

建屋への地下水流入抑制策について
—基本シナリオにおける陸側遮水壁閉合の進め方—

2015年5月22日

東京電力株式会社

1. (報告) 試験凍結実施状況
2. 基本シナリオにおける陸側遮水壁閉合の進め方

1. (報告) 試験凍結実施状況

1. 1 試験凍結実施目的

- 試験凍結では、ブライン移送管や凍結管等に循環されるブライン温度や測温管で計測される地中温度の変化傾向を確認し、ブライン循環設備の全体システムの稼働状況や地下水流況の影響等を確認する。
- 特に影響が大きいと想定される箇所では地中温度などの温度変化傾向を確認することで、本格運用時に留意すべき点の抽出や対応策の検討に資する。

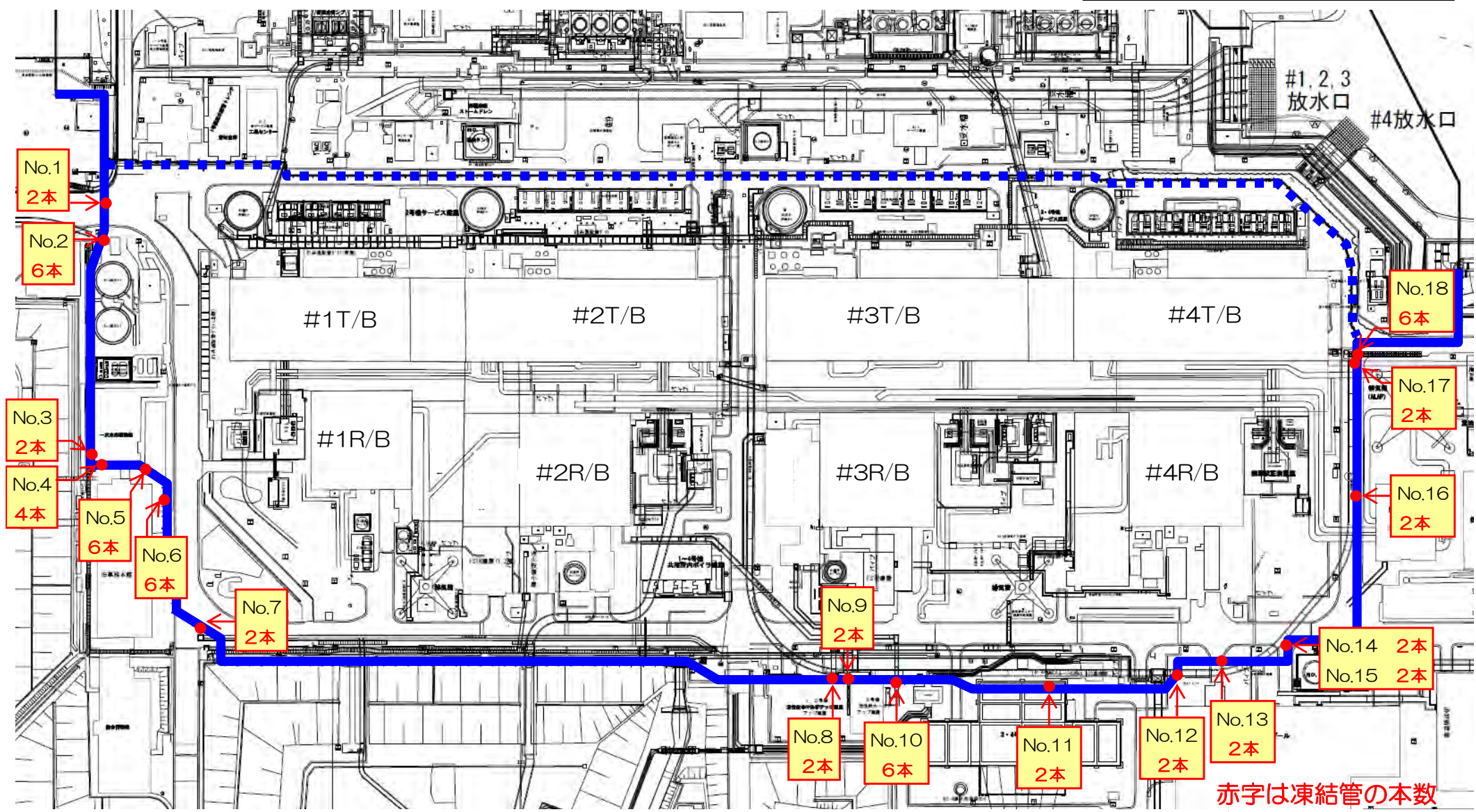
1. 2 試験凍結実施状況

- 2015年4月28日
 - ◆ 「陸側遮水壁（山側ライン）における試験凍結の実施」の実施計画変更認可。
- 2015年4月30日12時
 - ◆ 福島第一原子力発電所構内で陸側遮水壁の試験凍結を18箇所（凍結管58本）で開始。
- 2015年5月22日現在
 - ◆ 設備は順調に稼働、ブライン（冷却材）送り温度は -30°C 付近で安定し、凍結管近傍の地中温度は、凍結管の配置に応じた低下傾向が確認されており、今後も徐々に凍結範囲が拡大していくものと想定される。
 - ◆ 地下水位については継続して観測しており、試験凍結による影響を引き続き確認していく（詳細後述）。

1. 3 陸側遮水壁の試験凍結箇所

試験凍結は図に示す18箇所で実施

- 試験凍結箇所
- 陸側遮水壁 (山側)
- 陸側遮水壁 (海側)

