

陸側遮水壁閉合（第一段階フェーズ1）の状況とフェーズ2への移行

2016年6月2日

東京電力ホールディングス株式会社

TEPCO

1. 第一段階フェーズ1凍結開始後の地中温度低下状況
2. フェーズ1における陸側遮水壁（海側）の遮水効果発現開始の状況
 - （1）陸側遮水壁（海側）の内外水位差・水頭差の確認状況
 - （2）フェーズ1における地下水収支に関する分析・評価
3. 4m盤への地下水流入抑制対策

【参考資料】

はじめに ～フェーズ2への移行について～

【陸側遮水壁閉合（第一段階フェーズ1）の状況とフェーズ2への移行】

実施計画では、第一段階フェーズ1において「陸側遮水壁（海側）内外の地下水位差の変化」が観測され始める時点を以て効果発現開始とし、その確認後にフェーズ2へ移行するとしている。（下記参照）

フェーズ1の凍結運転開始以降の陸側遮水壁（海側）を境界とした内外の水位差（中粒砂岩層）および水頭差（互層部，細粒・粗粒砂岩）の推移について分析・評価したところ，水位差・水頭差の発生を確認した。また，フェーズ1の地下水収支の評価を踏まえて，フェーズ2完了時の地下水収支について想定した結果，サブドレンが稼働状態を維持でき，水位管理に問題が無いことを確認した。

以上のことから，第一段階フェーズ2へ移行し，山側（非凍結部を除く）の凍結運転を開始する。

【以下，実施計画より抜粋】

陸側遮水壁（海側）凍結開始後は，隣接する凍結管周りの凍土柱が成長し，陸側遮水壁（海側）内外で地下水位差が生じ，その後，陸側遮水壁（海側）から離れた建屋周りや4m盤の地下水位に変化が現われる。遮水状況の管理上，「陸側遮水壁（海側）内外の地下水位差の変化」が観測され始める時点を以て，効果発現開始とする。フェーズ1において陸側遮水壁（海側）の効果発現開始を確認し，フェーズ2へ移行する。

効果発現開始は，陸側遮水壁（海側）内外の地下水位差が拡大することを確認する。但し，海水配管トレンチ下部の非凍結箇所の影響範囲は除く。地下水位差の拡大については，必要に応じ一定期間確認を継続する。なお，降雨の影響は，凍結開始前の降雨時の挙動で評価する。

一定期間確認を継続しても地下水位差の拡大が明瞭でない場合は，陸側遮水壁（海側）内側・外側それぞれにおいて一つ以上の確認項目（次頁）が有意な変化^{*}を示し，一定期間変化した状態を継続していることを確認することで，地下水位差による確認を補完する。

上記の確認は，別途定めた手順に基づいて実施する。

※：実測値に基づき，降雨の影響を考慮した地下水位の変動幅を評価し，変動幅を超えて地下水位が上昇した場合等

（参考）第1段階（フェーズ1）の目的

「海側を先行させることにより，水位逆転リスクを低減させる」ことを目的とし，フェーズ1として海側全面の凍結をすることとした。（第41回 特定原子力施設監視・評価検討会 資料3 p.5）

陸側遮水壁（海側）効果発現開始に関する確認項目（水位差が明瞭でない場合）

【実施計画抜粋】

内外水位差が明瞭でない場合の確認項目

	確認項目	確認内容
内側	建屋周りの地下水位	・ 陸側遮水壁（海側）とタービン建屋間の地下水位の上昇傾向
	建屋周りのサブドレン稼働状況	・ サブドレンの汲み上げ量の増加傾向
	建屋流入量	・ 建屋流入量の増加傾向
外側	陸側遮水壁（海側）より海側の地下水位	・ 陸側遮水壁（海側）より海側の地下水位の低下傾向
	地下水ドレン稼働状況	・ 地下水ドレンの汲み上げ量の減少傾向
	ウェルポイント稼働状況	・ ウェルポイントの汲み上げ量の減少傾向

1. 第一段階フェーズ1 凍結開始後の地中温度低下状況

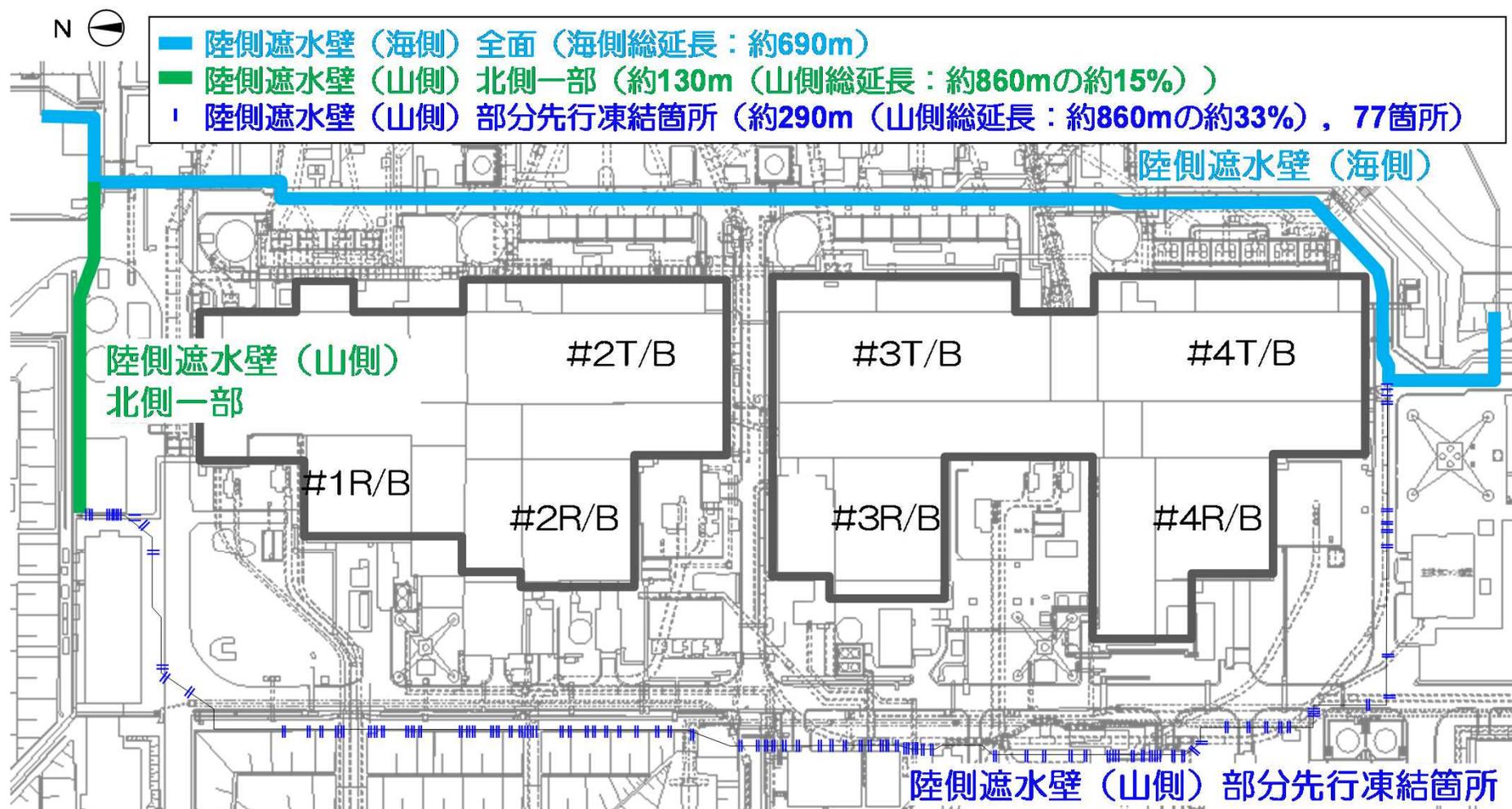
1. 第一段階フェーズ1 凍結開始後の地中温度低下状況

2016年3月31日より，第一段階フェーズ1として，以下の3つの範囲において凍結運転を実施している。

- 海側全面
- 北側一部
- 山側の部分先行凍結箇所

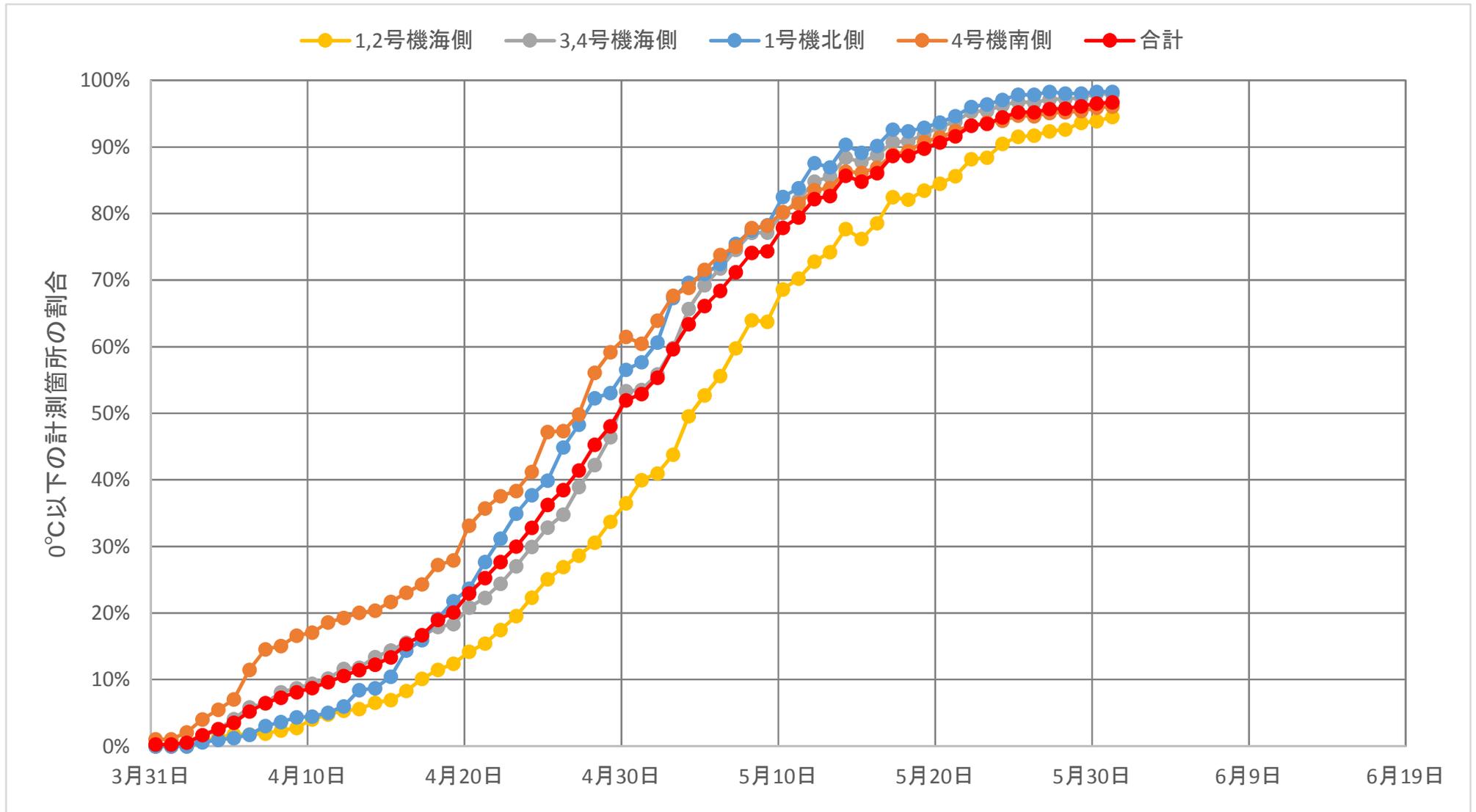
凍結関係の設備は順調に稼働し，ブライン（冷却材）の送り温度は -30°C 付近で安定している。

本章では，凍結運転開始から現状までの凍結管近傍の地中温度の低下状況について示す。



【凍結進展状況】 地中温度低下状況

- 凍結ライン沿いの地中温度計測点における 0°C 以下の比率の推移を下図に示す。
- 5/31時点で、海側全面および北側一部の凍結ライン沿いの地中温度計測点の約97%が 0°C 以下となっており、凍土による遮水壁が順調に形成されている。



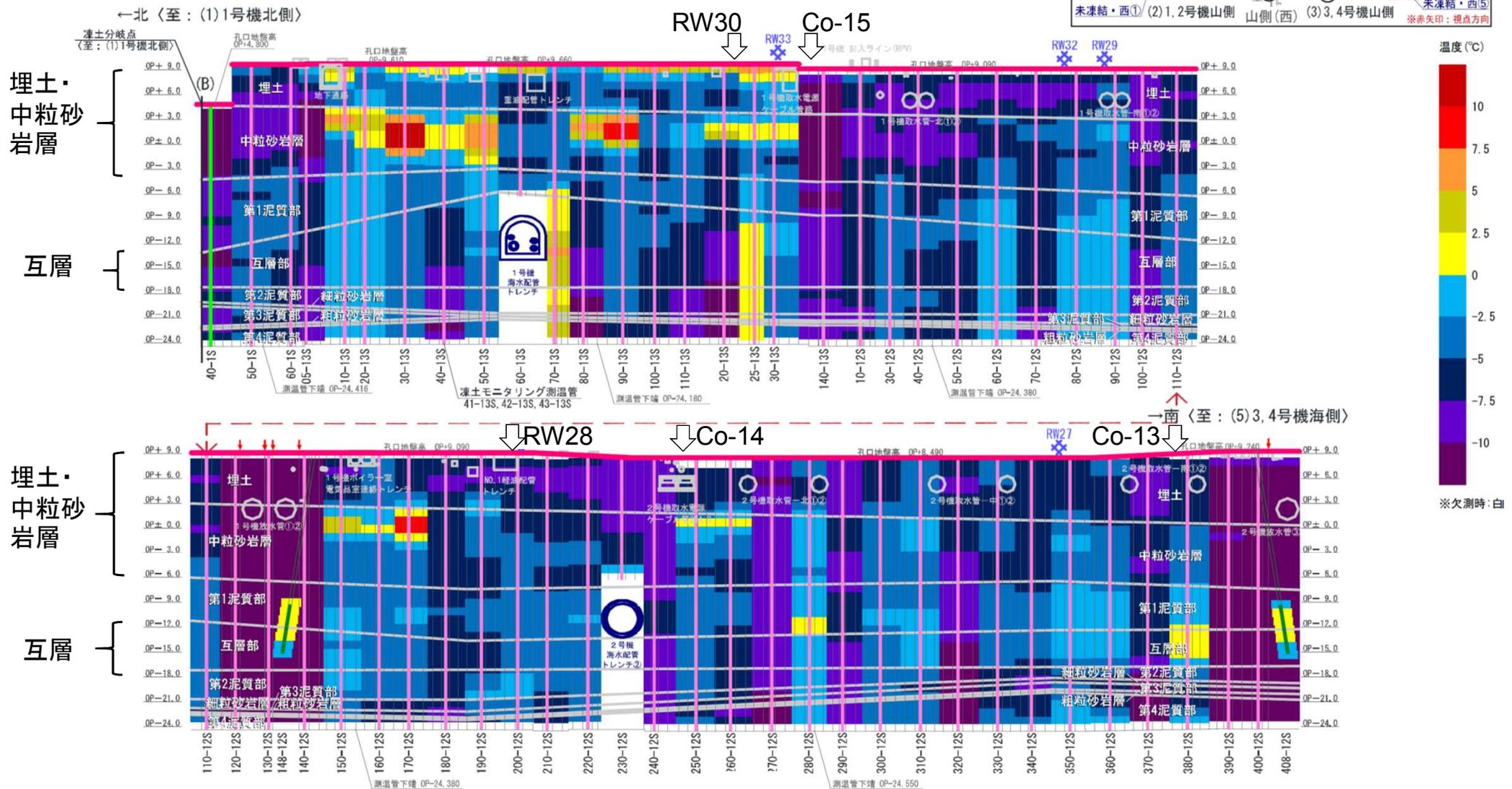
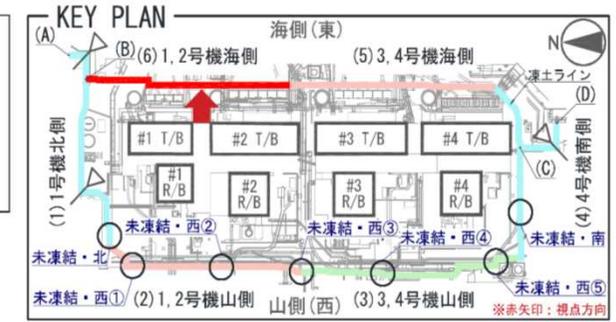
凍結ライン沿いの地中温度計測点における 0°C 以下の比率の推移
(フェーズ1, 凍結運転範囲 (部分先行凍結箇所を除く))

【凍結進展状況】地中温度分布図（1/2号機海側） 5/31 7:00現在

■ 地中温度分布図

1,2号機海側（西側：内側から望む）

- 凡例
- : 測温管（凍土ライン外側）
 - : 測温管（凍土ライン内側）
 - : 測温管（複列部斜め）
 - : 未凍結箇所管理測温管
 - ▽ : 凍土折れ点
 - ⊗ : RW（リチャージウェル）
 - ⊙ : Ci（中粒砂岩層・内側）
 - ↓ : 単列部凍結管（先行）
 - ↓ : 複列部凍結管
 - : 海側・北側一部凍結箇所

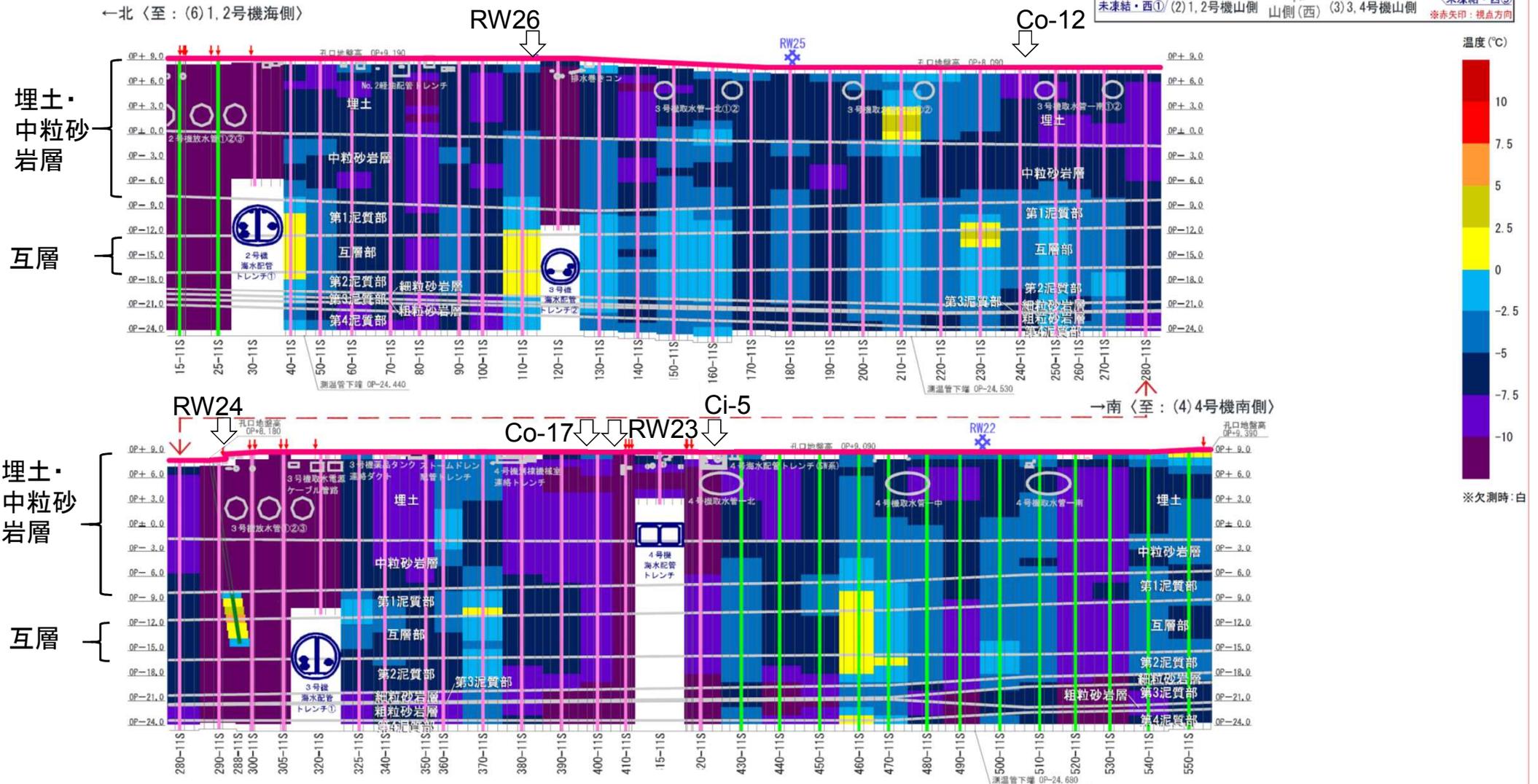
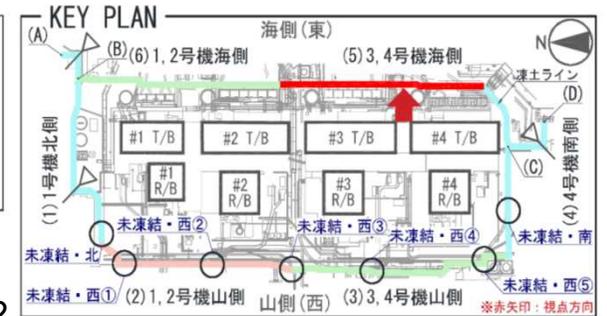


【凍結進展状況】地中温度分布図 (3/4号機海側) 5/31 7:00現在

■ 地中温度分布図

3, 4号機海側 (西側：内側から望む)

- 凡例
- 測温管 (凍土ライン外側)
 - 測温管 (凍土ライン内側)
 - 測温管 (複列部斜め)
 - 未凍結箇所管理測温管
 - ▽ 凍土折れ点
 - ◆ RW (リチャージウェル)
 - ◆ Ci (中粒砂岩層・内側)
 - ↓ 単列部凍結管 (先行)
 - ↓ 複列部凍結管
 - 海側・北側一部凍結箇所

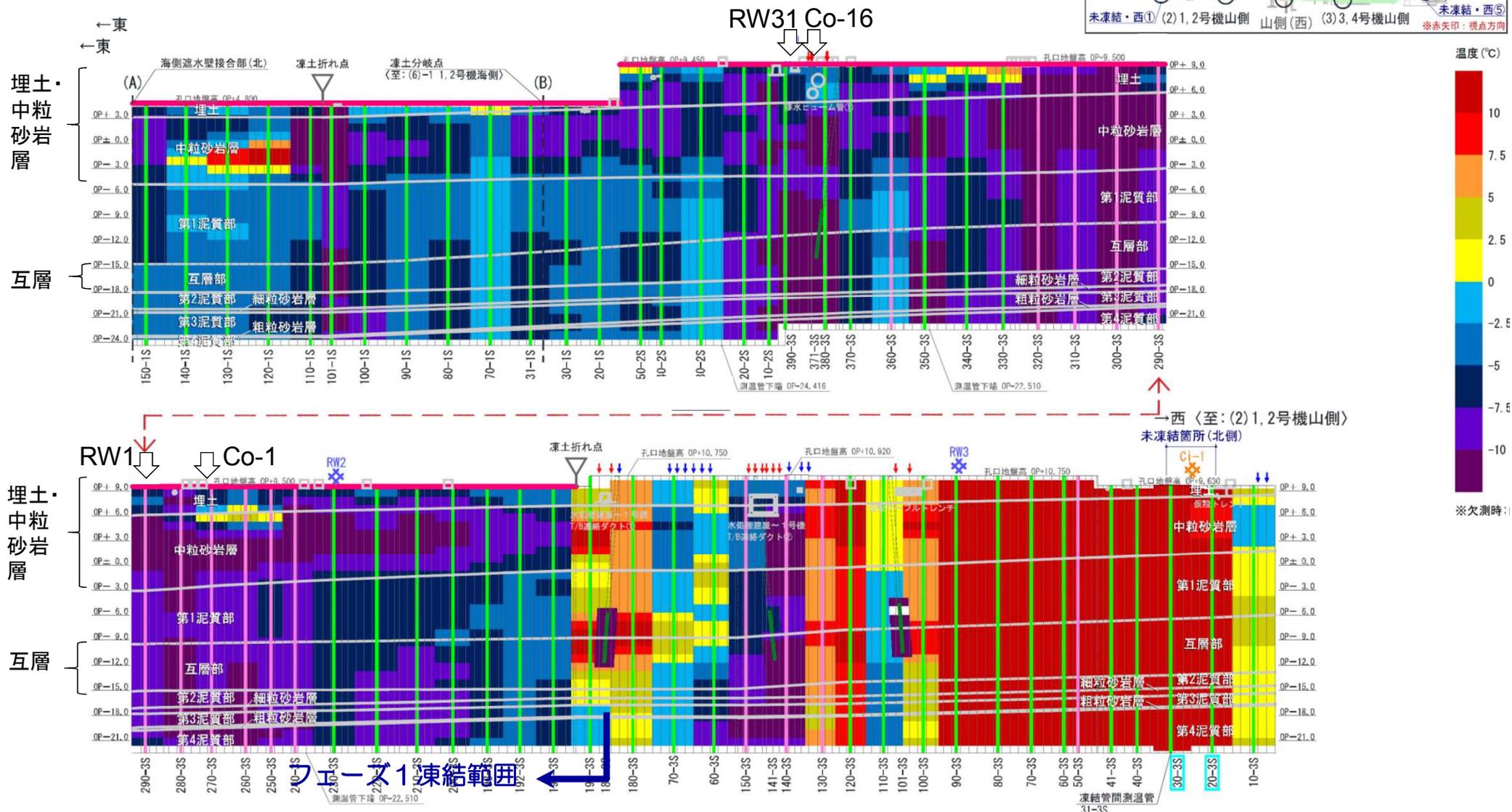
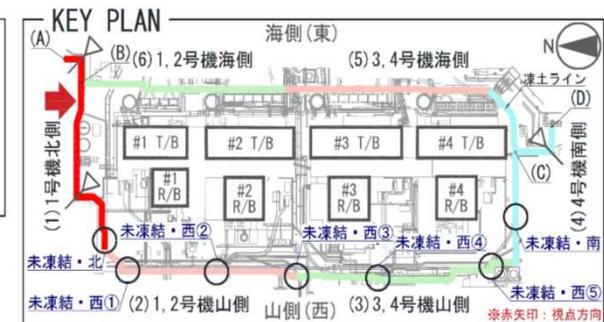


【凍結進展状況】地中温度分布図（1号機北側） 5/31 7:00現在

■ 地中温度分布図

1号機北側（北側から望む）

- 凡例
- : 測温管（凍土ライン外側）
 - : 測温管（凍土ライン内側）
 - ▲ : 測温管（複列部斜め）
 - : 未凍結箇所管理測温管
 - ▽ : 凍土折れ点
 - ⊗ : RW（リチャージウエル）
 - ⊠ : Ci（中粒砂岩層・内側）
 - ↓ : 単列部凍結管（先行）
 - ↓ : 複列部凍結管
 - : 海側・北側一部凍結箇所

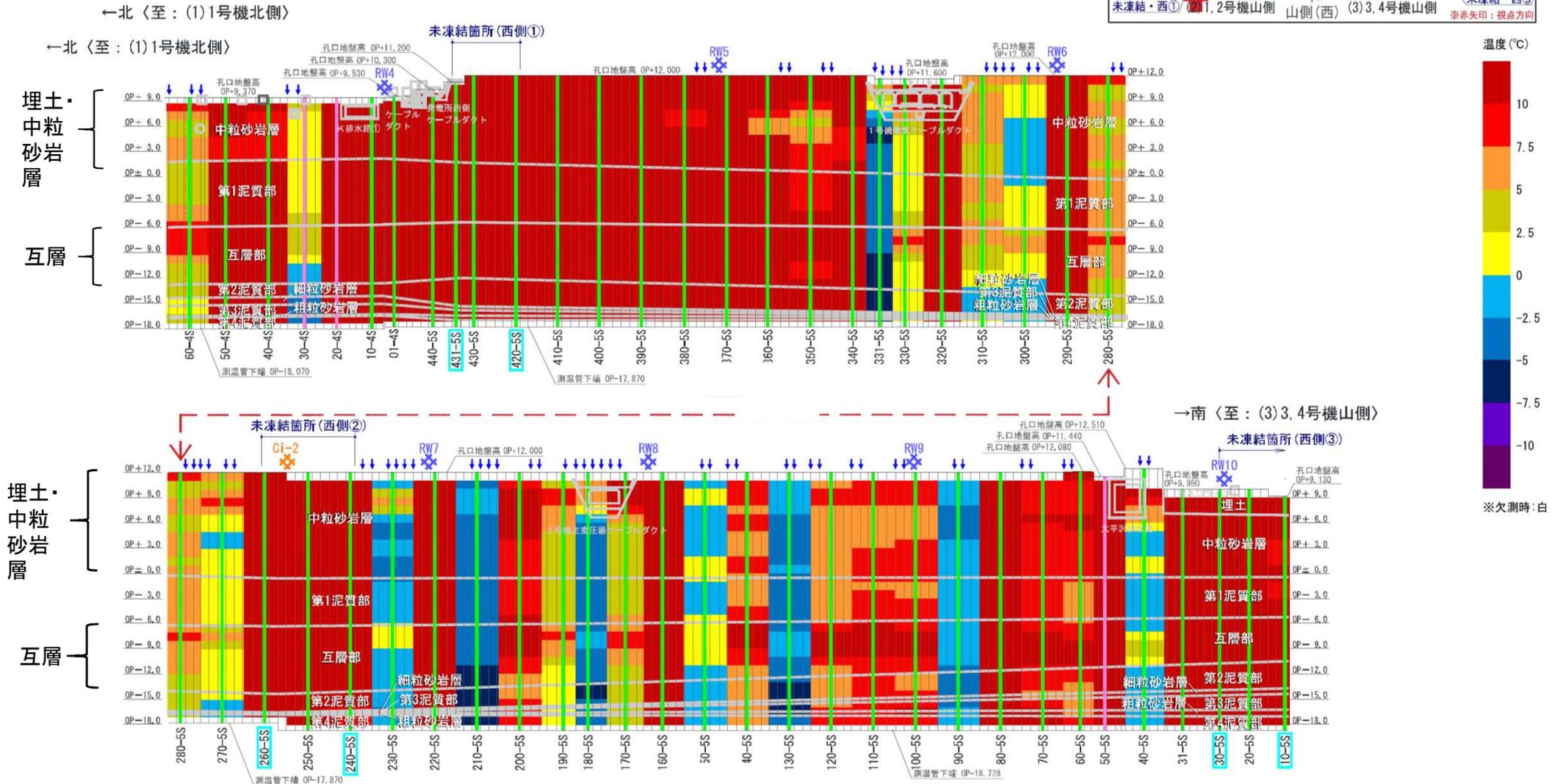
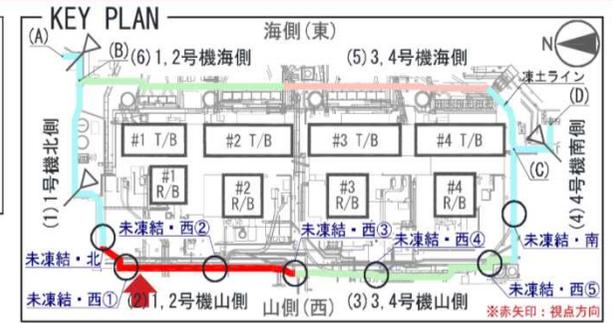


【凍結進展状況】地中温度分布図（1/2号機西側） 5/31 7:00現在

■ 地中温度分布図

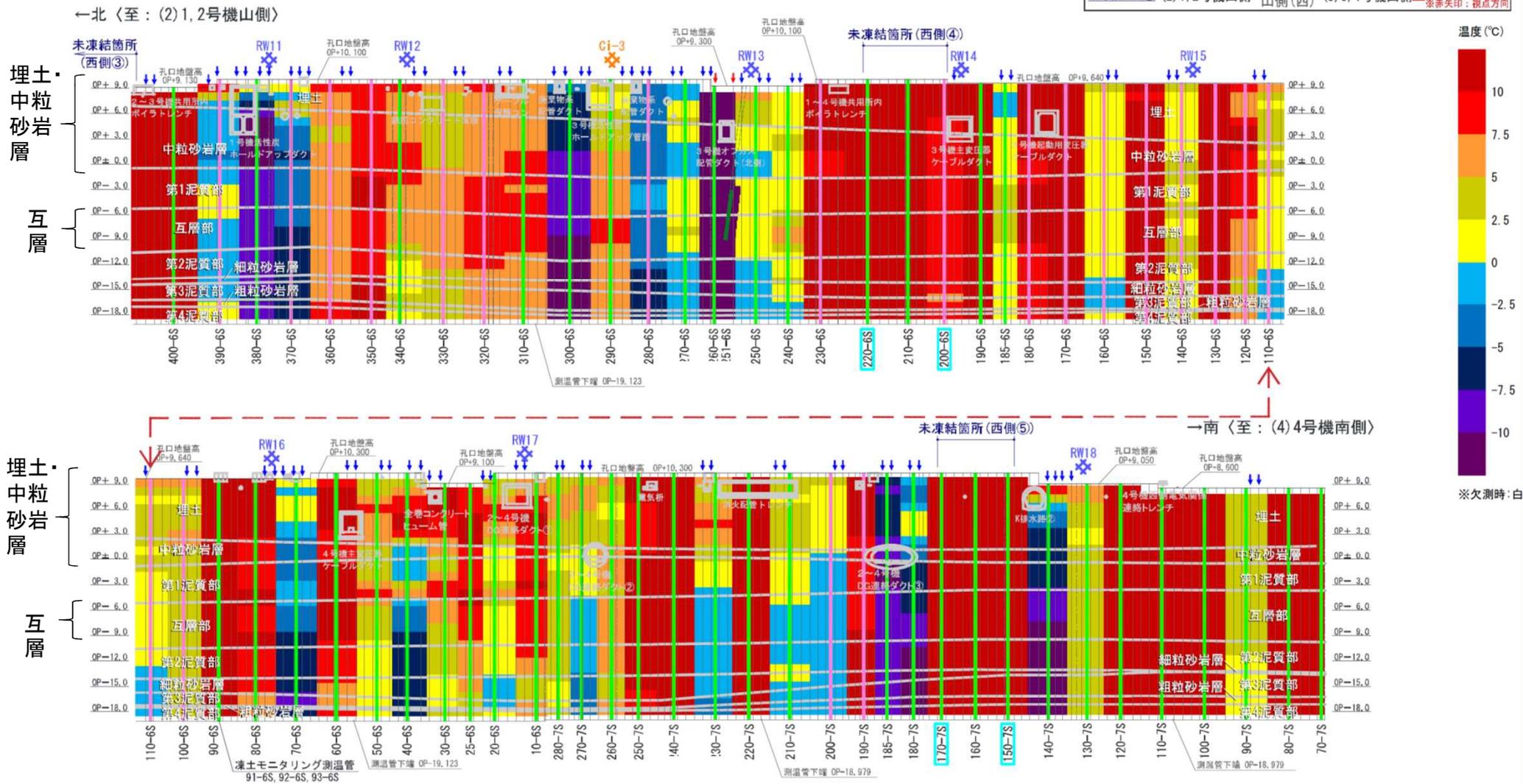
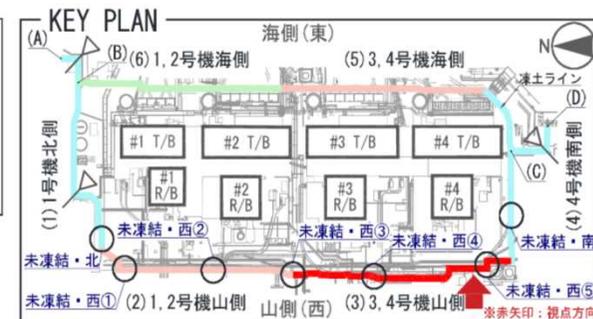
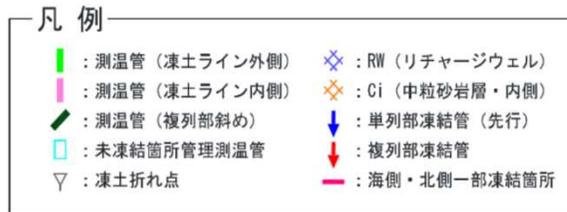
1,2号機山側（西側から望む）

- 凡例
- : 測温管（凍土ライン外側）
 - : 測温管（凍土ライン内側）
 - : 測温管（複列部斜め）
 - : 未凍結箇所管理測温管
 - ▽ : 凍土折れ点
 - ⊗ : RW（リチャージウェル）
 - ⊗ : Ci（中粒砂岩層・内側）
 - ↓ : 単列部凍結管（先行）
 - ↓ : 複列部凍結管
 - : 海側・北側一部凍結箇所



■ 地中温度分布図

3,4号機山側 (西側から望む)



1. 第一段階フェーズ1 凍結開始後の地中温度低下状況 まとめ

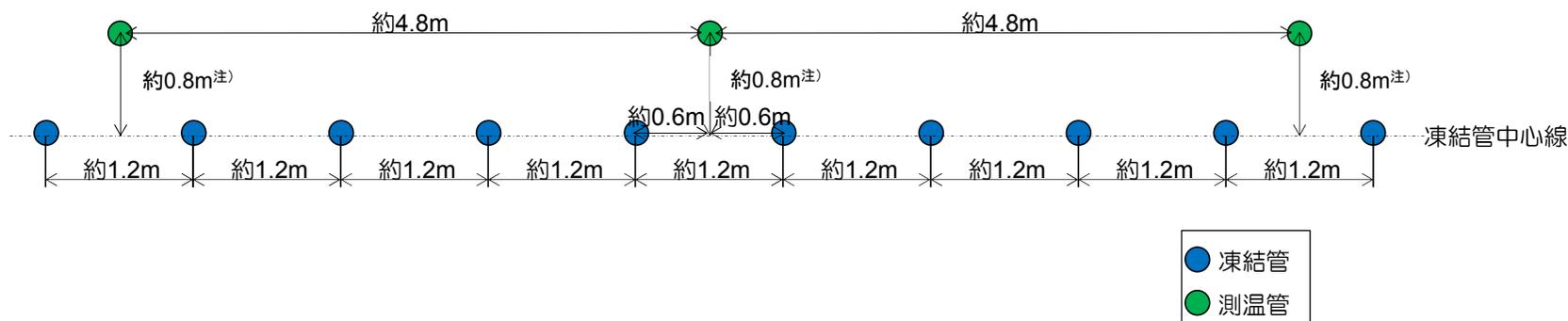
- 凍結運転開始以降，海側全面および北側一部の凍結ライン沿いに設置した測温管による温度計測点において全体的に温度が低下しており，凍土による遮水壁が順調に形成されている。

【参考】地中温度の測定方法① 一般部

- 凍結状況は、凍結管周辺に設置した測温管（海側は約4.8mに1箇所、山側は約5mに1箇所、深度方向約30m※¹、凍土壁ラインからの距離約0.8m^注）で地中温度を測定して把握する。
- なお、測温管内の温度計の低下傾向は、昨年実施した試験凍結の結果より、凍結管～温度計距離に応じた関係となること、また、地下水の流れがある状態では、凍結管に対する温度計の位置関係※²（上下流側）の影響を受けることが分かっている。

※1 測温管内には、深度方向に1 m間隔に温度計を設置している。

※2 測温管は、基本的に、温度低下傾向が遅いと考えられる凍結管の上流側に配置している。



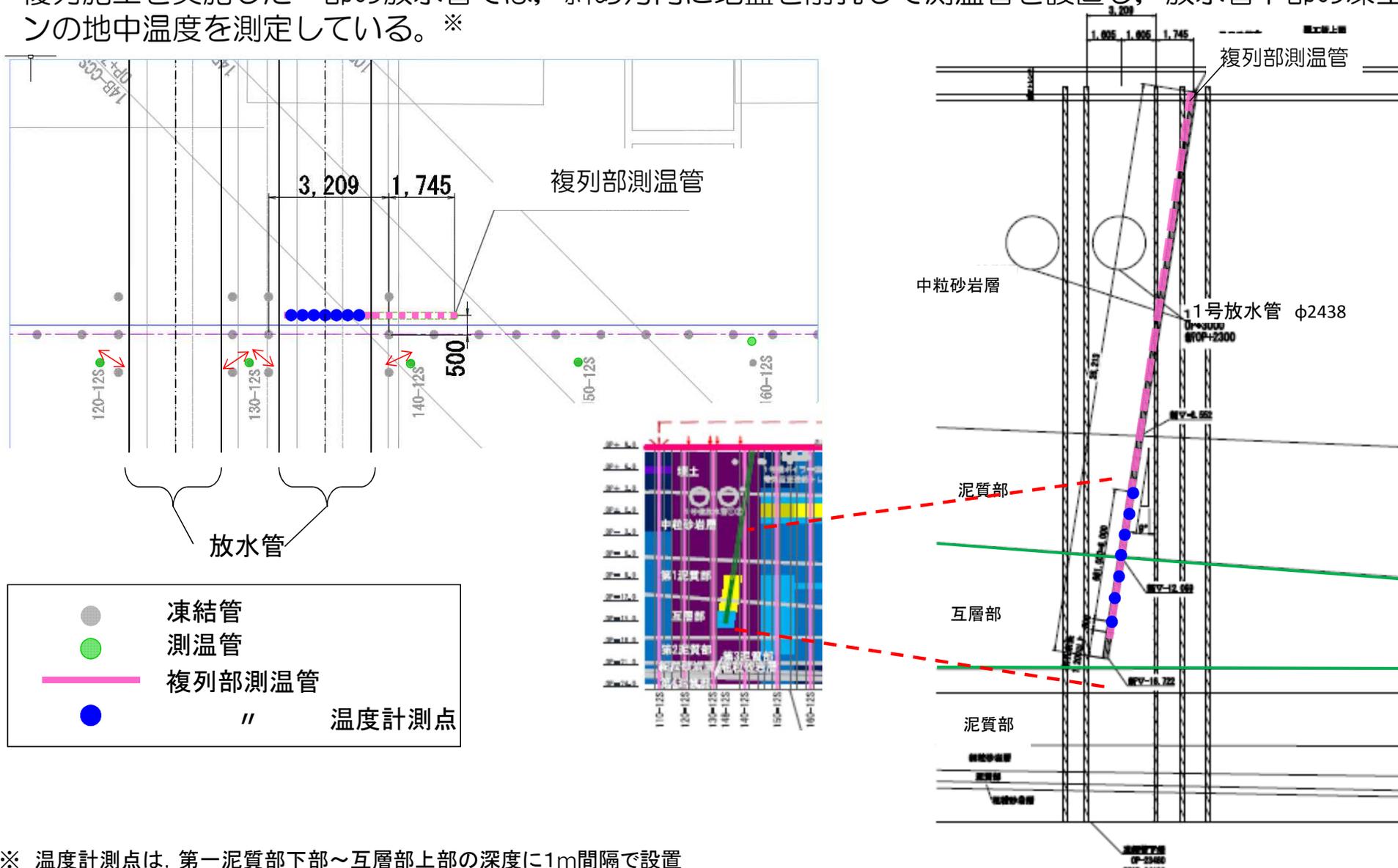
注) 現場の状況により、基本配置通りに測温管を配置していない箇所がある。

〔 凍土ラインからの距離：約0.1～1.1m
凍結管からの距離：約0.4～1.4m 〕

測温管の基本配置（海側の例）

【参考】地中温度の測定方法② 複列施工箇所例：1号機放水管近傍の凍結管および測温管の配置

- 複列施工箇所近傍の測温管（●）は凍結管に近接しているため、他の測温管よりも低い温度を示す傾向がある。
- 複列施工を実施した一部の放水管では、斜め方向に地盤を削孔して測温管を設置し、放水管下部の凍土ラインの地中温度を測定している。*



* 温度計測点は、第一泥質部下部～互層部上部の深度に1m間隔で設置

複列施工箇所の測温管設置例
(1号機放水管)

2. フェーズ1における陸側遮水壁（海側）の遮水効果発現開始の状況

2. (1) 陸側遮水壁（海側）の内外水位差・水頭差の確認状況

- 実施計画にて示した通り、フェーズ2に移行するためには、事前に陸側遮水壁（海側）の凍結進展に伴う、内外での水位差（中粒砂岩層）および水頭差（互層部、細粒・粗粒砂岩）の発生の確認が必要である。
- 本項では、「陸側遮水壁（海側）の内外水位差・水頭差」の発生について、分析・評価し、確認出来ている状況を示す。

陸側遮水壁（海側）内外水位差（中粒砂岩層）の確認状況

陸側遮水壁（海側）を境とした内外水位差が全ての箇所を確認されていることから、陸側遮水壁（海側）は効果発現が開始していると評価している。

内外水位差確認箇所	内外水位差	上流側の水位上昇	下流側の水位低下
①(北側)	○	○(Co-1)	○(RW1)
②(北側)	○	○(Co-16)	○(RW31)
③(1号機海側)	○	○(RW30)	○(Co-15)
④(2号機海側)	○	○(RW28)	○(Co-14)
⑤(2, 3号機海側)	○	○(RW26)	○(Co-13)
⑥(3号機海側)	○	○(RW24)	○(Co-12)
⑦(4号機海側)	○	○(RW23,Ci-5)	○(Co-17)
⑧(4号機南側)	—※	—※(RW21)	○(Co-10)
⑨(南側)	○	○(Co-9)	○(Co-10)

※：⑧（4号機南側）の観測孔は、近傍のサブドレンの稼働の影響を受けるため、当該サブドレン停止期間中の水位挙動によって水位差の発生および上流側の水位上昇を確認している。（P29）

10m盤海側 互層部水頭と中粒砂岩層水位の変動想定（フェーズ1）

水位・水頭の変化

フェーズ1

凍結運転開始 要因①

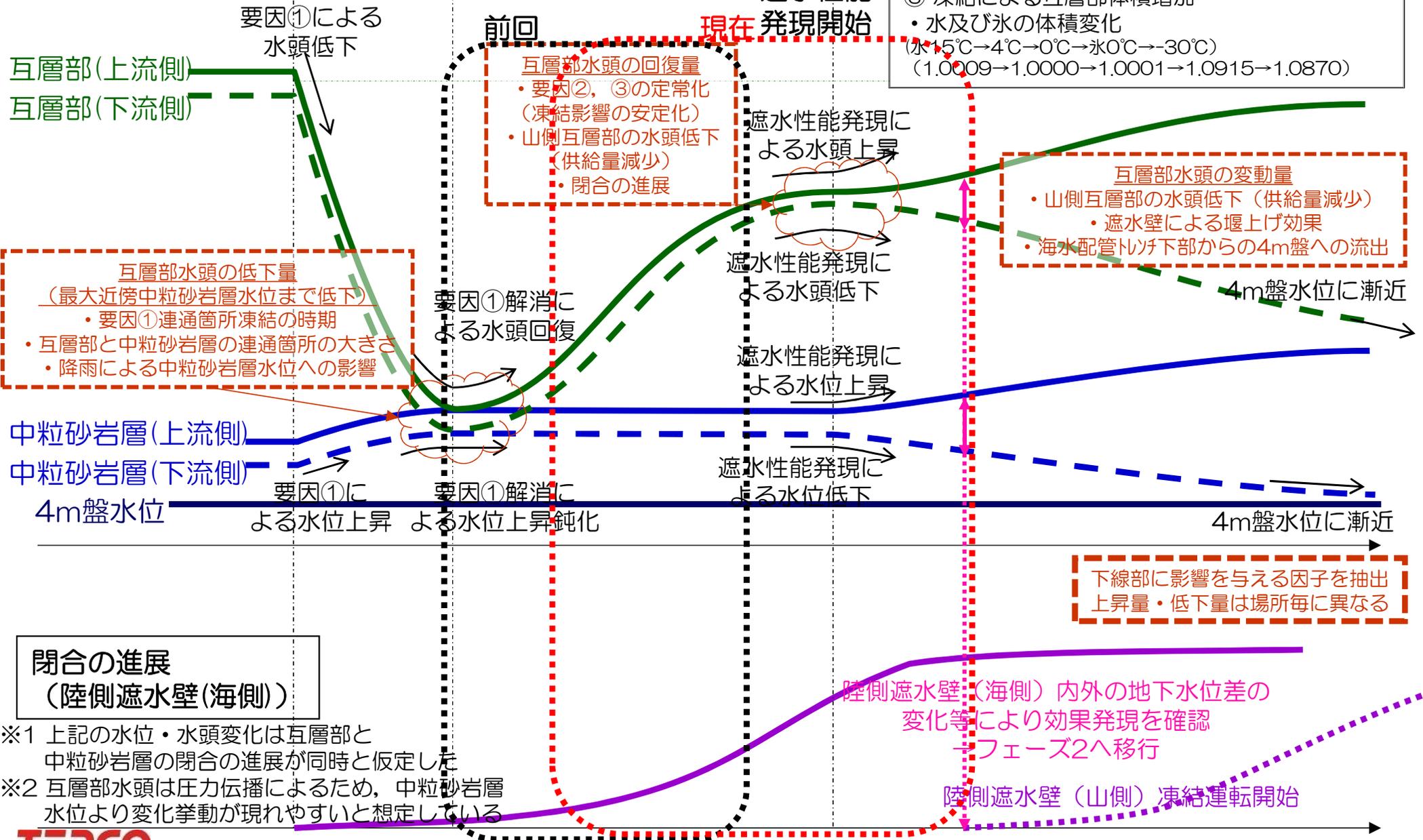
連通箇所凍結

遮水性能
発現開始

互層部水頭低下の想定要因(試験凍結より)

- ① 凍結管の収縮による中粒砂岩層との連通
(凍結管径収縮量 (10℃→-30℃ : 0.1mm))
- ② 水温低下による互層部地下水体積収縮
- ③ 凍結による互層部体積増加

・水及び氷の体積変化
(水: +5℃→4℃→0℃→氷: 0℃→-30℃)
(1.0009→1.0000→1.0001→1.0915→1.0870)

