

至近の地下水挙動ならびに陸側遮水壁閉合に関する検討結果

2015年12月18日
東京電力株式会社

建屋内外の水位管理は従来のO.P.表記からT.P.表記で実施することになっているが、これまでの資料との整合性を考慮しO.P.表記を併記して資料を作成した。
(水位(T.P.)を水位(O.P.)に換算する場合は、約1.4m~1.5m加算する。)

- 前回以降蓄積されたデータを踏まえて、現状の地下水挙動・水収支について分析した。
- その分析結果に基づいて、陸側遮水壁閉合に関する検討結果についてご説明する。

【目次】

1. 建屋周辺の地質構造・地下水位と汚染水対策実施状況
2. サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後の建屋内外水位の現状分析
 - 2.1 サブドレン水位（地下水位）の状況
 - 2.2 サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後の地下水位変化状況
 - 2.3 サブドレン・地下水ドレン稼働段階の地下水収支
3. 陸側遮水壁閉合に関する検討結果
 - 3.1 陸側遮水壁内からの地下水流出に関する評価
 - 3.2 陸側遮水壁閉合後の地下水収支
4. まとめ

【参考】

1. 建屋周辺の地質構造・地下水位と汚染水対策実施状況

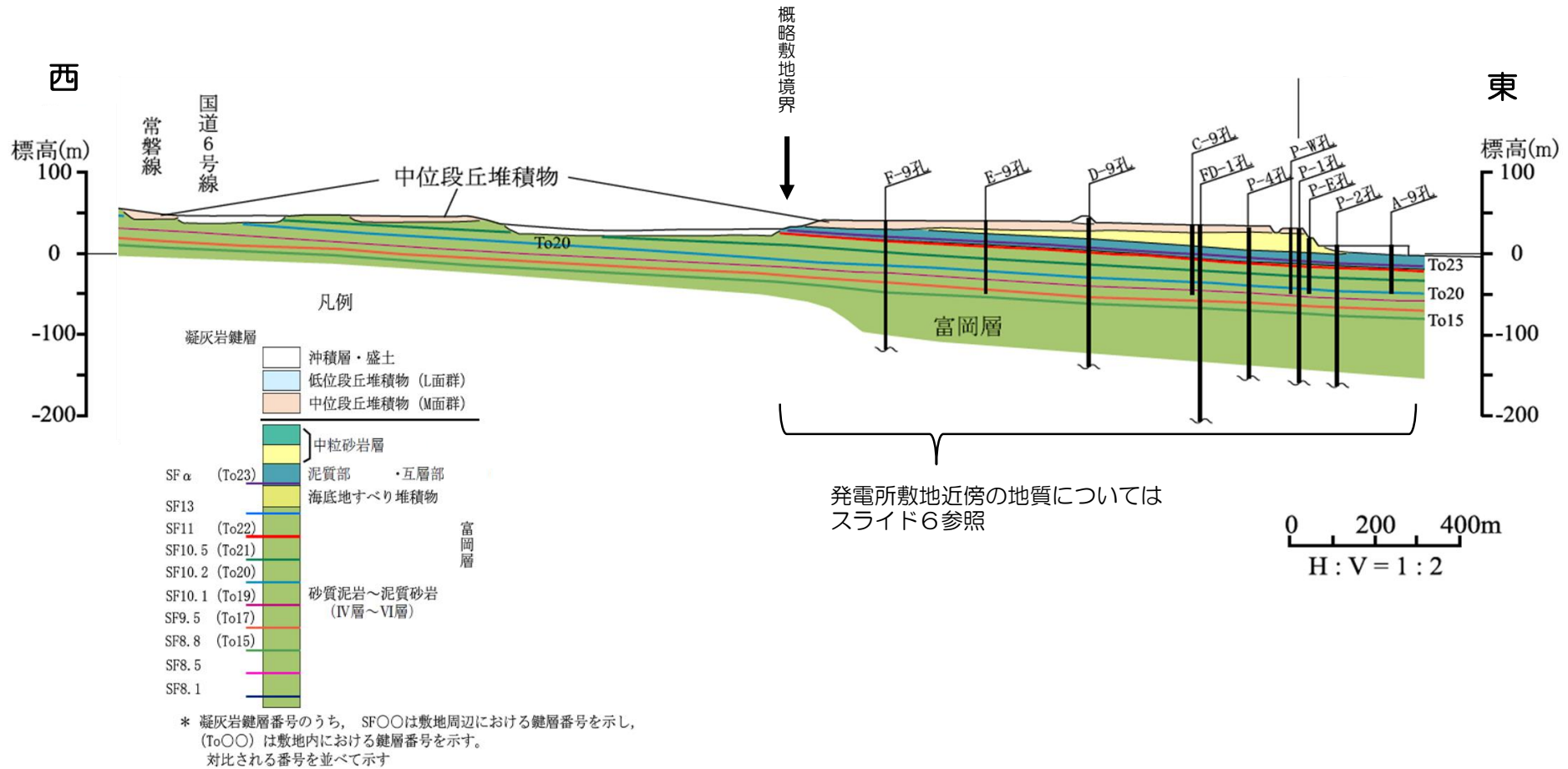
1. 1 発電所周辺の地形

■ 発電所の敷地は、周囲を川に挟まれた海拔35m程度の台地であり、海側を掘削し海拔約10mの地盤に、発電所建屋を設置している。



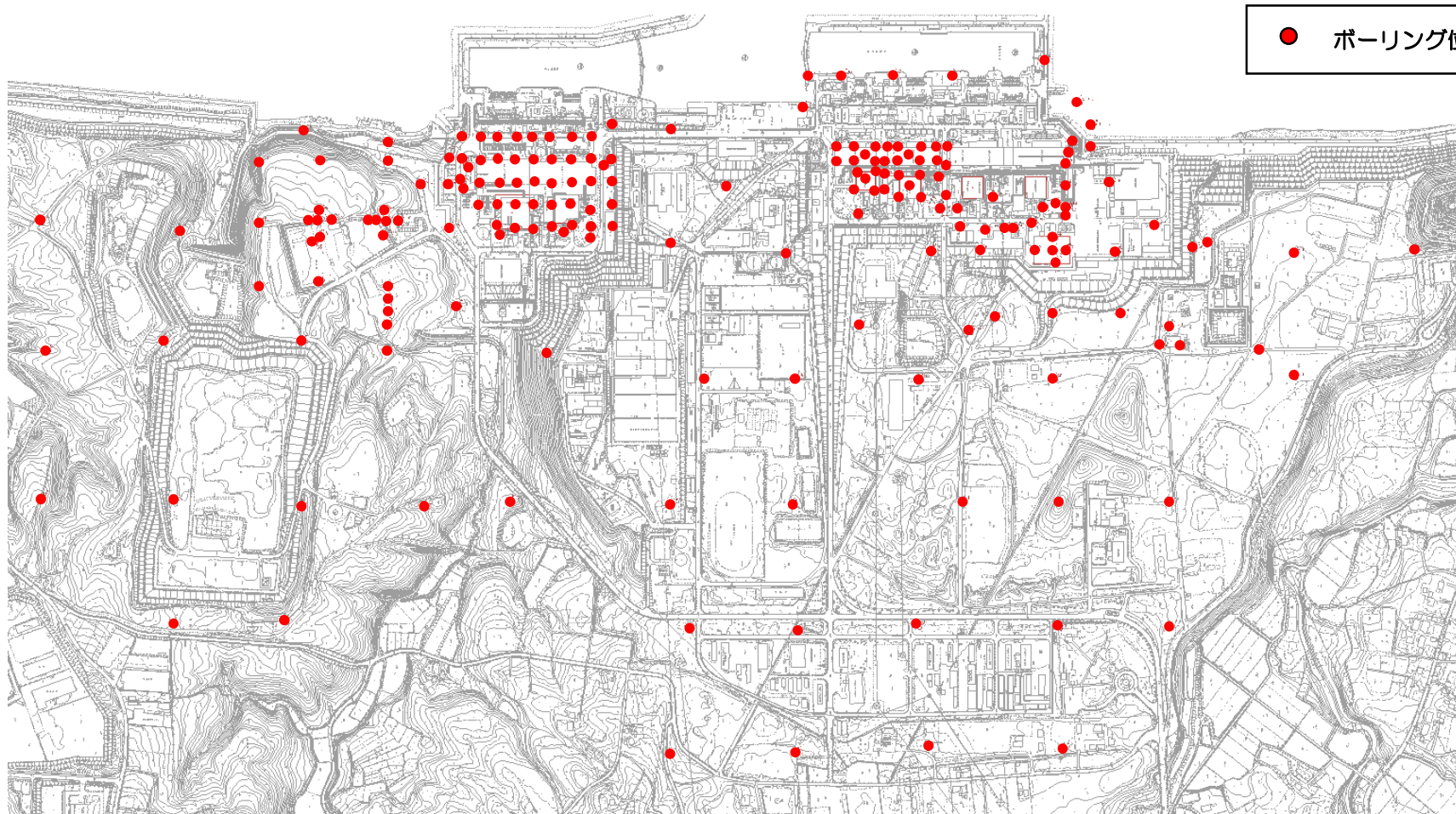
1. 2 発電所周辺の地質構造

- 敷地を中心とする半径約30kmの範囲及びその周辺について、文献調査、地表地質調査、海上音波探査等を実施し、敷地内について、地表地質調査、ボーリング調査等が実施されている。
- 発電所敷地に分布する富岡層は、発電所の西方約8kmから海岸部までの範囲に広く分布し、海で堆積した泥岩及び砂岩が主体である。凝灰岩を多く挟在し良好な鍵層（目印となる地層）となっており、敷地内の地層でもこの鍵層が確認できる。



1. 3 発電所敷地内でのボーリング

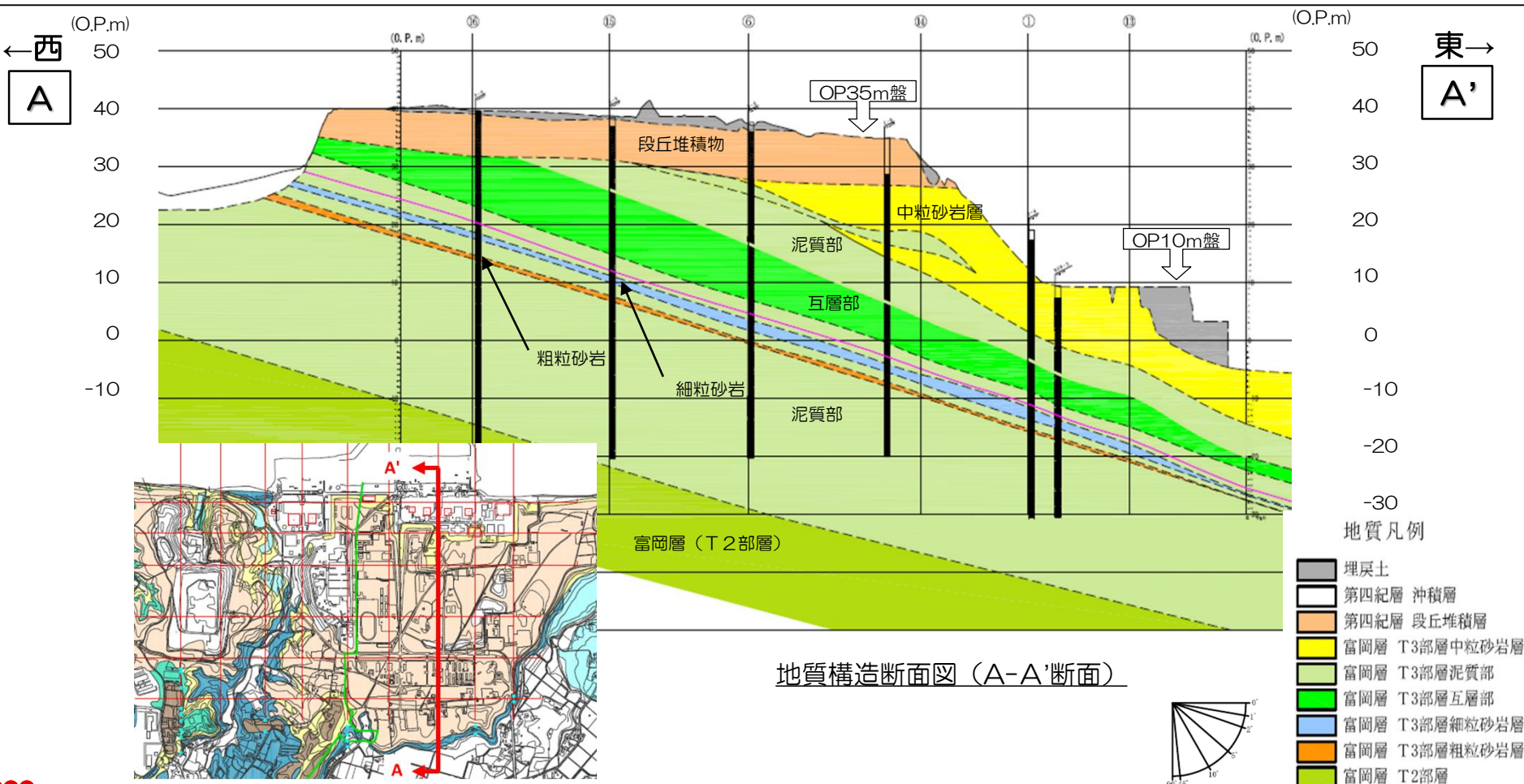
■ 発電所の調査・建設時以降に建屋付近を中心に構内で実施した約200孔（平均孔長約170m）のボーリングについて地質の判別を行い、周辺露頭調査結果と合わせて発電所周辺の三次元地質モデルを構築している。



ボーリング位置図

1. 4 発電所敷地内の地質構造（東西断面）

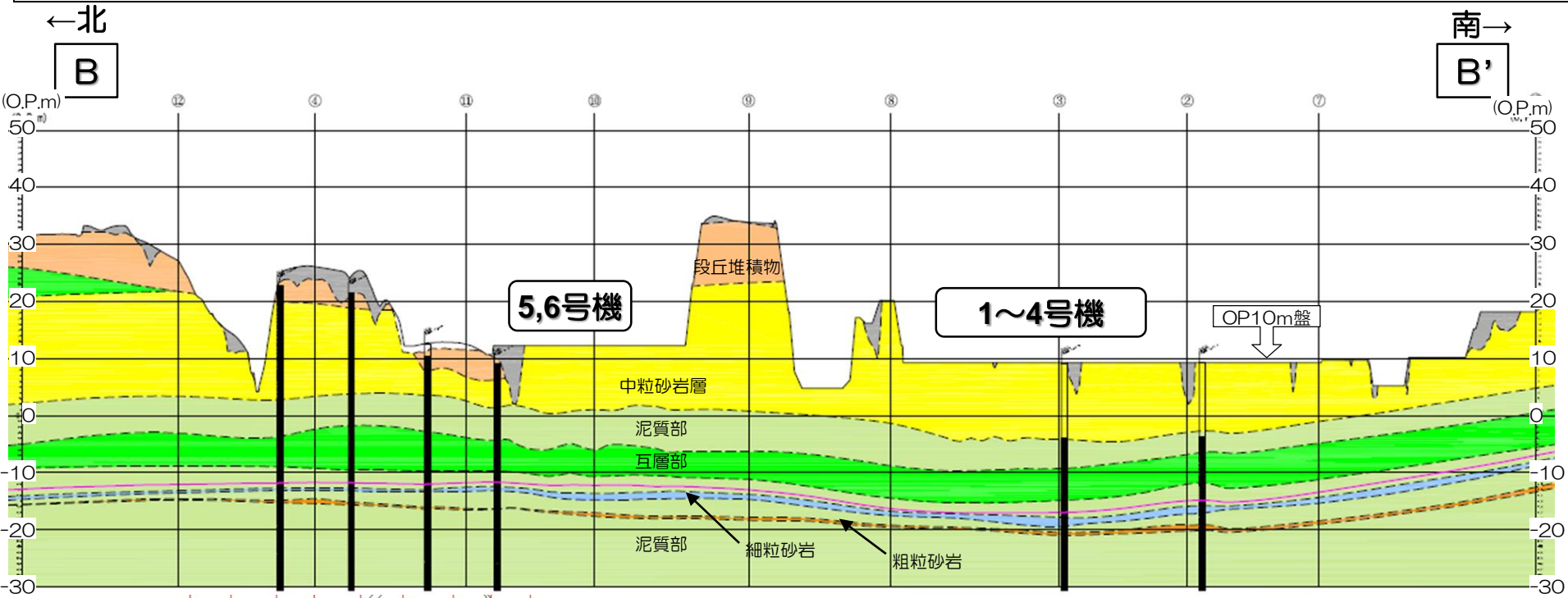
- 発電所敷地内の地層は、地表面付近の段丘堆積物より下層が、富岡層（T3部層）の砂岩・泥岩主体の地層であり、上から中粒砂岩層（中粒砂岩を主体としシルト岩を挟在）、泥質部、互層部（数cm～の間隔で中粒砂岩とシルト岩が交互に分布）、泥質部（2層の連続性のよい砂層（細粒砂岩・粗粒砂岩）を挟在）が敷地内に連続し、傾斜角約2度で海側に傾いている。西側で台地が切れることから、中粒砂岩層・互層部の地下水は主に台地への降雨により涵養されている。
- 富岡層（T3部層）の下部には、砂岩・泥岩主体で厚さ約100mの富岡層（T2部層）が分布する。



地質構造断面図（A-A'断面）

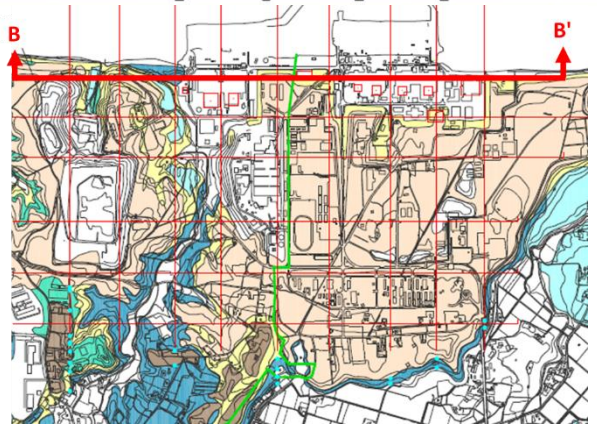
1. 5 発電所敷地内の地質構造（南北断面）

- 地層は南北方向にほぼ水平に分布してる。
- 中粒砂岩層と互層部を隔てる泥質部は厚さ数m, 互層部下側の泥質部は厚さ30~40mで連続して分布する。



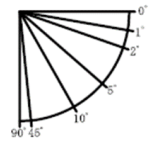
地質構造断面図（B-B'断面）

横：縦 = 1 : 10





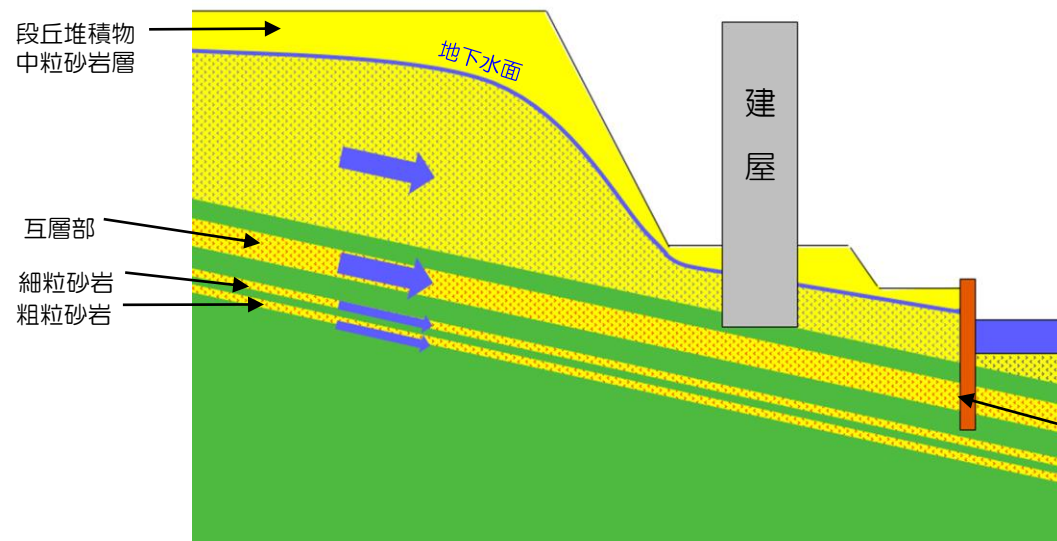
地質凡例

- 埋戻土
- 第四紀層 沖積層
- 第四紀層 段丘堆積層
- 富岡層 T3部層中粒砂岩層
- 富岡層 T3部層泥質部
- 富岡層 T3部層互層部
- 富岡層 T3部層細粒砂岩層
- 富岡層 T3部層粗粒砂岩層
- 富岡層 T2部層