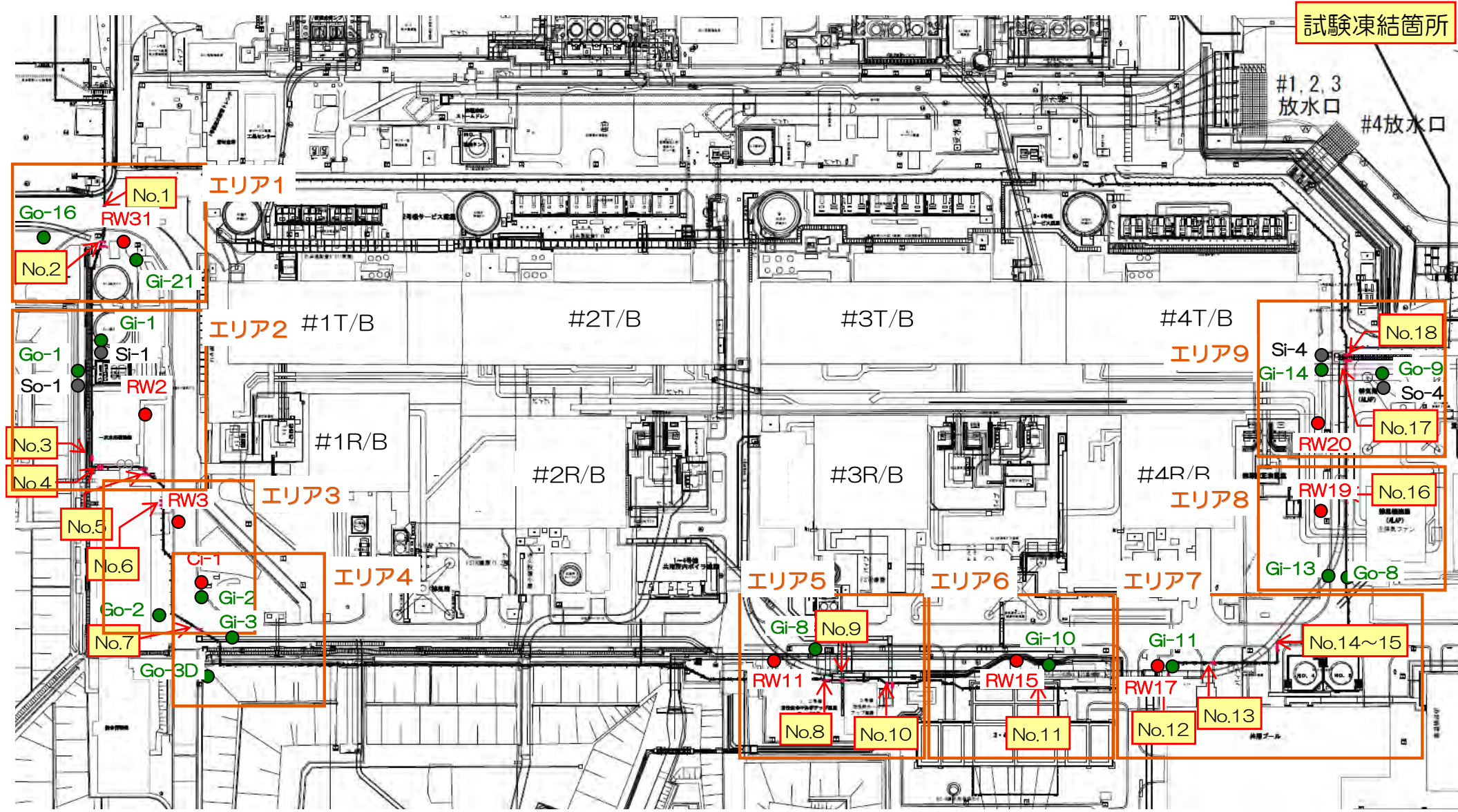


赤字は凍結管の本数
合計58本

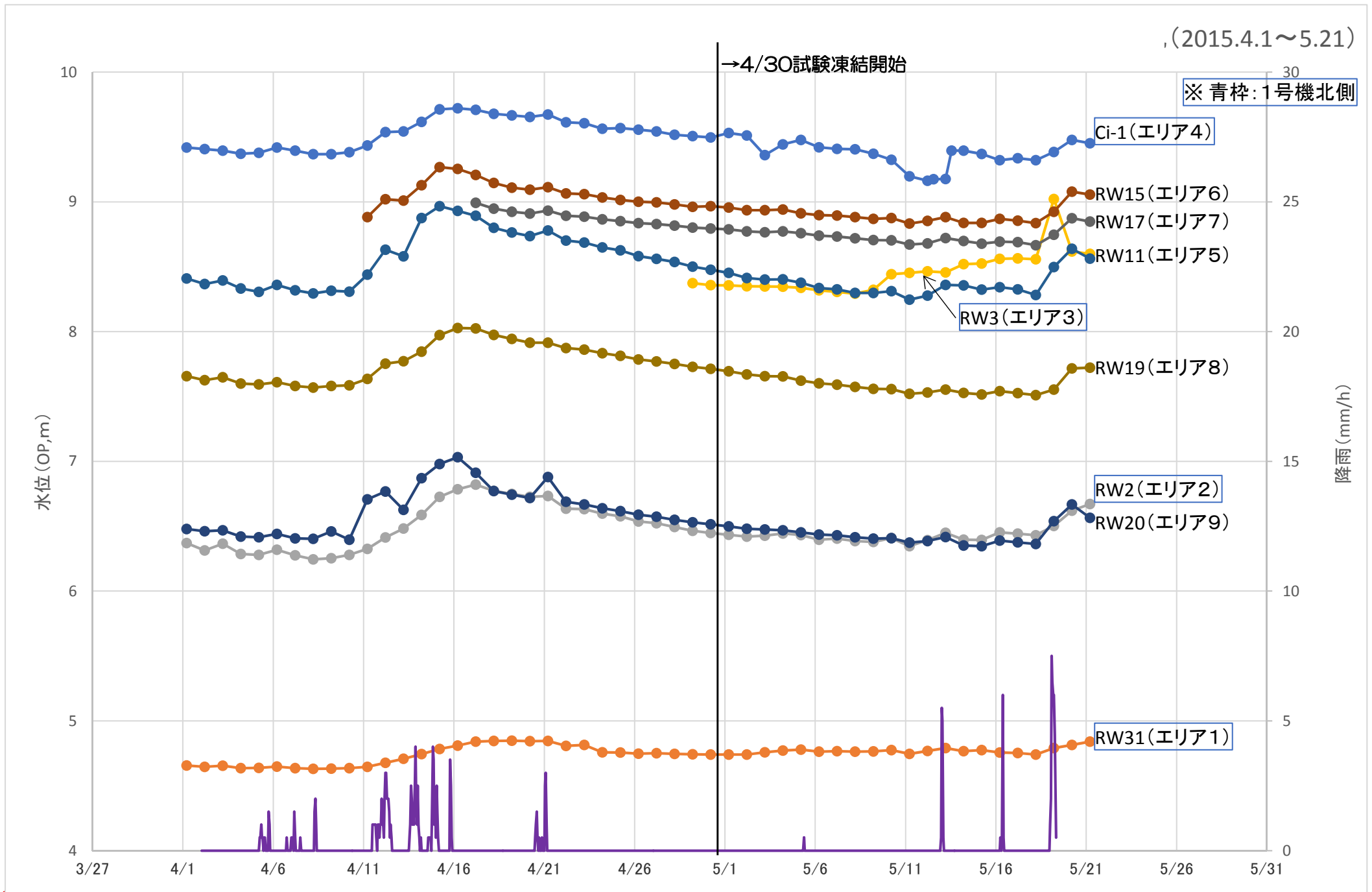
1. 4 試験凍結箇所近傍の地下水位観測井



- 中粒砂岩層の注水井・観測井
- 互層部の観測井
- 細粒・粗粒砂岩層の観測井

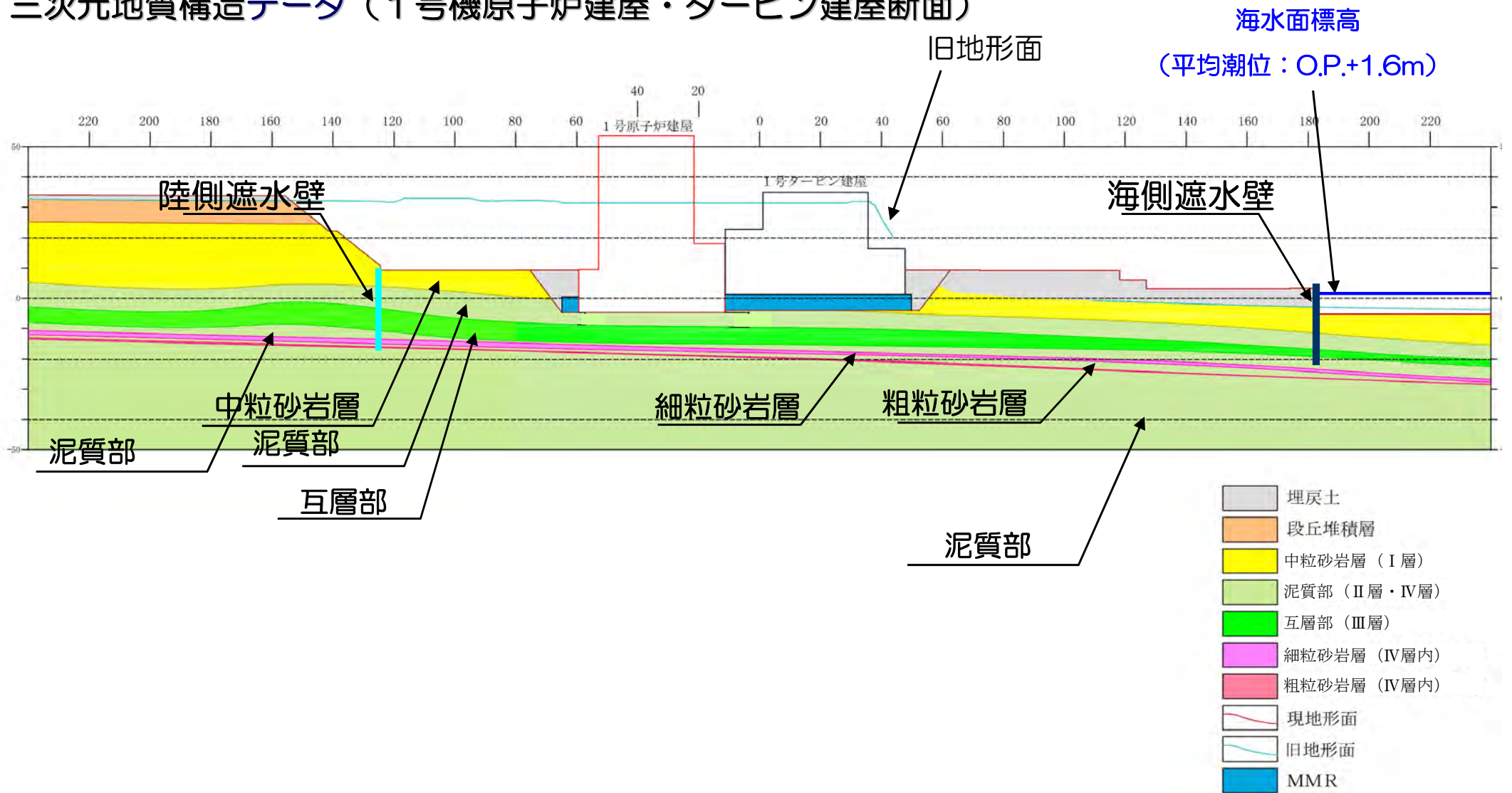


1. 5 試験凍結箇所近傍の地下水位（中粒砂岩層）経時変化



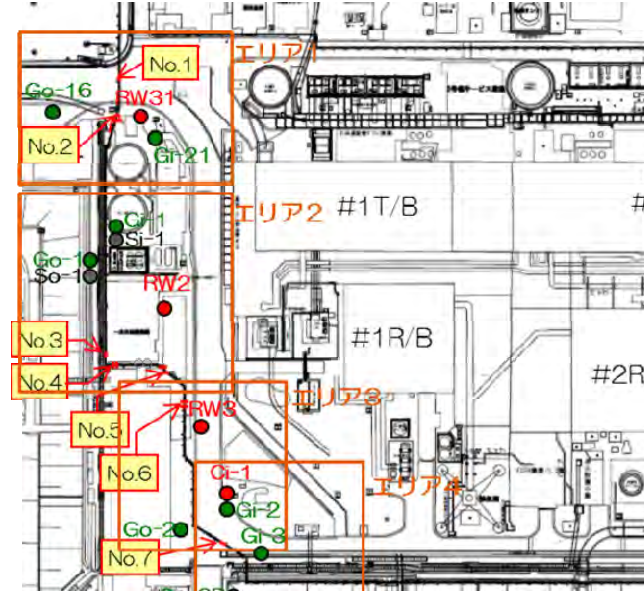
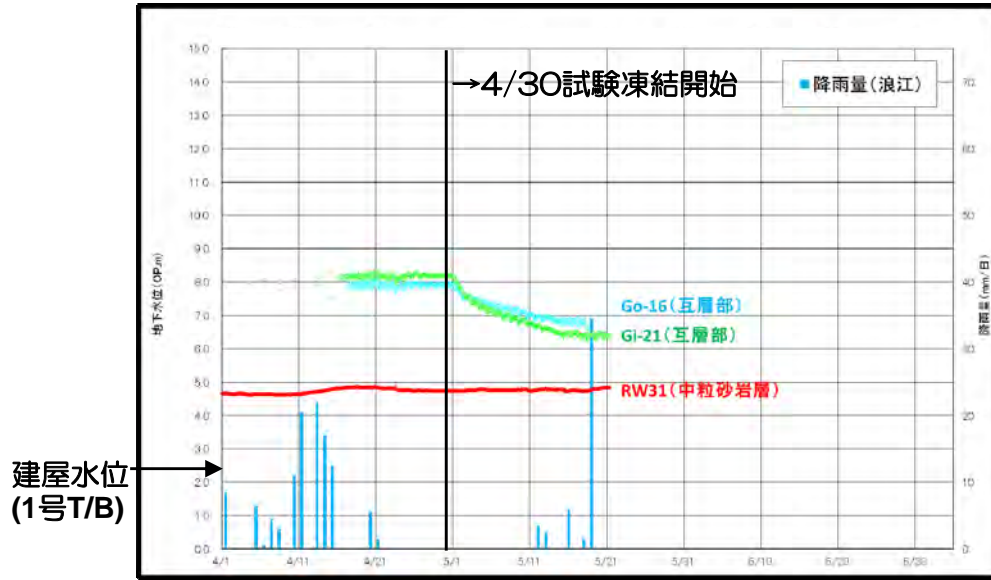
【参考】福島第一原子力発電所の地層層序