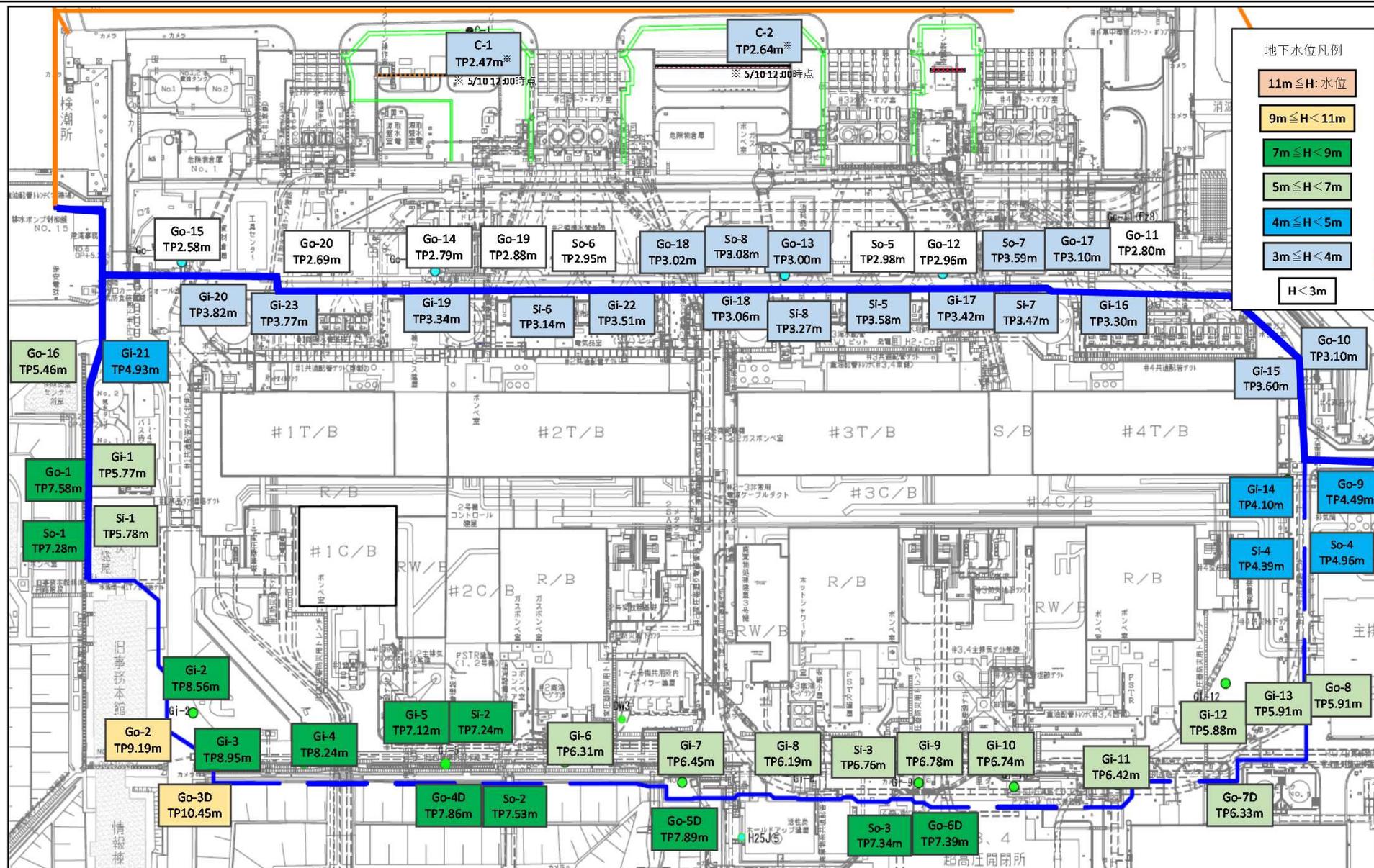


※1 上記の水位・水頭変化は互層部と中粒砂岩層の閉合の進展が同時と仮定した

※2 互層部水頭は圧力伝播によるため、中粒砂岩層水位より変化挙動が現れやすいと想定している

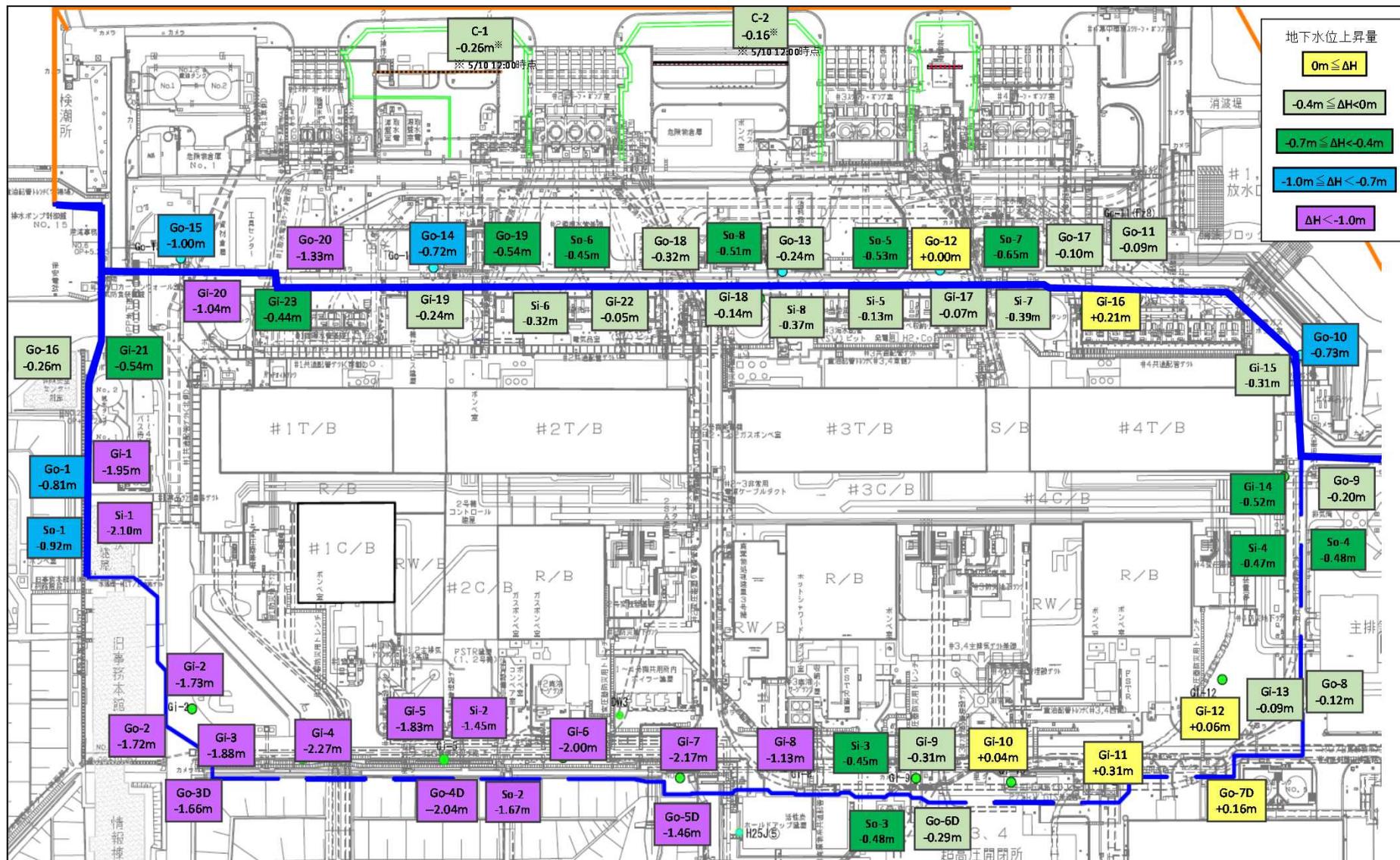
互層部、細粒・粗粒砂岩水頭分布図（現状 5/29）

- 現状（5/29）の「互層部、細粒・粗粒砂岩」の水頭分布を示す。
- 建屋海側はT.P.+2.5~3.5m程度で、凍結開始前と比較して、陸側遮水壁（海側）の外側の水頭が低下しており、の内外水頭差が発生している。
- 建屋山側はT.P.+7~10.5m程度で、凍結前と同様に3・4号よりも1・2号側の方が水頭が高い。



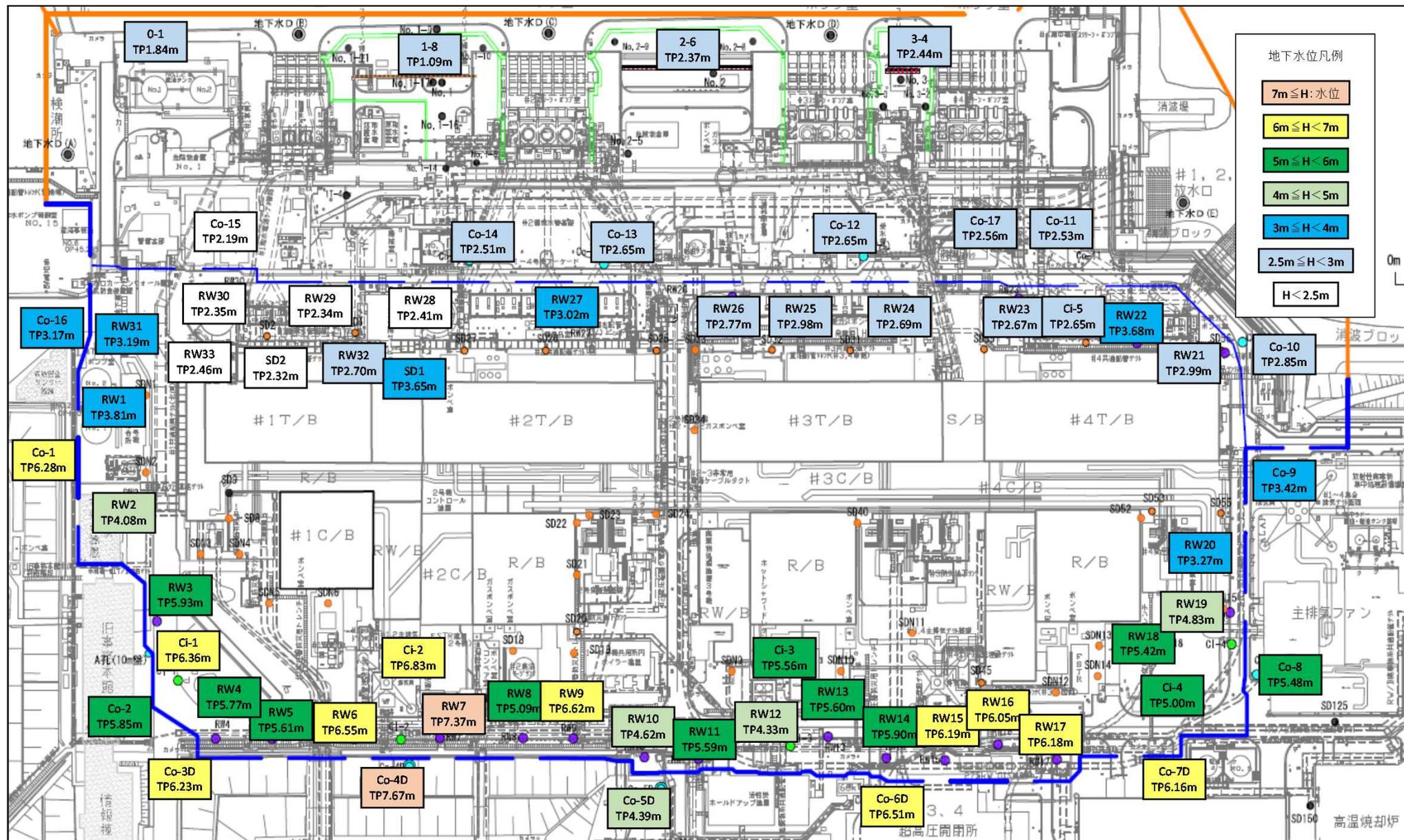
互層部、細粒・粗粒砂岩水頭変動量分布図 (3/31⇒5/29)

- 凍結開始前 (3/31) ~ 現状 (5/29) の「互層部、細粒・粗粒砂岩」の水頭変動を示す。
- 建屋海側は、陸側遮水壁 (海側) を境界として、外側よりも内側の水頭の低下幅が小さくなっており、前頁の通り内外水頭差が発生する要因となっている。
- 建屋山側は1・2号周りで1~2m程度低下しており、3・4号周りは低下幅が小さいもしくは上昇しているという状況は、凍結開始前の水頭分布と整合的である。



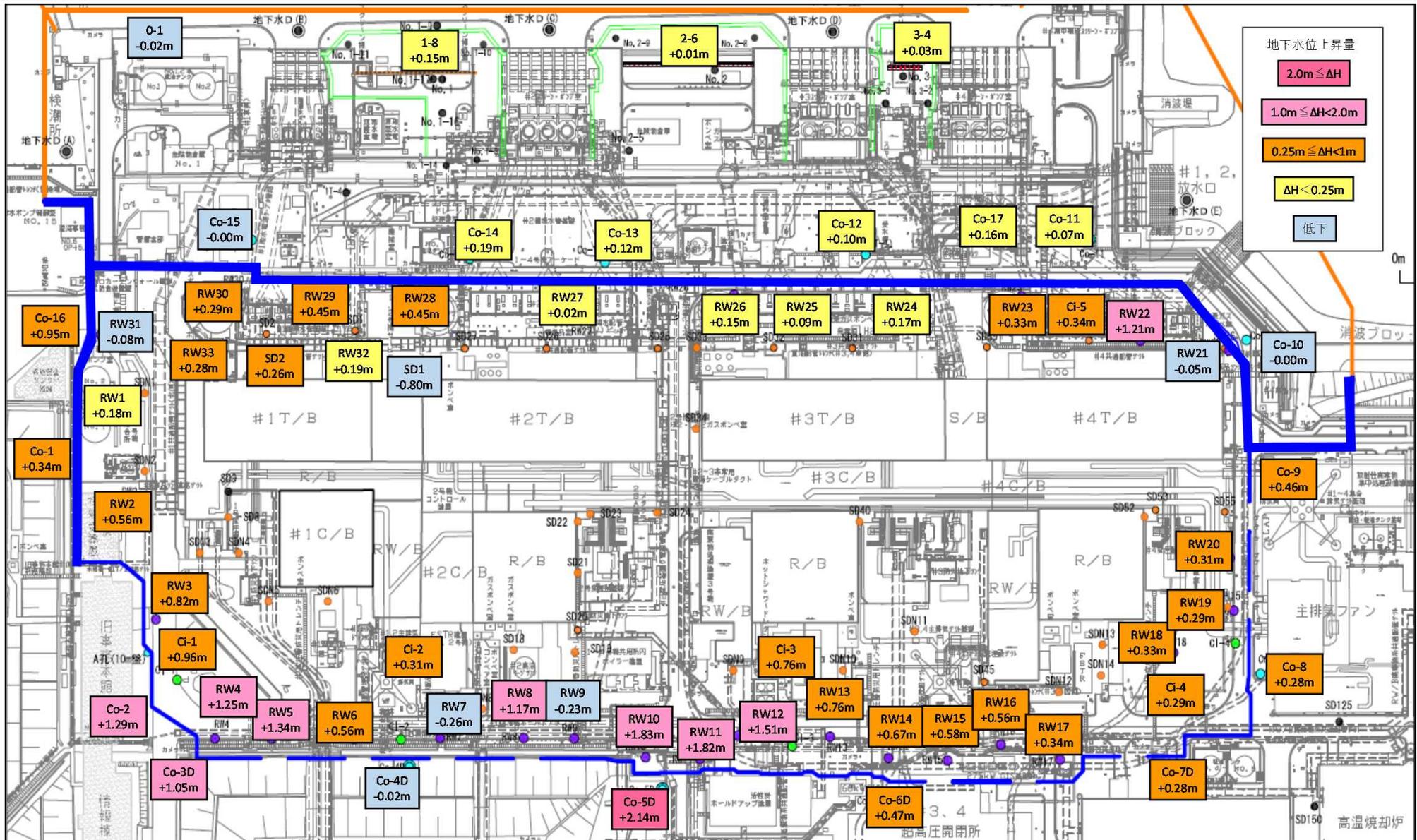
中粒砂岩層水位分布図（凍結開始前 3/31）

- 凍結開始前の「中粒砂岩層」の水位分布を示す。
- 建屋海側はT.P.+2~3m程度であった。
- 建屋山側はT.P.+5~7m程度であった。

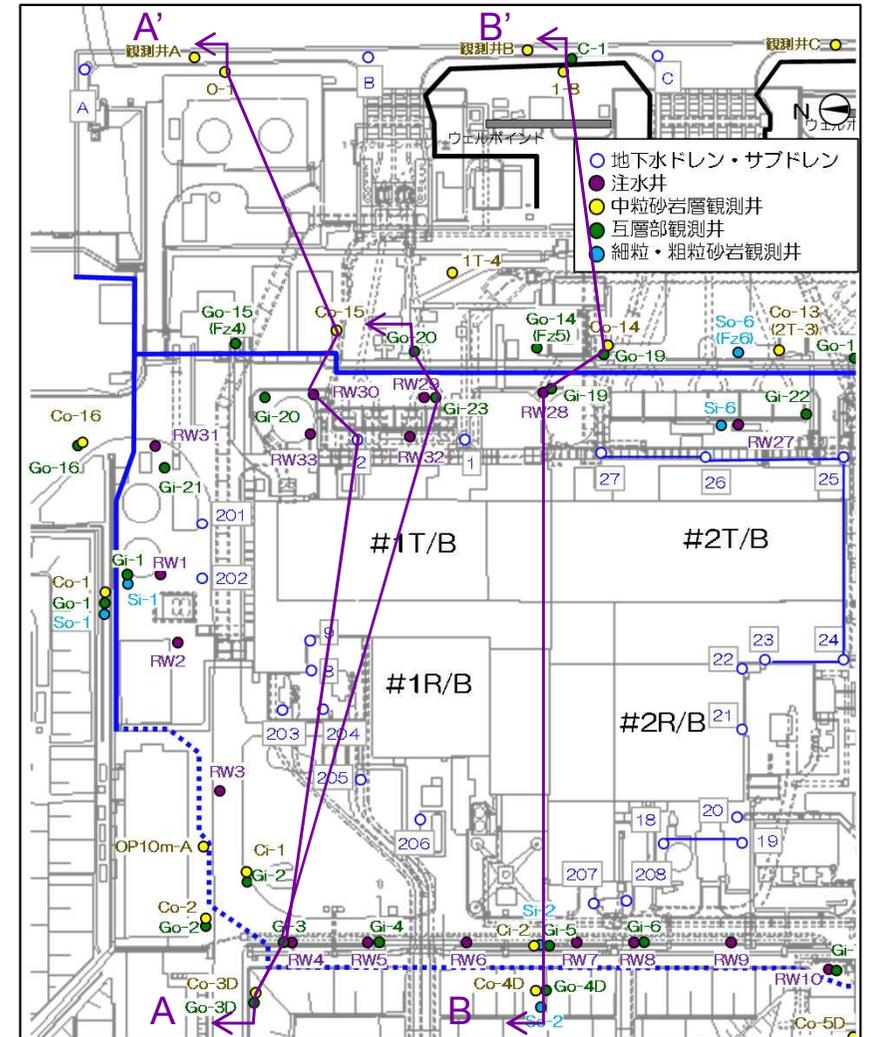
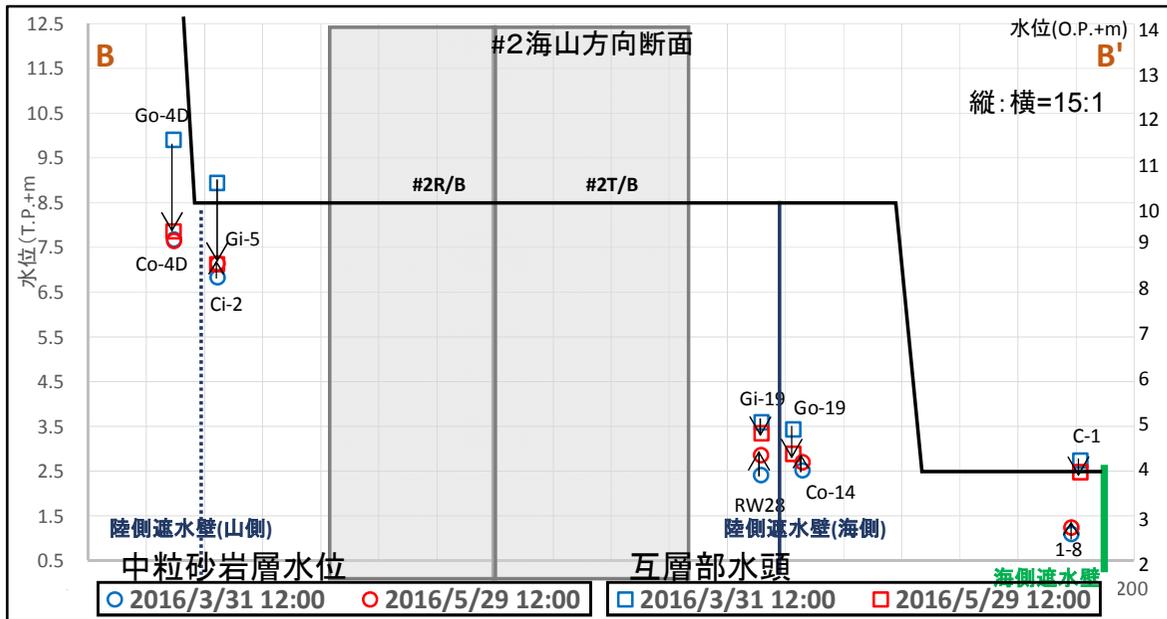
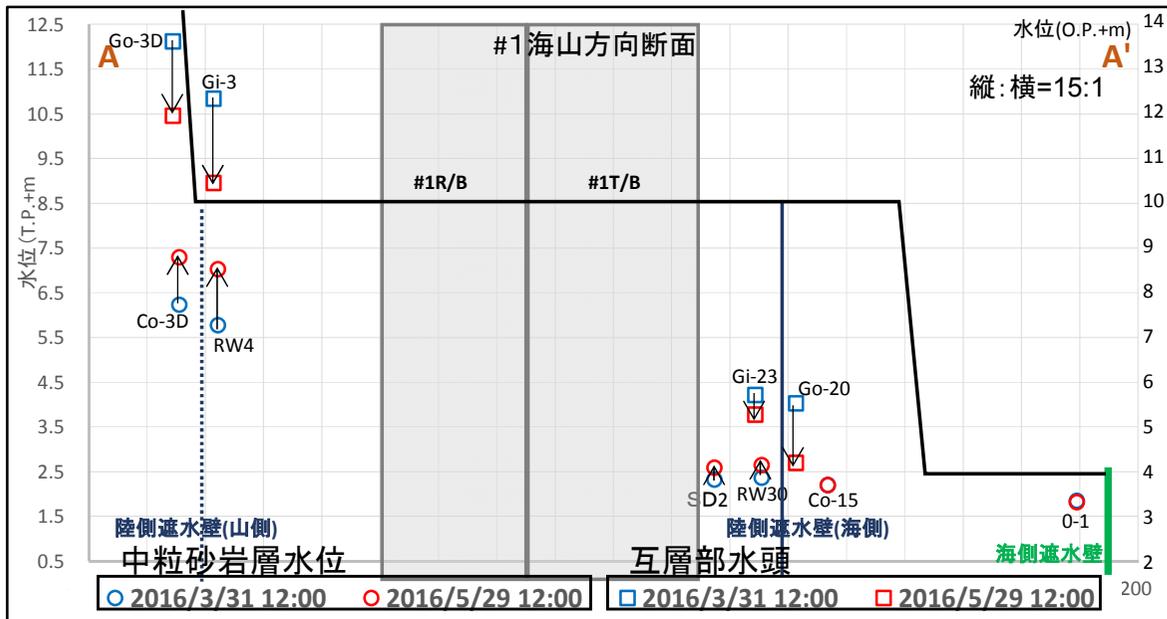


中粒砂岩層水位変動量分布図 (3/31⇒5/29)

- 凍結開始前 (3/31) ~ 現状 (5/29) の「中粒砂岩層」の水位変動を示す。
- 建屋海側は、陸側遮水壁 (海側) の内側の方が外側に比べて水位の上昇量が大きい。
- 建屋山側は概ね0.5~2m上昇した。上昇幅は3・4号周辺よりも1・2号周辺が大きく、互層の水頭低下の全体傾向と整合的である。

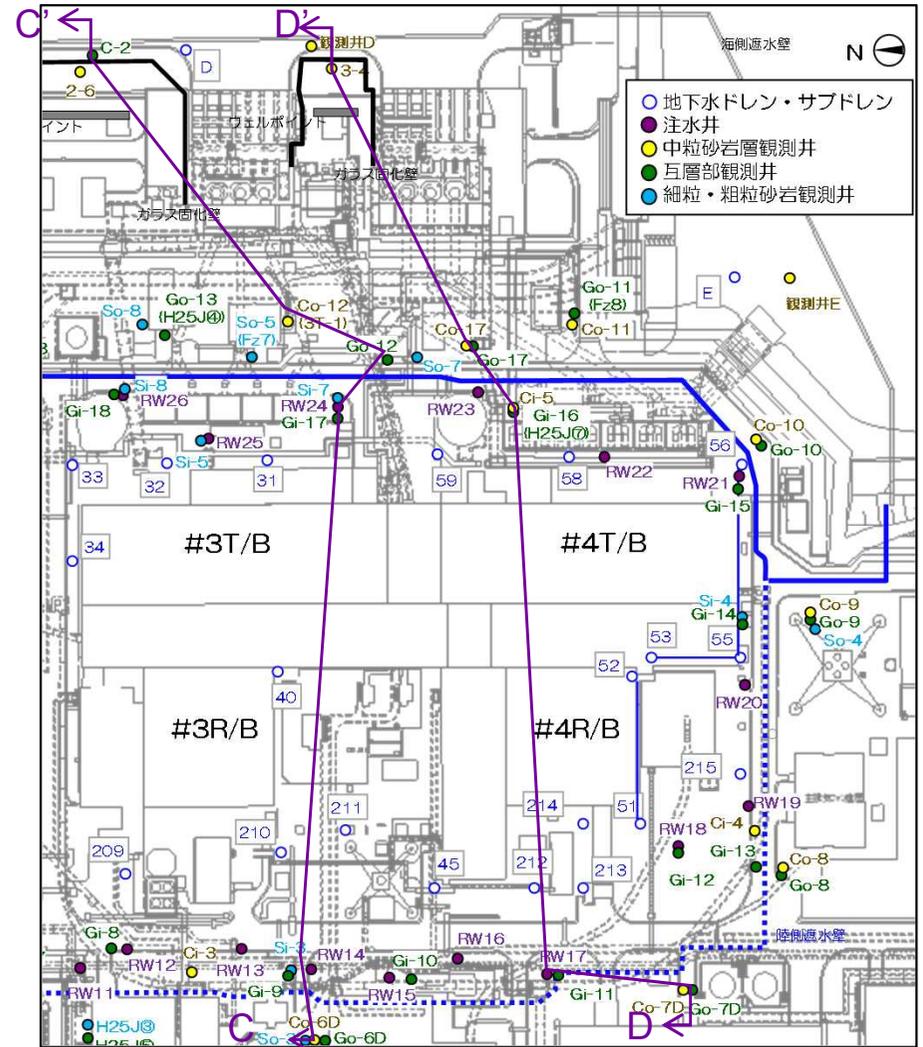
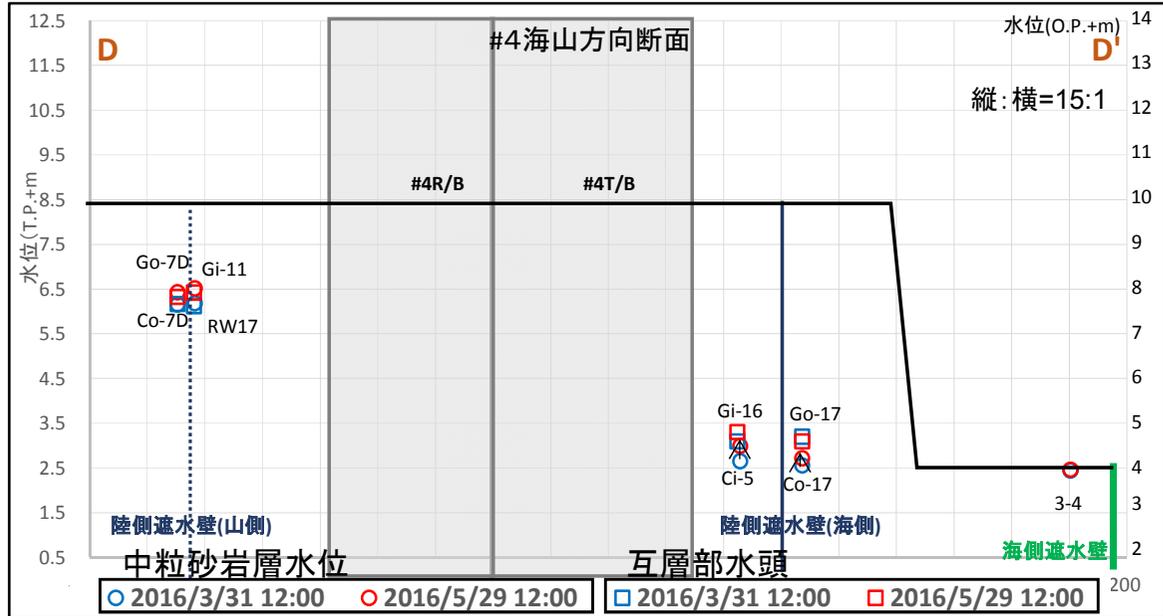
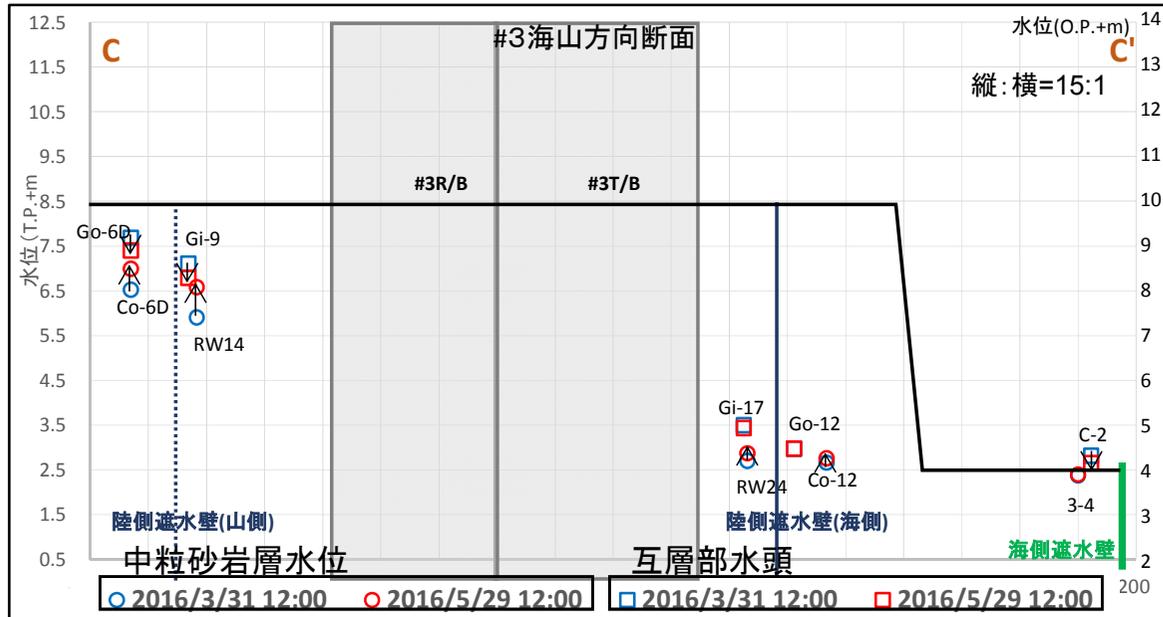


中粒砂岩層水位，互層部水頭変化断面図 (3/31⇒5/29)



- 1/2号機山側～海側全域にかけて互層部水頭の低下，中粒砂岩層水位の上昇が確認される。
- 凍結前に水頭差が大きい箇所では互層部水頭の低下量，中粒砂岩層水位の上昇量が大きい傾向が確認される。

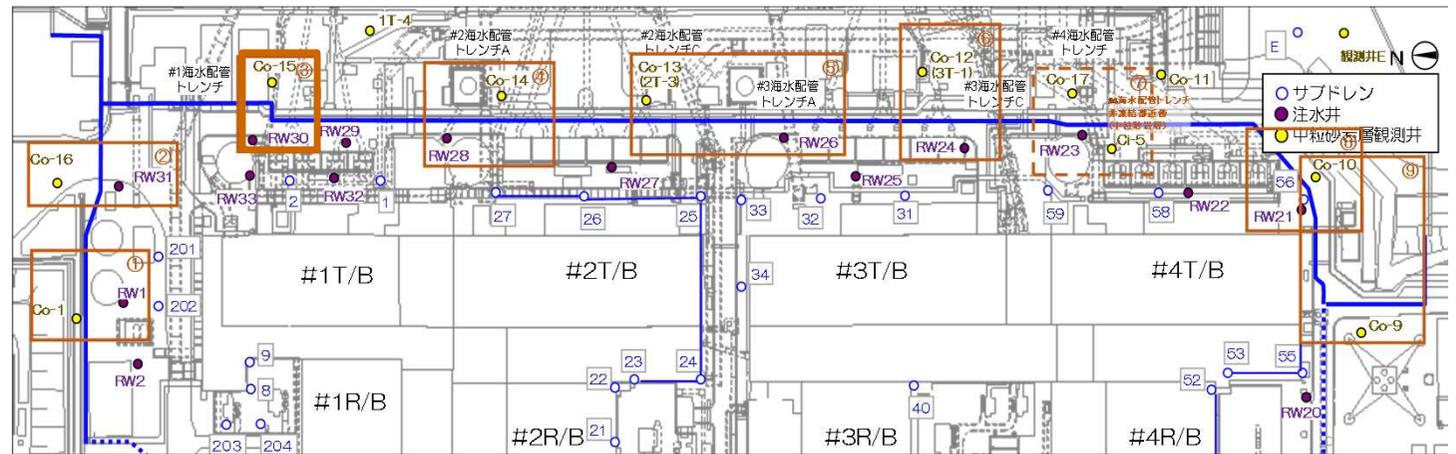
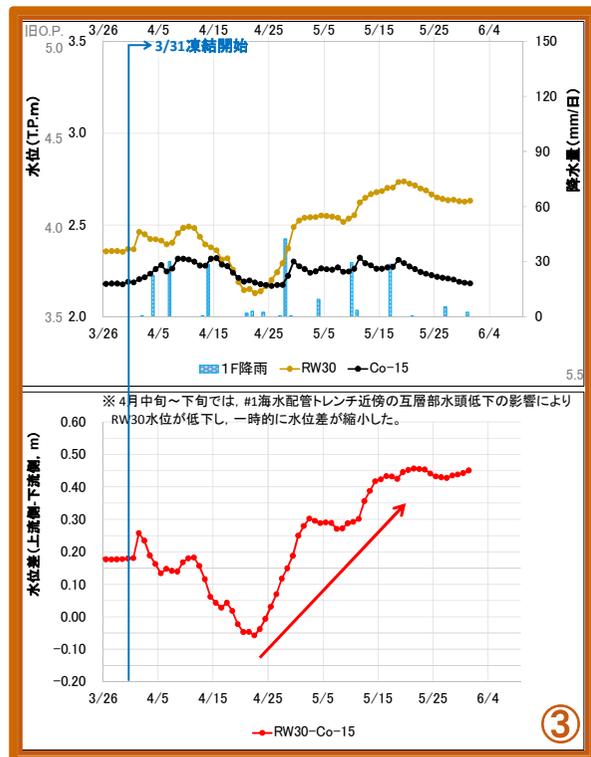
中粒砂岩層水位，互層部水頭変化断面図（3/31⇒5/29）



- 3/4号機は1/2号機に比べ、山側・海側とも互層部水頭の低下量，中粒砂岩層水位の上昇量は小さい。
- 4号機山側では凍結前より互層部水頭と中粒砂岩層水位の水頭差が小さく，互層部水頭の低下，中粒砂岩層水位の上昇がない。

建屋海側の互層部の水頭挙動と内外水頭差および中粒砂岩層の水位挙動と内外水位差（別添資料参照）

- 別添資料に、陸側遮水壁（海側）を境界とした内・外側の水位・水頭について、比較対象（中粒砂岩層9箇所・互層部11箇所・細粒/粗粒砂岩5箇所）の観測孔の組み合わせそれぞれについて示す。凍結開始後の水位・水頭の経時変化を上段のグラフに、水位差・水頭差の経時変化を下段のグラフに示す。（下図参照）
- 建屋海側の互層部の水頭は、陸側遮水壁（海側）を境界とした内外水頭差が発生・拡大する傾向を示している。
- 同じく中粒砂岩層の水位も、中粒砂岩層⑧の箇所を除き、内外水位差が発生・拡大する傾向を示している。
- ⑧（4号機南側）の観測孔は、近傍のサブドレンの稼働の影響を受けるため、当該サブドレン停止期間中の水位挙動によって水位差の発生および上流側の水位上昇を確認している。（P29）



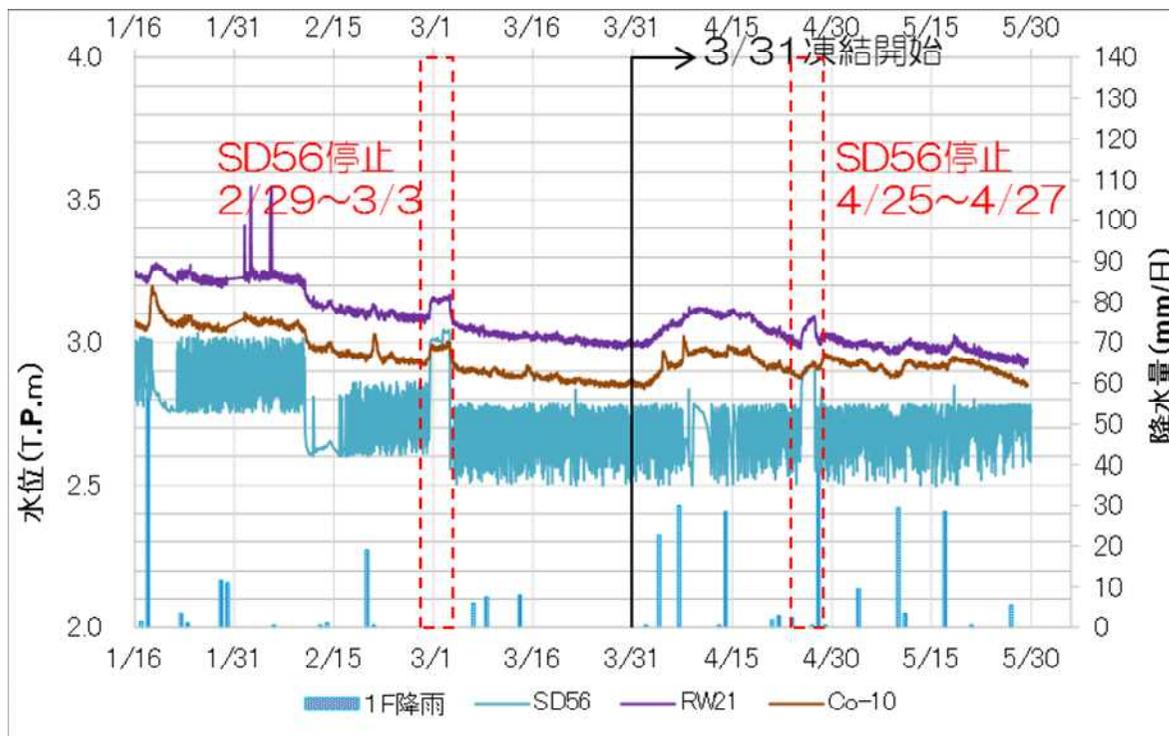
内外水位と水位差の経時変化（例：中粒砂岩層③）

地下水位変化状況 「中粒砂岩層⑧」の水位差発生の確認

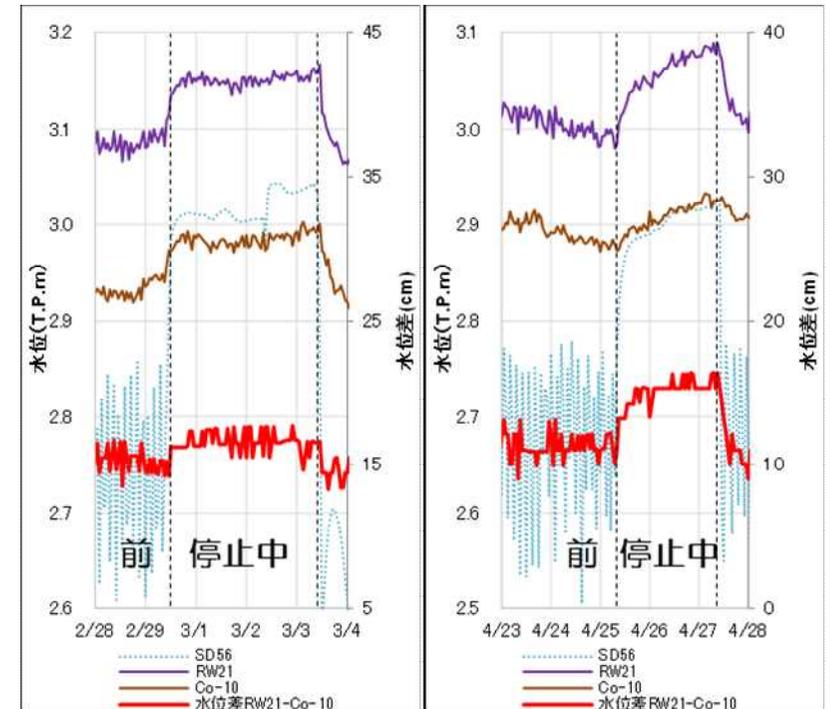
- 中粒砂岩層⑧は、観測井（RW21・Co-10）近傍のNo.56サブドレン（以下、SD56）の稼働の影響を受けるため、同サブドレンの停止期間中の水位挙動を分析した。
- RW21およびCo-10は、SD56からの離隔はともに10m以内であり（右図）、凍結開始前からSD56の稼働による影響を受けている。（左下図）
- SD56は凍結開始前の「2/29～3/3」および凍結開始後の「4/25～4/27」に点検等のために停止させていた（左下図）。
- 両停止期間中のRW21およびCo-10の水位変動と両者の水位差について比較した（右下図）。
- 凍結開始前はSD56の停止前と停止中で水位差に大きな変化は見られないが、凍結開始後については停止前に対して停止中の水位差が大きく、かつ、凍結開始前に比べて水位差の増加幅が大きくなっている。
- 以上より、「中粒砂岩層⑧」においても、陸側遮水壁（海側）の遮水効果発現が開始している。



SD56・RW21・Co-10の位置関係



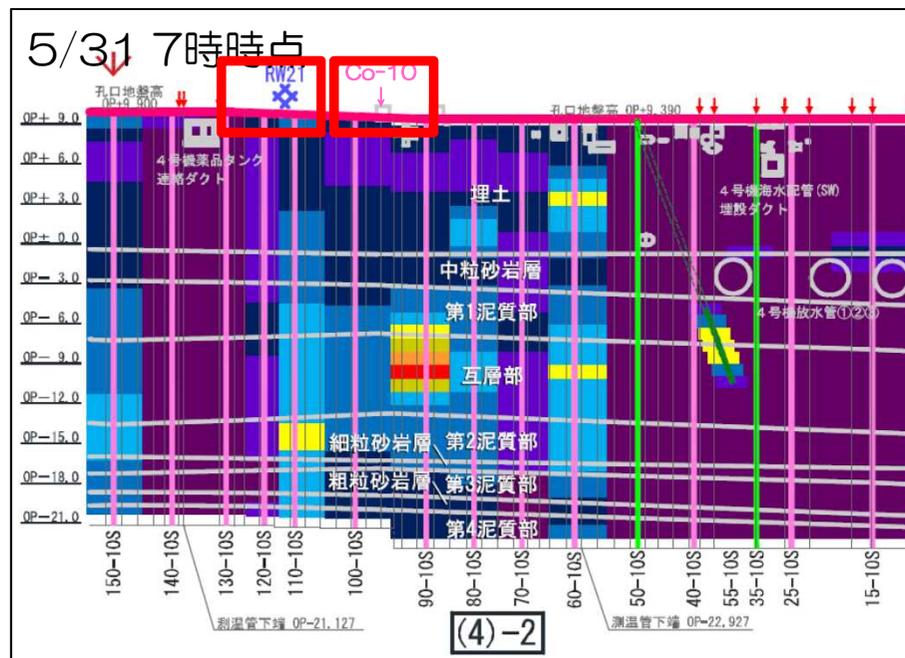
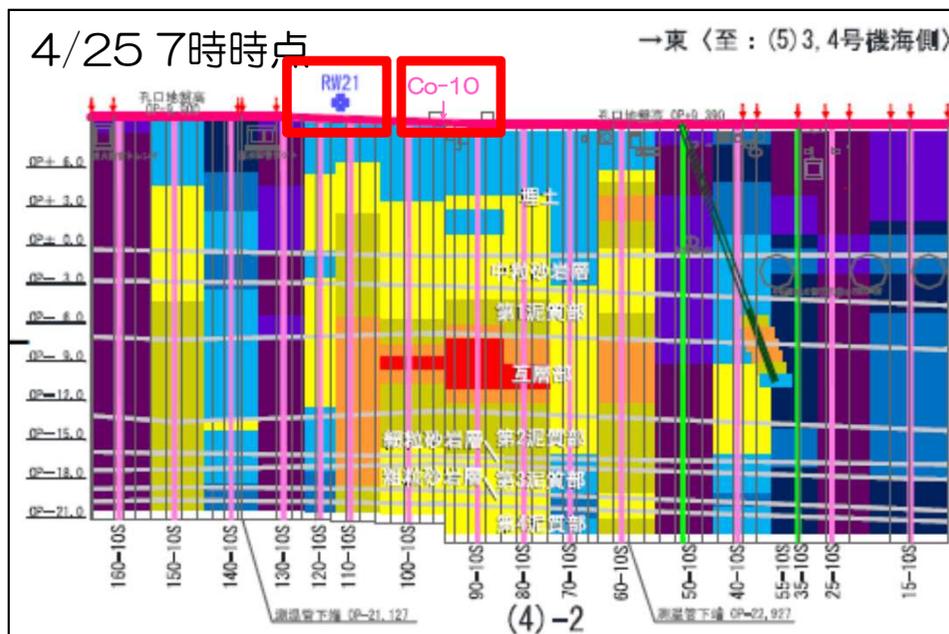
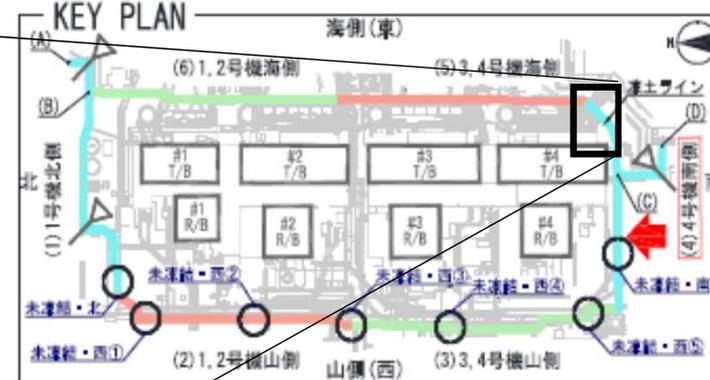
SD56・RW21・Co-10の水位挙動



No.56サブドレン停止時の水位変動の比較
(凍結開始前・凍結開始後)

【参考】「中粒砂岩層⑧」周辺の地下水位低下状況

- 「中粒砂岩層⑧」周辺の埋戻土・中粒砂岩層の地中温度は5/31時点で大部分が0℃を下回っており、凍結は進展している。



2. (1) 陸側遮水壁（海側）の内外水位差・水頭差の確認状況 まとめ

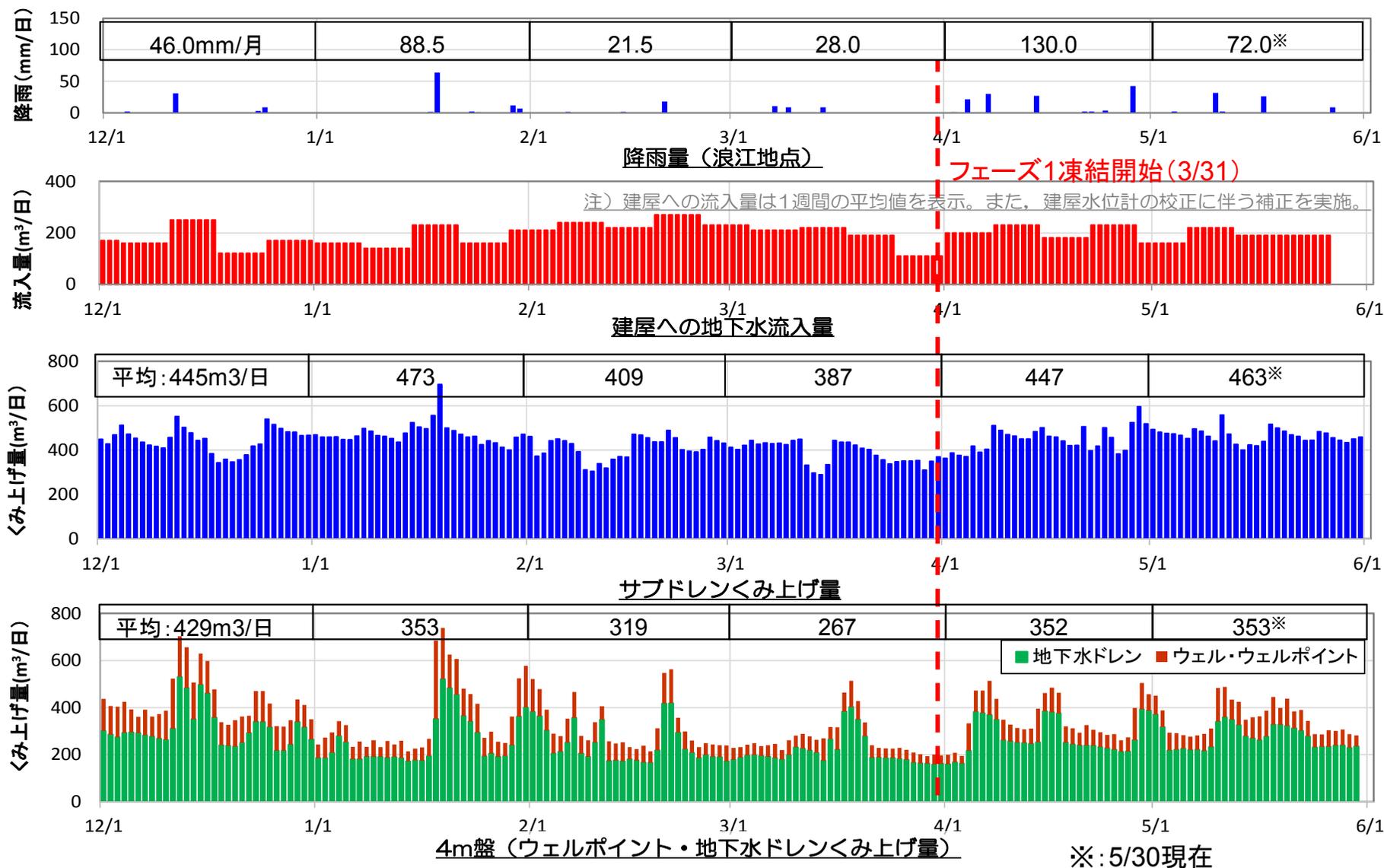
- フェーズ1において陸側遮水壁（海側）を境界とした内外の水位差（中粒砂岩層）および水頭差（互層部，細粒・粗粒砂岩）が発生しており，実施計画に示した「フェーズ2に移行するために必要な効果発現開始」を確認した。

2. (2) フェーズ1における地下水収支に関する分析・評価

- 前項で、「陸側遮水壁（海側）の内外水位差・水頭差」の発生を確認した。
- 本項では、前項の補足として、フェーズ1における地下水収支に関して分析・評価した結果を示す。