1. 6 発電所内の地下水

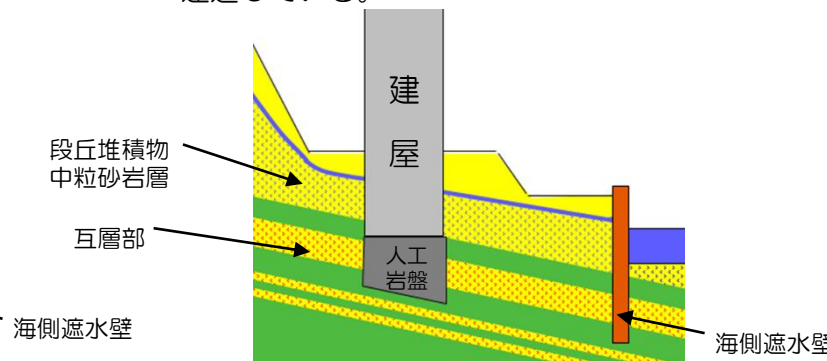
- 地層の透水性は、ボーリング孔内における透水試験（45カ所）の結果をもとに、段丘堆積物・中粒砂岩層・互層部・細粒砂岩・粗粒砂岩を透水層（水の通りやすい層），泥質部を難透水層（水の通りにくい層）としている。
- 地表に近い地下水は不圧地下水（地下水面を有する地下水 ）で、段丘堆積物・中粒砂岩層を流れ、地形の低下に伴い台地から建屋付近に向かって大きく水位が低下する。
- 難透水層に上下を挟まれた透水層（互層部・細粒砂岩・粗粒砂岩）の地下水は被圧地下水（水面を持たず圧力がかかっている ）となっていて、それぞれの層の中を海側に向かって流れており、4号機建屋付近を除き、不圧地下水とは隔てられている。
- 中粒砂岩層の地下水が、建屋内・建屋海側に流入することで汚染水増加の主要因となっている。



地下水の流れのイメージ（1～3号機）

-  主な地下水の流れ
-  透水層
-  難透水層

建屋基礎が互層部に達している4号機付近において、互層部と中粒砂岩層の地下水が連通している。



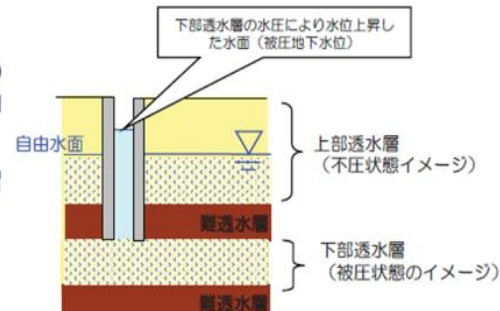
地下水の流れのイメージ（4号機）

不圧地下水と被圧地下水

不圧地下水（自由地下水）：地表から最初の不透水層の上に存在し、地下水面が大気圧と釣り合っている地下水。

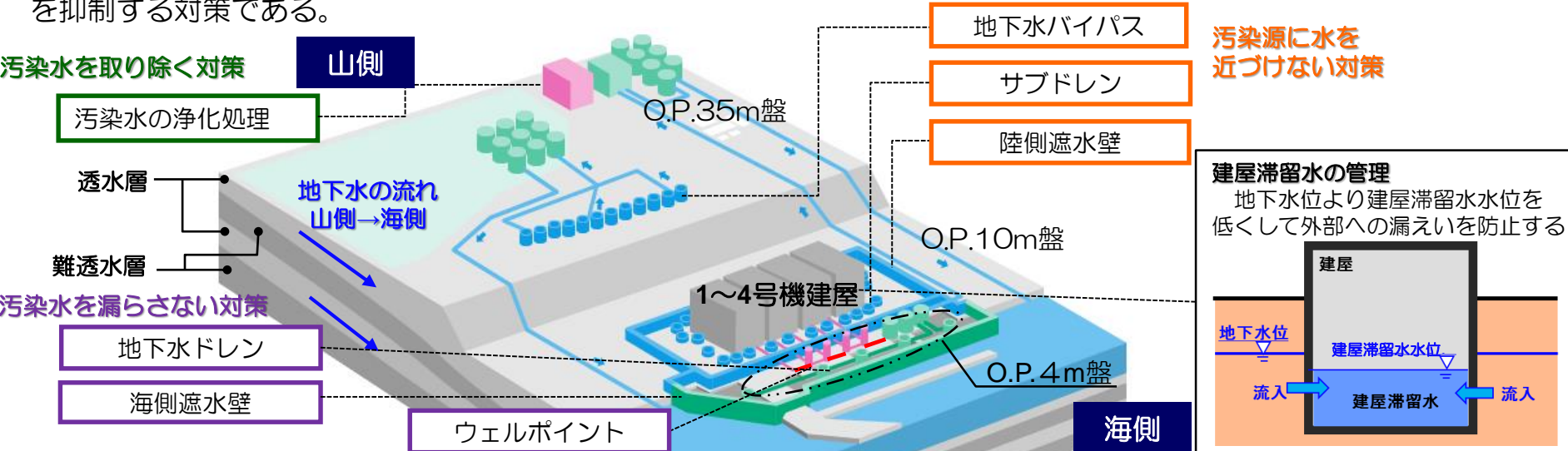
被圧地下水：上下を不透水層で挟まれた帯留層を満たしている地下水。圧力がかかっていて、自由地下水のような地下水面はない。

（出典：広辞苑）



1. 7 汚染水対策実施状況

- 汚染水の対策は「汚染水を取り除く」「汚染源に水を近づけない」「汚染水を漏らさない」の3つの基本方針に基づいて進めている。
- このうち、「汚染源に水を近づけない」対策である地下水バイパス、サブドレン、陸側遮水壁は、建屋内滞留水を外部に漏れいさせないことを前提とし、建屋周辺の地下水位を低下させて建屋内への地下水流入量を低減して汚染水の増加を抑制する対策である。



主な対策	時期	目的	状況
ウェルポイント	2013.8稼働	O.P.4m盤付近の汚染エリアの地下水をくみ上げて漏らさない	継続実施中
地下水バイパス	2014.5稼働	建屋から離れたO.P.35m盤で地下水をくみ上げ、建屋内の汚染源に地下水を近づけない	建屋止水と合わせて建屋内流入量80m ³ 程度低減
サブドレン	2015.9稼働	建屋近傍で地下水をくみ上げ、建屋内の汚染源に地下水を近づけない	稼働水位の段階的な低下に応じて、建屋内流入量が低減中。(現状：稼働水位T.P.3.5m(O.P.+5.0m)) O.P.4m盤付近への地下水流入低減は限定的。
海側遮水壁	2015.10閉合	発電所敷地から港湾内に流れてる地下水を堰止めて漏らさない	O.P.4m盤周辺の地下水位が上昇
地下水ドレン	2015.11稼働	堰止められた海側遮水壁内側の地下水を汲み上げて漏らさない	海側遮水壁閉合による地下水位上昇後、くみ上げ開始
陸側遮水壁	準備中	建屋を凍土方式の遮水壁で囲み、山側からの地下水の流れを遮断し、①建屋内の汚染源、②O.P.4m盤付近の汚染エリアへ、地下水を近づけない	山側：準備完了、海側：準備中

現状の地下水状況を説明

検討状況を説明

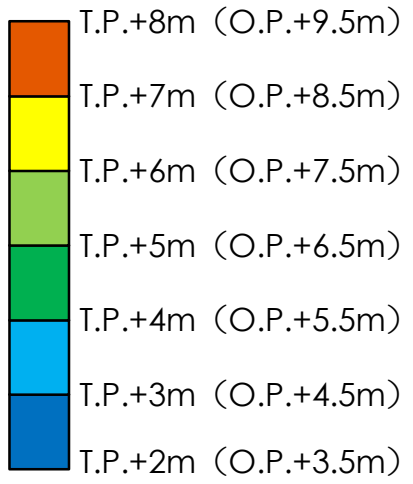
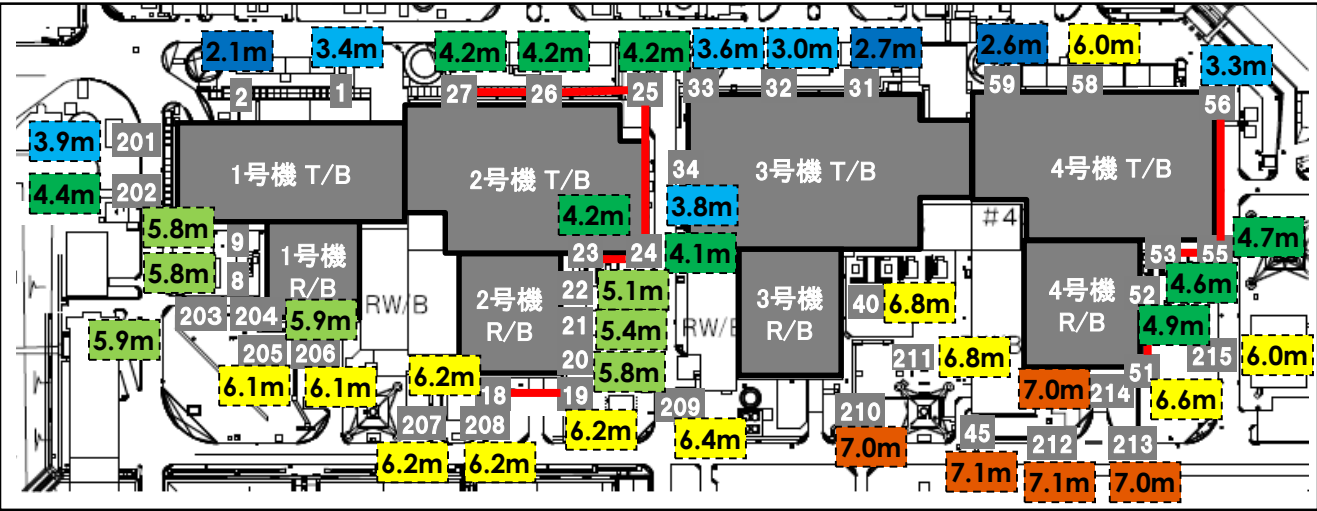
2. サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後の建屋内外水位の現状分析

2.1 サブドレン水位（地下水位）の状況

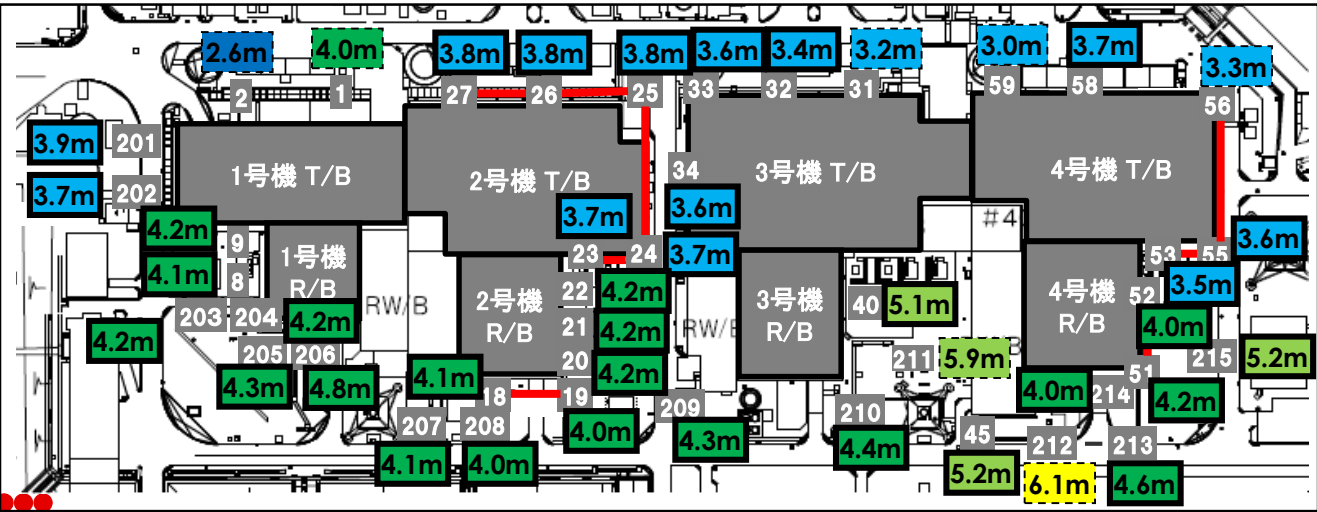
2. 1. サブドレン水位（地下水位）の状況

■ 建屋近傍の地下水位は、サブドレン稼働前はT.P.2~7m程度の範囲に分布していたが、サブドレンの稼働により概ねT.P.3.5~4.5m（O.P.5.0~6.0m）程度に制御できている。

【サブドレン稼働・海側遮水壁閉合前：2015/8/8】



【サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後：2015/12/9】



: 稼働ピット (35基/全42基)
 : 非稼働ピット (7基/全42基)
 : 横引き管

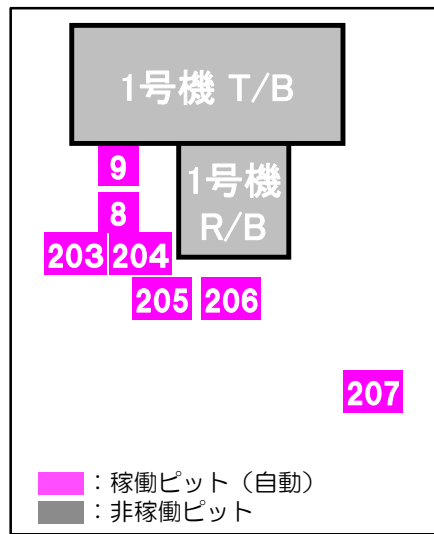
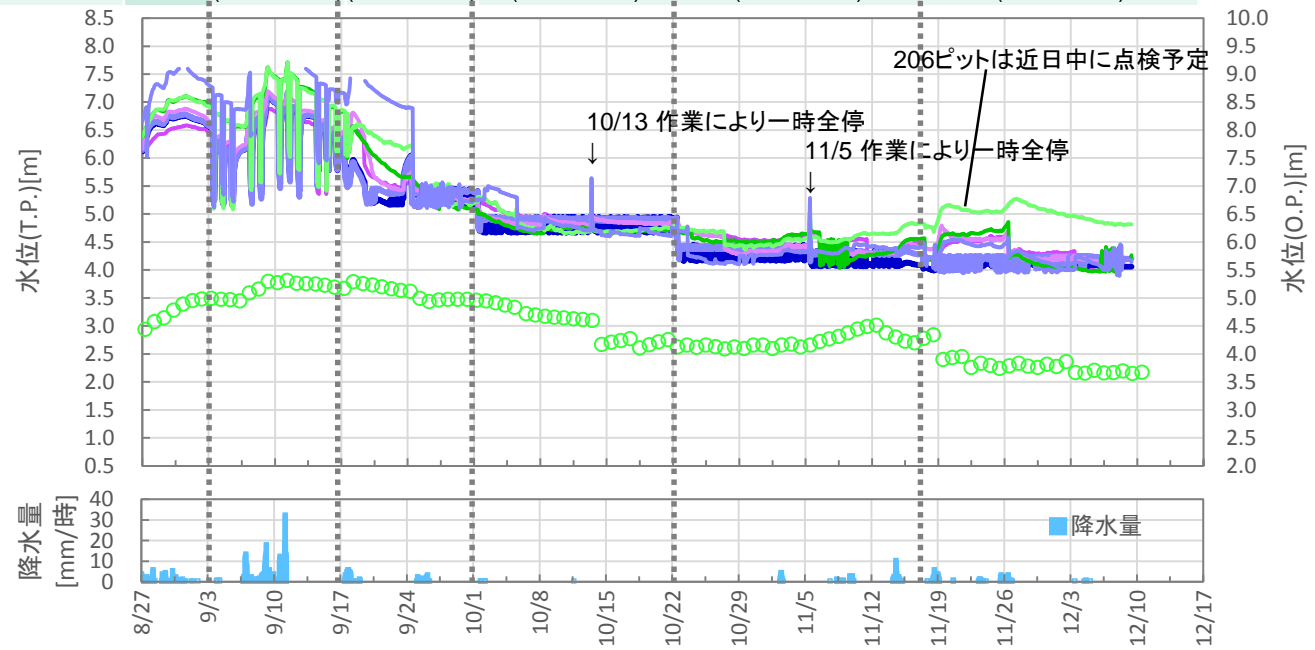
2. サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後の建屋内外水位の現状分析

2.2 サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後の地下水位変化状況

2. 2. 1 サブドレン稼働・建屋滞留水ポンプ稼働による建屋内外の水位差管理 (例：1号機原子炉建屋)

- サブドレンは稼働水位を段階的に低下させ、現状、概ねT.P.+4~+4.5mの範囲で制御できている。
- 建屋内の滞留水を適宜移送することで、建屋内外の水位差を確保している。

稼働条件	~9/2	9/3~9/16	9/17~9/30	10/1~10/21	10/22~11/16	11/17~
稼働時間	非稼働	昼間	24時間	24時間	24時間	24時間
サブドレンポンプ停止水位	非稼働	T.P.+5.0m (O.P.+6.5m)	T.P.+5.0m (O.P.+6.5m)	T.P.+4.5m (O.P.+6.0m)	T.P.+4.0m (O.P.+5.5m)	T.P.+3.9m (O.P.+5.4m)



— 203(N3) — 8 — 9 — 204(N4) — 205(N5) — 206(N6) — 207(N7) ○ 1号機原子炉建屋

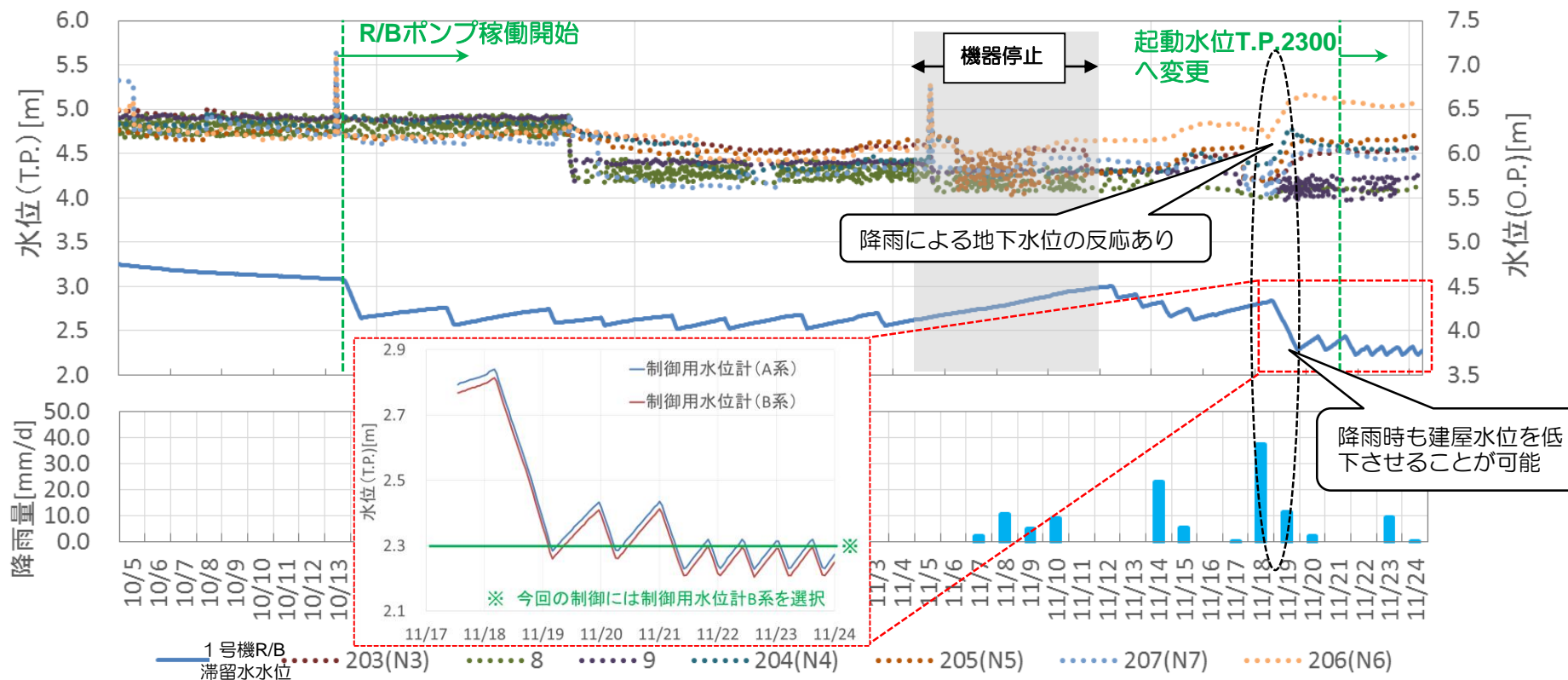
サブドレン水位 (毎正時データ, 実線: 自動稼働ピット)