三次元地質構造データ（1号機原子炉建屋・タービン建屋断面）

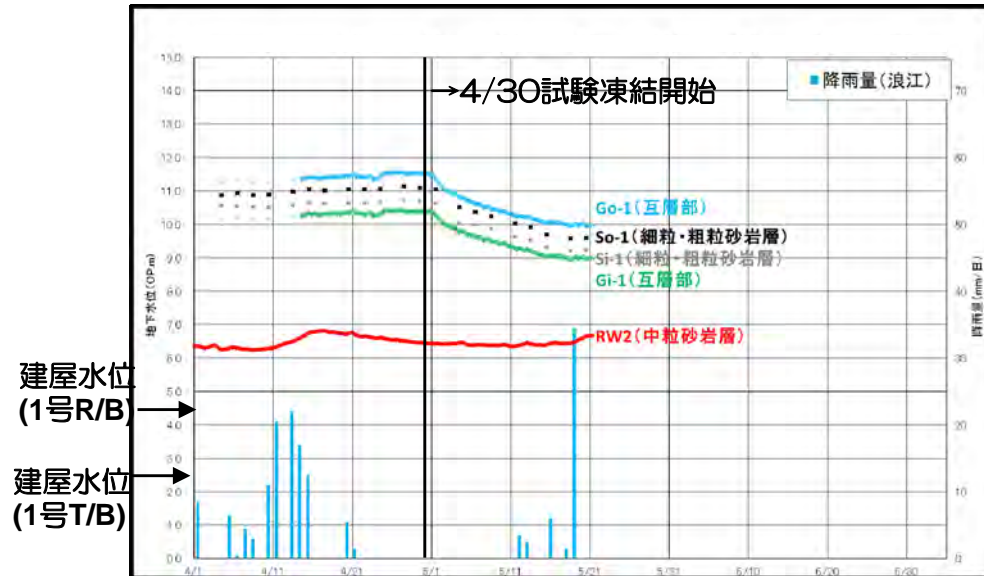


1. 6 試験凍結箇所近傍の地下水位（中粒砂岩層）・水頭（互層） 経時変化①

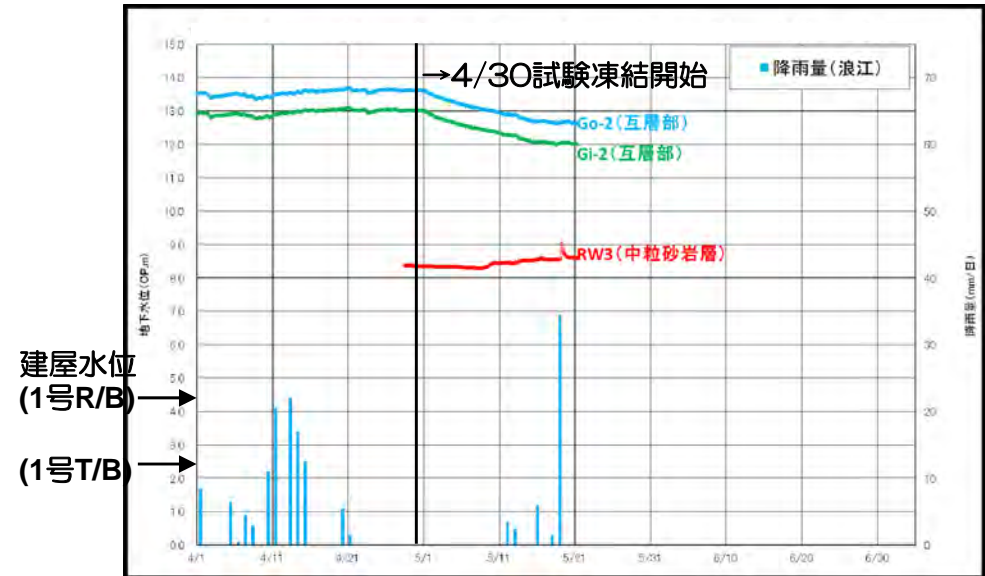
エリア1



エリア2

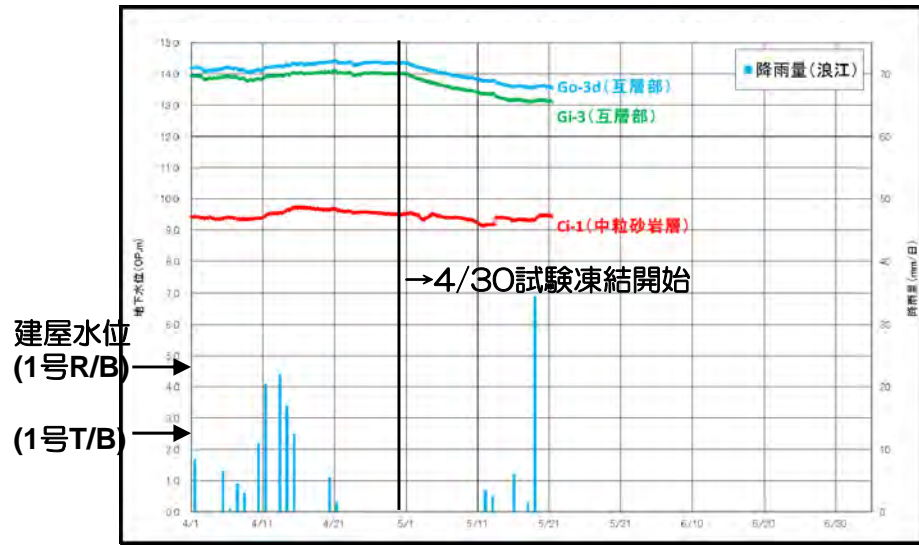


エリア3

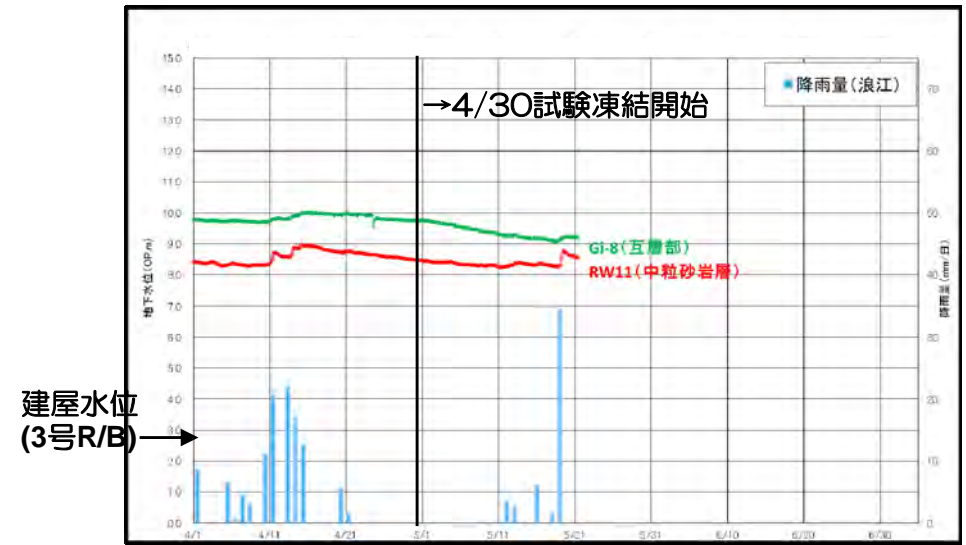


1. 6 試験凍結箇所近傍の地下水位（中粒砂岩層）・水頭（互層） 経時変化②

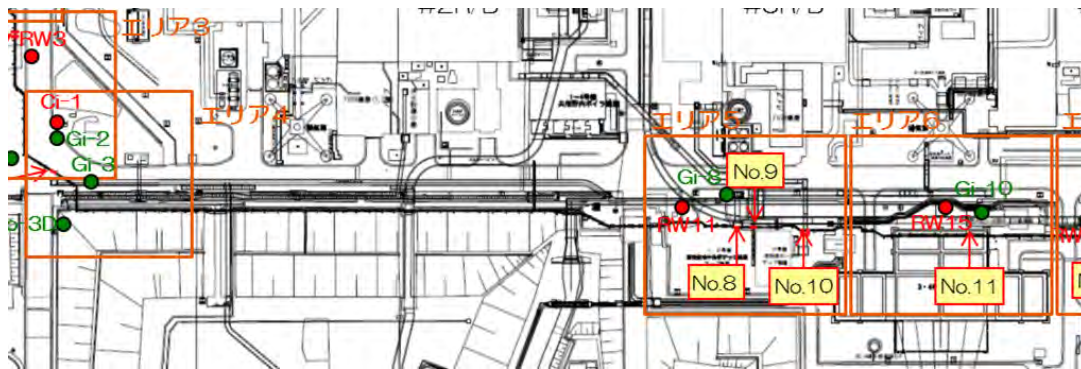