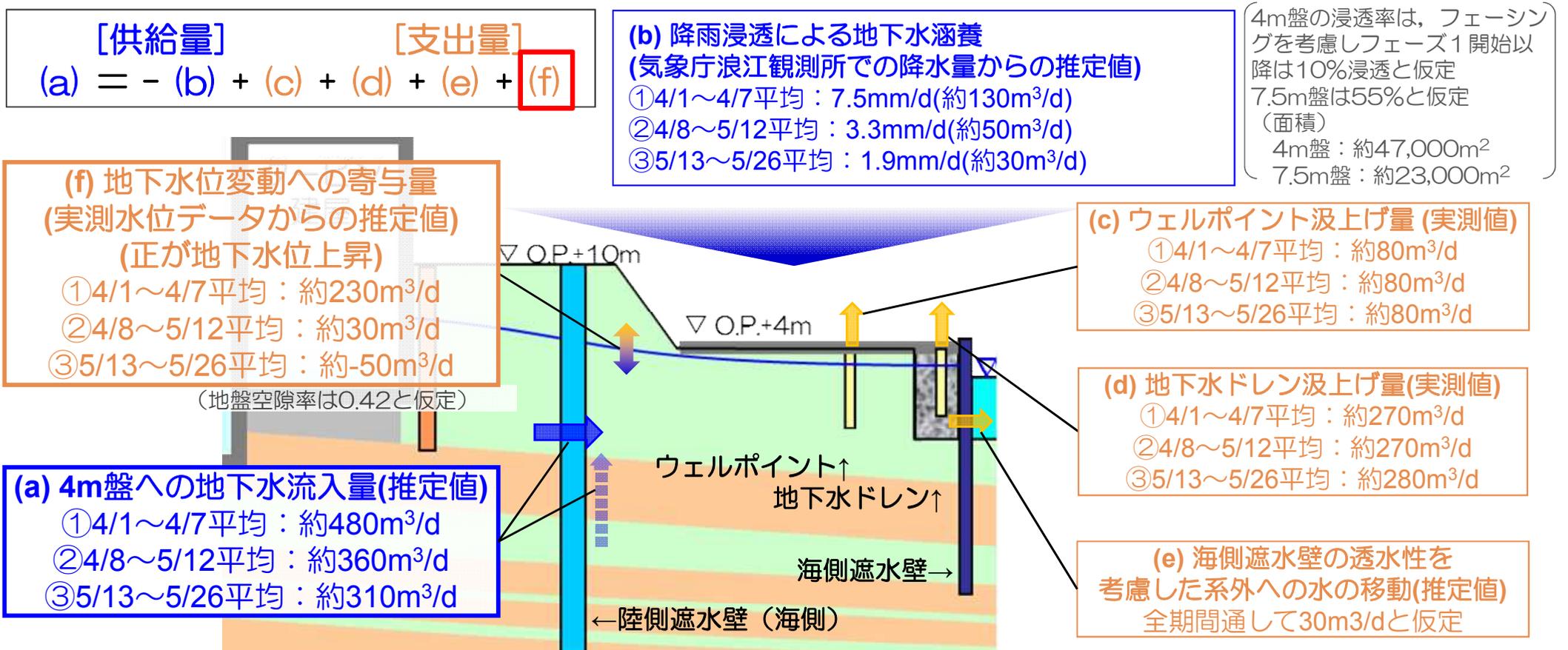
建屋への地下水流入量・各汲み上げ量の推移

- 建屋への地下水等の流入量は、サブドレン稼働開始（2015年9月）前は300～350m³/日程度であったが、現状は200m³/日程度で推移しており、凍結開始以降も大きな変化は無い。
- サブドレンくみ上げ量は、凍結開始以降、450m³/日程度となっている
- 4m盤くみ上げ量については、凍結開始前までにフェーシング整備により低減した。凍結開始後は350m³/日程度で、遮水効果発現後に想定される「汲み上げ量の減少」は見られない。



フェーズ1における4m盤の地下水収支

- ◆ 前頁の通り4m盤汲み上げ量（ウェルポイント(c)・地下水ドレン(d)）はフェーズ1凍結開始以降も減少していない。
- ◆ フェーズ1凍結開始以降の地下水位の変動を考慮して（f参照），①上昇期：4/1～4/7，②停滞期：4/8～5/12，③下降期：5/13～5/26の期間に分け，地下水収支の状況を検討した。
- ◆ 地下水位の変動に寄与した量(f)（算定方法は次頁参照）から，①の期間では降雨および4m盤への地下水流入により地下水位が上昇したと考えている。その後，③の期間においては，降雨が少ないことおよび4m盤への地下水流入が減少したことから，地下水位が低下を始めたものと考えている。
- ◆ (f)を考慮して4m盤への地下水流入量(a)を算定すると，①の期間で流入量が多く，これは前述の互層からの流入による影響と考えている。また②と③の期間を比較すると，③では流入量が減少しており，地下水流入遮断の効果が発現開始していると考えている。
- ◆ 上記評価より，今後の降雨によるが，4m盤の地下水位低下に伴って汲み上げ量は減少すると想定している。

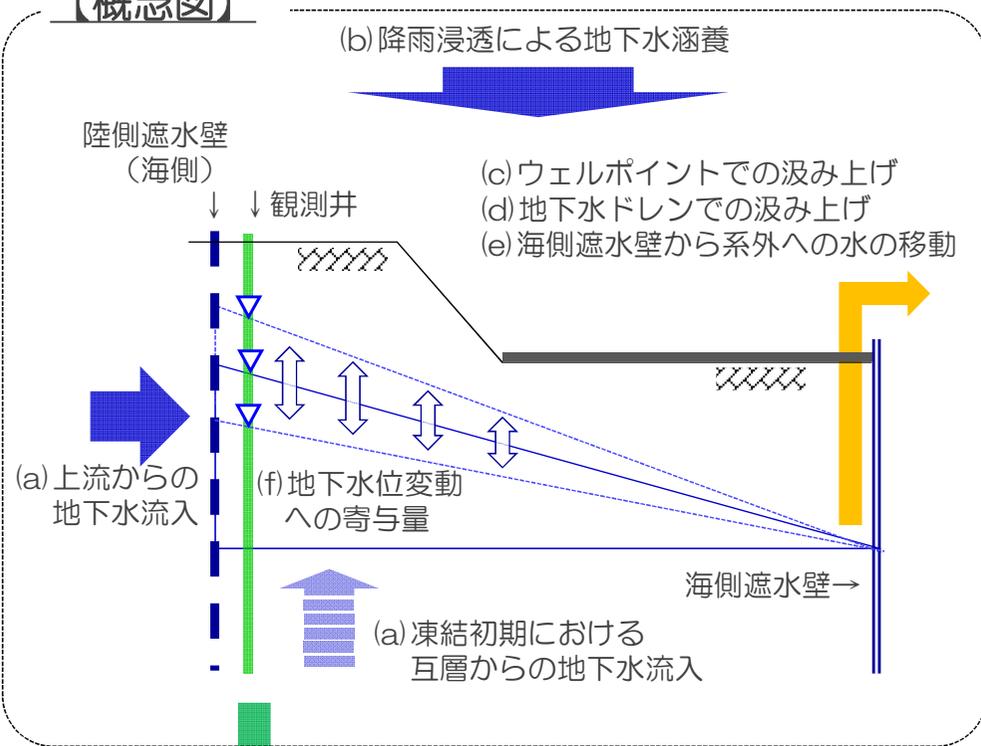


(該当期間はデータ集計の関係上，1週間単位で設定)

【参考】地下水位変動への寄与量の考え方

- ◆ 4m盤では、海側遮水壁近傍の地下水はウェルポイント・地下水ドレンにより汲み上げられることにより、ほぼ一定水位を維持している。
- ◆ 一方で、上流からの地下水流入および凍結初期における互層からの地下水流入、降雨浸透による涵養により、陸側遮水壁（海側）近傍の地下水位は変動する。
- ◆ 地下水位の上昇・下降に寄与した水量を、陸側遮水壁（海側）下流側の観測井における地下水位の変動量と陸側遮水壁（海側）～海側遮水壁間の距離、陸側遮水壁（海側）の延長から概算した。

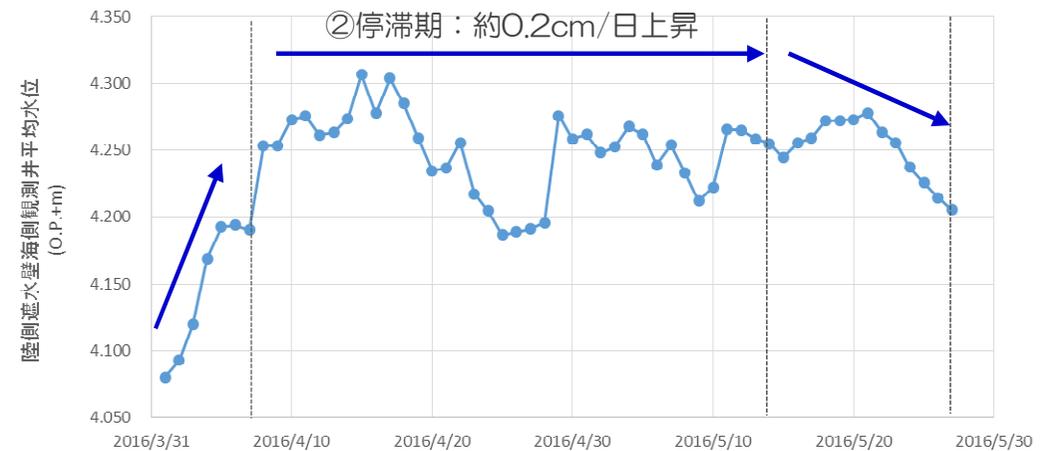
【概念図】



〔 陸側遮水壁（海側）～海側遮水壁間の距離：約100m 〕
〔 陸側遮水壁（海側）の延長：約700m 〕

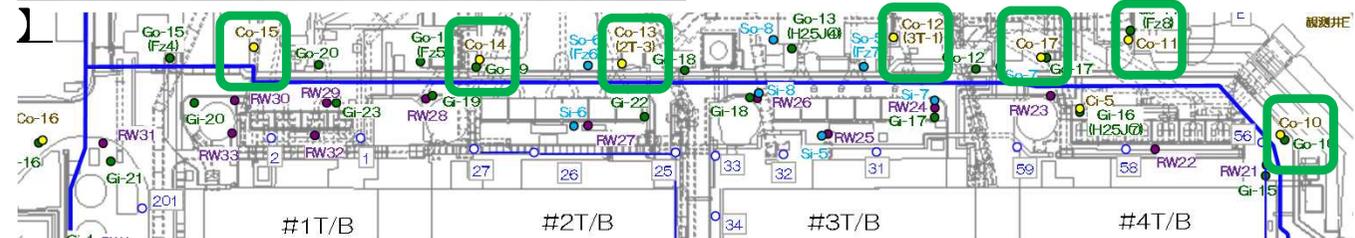
【陸側遮水壁（海側）下流側の観測井平均水位】

①上昇期：約1.6cm/日上昇 ③下降期：約0.4cm/日低下



【陸側遮水壁（海側）下流側観測井位置図】

□ : 使用観測井
（陸側遮水壁（海側）
下流側中粒砂岩層）



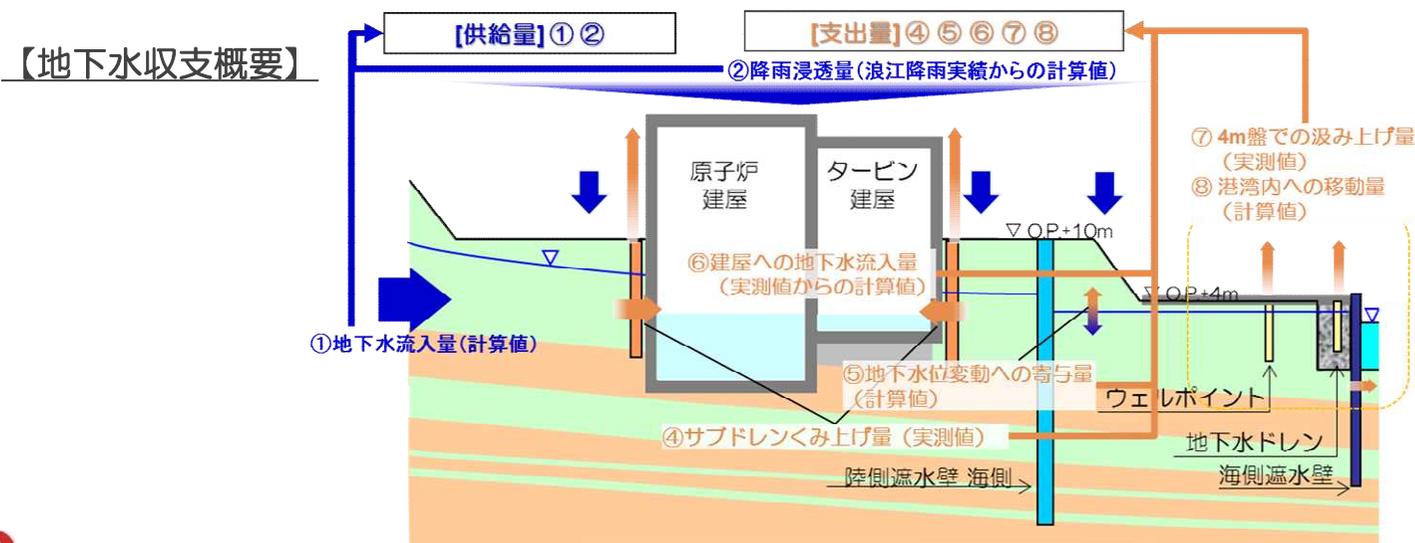
フェーズ1における4m盤～10m盤の地下水収支①

- ◆ 地下水位の変動を考慮したフェーズ1開始前後の4m盤～10m盤における地下水収支実績を下表に示す。
- ◆ フェーズ1開始前であるI aおよびbを比較すると、I bは少雨の影響(②)を受け、地下水位の低下(⑤)、4m盤の汲み上げ量減少(⑦)が見られる。
- ◆ フェーズ1開始後では、凍結開始初期のII aで多雨(②)および互層からの地下水流入の影響で供給が多くなっていた(①,⑤)が、徐々に供給量が減少している(II b,c①)。

対象期間 データ集計の関係上 1週間単位で設定		地下水 流入量 (m ³ /日)①	期間平均 降水量 (mm/d)	降雨浸透量 (m ³ /日) ②	供給量計 (m ³ /日) ③=①+②	サブドレン 汲み上げ量 (m ³ /日)④	地下水位変 動への寄与 量⑤*	建屋流入量 (m ³ /日) ⑥	4m盤汲み 上げ量 (m ³ /日)⑦	港湾内へ の移動量 (m ³ /日)⑧	支出量計 (m ³ /日) ⑨=Σ④～⑧
I 実績 フェーズ1 開始前	a.凍結開始前 (11/6～1/7)	810	4.0	250	1,060	420	10	190	410	30	1,060
	b.凍結開始前 (1/8～3/31)	780	1.6	100	880	420	-80	190	320	30	880
II 実績 フェーズ1 開始後	a.フェーズ1 (4/1～4/7)	1,690	7.5	390	2,080	390	1,110	200	350	30	2,080
	b.フェーズ1 (4/8～5/12)	1,300	3.3	180	1,480	470	440	190	350	30	1,480
	c.フェーズ1 (5/13～5/26)	750	1.9	100	850	460	-210	210	360	30	850

(降雨浸透率は30%(フェーズ1開始以降は10%)と仮定した)

※ 4m盤および10m盤の合計、地盤空隙率を0.42と仮定



フェーズ1における4m盤～10m盤の地下水収支②

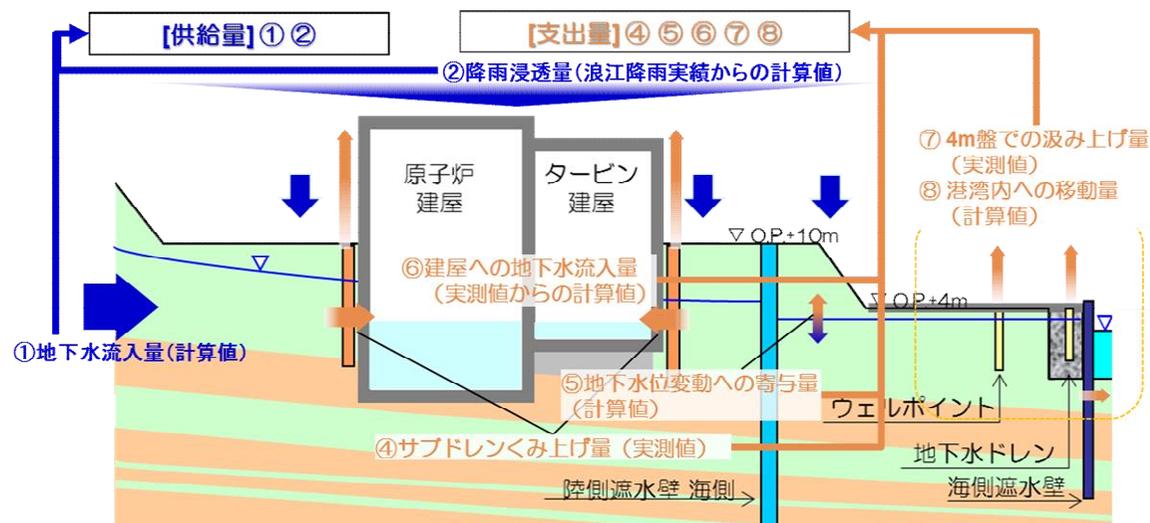
- ◆ フェーズ1開始前の状態として、年間平均相当の降雨のあった前頁I aにおける供給量(③)を基に、直近におけるサブドレンの汲み上げ量(前頁)を反映し、陸側遮水壁(海側)の遮断率をパラメータとして算定した想定地下水収支を下表Ⅲに示す。
- ◆ 直近の実績(下表Ⅱc)における建屋流入量(⑥)および4m盤での汲み上げ量(⑦)は、陸側遮水壁(海側)の遮断率を50%とした地下水収支想定(下表Ⅲ)と整合的である。

対象期間 データ集計の関係上 1週間単位で設定		地下水 流入量 (m ³ /日)①	期間平均 降水量 (mm/d)	降雨浸透量 (m ³ /日) ②	供給量計 (m ³ /日) ③=①+②	サブドレン 汲み上げ量 (m ³ /日)④	地下水位変 動への寄与 量⑤*2	建屋流入量 (m ³ /日) ⑥	4m盤汲み 上げ量 (m ³ /日)⑦	港湾内へ の移動量 (m ³ /日)⑧	支出量計 (m ³ /日) ⑨=Σ④~⑧
Ⅲ 想定 海側閉合の 定常状態	定常状態 海側遮断率 50%	850	4.0*1	210	1,060	460	-*3	220	350	30	1,060
	(参考)定常状態 海側遮断率 100%	850	4.0*1	210	1,060	460	-*3	340	230	30	1,060
(再掲)Ⅱ 実績 フェーズ1 開始後	cフェーズ1 (5/13~5/26)	750	1.9	100	850	460	-210*4	210	360	30	850

(降雨浸透率は30%(フェーズ1開始以降は10%)と仮定した)

- ※1 地下水収支想定降水量は今後の雨期を考慮し、浪江観測所における年間平均降水量とした。
- ※2 4m盤および10m盤の合計、地盤空隙率を0.42と仮定
- ※3 想定地下水収支は定常状態を表しており、地下水位変動は収束している
- ※4 定常状態では「地下水位変動への寄与量」はゼロとなる。その場合にも、建屋流入量・4m盤汲み上げ量は同程度となると想定される。

【地下水収支概要】



フェーズ2における地下水収支の予測

- ◆ フェーズ2に移行した後の地下水収支について、陸側遮水壁（山側）の遮断率を50%と仮定し、陸側遮水壁（海側）の遮断状況が与える影響について評価した。
- ◆ 陸側遮水壁（海側）の遮断率を50%と仮定した場合（下表(A)）においても、第一段階の前提であるサブドレンの稼働状態を維持でき、水位管理に問題が無いと考えている。
- ◆ 実際の地下水収支および水位挙動は、降雨や遮断状況等により変わるため、フェーズ2開始後においても各汲み上げ量などや水位挙動を注視しつつ、実態の把握および予測に努めていく。

対象期間 データ集計の関係上、1週間 単位で設定		地下水流入量 (m ³ /日) ①	期間平均 降水量 (mm/d)	降雨浸透量 (m ³ /日) ②	供給量計 (m ³ /日) ③=①+②	サブドレン 汲み上げ量 (m ³ /日)④	建屋流入量 (m ³ /日) ⑤	4m盤汲み 上げ量 (m ³ /日)⑥	港湾内へ の移動量 (m ³ /日)⑦	支出量計 (m ³ /日) ⑧=Σ④～⑦
フェーズ2 想定 (遮断率50% の定常状態)	(A) 山側50%遮断 海側50%遮断	430	4.0	210	640	350	130	130	30	640
	(B) 山側50%遮断 海側100%遮断	430	4.0	210	640	410	130	70	30	640
	(C) 山側50%遮断 海側0%遮断	430	4.0	210	640	290	130	190	30	640

4m盤のフェーシングエリアにおける降雨浸透率は10%と仮定
想定地下水収支は定常状態を表しており、地下水位変動は収束している

■ 第一段階フェーズ2の確認項目（実施計画より抜粋）

- 第一段階を通じて、陸側遮水壁の効果発現状況を遮水壁内外の水位差およびサブドレン・ウェルポイント・地下水ドレンの汲み上げ量等の変化により確認する。
- 陸側遮水壁（山側）の閉合率と地下水遮断率の関係の不確実性を考慮して、第一段階を通じて、全体的な地下水収支を見ていくことで、「地下水遮断率」を総合的に評価し、過大となっていないことを確認していく。また、第一段階においてはサブドレンが稼働していることを前提としていることから、サブドレンの稼働状態や周辺の観測井等の水位変動から地下水挙動を確認していく。第一段階の途中において、下記のいずれかの状態に対して、十分余裕を持って凍結（冷却ラインの供給）の停止を行うことで、それ以上第一段階の閉合を進めないこととする。その後、地下水の状況や凍結状態を踏まえ、以降の対応を検討する。
 - 「地下水遮断率が80%」以上であると評価した場合
 - サブドレンの広範囲な停止※が発生した場合

※：「サブドレンの広範囲な停止」に至る前においても、地下水位が低下することにより局所的にサブドレン水位が低下し、サブドレンポンプ停止水位（L 値）を連続的に下回った状態となった場合、周辺の地下水位変動状況等を確認し、注水井への注水等の必要な対策を行う。（水質・機器メンテナンス等の理由により人為的に停止しているサブドレンは除く。）

2. (2) フェーズ1における地下水収支に関する分析・評価 まとめ

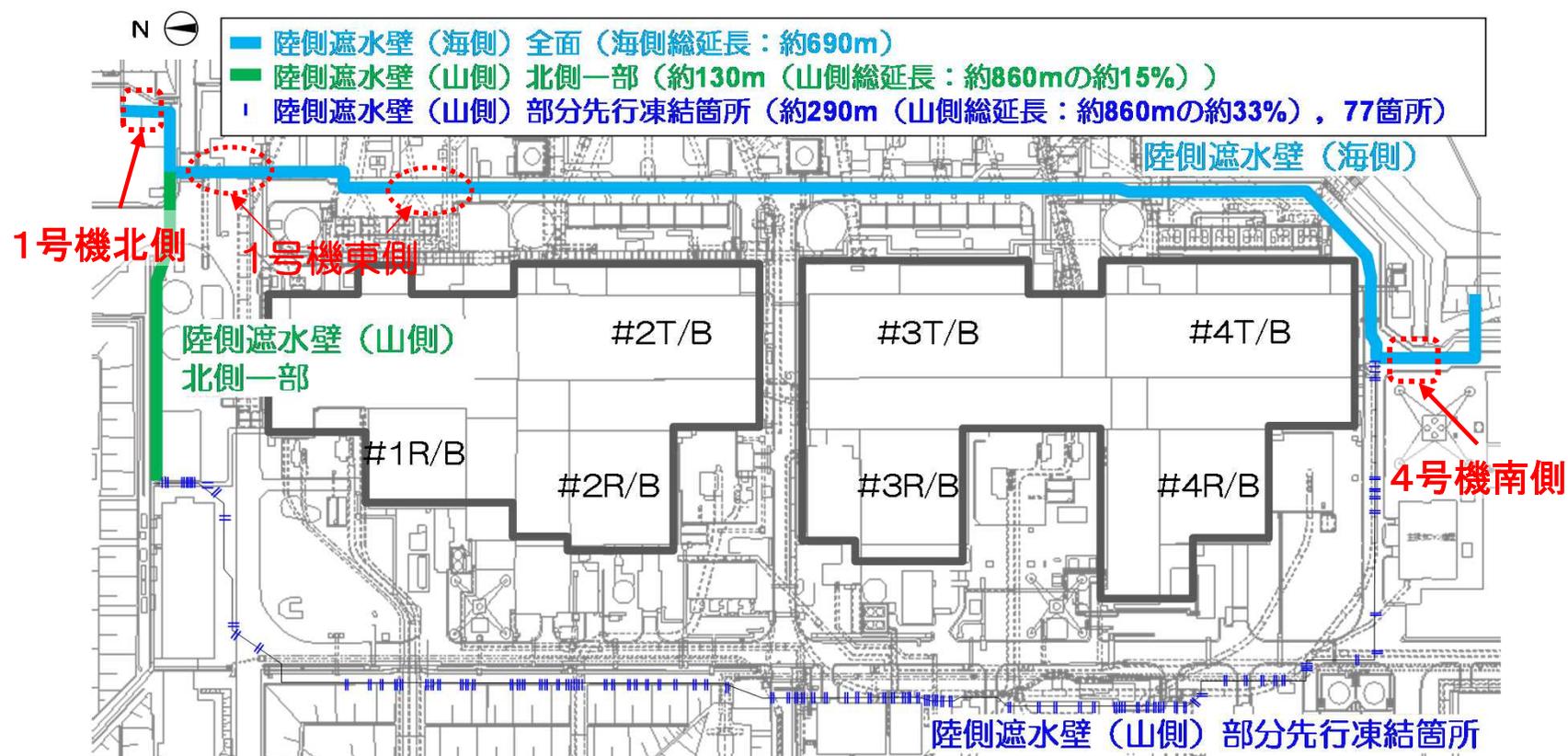
- ◆前項で、フェーズ2に移行するために必要な、フェーズ1における陸側遮水壁（海側）を境界とした内外の水位差（中粒砂岩層）および水頭差（互層部、細粒・粗粒砂岩）の発生を確認した。
- ◆また、上記の補足として、フェーズ1における地下水収支に関して分析・評価した結果、以下の通りとなった。
 - 4m盤の汲み上げ量について、現時点では明瞭な減少傾向が現れていないが、地下水収支を評価した結果、4m盤への地下水流入量は減少傾向が現れた。汲み上げ量は今後、減少傾向が明確となることが想定される。
 - 建屋海側サブドレンの汲み上げ量については増加傾向を確認した。
 - 建屋への地下水流入量には、明確な変化は現れていない。
- ◆フェーズ1の地下水収支の評価を踏まえて、フェーズ2完了時の地下水収支について想定した結果、サブドレンが稼働状態を維持でき、水位管理に問題が無いことを確認した。
- ◆以上のことから、第一段階フェーズ2へ移行し、山側（非凍結部を除く）の凍結運転を開始する。

3. 4m盤への地下水流入抑制対策

- 凍結進展が遅い箇所が、数カ所確認されている（1号機北側・海側，4号機南側 等）。これらの箇所については、今後も地下水流の集中により、凍結進展が進まないことが懸念される。凍結促進策として補助工法等を適切に施工することで、地下水流の流速を低下させて、凍土遮水壁の造成を進める。

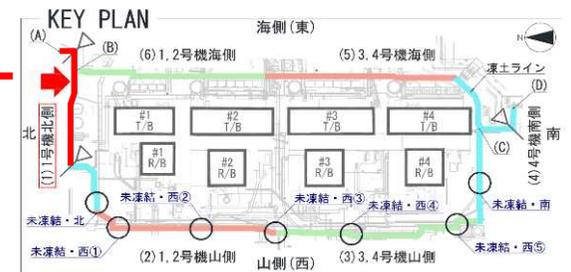
4m盤への地下水流入抑制対策 概要

- 凍結運転開始後、4m盤の汲み上げが減少していないのは、4月以降に降雨が多いこと、凍結運転開始後に互層部から中粒砂岩層に地下水が流入したこと、陸側遮水壁海側で凍結が遅れている箇所からの地下水流入があることが主な理由と考えている。
- 温度低下が遅れている1号機北側・東側、4号機南側の一部では、地層内の礫や未固結な埋戻土が存在するため、地下水の流速が速く、温度低下が遅れていると推定している。
- このため、これらの箇所に補助工法を適用して、地下水の流速を下げることにより凍結を促進し、4m盤への地下水流入を抑制する。



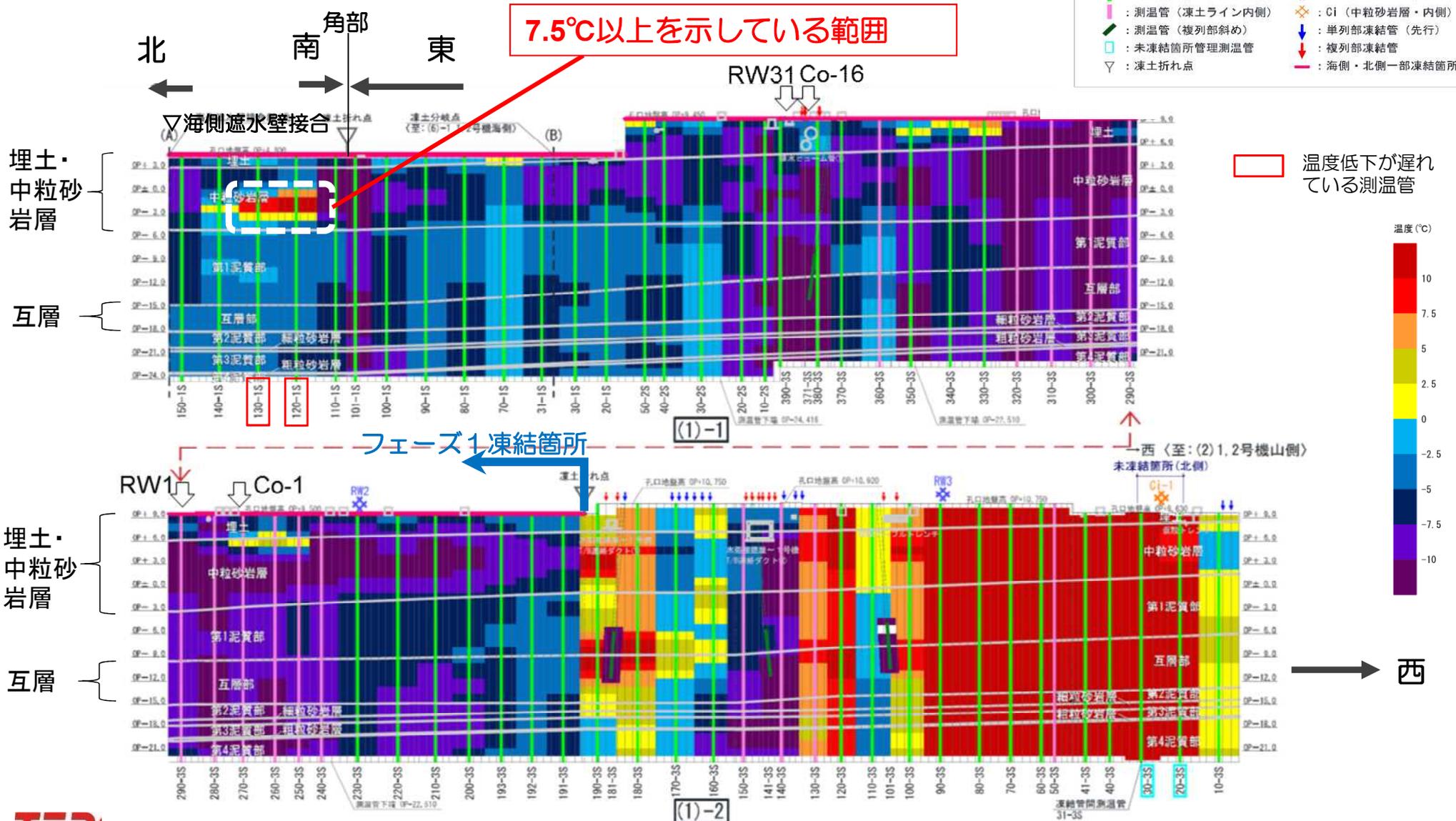
地中温度分布図 (1号機北側) 5/31 7:00時点のデータ

- 海側遮水壁との接続部付近（北側）で、凍結運転開始後61日経過後においても測温管位置の地中温度が7.5℃以上を示しており、温度低下が遅れている。
- 当該箇所は凍結管の配列が南北方向で、山側からの地下水の流れと直交し影響を受け易いと考えている。フェーズ2移行後においては、地下水の流れが更に集中しやすくなる。



凡例

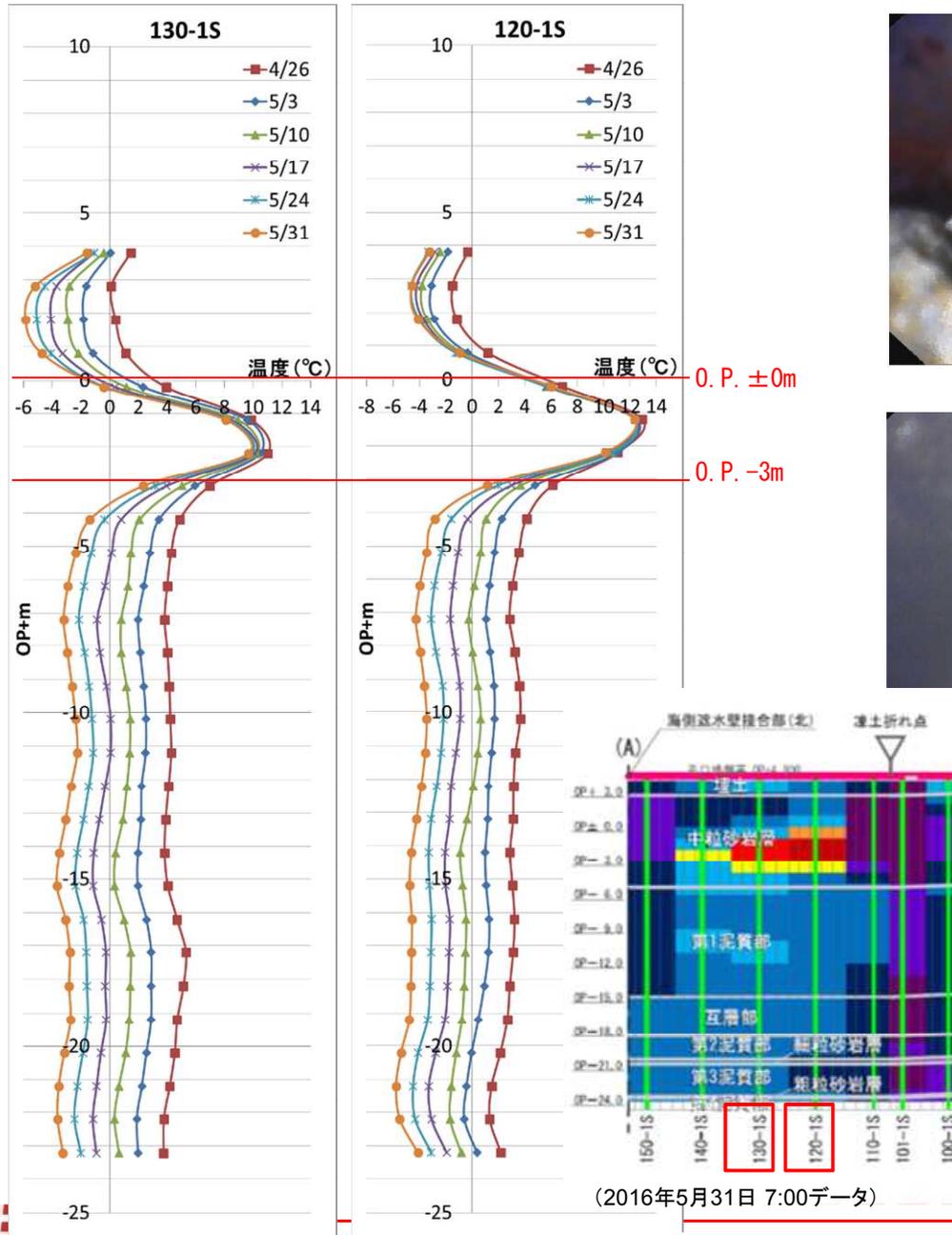
■ (緑)	: 測温管 (凍土ライン外側)	⊗ (青)	: RW (リチャージウェル)
■ (紫)	: 測温管 (凍土ライン内側)	⊗ (黄)	: Ci (中粒砂岩層・内側)
■ (緑)	: 測温管 (複列部斜め)	↓ (青)	: 単列部凍結管 (先行)
□ (青)	: 未凍結箇所管理測温管	↓ (赤)	: 複列部凍結管
▽ (黒)	: 凍土折れ点	— (赤)	: 海側・北側一部凍結箇所



1号機北側で温度低下が遅れている原因の想定(1/2)

■周辺地盤の土質および深度方向温度分布図

- 温度低下の遅れは、O.P.±0m～-3m付近で生じている。
- 同深度付近では、測温管削孔時に砕石が確認されている。



測温管110-1S



測温管120-1S



測温管130-1S



測温管140-1S



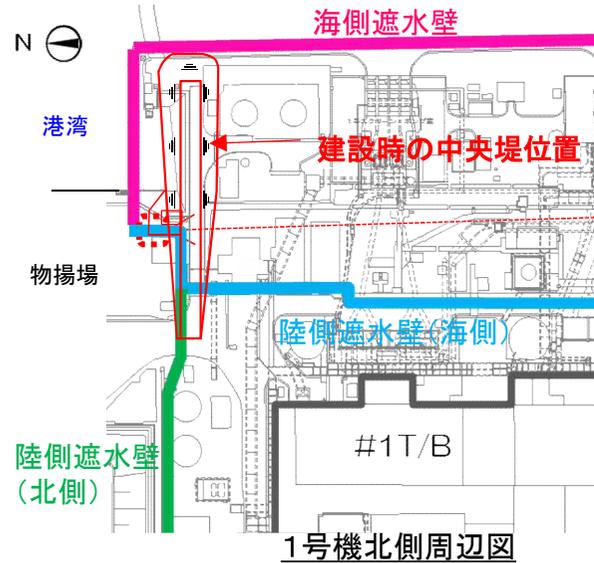
測温管150-1S

ボアホールカメラで孔内(内径:約10cm)を確認したところ、指頭～こぶし大の大きさと推定される礫が確認された

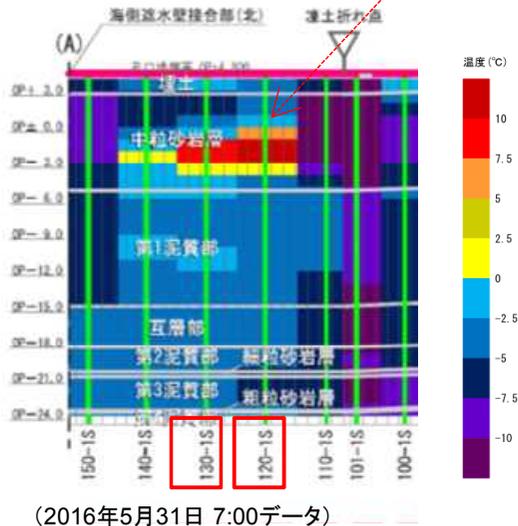
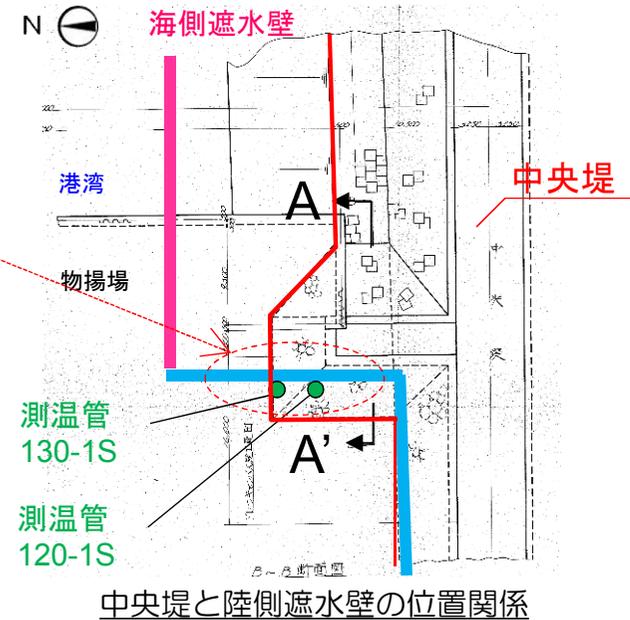
写真 測温管削孔時に確認した砕石

1号機北側で温度低下が遅れている原因の想定(2/2)

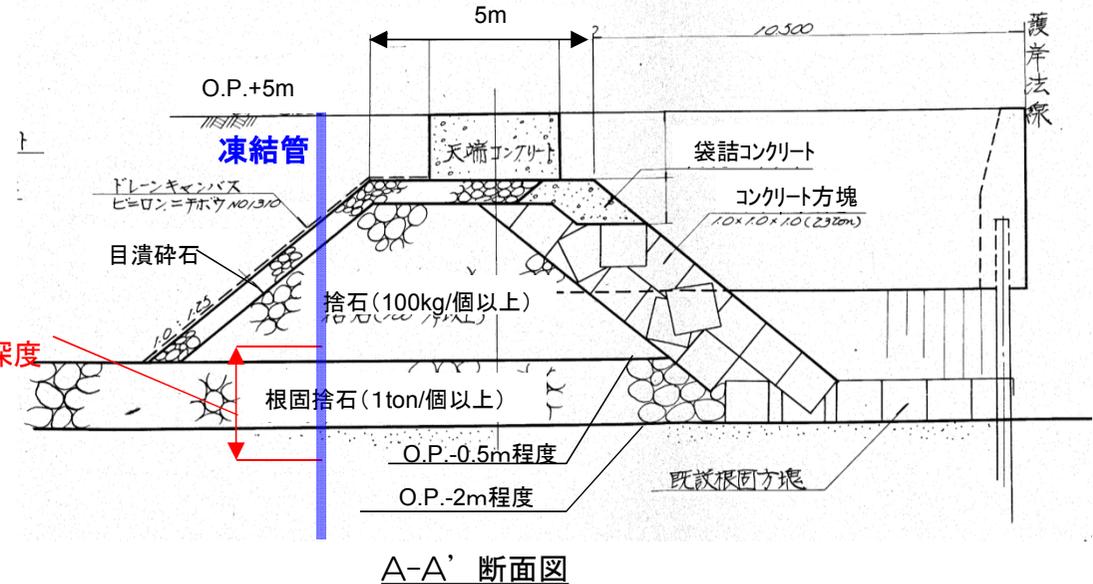
- 陸側遮水壁海側の1号機北側は建設時の中央堤と交差している。
- 1号機北側の温度低下の遅れはO.P.±0~-3m付近で見られ、中央堤の根固捨石層の深度と一致する。
- このため、当該箇所は中央堤の根固捨石層が原因で、地下水流速が速くなり、温度低下が遅れが生じている可能性がある。



温度低下の遅れ箇所



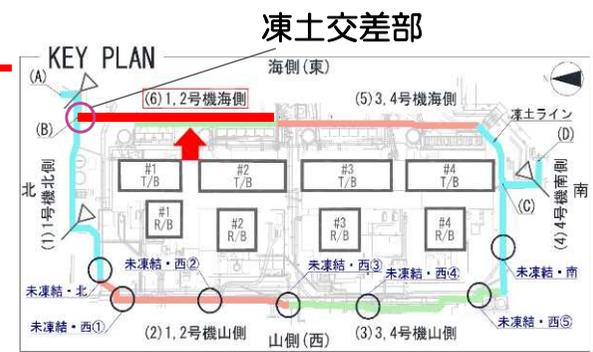
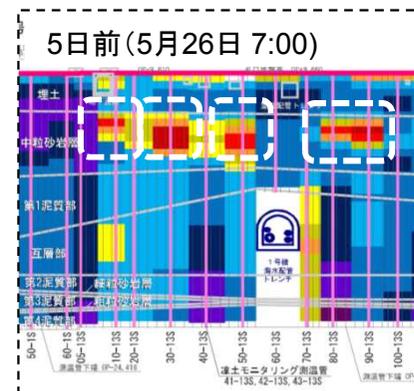
中央堤付近の温度分布図



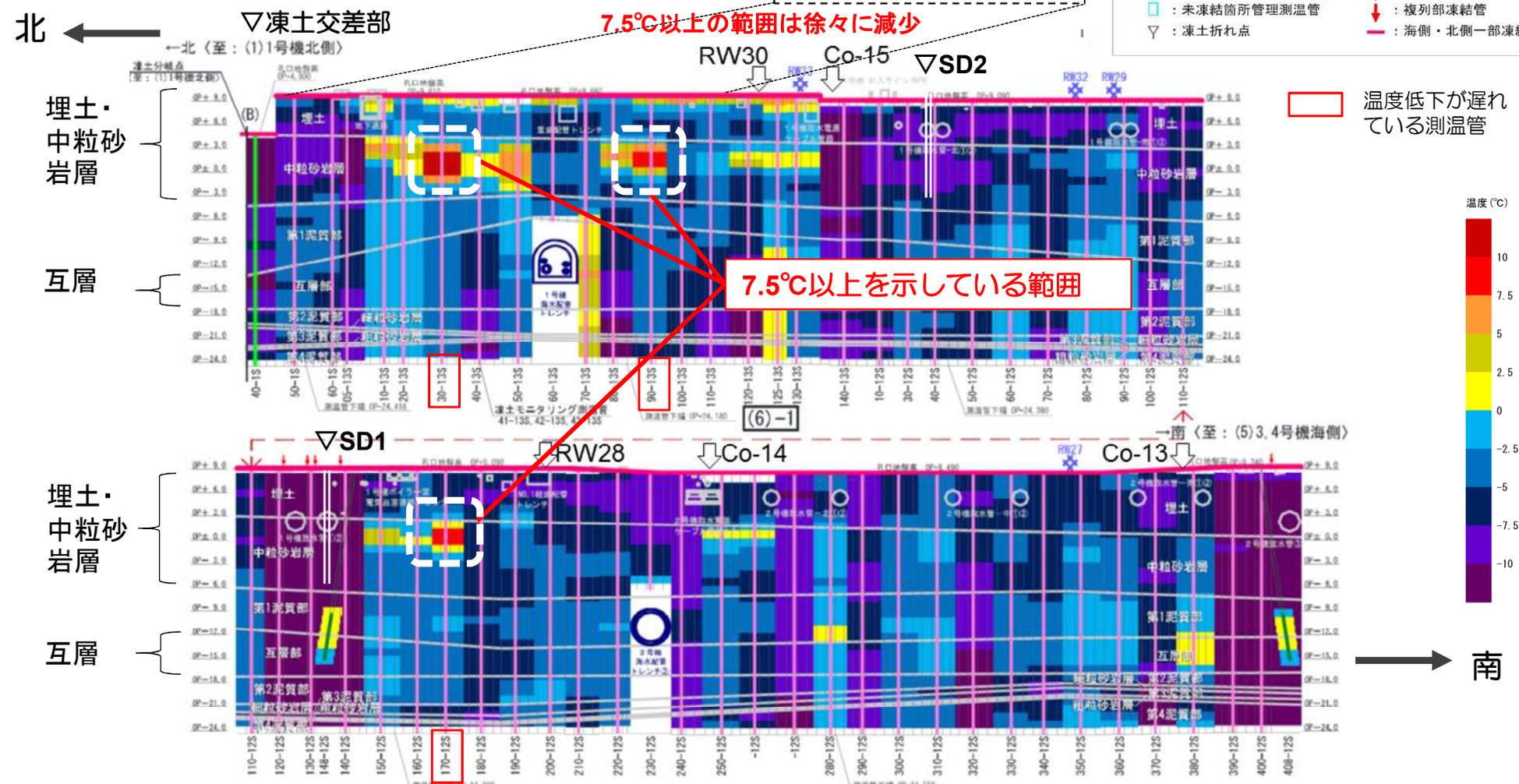
温度低下が遅れている深度

地中温度分布図 (1号機東側) 5/31 7:00時点のデータ

- 7.5℃以上を示す範囲は徐々に減少しているものの、凍結運転開始後61日経過後においても測温管位置の地中温度が7.5℃以上を示す箇所があり、温度低下が遅れている。



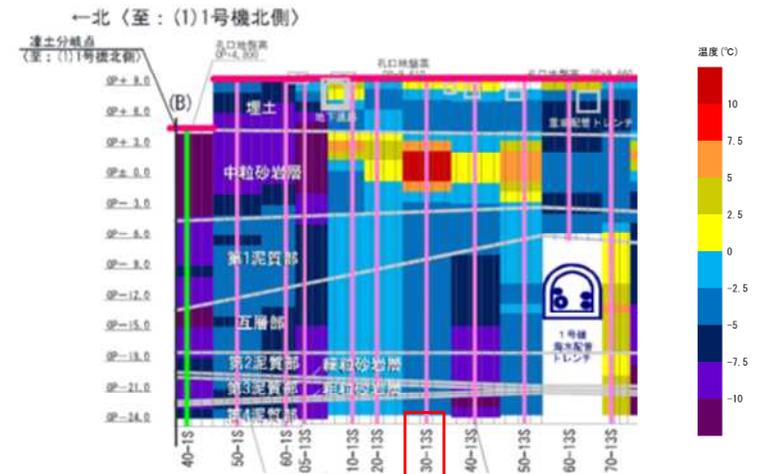
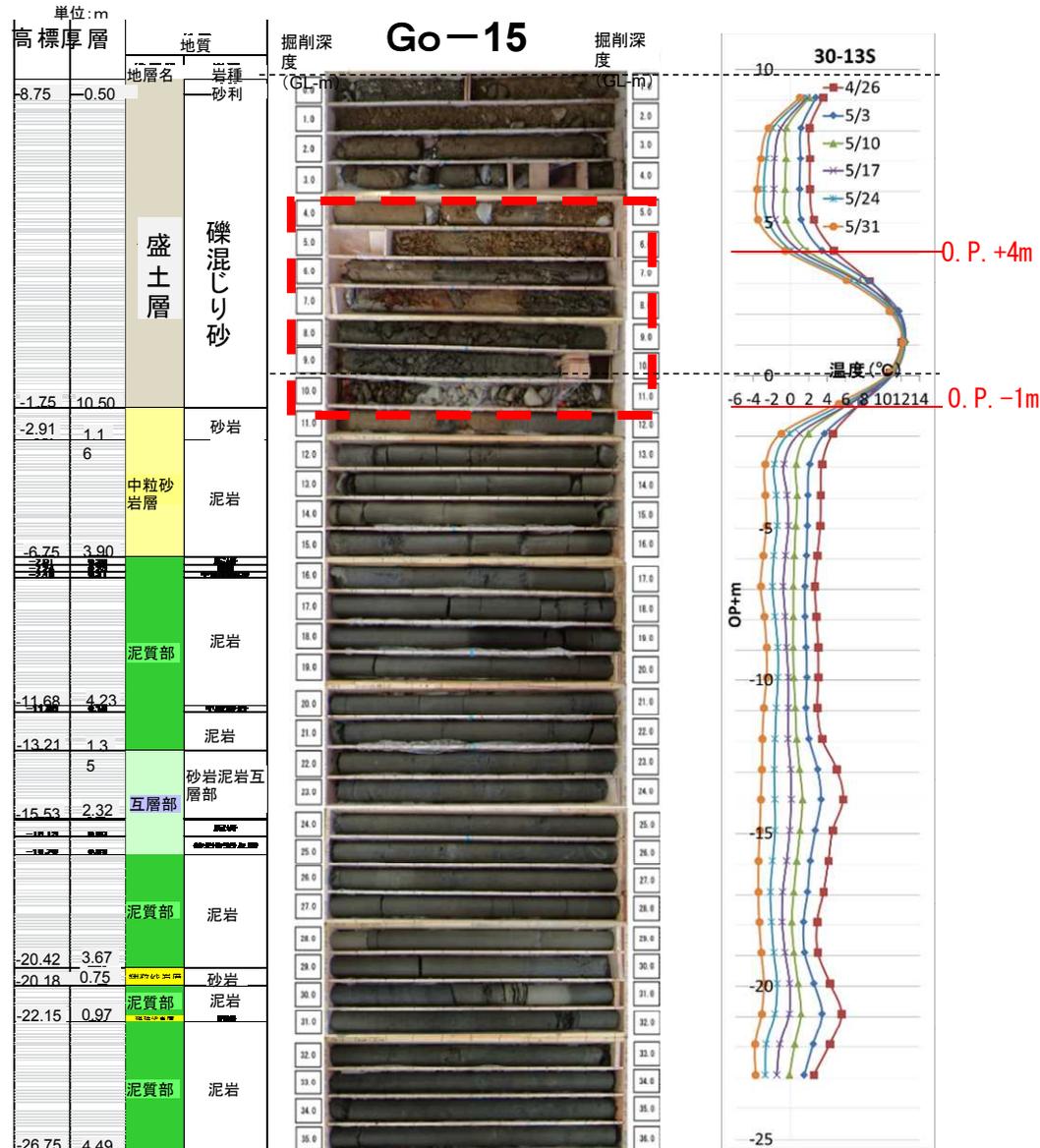
- 凡例
- 測温管 (凍土ライン外側)
 - 測温管 (凍土ライン内側)
 - 測温管 (複列部斜め)
 - 未凍結箇所管理測温管
 - 凍土折れ点
 - RW (リチャージウエル)
 - Co (中粒砂岩層・内側)
 - 単列部凍結管 (先行)
 - 複列部凍結管
 - 海側・北側一部凍結箇所



