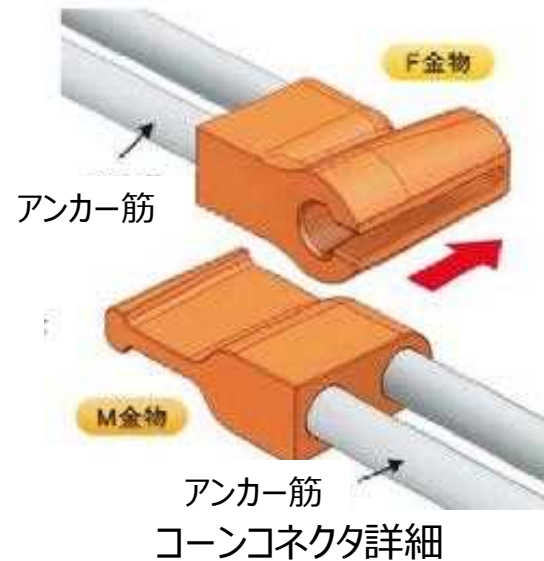
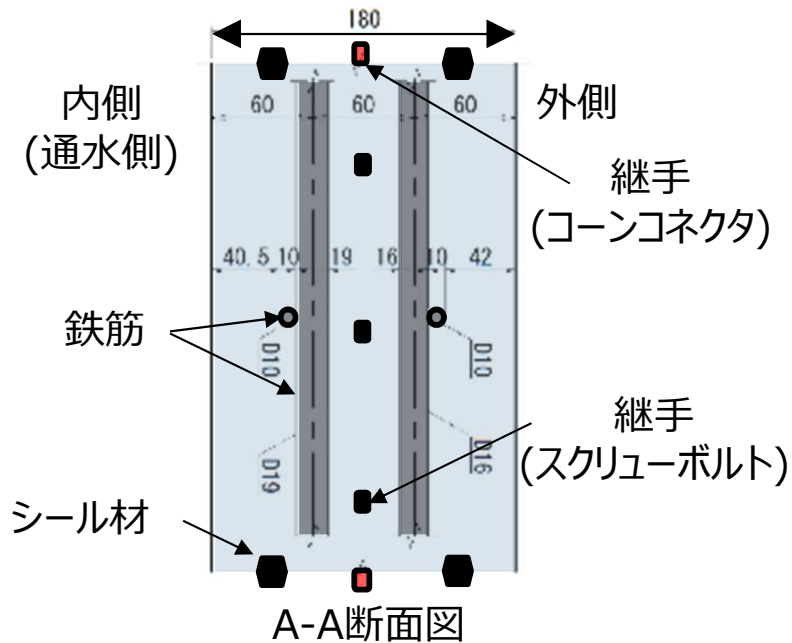
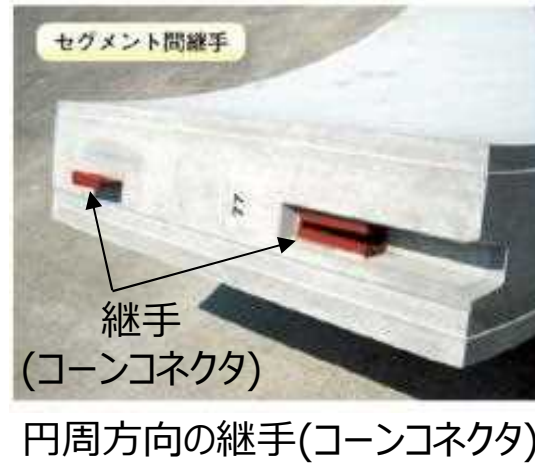
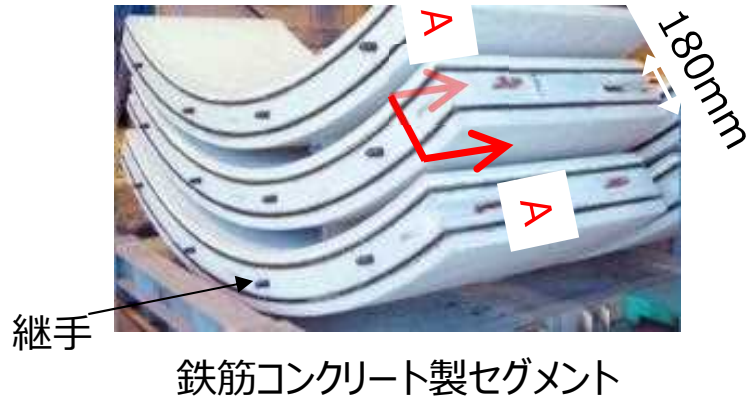
【止水の原理】



【補足】セグメントの継手 (1/2)

■ セグメントの継手

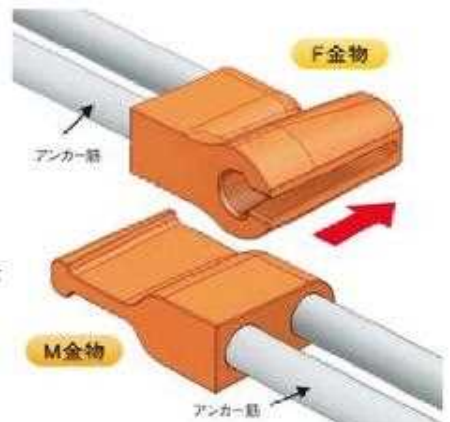
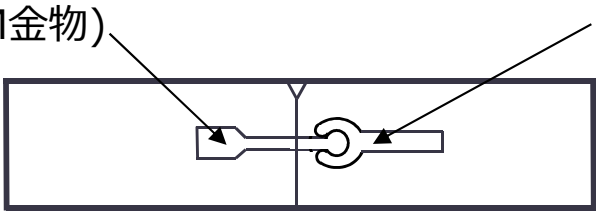

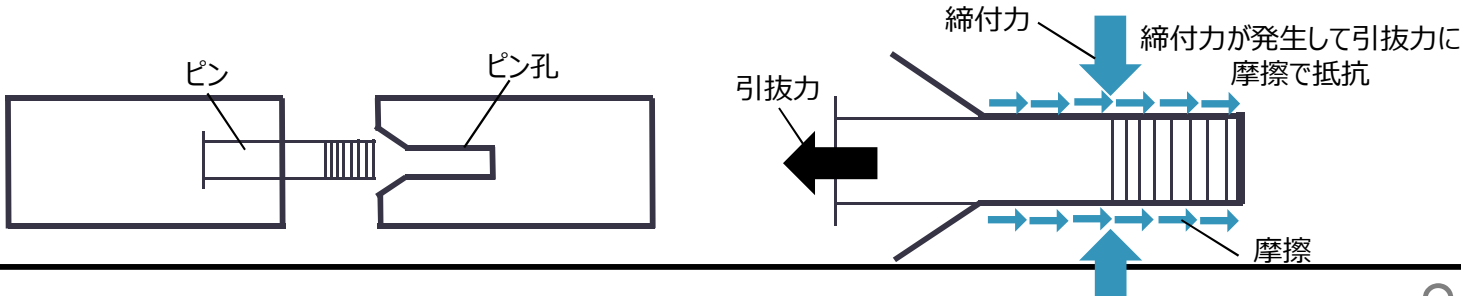
- セグメント間の継手は、セグメントの円周方向の継手(コーンコネクタ継手)と放水トンネルの延長方向の継手(スクリーボルト継手)の2種類



スクリーボルト詳細

【補足】セグメントの継手 (2/2)

■ 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<br/>(くさび継手構造)</p>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 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</li> <li>➤ 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</li> <li>➤ 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</li> </ul> <div style="text-align: center;">  <p>くさび金物(M金物)      くさび金物(F金物)</p> </div> |
|  <p>スクリーボルト継手<br/>(ピン挿入型継手構造)</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 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</li> <li>➤ 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</li> </ul> <div style="text-align: center;">  <p>引抜力      締付力      締付力が発生して引抜力に摩擦で抵抗      摩擦</p> </div>              |