建屋水位 (毎日データ)

サブドレン水位・建屋水位 経時変化

(参考) 1号機原子炉建屋滞留水ポンプの稼働状況

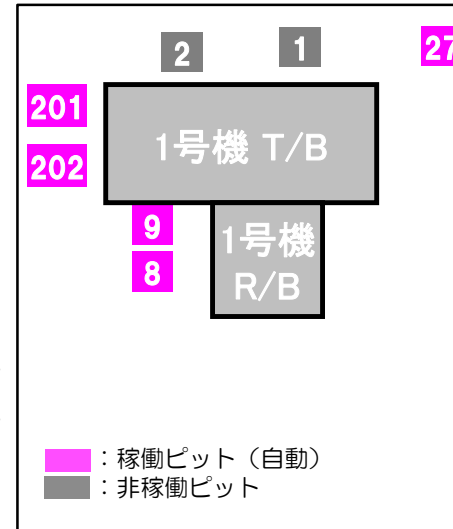
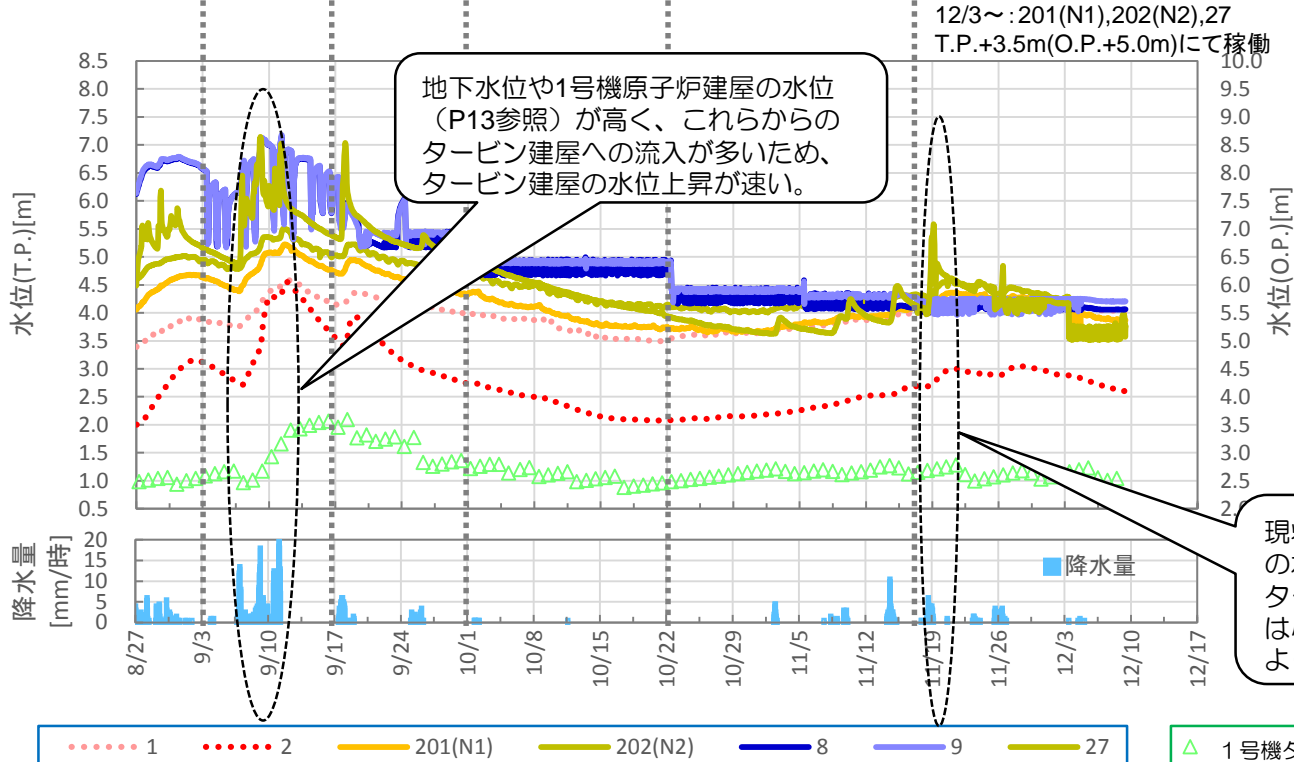
- 1号機原子炉建屋に設置した滞留水移送設備は、ON-OFF自動運転により、T.P.2.3m (O.P.3.8m)以下で安定的に建屋水位を制御することができている。
- 地下水水位は降雨により上昇傾向に反応しているが、建屋水位は移送により低下できている。



2. 2. 2 サブドレン稼働・建屋滞留水ポンプ稼働による建屋内外の水位差管理 (例：1号機タービン建屋)

- サブドレンは稼働水位を段階的に低下させ、現状、概ねT.P.+3.5~+4.5mの範囲で制御できている。
- 建屋内の滞留水を適宜移送することで、建屋内外の水位差を確保している。
- 降雨による水位上昇の反応は、建屋水位より地下水位のほうが顕著である。

稼働条件	~9/2	9/3~9/16	9/17~9/30	10/1~10/21	10/22~11/16	11/17~
稼働時間	非稼働	昼間	24時間	24時間	24時間	24時間
サブドレンポンプ停止水位		T.P.+5.0m (O.P.+6.5m)	T.P.+5.0m (O.P.+6.5m)	T.P.+4.5m (O.P.+6.0m)	T.P.+4.0m (O.P.+5.5m)	T.P.+3.9m (O.P.+5.4m)



現状は、地下水位や1号機原子炉建屋の水位 (P13参照) を低下させており、タービン建屋水位の降雨による上昇は小さい。一方、地下水位は降雨により上昇。

サブドレン水位 (毎正時データ, 実線: 自動稼働ピット)

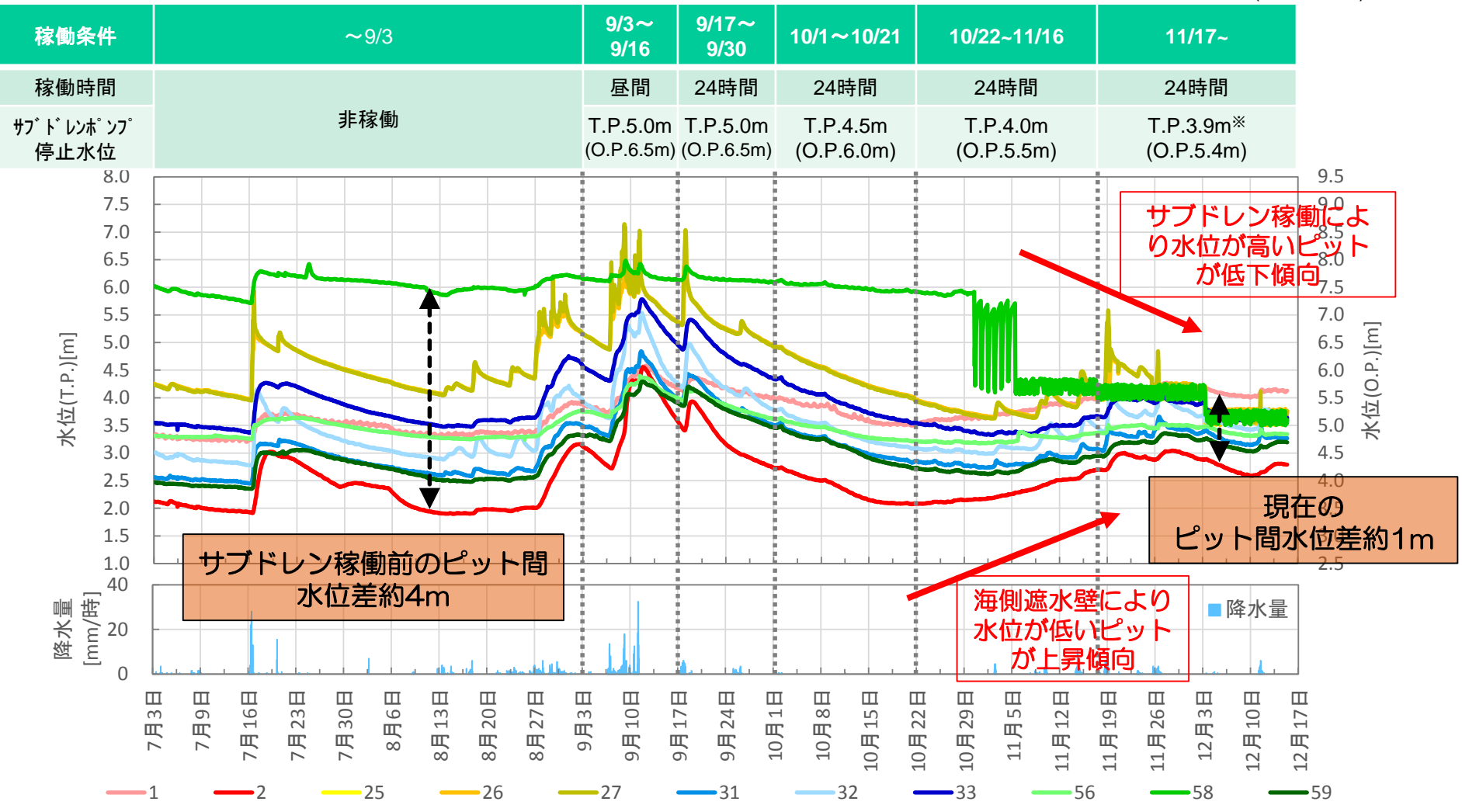
△ 1号機タービン建屋
建屋水位 (毎日データ)

サブドレン水位・建屋水位 経時変化

2. 2. 3 海側サブドレンの水位変動状況

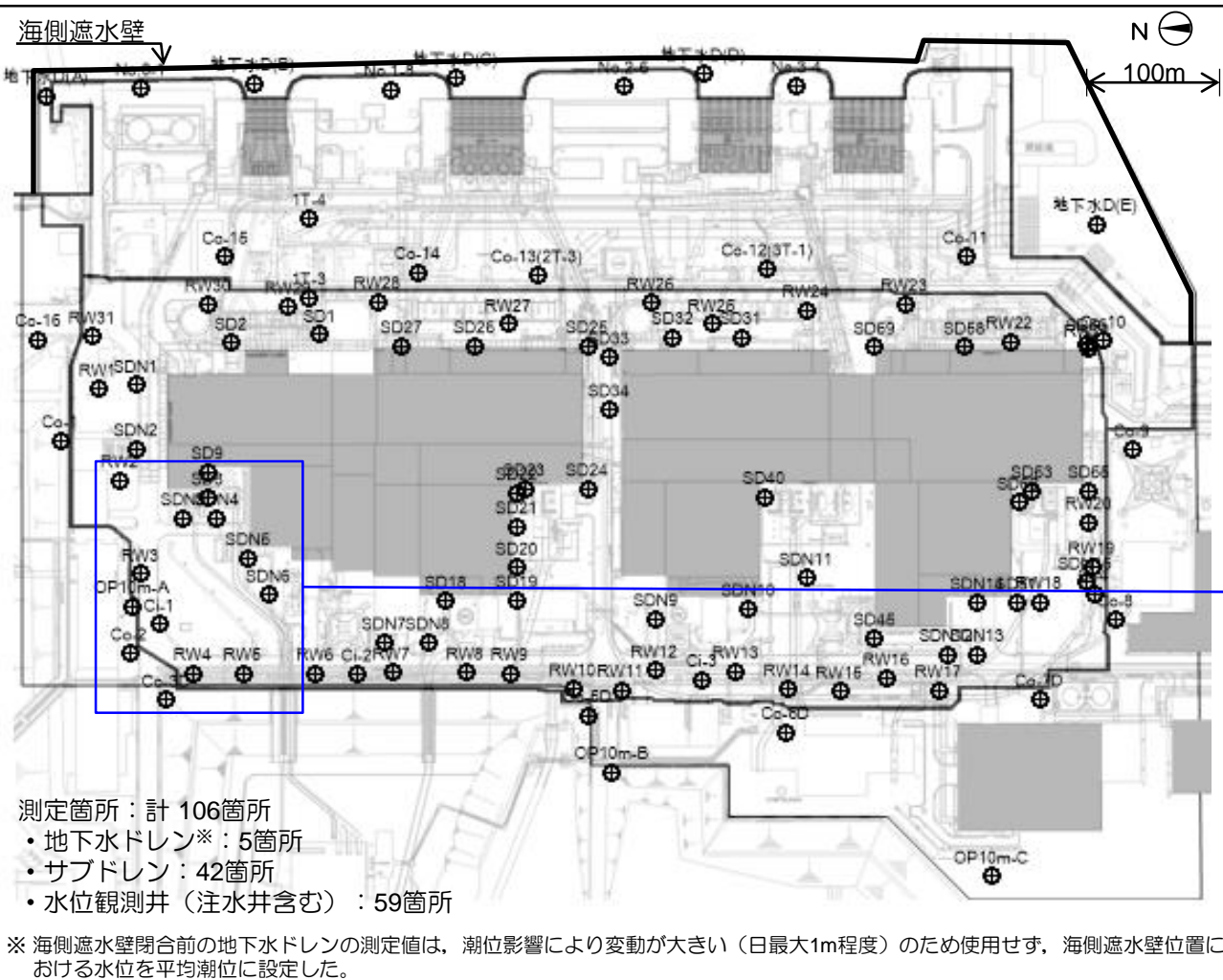
■ サブドレンの稼働および海側遮水壁閉合の効果により、海側サブドレンのピット間水位差は、「3～4m程度」から「1m程度」まで小さくなり、より管理しやすい水位状況となっている。

※海側のサブドレン25,26,27,32,33,58は12/3～ポンプ停止水位:T.P.+3.5m(O.P.+5.0m)

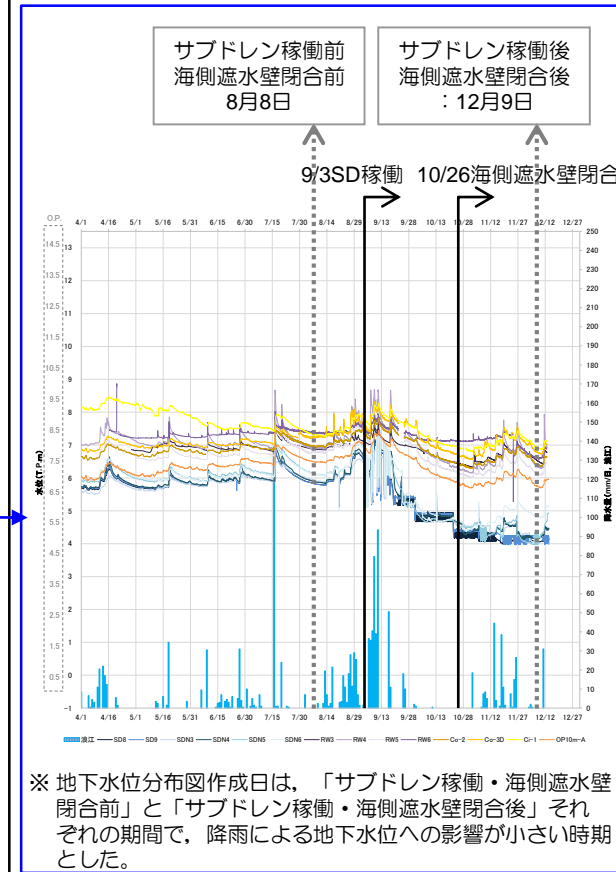


2. 2. 4 地下水位の実測とそれに基づく地下水位分布図作成について

■ 地下水位分布図の作成には、下図の計106箇所の地下水位実測データを使用した。

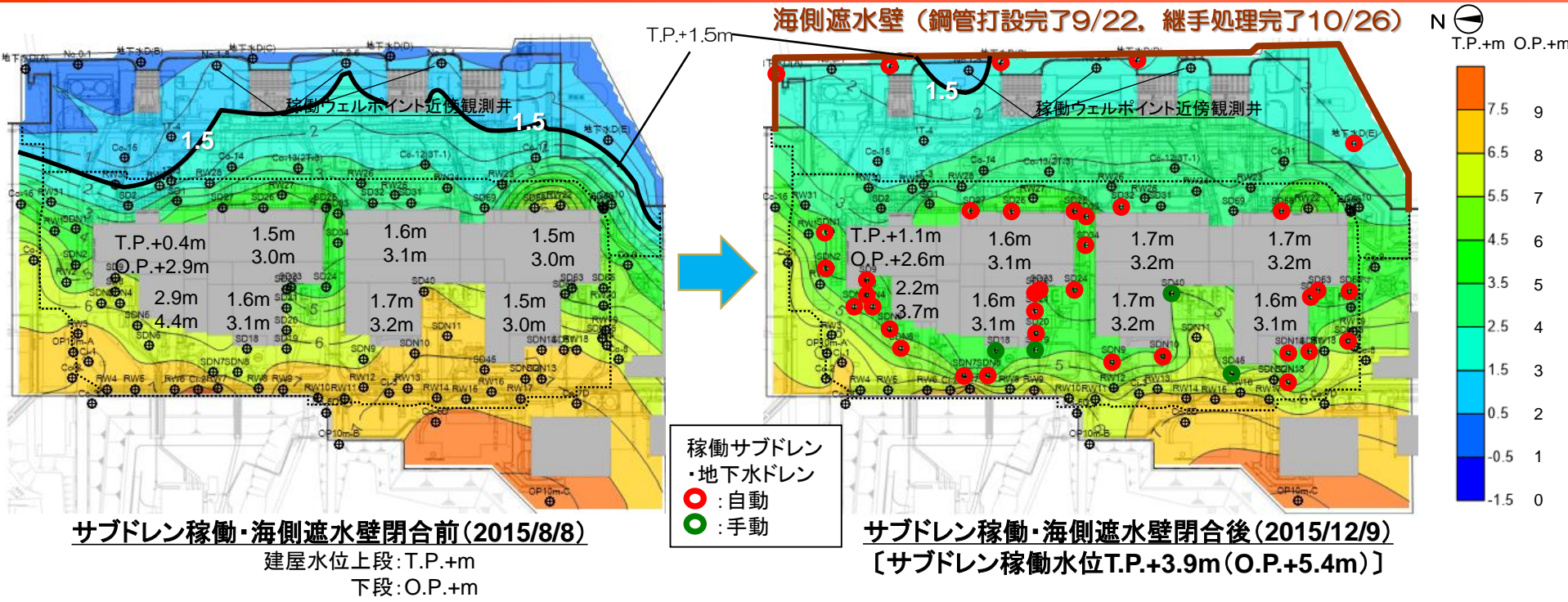


中粒砂岩層地下水位測定位置図



中粒砂岩層地下水位測定データ
(例. 1号機山側)

2. 2. 5 サブドレン稼働・海側遮水壁閉合に伴う建屋周辺地下水位変化の状況 (中粒砂岩層)