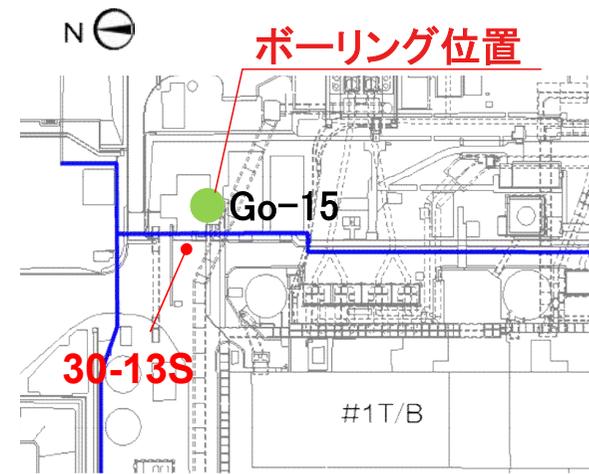
1号機東側で温度低下が遅れている原因の想定

■周辺地盤の土質および深度方向温度分布図（測温管30-13Sの例）

- 温度低下の遅れは、O.P.+4～-1m付近で生じている。
- この深度付近は、地質調査結果で、埋土内に礫混じりの砂が確認されている。これは発電所建設前の旧海岸線が、現在の1～4号機タービン建屋近傍に位置していたため、海砂・礫分が埋土内に混入したためと考えられる。
- このため、当該箇所は礫混じりの砂が原因で、地下水流速が速くなり、温度低下に遅れが生じている可能性がある。

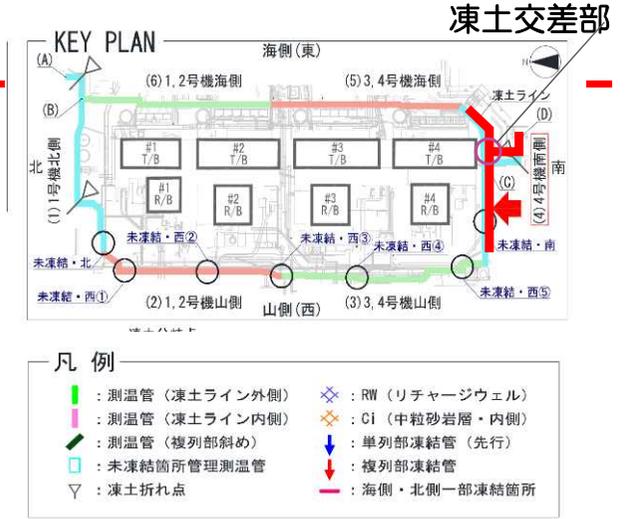


(2016年5月31日 7:00データ)



地中温度分布図（4号機南側） 5/31 7:00時点のデータ

- 海側遮水壁との接続部付近（南側）で、凍結運転開始後61日経過後においても測温管位置の地中温度が7.5℃以上を示しており、温度低下が遅れている。
- 当該箇所も凍結管の配列が南北方向で、山側からの地下水の流れと直交し影響を受け易いと考えている。フェーズ2移行後においては、地下水の流れが更に集中しやすくなる。

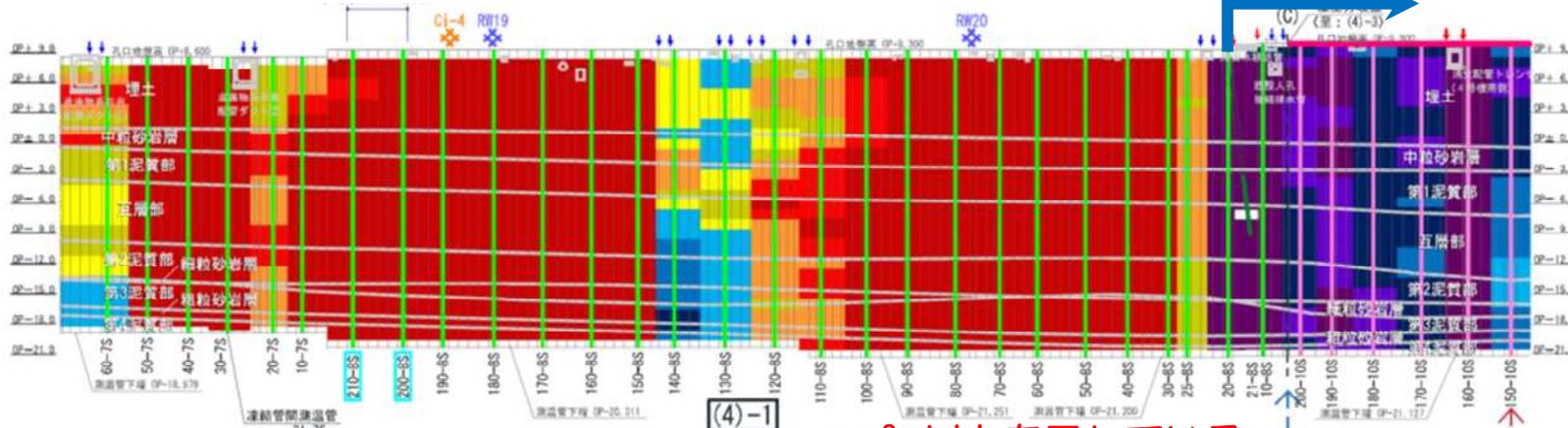


温度低下が遅れている測温管

西 ←

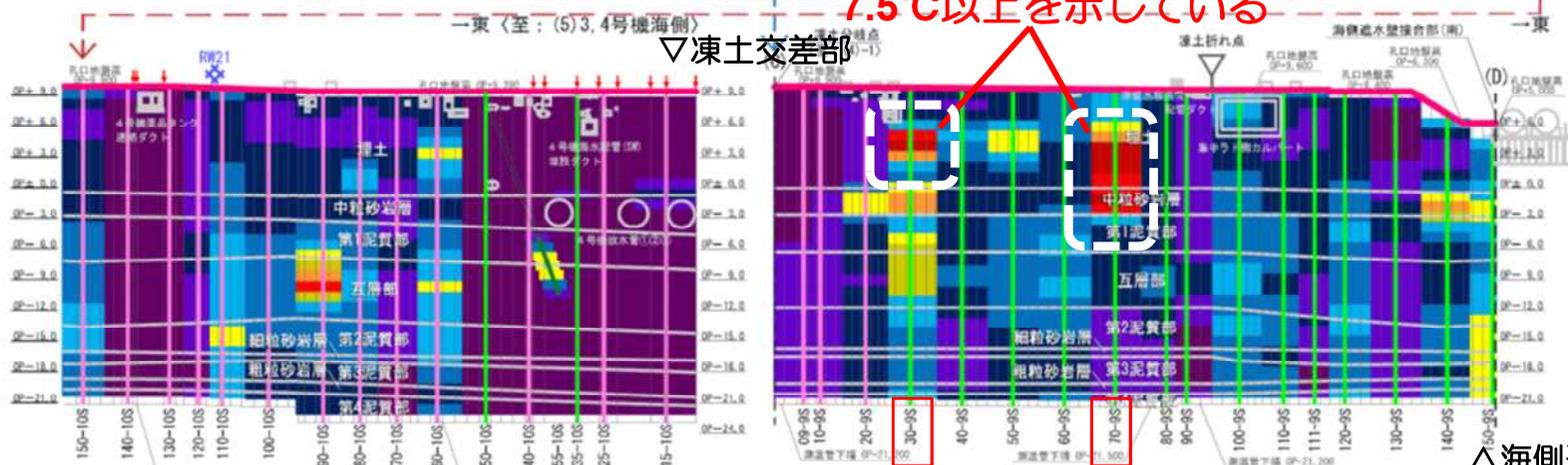
フェーズ1 凍結箇所

埋土・中粒砂岩層互層



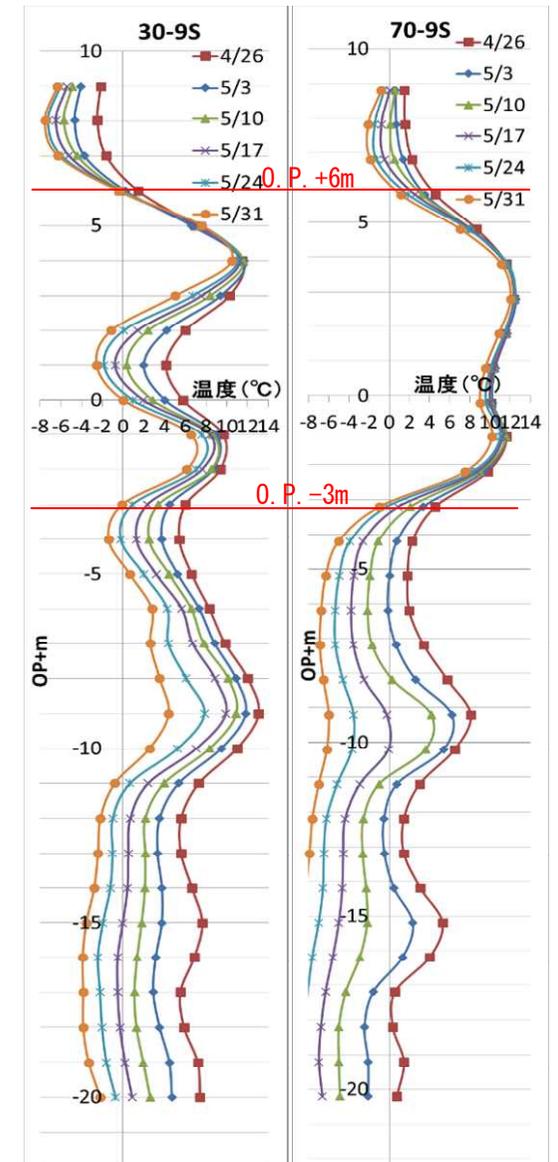
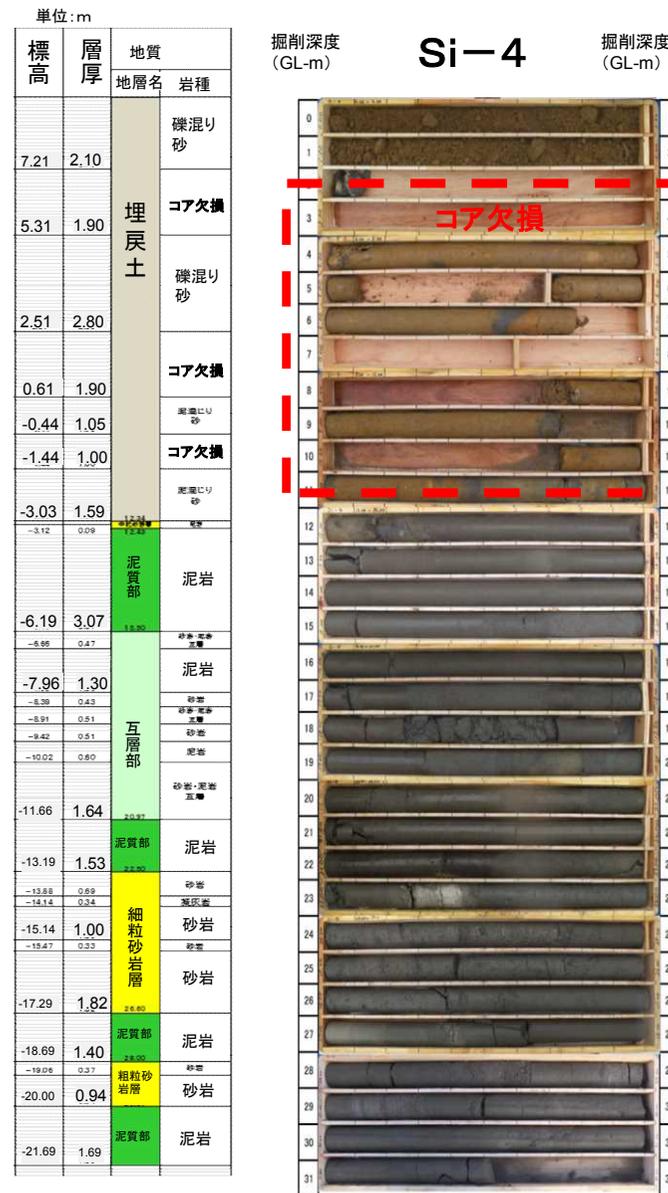
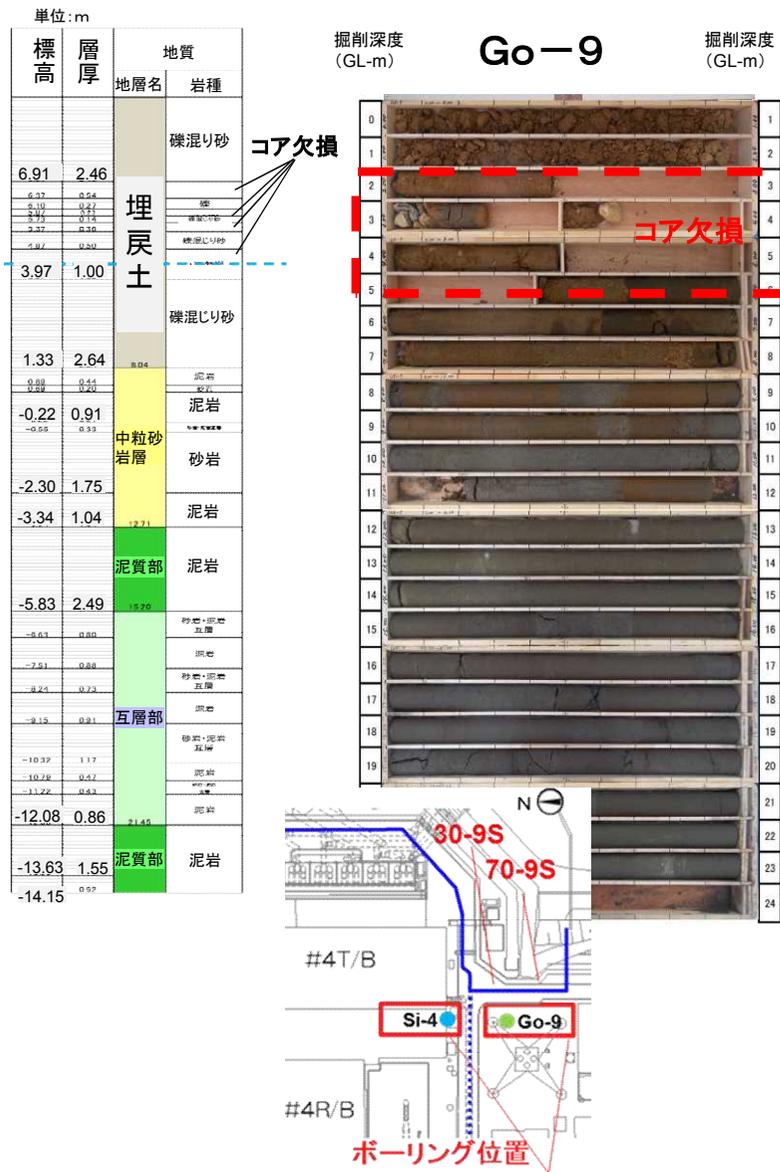
▽凍土交差部

埋土・中粒砂岩層互層



4号機南側で温度低下が遅れている原因の想定

- 温度低下の遅れは、深度O.P.+6~-3m付近で生じている。
- この深度付近は、地質調査結果でコアが欠損している箇所と一致しており、また、コアの欠損は未固結な埋戻土と考えられる。
- このため、当該箇所は未固結な埋戻土が原因で、地下水流速が速くなり、温度低下に遅れが生じている可能性がある。



補助工法による凍結促進 (1/3)

■目的

- 地下水流速が速いため温度低下が遅れている箇所での凍結を促進するため、当該箇所の透水性を周辺地盤と同等程度に低下させて、地下水流速を遅くする。

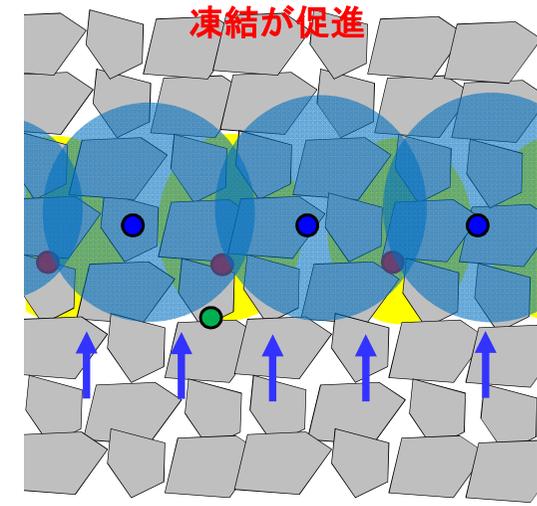
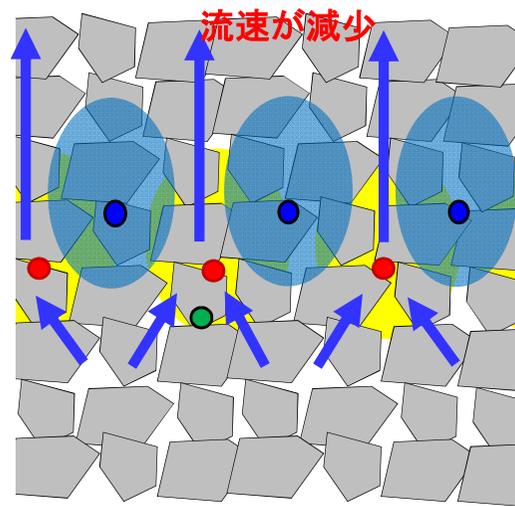
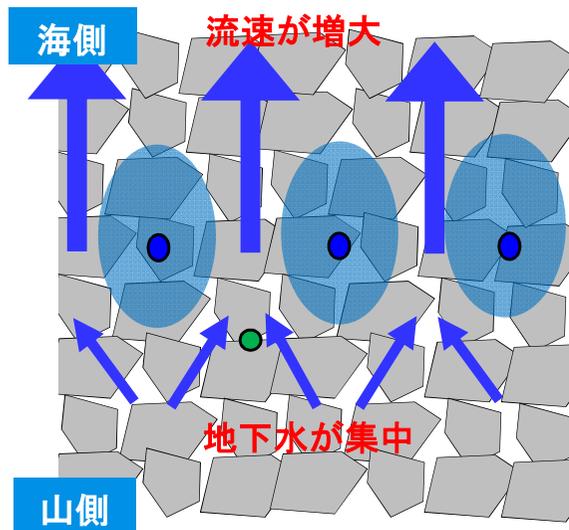
■施工方法

- 補助工法実施箇所においては事前に埋設物等の試掘調査を実施する。また、埋設物等を貫通しての施工は行わない。
- 凍結が遅れている箇所近傍の地盤に、注入材を注入し透水性を低下させる。
- 工法は、透水性が局所的に高い箇所を周辺地盤と同等程度に低下させるものであり、凍土方式と異なる壁を構築するものではない。

①現状：透水性が高く、地下水の流れが集中する箇所での凍結が遅れている

②注入：地下水流速が速い箇所の空隙に注入材を注入し、地盤の透水性を低下させ、地下水流速を遅くする

③凍結促進：地下水流速が遅くなることで凍結しやすくなり、凍結範囲が拡大する



● 凍結管 ● 測温管 ● 補助工法注入孔 → 地下水の流れ ■ 凍結範囲 ■ 注入材浸透範囲

補助工法による凍結促進のイメージ

補助工法による凍結促進 (2/3)

■補助工法による効果

- 砂質土における注入材を注入した後の地盤の透水係数と、注入材の注入率（単位体積当たりの注入量の割合）の関係を下図に示す。今回計画している1号機北側・東側、4号機南側では、36%の注入率を計画しており、下図によると、注入後の地盤の透水係数は、 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/sec}$ 程度になると想定され、周辺の中粒砂岩層の透水係数と大きく変わらない。

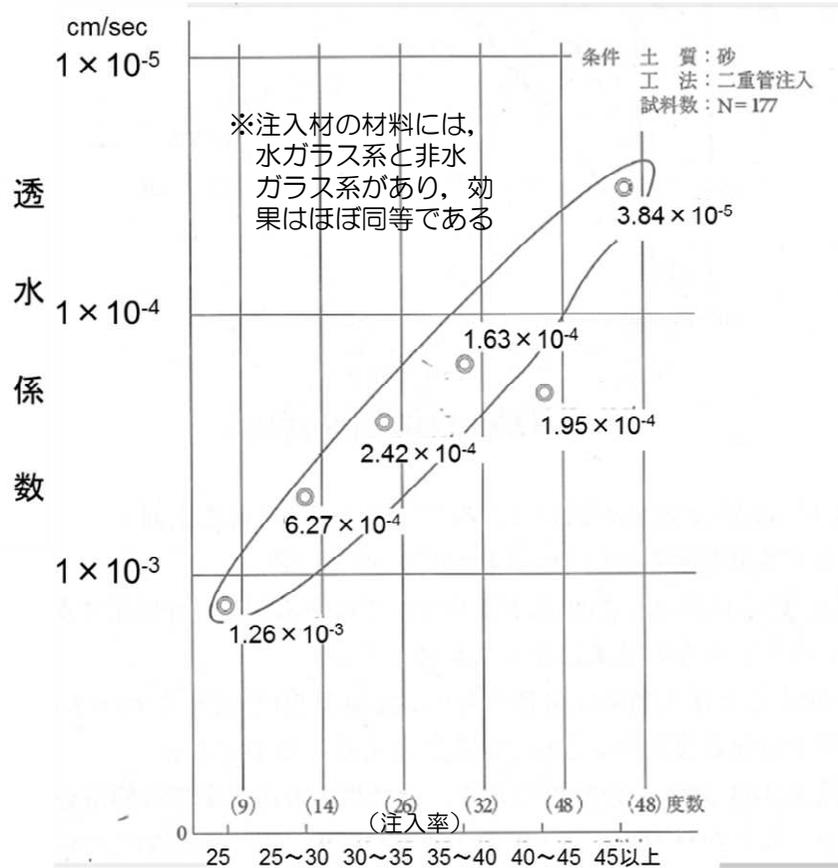
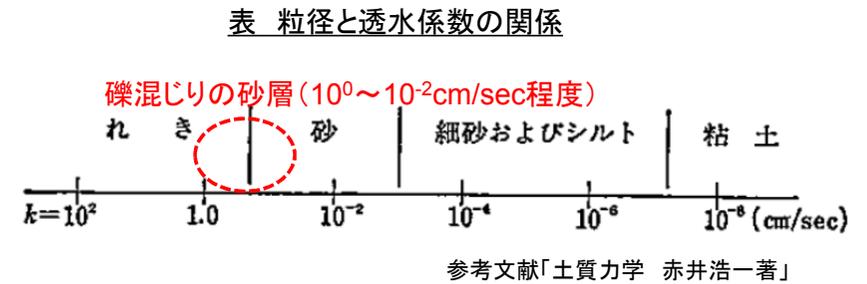


図 注入率と改良効果、透水係数との関係



参考文献 「新訂 正しい薬液注入工法 -この一冊ですべてがわかる-」
社団法人日本グラウト協会 編

補助工法による凍結促進(3/3)

■ 注入材の材料

- 注入材の材料には、水ガラス系と非水ガラス系があり、ともに施工性、効果はほぼ同等であるが、融解後の地下水環境に配慮し、融解後も地盤に悪影響を及ぼさない非水ガラス系を選定する。

	水ガラス系（無機溶液型）	非水ガラス系（セメント型）
ゲルタイム※ ¹ (0℃)	22秒	22秒
融解時の 地盤特性	融解時に地盤の構造変化や強度低下を引き起こす可能性がある※ ²	セメント系であるため地盤特性に大きな変化はない

※¹ 注入材が流動性を失い、粘性が急激に増加するまでの時間

※² 参考文献 「水ガラス系注入材のゲルの状態と注入固結砂の凍結特性」 土木学会論文集 No.585/V-38,3-9,1998.2

補助工法の実績（1号機北側）

■実施内容

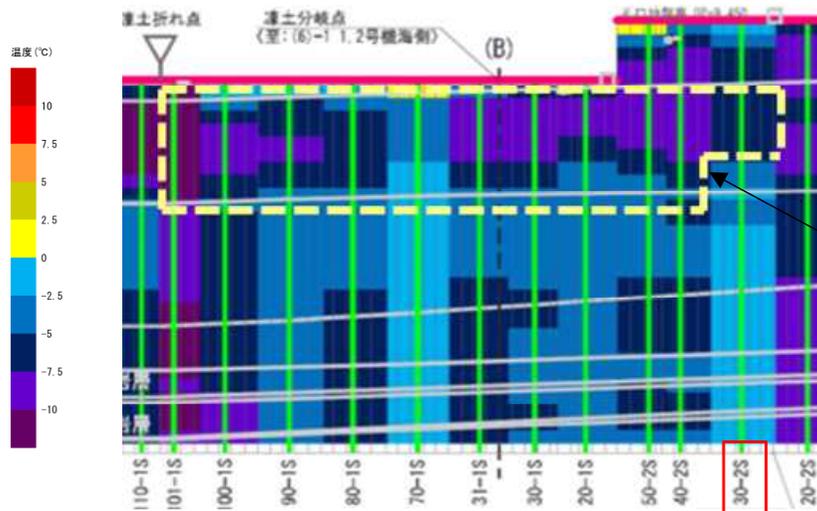
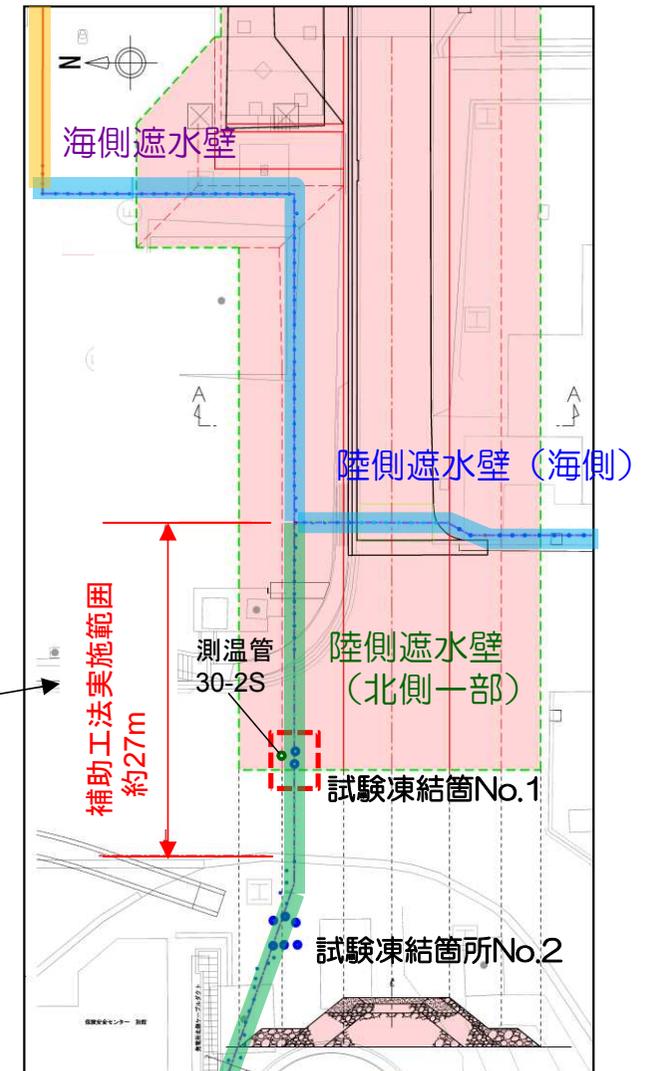
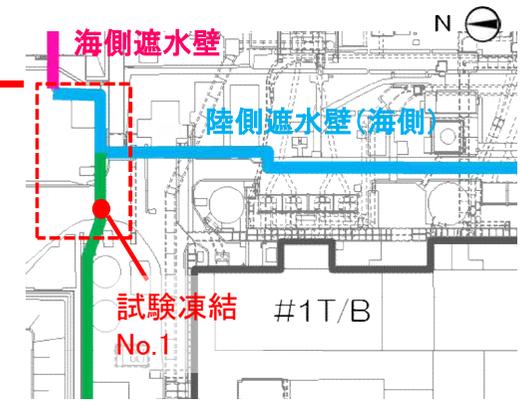
- 試験凍結時に地中温度低下の遅れ（測温管30-2S）が認められた箇所で、礫混じりの砂が確認されており、地盤中に注入材を注入した。

■施工概要

- 実施範囲 延長：約27m（注入箇所 27箇所）
深度：O.P.-5.2m～O.P.+3.8m
- 実績注入率：最大35%

■効果

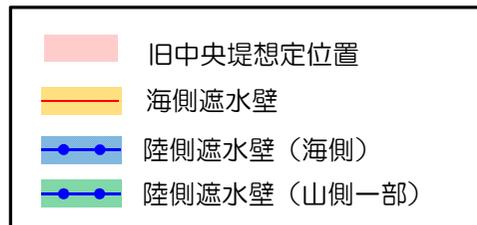
- 注入材を注入した範囲において温度低下の遅れは見られず、試験凍結時に温度低下の遅れが見られた測温管30-2Sも、周辺地盤と同様に凍結が進行していることを確認している。



(2016年5月31日 7:00データ)

試験凍結時に温度低下の遅れが見られた測温管30-2Sに、遅れは見られてない

補助工法を実施した範囲



まとめ（4m盤への地下水流入抑制対策）

- 4m盤への地下水流入抑制対策として、1号機北側・東側、4号機南側の一部で温度低下が遅れている箇所について、補助工法を実施する。その他の箇所についても、温度低下傾向を確認して、状況に応じて対策を実施する。
- 補助工法は温度低下が遅れている箇所の透水性を周辺地盤と同程度に近づけ、凍結を促進することを目的としている。従って、補助工法を実施することで凍土方式の壁と異なる壁を構築するものではなく、将来、陸側遮水壁を融解した際にも周辺地盤と同程度の透水性が残る程度である。

【参考1】 第一段階フェーズ1凍結開始後の
地中温度低下状況・陸側遮水壁（海側）の遮水効果発現開始の状況
（補足資料）

【凍結進展状況】 温度低下状況（フェーズ1凍結箇所 全体概要）

- ◆ #1北側，#1,2東側，#3,4東側，#4南側のうち，フェーズ1にて全面凍結をしている箇所に関しては，5/31時点で約97%の温度計測箇所で0℃以下を示している。

【前回報告時(4/25 第42回 特定原子力施設監視評価検討会)】

4/19 7:00	(1)1号機北側	(4)4号機南側	(5)3,4号機海側	(6)1,2号機海側	合計
計測箇所数	1,056	1,168	1,724	1,837	5,785
10℃以上	0.7%	2.0%	0.2%	1.9%	1.2%
7.5℃～10℃	2.3%	6.7%	4.4%	9.1%	5.6%
5℃～7.5℃	21.8%	12.9%	17.2%	24.9%	19.2%
2.5℃～5℃	29.0%	23.6%	34.1%	33.0%	29.9%
0℃～2.5℃	24.9%	30.7%	25.8%	18.7%	25.0%
0℃以下	21.2%	24.1%	18.3%	12.4%	19.0%

5/31 7:00	(1)1号機北側	(4)4号機南側	(5)3,4号機海側	(6)1,2号機海側	合計
計測箇所数	1,056	1,168	1,724	1,837	5,785
10℃以上	0.2%	0.4%	0.0%	0.4%	0.2%
7.5℃～10℃	0.2%	0.4%	0.0%	0.3%	0.2%
5℃～7.5℃	0.2%	0.5%	0.0%	0.7%	0.3%
2.5℃～5℃	0.1%	0.7%	0.2%	1.5%	0.6%
0℃～2.5℃	1.0%	1.9%	1.9%	2.7%	1.9%
0℃以下	98.3%	96.1%	97.9%	94.5%	96.7%

凍結管との離隔と地中温度低下の関係

- 凍結運転開始（3月31日）後の、凍結管の上流側に位置した測温管の地中温度と凍結管との離隔の関係※1を下図に示す。
- 温度低下量は凍結管～測温管距離に応じて分布し、凍結管の近傍ほど温度が大きい。
- 陸側遮水壁（海側）の凍結管は、約1.2m間隔で設置されているため、凍結管から約0.6mの範囲が凍結すれば、隣接する凍土柱が接触する。
- そこで、凍結管間の凍土柱の接触時期を評価するため、経過日数ごとに、凍結管との離隔と地中温度の関係から近似曲線を作成して、凍結管との距離約0.6mで0℃になる時期を調べた。その結果、中粒砂岩層では4月21日、互層部では4月20日となった。なお、この時の海側の基本配置である測温管と凍結管との離隔約1mでの地中温度は、中粒砂岩層で約5℃、互層部で約7℃であった。
- 上記より、陸側遮水壁（海側）では、中粒砂岩層では4月21日頃、互層部では4月20日頃には、平均的に凍結管間の凍土柱が接触したものと考えられる。

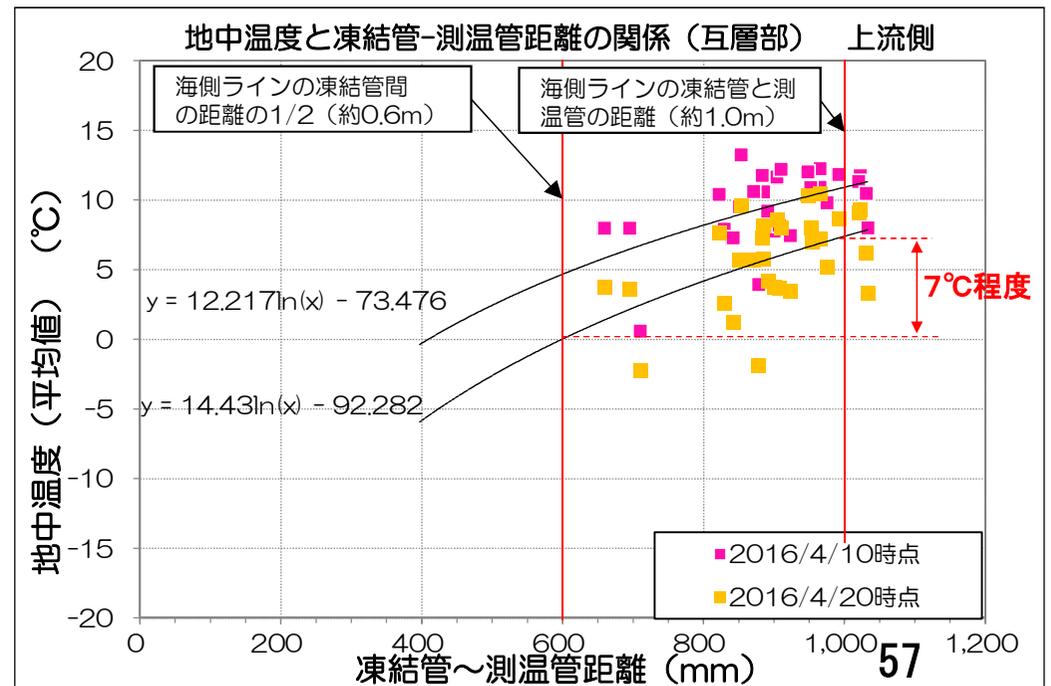
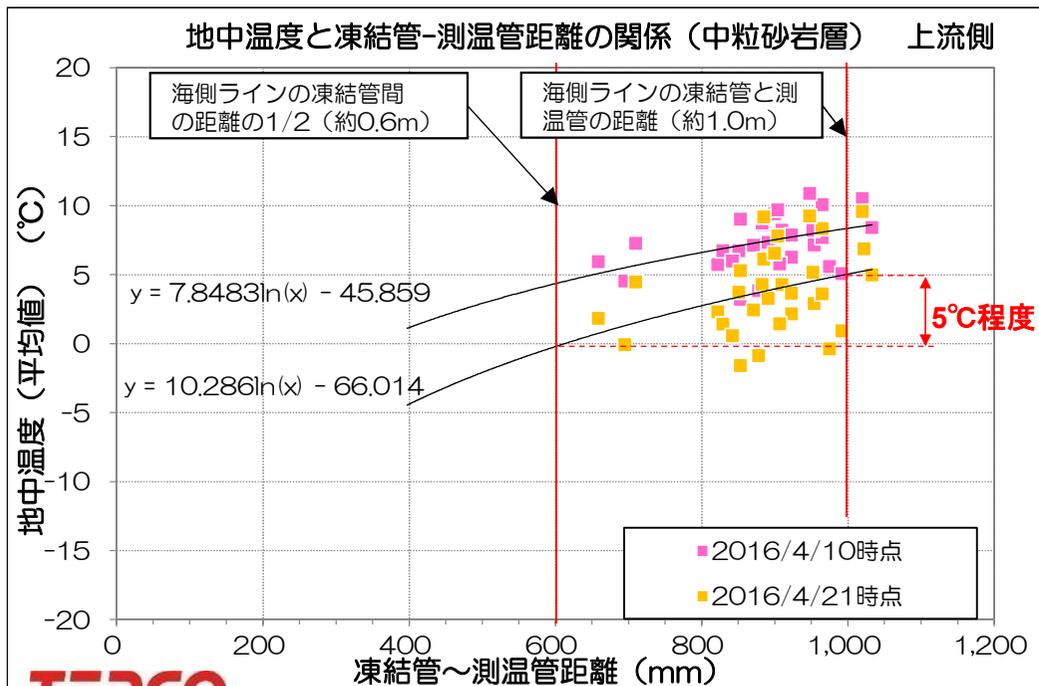
※1 測温管データは以下を考慮して選定した。

① 陸側遮水壁全体から、凍結管と測温管の位置関係が、標準的な配列となっている箇所を選定（20箇所）

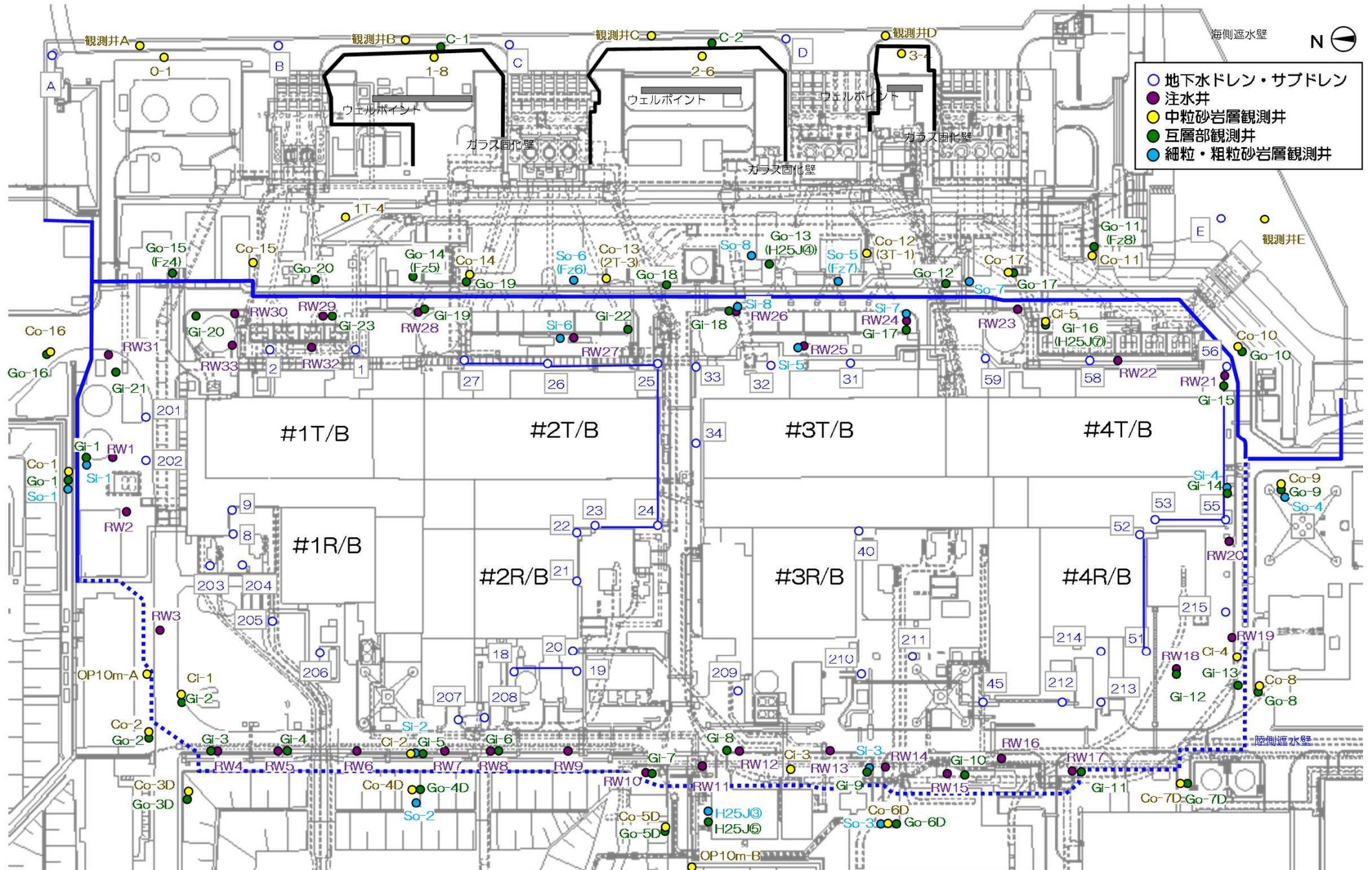
② 凍結管との距離のバラツキを考慮するため、測温管と凍結管距離が850mm以下の箇所と1,050mm以上の箇所を追加（66箇所）

③ ①②（86箇所）のうち、フェーズ1での凍結対象の凍結管近傍で、かつ、測温管位置が凍結管の上流側に位置する箇所を選定（32箇所）

※2 近似曲線 $\theta = A \ln(r) + B$ (A, B: 定数) (戸部・秋元) r: 凍結管中心からの距離, θ : 距離 r の位置における地中温度)

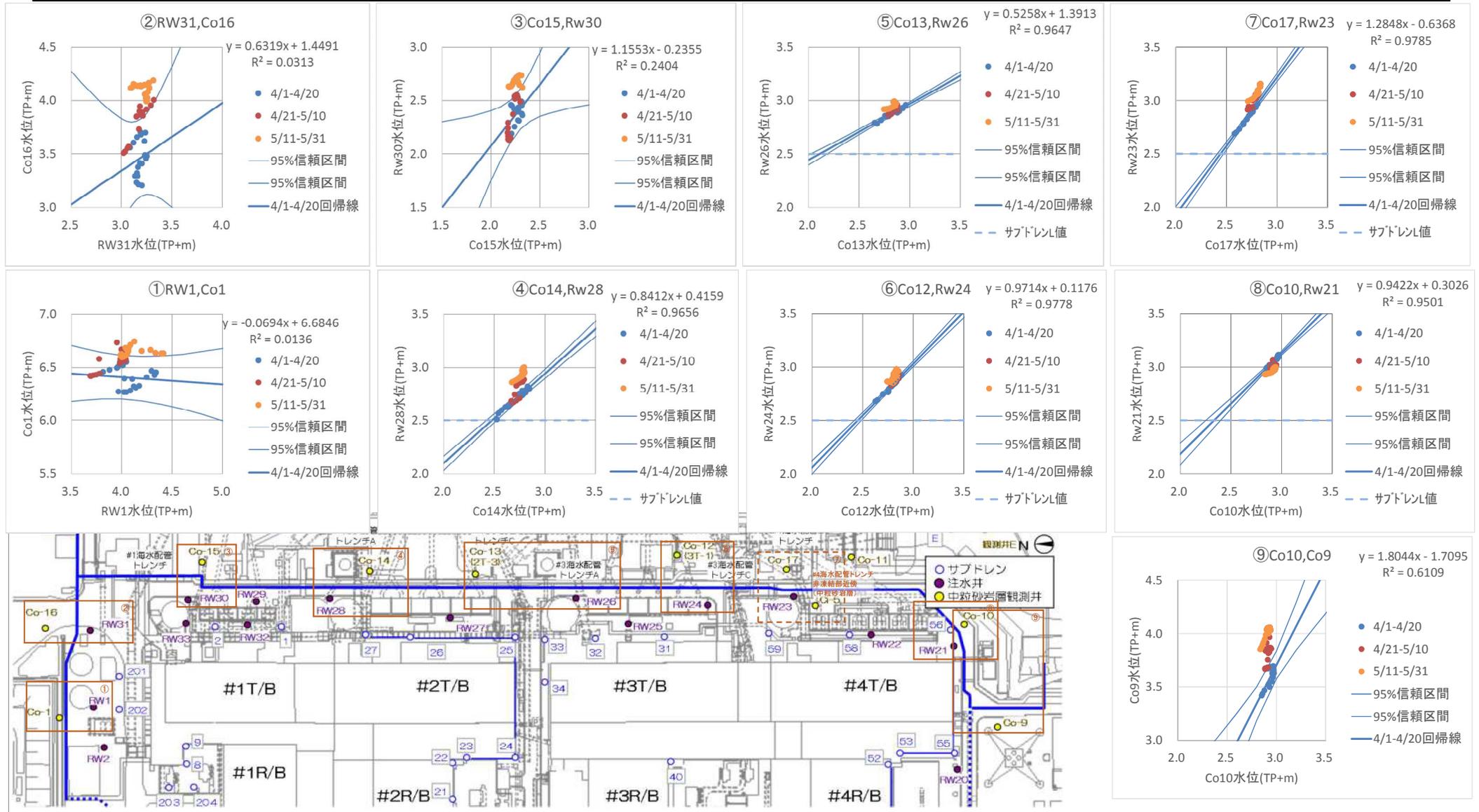


【参考】地下水位観測井位置図（2016年6月現在）



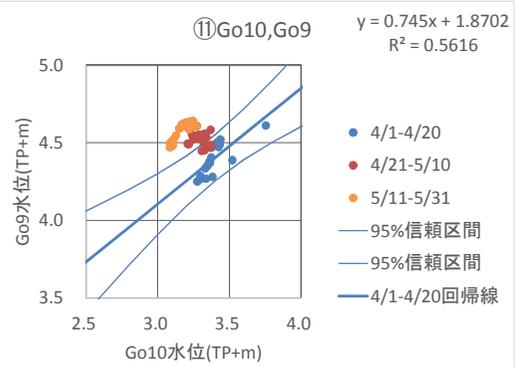
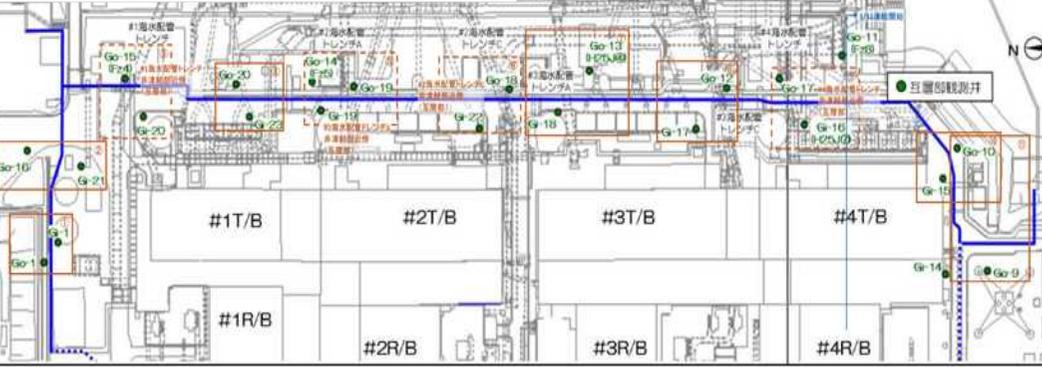
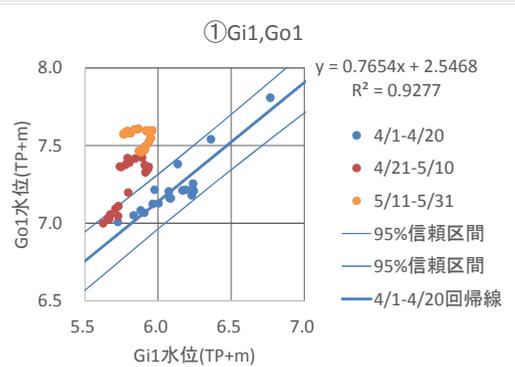
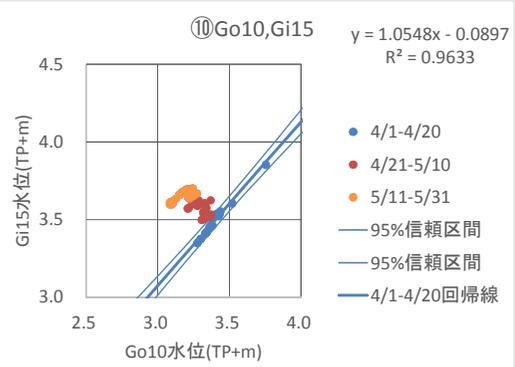
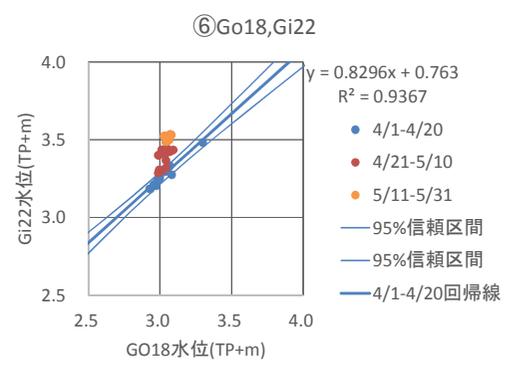
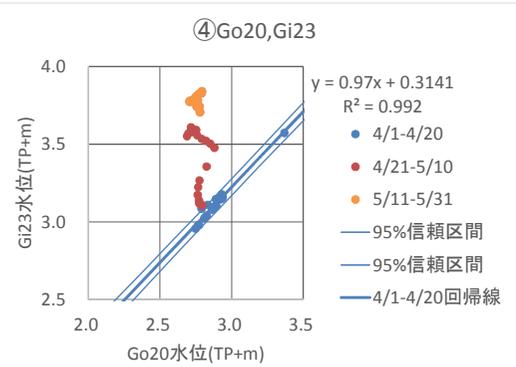
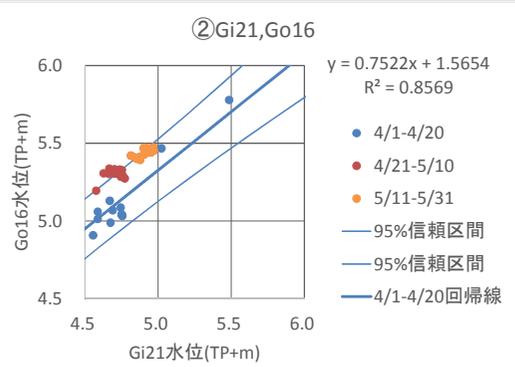
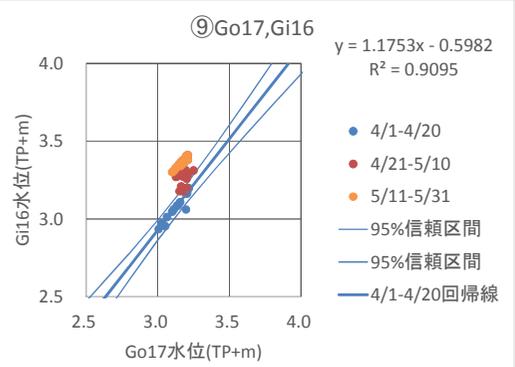
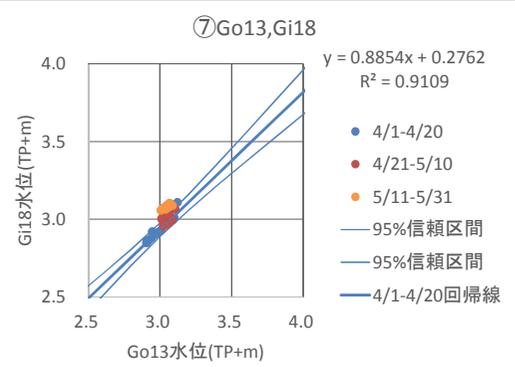
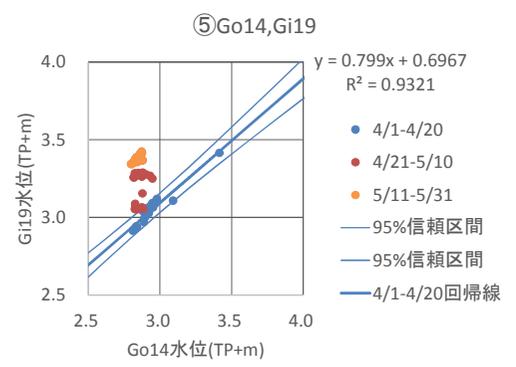
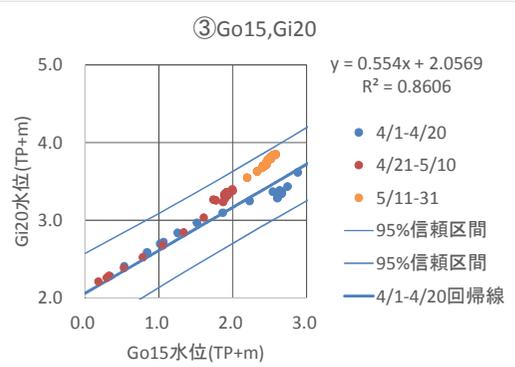
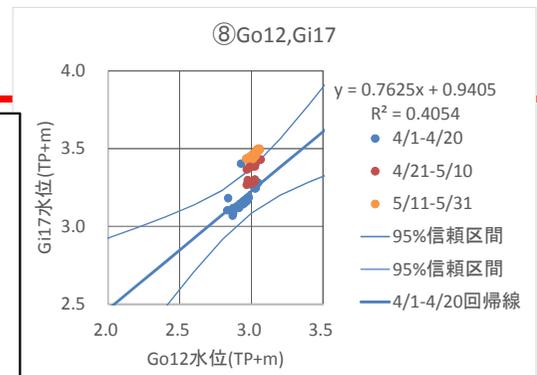
凍結進展に伴う陸側遮水壁（海側）内外の観測井水位の相関関係の変化（中粒砂岩層）