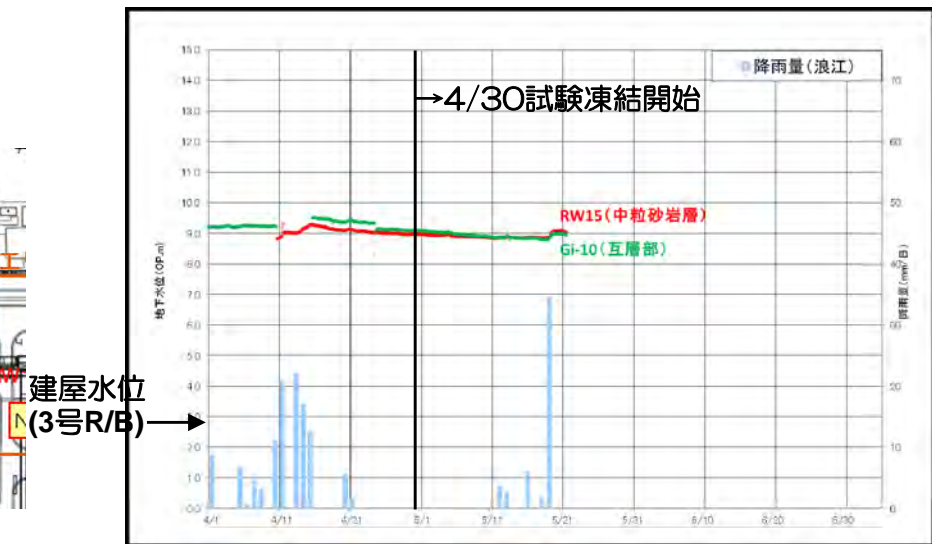
エリア4



エリア5

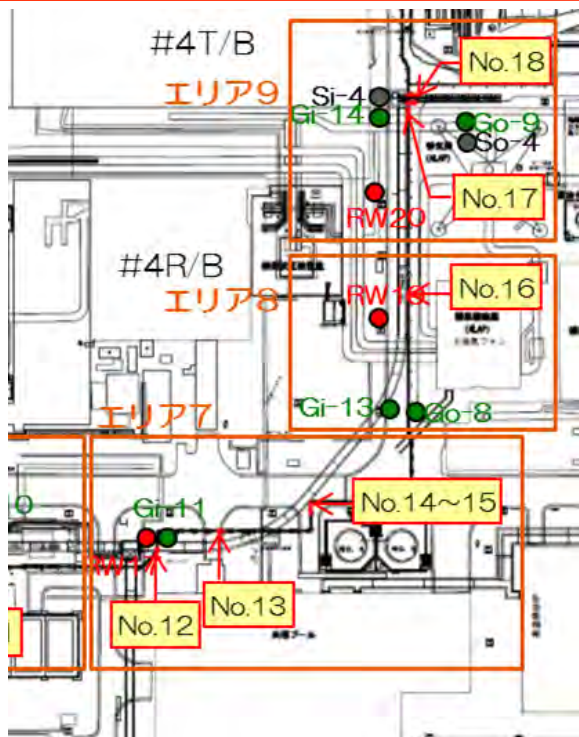


エリア6

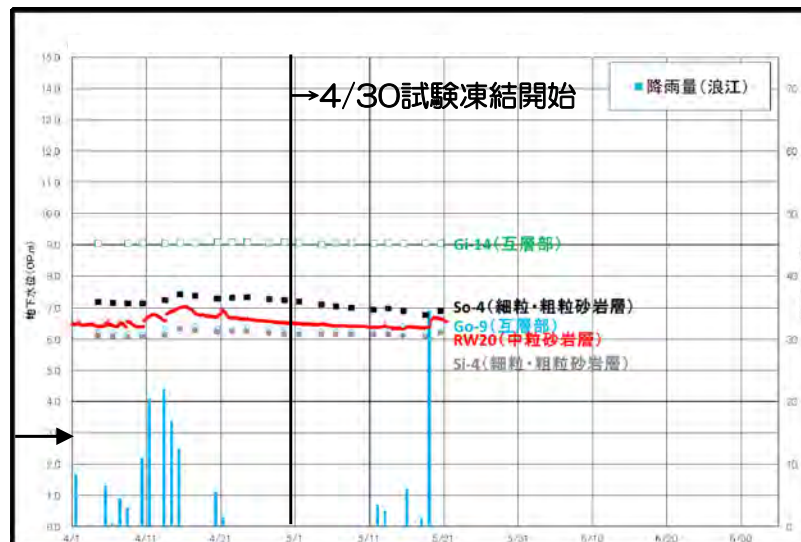


建屋水位：2015年3月31日現在

1. 6 試験凍結箇所近傍の地下水位（中粒砂岩層）・水頭（互層） 経時変化③

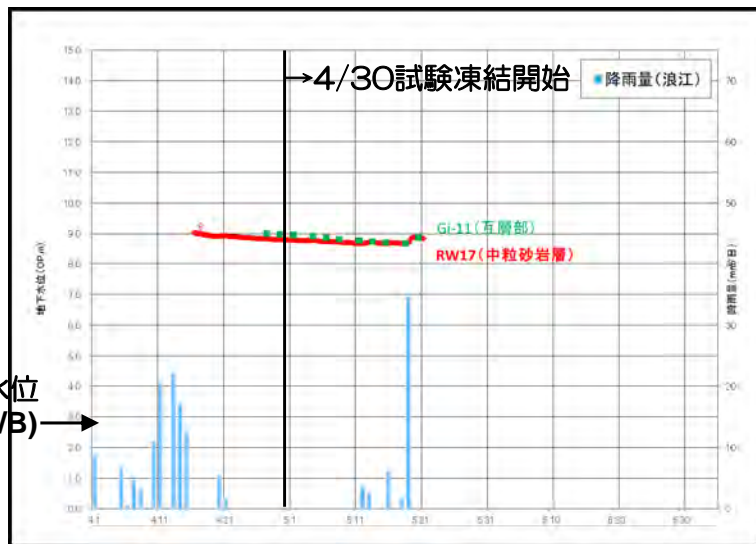


エリア9



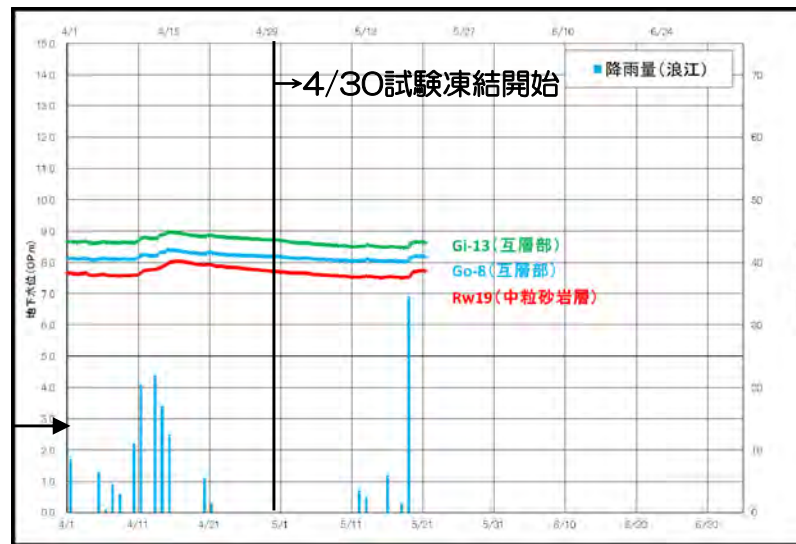
建屋水位
(4号R/B, 4号T/B)