## 放水設備の設計※

放水トンネル 設備概要/設計

**放水口ケーソン 設備概要/設計**

審査会合第8回の指摘事項に対する回答

※：一般土木構造物としての規格及び基準に準拠し、十分な安全性・耐久性・耐震性等を有する設計であることを照査した結果を記載したものである。

## 放水ロケーション 設備概要/設計

### 設備概要

### 放水ロケーションの設計(構造)



## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

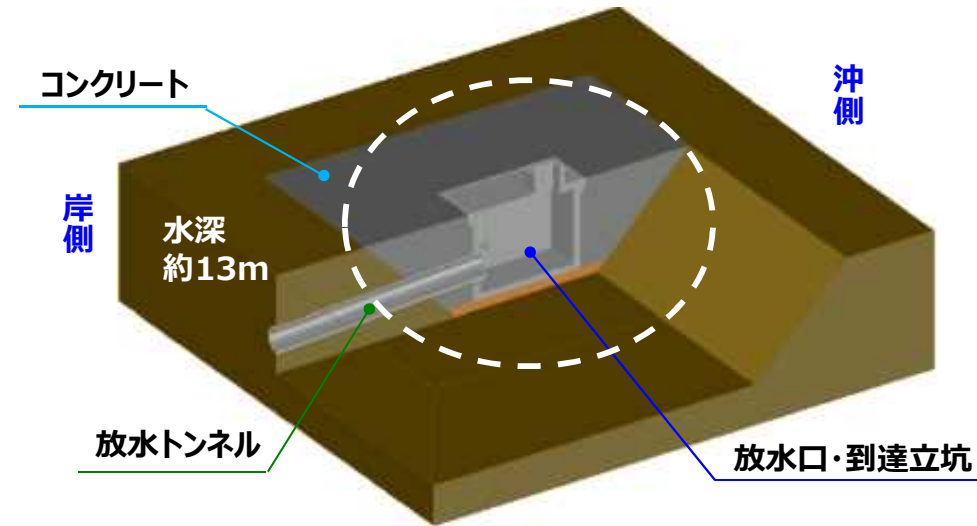
### 2.1.1 放水口ケーソンの設備概要

#### 放水口ケーソンの諸元

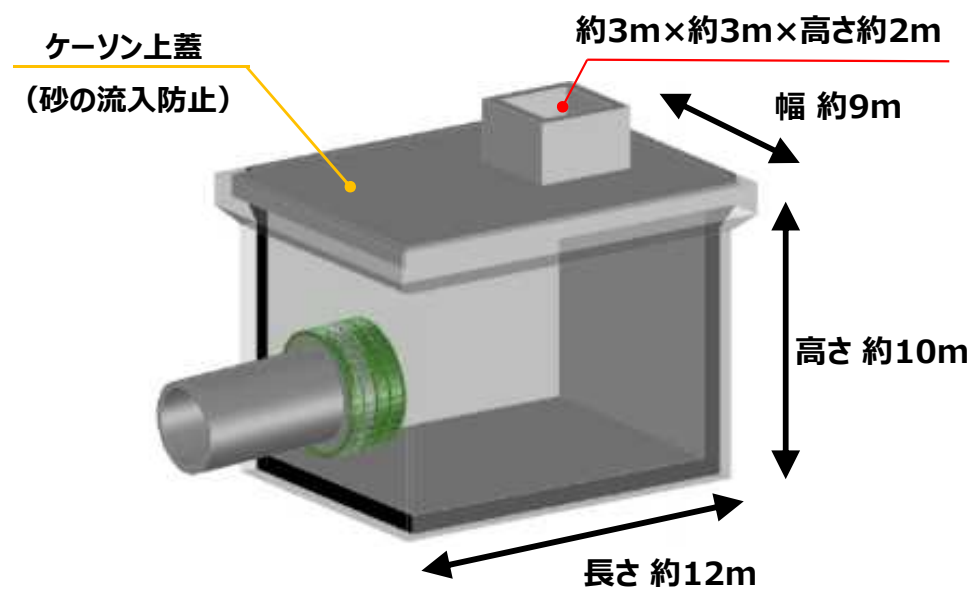
|      |                           |
|------|---------------------------|
| 躯体寸法 | 幅 約9m × 長さ 約12m × 高さ 約10m |
|------|---------------------------|

#### ケーソン上蓋の諸元

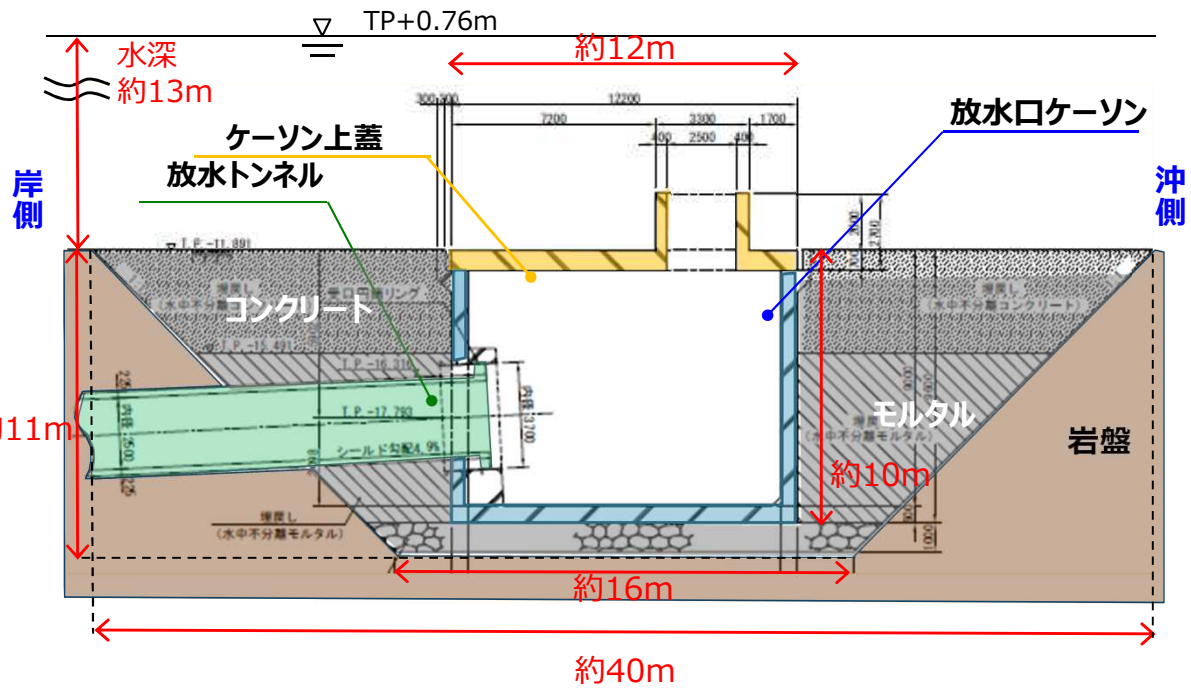
|    |                          |
|----|--------------------------|
| 寸法 | 幅 約9m × 長さ 約12m × 高さ 約1m |
|----|--------------------------|