- ◆ フェーズ1凍結開始後の「陸側遮水壁内外の中粒砂岩層水位」間の相関関係について分析した。
- ◆ 凍結開始直後に対して、至近においては下記に示す有意な差が見られる。
 - 1号機北側（①・②）は陸側遮水壁（北側）の外側が高い傾向となった。
 - 建屋海側（③～⑦・⑨）は陸側遮水壁（海側）の上流（西）側が高い傾向となった。



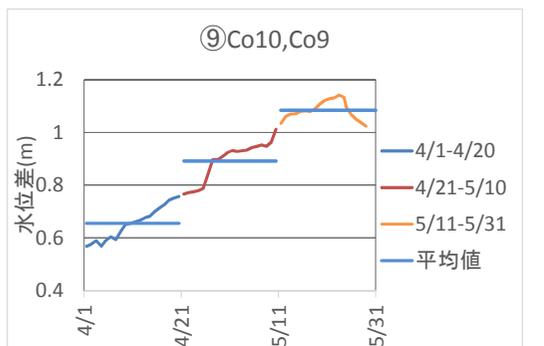
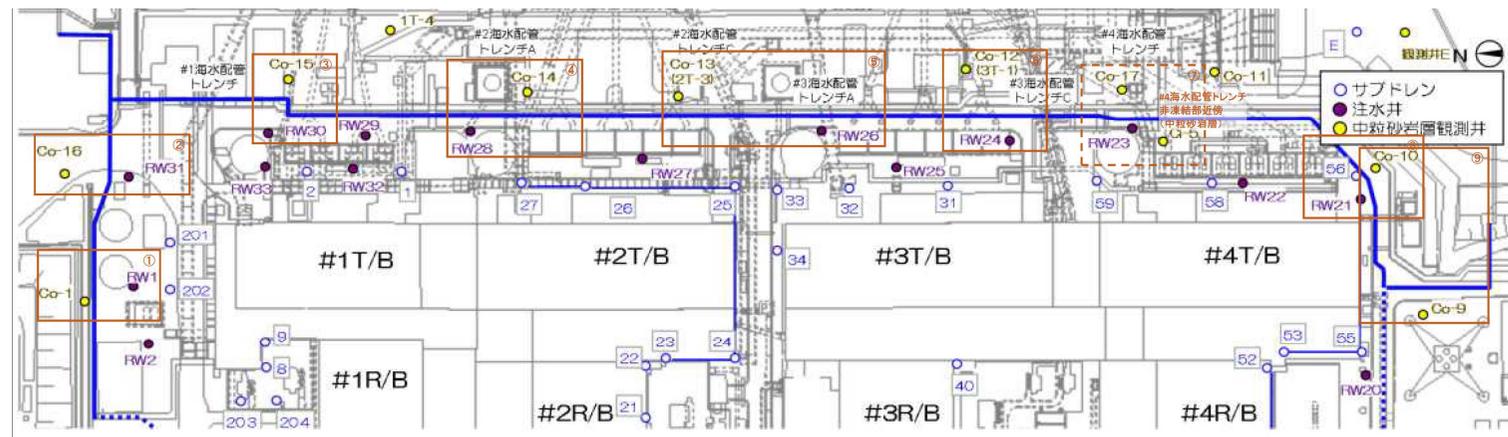
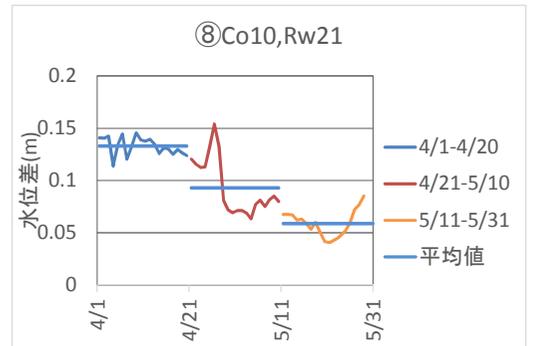
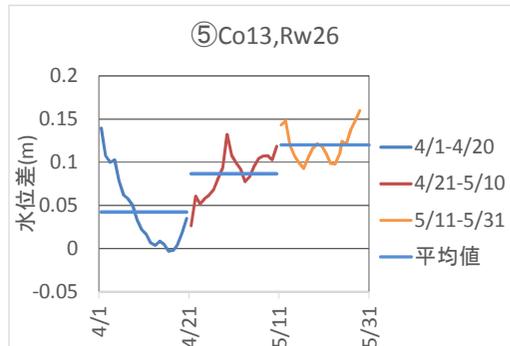
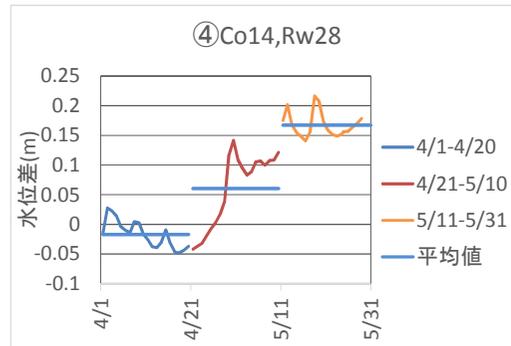
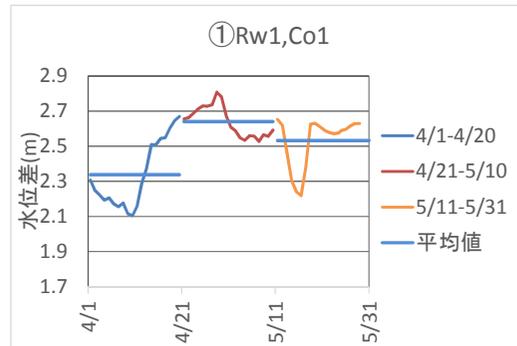
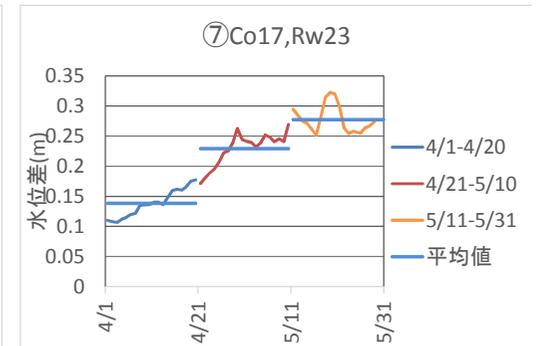
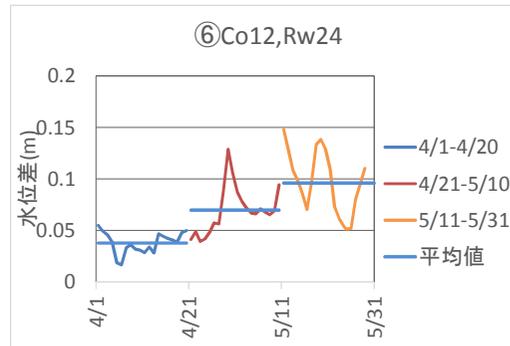
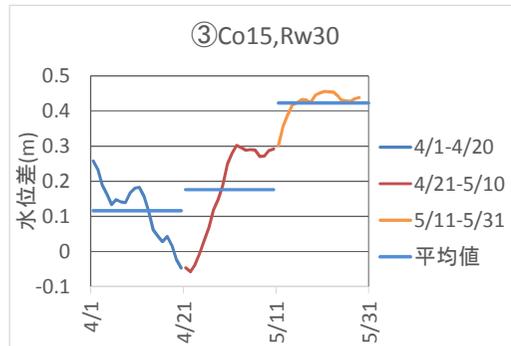
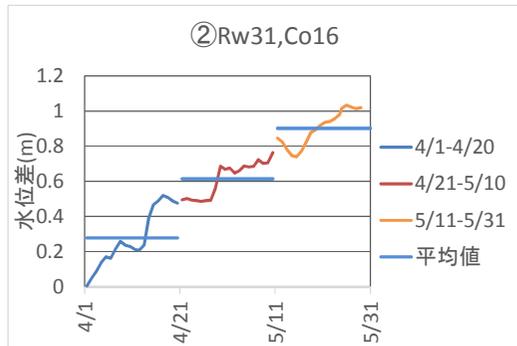
凍結進展に伴う陸側遮水壁（海側）内外の水頭の相関関係の変化 （互層部）

- ◆ フェーズ1凍結開始後の「陸側遮水壁内外の互層部水頭」間の相関関係について分析した。
- ◆ 凍結開始直後に対して、至近においては下記に示す有意な差が見られる。
 - 1号機北側（①・②）は陸側遮水壁（北側）の外側が高い傾向となった。
 - 建屋海側（③～⑪）は陸側遮水壁（海側）の上流（西）側が高い傾向となった。



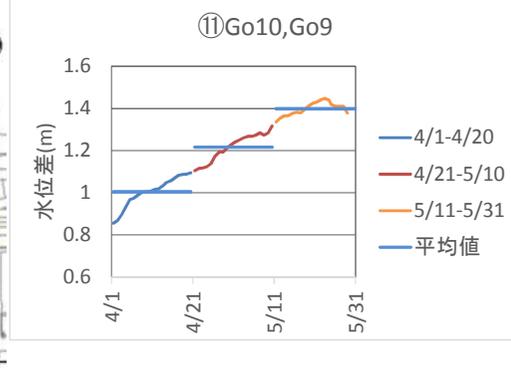
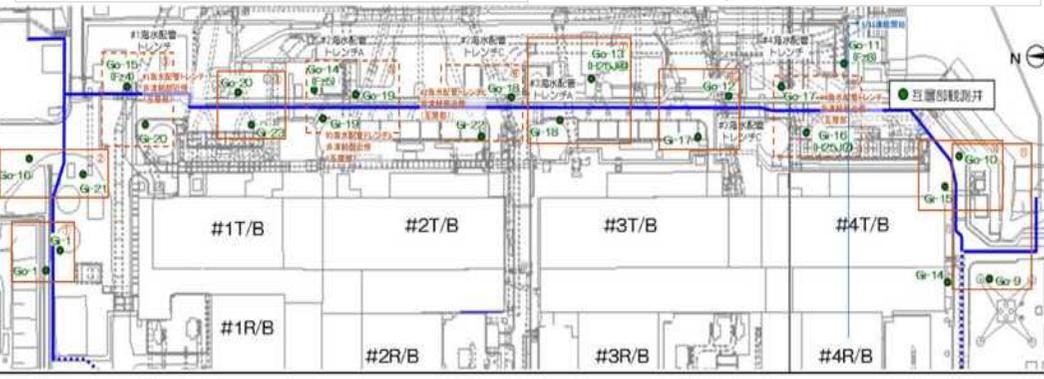
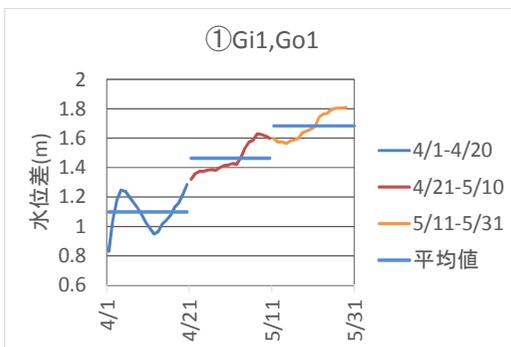
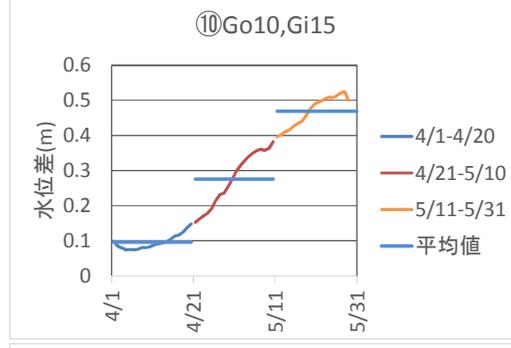
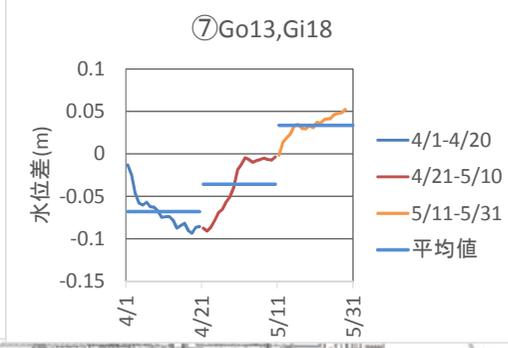
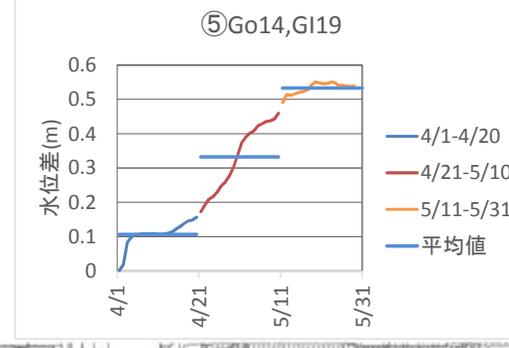
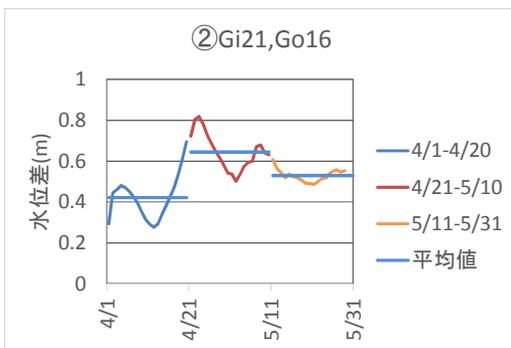
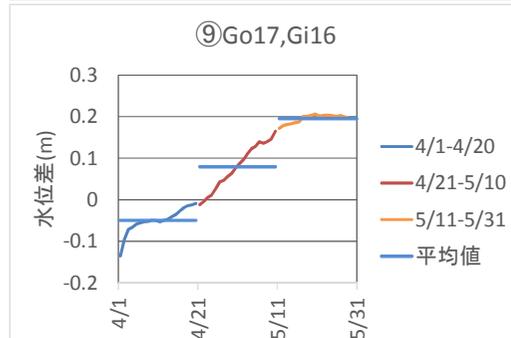
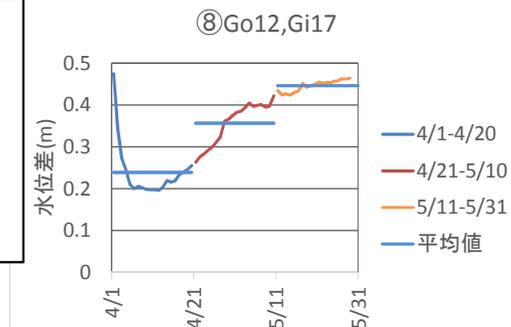
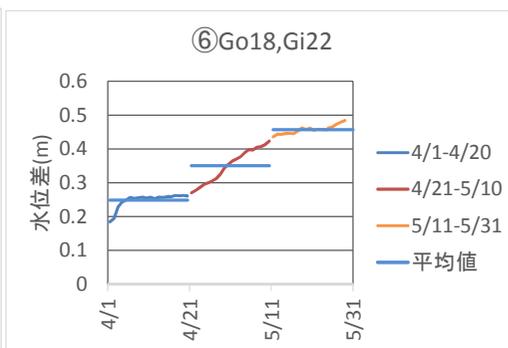
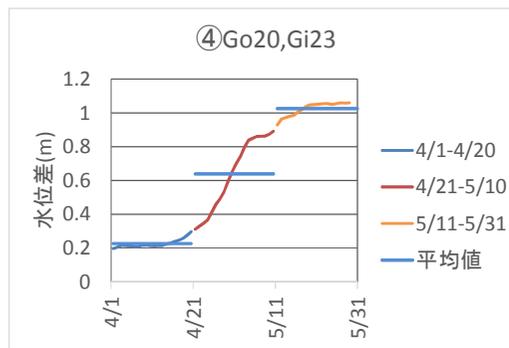
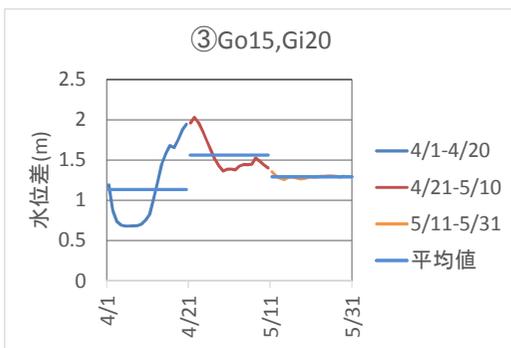
凍結進展に伴う陸側遮水壁（海側）内外の水位差の平均値の推移（中粒砂岩層）

- ◆ フェーズ1凍結開始後の「陸側遮水壁（海側）内外の中粒砂岩層水位差」について20日間毎の平均の推移について整理した。
- ◆ 1号機北側（①・②）は陸側遮水壁（北側）の外側が徐々に高くなると傾向が見られる。
- ◆ 建屋海側（③～⑦・⑨）は陸側遮水壁（海側）の上流（西）側が徐々に高くなる傾向が見られる



凍結進展に伴う陸側遮水壁（海側）内外の水頭差の平均値の推移 （互層部）

- ◆ フェーズ1凍結開始後の「陸側遮水壁（海側）内外の互層部水頭差」について20日間毎の平均の推移について整理した。
- ◆ 1号機北側（①・②）は陸側遮水壁（北側）の外側が徐々に高くなると傾向が見られる。
- ◆ 建屋海側（③～⑪）は陸側遮水壁（海側）の上流（西）側が徐々に高くなる傾向が見られる。



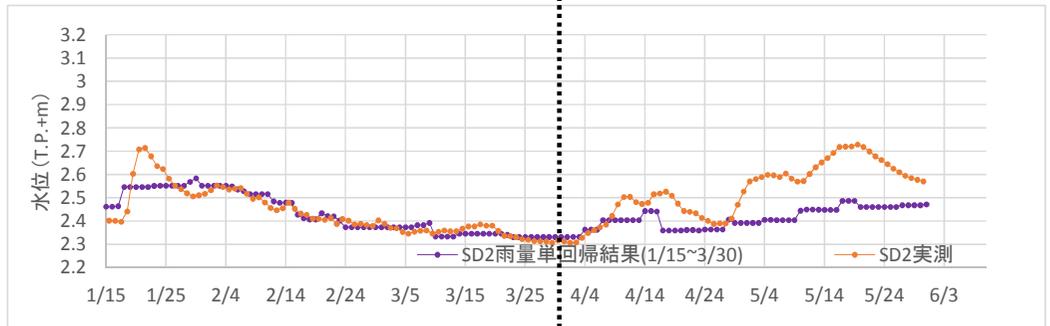
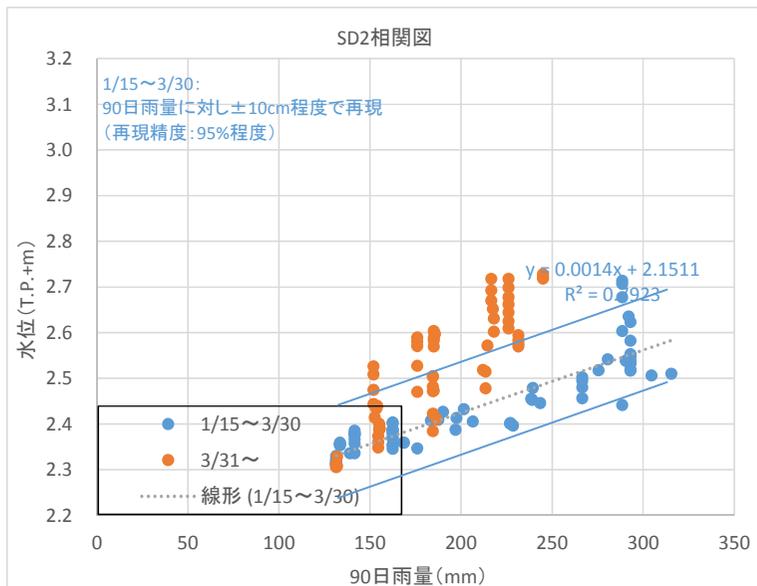
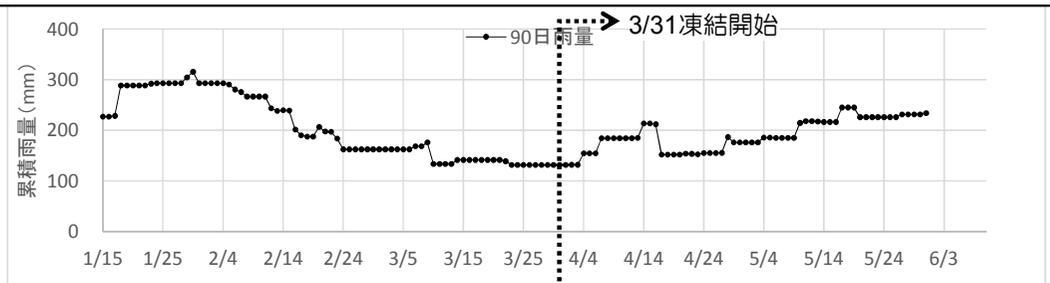
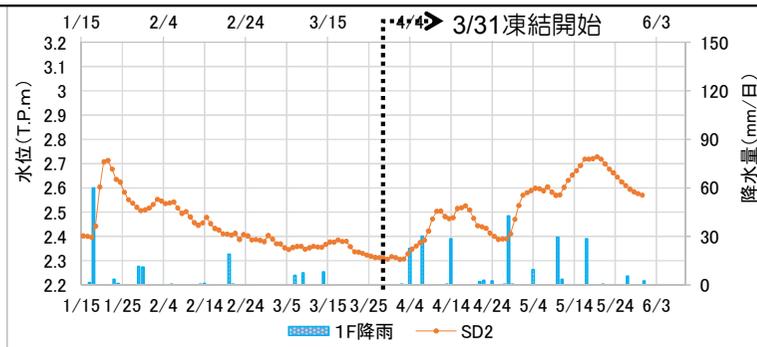
陸側遮水壁（海側）の上・下流の中粒砂岩層の水位変動の評価

- 中粒砂岩層水位について、降雨影響を考慮して、凍結開始後の変動傾向を評価した。

【評価方法】

- 1/15※~3/30の地下水位と前日までの期間雨量との相関から、地下水位と最も相関の高い累積降雨日数を選定する。
- 相関図より、全体分布の内、残差（実測値-単回帰結果）を包絡する範囲が95%程度となることを目安として単回帰分析の再現精度を設定する。
- 上記により、降雨の影響を考慮した地下水位の変動幅を評価し、上・下流側の地下水位の変動を評価する。

※ 1/14より海側サブドレンの設定水位を現状と同程度（T.P.+2.5m程度）としたことより設定



例) SD2

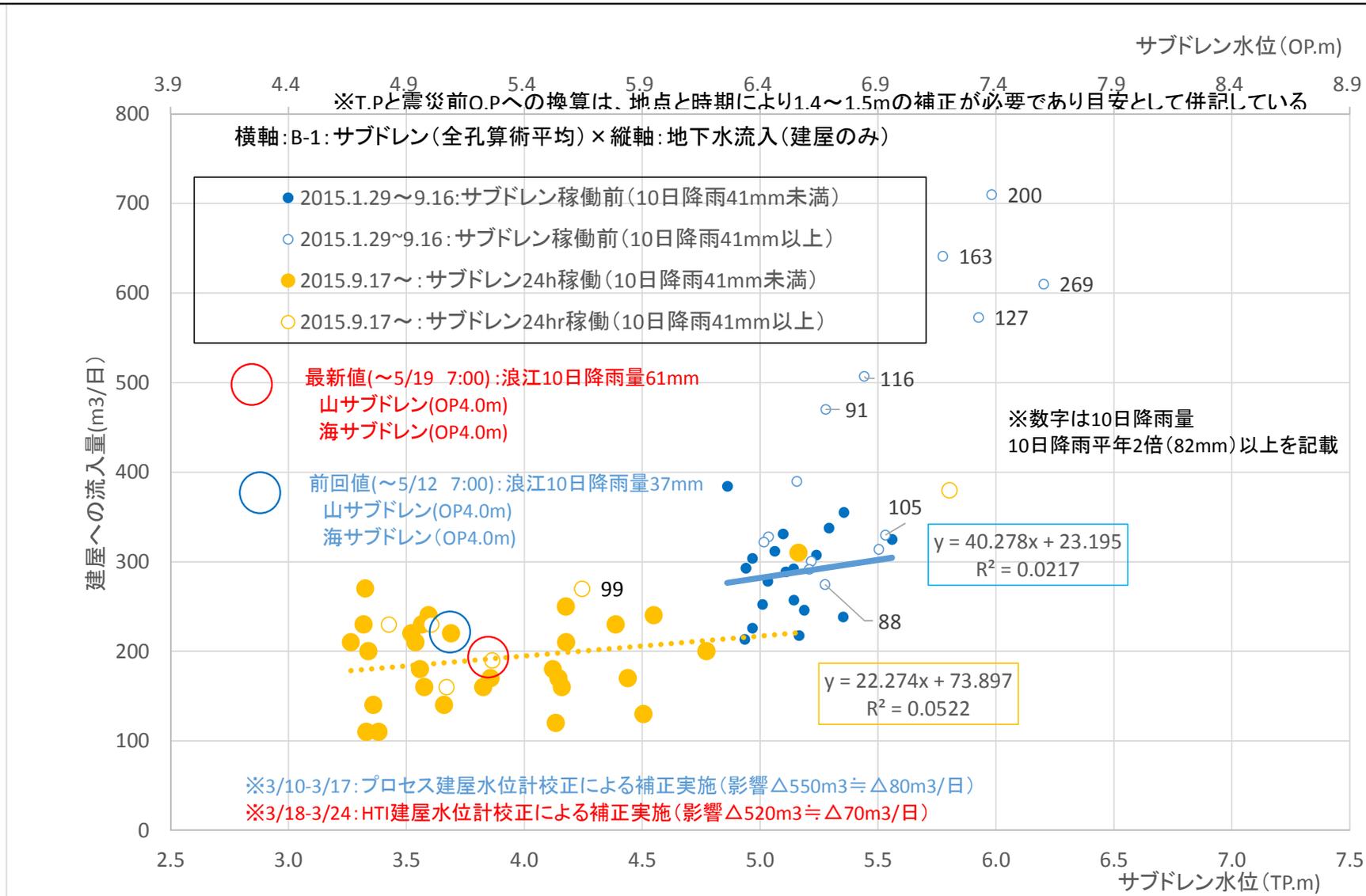
上流側の水位上昇の評価の例

↑↓ : 地下水位と90日雨量の相関関係から得られた再現精度の幅

※ 24時間平均データを使用した。ただし、注水井からの注水を実施した日等は除く。

【参考】建屋への地下水流入量の評価

- フェーズ1凍結開始直後の中粒砂岩層の地下水位上昇，および，サブドレンの点検・清掃等による運転停止頻度が上がっており，それらが要因となってサブドレンの平均水位が上昇している。
- 建屋への地下水流入量は200m³/日前後で推移している。



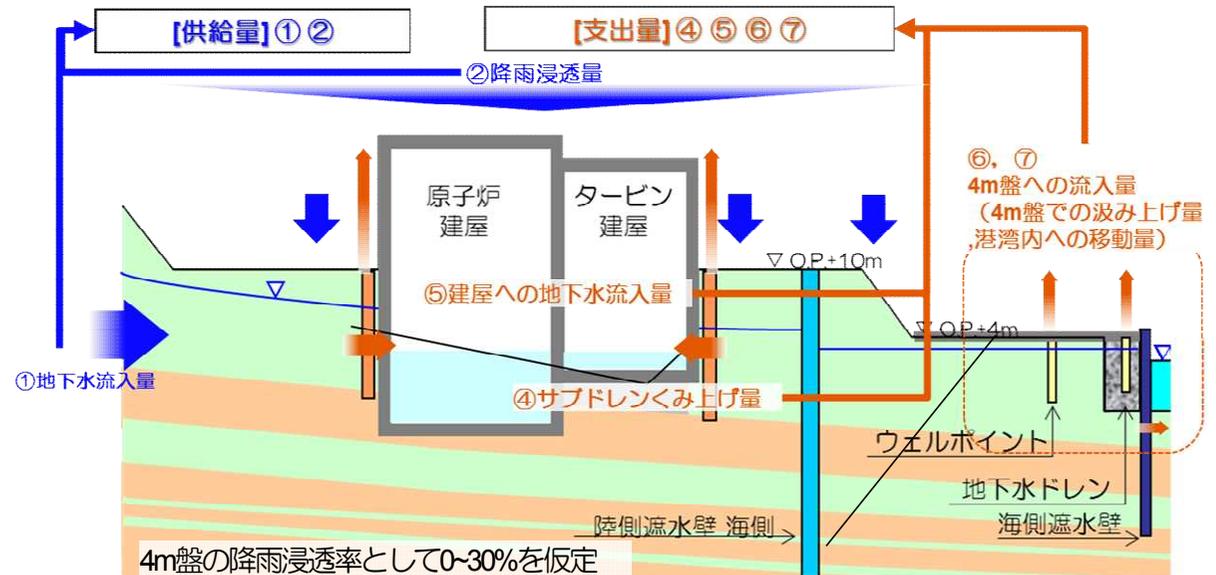
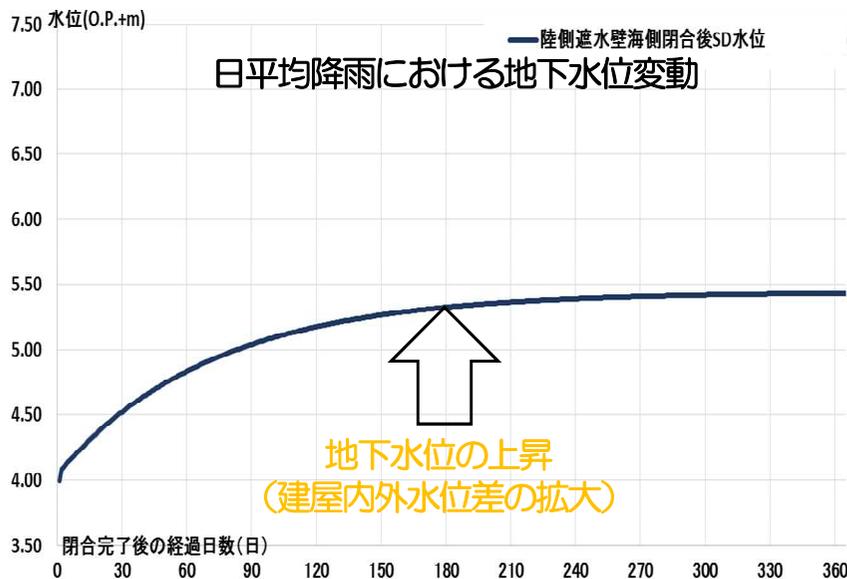
サブドレン水位と建屋への地下水流入量の相関

- 陸側遮水壁海側の閉合に伴い、4m盤への地下水の移動がせき止められることにより（南北方向への移動は見込まない）、建屋周辺地下水位（サブドレン水位）が上昇（下表(a)）し、建屋内外水位の逆転が起こりやすくなる。
- しかし、懸念として下記事項が挙げられる。
 - サブドレンの汲み上げ量増加による水処理二次廃棄物発生量が増加する（下表(b)）
 - サブドレン他処理水の港湾内への排水量が増加する（下表(b)）
 - 建屋周辺地下水位の上昇に伴い、建屋への地下水流入量が増加する（下表(a),(c)）

地下水供給遮断率	地下水供給量 (m3/日) ①	降雨浸透量 (m3/日) ②	供給量計 (m3/日) ③=①+②	SD水位 (O.P.+m)	SD汲み上げ量 (m3/日) ④	建屋流入量 (m3/日) ⑤	4m盤汲み上げ量 ^{※2} (m3/日) ⑥	港湾内への移動量 (m3/日) ⑦	支出量計 (m3/日) ⑧=Σ④~⑦	汚染水増加量 (m3/日) ⑨=⑤+(⑥-⑧) (⑥-⑧<0なら⑤のみ)
現状(平均降雨)	860	190	1050	5.0	420	190	410	30	1050	550
海側閉合(平均降雨)	860~800	190~250	1050	5.4(a)	700(b)	220(c)	100~160	30	1050	270~330

※1 供給量は至近のデータに基づき更新（P43にて後述）

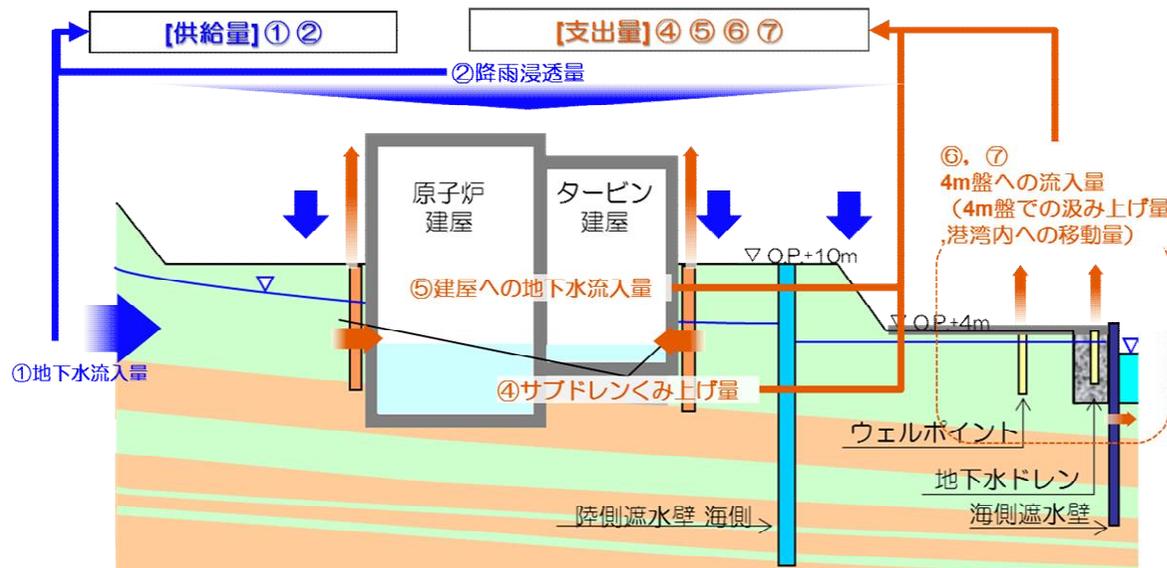
※2 うち50m³はサブドレンとともに排水と仮定



【参考】陸側遮水壁の段階的閉合における地下水収支

地下水遮断率	地下水流入量 (m ³ /日) ①	降雨浸透量 (m ³ /日) ②	供給量計 (m ³ /日) ③=①+②	SD水位 (OP.+m)	SD汲み上げ量 (m ³ /日) ④	建屋流入量 (m ³ /日) ⑤	4m盤汲み上げ量 (m ³ /日) ⑥	港湾内への移動量 (m ³ /日) ⑦	支出量計 (m ³ /日) ⑧= Σ④~⑦
2015.11.7~ 2016.1.7(実績)	初期値として下記を計算 860	190	1050	L 値 5.0	420	190	410	30	1050
海側閉合 (平均降雨)	860	190 (250)	1050 (1110)	平均 5.4	700	220	100 (160)	30	1050 (1110)
50%(最小降雨)	430	100 (130)	530 (560)	平均 4.0	370	90	40 (70)	30	530 (560)
90%(最小降雨)	90	100 (130)	190 (220)	平均 4.0	30	90	40 (70)	30	190 (220)
100%(最小降雨)	0	100 (130)	100 (130)	平均 3.5	0	50	20 (50)	30	100 (130)

4m盤のフェーシングエリアにおける降雨浸透率は0%と仮定、()内の数字は降雨浸透率を30%とした場合の参考値

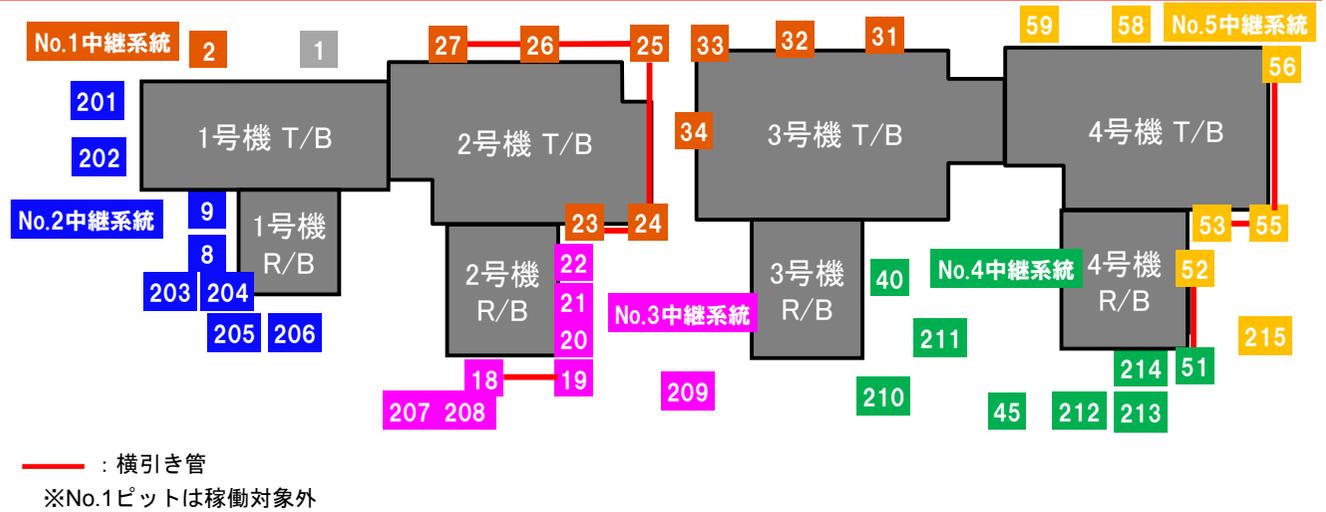


地下水収支概要

上表の下段4行は、地下水収支計算による評価値であり、陸側遮水壁運用開始後においても、実態を把握していく。

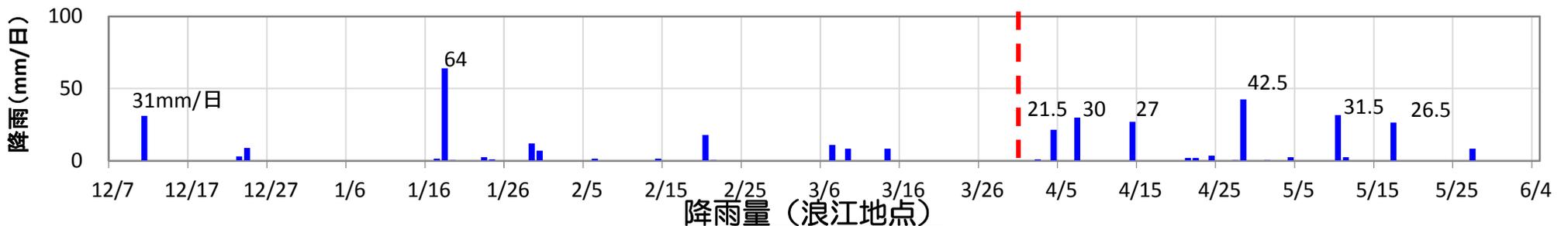
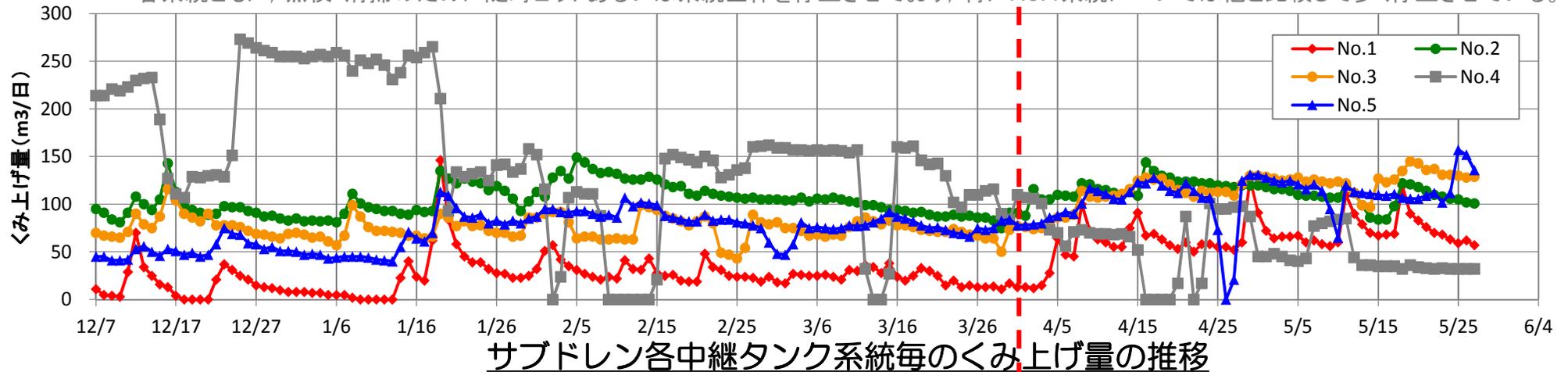
【参考】凍結運転開始以降の各中継タンク毎のサブドレンくみ上げ量について

- 陸側遮水壁（海側）の遮水性発現の影響を受けて、建屋海側サブドレン（No.1・5系統）の汲み上げ量が増加するものと想定される。
- ついてはそれらの系統のくみ上げ量について降雨影響を考慮した分析を実施し、次頁以降に示す。
- 評価期間はサブドレン稼働下限水位の設定がT.P.+2.5~3mとなっている1月14日以降とした。

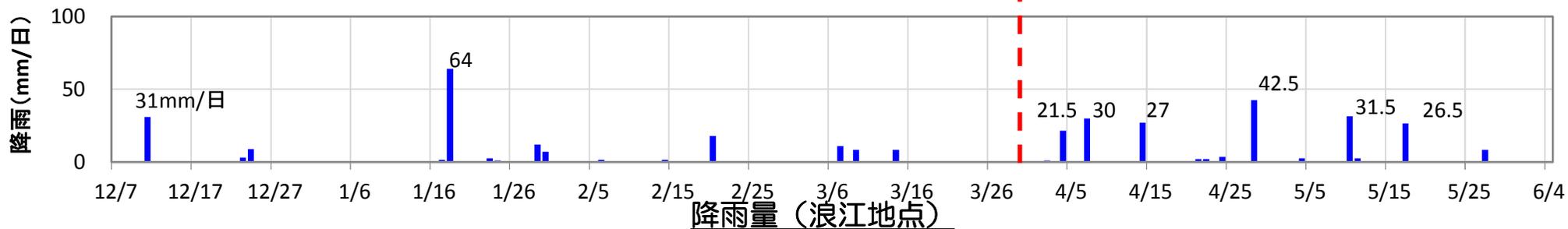
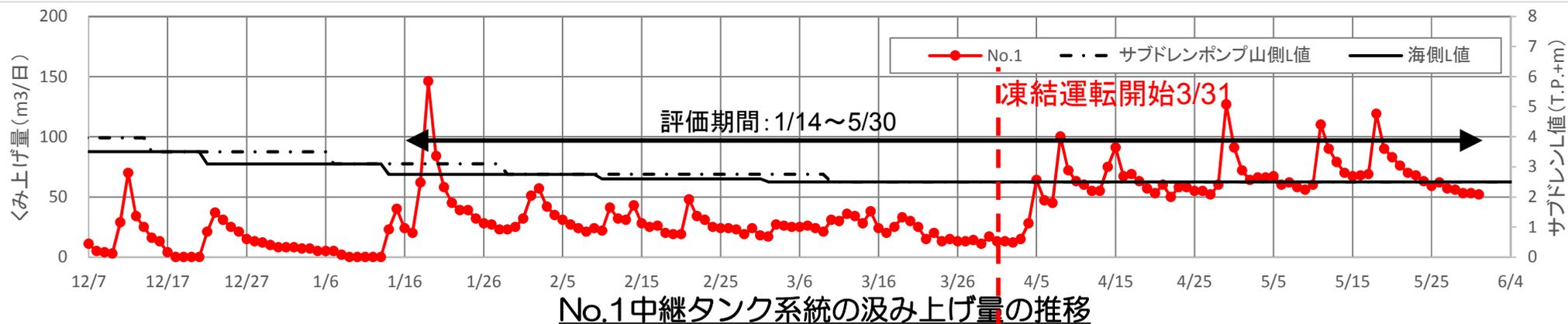


▽凍結運転開始3/31

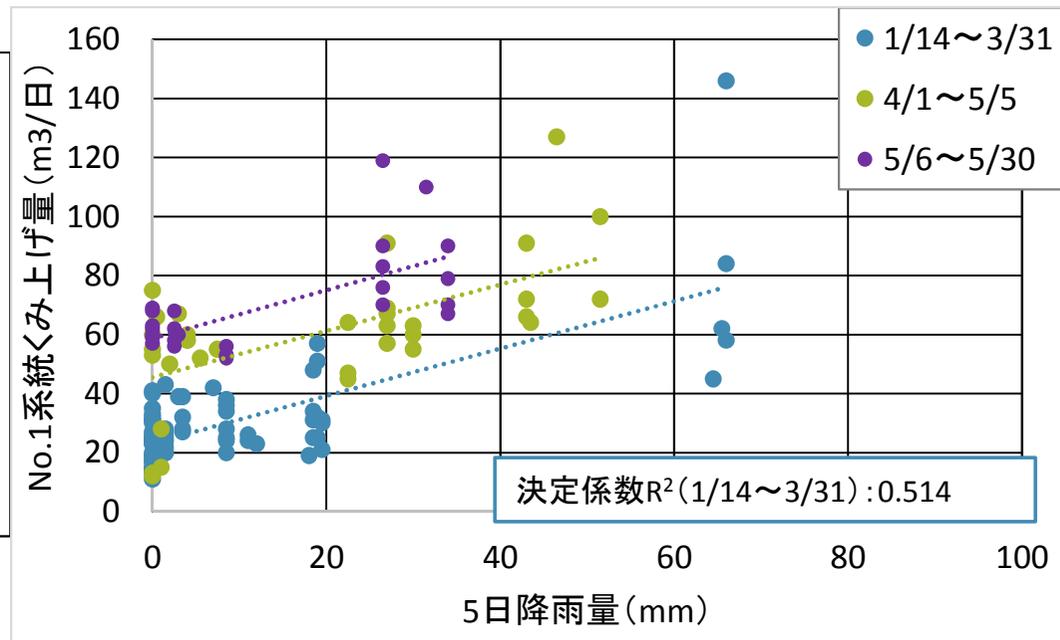
各系統ともに、点検・清掃のために随時ピットあるいは系統全体を停止させており、特にNo.4系統については他と比較して多く停止させている。