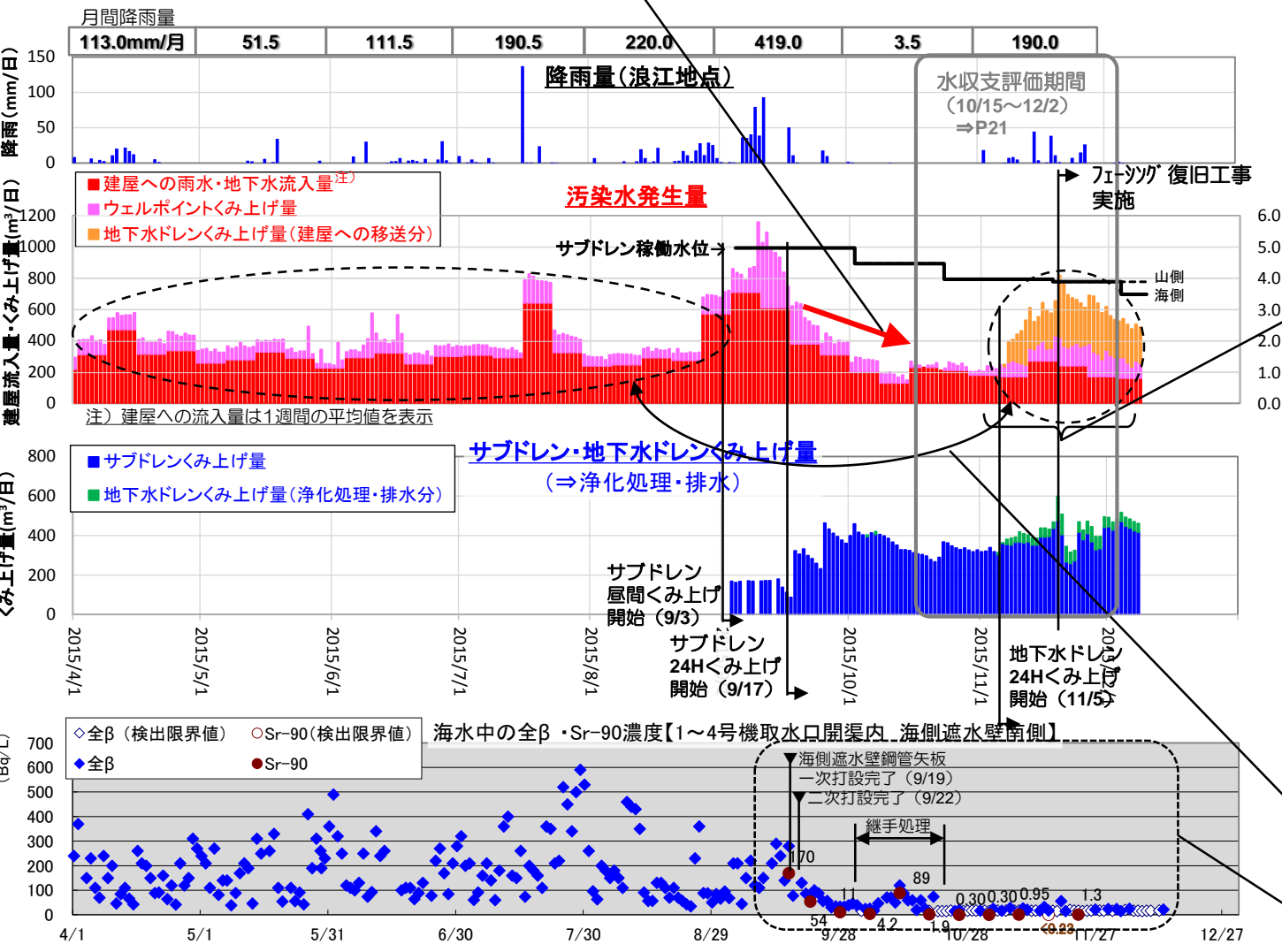


- 建屋周辺の地下水位は下記のように均等化してきている。
 - 建屋海側～海側遮水壁間の地下水位は、海側遮水壁閉合により全体に上昇し、均等な水位分布となってきた。
 - 建屋山側の地下水位は、サブドレン稼働前は全体に海側に比べて高く、南北でバラツキのある水位であったが、サブドレン稼働後は全体に低下し、建屋周辺において地下水位の高低差が小さくなっている。
- サブドレン稼働により建屋近傍の地下水位が低下しているが、影響範囲はサブドレンピット近傍に限られる。
- サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後の建屋南北における地下水流況として、建屋北側では、従来からの北西から南東方向への流れが継続している。一方、建屋南側では、流れの向きが南東方向から東方向に変化している。

2. 2. 6 汚染水発生量およびくみ上げ量（サブドレン等）の状況

■サブドレン・地下水ドレン稼働後、安定してくみ上げ・浄化処理・排水できている。

■サブドレン稼働後の『建屋への雨水・地下水流入量』は、稼働前の300m³/日程度から200m³/日程度に低減している。



■海側遮水壁閉合前は海洋に流出していた地下水を、閉合後はくみ上げており、O.P.4m盤でのくみ上げ量(地下水ドリル・ウェルポイント)が多くなっている。

■地下水ドレンくみ上げ水は、水質に依じて一部をサブドレンくみ上げ水と共に浄化処理・排水し、残りをウェルポイントくみ上げ水と共に建屋へ移送している。

■O.P.4m盤の汚染エリアへ地下水流入が継続しており、建屋への移送量が400m³/日程度となっている。

■O.P.4m盤への地下水供給の低減に向けて以下の対策を実施している。

- 損傷した地表面雨水浸透防止策(フェニックス)復旧工事を実施中。今後実施範囲拡大。

- 12/3より海側の、12/15より残りのサブドレン稼働水位をT.P.3.5m(O.P.5.0m)まで低下。今後、全ての稼働水位をT.P.+2.5m(O.P.4.0m)まで低下。

■サブドレン稼働前よりも汚染水発生量が多い

■港湾開渠内の海中の全β濃度は海側遮水壁閉合後低下している。

2. サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後の建屋内外水位の現状分析

2.3 サブドレン・地下水ドレン稼働段階の地下水収支

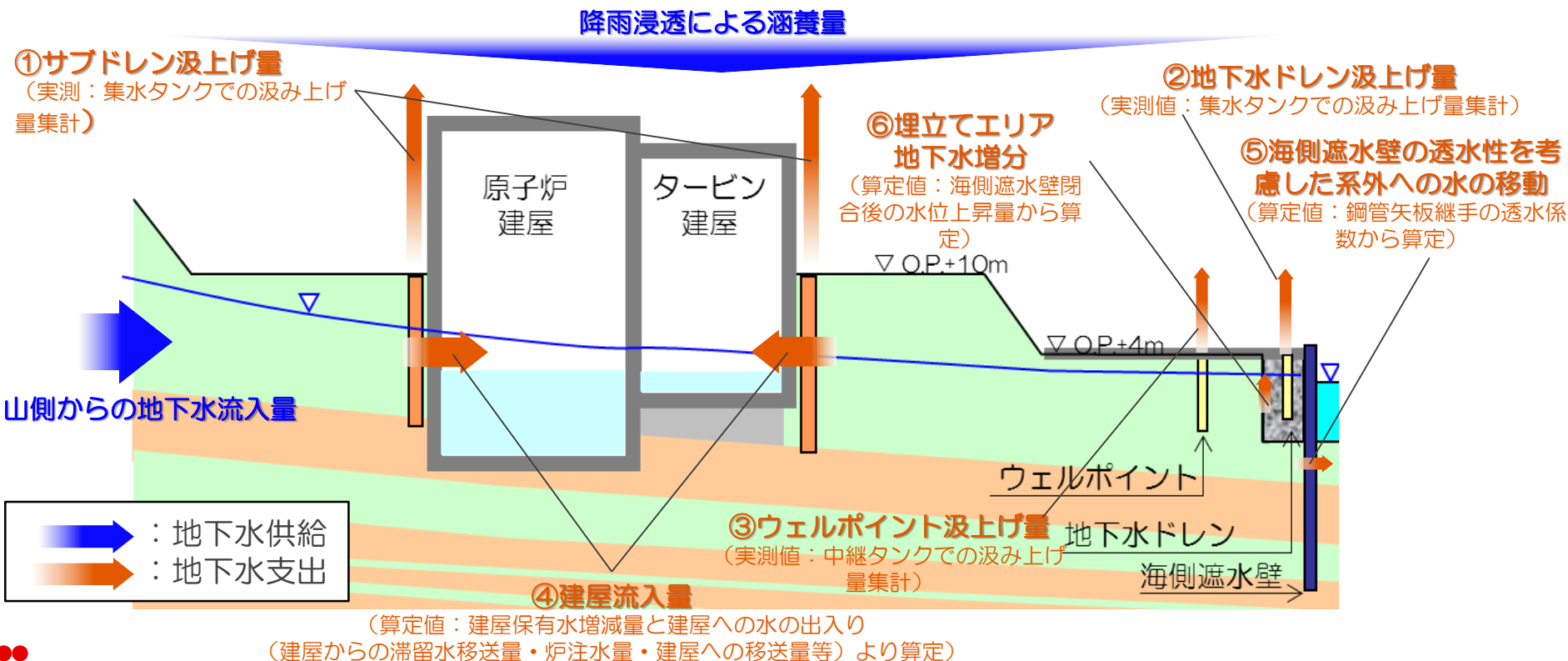
2. 3. 1 現状（サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後）の地下水収支（概要）

- 前節に示した建屋流入量・サブドレン汲上量実績等を基に、建屋周辺の地下水収支の1日当たりの平均値を評価した。
- 評価期間：2015年10月15日（海側遮水壁閉合工事終盤）～2015年12月2日
（評価期間における平均降水量は約4mm/日）
- 建屋周辺の地下水収支：支出量および埋立てエリアの地下水増分を整理し、その総和を供給量とみなした。

【支出量 + 埋立てエリア地下水増分 = 供給量】

- 支出量 : 【実測値】①サブドレン, ②地下水ドレン, ③ウェルポイントでの汲上げ量
【算定値】④建屋流入量, ⑤海側遮水壁の透水性を考慮した系外への水の移動
- 埋立てエリア地下水保有量増分 : 【算定値】⑥埋立てエリア地下水増分
- 供給量 : 「山側からの地下水流入量」及び「降雨浸透による地下水涵養量」の合計

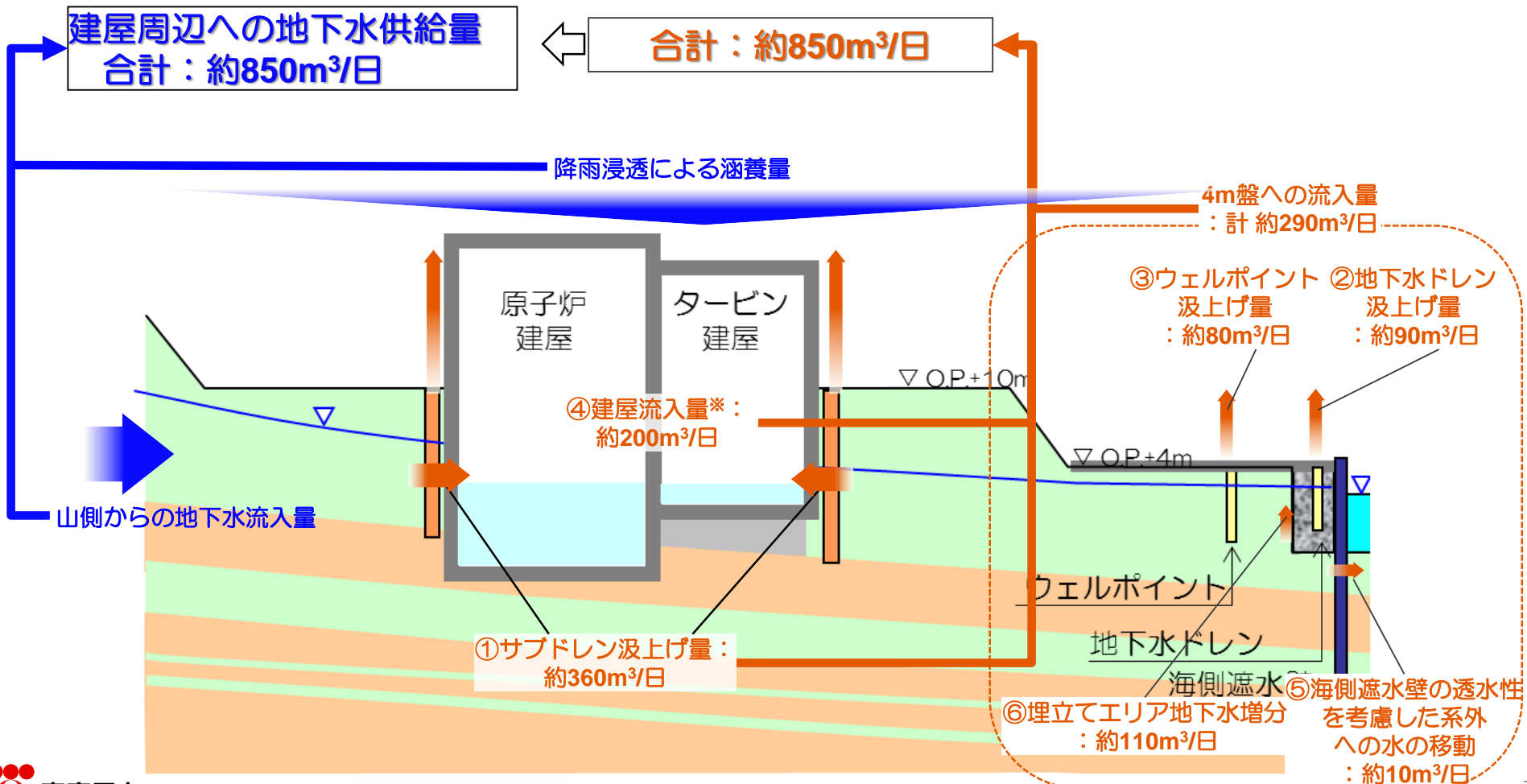
$$[供給量] = [支出量 + 埋め立てエリア地下水増分]① + ② + ③ + ④ + ⑤ + ⑥$$



2. 3. 2 現状（サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後）の地下水収支（評価結果）

■ 支出量・埋め立てエリア地下水増分として、対象期間の平均でサブドレンで約360m³/日汲上げ、建屋に約200m³/日、O.P.+4m盤に約290m³/日流入しており、総和（=供給量）を約850m³/日と評価した。

$$[供給量] = [支出量+埋め立てエリア地下水増分]① + ② + ③ + ④ + ⑤ + ⑥$$

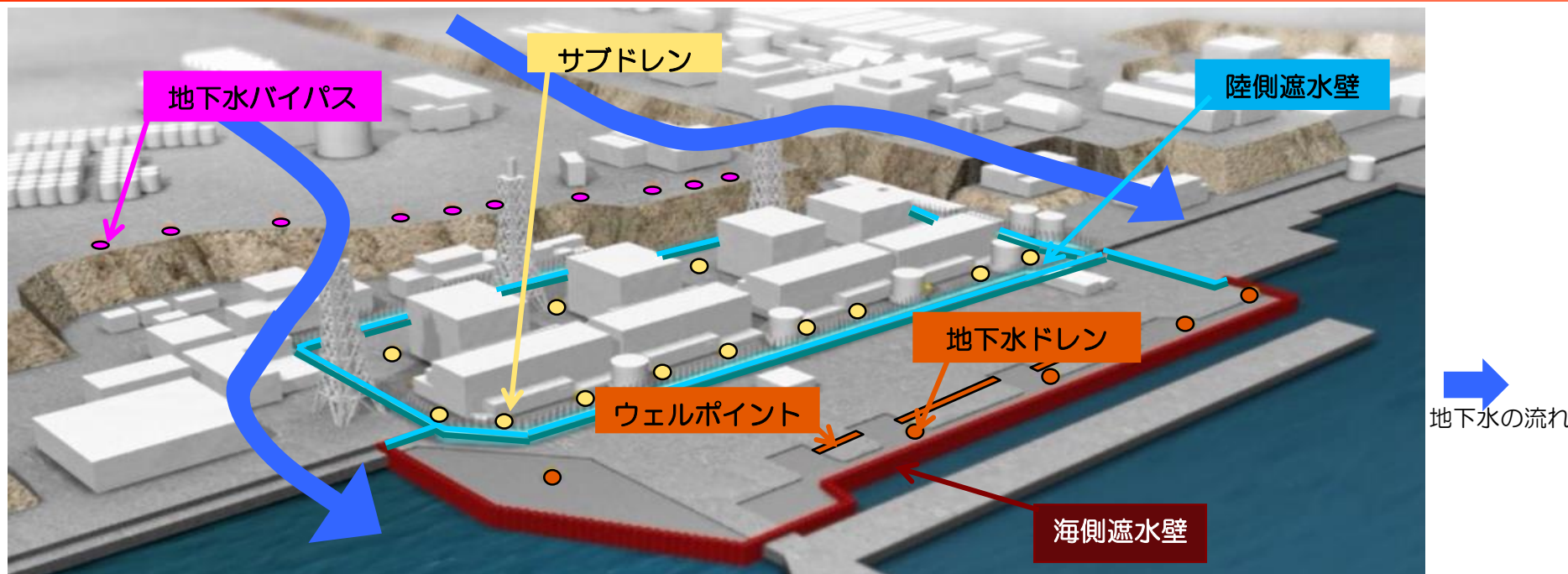


2. まとめ

- 建屋近傍の地下水位はサブドレンの稼働により、概ねT.P.+3.5~4.5m(O.P.+5.0~6.0m)程度に制御し、ピット間の水位差が小さくなり、管理しやすい状況となっている。建屋水位は滞留水の移送により建屋内外の水位差を確保している。
- 降雨による水位上昇は、建屋水位より地下水位のほうが顕著である。
- サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後、建屋海側～海側遮水壁間および建屋山側の地下水位は全体的に均等化してきている。サブドレン稼働により、建屋近傍の地下水位が低下しているが、影響範囲はサブドレンピット近傍に限られ、O.P.4m盤の汚染エリアへの地下水流入が継続している。
- サブドレン稼働により、建屋への流入量は稼働前の300m³/日程度から200m³/日程度に低減している。
- 建屋周辺の地下水収支を、建屋流入量・サブドレンくみ上げ量等をもとに、建屋周辺への地下水供給量は850m³/日程度と評価した。
- 現状の課題と対策
 - 海側遮水壁閉合前は海洋に流出していた地下水を閉合後はくみ上げており、O.P.4m盤でのくみ上げ量が多くなっている。
 - O.P.4m盤への地下水流入はサブドレン稼働により、ある程度抑制できると考えていたが、現時点ではその効果が小さい。
 - O.P.4m盤の汚染エリアへの地下水流入が継続しており、建屋への移送量が400m³/日程度となっている。
 - 対策としてフェーシング復旧や範囲拡大、サブドレン稼働水位の低下に取り組んでいるが、O.P.+4m盤への地下水流入の十分な低減が出来ず、今後の豊水期にはO.P.+4m盤への流入量が増加する懸念が残っている。

3. 陸側遮水壁閉合に関する検討結果

3. 陸側遮水壁に期待される効果



- 山側から1～4号機建屋周辺に流れ込む地下水を陸側遮水壁によって南北に大きく迂回させ、建屋周辺やO.P.4m盤の汚染エリアに流入させることなく、海洋へ流下させることができる。
- 陸側遮水壁閉合後により山側から1～4号機建屋周辺やO.P.4m盤に流入する地下水が遮断されることから下記が実現できる。
 - 建屋への地下水流入量の低減
 - サブドレン・地下水ドレンくみ上げ量の低減⇒海洋への浄化処理済水の排水量抑制
 - 地下水ドレン・ウェルポイントのくみ上げ量の低減⇒建屋への移送量抑制
 - 水処理二次廃棄物発生量の抑制
- 一方で、地下水流入が遮断されることにより「建屋周辺での地下水位の低下に伴う建屋滞留水の漏えい」が懸念事項となっており、今回はその検討結果についてご説明する。

3. 陸側遮水壁閉合に関する検討結果

■ 陸側遮水壁閉合後、山側からの地下水流入を遮断することで建屋周辺の地下水環境が変化する。これにより、懸念される建屋滞留水の主な漏えい事象に対し、以下の通り評価を行っている。