放水口イメージ図

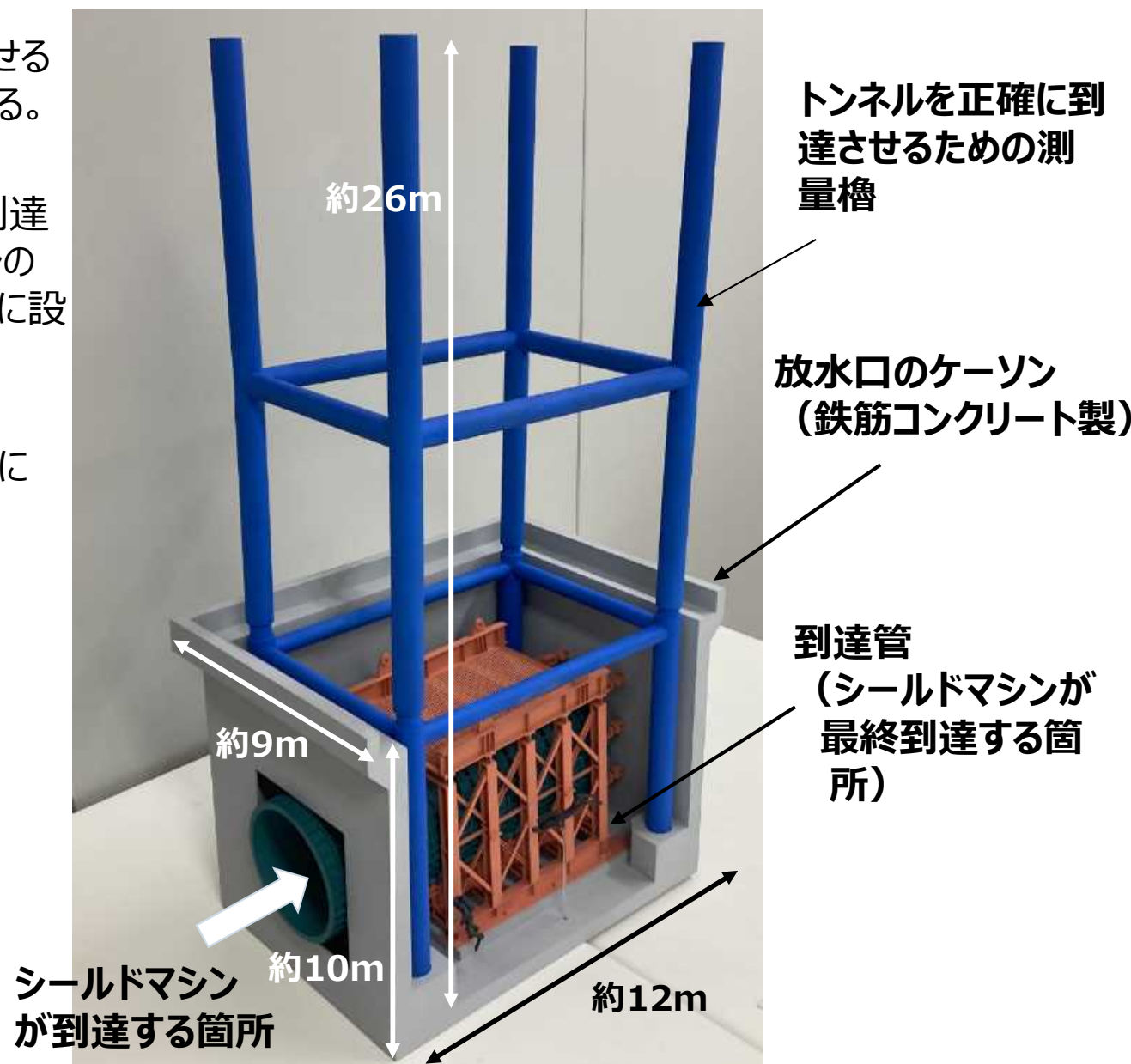


放水口イメージ図 (拡大)



放水口断面図

- 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

## 放水ロケーション 設備概要/設計

### 設備概要

### 放水ロケーションの設計(構造)

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 2.2.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

#### 「14. 設計上の考慮 ①準拠及び基準」

- 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、設計、材料の選定、製作及び検査について、それらが果たすべき安全機能の重要度を考慮して適切と認められる規格及び基準によるものであること。
- 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・原子力発電所土木建造物の設計（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\***
  - **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）**
  - 港湾の施設の技術上の基準・同解説 2018年日本港湾協会
  - 道路橋示方書・同解説 I 共通編 2017年日本道路協会
  - 道路橋示方書・同解説IV下部構造編 2017年日本道路協会
  - 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 大規模地下建造物の耐震設計法・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）\***

※赤字：放水口の設計に適用

\*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5からの記載の適正化

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 2.2.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

#### 「14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮」（地震）

- 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その安全機能の重要度及び地震によって機能の喪失を起こした場合の安全上の影響を考慮して、耐震設計上の区分がなされるとともに、適切と考えられる設計用地震力に十分耐えられる設計であること。
- 放水設備は、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）を取り扱うことを踏まえ、設備等の機能喪失による公衆への放射線影響の程度により、耐震Cクラスと位置付けられる。

（実施計画：Ⅱ-2-50-添5-1）

#### 【評価方法】

- ✓ 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。

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 2.2.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

#### 「14. 設計上の考慮 ②自然現象に対する設計上の考慮」（地震以外の自然現象）

- 安全機能を有する構築物、系統及び機器は、地震以外の想定される自然現象（津波、豪雨、台風、竜巻等）によって施設の安全性が損なわれない設計であること。重要度の特に高い安全機能を有する構築物、系統及び機器は、予想される自然現象のうち最も苛酷と考えられる条件、又は自然力に事故荷重を適切に組み合わせた場合を考慮した設計であること。
- 津波（実施計画：Ⅱ-2-50-8）
  - 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）（実施計画：Ⅱ-2-50-8）
  - 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。

#### 【評価方法】

- ✓ 日本海溝津波相当の津波に対する耐波圧性を評価
- ✓ 設計波高相当（50年確率有義波高：7.0m、周期：15.0秒）の波浪等を考慮

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 2.2.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

#### 「14. 設計上の考慮 ④火災に対する設計上の考慮」

- 火災発生防止、火災検知及び消火並びに火災の影響の軽減の方策を適切に組み合わせて、火災により施設の安全性を損なうことのない設計であること。

#### ■ 火災（実施計画：Ⅱ-2-50-8）

- 火災発生を防止するため、実用上可能な限り不燃性又は難燃性材料を使用する。なお、設備内部に海水が充水されていることから火災のリスクは非常に低い。

#### 【評価方法】

- ✓ 水中の設備であるため、火災の懸念は無い。

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 2.2.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

#### 「14. 設計上の考慮 ⑧信頼性に対する設計上の考慮」

- 安全機能や監視機能を有する構築物、系統及び機器は、十分に高い信頼性を確保し、かつ、維持し得る設計であること。

#### ■ 構造（実施計画：Ⅱ-2-50-7）

- 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。また、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（実施計画：Ⅱ-2-50-7）

- 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。）

※赤字：放水口ケーソンの設計に適用



## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

## 2.2.1 措置を講ずべき事項への適合性確認

## 「14. 設計上の考慮 ⑧信頼性に対する設計上の考慮」（続き）

- 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<br>(下流水槽) | 放水<br>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<br>(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。

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

## 2.2.2 措置を講ずべき事項への適合性確認（主要材料の許容応力度）

## ■ 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（普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種）とし、設計基準強度は24N/mm<sup>2</sup>、30N/mm<sup>2</sup>、42N/mm<sup>2</sup>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

※赤字：放水口ケーソンの設計に適用

| コンクリートの<br>設計基準強度   | 長期                         |                             | 短期                         |                             | 備考         |
|---------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------|
|                     | 圧縮<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | せん断<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 圧縮<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | せん断<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |            |
| 24N/mm <sup>2</sup> | 9.0                        | 0.45                        | 13.5                       | 0.675                       | 放水立坑（下流水槽） |
| 30N/mm <sup>2</sup> | 11.0                       | 0.50                        | 16.5                       | 0.75                        | 放水口        |
| 42N/mm <sup>2</sup> | 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<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| SD345 | 200                        | 300                        |

2.2.3 措置を講ずべき事項への適合性確認（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 <sup>2</sup> ) | 許容応力 (N/mm <sup>2</sup> ) | 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      |

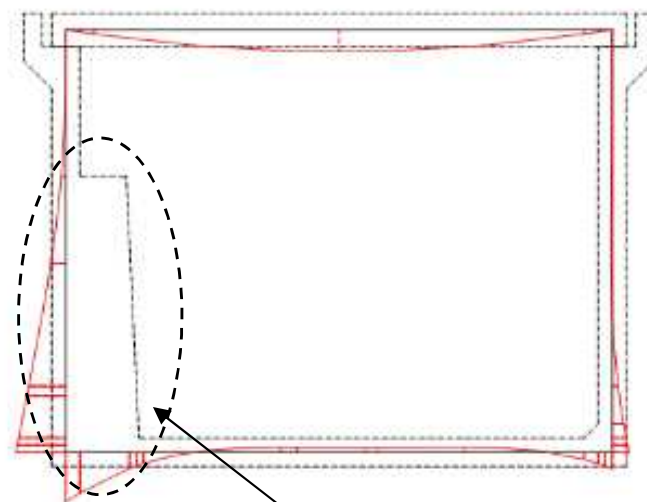
\*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5からの記載の適正化

■ 最大応力の発生位置

応力度の照査結果（常時）

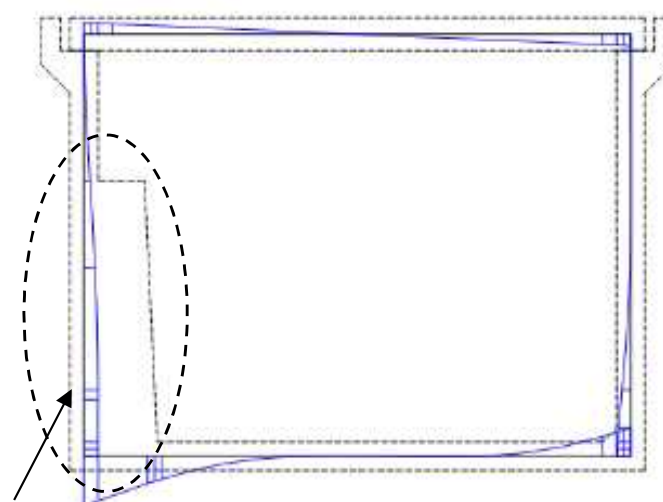
| 検討部位 | 応力度照査<br>(発生/許容) |      |
|------|------------------|------|
|      | 曲げ<br>モーメント      | せん断力 |
| 底版   | 0.41             | 0.46 |
| 側壁   | 0.41             | 0.48 |