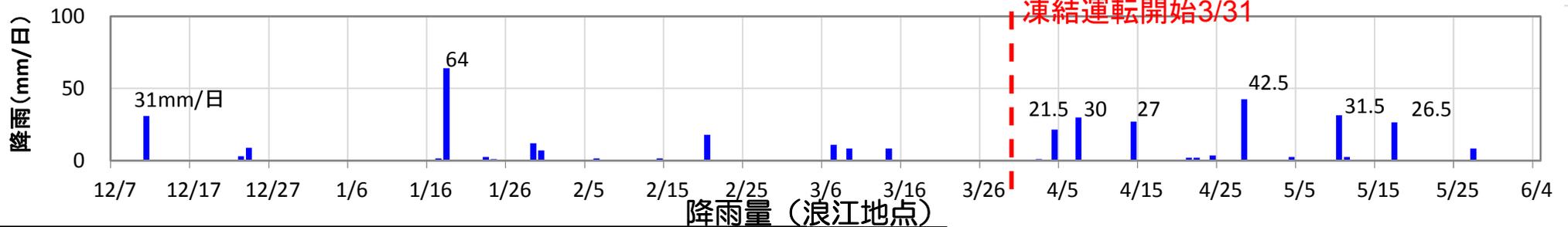
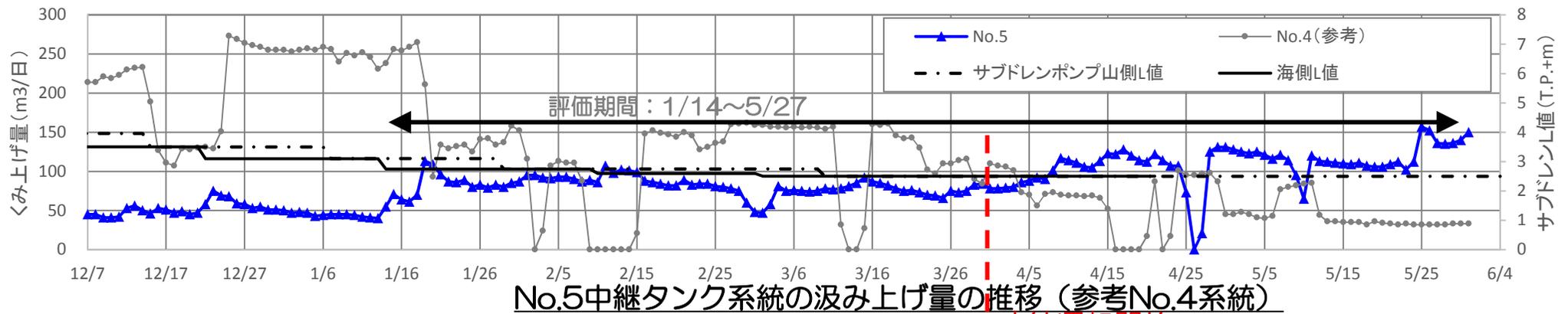
【参考】サブドレンNo.1中継タンク系統くみ上げ量の分析



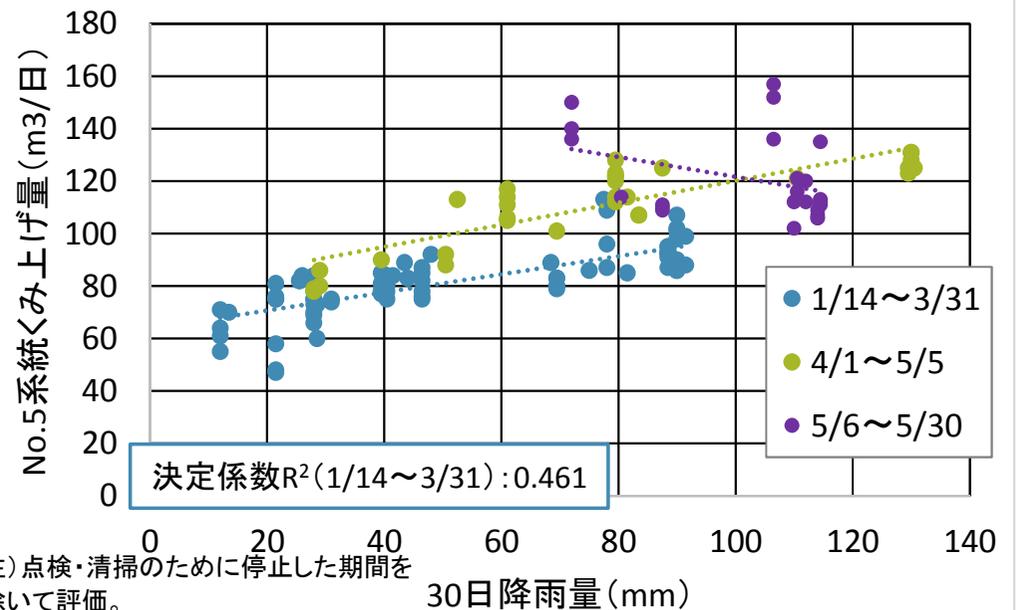
- くみ上げ量と降雨量の相関を分析し、最も決定係数の大きい前日までの5日降雨量で評価した。
- 凍結運転開始(3/31)以降、くみ上げ量が増加していたが、更に、最近、汲み上げ量が増えている状況が確認出来る。
- この現象から、凍結運転開始後当初の中粒砂岩層の水位上昇によって汲み上げ量が多い状況が継続していたが、更に、陸側遮水壁(海側)の遮水性発現により汲み上げ量が増加したと考えられる。



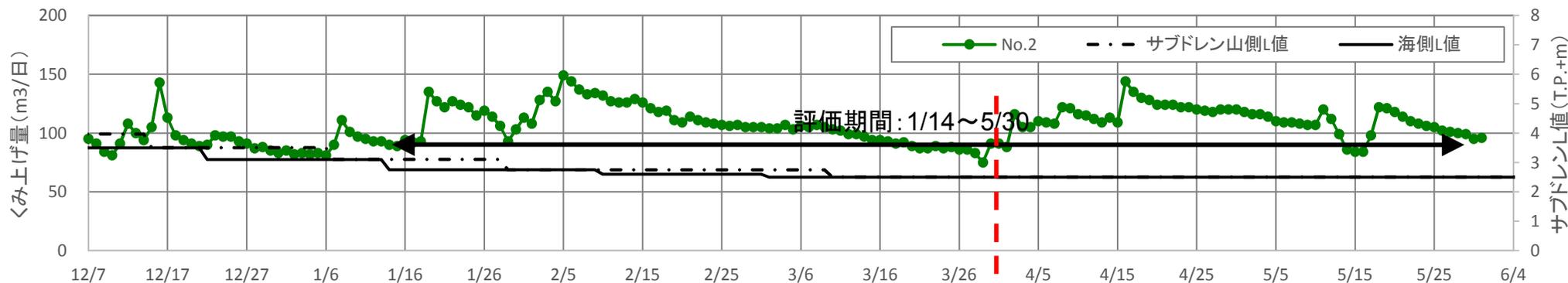
【参考】サブドレンNo.5中継タンク系統くみ上げ量の分析



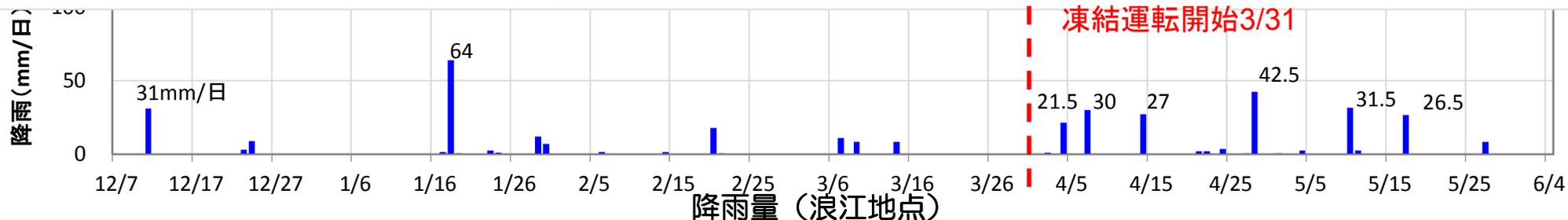
- ◆ くみ上げ量と降雨量の相関を分析し、最も決定係数の大きい前日までの30日降雨量で評価した
- ◆ 凍結運転開始 (3/31) 以降、くみ上げ量が増加している。
- ◆ No.5系統の汲み上げ量が増加する要因は以下の3点が考えられる。
 - 陸側遮水壁 (海側) の遮水効果発現
 - 凍結開始後の中粒砂岩層の水位上昇
 - 上流側のNo.4系統の稼働停止



【参考】サブドレンNo.2中継タンク系統くみ上げ量の分析

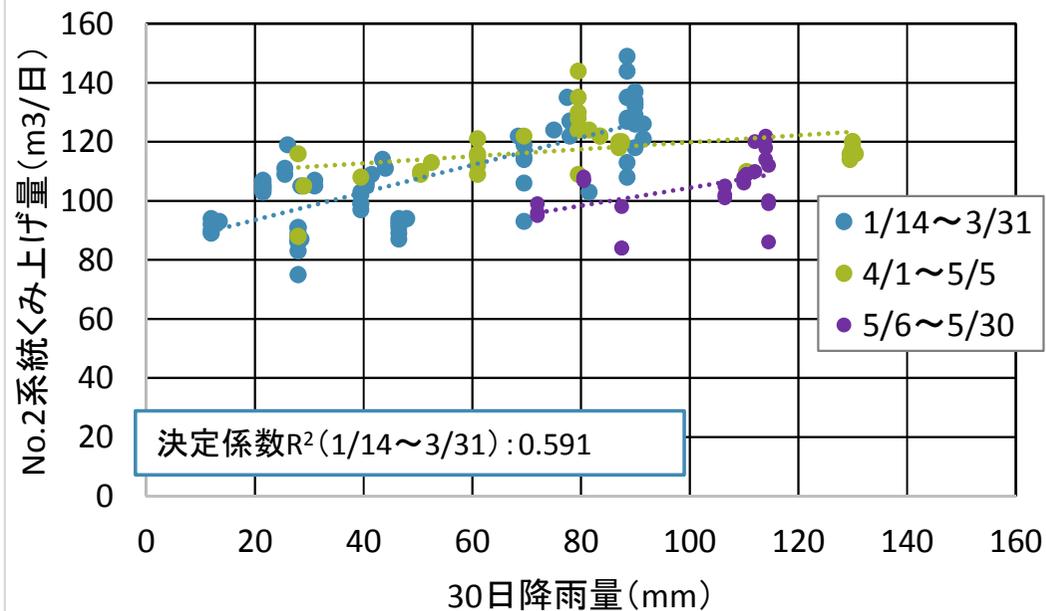


No.2中継タンク系統の汲み上げ量の推移

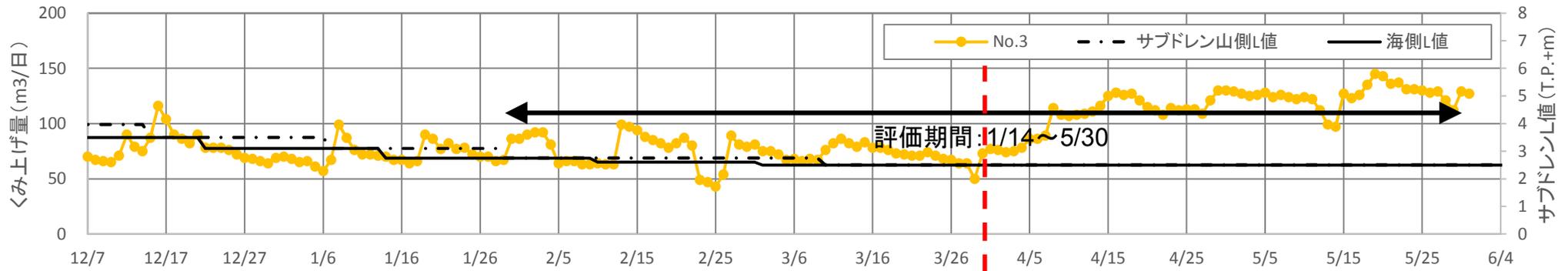


降雨量 (浪江地点)

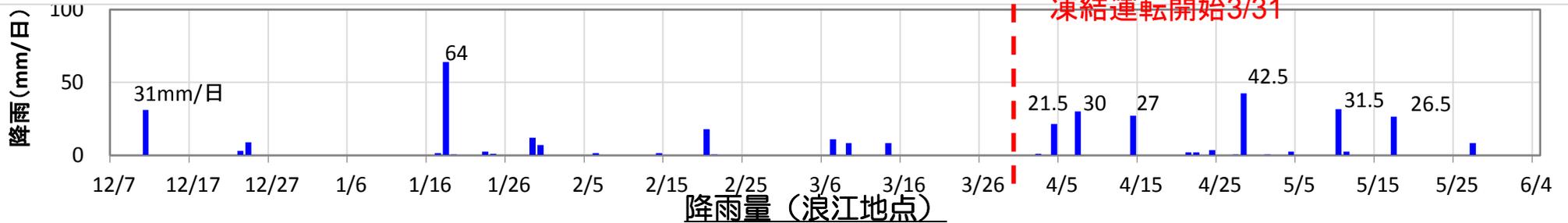
- ◆くみ上げ量と降雨量の相関を分析し、最も決定係数の大きい前日までの30日降雨量で評価した
- ◆凍結運転開始 (3/31) 後、しばらくの間は汲み上げ量が変化しない状況が続いていたが、最近、汲み上げ量が低減している状況が見られる。



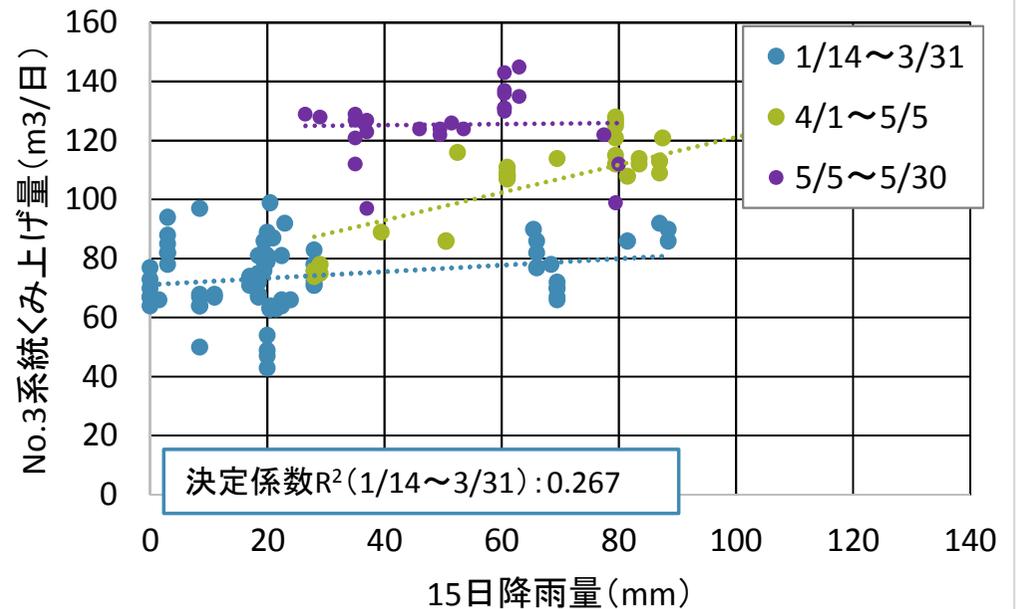
【参考】サブドレンNo.3中継タンク系統くみ上げ量の分析



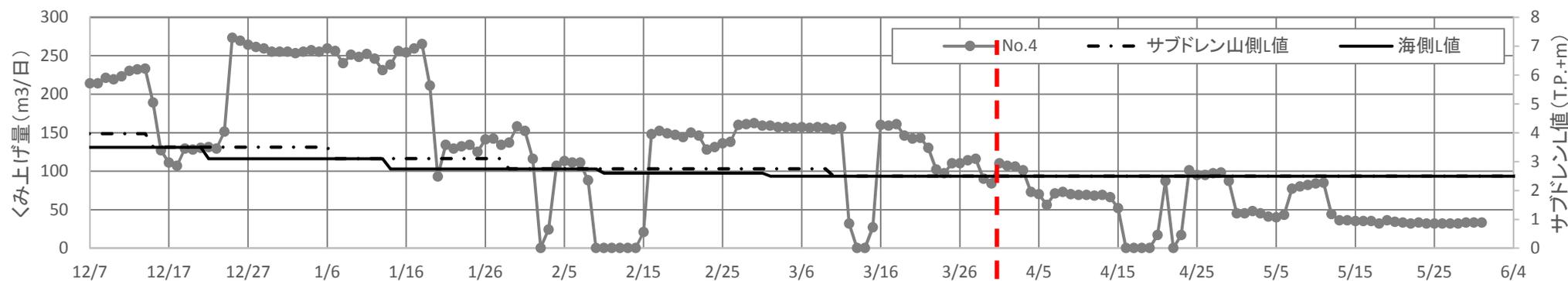
No.3中継タンク系統の汲み上げ量の推移



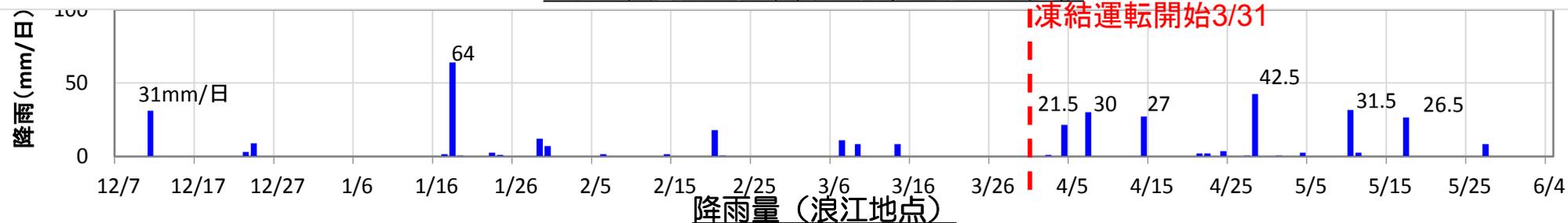
- ◆ くみ上げ量と降雨量の相関を分析し、最も決定係数の大きい前日までの15日降雨量で評価した
- ◆ 凍結運転開始（3/31）以降、くみ上げ量が増加している状況が確認出来る。
- ◆ No.3系統の汲み上げ量が増加した要因は以下の2点が考えられる。
 - 隣接するNo.4系統の稼働停止
 - 凍結開始後の中粒砂岩層の水位上昇



参考 サブドレンNo.4中継タンク系統くみ上げ量



No.4中継タンク系統の汲み上げ量の推移

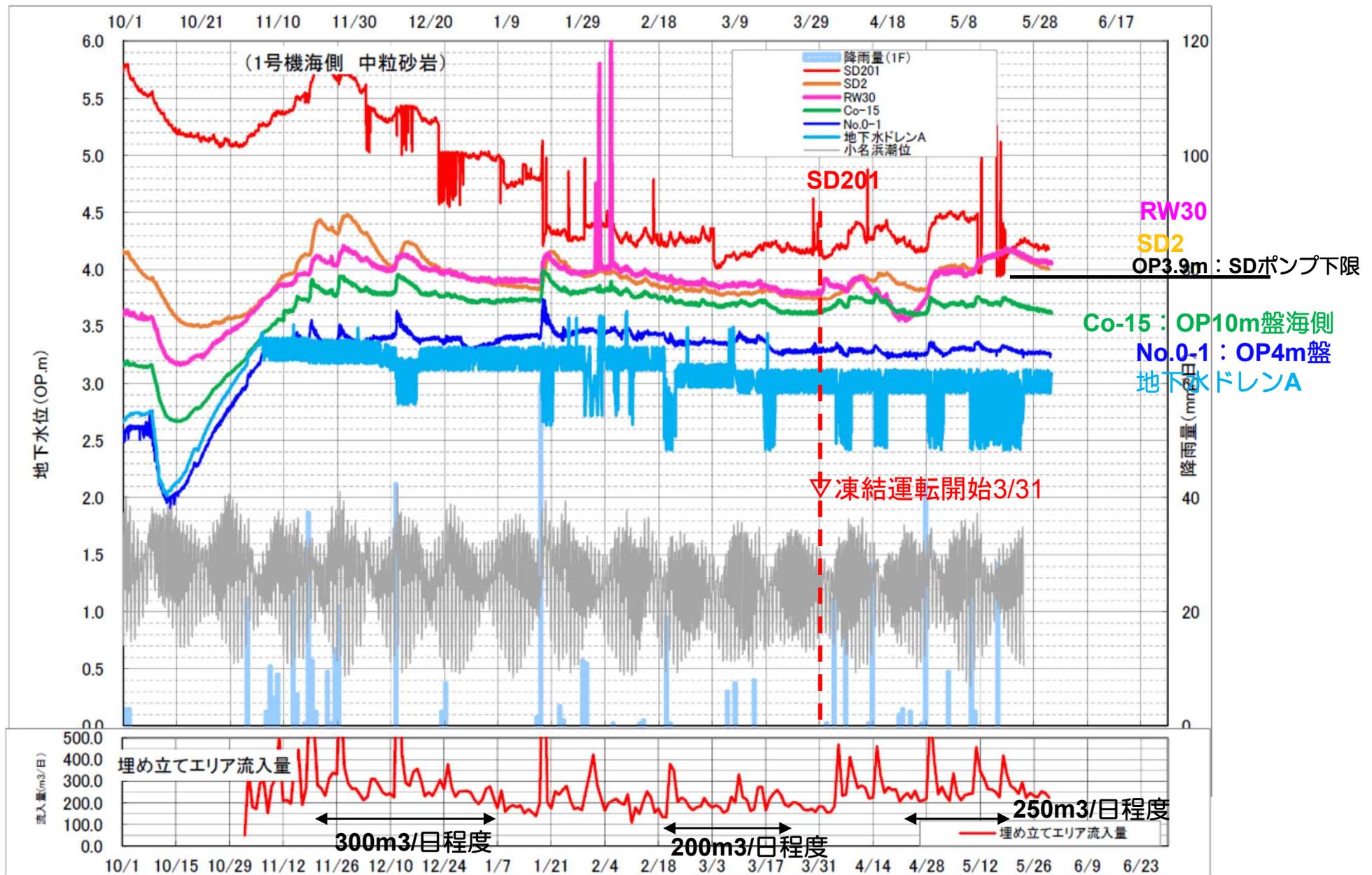


凍結運転開始3/31

◆No.4系統は、点検・清掃やくみ上げ量調整などの影響を受けて、減少傾向を示している。

地下水ドレン稼働水位の低下について（例；1号機海側）

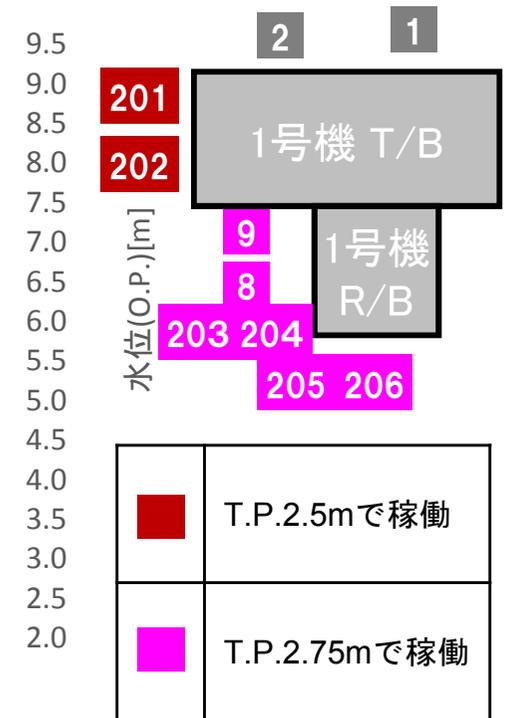
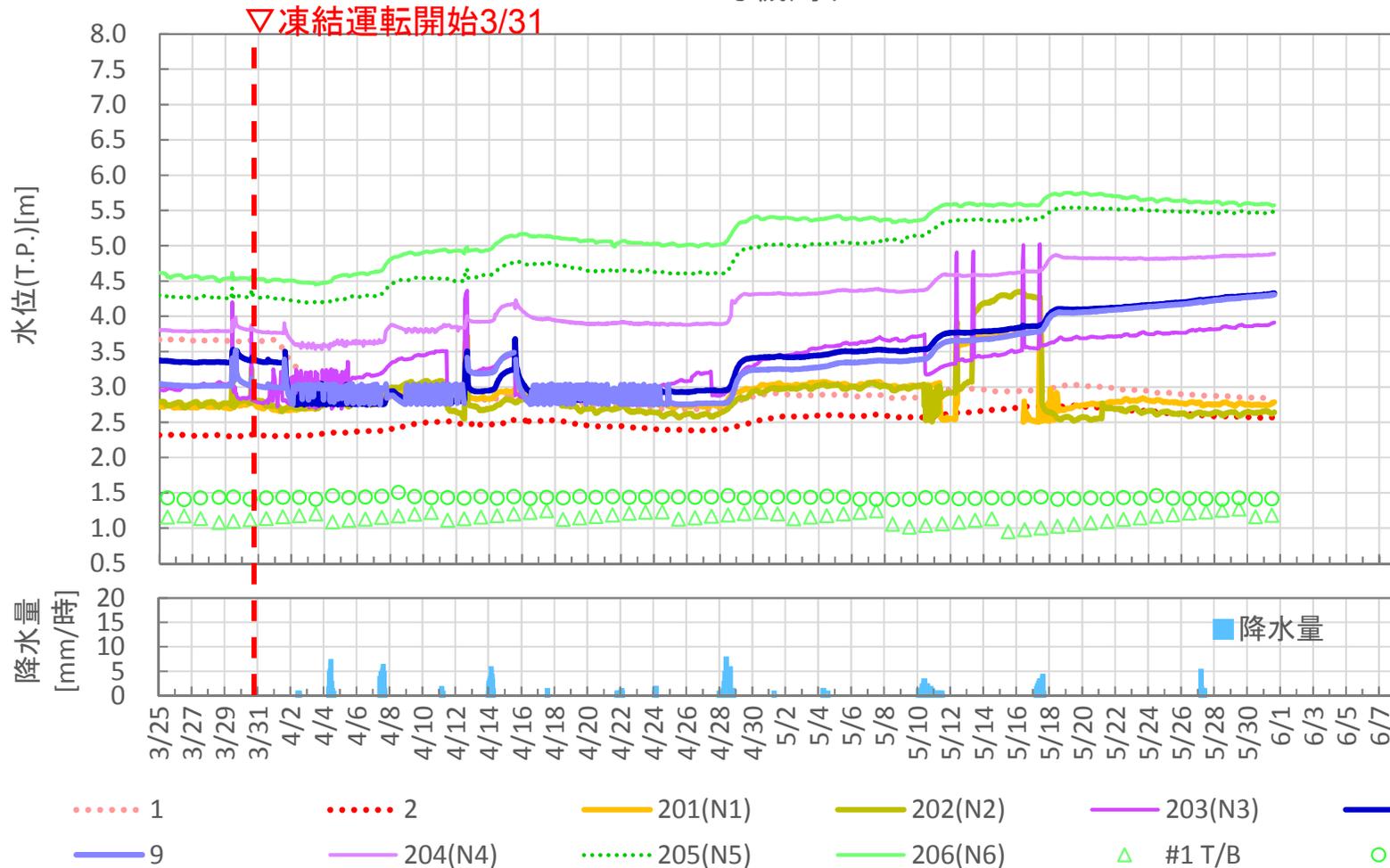
■ 地下水ドレンの稼働水位は，地下水位が上昇し，海側遮水壁から越流することを防止するために，降雨時には稼働水位を低下させることで，周辺水位を維持している。



【参考】サブドレン水位変動（1号機）

- 1号機周りのサブドレンピットには、凍結運転開始後、低下傾向が見られない、あるいは稼働状態に変化を生じていない。
- 現状、建屋内外の水位差は確保出来ている。

1号機周り



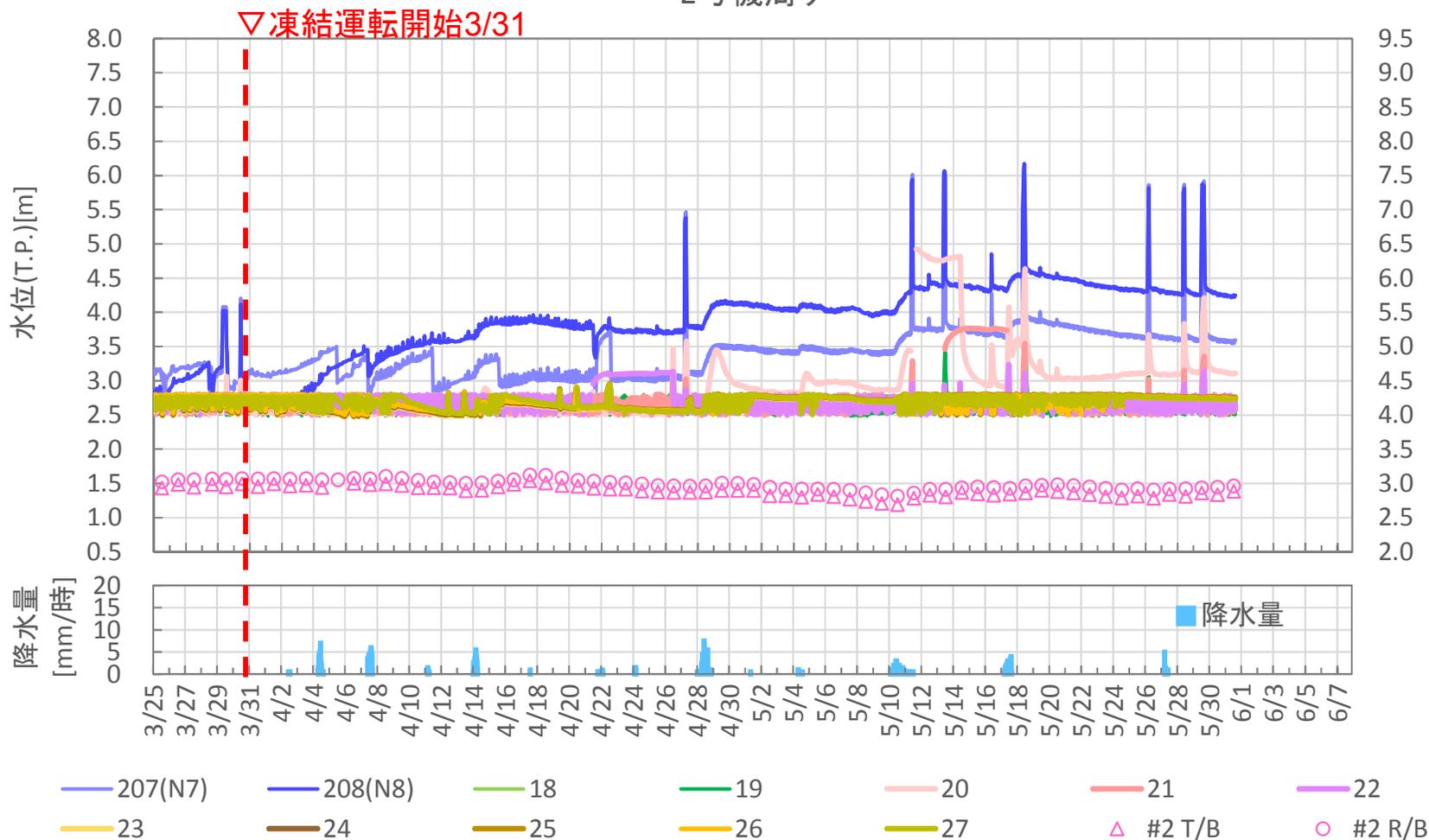
※1 No.9ピット点検に伴い、No.2中継タンク系統を一時停止。

※T.P.と震災前のO.P.は地点や測量時期により、概ね1.4~1.5mの補正が必要であり、目安として記載しているもの。
 ※サブドレン水位は毎時データ(実線が24時間自動運転のピット)
 ※4/15~4/19 浪江の気象庁降雨データ欠測のため、富岡の降雨データを使用

【参考】サブドレン水位変動（2号機）

- 2号機周りのサブドレンピットには、凍結運転開始後、低下傾向が見られない、あるいは稼働状態に変化を生じていない。
- 現状、建屋内外の水位差は確保出来ている。

2号機周り

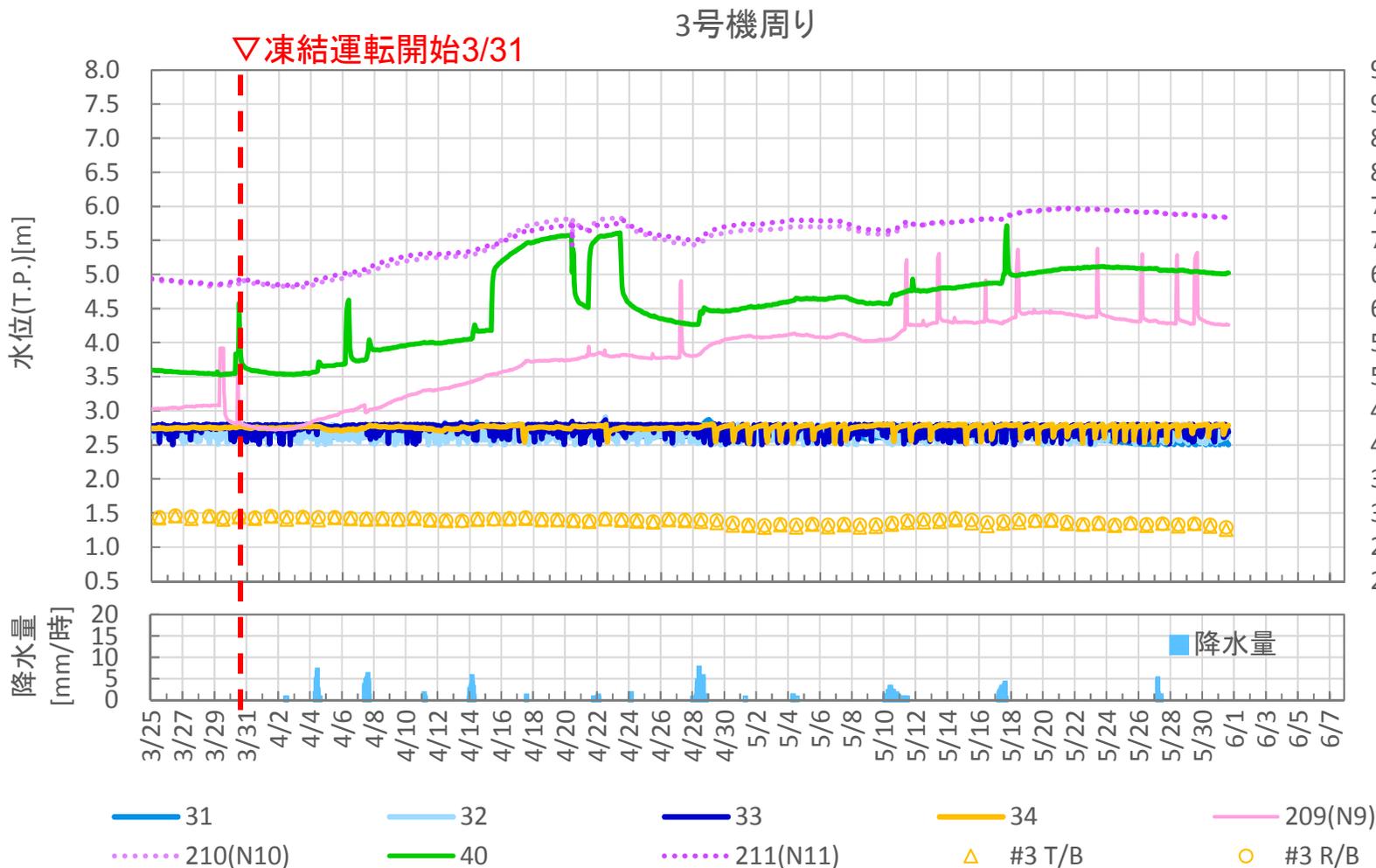


※T.P.と震災前のO.P.は地点や測量時期により、概ね1.4~1.5mの補正が必要であり、目安として記載しているもの。
 ※サブドレン水位は毎時データ(実線が24時間自動運転のピット)
 ※4/15~4/19 浪江の気象庁降雨データ欠測のため、富岡の降雨データを使用



【参考】サブドレン水位変動（3号機）

- 3号機周りのサブドレンピットには、凍結運転開始後、低下傾向が見られない、あるいは稼働状態に変化を生じていない。
- 現状、建屋内外の水位差は確保出来ている。



※1 No.4中継タンクの点検清掃のため、No.4系統を停止

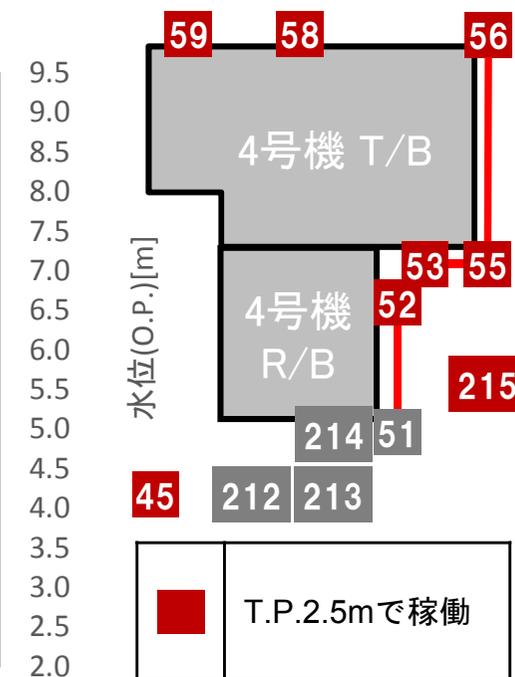
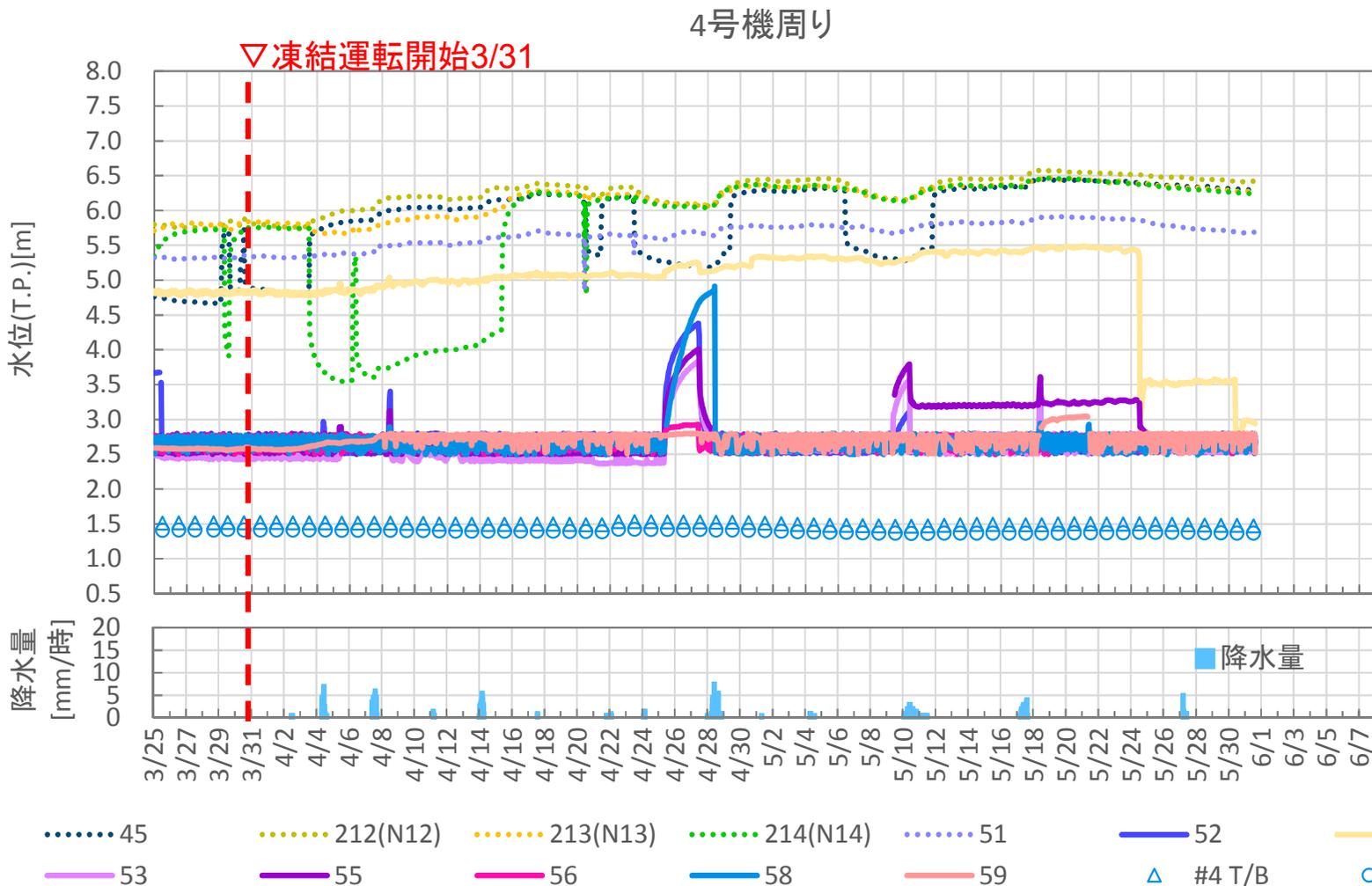
※T.P.と震災前のO.P.は地点や測量時期により、概ね1.4~1.5mの補正が必要であり、目安として記載しているもの。

※サブドレン水位は毎時データ(実線が24時間自動運転のピット)

※4/15~4/19 浪江の気象庁降雨データ欠測のため、富岡の降雨データを使用

【参考】サブドレン水位変動（4号機）

- 4号機周りのサブドレンピットには、凍結運転開始後、低下傾向が見られない、あるいは稼働状態に変化を生じていない。
- 現状、建屋内外の水位差は確保出来ている。



※1 No.4中継タンクの点検清掃のため、No.4系統を停止

※T.P.と震災前のO.P.は地点や測量時期により、概ね1.4~1.5mの補正が必要であり、目安として記載しているもの。

※サブドレン水位は毎時データ(実線が24時間自動運転のピット)

※4/15~4/19 浪江の気象庁降雨データ欠測のため、富岡の降雨データを使用

陸側遮水壁（海側）の海側の地下水位低下予測 —低下速度の算定方法—

以下の計算手順により、海側観測井水位 h_1 の低下速度を予測した。

海側観測井位置からの排水量(4m盤汲上量)

$$Q_{out} = k \times i \times A$$

ここで、

k : 透水係数 ($3.4 \times 10^{-3} \text{cm/s}$)

設定より大きければ水位低下は早く小さければ水位低下は遅くなる。

i : 動水勾配 ($=\Delta h / L$)

A : 通水断面

海側観測井位置への供給量(陸側遮水壁(海側)の通過量)

$$Q_{in} = Q_{t=0} \times (1 - \alpha/100)$$

ここで、

α : 地下水遮断率 (50%※, 100%の2ケース)

陸側遮水壁(海側)～海側遮水壁間の地下水減少量

$$\Delta Q = Q_{out} - Q_{in}$$

地下水減少量が地下水体積減少量となるため

$$\Delta Q = (L \times \Delta H) / 2 \times n_e$$

ここで、

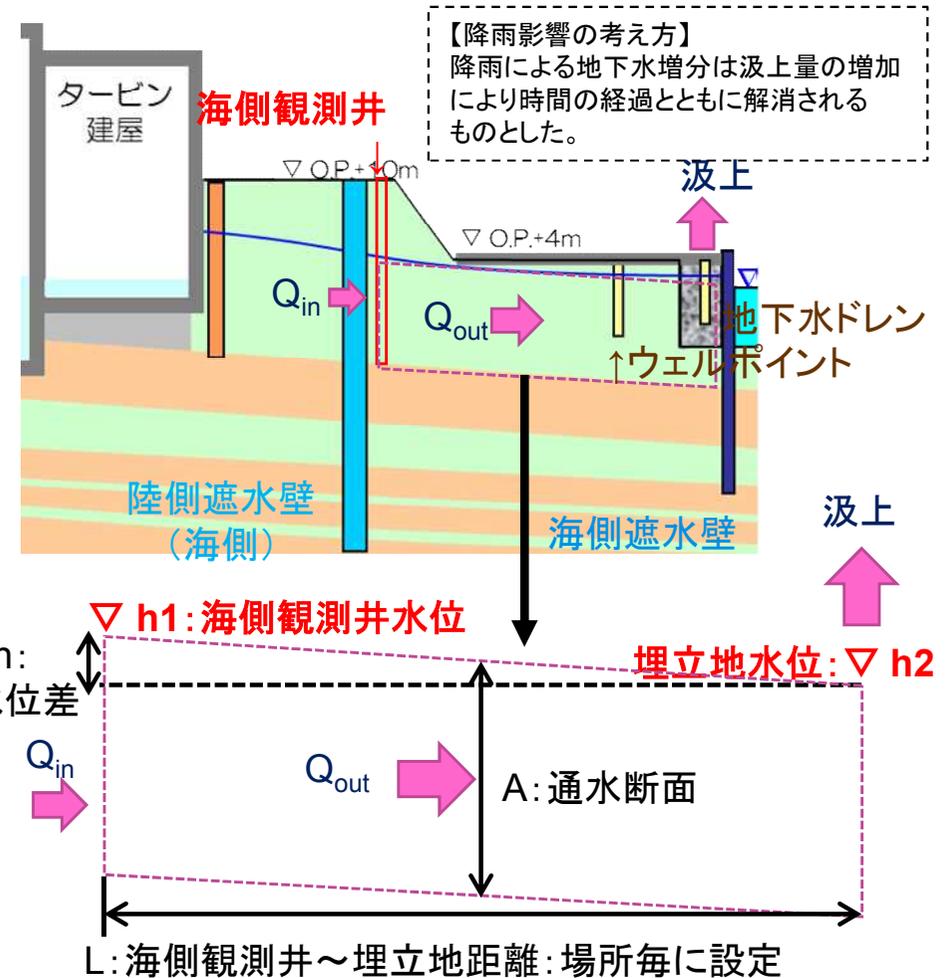
ΔH_1 : h_1 の水位低下量

n_e : 間隙率 (0.12, 0.41の2ケース)