エリア7



建屋水位
(4号R/B)

エリア8



建屋水位
(4号R/B, 4号T/B)

建屋水位：2015年3月31日現在

1. 7 まとめ 試験凍結開始後の地下水挙動

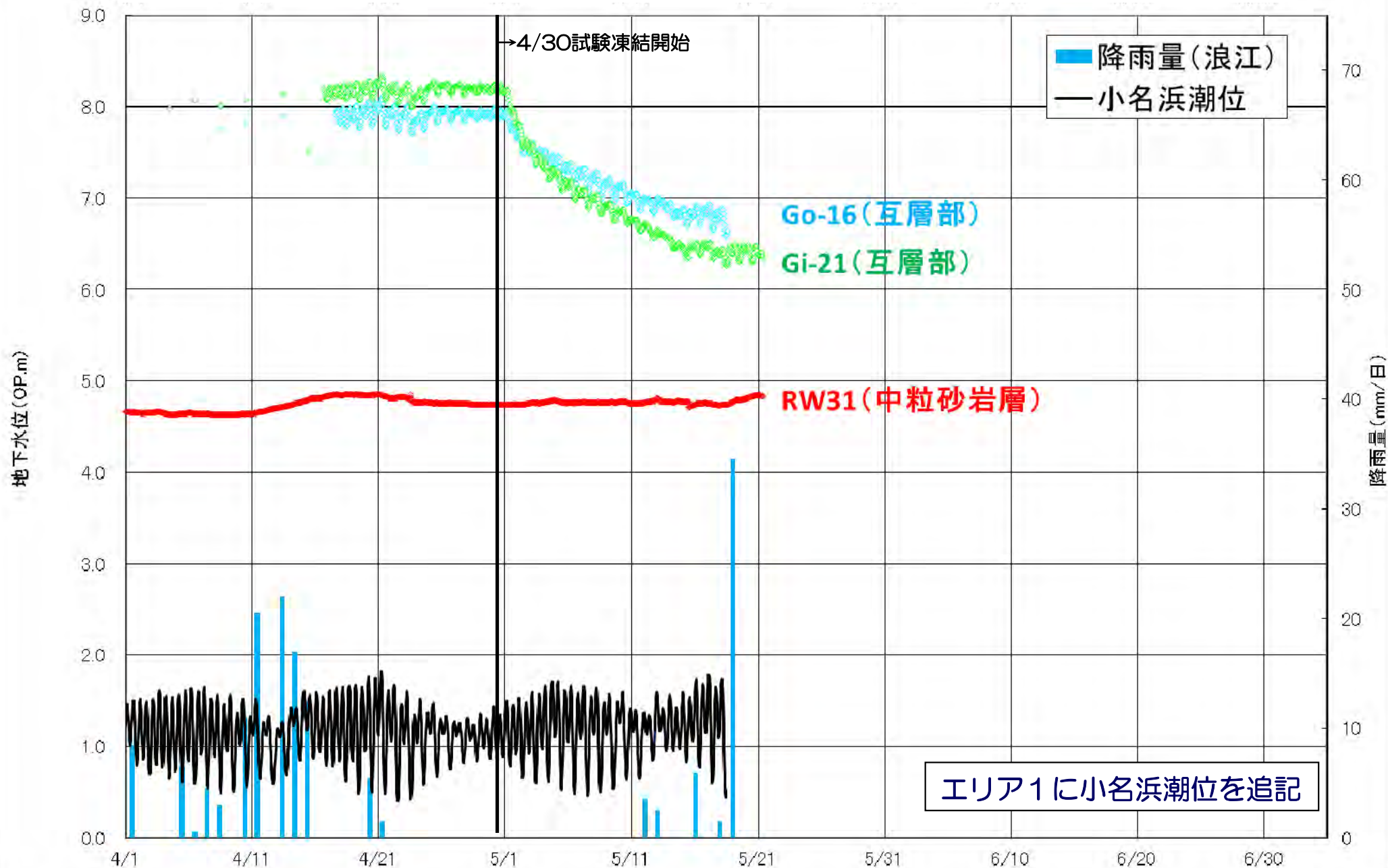
■ 中粒砂岩層の地下水位

- 試験凍結開始前から、降雨に影響された挙動が確認されている。
- Ci-1孔、RW3孔で他孔と異なる地下水位の低下・上昇が確認された。今後も継続監視を行い、挙動について評価していくこととする。

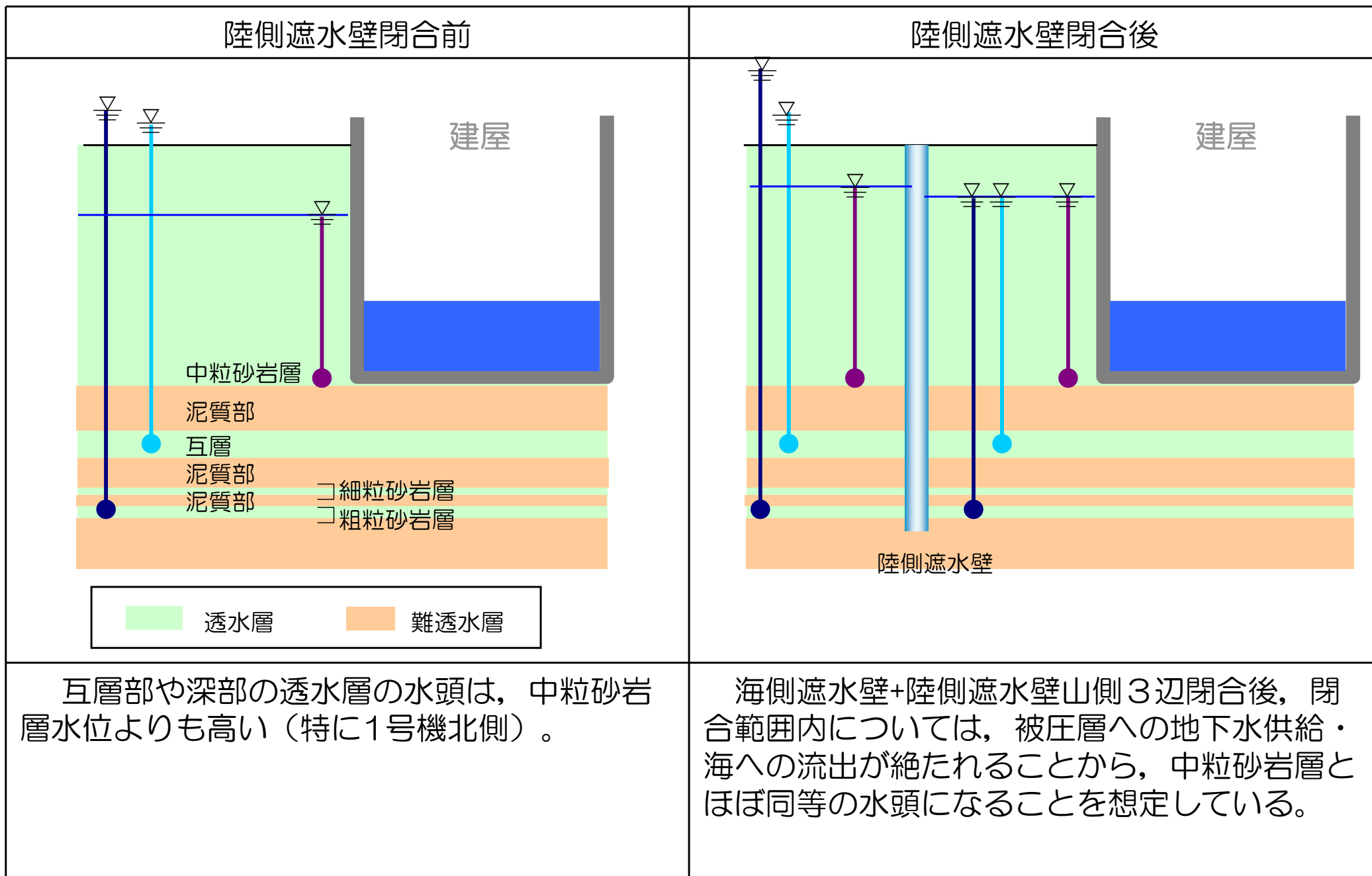
■ 互層部以深の水頭

- 特に1号機北側において、試験凍結開始直後から互層部の水頭の低下が確認されたが、中粒砂岩層より高い水頭の被圧地下水が維持されている。
- 試験凍結前から確認されている潮位変動に影響を受けた互層部の挙動が、凍結開始後においても同様に認められることから、被圧状態が大きく崩されていないと考えられる。従って、水頭の低下が継続し続けることは無いと想定している（P11参照）。
- 陸側遮水壁山側3辺閉合後は閉合範囲内において、互層部や深部の透水層の水頭については、中粒砂岩層とほぼ同等の水頭になることを想定しているが（P12参照）、現時点ではそこまでは至っていない。
- 被圧帯水層に対する凍結工法の適用実績についてヒアリングを行った結果、実績はあるが、被圧帯水層の水頭変化に関するモニタリングを行った事例は確認出来なかった。なお、凍土壁構築において問題が生じたと言う事例も確認されなかった。
- 本凍結に向けて、試験凍結期間に地下水挙動の推移を見極めることが有効と考えており、今後、有識者と挙動について共有していくことでこの挙動の要因を分析していくこととする。