※赤字：応力度照査の最大値

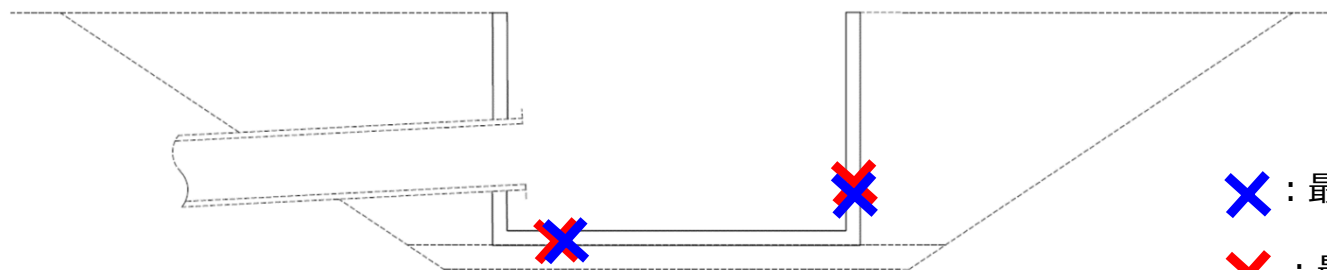


開口部の補強のため、部材厚を大きくしている

断面力図（曲げモーメント）



断面力図（せん断力）



×：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）

断面図

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

## 2.2.5 措置を講ずべき事項への適合性確認（耐久性の評価（ひび割れ幅））

## ■ 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 $w_q$ 以下であることを確認する。

$$w / w_q \leq 1.0$$

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

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

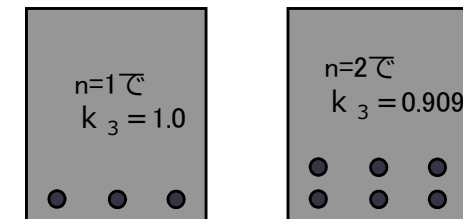
$k_2$  : コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす係数で、次式による

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

$f'_c$  : コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)、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)、 $\phi$  : 鋼材径 (mm)、

$\sigma_{se}$  : 鉄筋の応力度の増加量 (N/mm<sup>2</sup>)、

$\varepsilon'_{csd}$  : 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、 $\varepsilon'_{csd}$ の値は $150 \times 10^{-6}$ 程度)

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

## 2.2.6 措置を講ずべき事項への適合性確認（耐久性の評価（塩害））

## ■ 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<br>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<br>$\gamma_i \cdot \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0$                                                                |

 $D_d$ ：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（ $\text{cm}^2/\text{年}$ ）。一般に $200\text{cm}^2/\text{年}$ 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 $\gamma_i$ ：構造物係数。一般的に1.0とする。\*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5  
からの記載の適正化  $400\text{cm}^2/\text{年}$

- 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 <sup>3</sup> ) | 鉄筋腐食発生限界濃度 (kg/m <sup>3</sup> ) * | 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)

W : 鉛直荷重 (kN)

V<sub>w</sub> : 地下水位以下の容積 (m<sup>3</sup>)

γ<sub>w</sub> : 水(海水)の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

浮上がりに対する安全率

|         | 供用時  |     |
|---------|------|-----|
| 適用条件    | 常時   | 波浪時 |
| 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。

放水立坑（下流水槽）の浮上がりの照査結果を下表に示す。

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  |

\*実施計画Ⅱ章2.50 添付資料5からの記載の適正化

## 放水設備の設計※

放水トンネル 設備概要/設計

放水口ケーソン 設備概要/設計

### 審査会合第8回の指摘事項に対する回答

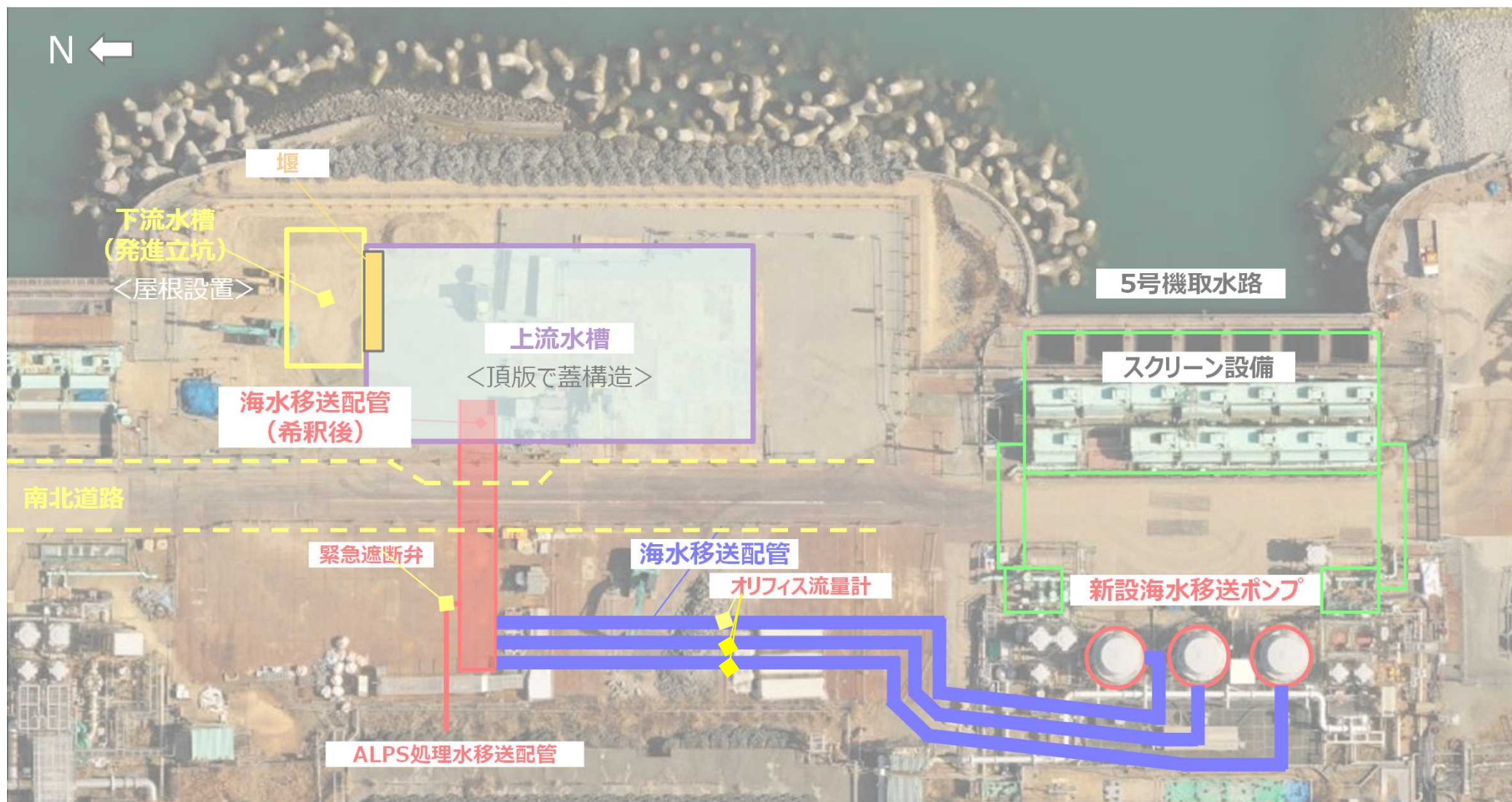
- 放水立坑の構造確定のメリットとして、自然災害対策を挙げているが、被災リスク低下（浸水はするが、直接の波力を緩和）に関して、実際の配置図で説明すること。
- 放水立坑（下流水槽）について、せん断補強筋を配筋することで耐力を確保すると説明しているが、計算内容について説明すること。

※：一般土木構造物としての規格及び基準に準拠し、十分な安全性・耐久性・耐震性等を有する設計であることを照査した結果を記載したものである。

## 2-1(1) ⑤機器の構造・強度、地震・津波など自然現象に対する防護等

### 3.1 希釈設備および放水設備の配置(放水トンネル・放水口除く)

- 自然災害対策の観点においても、海水移送配管（オリフィス流量測定範囲）の前面に水槽を配置することで、高潮や発生頻度が高い津波来襲時（2m程度（10年に1回程度））の被災リスクを低下できること。（浸水はするが、直接の波力を緩和できる）