よって、

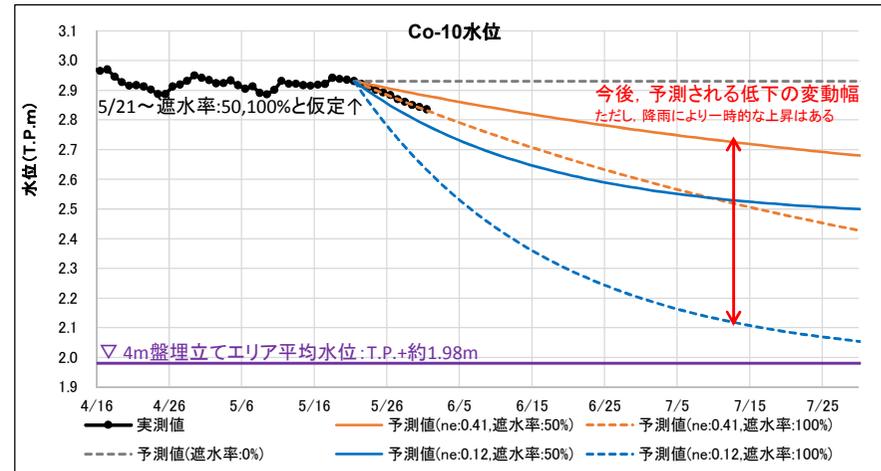
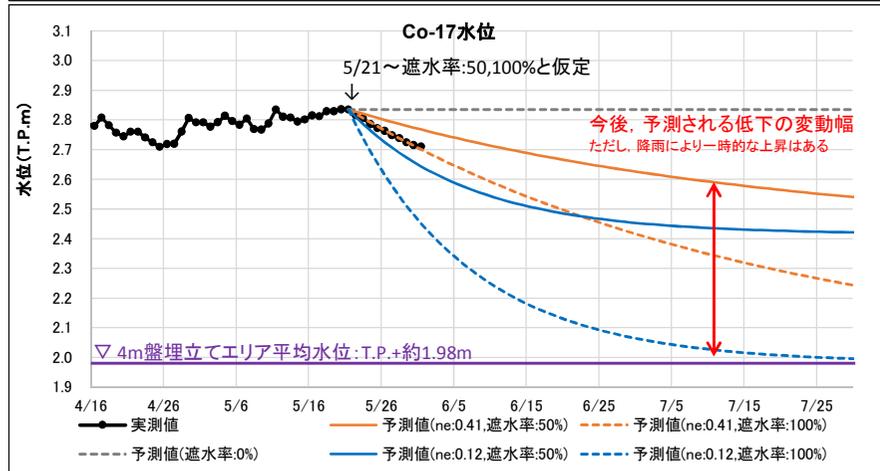
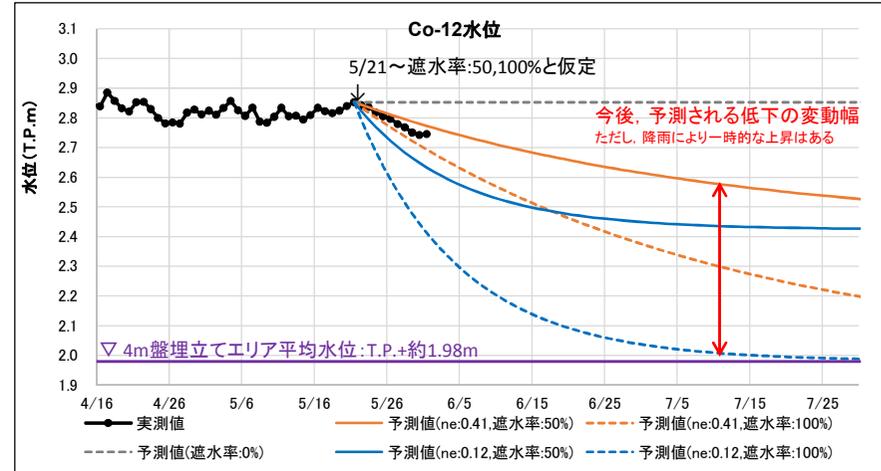
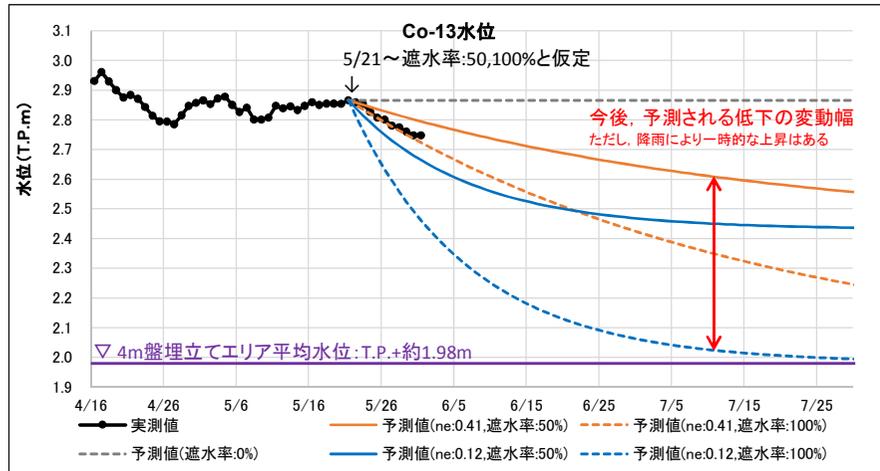
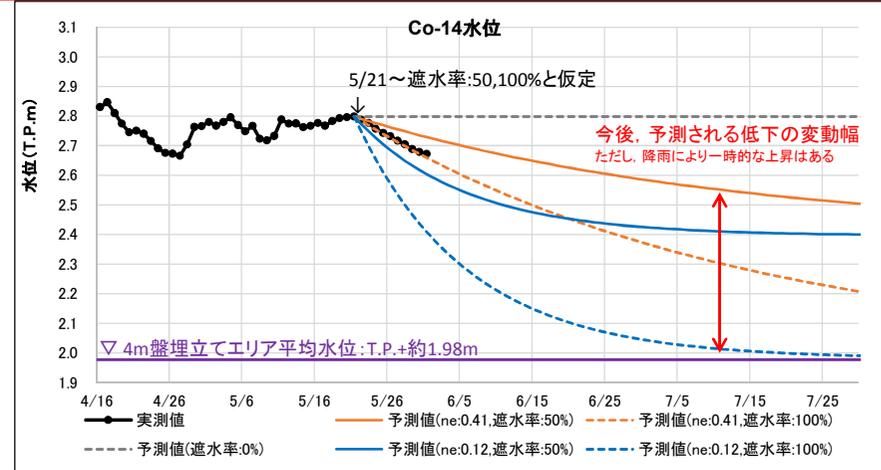
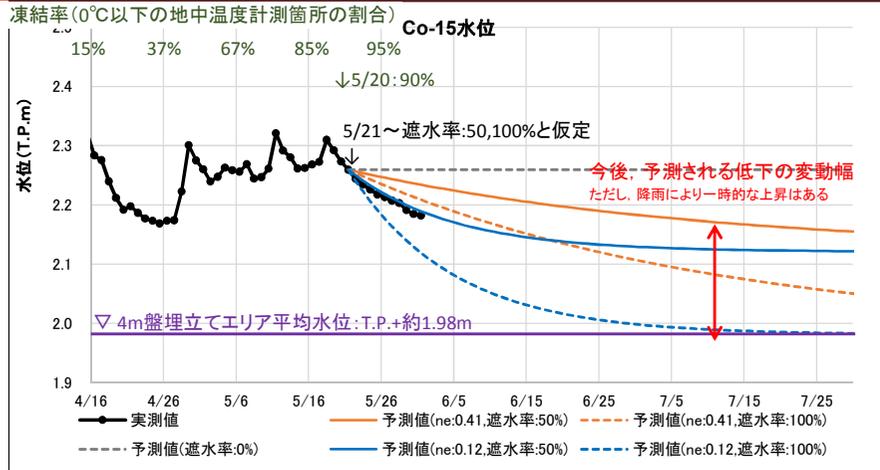
海側観測井水位の低下量は、

$$\Delta H_1 = \Delta Q / ((L \times n_e) / 2)$$



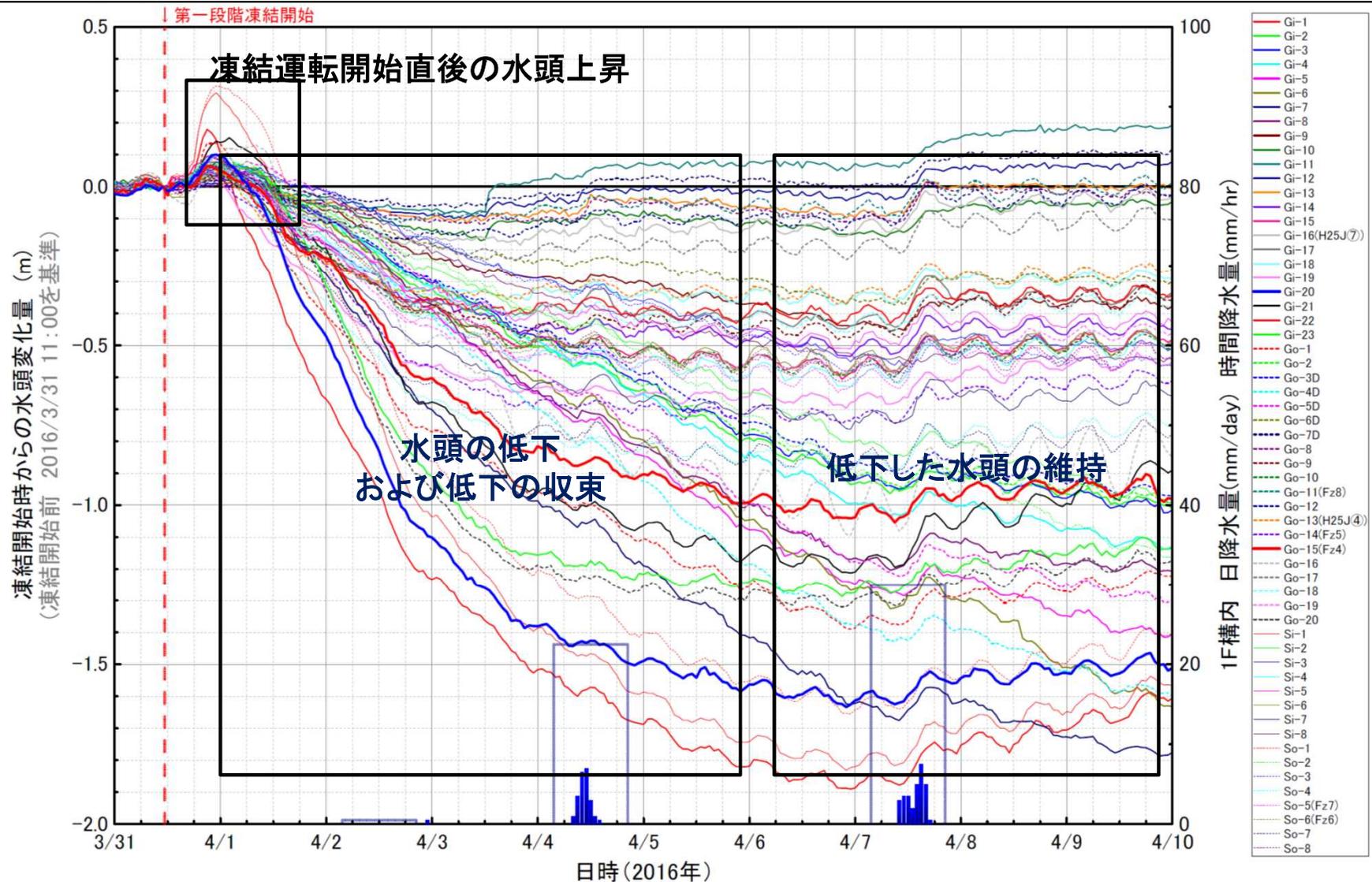
- h_1 : 5/21※の実測水位を初期値($h_{1,t=0}$)に設定
 - h_2 : 5/1～5/23の実測水位平均値(T.P.+1.98m, 固定)として設定
- ※ 5/20に凍結率が90%に達したこと、海側観測井水位に変曲点が確認されるところから5/21を初期値とし、地下水遮断率50%を目安として設定した。

陸側遮水壁（海側）の海側の地下水位低下予測



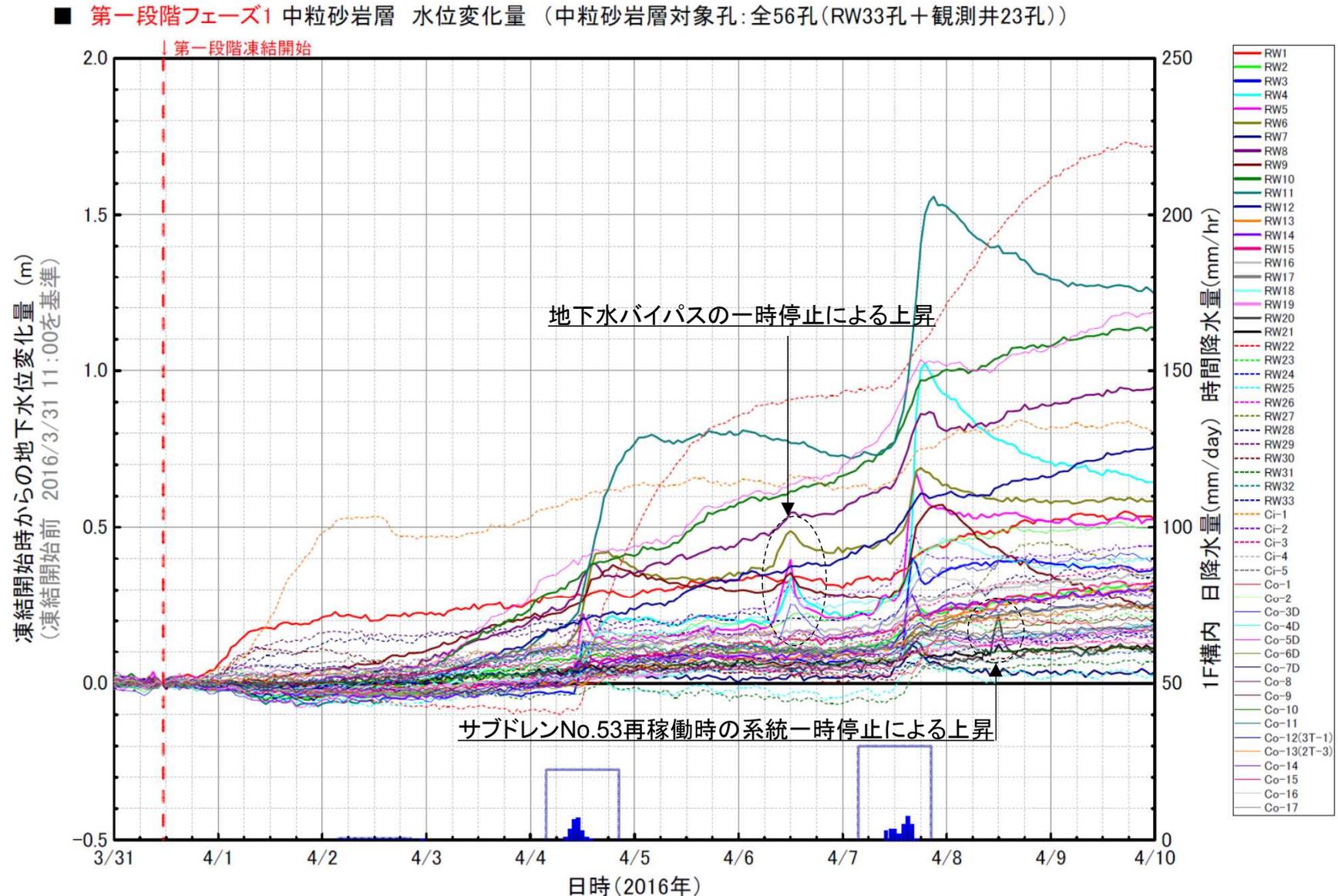
【参考】凍結開始後の被圧帯水層（互層部・細粒/粗粒砂岩）水頭の挙動

- ◆凍結運転開始時を基準点として、その後の被圧帯水層（互層部・細粒/粗粒砂岩）の水頭変動を下図に示す。
- ◆特徴的な挙動として、「凍結運転開始直後（凍結開始後数時間）に水頭が上昇開始」し、引き続き凍結開始後半日弱程度で「水頭が低下開始」している。
- ◆その後、「低下の収束」および「低下した水頭の維持」が認められる。



【参考】凍結開始後の中粒砂岩層水位の挙動

- ◆ 前頁の被圧帯水層と同様に，凍結運転開始時を始点として，その後の中粒砂岩層の水位挙動を下図に示す。
- 凍結開始直後の，被圧帯水層の水頭上昇の後に低下に転じた時期と，ほぼ同じ時期（凍結開始後半日弱）に中粒砂岩層の水位上昇が開始している状況が見られる。



【参考】フェーズ1凍結運転開始後の互層水頭挙動とその想定メカニズムの検討

- ◆凍結運転開始後の互層部水頭の挙動（次頁参照）と中粒砂岩の水位挙動について再度詳細に分析した。（1号機海水配管トレンチ周辺を除く）

＜被圧帯水層（互層部・細粒/粗粒砂岩）水頭＞

- 凍結運転開始数時間後に、互層水頭が上昇する挙動が見られた（最大で30cm程度）
- その後（凍結運転開始後半日弱程度）、低下に転じた。その水頭低下幅は中粒砂岩層水位と互層部水頭の水頭差が大きい1～2号機周辺で顕著であった。
- その後数日～1ヶ月程度で、被圧帯水層の水頭低下は近傍の中粒砂岩層水位に漸近・収束する傾向が見られた。また、建屋海側では、陸側遮水壁（海側）を境界として、
 - ・上流（内）側では、互層部水頭は低下後に上昇傾向に転じた。
 - ・下流（外）側では、互層部水頭の低下後の変化は顕著で無い。

＜中粒砂岩層水位＞

- 凍結開始直後の被圧帯水層の水頭上昇の後に、低下に転じた時期とほぼ同じ時期（凍結開始後半日弱）に、中粒砂岩層の水位上昇が開始している状況が見られる。

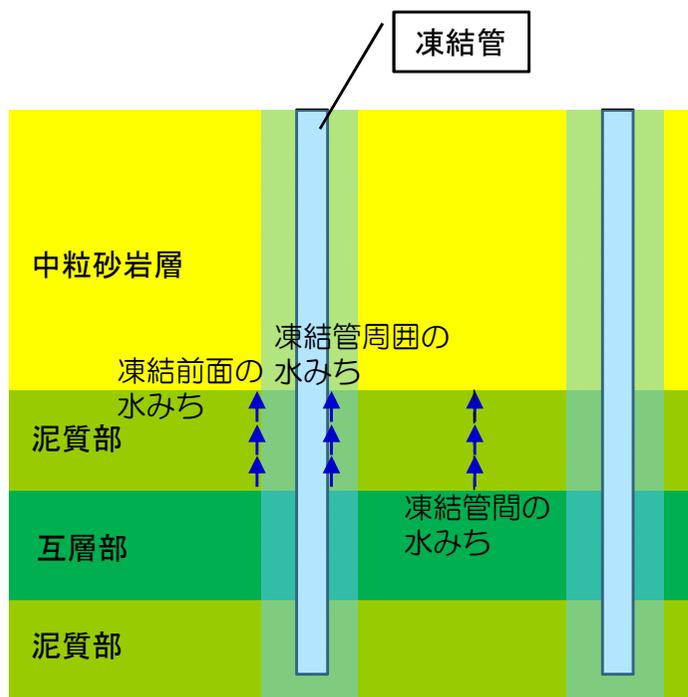
- ◆上記の挙動を踏まえると「何らかの原因により互層部から中粒砂岩層への水みちが発生し、水頭が高い互層部から中粒砂岩層に地下水が流れた」という現象については、蓋然性が高いと考えられる。
- ◆想定されるメカニズムに関して、以下の現象発生に基づいて検討したが、特定には至っておらず、今後も、実測の挙動から解明に努めていく。
 - ①中粒砂岩層との水みちによる連通
 - ②冷却による互層部地下水の体積変化
 - ③凍結による互層部の体積変化
 - ④地盤凍結時の排水・吸水現象

【参考】凍結開始後の互層部の水頭挙動の原因想定①

①中粒砂岩層との水みちによる連通

■ メカニズム

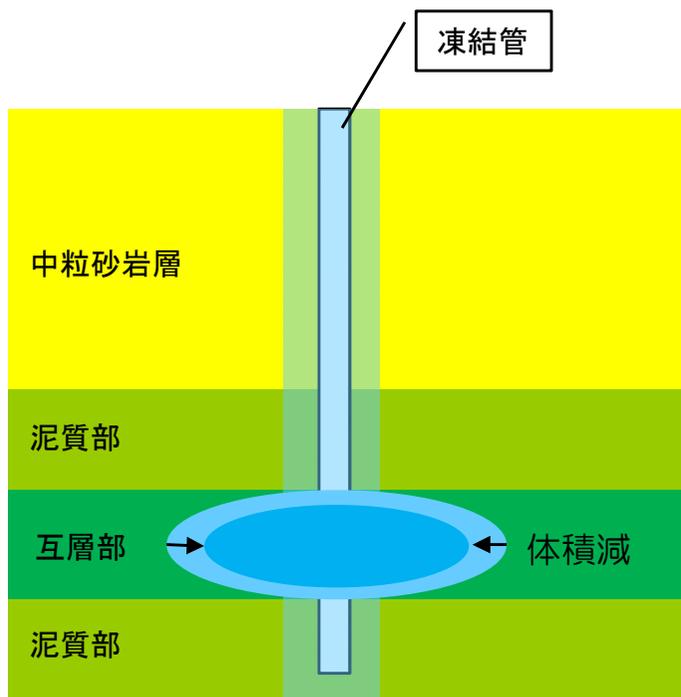
凍結運転開始により、凍結管近傍で互層部と中粒砂岩層が水みちにより連通した。



②冷却による互層部地下水の体積減少

◆ メカニズム

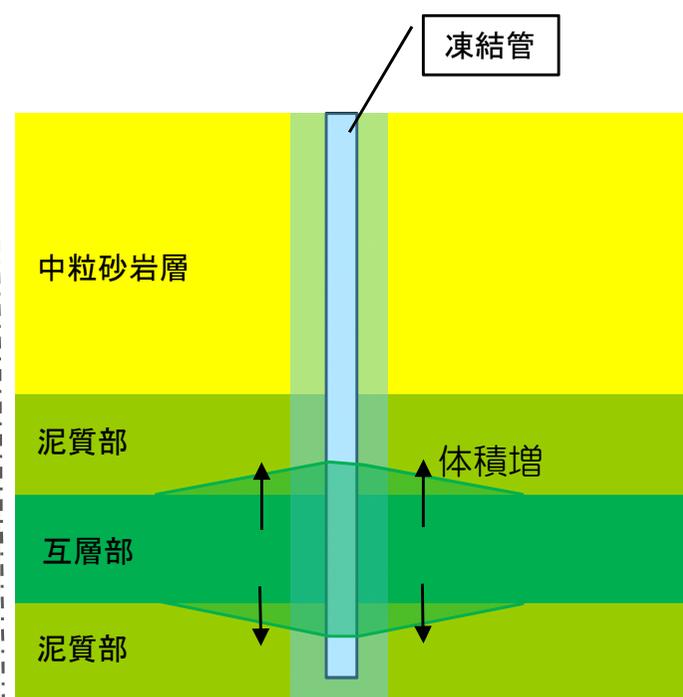
凍結運転開始により、互層部地下水が冷却されることによる体積減少により圧力低下。



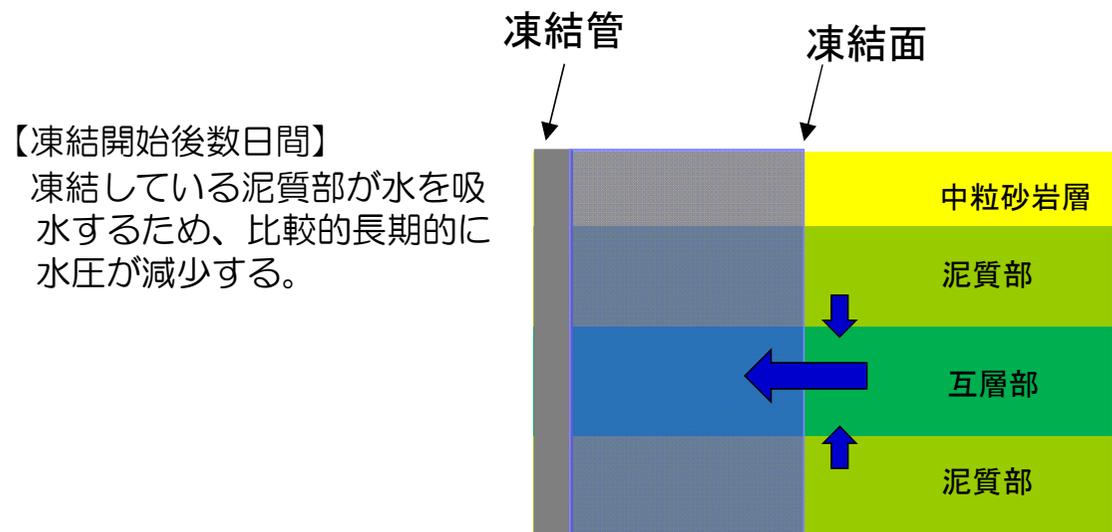
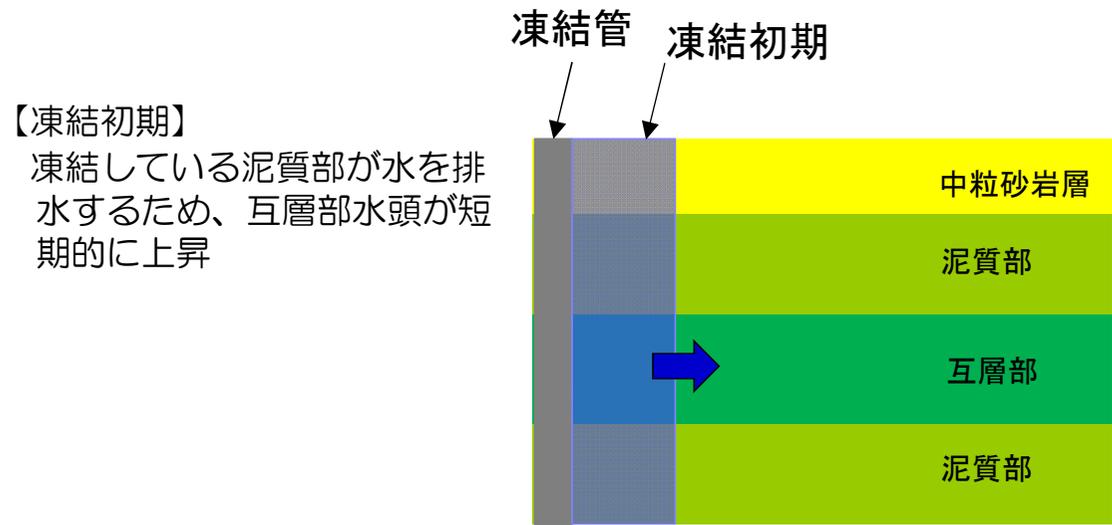
③凍結による互層部の体積増加

■ メカニズム

凍結運転開始により、互層部が凍結し膨張し、透水層の体積を押し広げることで圧力低下。



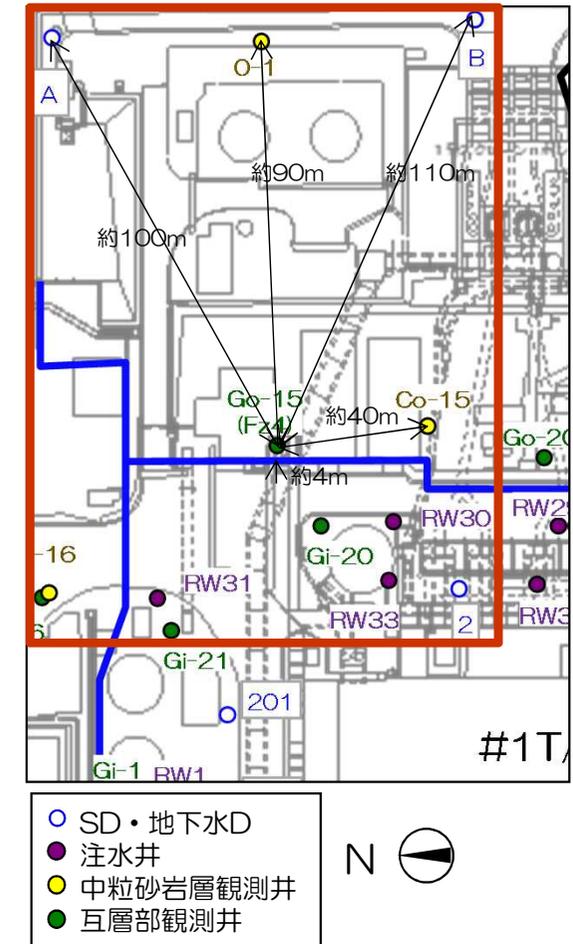
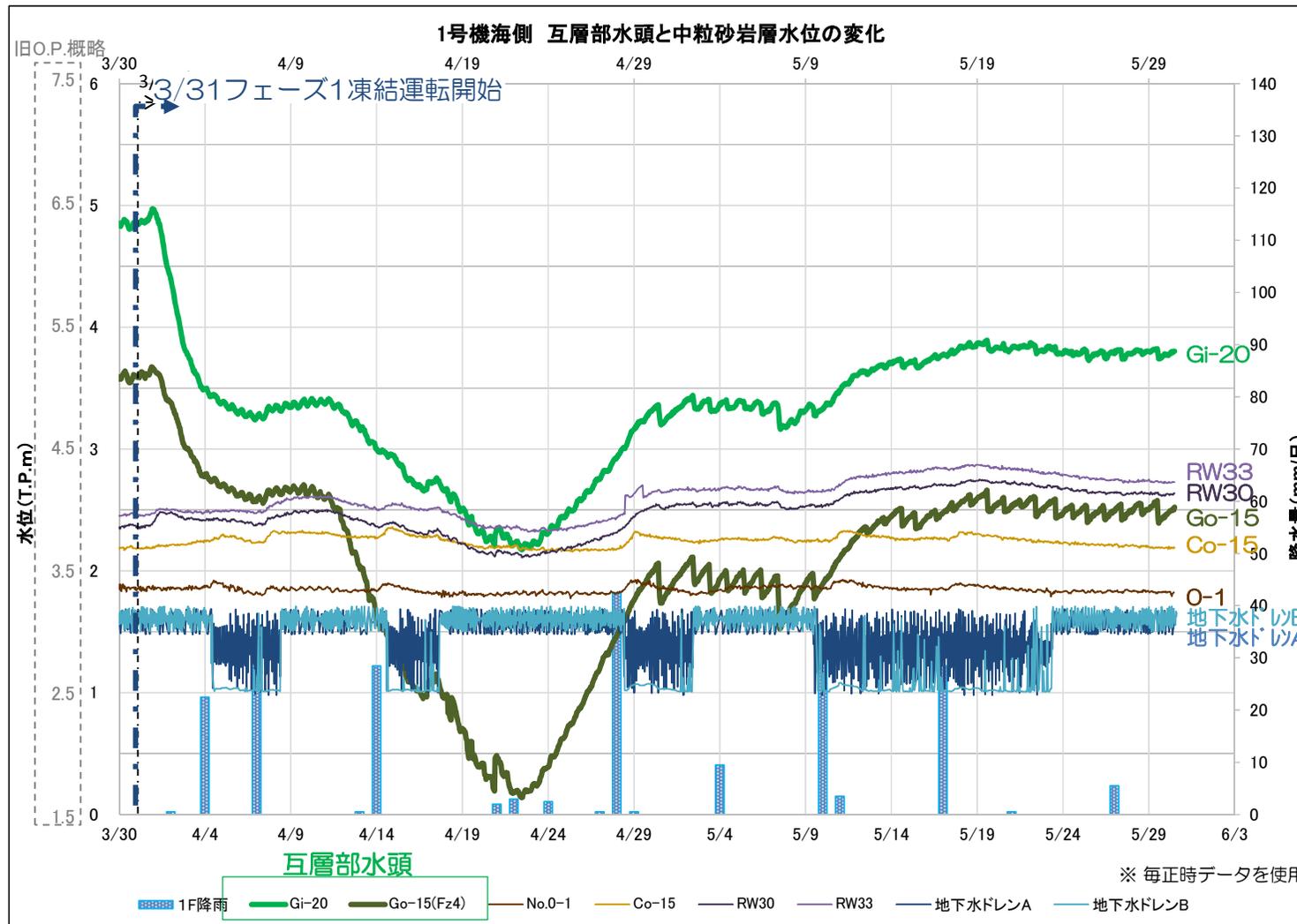
④地盤凍結時の排水・吸水現象 (互層部の排水・吸水現象)



【参考2】 1号機タービン建屋海側の互層部水頭（Go-15・Gi-20）の低下と
1号機海水配管トレンチの水位上昇

Go-15およびその周辺（1号機海側）の水位・水頭挙動（凍結運転開始以降）

- ◆ 1号機海側の互層部水頭観測井Go-15, Gi-20では、凍結運転開始後、低下傾向を示し、4月4日（22mm）及び4月7日（30mm）の降雨後、低下速度が小さくなった。この挙動は、他の互層部と同様である。
- ◆ その後、4月11日頃から再び低下傾向となったが、4月20日頃から降雨による影響も受けつつ低下傾向が鈍化し、上昇傾向に転じている（4月22日時点で最低値を示し、凍結運転開始前（3月31日）と比較してGo-15で約3.44m, Gi-20で約2.69m低下）。4月30日以降は後述する1号機海水配管トレンチの立坑内の水移送に伴い、水頭は上昇・下降している。
- ◆ 周辺の中粒砂岩層水位は、互層部水頭低下と同じ時期に若干低下したが、トレンチ水位の上昇とともに、回復している。



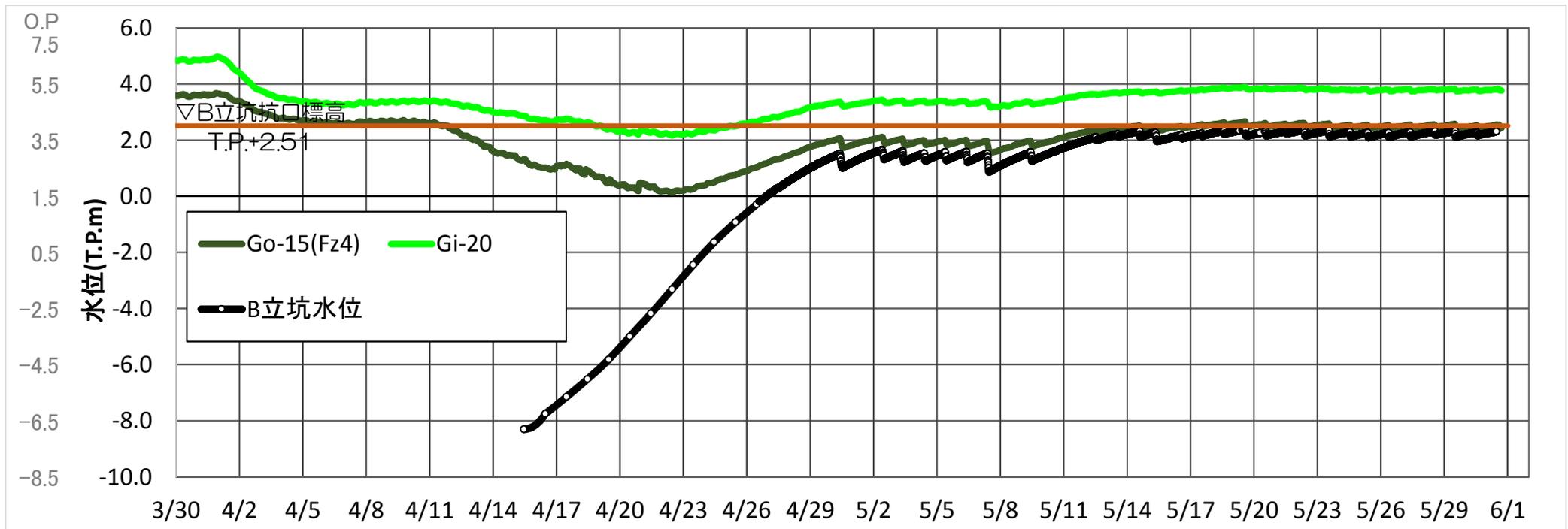
1号機海側観測井位置図

互層部水頭観測井 (Go-15・Gi-20) の低下状況と1号機海水配管トレンチ 溜まり水水位他の変化

- 1号機海水配管トレンチ内の立坑水位（立坑B）は，調査開始（2012年2月）以降，T.P.-9.5m（O.P.-8m）程度で安定していたが，凍結運転開始後は上昇傾向を示した。
- 4月30日より立坑B坑口から溜まり水の移送を開始し，至近では6～12m³/日の移送を実施しており，その結果，Go-15は立坑水位と同等，Gi-20はそれに比べ高めの水位を維持している。
- トレンチ内溜まり水の水質については，塩分濃度および放射性物質濃度共に，凍結運転開始前と比べて低下傾向が見られる。これは，何らかの影響によりトレンチへ互層部の地下水が流入した可能性があるという想定と矛盾しない。
- 立坑内水位と周辺互層部水頭の連動状況から，4月11日以降の互層部水頭の低下は立坑との連通が有力な原因であると想定される。

1号機海水配管トレンチ立坑水質

		トレンチ等内溜まり水点検調査結果		追加調査結果（凍結運転開始後）	
		2015.12		2016.4.18	
塩分濃度 (Cl) (ppm)		21,000		13,000	
核種分析結果 (Bq/L)	Cs-134	4.7E+01		6.7E+00	
	Cs-137	2.0E+02		3.4E+01	
	全β	1.8E+02		3.0E+01	
	H-3	ND (<1.0E+02)		(分析中)	



1号機海水配管トレンチ立坑水位と周辺の互層水頭の推移

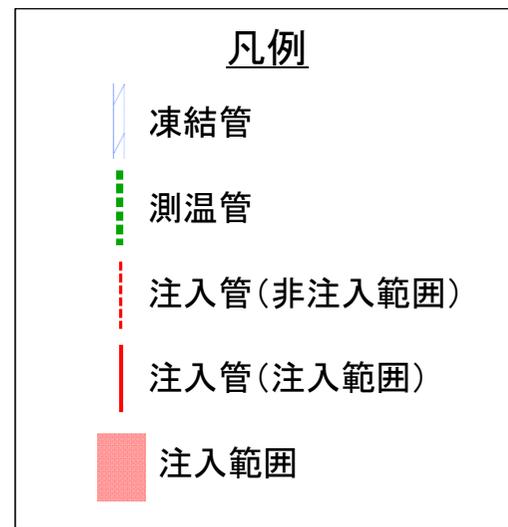
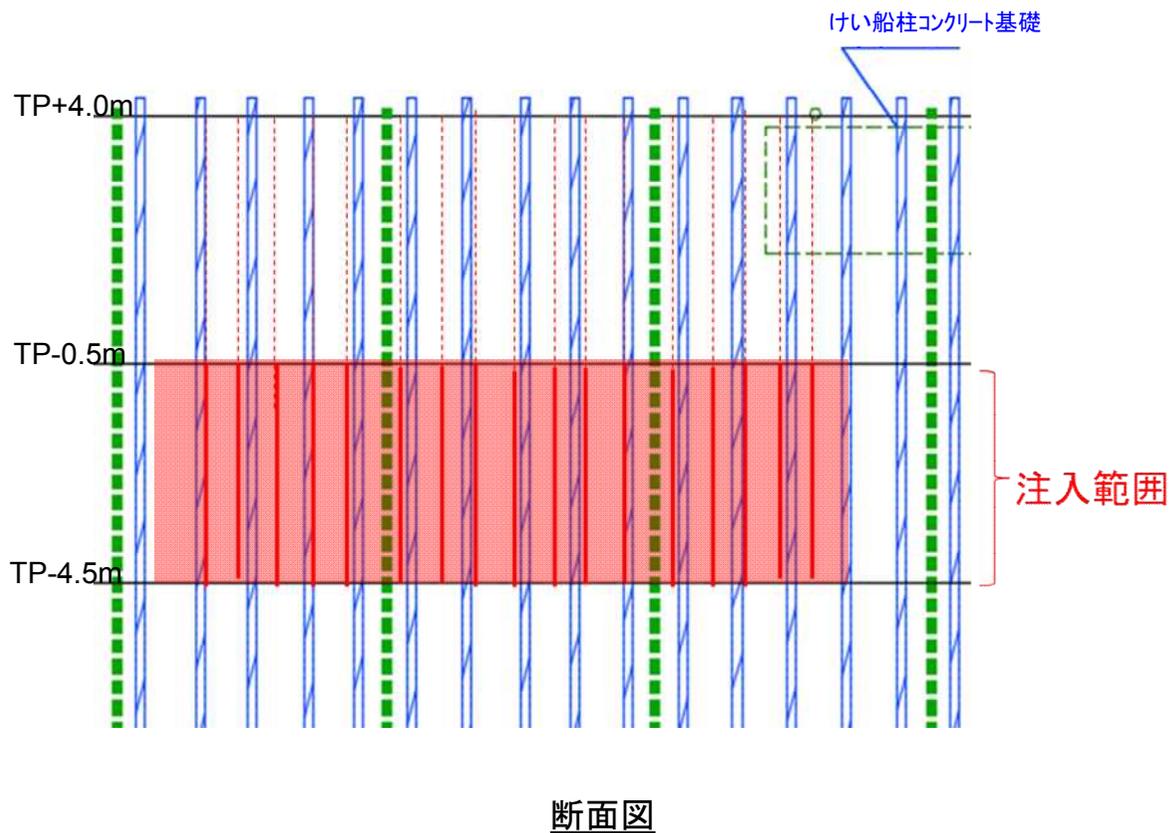
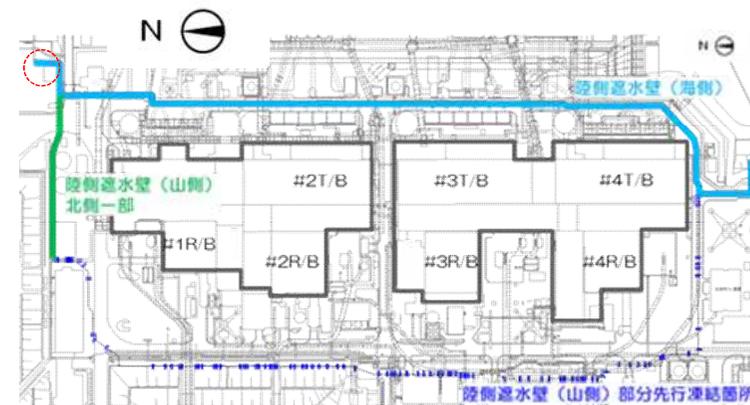
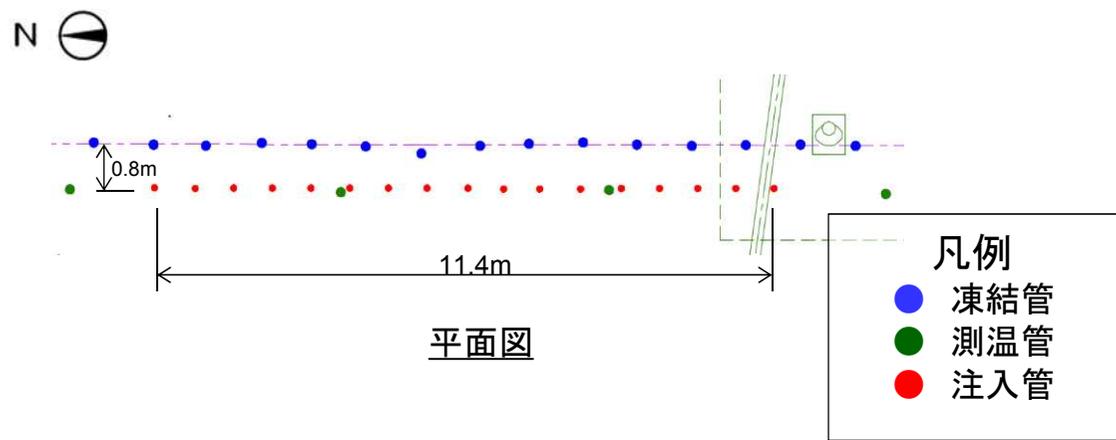
1号機海水配管トレンチの水位上昇に対する対策

■ 以下の対策を実施／検討中

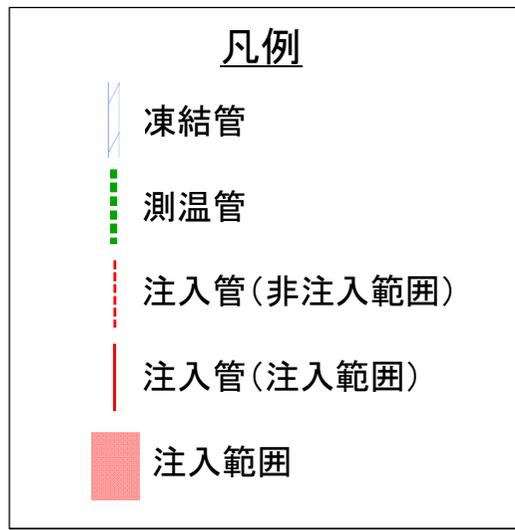
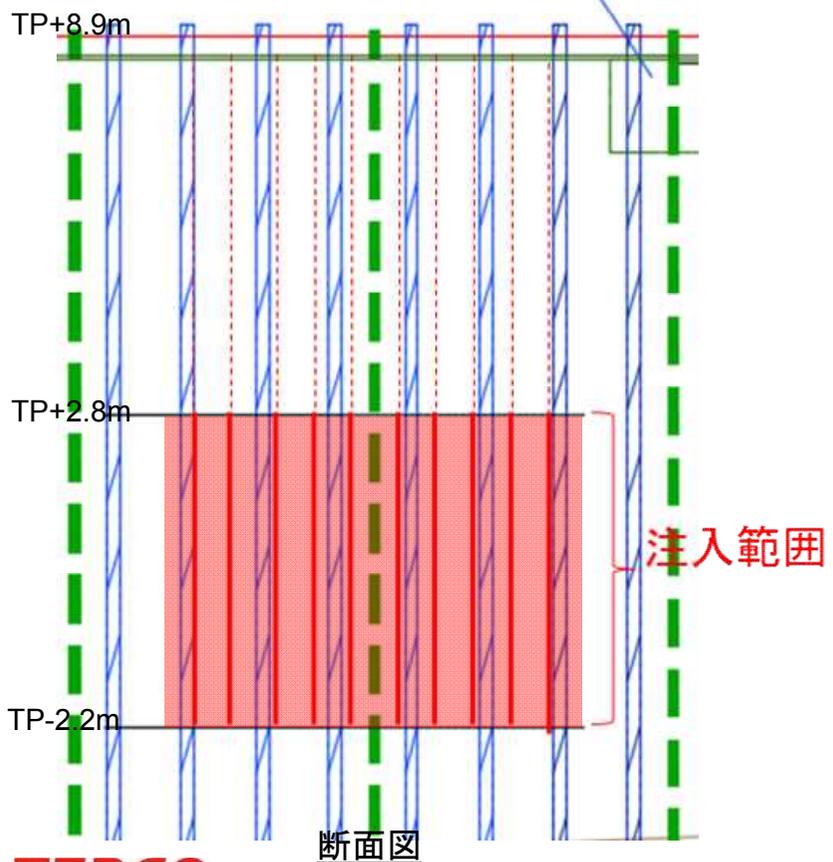
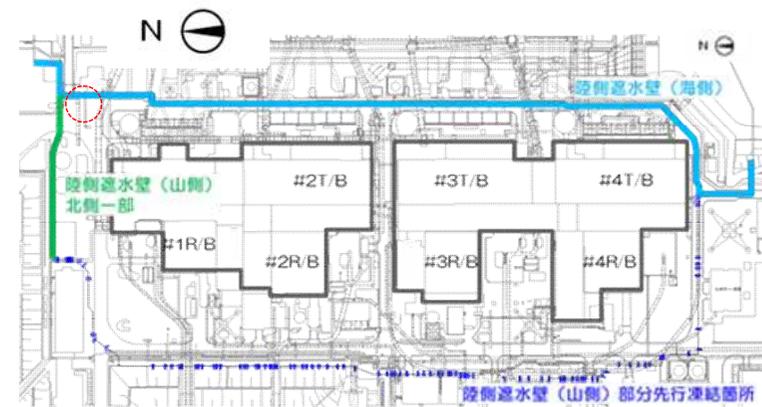
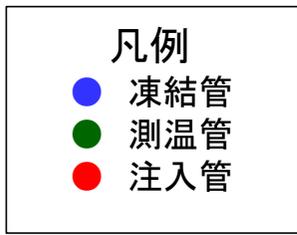
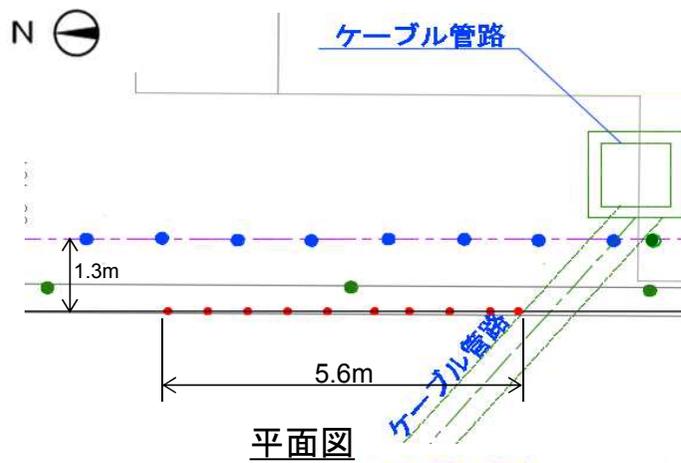
対策	詳細
海水配管トレンチ内溜まり水の移送 (実施中)	<ul style="list-style-type: none">立坑坑口に溜まり水の移送設備を設置し、必要に応じトレンチ内の水を移送する。
4m盤立坑坑口の嵩上げ (工事実施中)	<ul style="list-style-type: none">4m盤立坑(B・C)の坑口を嵩上げすることで、坑口からの溢水に対しての安全性を向上させる。
海水配管トレンチ内への地下水流入の抑制 (検討中)	<ul style="list-style-type: none">周辺地盤の改良などにより地下水流入を抑制する。

【参考3】 4m盤への地下水流入抑制対策 補足資料

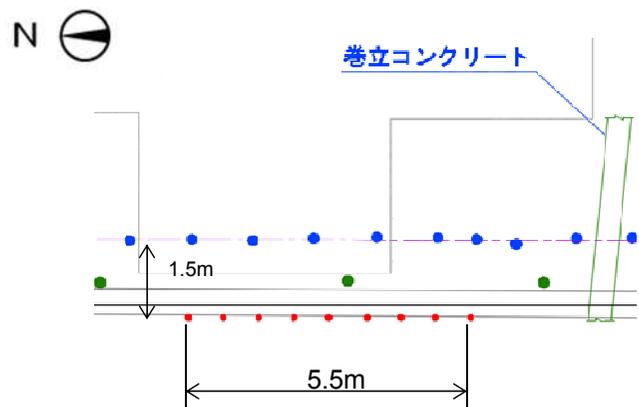
【参考】補助工法計画（1号機北側）



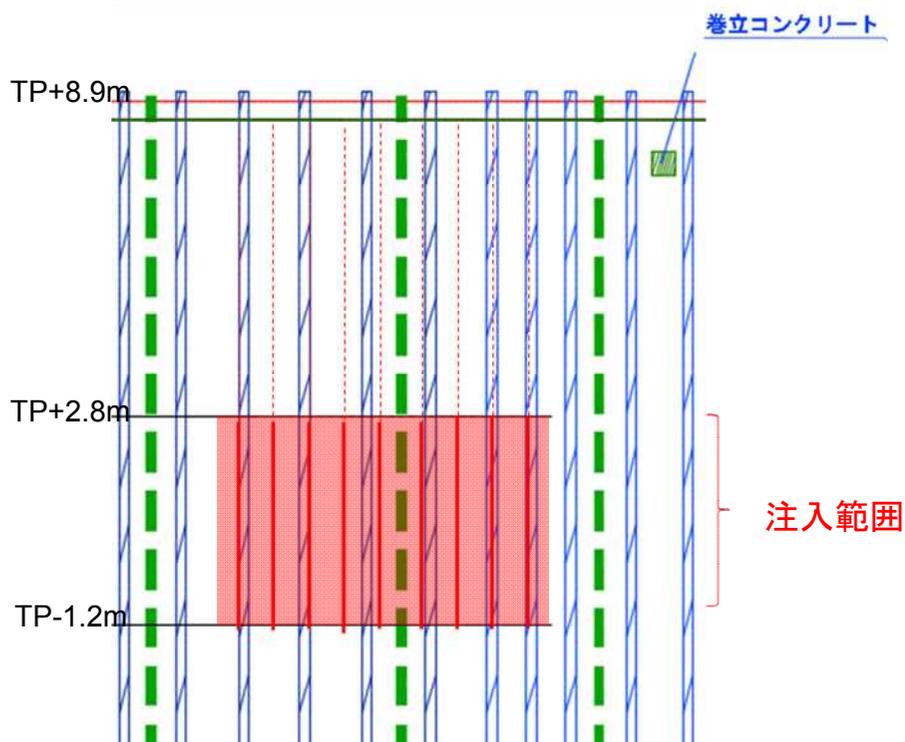
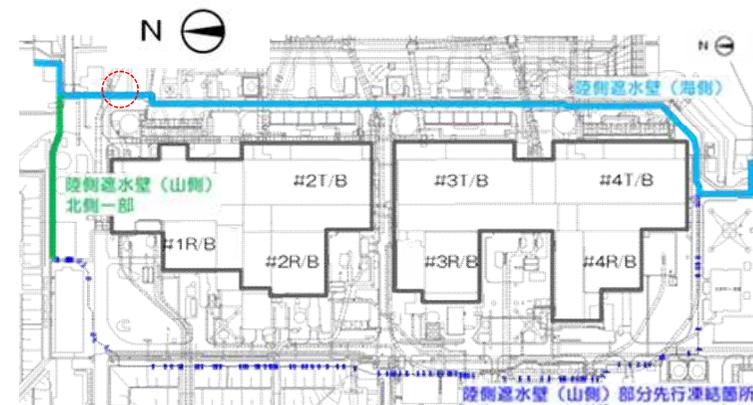
【参考】補助工法計画（1号機東側①）