【参考】エリア1における互層水頭への潮位の影響について



【参考】陸側遮水壁閉合前の地下水位・水頭の関係と閉合後の想定

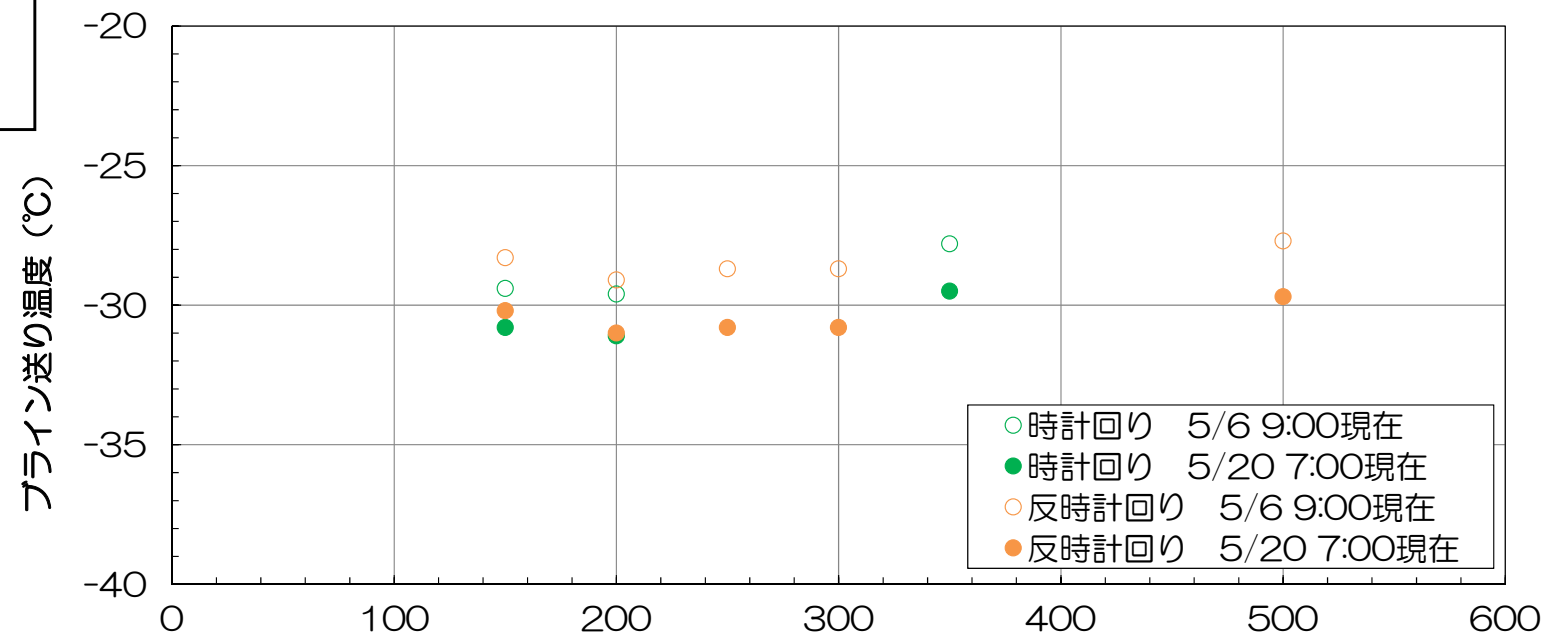
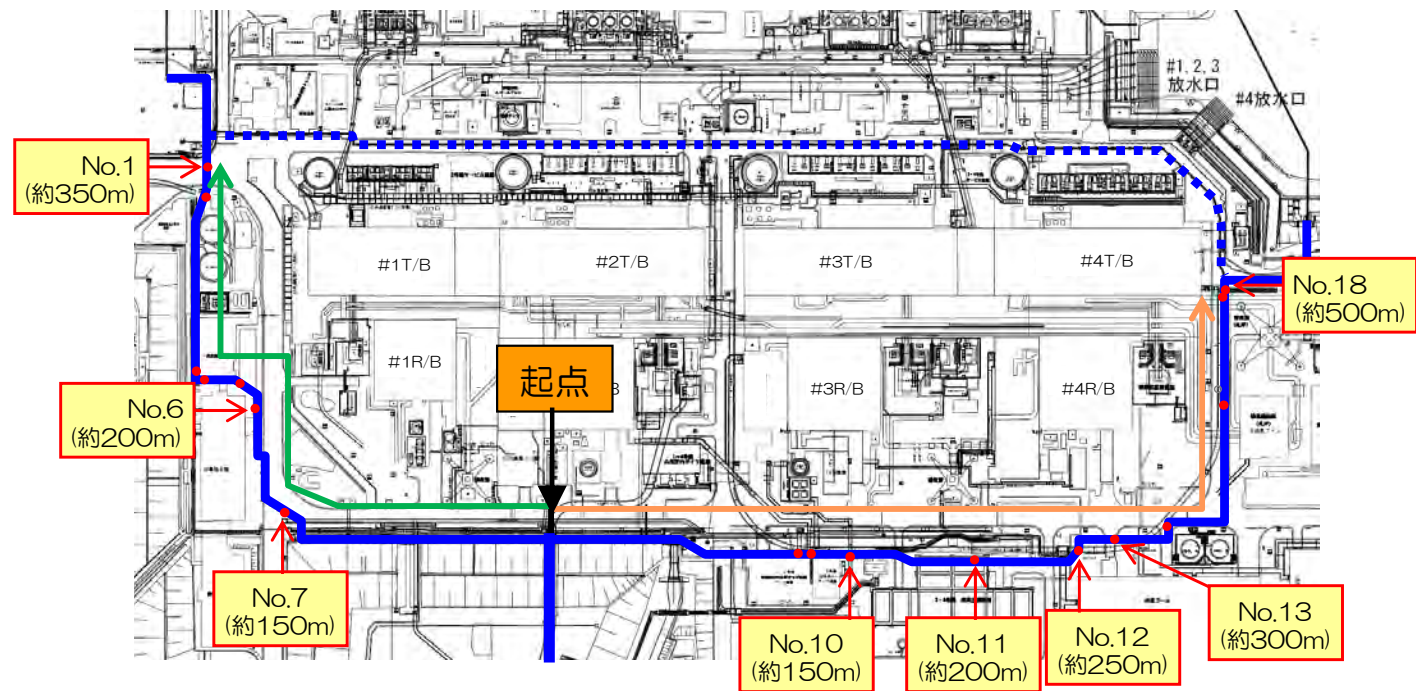