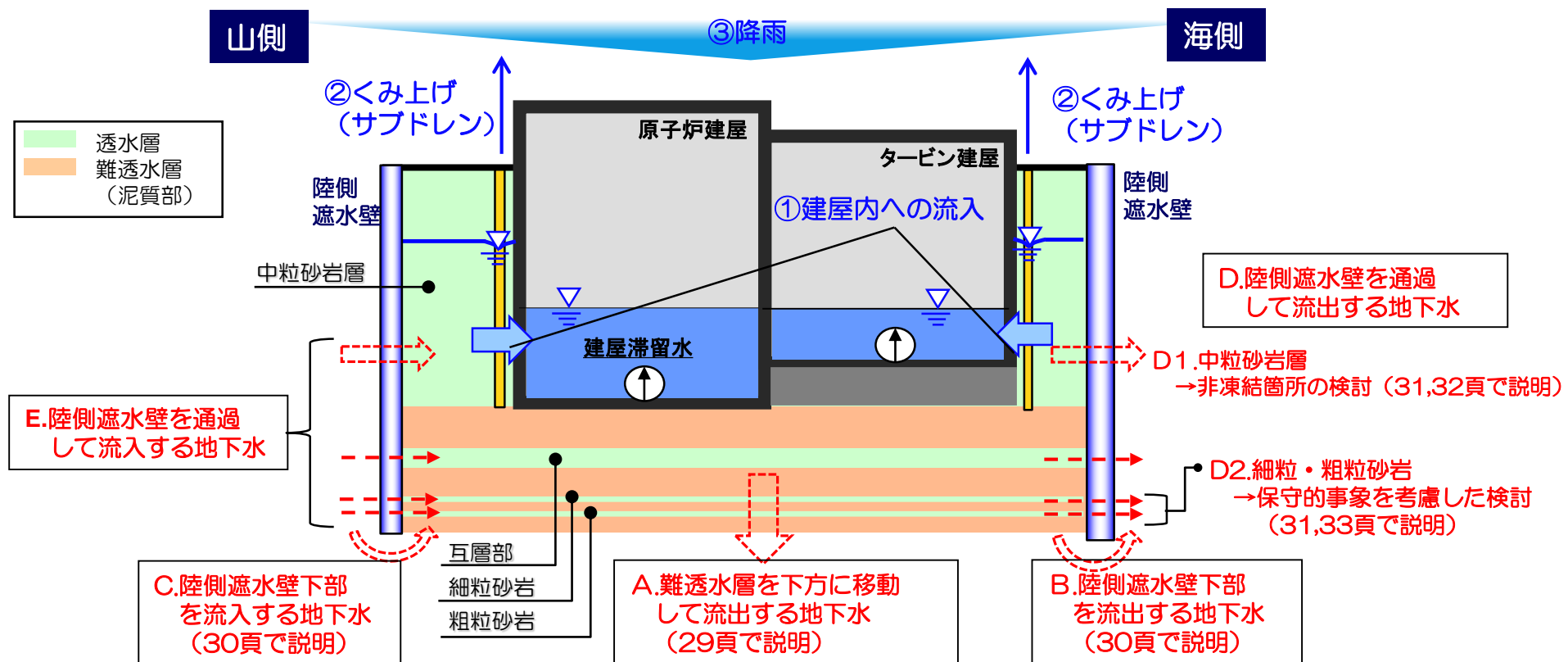
懸念事項	想定事象	評価	関連頁
建屋周辺地下水位の低下に伴う漏えい発生	自然現象により、陸側遮水壁外への地下水流出が過剰になり、閉合域内の地下水位が低下	・ 陸側遮水壁外への流出経路に関して評価した結果を本日ご説明	・ 28頁
	自然現象により、陸側遮水壁内への地下水供給が不足し、陸側遮水壁内の地下水位が低下	・ 自然現象として、降雨が少ない場合の評価結果を本日ご説明	・ 39頁
	設備トラブル等が原因で、陸側遮水壁外への地下水流出が過剰になり、陸側遮水壁内の地下水位が低下	<ul style="list-style-type: none"> ・ 陸側遮水壁内の地下水位を低下させる設備はサブドレンである ・ サブドレンのポンプは設定値で自動停止する ・ ポンプが停止しない場合に備え、ポンプ停止バックアップ位置を設定し、二重化を図ることで確実にポンプが停止する ・ 地下水位と建屋水位との水位差が設定値以下となった場合に警報を出力させ、運転員に気付かせることが可能である 	・ 参考1 34頁
	設備トラブル等が原因で、陸側遮水壁内への地下水供給が不足し、陸側遮水壁内の地下水位が低下	・ 陸側遮水壁内に地下水を供給する設備は注水井であるが、注水井がなくても降雨による涵養で陸側遮水壁の地下水位は維持できる	・ 39頁
建屋内水位の上昇に伴う漏えい発生	降雨により建屋内流入量が増加して建屋内水位が上昇	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運用目標水位差（建屋内水位一周辺地下水位）に大雨時の建屋水位上昇量を考慮し、最大排水水容量を設定している ・ なお、地下水も降雨による上昇分が見込まれるため水位差が十分に確保される 	・ 参考1 47・48頁（第34回検討会抜粋）
	滞留水移送ポンプの故障・停止により建屋内水位が上昇	・ 滞留水移送ポンプ、排水系統、電源等を多重化しており、1系統故障時は予備系統を起動する	・ 参考1 45頁（第34回検討会抜粋）
	手動運転時に操作ミスで滞留水移送ポンプを起動しないことにより建屋内水位が上昇	・ 地下水位と建屋水位との水位差が設定値以下となった場合に警報を出力させ、運転員に気付かせることが可能である	・ 参考1 50頁（第34回検討会抜粋）

3. 陸側遮水壁閉合に関する検討結果

3.1 陸側遮水壁内からの地下水流出に関する評価

3. 1. 1 陸側遮水壁内外の地下水の流出入

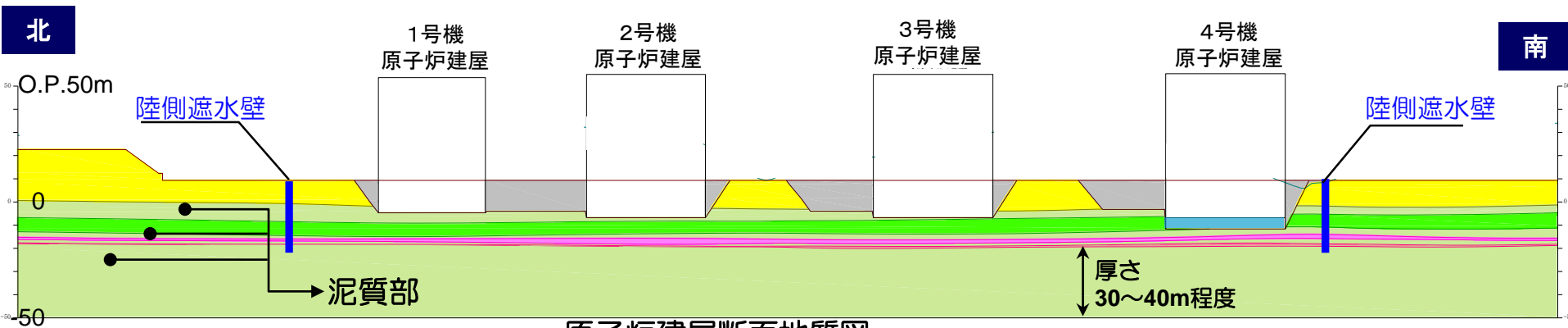
- 陸側遮水壁を閉合すると、各透水層（中粒砂岩層、互層部、細粒・粗粒砂岩）の地下水は、水平方向には陸側遮水壁、下部には難透水層（泥質部）に囲まれる。
- 陸側遮水壁内の地下水位の低下要因は、建屋内への流入（①）や地下水汲み上げ（サブドレン）（②）、上昇要因は降雨（③）となる。
- 上記以外の地下水位の変動要因は、図のA～Eに示す陸側遮水壁内外の地下水の流出入経路で、このうち、地下水位を低下させる流出に関するA～Dについて評価を行った。



陸側遮水壁内外の地下水の流れのイメージ

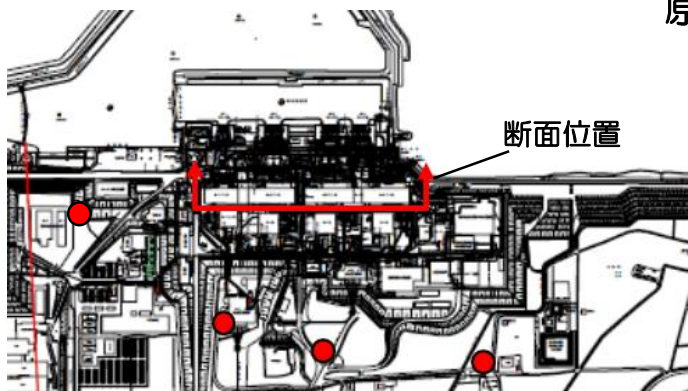
3. 1. 2 「A. 難透水層を下方に移動して流出する地下水」の検討

- 陸側遮水壁を含む1～4号機建屋周辺の下部には、「1. 敷地周辺の地層構造・地下水位と汚染対策状況実施状況」で述べたように、泥質部が水平方向に連続的に分布し、深さ方向にも粗粒砂岩下側に厚さ30～40mに連続的に分布している。
- これら連続した泥質部は難透水層であり、陸側遮水壁内における下方への地下水移動に対する遮水性は確保できていると考える。



原子炉建屋断面地質図

	埋戻土
	段丘堆積層
	中粒砂岩層 ($1.4 \times 10^{-3} \sim 7.6 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$)
	泥質部 ($2.6 \times 10^{-7} \sim 1.4 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$)
	互層部 ($1.0 \times 10^{-3} \sim 6.3 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$)
	細粒砂岩 ($3.9 \times 10^{-4} \sim 5.1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$)
	粗粒砂岩 ($5.0 \times 10^{-4} \sim 4.4 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$)
	MMR (人工岩盤)

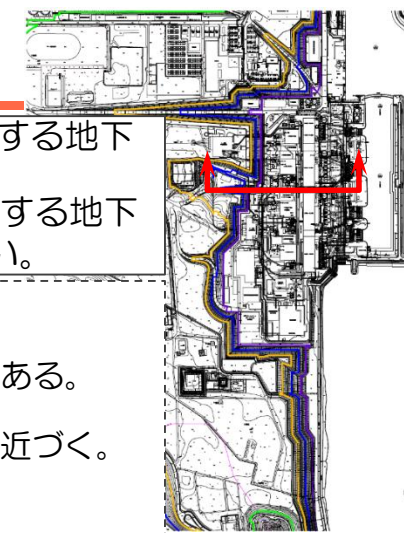


断面位置

● ボーリング調査位置 (泥質部)

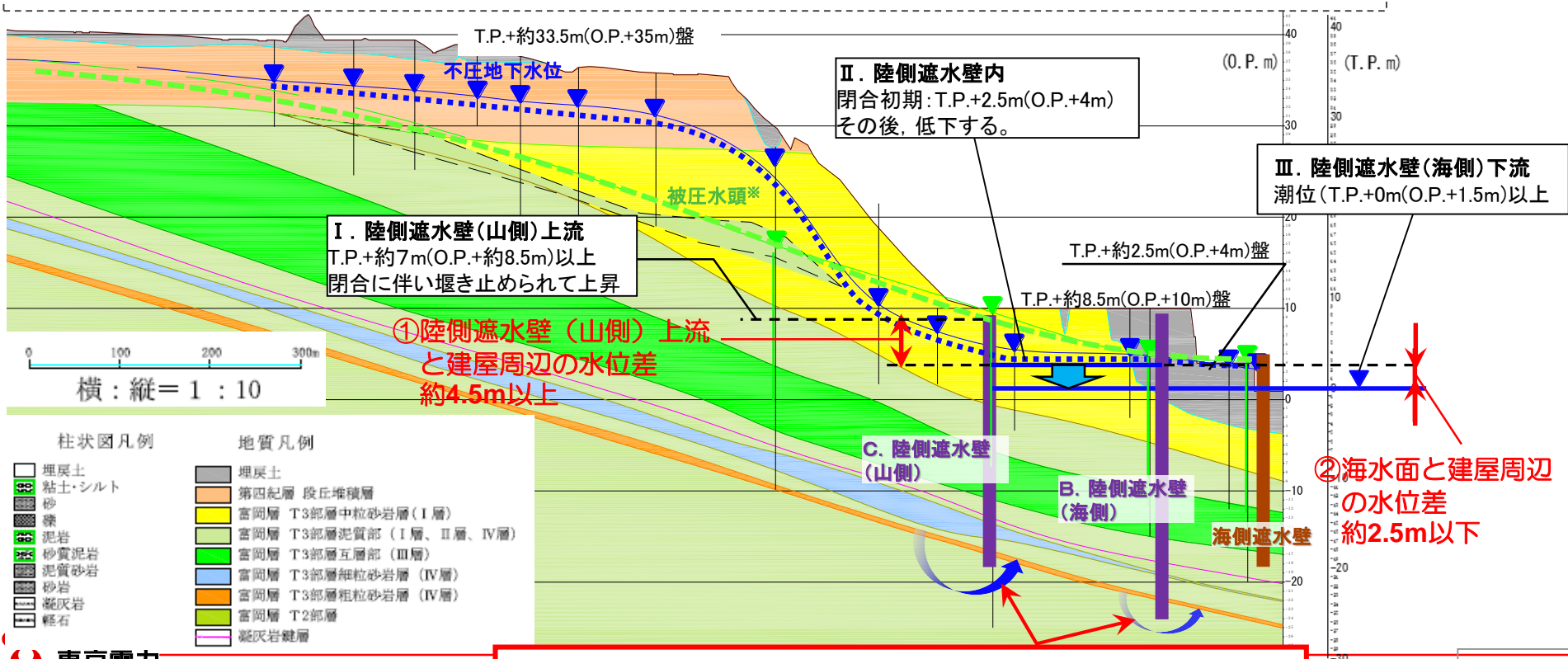
カッコ内は透水係数

3. 1. 3 「BおよびC. 陸側遮水壁下部を流出入する地下水」の検討



- 陸側遮水壁は、難透水層の泥質部（透水係数： 10^{-6} cm/sec）に根入れするため、下部を移動する地下水の流入はごくわずかである。
- 下記に示す通り、「B.陸側遮水壁下部を流出する地下水」に比べ、「C.陸側遮水壁下部を流入する地下水」が大きく、陸側遮水壁内の地下水を増やす要因であることから地下水収支には反映させない。

- 陸側遮水壁下部を流れる地下水量は、遮水壁前後の水位（水頭）差が大きいほど多い。
- 陸側遮水壁閉合後の深部の細粒・粗粒砂岩の水位（水頭）を以下のように考える。
 - I. 陸側遮水壁（山側）上流：深部の細粒・粗粒砂岩の水位（水頭）(I)は、現状でT.P.+約7m以上である。閉合後は陸側遮水壁に堰止められて更に上昇する。
 - II. 陸側遮水壁内：陸側遮水壁の閉合で上流からの流れ（水圧）が遮断され不圧地下水位に近づく。また、建屋内への流入により水位は低下する。
 - III. 陸側遮水壁（海側）下流：潮位（T.P.+0m(O.P.+1.5m)以上）
- 遮水壁前後の水位（水頭）差は、①山側の陸側遮水壁（水位差は4.5m以上）が、②海側（水位差2.5m以下）より大きくなるため、海側の陸側遮水壁下部からの流出よりも、山側から流入する地下水量が多くなる。



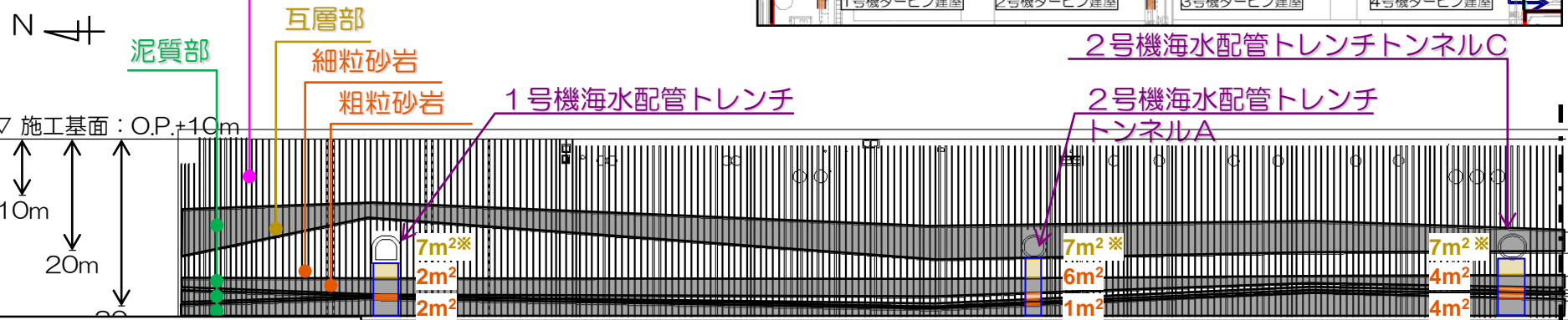
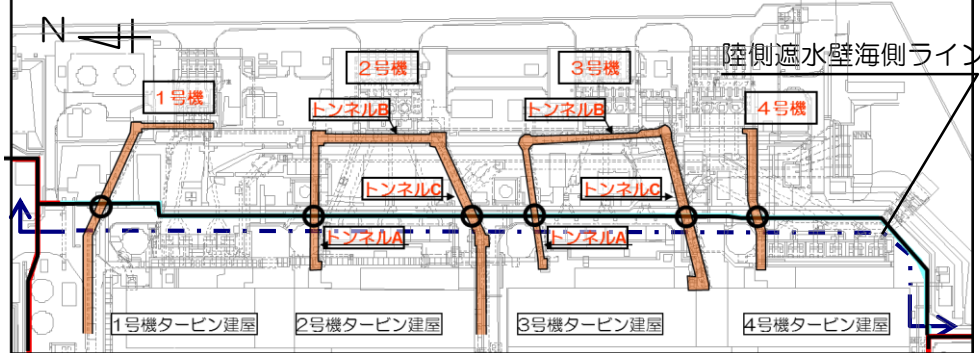
①>②のため、海側より山側の遮水壁下部の地下水移動量が多い

3. 1. 4 「D.陸側遮水壁を通過して流出する地下水」の検討

- 陸側遮水壁（凍土）を直接透過する地下水は無視できる。
- 「D.陸側遮水壁を通過して流出する地下水」としては、凍結管の貫通を行わず、非凍結とする1～4号機海水配管トレンチ下部の地盤での地下水の流出を評価する。

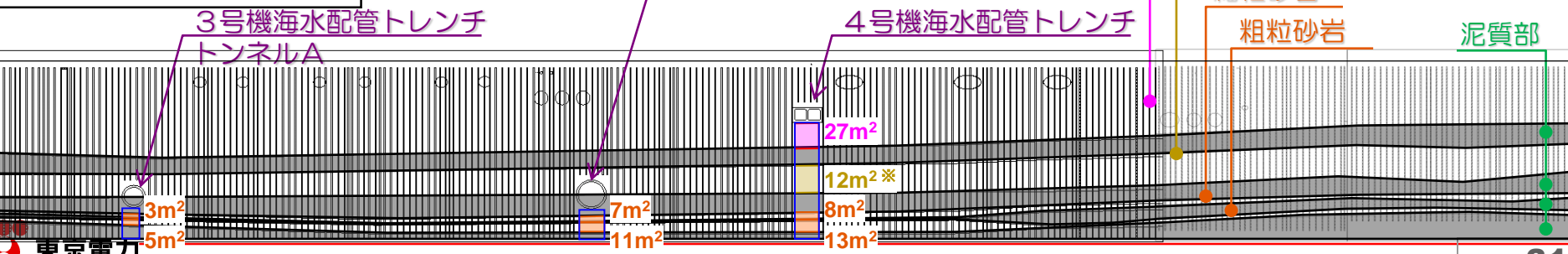
海水配管トレンチ下部
 (海側ライン全体面積の約1.9%)
 海水配管トレンチ下部の透水層
 (海側ライン透水層全体面積の約1.1%※)
 難透水層 (泥質部)
 凍結管, 測温管

※ 互層部については砂岩層と泥質部の構成比が4:6として算定
 中粒砂岩層 (建屋内への地下水の主な流入源)



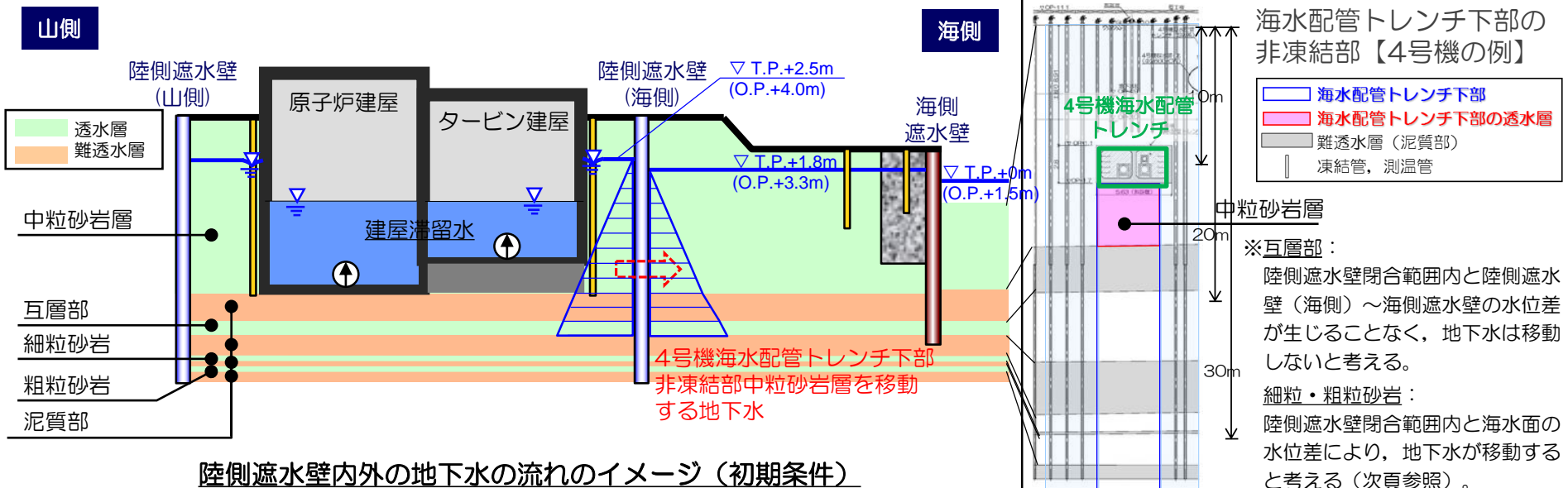
透水層面積

- ・ 中粒砂岩層：約27m²
- ・ 互層部※：約33m²
- ・ 細粒砂岩・粗粒砂岩：約66m²



3. 1. 5 「D1. 陸側遮水壁海側の非凍結部を通過する地下水（中粒砂岩層）」の検討

- 海水配管トレンチ下部の非凍結範囲の地下水の流出量を、以下のように算出することで、地下水収支の保守的事象を考慮した。



- 「D.陸側遮水壁を通過して流出する地下水 (D1.中粒砂岩層)」として、陸側遮水壁閉合範囲内と陸側遮水壁 (海側) ~ 海側遮水壁との水位差により4号機海水配管トレンチ下部非凍結部の中粒砂岩層 (中粒砂岩層に非凍結部があるのは4号機のみ) を移動する地下水を考える。