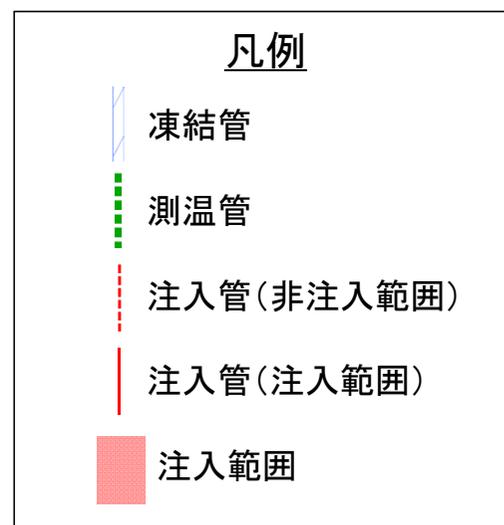
【参考】補助工法計画（1号機東側②）



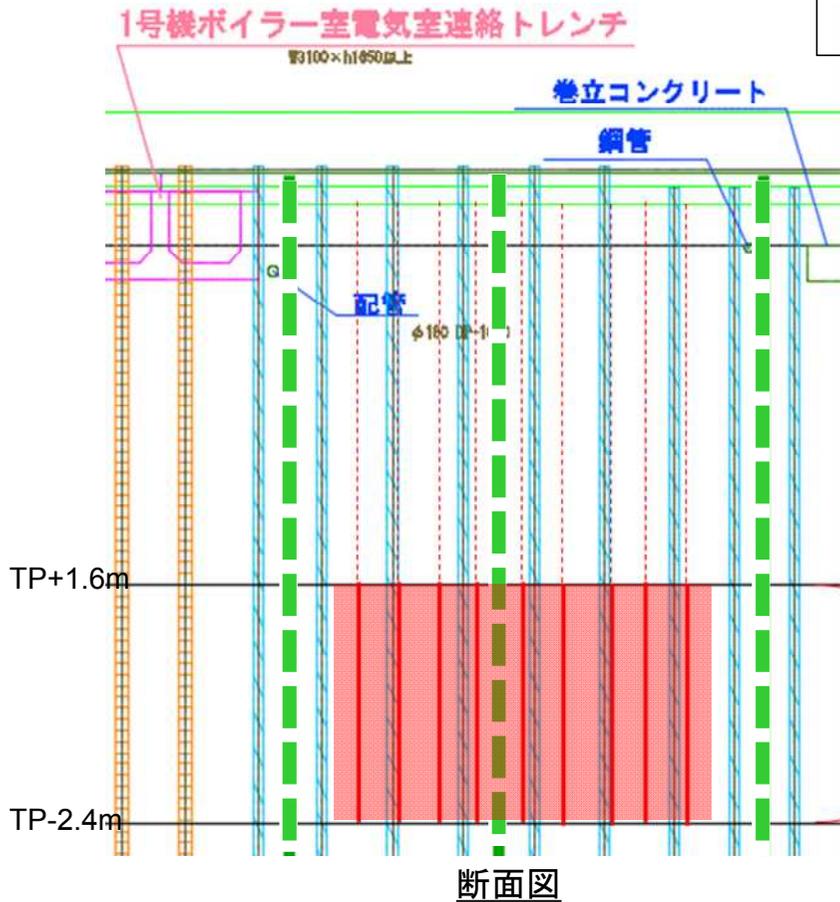
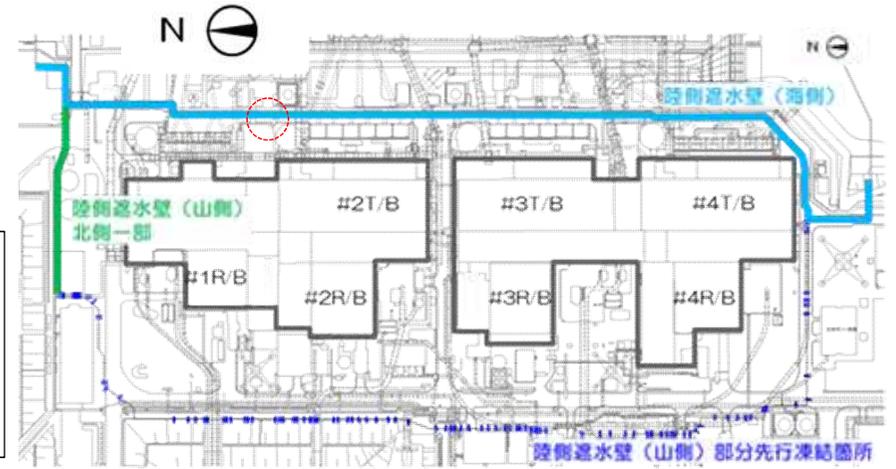
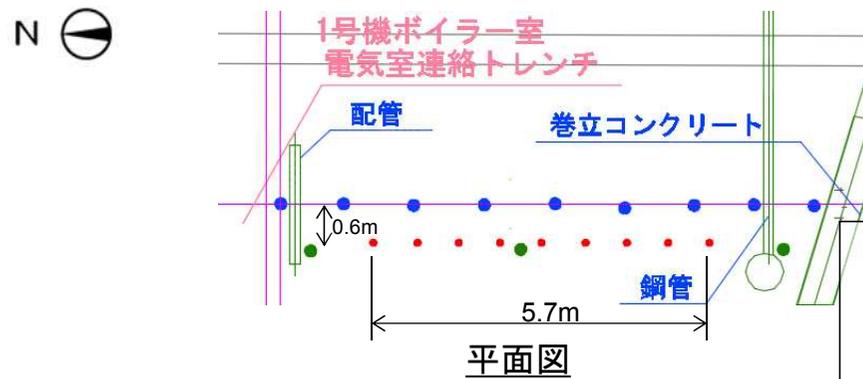
平面図



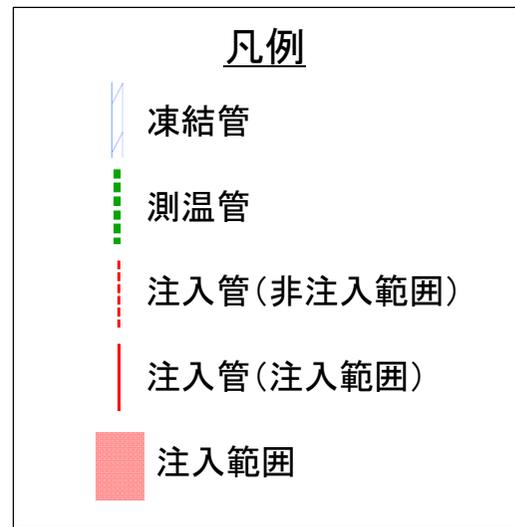
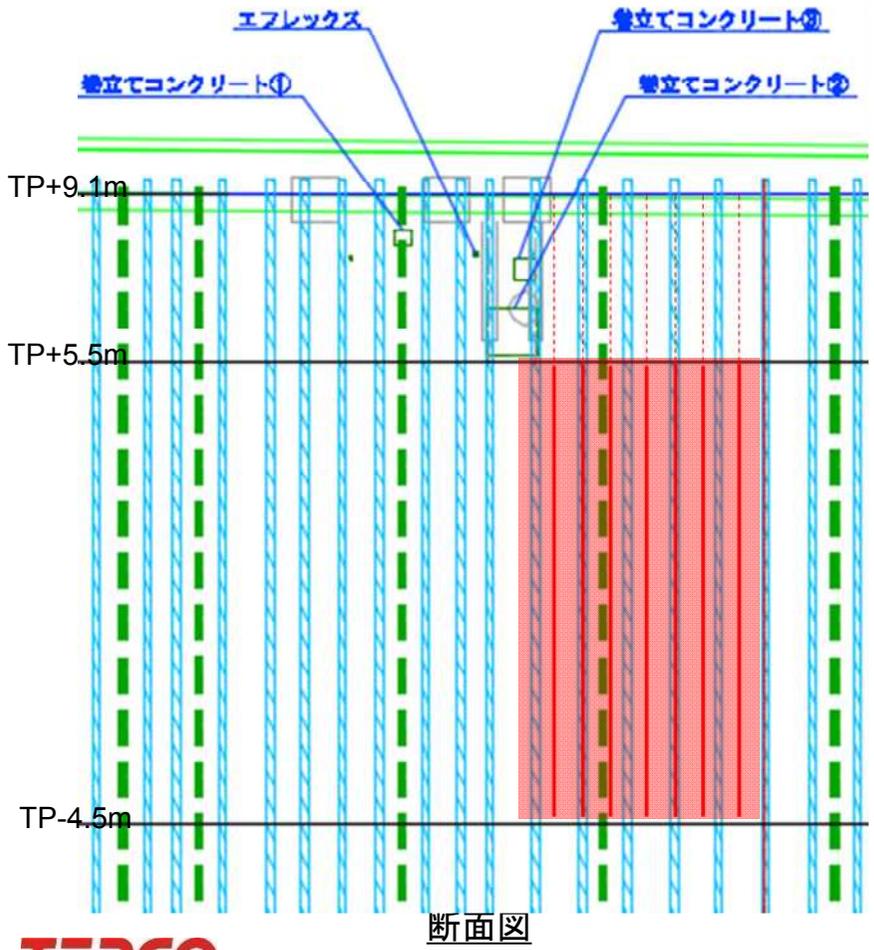
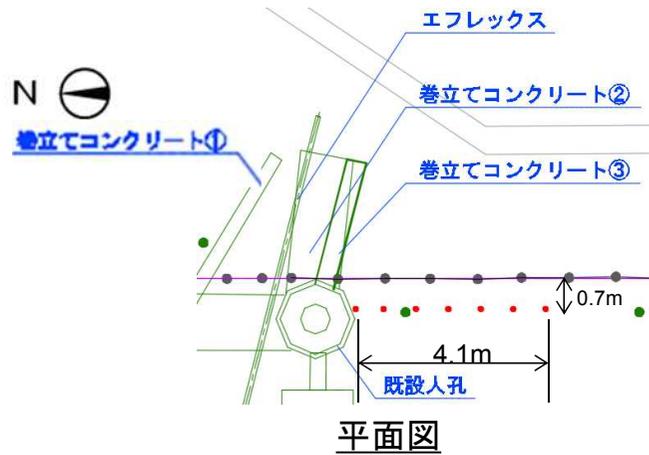
断面図



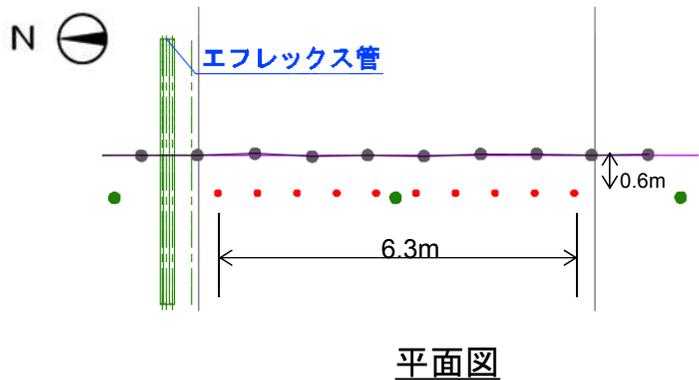
【参考】補助工法計画（1号機東側③）



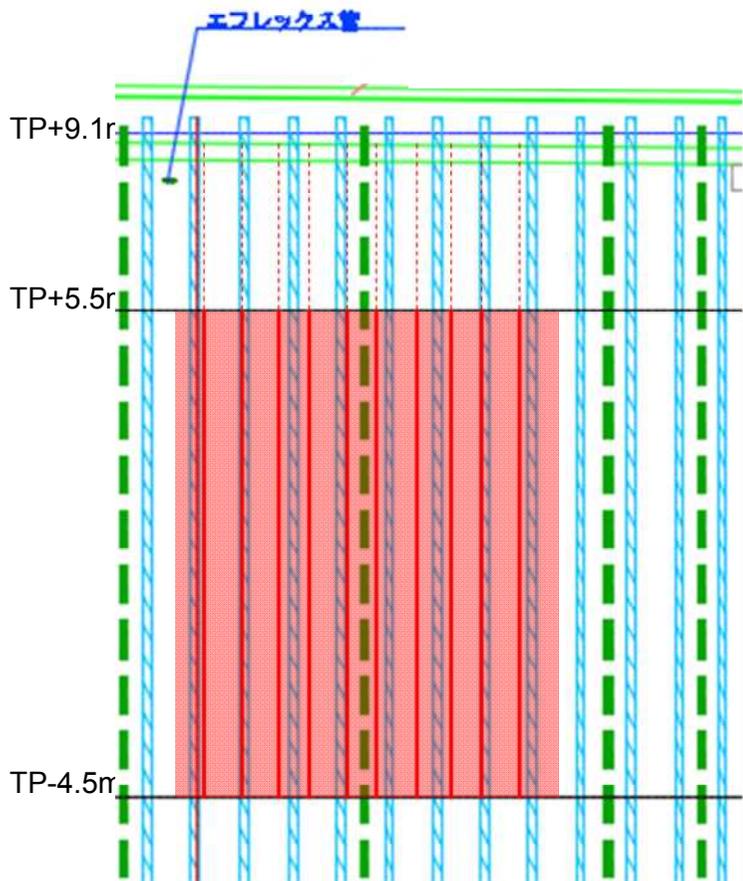
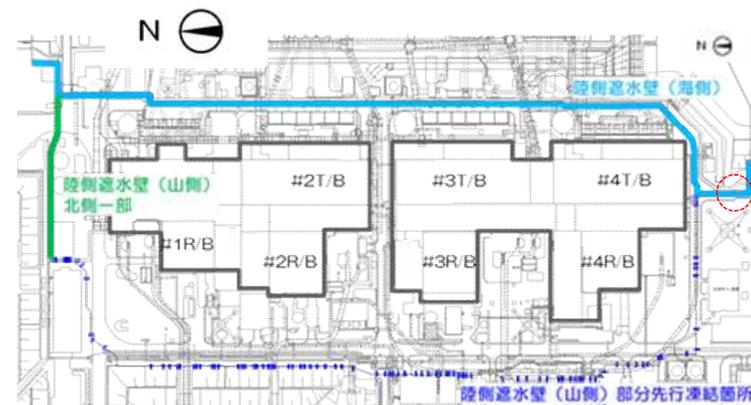
【参考】補助工法計画（4号機南側①）



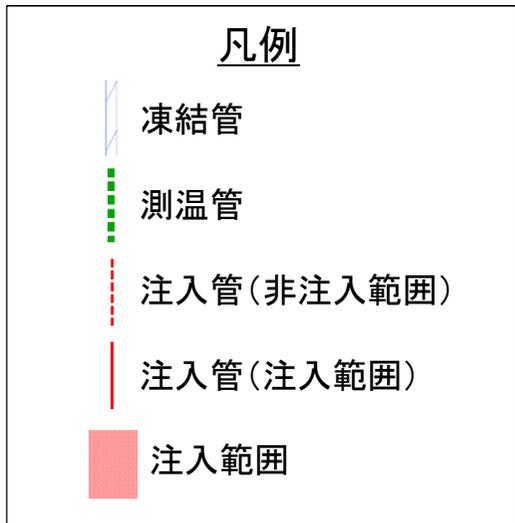
【参考】補助工法計画（4号機南側②）



平面図



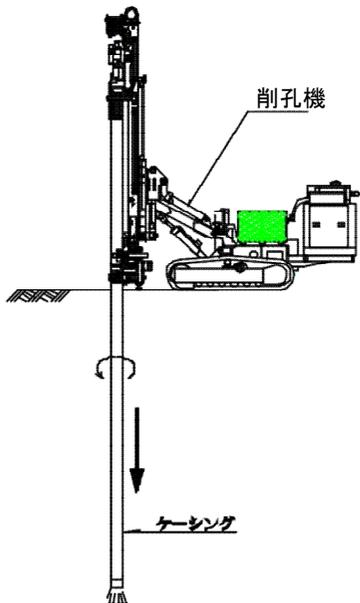
断面図



【参考】補助工法の施工手順

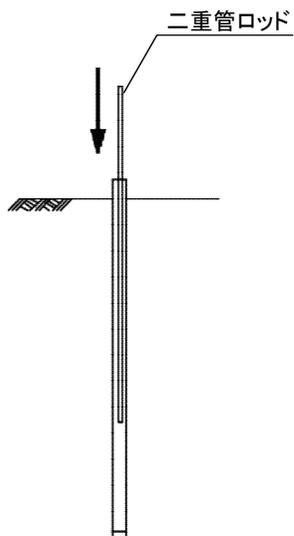
①先行削孔工

試掘により埋設物有無の確認後、先行掘削を行う。



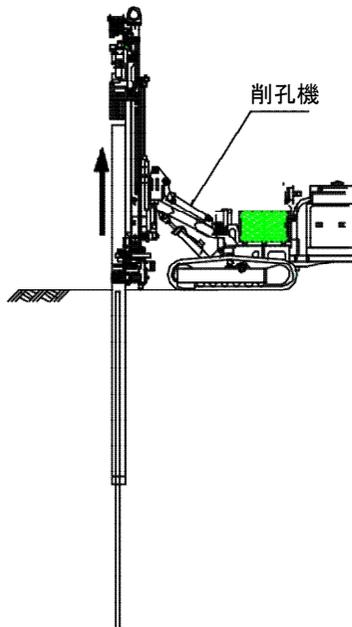
②二重管ロッド建込工

削孔完了後、二重管ロッドを人力で建込む。



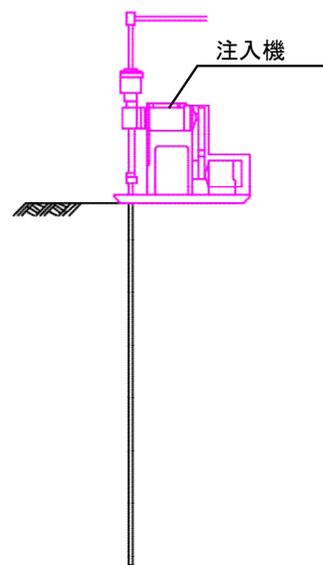
③ケーシング引抜工

先行削孔工のケーシングを引抜く。



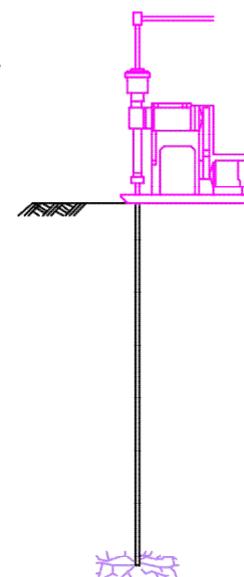
④注入機据付

先行設置した二重管ロッドに、注入機を設置する。



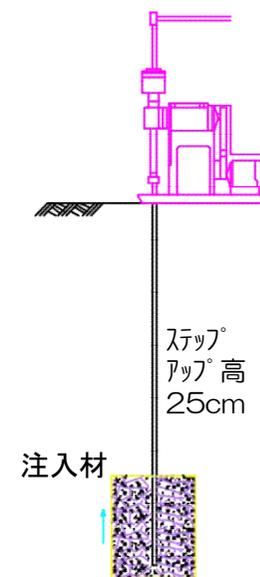
⑤注入材注入（開始）

注入機設置後、注入材料の注入を行う。



⑥注入材注入（完了）

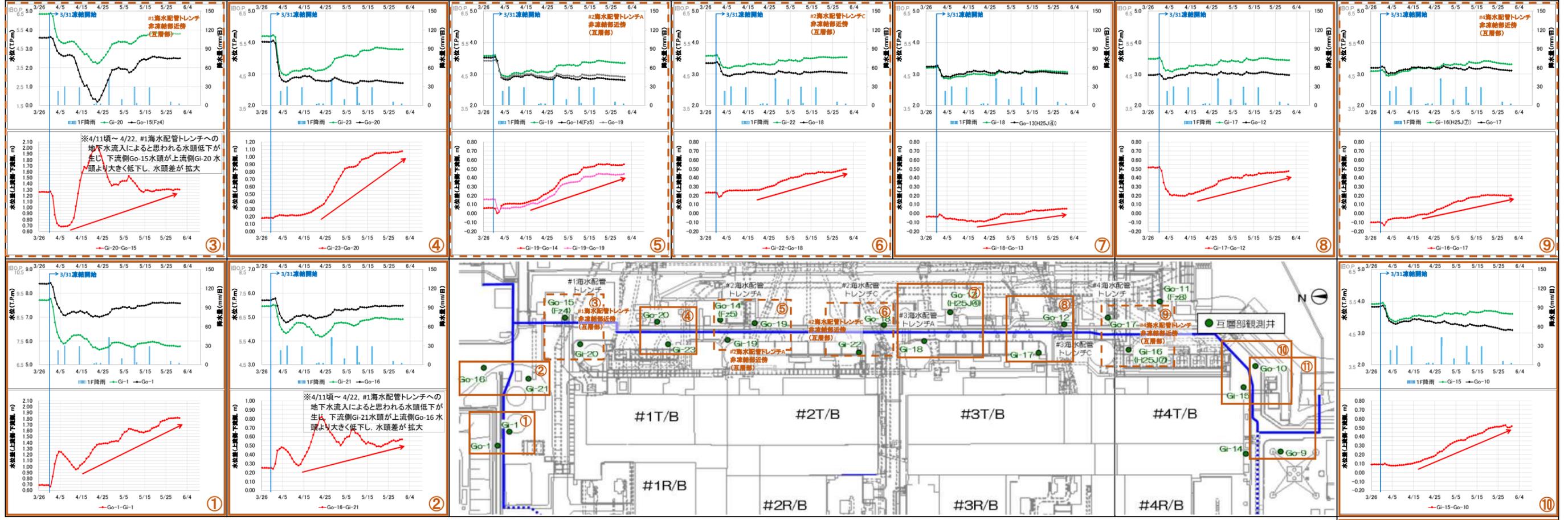
圧力・注入量を管理しながら計画注入区間を注入する。



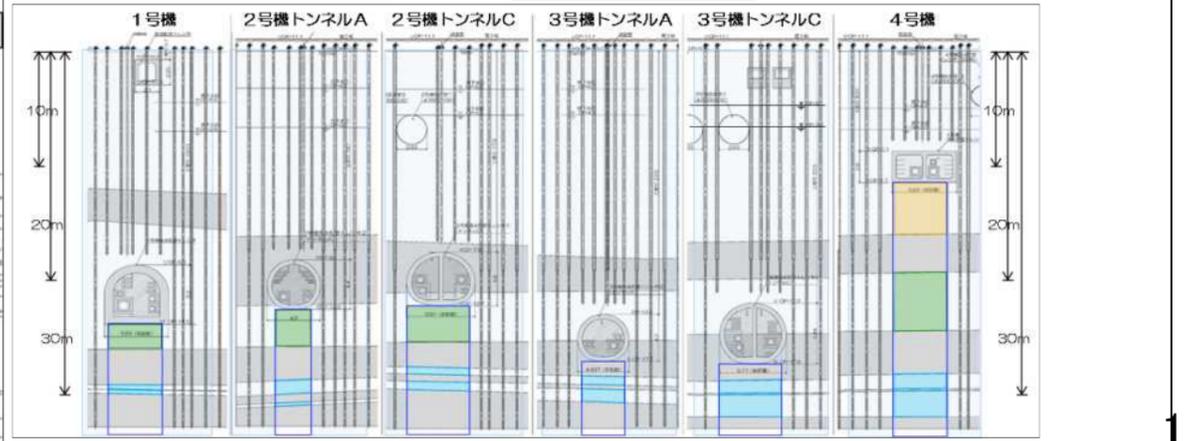
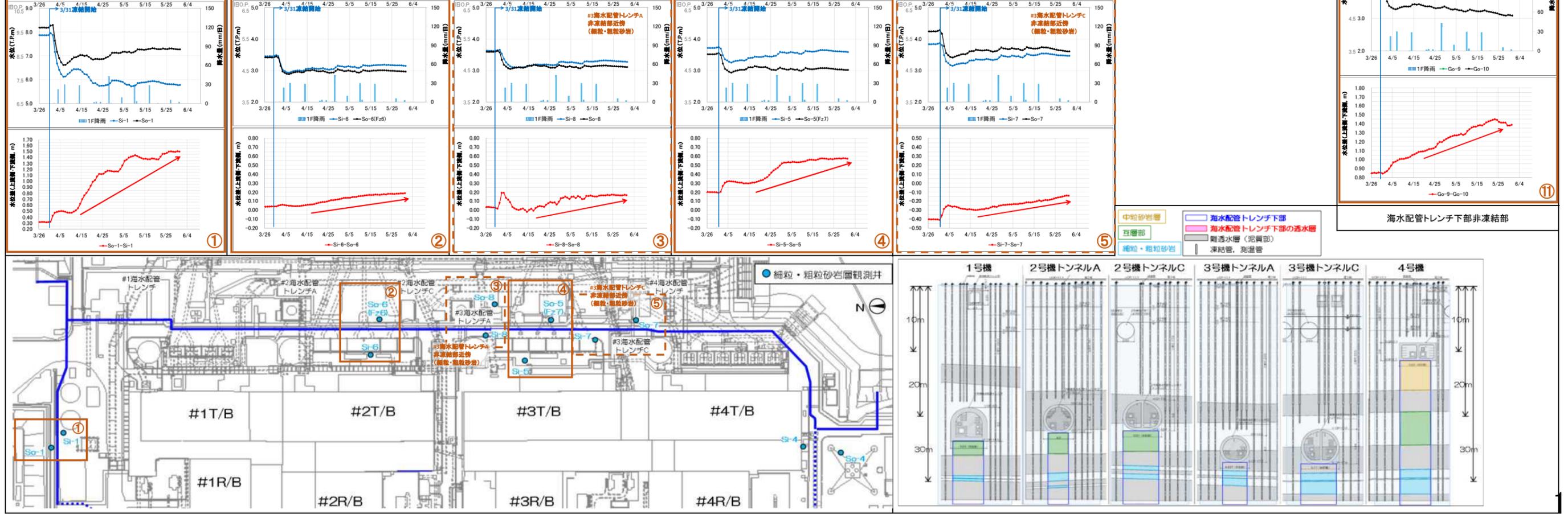
陸側遮水壁(海側) 中粒砂岩層・互層部・細粒粗粒砂岩 内/外水位・水頭差

資料2 別添1 2016/5/31更新

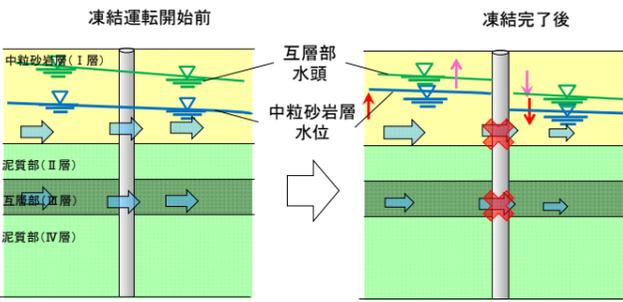
1. 陸側遮水壁(海側) 互層部 内/外水頭差



2. 陸側遮水壁(海側) 細粒・粗粒砂岩 内/外水位差



一般的な条件下では、陸側遮水壁の遮水効果発現により、陸側遮水壁を挟んで、地下水の流れの上流側では互層部水頭と中粒砂岩層水位は共に上昇し、下流側では共に低下する。

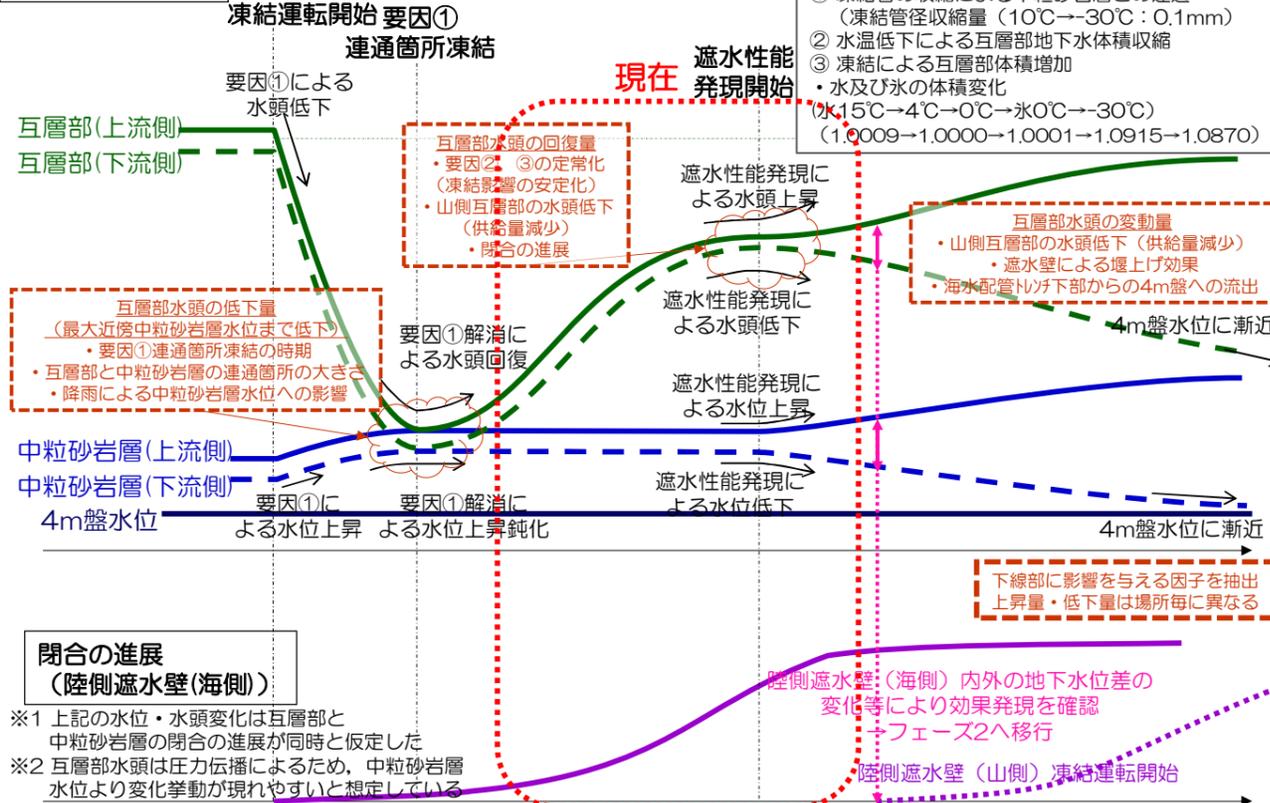


水の流れ
 中粒砂岩水位の傾向
 互層部水頭の傾向

互層部地下水頭
 上流は上昇傾向
 下流は低下傾向

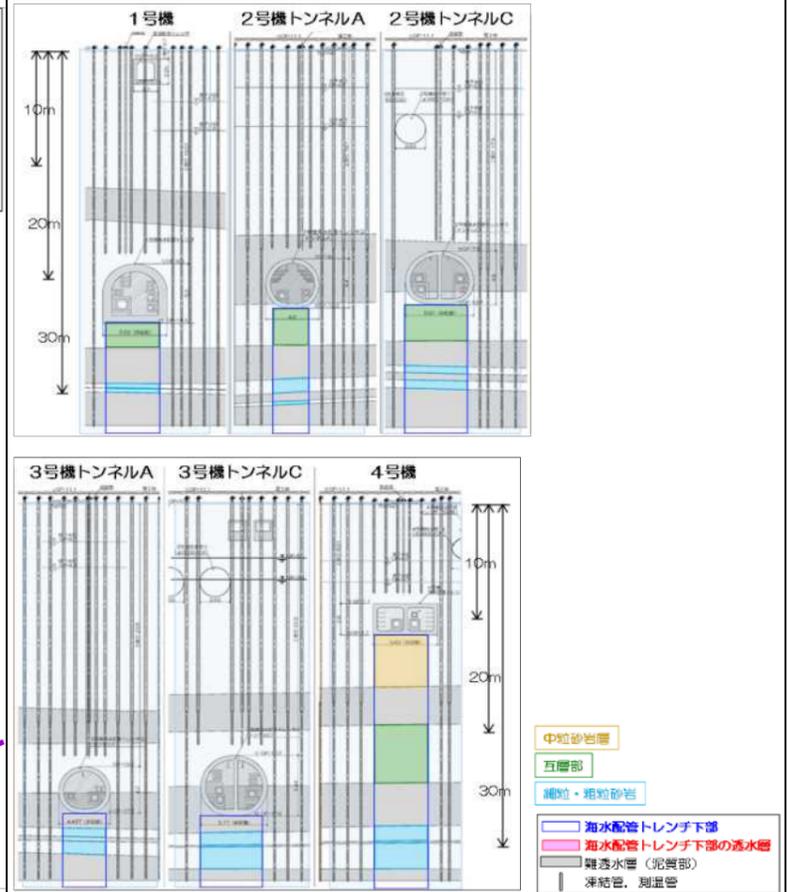
中粒砂岩層地下水頭
 上流は上昇傾向
 下流は低下傾向

水位・水頭の変化 フェーズ1

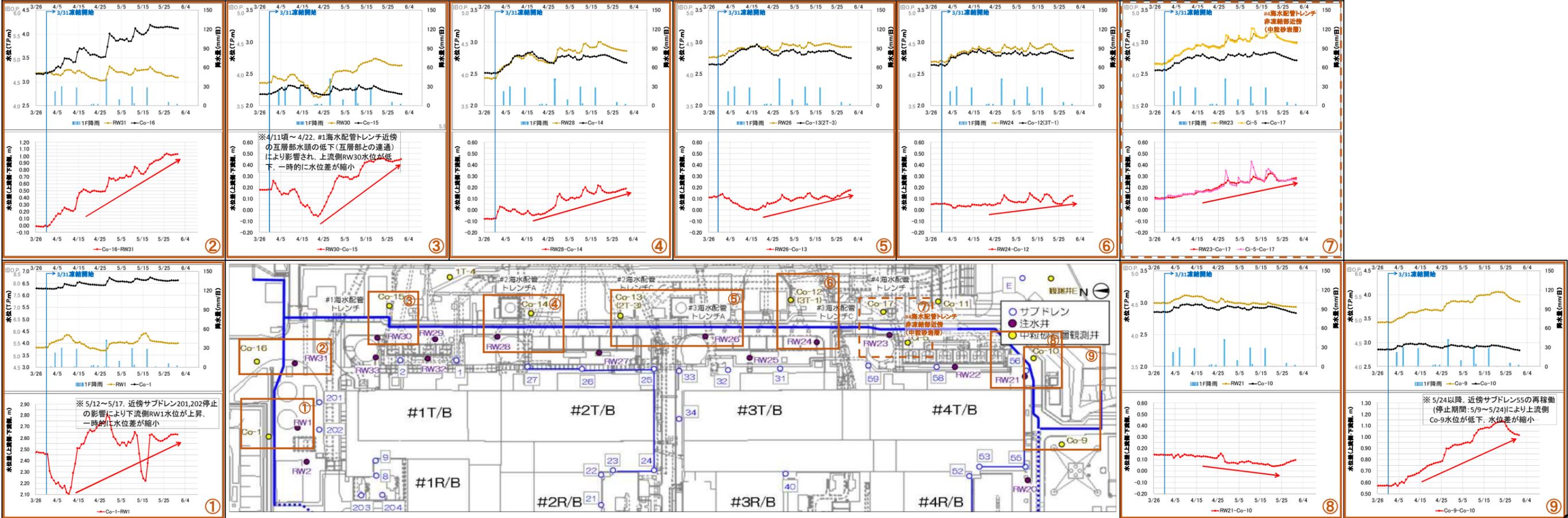


互層部水頭低下の想定要因(試験凍結より)

- 凍結管の収縮による中粒砂岩層との連通(凍結管径収縮量(10℃→-30℃:0.1mm))
- 水温低下による互層部地下水体積収縮
- 凍結による互層部体積増加
 ・水及び氷の体積変化
 (水15℃→4℃→0℃→氷0℃→-30℃)
 (1.0009→1.0000→1.0001→1.0915→1.0870)

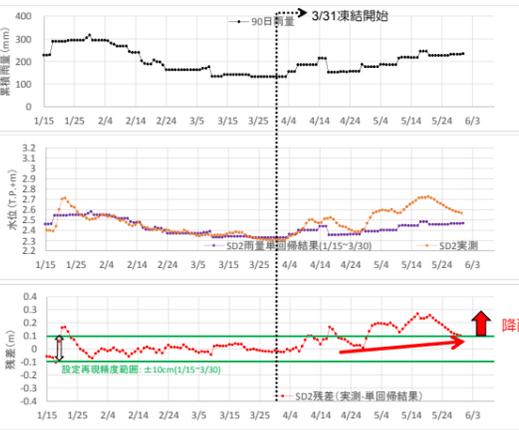
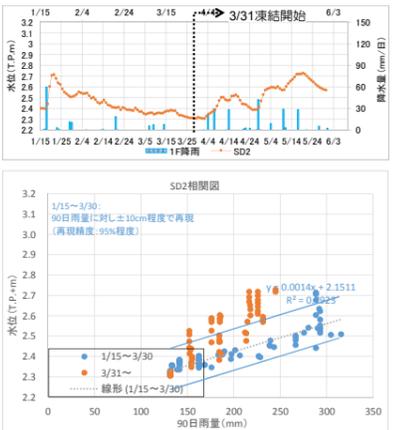


3. 陸側遮水壁(海側) 中粒砂岩層 内/外水位差

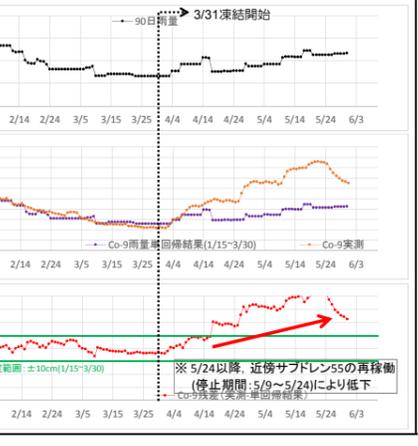
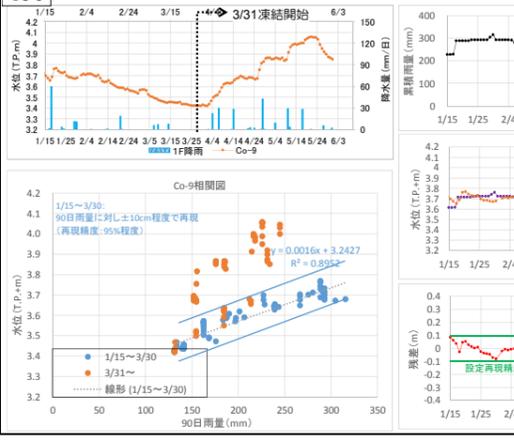
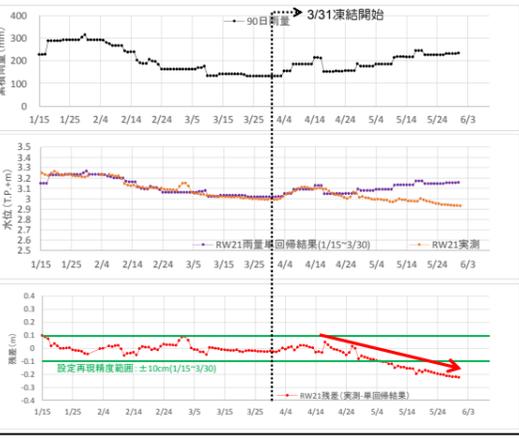
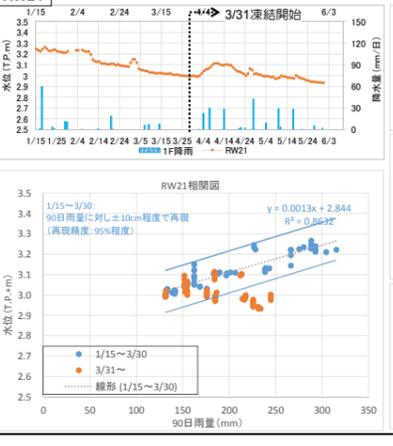
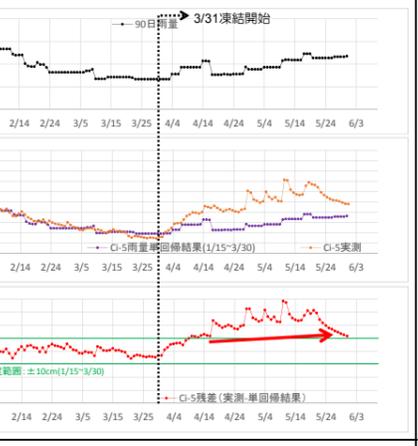
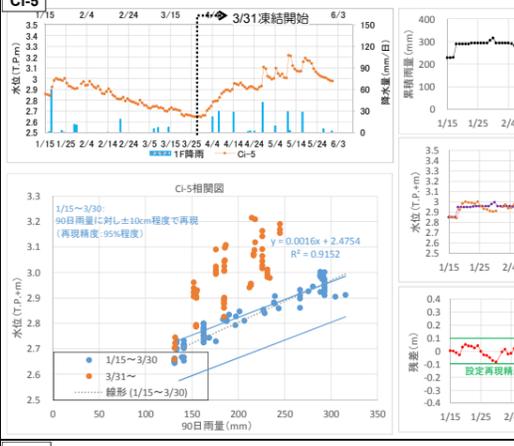
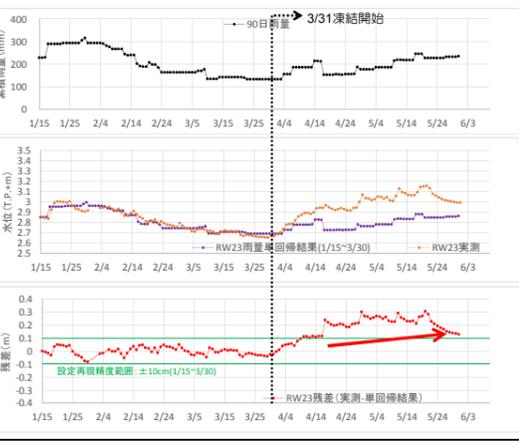
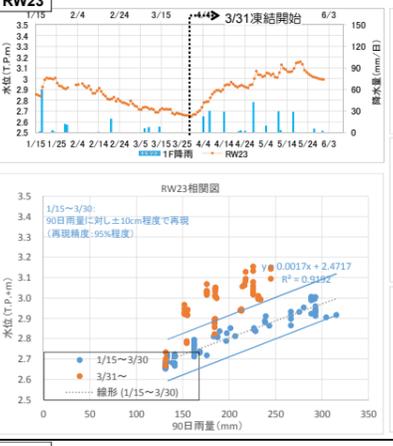
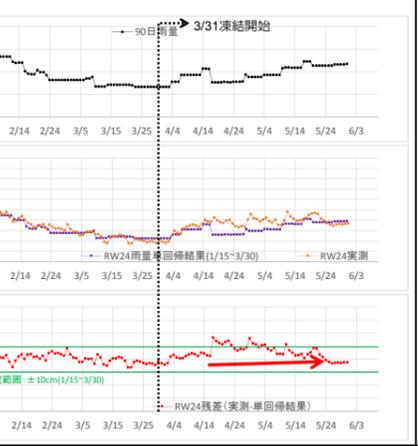
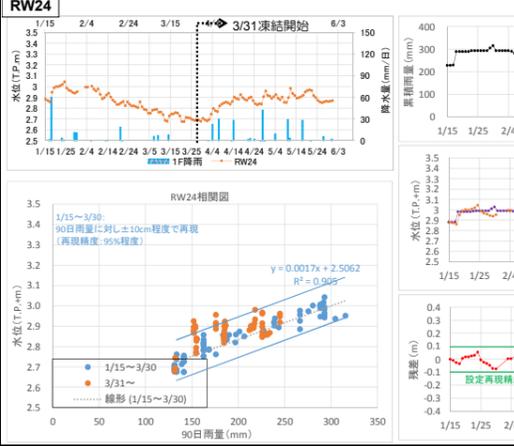
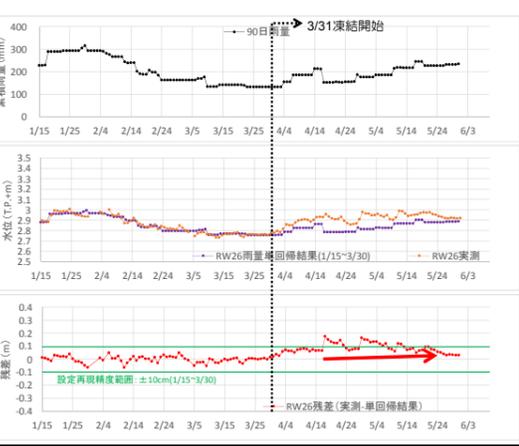
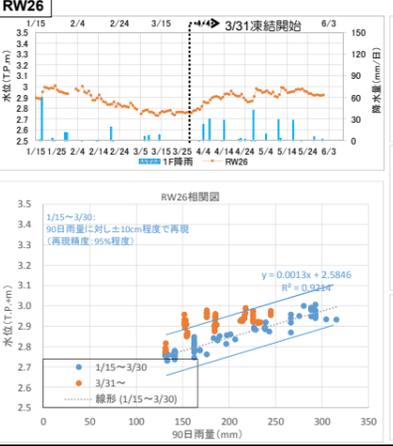
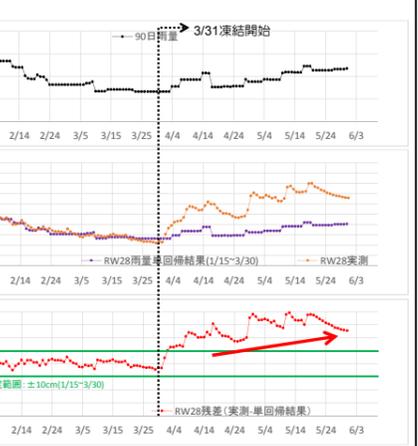
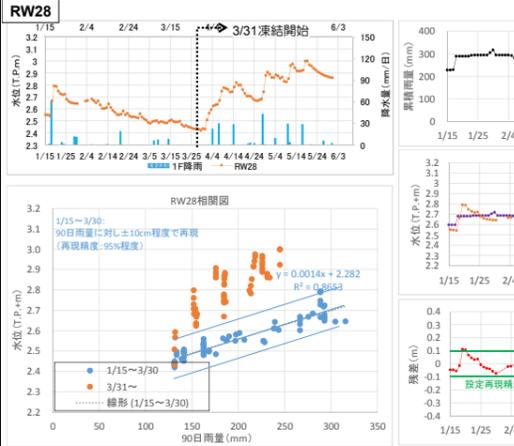
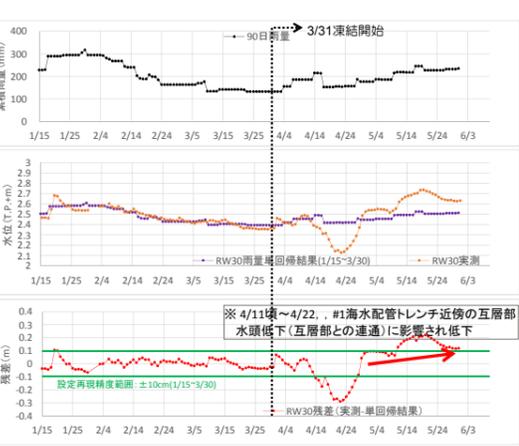
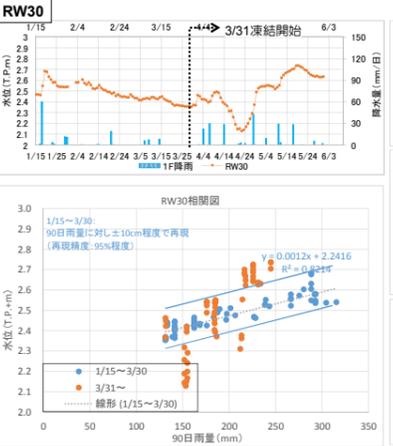
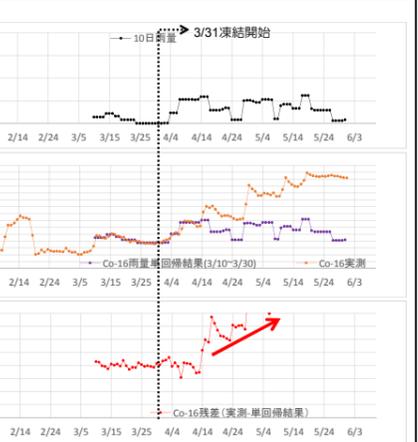
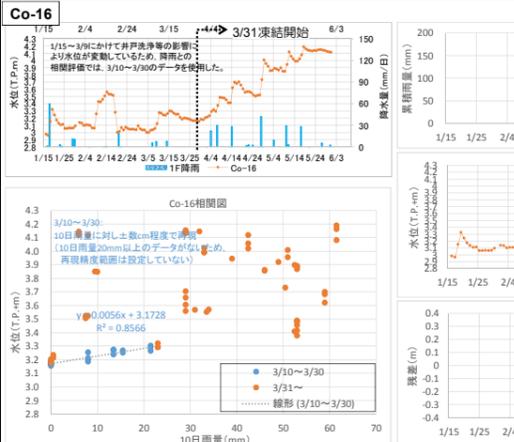
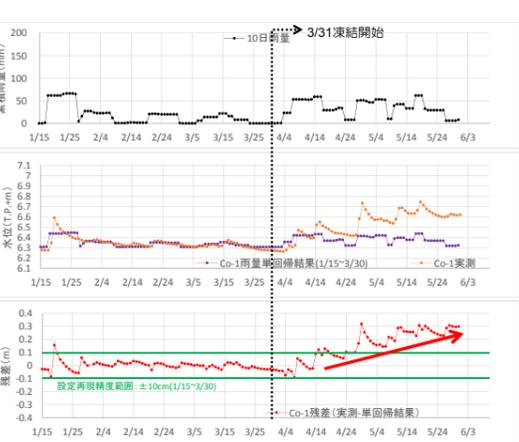
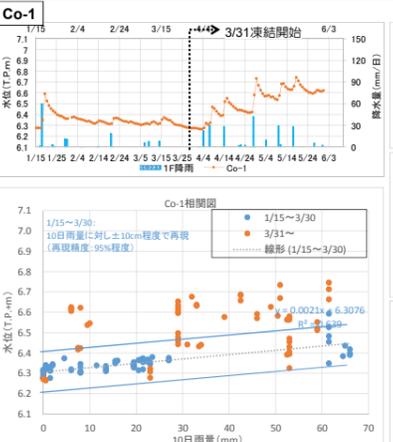


- 1/15※~3/30の地下水位と〇日雨量との相関を確認し、地下水位と最も相関の高い累積降雨日数を選定する。
- 相関図より、全体分布の内、残差(実測値-単回帰結果)を包絡する範囲が95%程度となることを目安として単回帰分析の再現精度を設定する。
- 上記により、降雨の影響を考慮した地下水位の変動幅を評価し、変動幅を超えて地下水位が上昇し、継続することを確認する。

※1/14より海側サドレンの設定水位が現状と同程度(T.P.+2.5m程度)としたことより設定



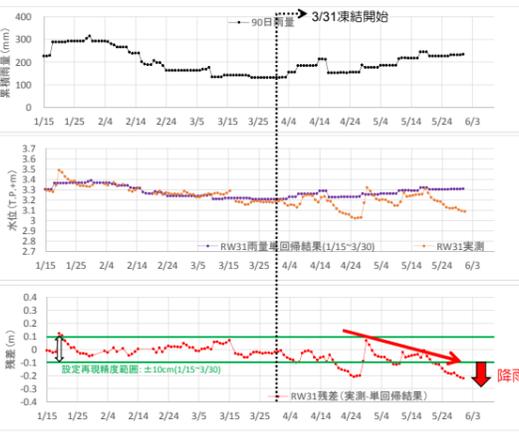
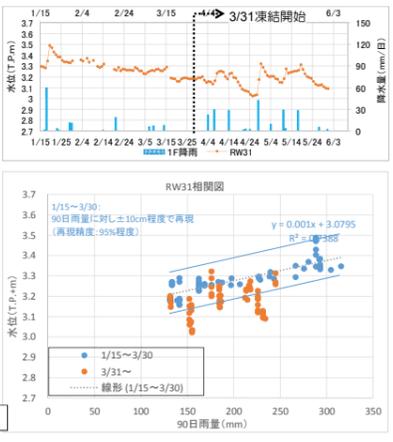
↑: 地下水位と90日雨量の相関関係から得られた再現精度の幅
※24時間平均データを使用した。ただし、注水井からの注水を実施した日等は除く。



陸側遮水壁(海側)下流側観測井 降雨影響を考慮した地下水位の変化

- 1/15*~3/30の地下水位と〇日雨量との相関を確認し、地下水位と最も相関の高い累積降雨日数を選定する。
- 相関図より、全体分布の内、残差(実測値-単回帰結果)を包絡する範囲が95%程度となることを目安として単回帰分析の再現精度を設定する。
- 上記により、降雨の影響を考慮した地下水位の変動幅を評価し、変動幅を超えて地下水位が低下し、継続することを確認する。

※ 1/14より海側サドレンの設定水位が現状と同程度(T.P.+2.5m程度)としたことより設定



↓ 降雨影響を考慮した変動幅を超えた地下水位の低下
 ⊕ : 地下水位と90日雨量の相関関係から得られた再現精度の幅
 ※ 24時間平均データを使用した。ただし、注水井からの注水を実施した日等は除く。