### 3.2 放水立坑（下流水槽）のせん断力に対する評価結果

■ 放水立坑（下流水槽）の応力度照査（せん断力）の結果

- 放水立坑（下流水槽）の応力度照査では、コンクリートに作用するせん断応力が許容応力を超過する結果となった。

応力度照査（せん断力）の結果

| 検討部位 | 作用応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 許容応力<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 作用応力/<br>許容応力 |
|------|------------------------------|------------------------------|---------------|
| 底版   | 0.52                         | 0.45                         | 1.16          |
| 側壁   | 0.72                         | 0.45                         | 1.60          |

■ せん断補強筋の照査結果

- コンクリートに作用するせん断力が許容応力を超過するが、超過分に対してはせん断補強筋を配筋することで、せん断耐力を確保する。
- 評価方法としては、せん断補強筋が負担するせん断力を鉄筋の必要断面積に換算し、配置するせん断補強筋の総断面積が鉄筋の必要断面積を確保していることを確認する。
- 下表の通り、総断面積が必要断面積を上回ることを確認した。

せん断補強筋の評価結果

| 検討部位 | 総断面積<br>(cm <sup>2</sup> ) | 必要断面積<br>(cm <sup>2</sup> ) | 必要断面積/<br>総断面積 |
|------|----------------------------|-----------------------------|----------------|
| 底版   | 661.9                      | 446.8                       | 0.68           |
| 側壁   | 1290.2                     | 738.8                       | 0.57           |

## 以降、参考資料

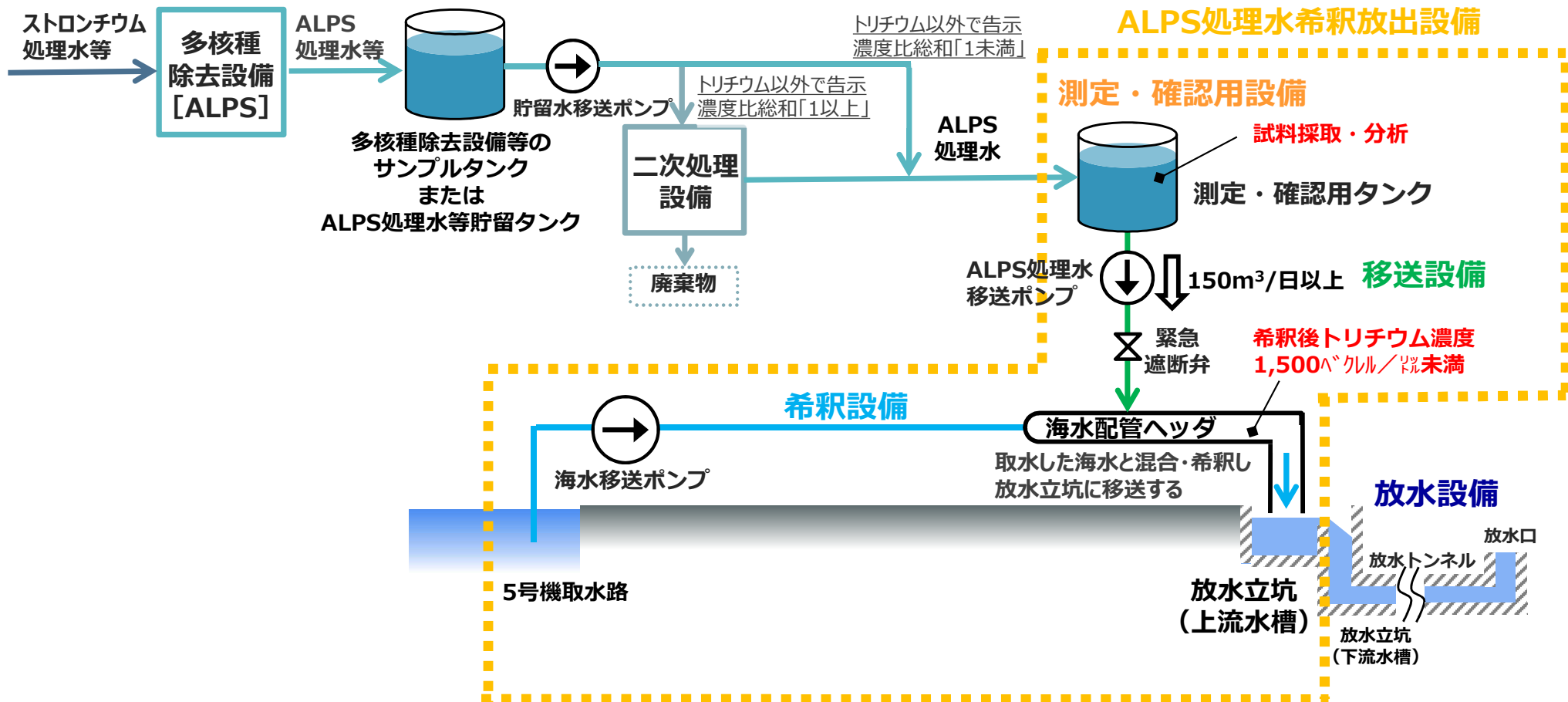
# 【参考】ALPS処理水希釈放出設備の全体概要

## ■ 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。



# 【参考】ALPS処理水希釈放出設備（測定・確認用設備）の概要

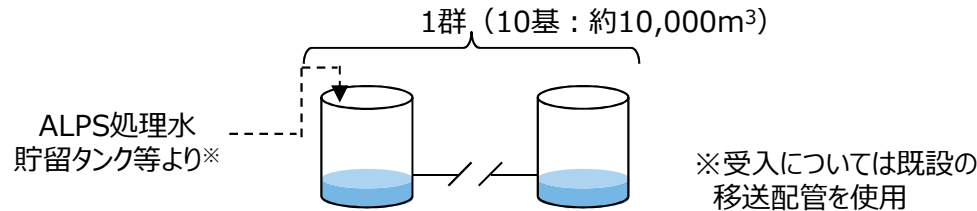


## ■ 測定・確認用設備

- 測定・確認用タンクはK4エリアタンク（計約30,000m<sup>3</sup>）を転用し、A～C群各10基（1基約1,000m<sup>3</sup>）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。