- 閉合当初の流出量：約30m³/日 (陸側遮水壁閉合範囲内と陸側遮水壁 (海側) ~ 海側遮水壁との水位差低下に伴い減少)

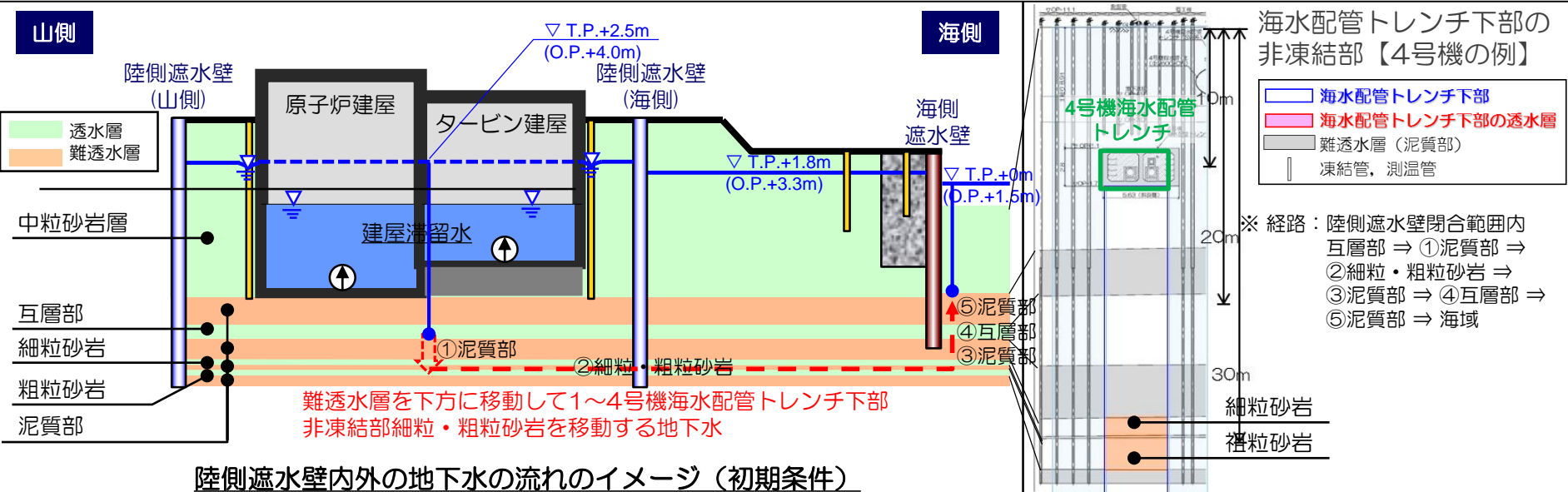
閉合範囲内の地下水位 (T.P.+m (O.P.+m))	流出量 (m ³ /日)
2.5 (4.0)	約30
2.2 (3.7)	約15
1.8 (3.3)	0

【試算条件】

- 中粒砂岩層透水係数 k : 3.4×10^{-3} (cm/s, 試験結果対数平均)
- 水位差 Δh : 0.7m
 【陸側遮水壁閉合範囲内】 T.P.+2.5m (O.P.+4.0m)
 【陸側遮水壁 (海側) ~ 海側遮水壁】 : T.P.+1.8m (O.P.+3.3m)
- 陸側遮水壁 (海側) 厚さ L : 2m
- 断面積 A : 27m²

3. 1. 6 「D2. 陸側遮水壁海側の非凍結部を通過する地下水（細粒・粗粒砂岩）」の検討

■ 1～4号機建屋周辺の下部に存在する泥質部は遮水性が高く、下部への地下水の流れは生じ難い。陸側遮水壁（海側）に一部非凍結の箇所があっても遮水壁内の地下水が多量に流出するものではないが、海側遮水壁近傍で細粒・粗粒砂岩の圧力が抜けた場合を仮定して、海水配管トレンチ下部の細粒・粗粒砂岩に流出する地下水量を算定することで地下水収支の保守的事象を考慮した。



■ 「D.陸側遮水壁を通過して流出する地下水（D2.細粒・粗粒砂岩）」として、陸側遮水壁閉合範囲内と海水面との水位差により1～4号機海水配管トレンチ下部非凍結部の細粒・粗粒砂岩を移動する地下水を考える。

■ 閉合当初の流出量

：約20m³/日

（陸側遮水壁閉合範囲内と海水面との水位差低下に伴い減少）

閉合範囲内の地下水位 (T.P.+m (O.P.+m))	流出量 (m ³ /日)
2.5(4.0)	約20
1.3(2.8)	約10

【試算条件】

・通過経路のうち、①、②（陸側遮水壁（海側）通過部のみ）、③～⑤の経路通過による圧力損失を考える。

・圧力損失 Δh : 2.5m,

【陸側遮水壁閉合範囲内】 T.P.+2.5m(O.P.+4.0m), 【海域】 : T.P.±0m(O.P.+1.5m)

・①・③～⑤

・透水係数 k : 2.5×10^{-6} (cm/s, 試験結果対数平均),

※ 互層部の鉛直透水係数は泥質部と同一の透水係数に設定

・泥質部・互層部厚さ L : 計 18m, 断面積 A : 100,000m² (陸側遮水壁閉合面積)

・②（陸側遮水壁（海側）通過部）

・透水係数 k : 1.8×10^{-3} (cm/s, 試験結果対数平均)

・陸側遮水壁（海側）厚さ L : 2m, 断面積 A : 66m² (海水配管トレンチ下部非凍結部面積)

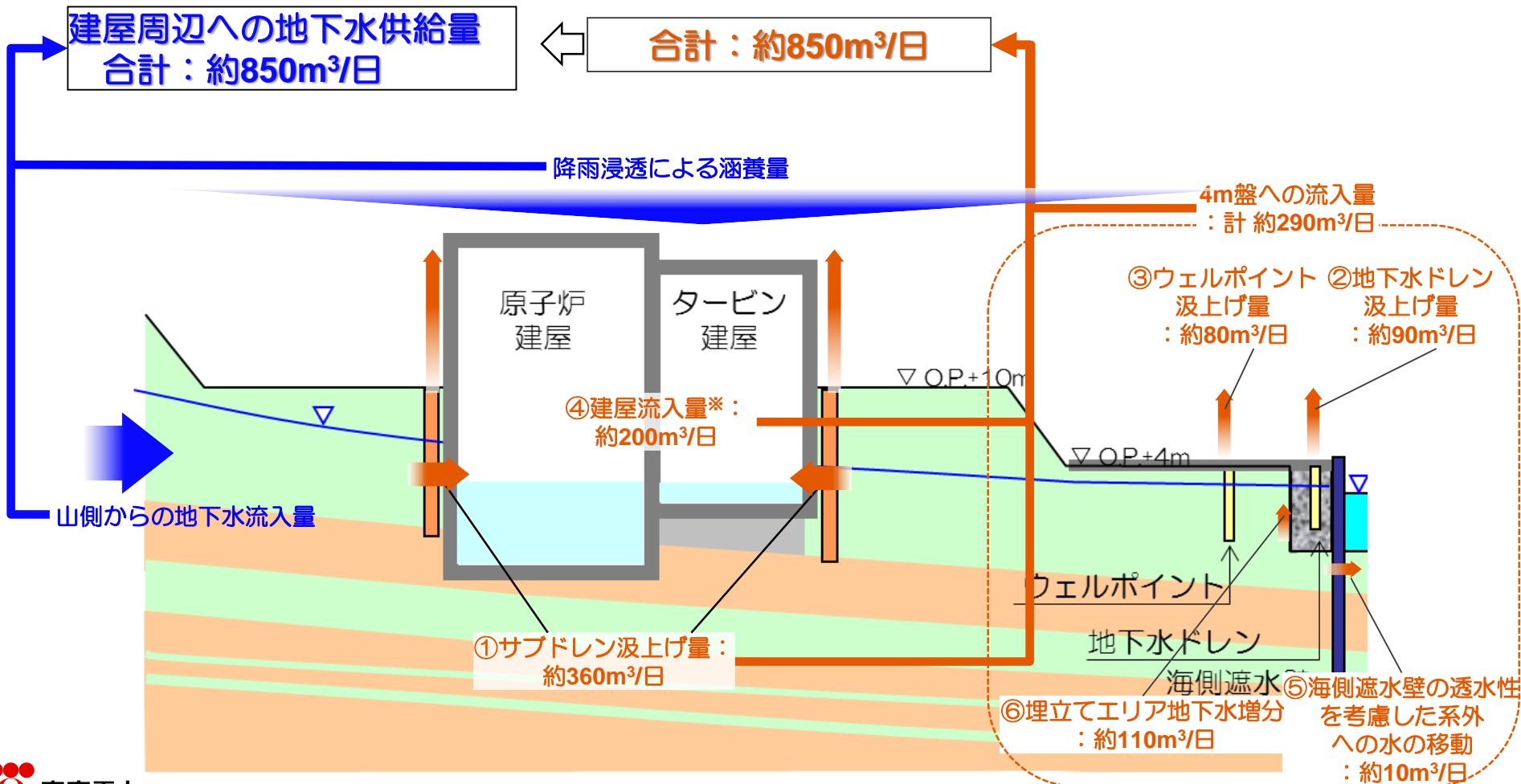
3. 陸側遮水壁閉合に関する検討結果

3.2 陸側遮水壁閉合後の地下水収支

3. 2. 1 現状（サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後）の地下水収支（評価結果）

■ 支出量・埋め立てエリア地下水増分として、対象期間の平均でサブドレンで約360m³/日汲上げ、建屋に約200m³/日、O.P.+4m盤に約290m³/日流入しており、総和（=供給量）を約850m³/日と評価した。

[供給量] = [支出量+埋め立てエリア地下水増分]① + ② + ③ + ④ + ⑤ + ⑥

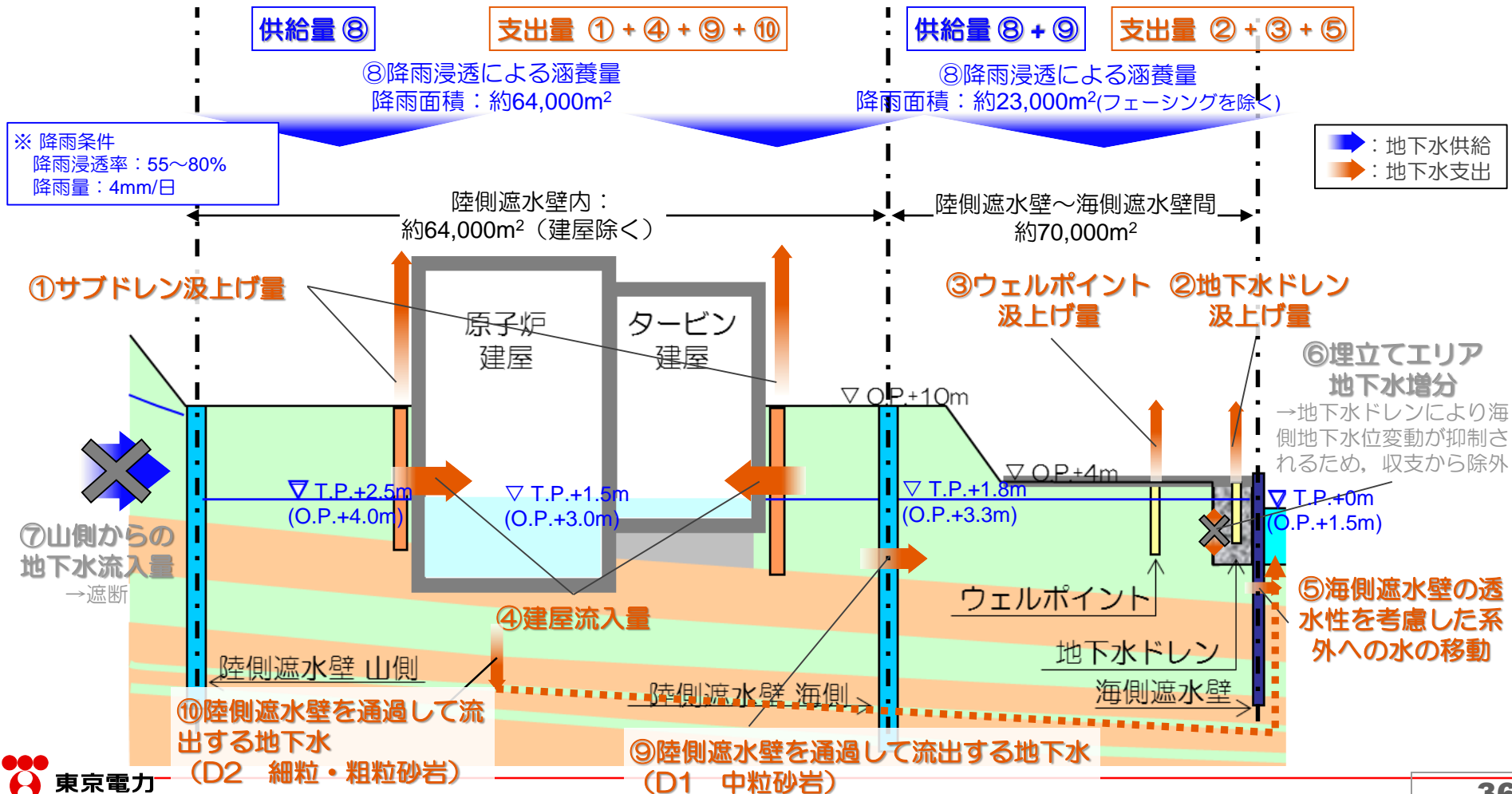


※ 建屋流入量には屋根からの雨水の直接流入分を含む

3. 2. 2 陸側遮水壁閉合後の地下水収支（概要）

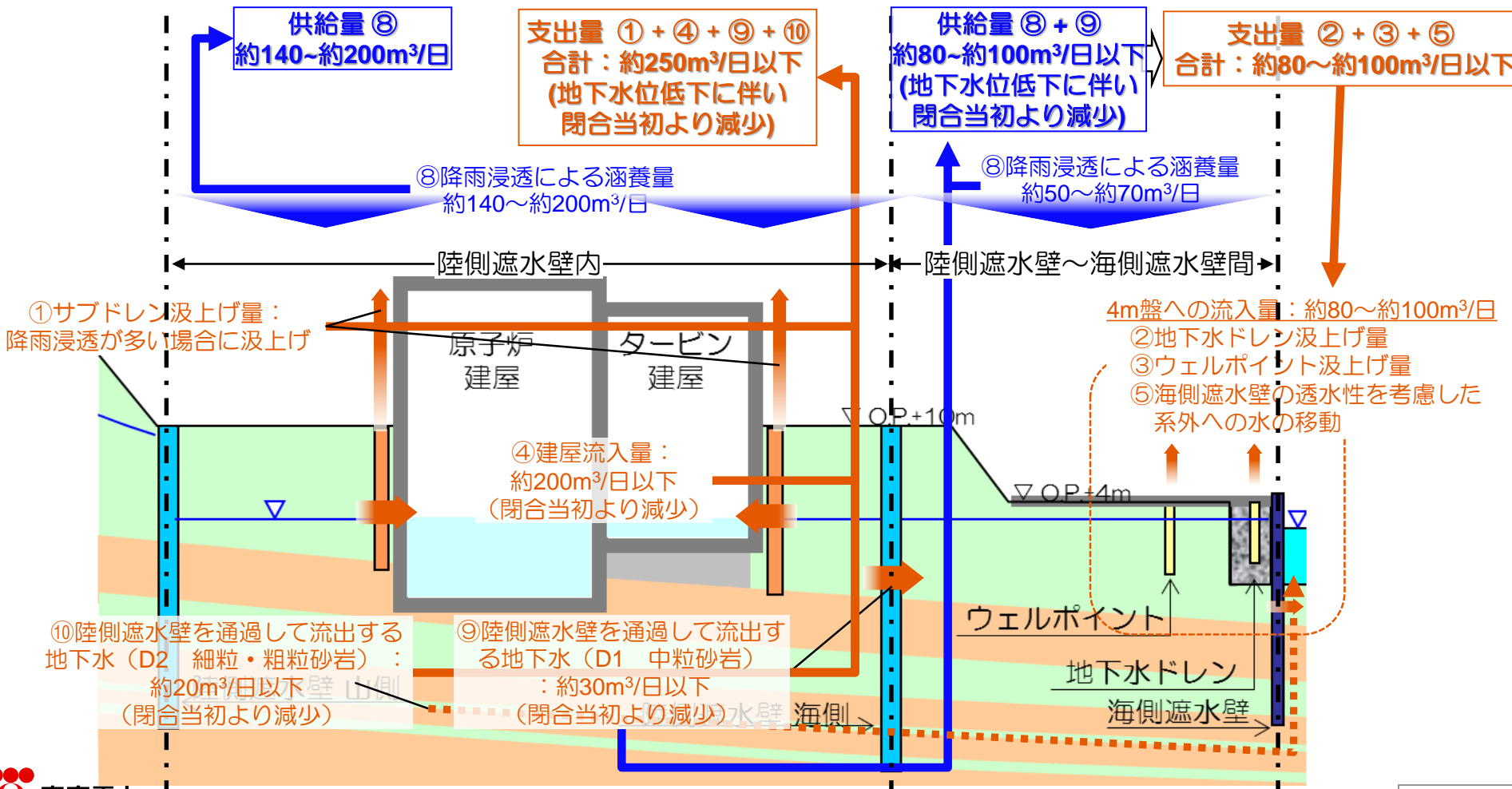
■ 陸側遮水壁閉合後における建屋周辺の地下水収支については、陸側遮水壁閉合に伴い、上流からの地下水流入が遮断されるため、陸側遮水壁内の地下水供給は降雨による涵養分のみとなる。

- 支出量：【実測値】①サブドレン、②地下水ドレン、③ウェルポイントでの汲上げ量
【算定値】④建屋流入量、⑤海側遮水壁の透水性を考慮した系外への水の移動、
⑨陸側遮水壁を通過して流出する地下水（D1 中粒砂岩）
⑩陸側遮水壁を通過して流出する地下水（D2 細粒・粗粒砂岩）
- 供給量：【算定値】⑧降雨浸透による地下水涵養量



3. 2. 3 陸側遮水壁閉合後の地下水収支（評価結果）

- 陸側遮水壁閉合範囲内では上流からの地下水流入が遮断され、地下水供給は降雨による涵養分のみとなる(約140~200m³/日)。
- 陸側遮水壁閉合範囲内における支出量は、建屋・OP+4m盤へ流入、およびサブドレンでの汲み上げ量の合計約250m³/日以下であり、地下水位低下とともに減少する。
- 陸側遮水壁~海側遮水壁間における地下水供給は、降雨による涵養分と陸側遮水壁を通じた移動分となり、主に地下水ドレン・ウェルポイントにて汲み上げられる。(供給量：陸側遮水壁（海側）~海側遮水壁間：約80~約100m³/日(地下水位の低下に伴い減少する))



3. 2. 4 地下水位低下量評価 (概要)

- 陸側遮水壁閉合後，地下水の建屋への流入等により地下水位が低下する。地下水位低下量の時間的変動を保守的な条件（地下水位低下速度が大きくなる）の下に評価した。
- (評価方法) 建屋水位を固定し，降雨浸透による涵養量および建屋流入量等の地下水収支に基づき，地下水位の変化量を算出する。変化後の地下水位を基に地下水収支を算出し，地下水位変化量を算出する繰り返し計算により地下水位低下量を評価する。

$$\text{地下水位低下量} = \frac{\text{支出量} - \text{供給量}}{\text{面積} \times \text{有効空隙率}}$$

[支出量] ①サブドレン汲上げ量，②地下水ドレン(③カピラリイも含む)汲上げ量④建屋流入量，⑤海側遮水壁の透水性を考慮した系外への水の移動，⑨陸側遮水壁を通過して流出する地下水(D1 中粒砂岩)，⑩陸側遮水壁を通過して流出する地下水(D2 細粒・粗粒砂岩)

[供給量] ⑧降雨浸透による涵養量 (支出量は地下水位の変化に伴い変動)