1. 8 ブライン送り温度について



- 試験凍結箇所
- 陸側遮水壁（山側）
- - 陸側遮水壁（海側）

ブラインの送り温度については、起点からの距離によって周囲からの入熱による若干の温度上昇が確認されるものの、温度の大きなバラツキは見られない。



起点からの距離(m) 温度計の公称誤差：±0.5°C

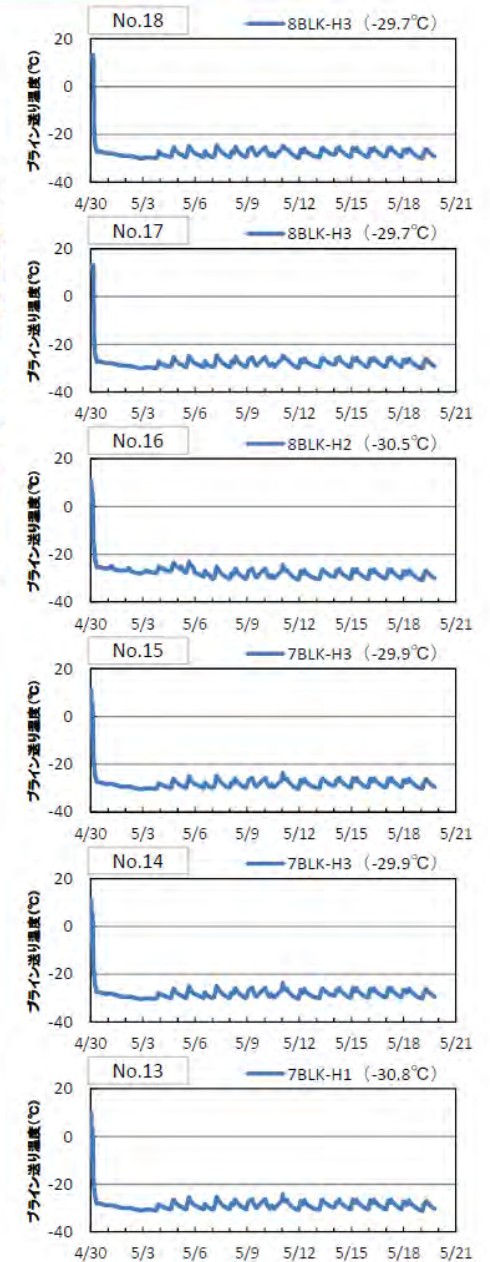
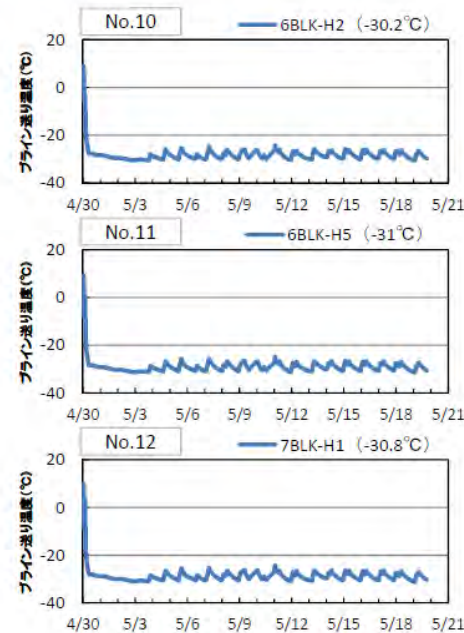
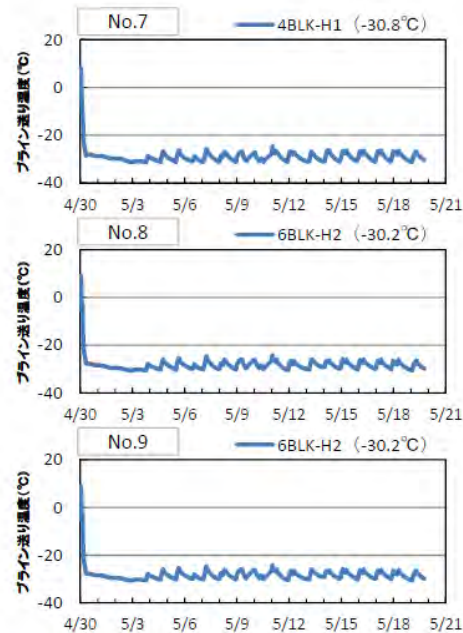
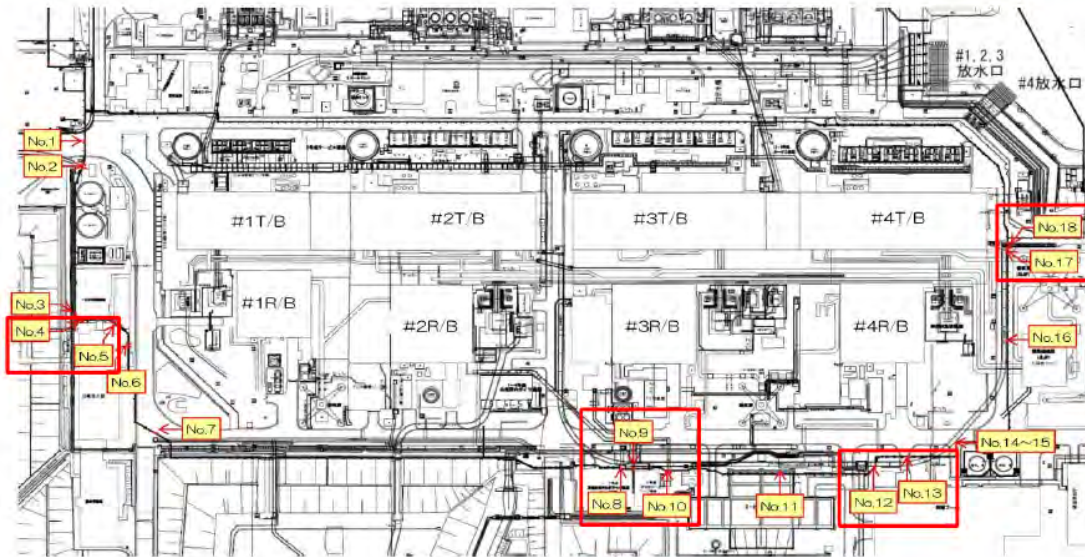
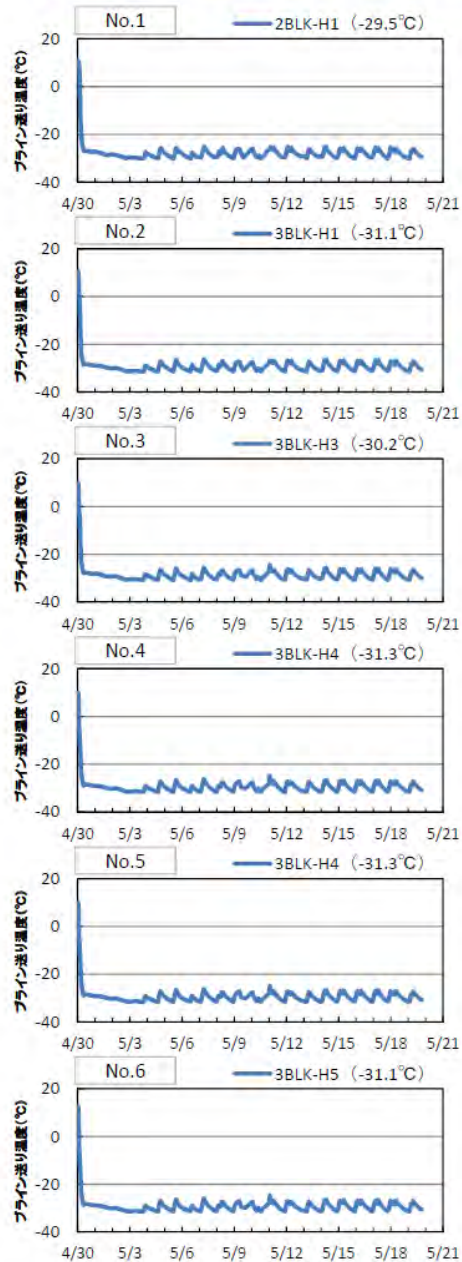
【参考】試験凍結開始後のブライン送り温度の推移