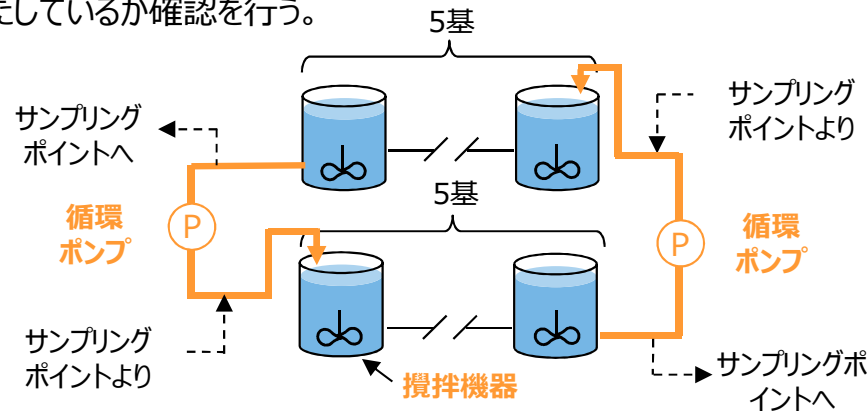
### ①受入工程

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。



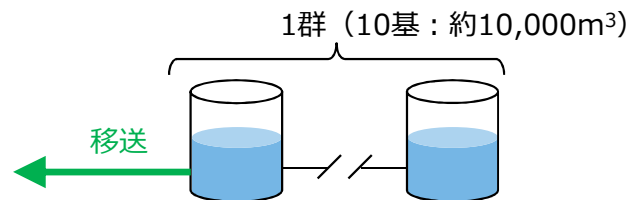
### ②測定・確認工程

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。

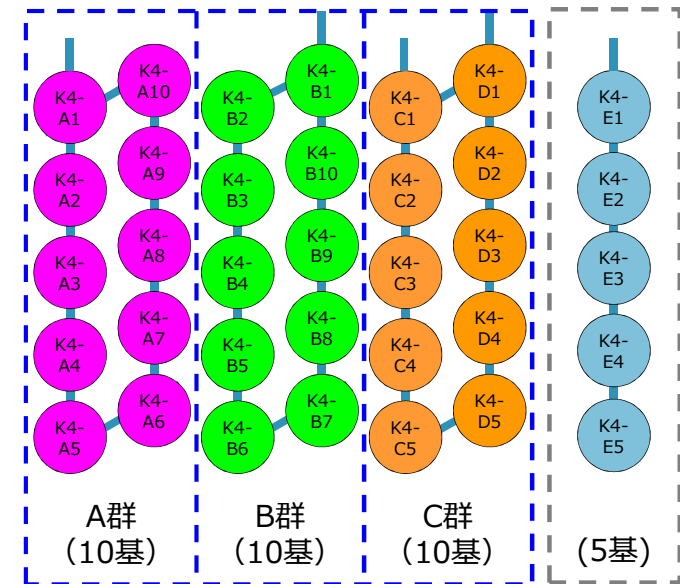


### ③放出工程

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

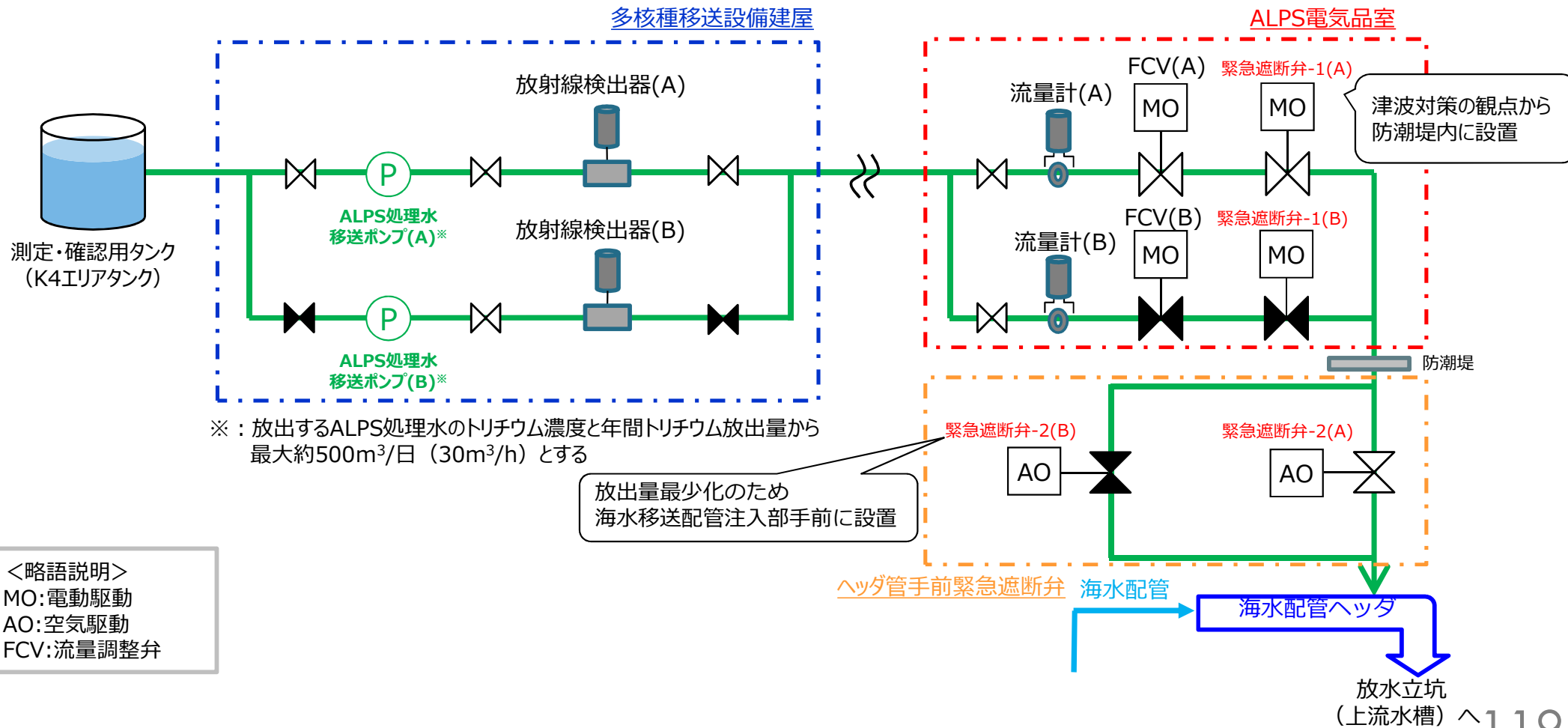
2.5章 多核種処理水貯槽

|     | 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    |

# 【参考】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箇所には設置する。



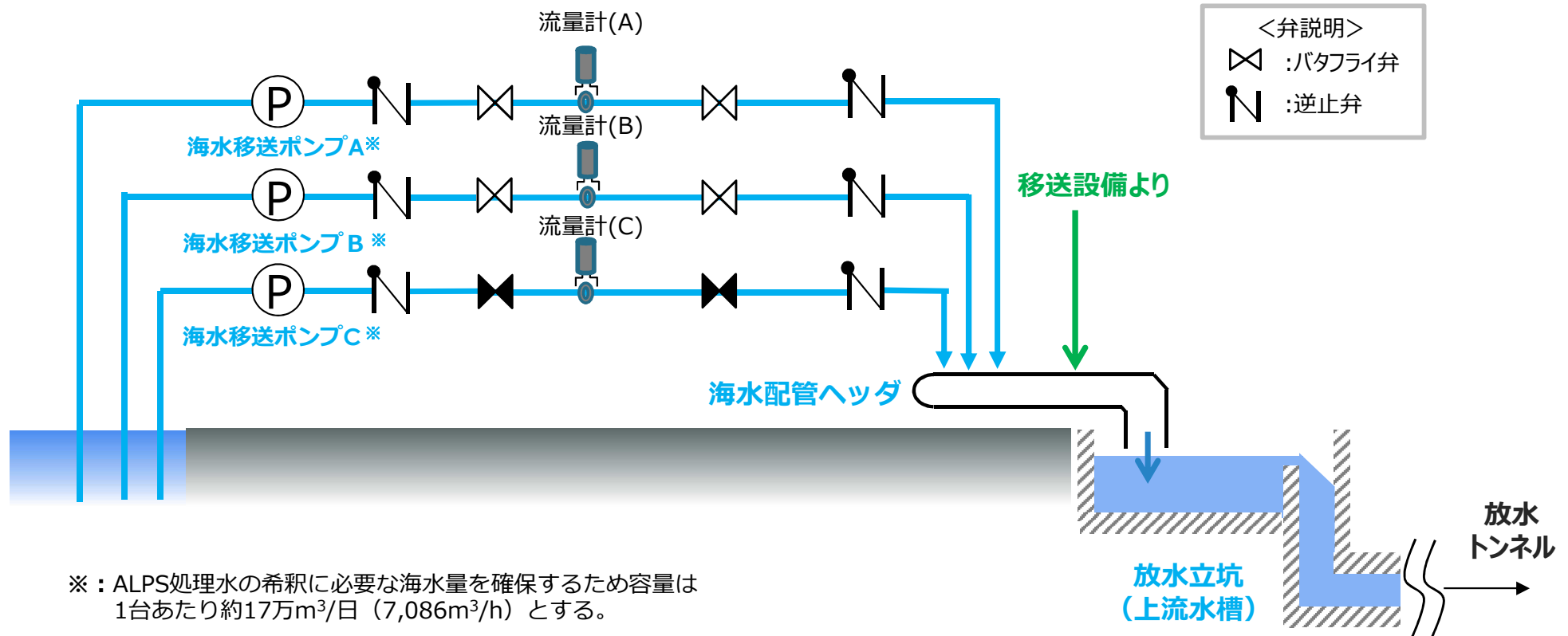
<略語説明>  
 MO: 電動駆動  
 AO: 空気駆動  
 FCV: 流量調整弁



## 【参考】ALPS処理水希釈放出設備（希釈設備）の概要

### ■ 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（ヘッド管含む）、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。