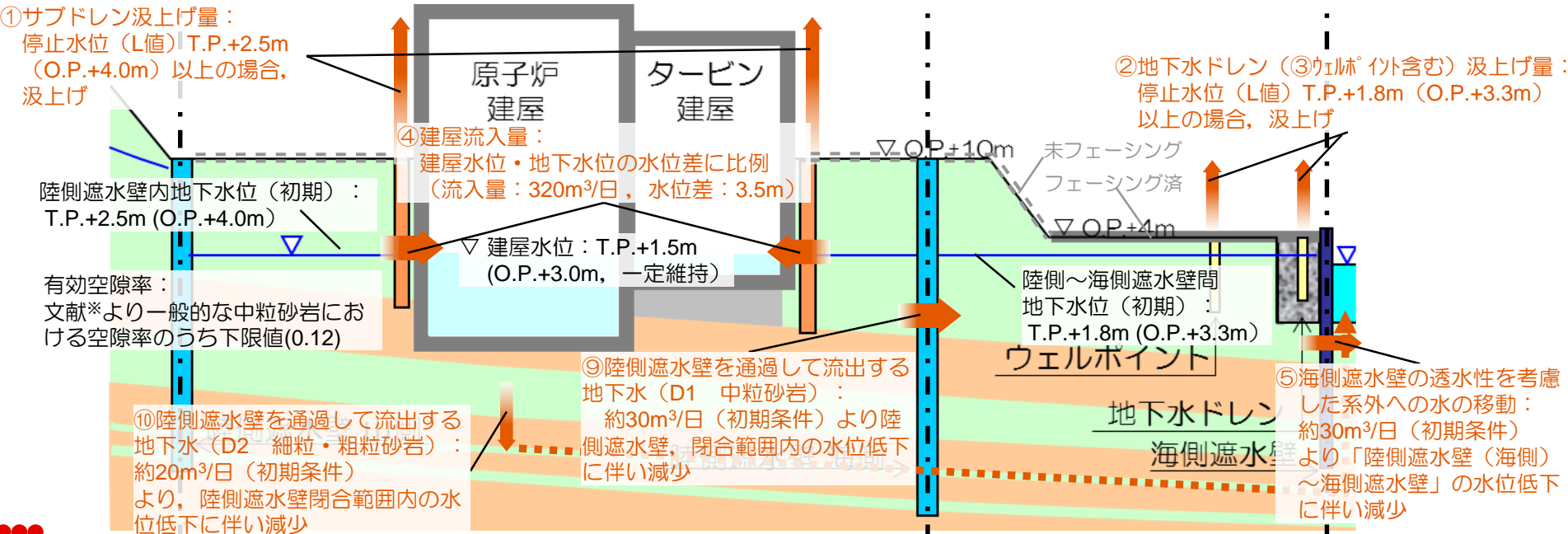
※ 降雨条件
 降雨浸透率：55%
 降雨量：標準ケース(4mm/日)
 リスクケース
 降雨実績(2mm/1ヶ月～763mm/12ヶ月)より設定

⑧降雨浸透による涵養量
 降雨面積：約64,000m²

⑧降雨浸透による涵養量
 降雨面積：約23,000m²(フェーシング考慮)

陸側遮水壁内面積：約64,000m²(建屋除く)

陸側遮水壁～海側遮水壁間面積 約70,000m²



3. 2. 5 地下水位低下量評価（評価結果）

- 想定した地下水収支をもとに，陸側遮水壁閉合後1年間の地下水位の変化を想定した。
 - 【標準ケース】 平年程度の降雨(約4mm/日)があれば，建屋水位と地下水位の水位差は十分に確保可能である。(①)
 - 【リスクケース】 過去30年間の1～12か月間最小累積降水量※（2mm/1ヶ月～763mm/12ヶ月）を想定しても3～4ヶ月後に地下水位が建屋水位に近づき，その後，地下水位と建屋水位との水位差は拡大する。(②, ③)
 - 周辺地下水位が建屋水位に接近する場合は，必要に応じて建屋水位の低下を実施する。

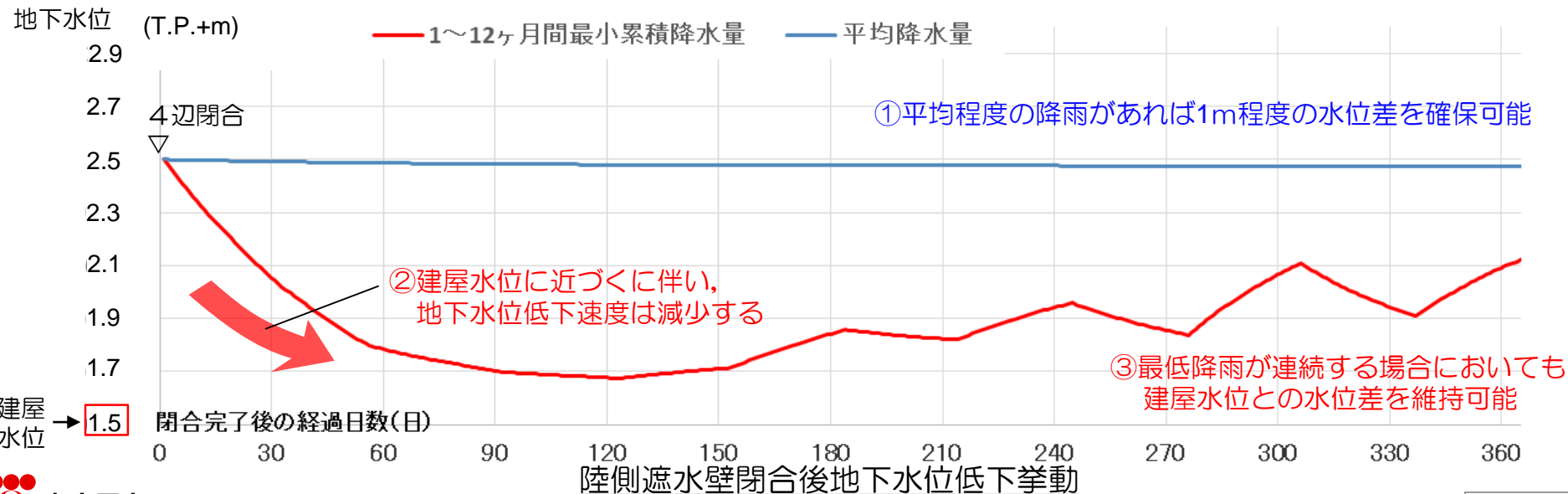
平均降水量・最小累積降水量

	1か月	2か月	3か月	4か月	5か月	6か月	7か月	8か月	9か月	10か月	11か月	12か月	平均(参考) (mm/日)
平均降水量 (mm/月)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	4
1～12か月間最小 累積降水量※ (mm/月)	2	11	25	54	105	200	262	369	421	569	619	763	2
前月からの差分 (mm/月)	2	9	14	29	51	95	62	107	52	148	50	144	

30年間最大・平均・最小降水量

	年間降水量 (mm/年)
30年間最大	2321
30年間平均	1487
30年間最小	891

※ 1～12か月間最小累積降水量：浪江における30年間の降水実績から，連続した1～12か月間における最小降水量を抽出



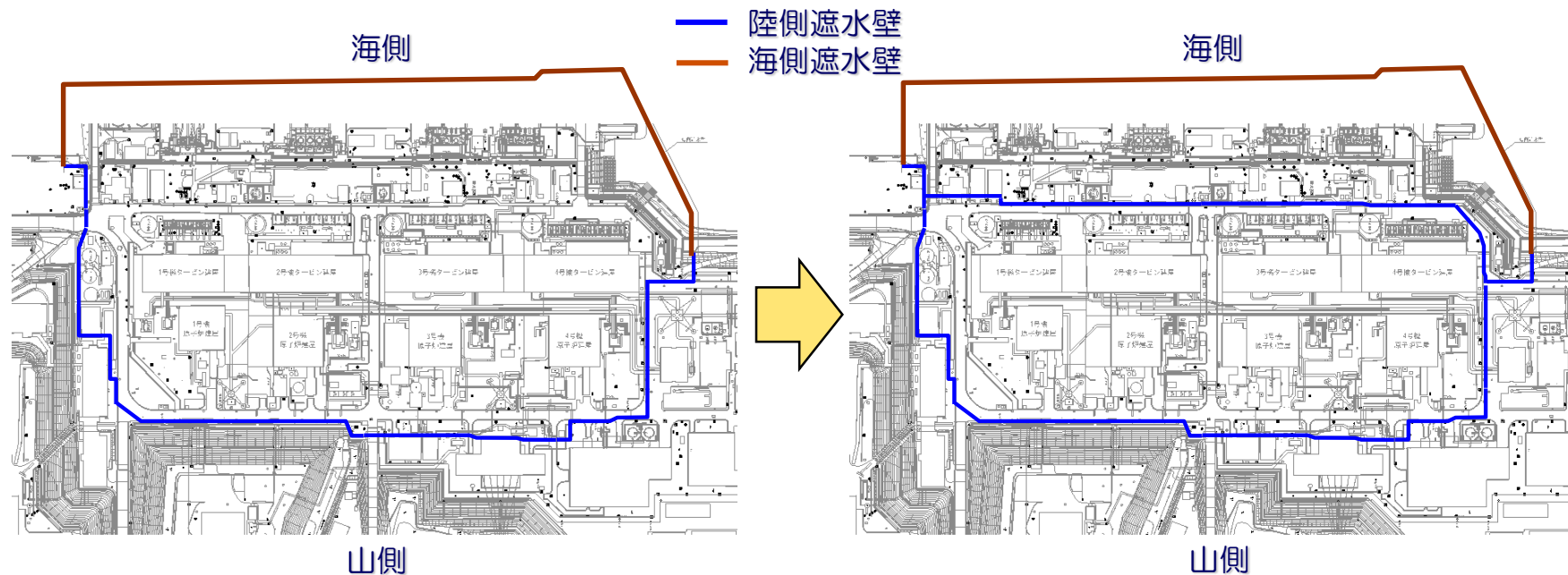
3. まとめ

- 陸側遮水壁内からの地下水流出について検討した。
 - 陸側遮水壁を含む1～4号機建屋周辺の下部には、遮水性が高い泥質部（難透水層）が、各透水層（中粒砂岩層，互層，細粒・粗粒砂岩）間，および粗粒砂岩下部（30～40m程度）に存在していることから，陸側遮水壁内における下方への地下水移動に対する遮水性は十分確保できている。
 - 陸側遮水壁は，難透水層の泥質部（透水係数： 10^{-6} cm/sec）に根入れするため，下部を移動する地下水の流出入はごくわずかである。陸側遮水壁下部からの地下水の流出入は，遮水壁前後の水位（水頭）差に比例するため，水位（水頭）差の大きい山側からの流出量は海側からの流出量に比べて大きい。
 - 海水配管トレンチ下部の非凍結部を通じた陸側遮水壁外への水の流出量は，閉合当初は $50\text{m}^3/\text{日}$ 程度であるが，地下水位低下に伴い減少していく。
- 上記の検討結果と現状の地下水収支を踏まえ，陸側遮水壁閉合後の地下水収支を評価した。
 - 陸側遮水壁を閉合し，山側からの地下水流入を遮ることで，建屋流入量，O.P.+4m盤への地下水流入量が減少する。
- 評価した地下水収支をもとに，陸側遮水壁閉合後の地下水位の低下挙動を評価した。
 - 平年程度の降雨があれば，建屋水位を低下させなくとも，建屋水位と地下水位との水位差は1m程度確保できる。
 - 過去30年間の1～12ヶ月最小累積降水量（ $2\text{mm}/1\text{月}\sim 763\text{mm}/12\text{ヶ月}$ ）の場合でも，建屋水位を低下させなくとも，3～4ヶ月後に地下水位が建屋水位に近づくが逆転することはない。その後，地下水位と建屋水位との水位差は拡大する。

4. まとめ

4. 1 陸側遮水壁の閉合手順

- 陸側遮水壁山側3辺を先行して閉合することにより以下が実現できる。
 - 上流から1～4号機建屋周辺に流れ込む地下水を南北に大きく迂回させ、建屋周辺に流入させることなく、海洋へ流下させることができる。
 - 建屋海側で地下水がせき止められることによる地下水位上昇がないため、建屋への地下水流入を増加させない。
 - 陸側遮水壁海側の凍結箇所での地下水流速が緩慢となるため陸側遮水壁海側の早期の凍結閉合が見込める。
- 加えて、O.P.+4m盤の汚染エリアへの地下水流入が多いことに対しても、山側3辺閉合によって抑制できる。



4. 2 まとめ

- サブドレンは安定的に稼働し、建屋内への地下水の流入は抑制されている。
- 海側遮水壁を閉合したことで、地下水は堰き止められ、港湾内への流出が抑制された。
- 海側遮水壁閉合前は海洋に流出していた地下水を、閉合後はくみ上げており、O.P.4m盤でのくみ上げ量が多くなっている。O.P.4m盤への地下水流入はサブドレン稼働によってある程度抑制できると考えていたが、現時点ではその効果が小さく、汚染エリアへの地下水流入が継続しており、建屋への移送量が400m³/日程度となっている。
- 陸側遮水壁山側3辺を先行して凍結させることで、建屋周辺とO.P.+4m盤の「汚染源に水を近づけない」対策が実現する。
- 陸側遮水壁閉合後の地下水位低下挙動に関し、降雨が少ない場合でも、建屋水位を低下させなくても地下水位と建屋水位が逆転しないと評価した。
- 以上を踏まえて、準備が整っている陸側遮水壁山側3辺から凍結を開始する計画である。

【参考】海側遮水壁閉合後の状況および健全性評価

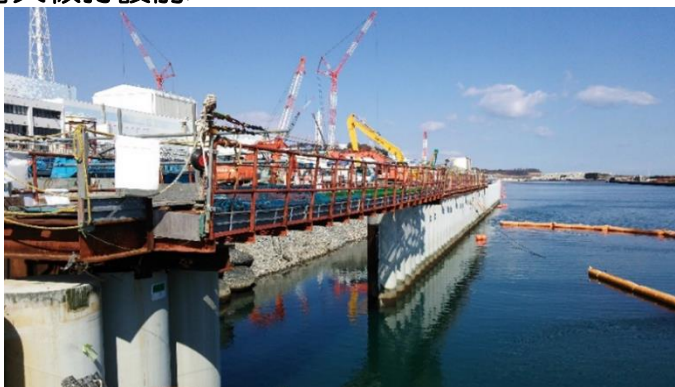
1. 海側遮水壁閉合作業（鋼管矢板打設）の状況

海側遮水壁については、下記スケジュールにて閉合作業を実施した。

鋼管矢板打設；9/22 打設完了。
継手処理 ；10/26 作業完了。

【鋼管矢板打設状況】

〈鋼管矢板打設前〉



〈鋼管矢板打設完了後〉



【閉合作業実績】

●鋼管矢板打設作業状況

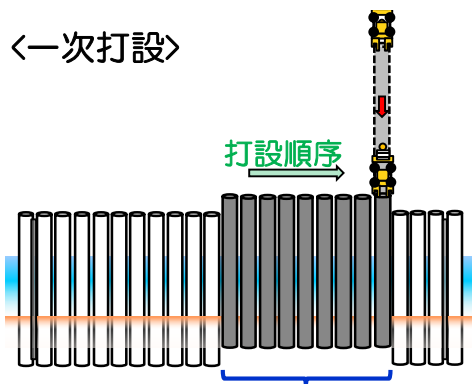
9月10日 鋼管矢板一次打設開始
9月19日 鋼管矢板一次打設完了
9月22日 鋼管矢板二次打設開始・完了

●継手処理作業状況

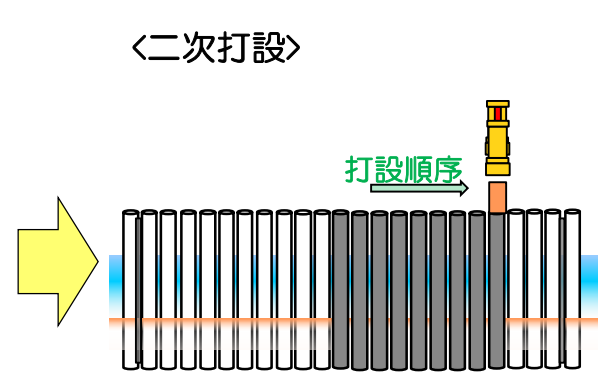
10月 8日～19日 継手洗浄実施・完了
10月10日～26日 モルタル注入実施・完了

【鋼管矢板打設作業概要】

〈一次打設〉



〈二次打設〉

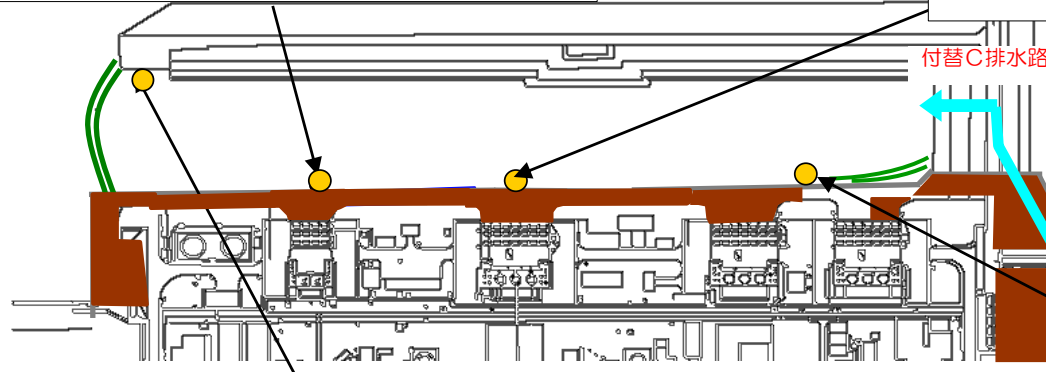
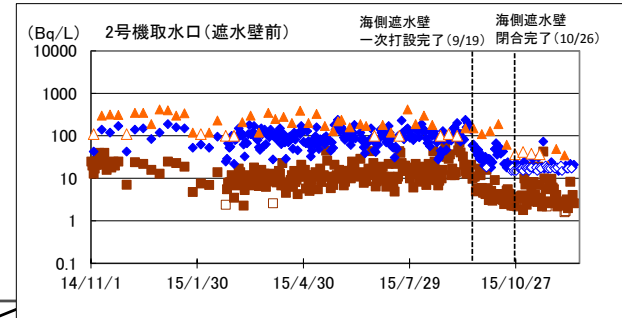
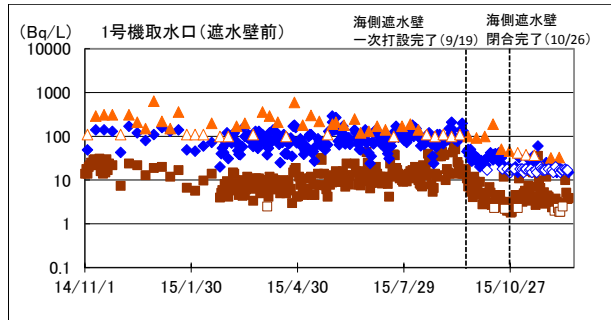


最終打設作業で打設した鋼管矢板（9本）

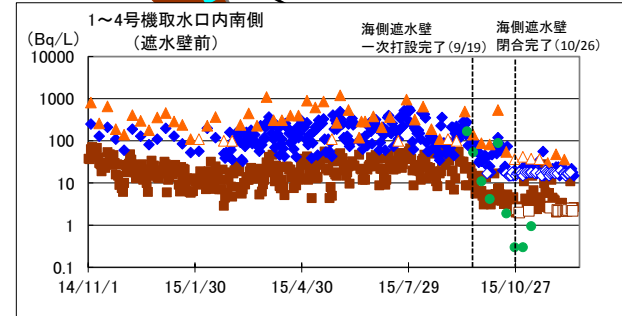
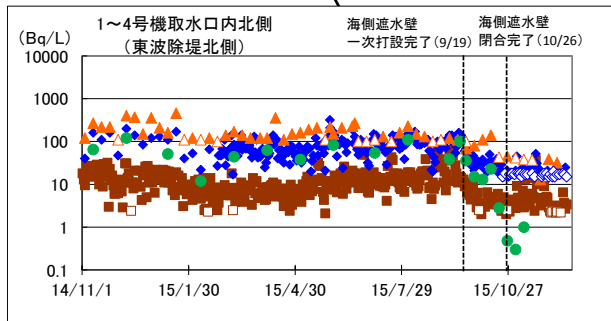
2. 1～4号機取水口付近の海水サンプリング結果

■ 海側遮水壁閉合以降の1～4号機取水口付近の海水サンプリング結果を下記に示す。

- ・セシウム、全β濃度、ストロンチウム濃度が低下。11月からはトリチウム濃度も低下している。
- ・降雨時に、一時的な上昇が見られるところもあるが、海側遮水壁閉合後の濃度低下が継続している。