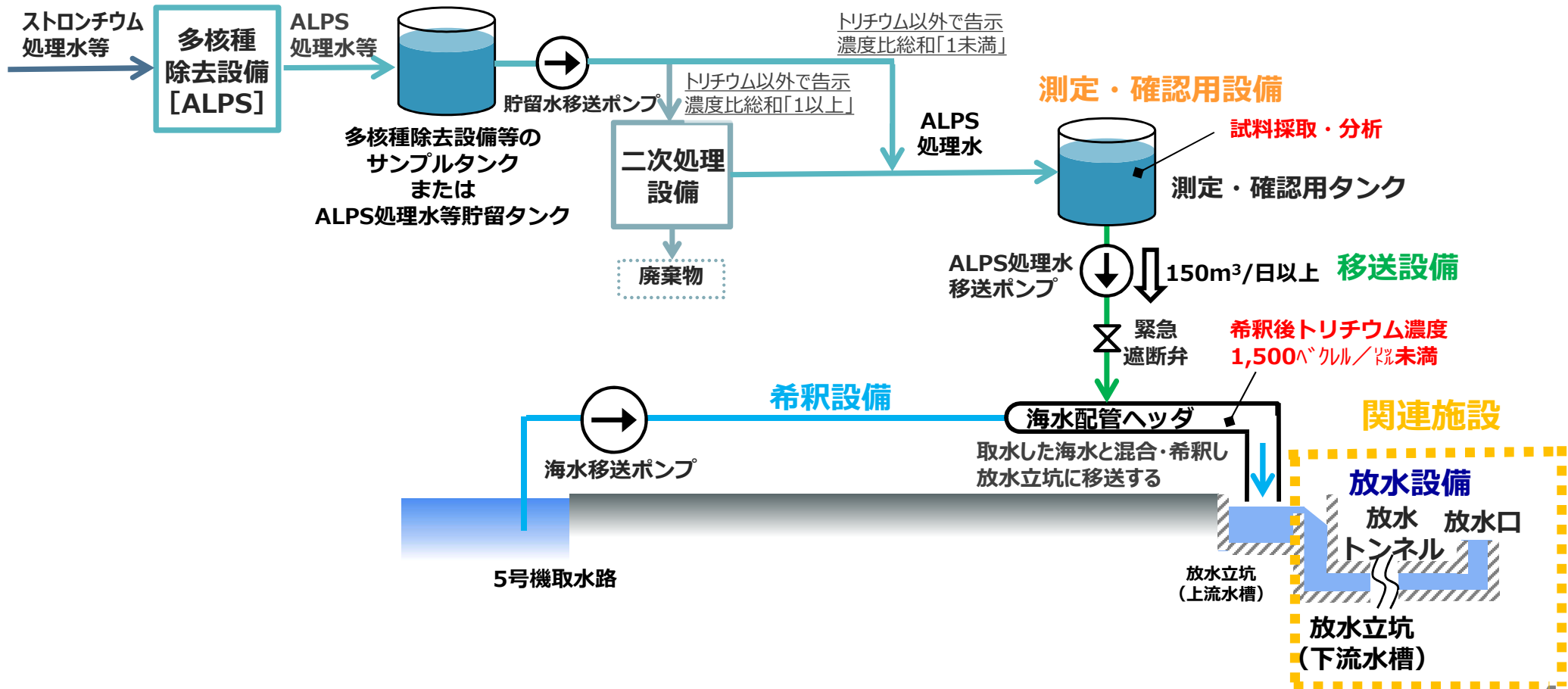
# 【参考】関連施設（放水設備）の全体概要

## ■ 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

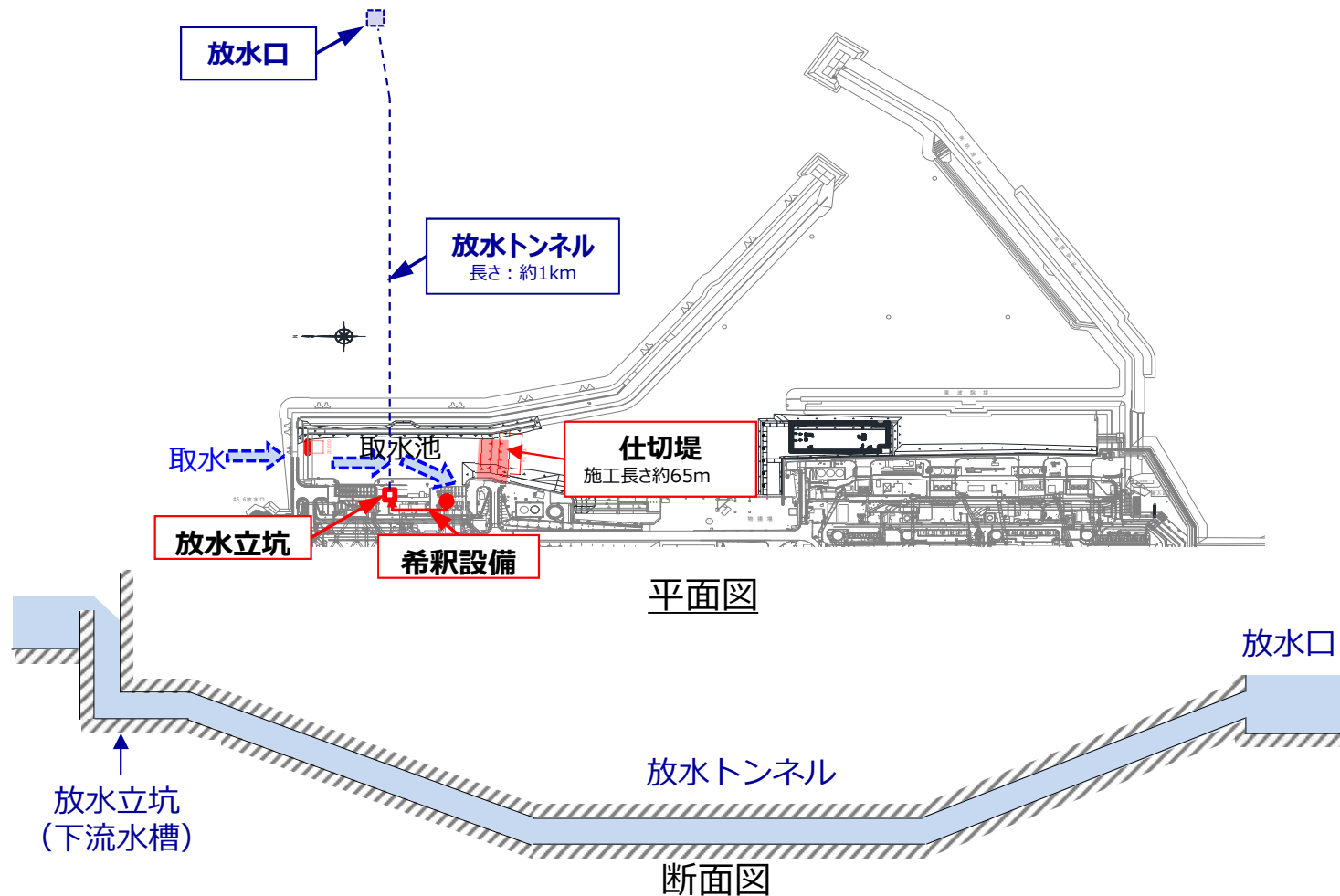
放水設備は、上記目的を達成するため、放水立坑（下流水槽）、放水トンネル、放水口により構成する。