過去1年のデータを表示



3. 地下水ドレンポンド水位と港湾内海水中放射性物質濃度の推移

- 海側遮水壁閉合前後における地下水ドレンポンド水位と、1～4号機取水路開渠内（南側遮水壁前）海水中放射性物質濃度の推移を下記に示す。

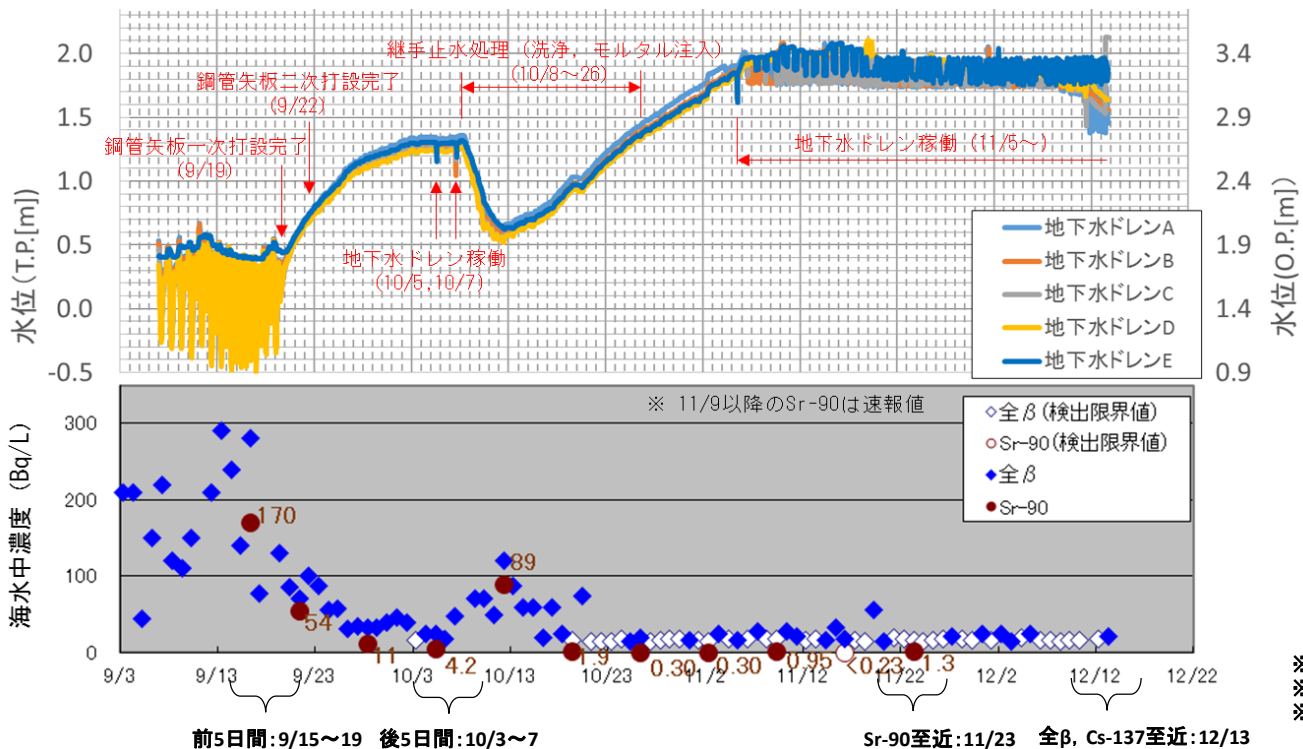


表 1～4号機取水路開渠内及び開渠外の測定地点における海水中放射性物質濃度平均値 (Bq/L)

		前5日間 平均値※1	後5日間 平均値※2	至近 平均値※3
全β	開渠内	150	26	18
	開渠外	27	16	18
Sr-90	開渠内	140	4.2	1.3
	開渠外	16	-	0.88
Cs-137	開渠内	16	3.8	3.5
	開渠外	2.7	1.1	1.1
H-3	開渠内	220	110	34
	開渠外	1.9	9.4	3.0

※1 H-3については、前5日間のデータがないため、前10日間の平均値
 ※2 後5日間は、地下水ドレン水位が一定及び降雨がない期間を選定
 ※3 全βとCs-137は12/13, Sr-90開渠内は11/23, Sr-90開渠外は11/9, H-3は12/7

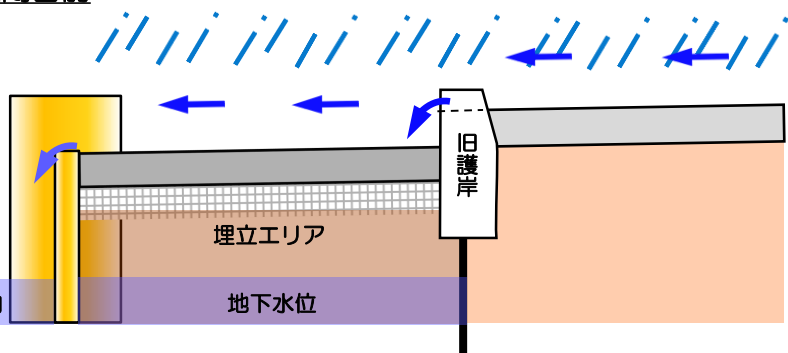
図 地下水ドレン水位と1～4号機取水路開渠内（南側遮水壁前）海水中放射性物質濃度の推移

- 地下水ドレンポンド水位は、鋼管矢板打設後に上昇し、継手洗浄（10/8～9, 10/19）後に一時低下がみられたが、継手へのモルタル注入により上昇し、地下水ドレンの稼働により制御。
- 港湾内の海水中の全β濃度は、地下水ドレンポンド水位の上昇に連動して低下し、地下水ドレン稼働後もその状況が継続。ストロンチウム濃度についても同様な傾向が得られている。
- セシウム、トリチウムについても低い濃度で推移しているが、今後もモニタリングを継続。
- 地下水ドレンポンド水位が上昇していること、および海水中の放射性物質濃度が低下していることから、海側遮水壁による遮水性は発揮されていると評価している。

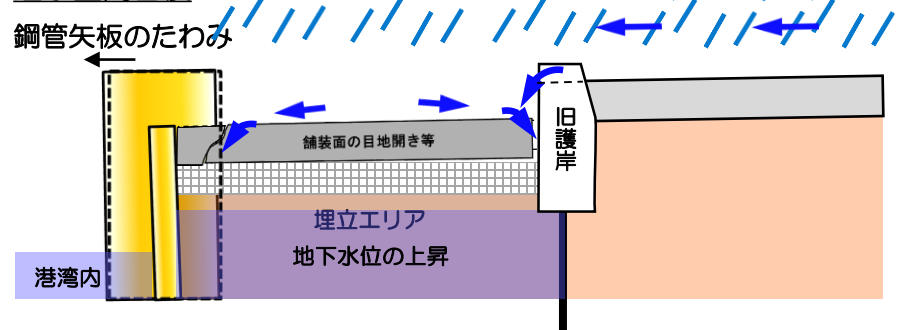
4. 鋼管矢板のたわみに伴う埋立地舗装面の目地開き状況とたわみ抑制対策について

- 海側遮水壁閉合後、地下水位上昇に伴い鋼管矢板のたわみが増加し、舗装面の一部に目地開き等が発生した。
- 舗装面目地開き等からの雨水の浸透が、地下水ドレン汲み上げ量増加の要因の一つと考えられたため、補修作業を実施し、12月5日に完了した。今後も点検を継続し、状況に応じて補修を実施していく。
- また、たわみによる鋼管矢板の継手にかかる負荷を軽減することを目的として、杭頭を結合する鋼材を設置。

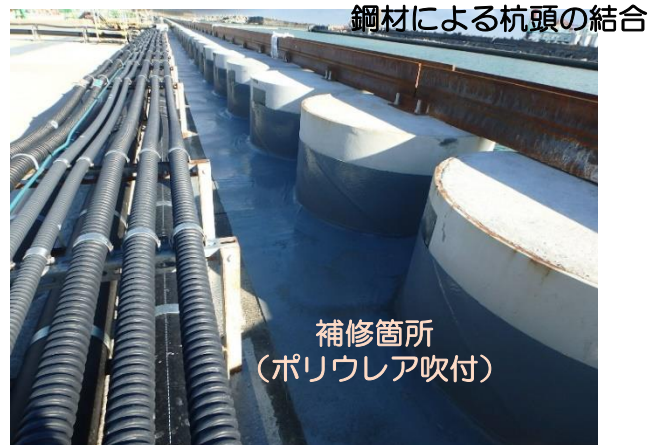
遮水壁閉合前



遮水壁閉合後



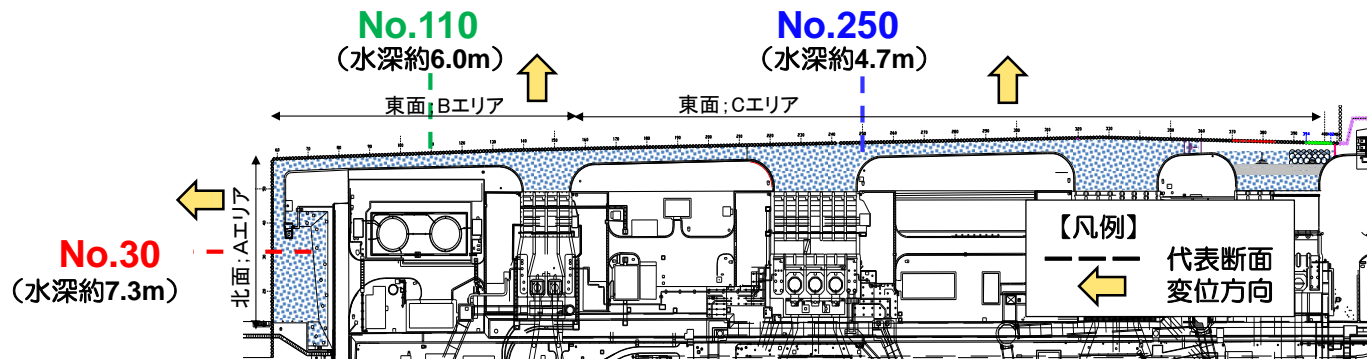
鋼管矢板際の状況（補修実施前）
（右写真の補修実施後の場所とは異なる）



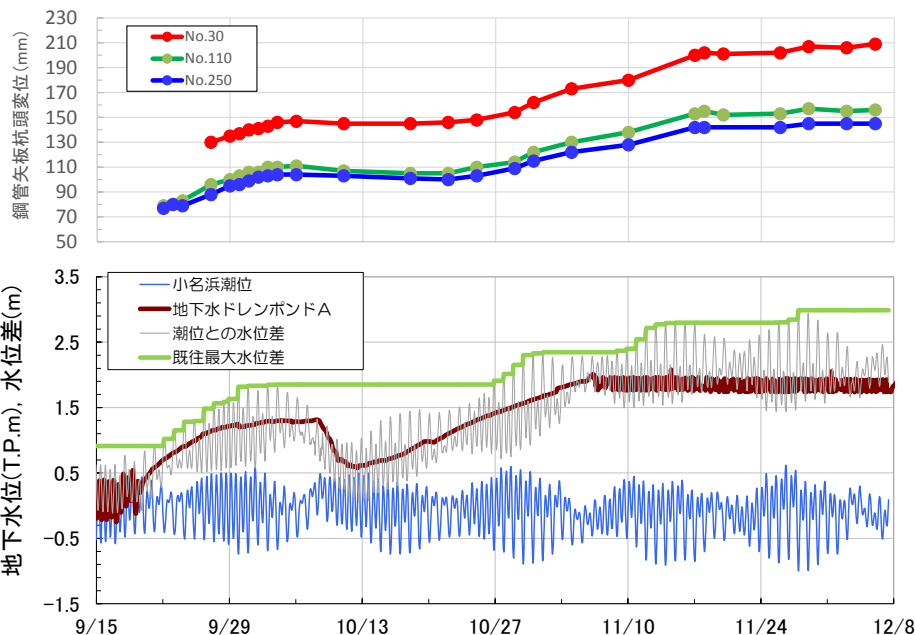
鋼管矢板際の状況（補修実施後）
（ポリウレタ吹付箇所の一例）

5. 鋼管矢板のたわみに伴う杭頭変位について

- たわみに伴い生じた鋼管矢板杭頭変位の経時変化を下記に示す。
潮位と地下水ドレンポンド水位（地下水位）の水位差増加に伴い、杭頭変位は大きくなっているものの、既往最大水位差が大きく増加しない状態では、杭頭変位の有意な増加は確認されていない。
- 水深等の状況からA～Cの3エリアに区分し、各エリアにおける代表断面の健全性評価を行った。評価結果を6. に示す。



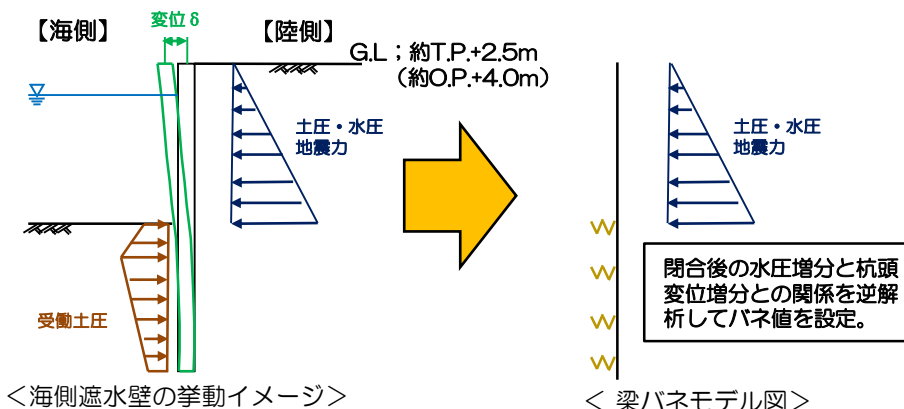
※水深は福島第一原子力発電所の平均潮位を基準。



6. 海側遮水壁鋼管矢板の健全性評価について

- 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に則り海側遮水壁を梁バネモデルでモデル化（下記）して、健全性評価を実施した。

【モデル化イメージ】



【評価結果】

- 現況相当の地下水位（約T.P.+2.1m（O.P.+3.6m））での常時および地震時の鋼管矢板の発生応力は、設計降伏応力を下回っていることから、鋼管矢板の健全性は確保されていると評価。 ※2
- また、地震時（水平震度 $K_h=0.25$ ）の鋼管矢板の最大ひずみは $1,500\mu$ を下回っていることから、海側遮水壁の遮水性能は所要性能の透水係数 10^{-6}cm/s 以下が確保されていると評価。 ※3
- 地下水位が鋼管矢板継手天端高さ（約T.P.+2.5m（O.P.+4.0m））まで上昇したとしても、鋼管矢板の発生応力は設計降伏応力を下回っていることから、鋼管矢板の健全性は確保されると評価。 ※4

<各エリアにおける健全性評価結果>

○ は設計降伏応力，設計降伏ひずみ T.P.値は概略値

	①実測変位 (11/28) [cm]	解析値※2								
		常時				地震時 ($K_h=0.25$)				
		変位[cm]	応力[N/mm ²]		応力[N/mm ²]		ひずみ[μ]			
		地下水位 T.P.2.1m	地下水位 T.P.2.1m	地下水位 T.P.2.5m	地下水位 T.P.2.1m	地下水位 T.P.2.1m				
No.30	20.7	19.5	160 (< 300)	OK	176 (< 300)	OK	243 (< 300)	OK	1215 (< 1500)	OK
No.110	15.7	15.5	97 (< 300)	OK	-	-	146 (< 300)	OK	730 (< 1500)	OK
No.250	14.5	14.7	107 (< 300)	OK	-	-	157 (< 300)	OK	785 (< 1500)	OK

※1 海側遮水壁の構造計算は実施計画の審査対象外であるが、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に則り、断面設計を実施

※2 鋼管矢板に施された防食効果を踏まえた30年後の腐食状況を想定して健全性評価を実施

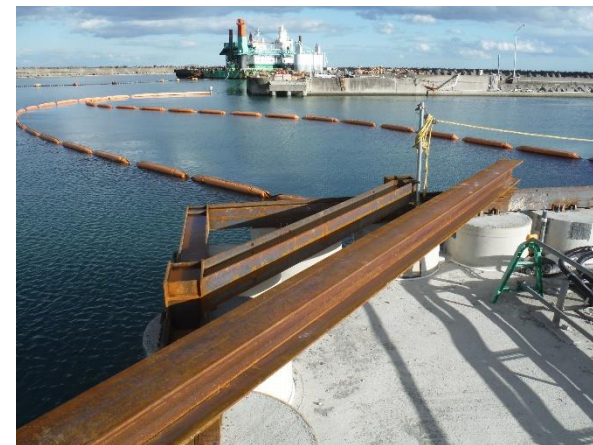
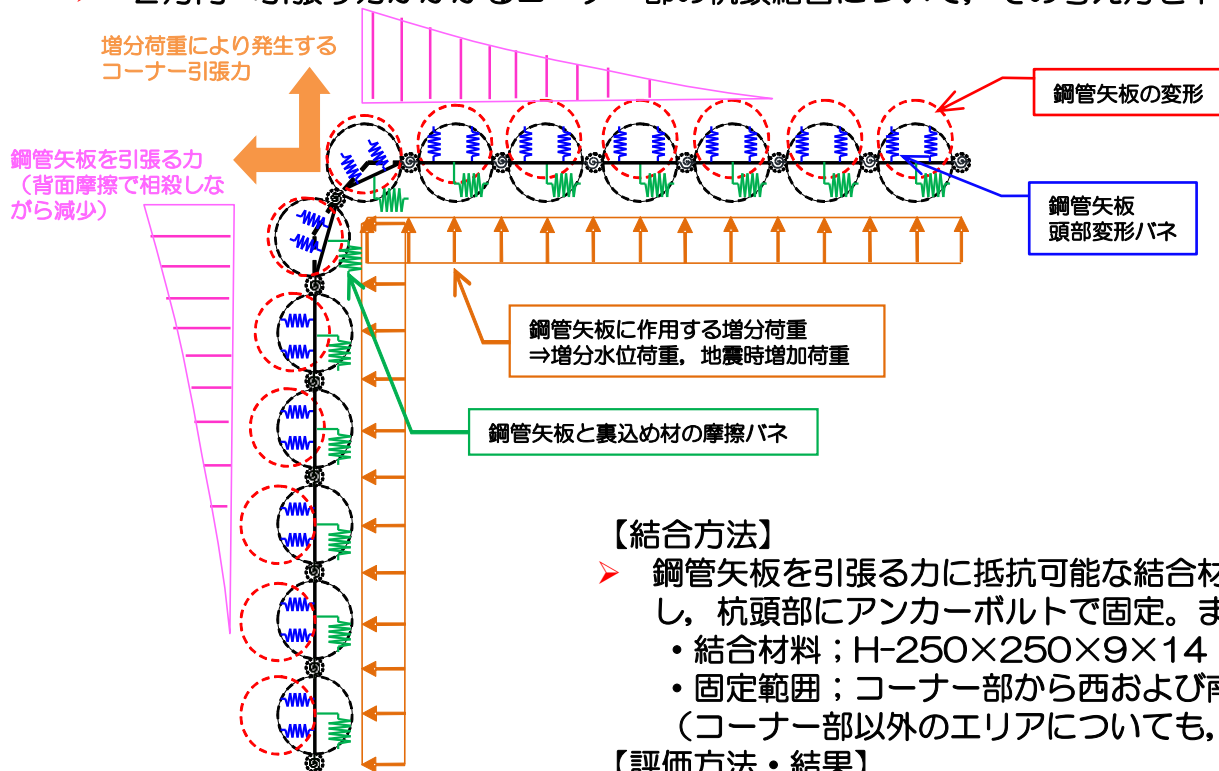
実測変位は埋立作業に伴う初期載荷時のなじみの影響により解析値より大きくなる傾向があると考えられるが、仮に変位の差を応力差に換算しても設計降伏応力の数%程度であり、健全性への影響はないことを確認している

※3 鋼管矢板協会：鋼管矢板継手の遮水性能評価試験，土木学会第56回年次学術講演会，平成13年10月

※4 応力状態が一番厳しいAエリアのみ検討実施

7. コーナー部の杭頭結合について

➤ 2方向へ引張り力がかかるコーナー部の杭頭結合について、その考え方を下記に示す。



【コーナー部における杭頭結合状況】

＜コーナー部における梁バネモデル＞

【結合方法】

- 鋼管矢板を引張る力に抵抗可能な結合材を、引張力がほぼゼロになる位置まで設置し、杭頭部にアンカーボルトで固定。また隅角部端部については、溶接にて固定。
 - ・ 結合材料；H-250×250×9×14 (SS400)
 - ・ 固定範囲；コーナー部から西および南側にそれぞれ19本分 (計38本分) (コーナー部以外のエリアについても、予防保全として、同様の対策を実施。)

【評価方法・結果】

- 図のような梁バネモデル (上図) により、地下水位が約T.P.+2.1m (O.P.+3.6m) において地震時 (Kh=0.25) に発生する鋼管矢板を引張る力を算定し、結合部材の評価を行った。
- 発生応力は設計値を下回っており十分な強度を有していると評価。

() は設計降伏応力, 設計せん断耐力 T.P.値は概略値

検討条件	評価項目			
	結合材		アンカーボルト	
水平震度Kh=0.25, 地下水位T.P.+2.1m	応力 [N/mm ²]		せん断力 [kN/本]	
	122 (< 245)	OK	16.4 (< 27.5)	OK