## 【参考】 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。



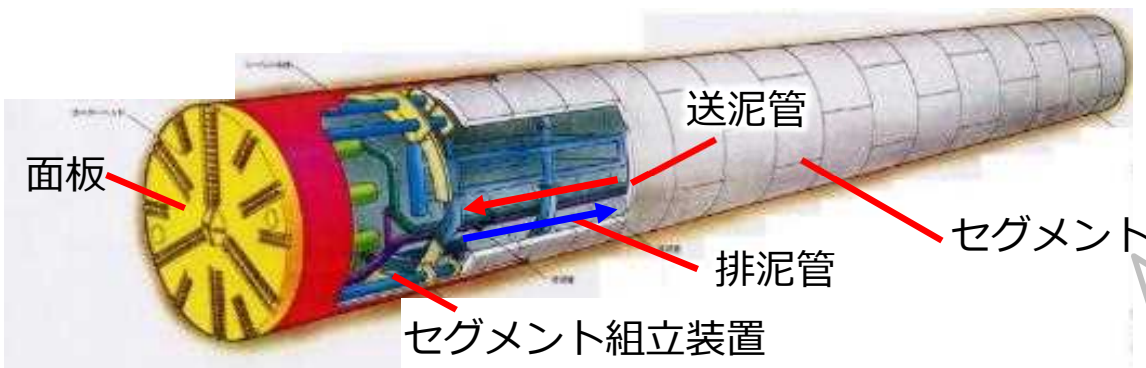
## 【参考】関連施設（放水設備）の概要（2/2）

### ■ 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。

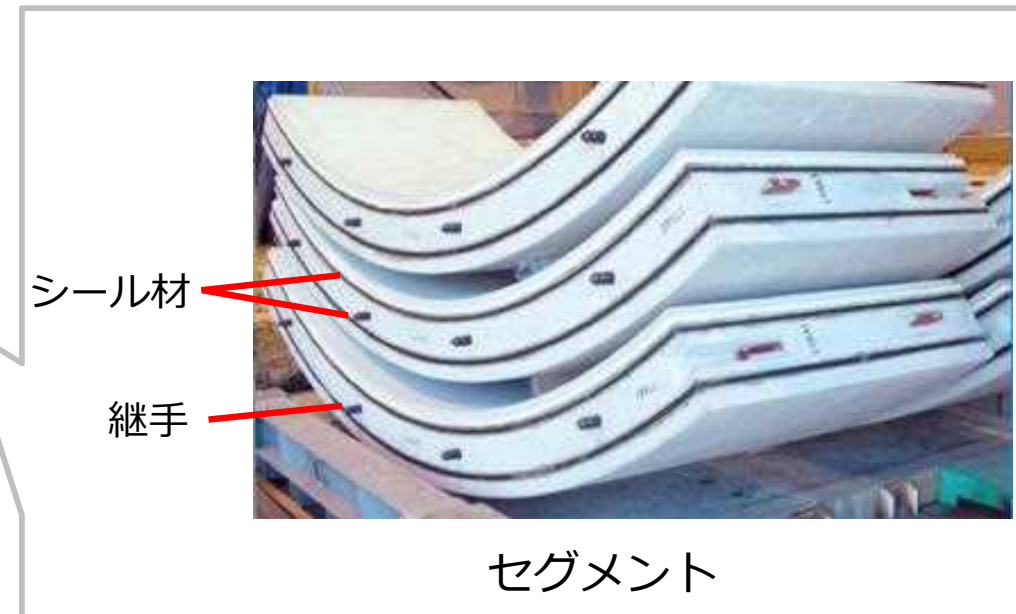
### ■ トンネルの施工（シールド工法）

- 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。



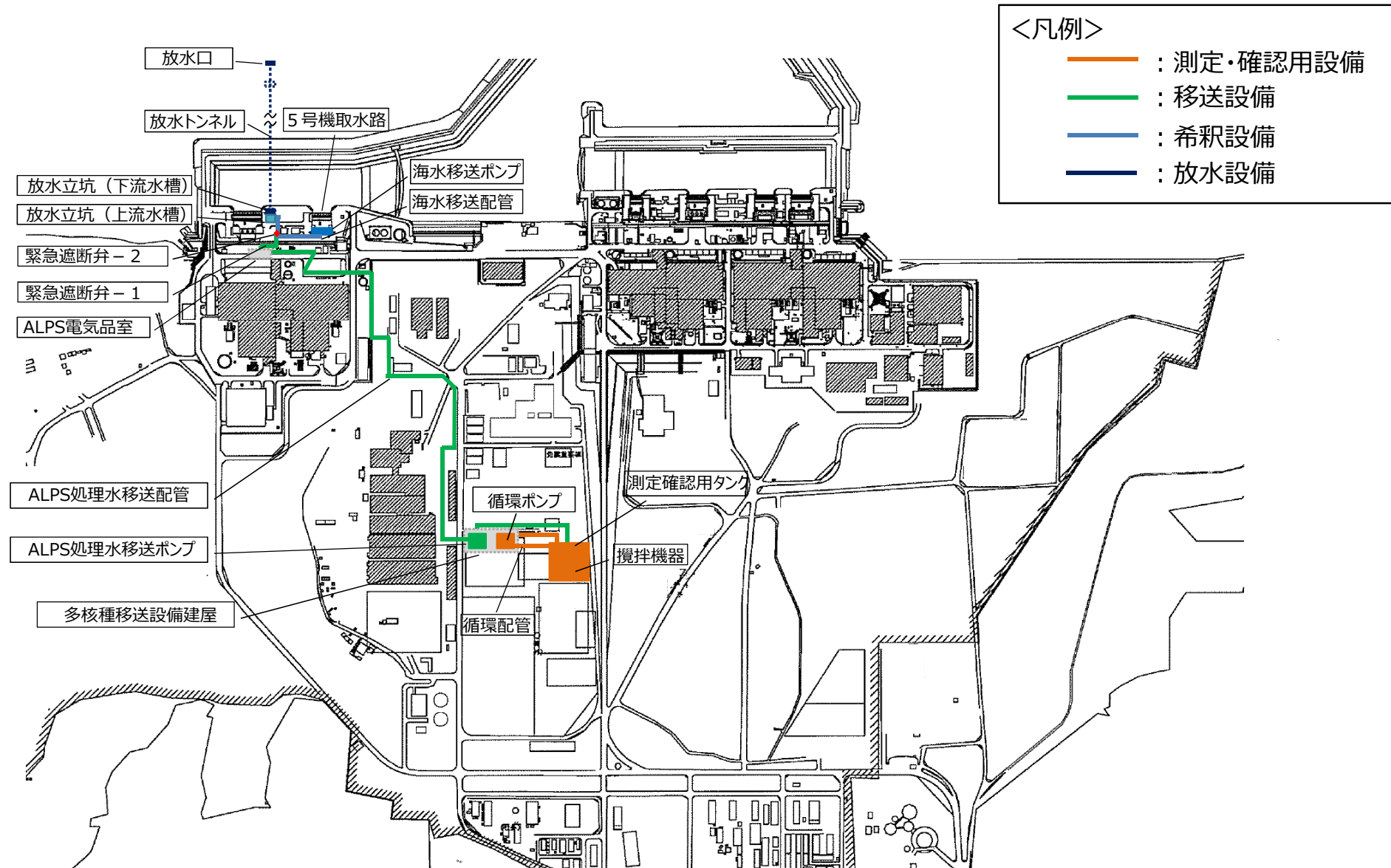
※：今回は泥水式シールド工法を採用

シールドマシンの概要図



# 【参考】 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)



## 【参考】 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。  
(実施計画：Ⅱ-2-50-添6-1)

|                       | 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 |       |   |   |   |   | [Blue bar representing construction start in June 2022 and completion in April 2023] |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       |       |   |   |   |   |                                                                                      |   |   |   |    |    |    |       |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



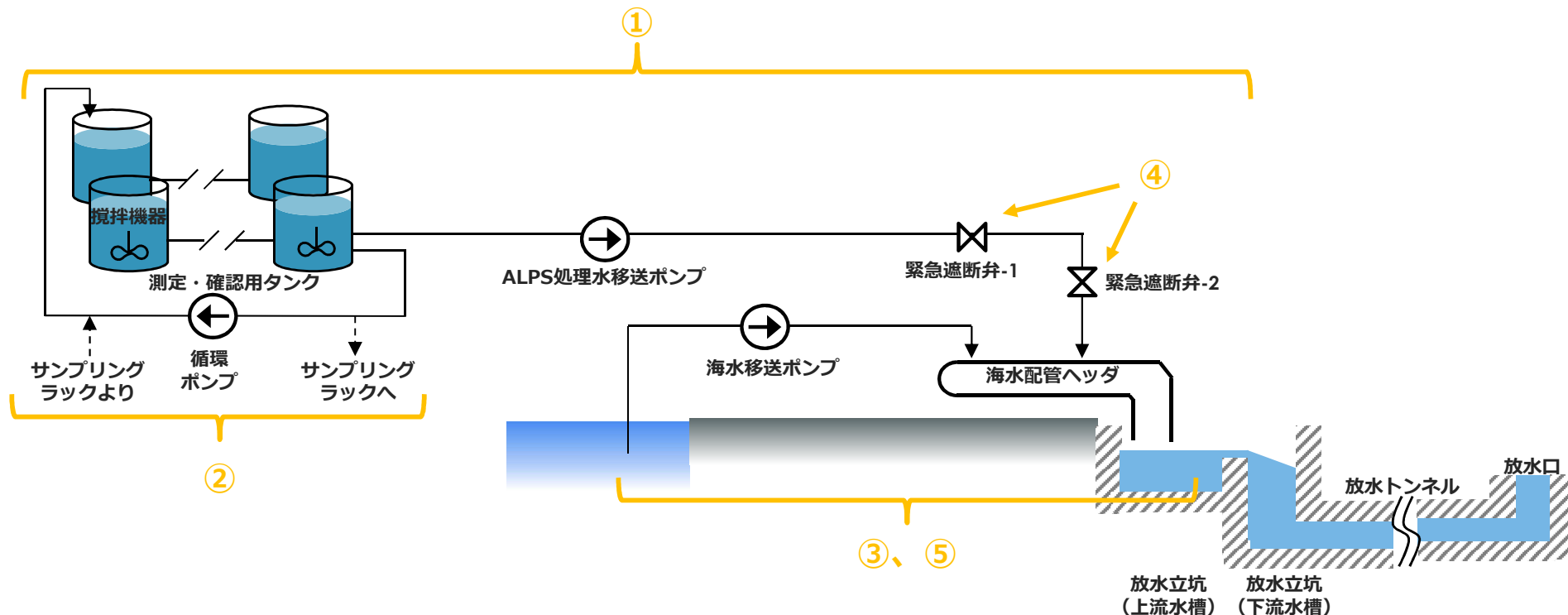
使用前検査

[Blue bar] : 現地据付組立

## 【参考】ALPS処理水希釈放出設備 要求される機能

- 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）