2015/04/30 12:00 試験凍結開始

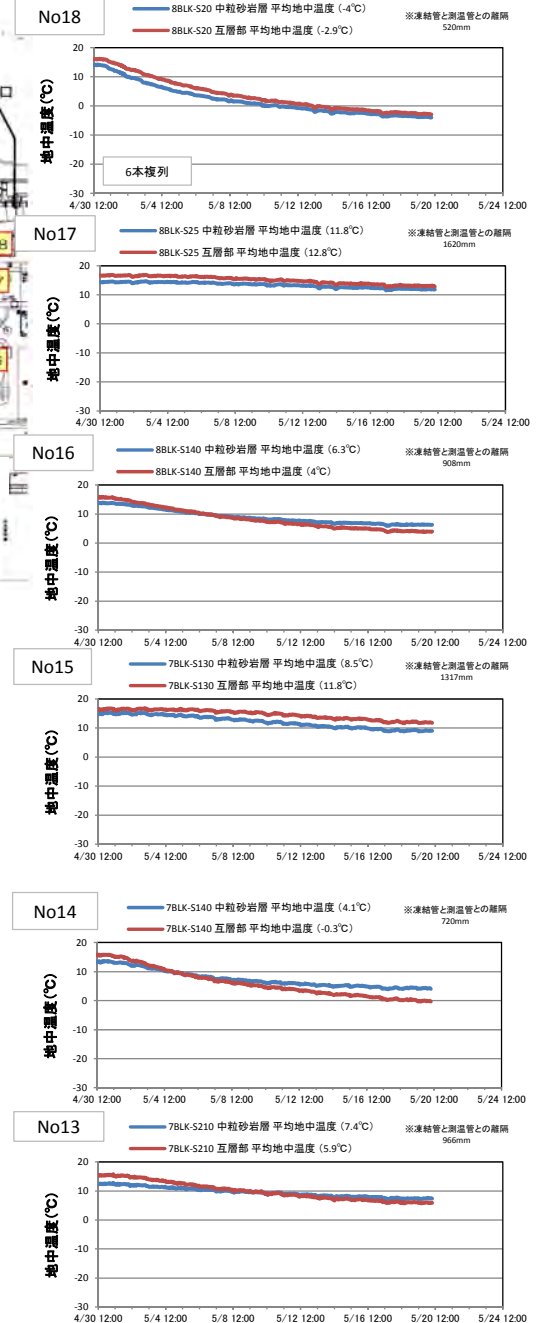
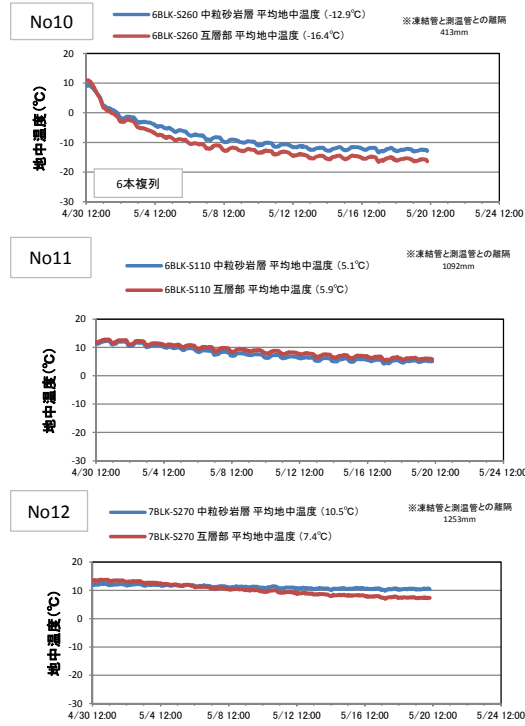
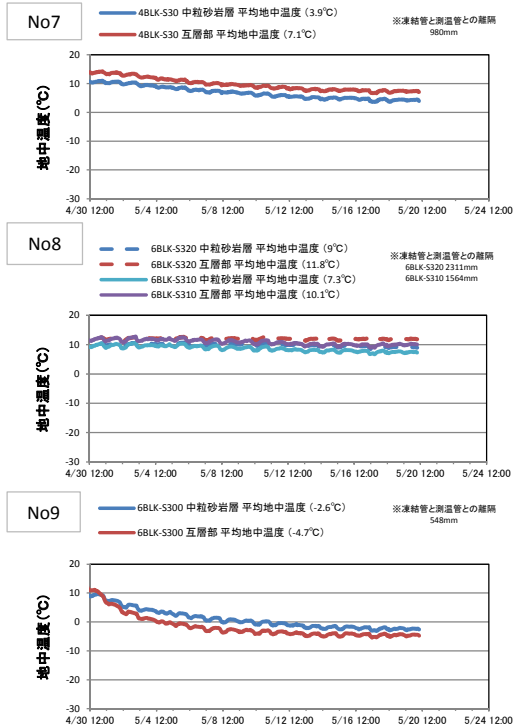
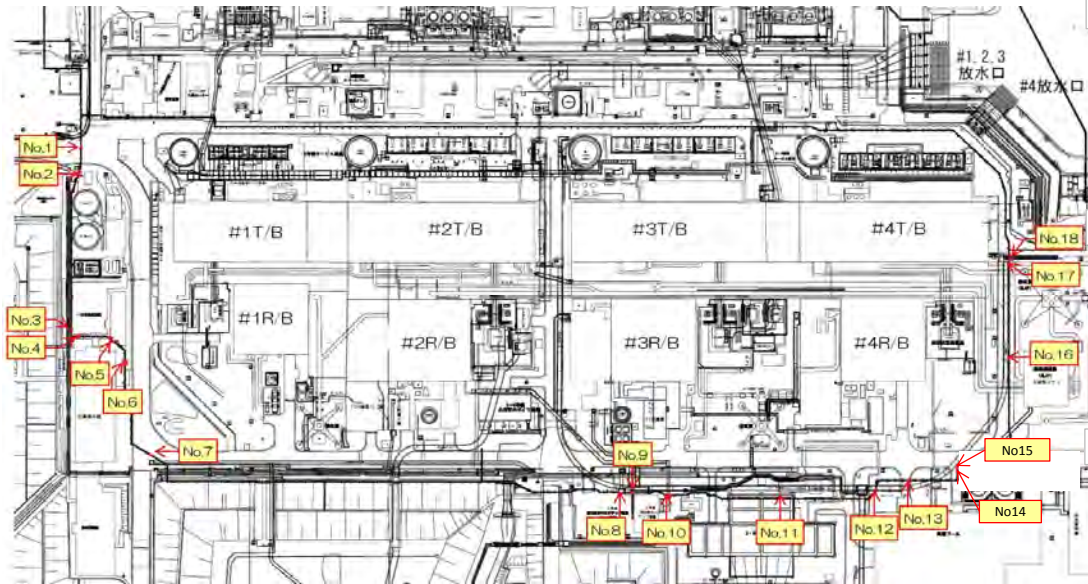
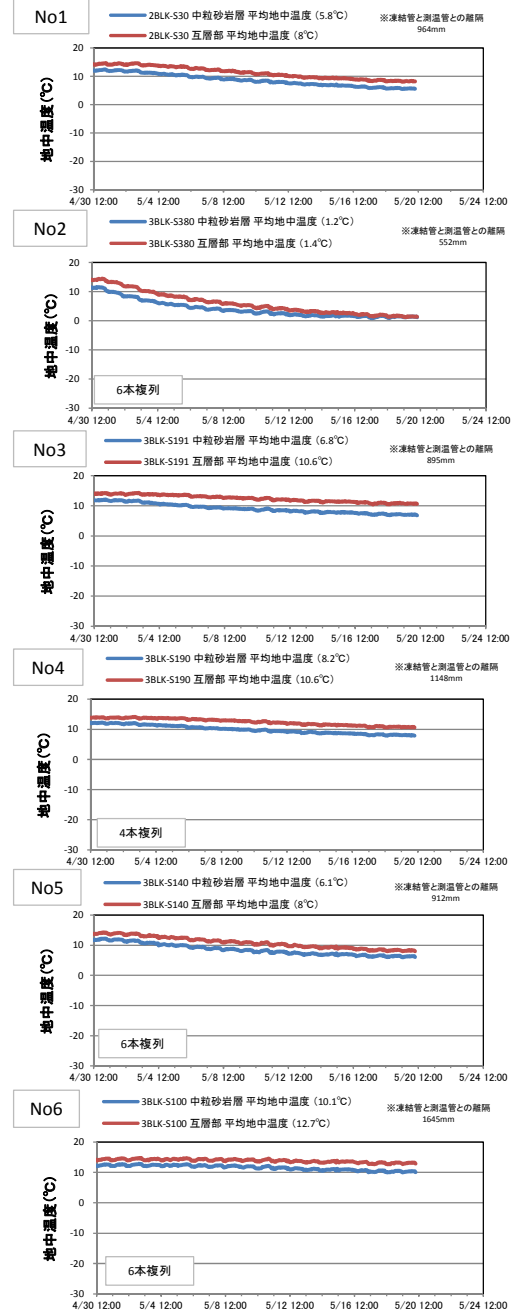
2015/5/20 7:00 現在

大規模整備実証事業 試験凍結 経過報告 (1) ブライン送り温度(ヘッダー管)

週報a

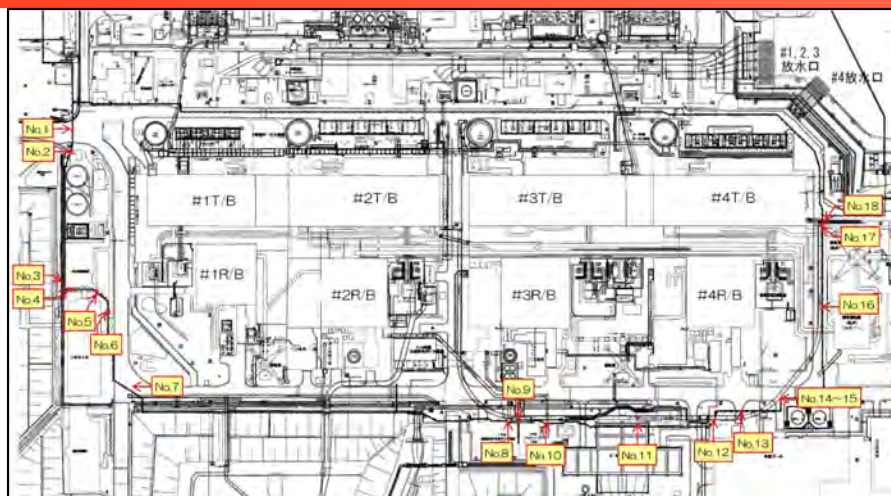


1. 9 試験凍結開始後の地中温度の推移



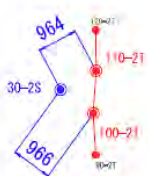
注1) 中粒砂岩層の平均地中温度：地表～GL-2mと第1泥質部境界付近を除く1mピッチで計測されている測温管温度の平均値
 注2) 互層部の平均地中温度：互層部上下の層境界付近を除く、1mピッチで計測されている測温管温度の平均値

【参考】試験凍結における凍結管と測温管との離隔



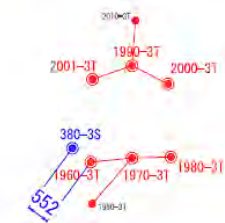
No. 1

- 【凍結管】
110-2T
100-2T
- 【測温管】
30-2S



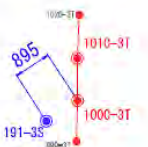
No. 2

- 【凍結管】
2001-3T
2000-3T
1990-3T
1980-3T
1970-3T
1960-3T
- 【測温管】
380-3S



No. 3

- 【凍結管】
1010-3T
1000-3T
- 【測温管】
191-3S



No. 4

- 【凍結管】
930-3T
920-3T
911-3T
910-3T
- 【測温管】
190-3S



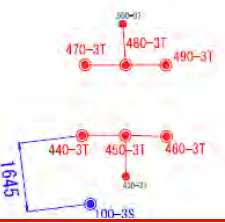
No. 5

- 【凍結管】
690-3T
680-3T
670-3T
660-3T
650-3T
640-3T
- 【測温管】
140-3S



No. 6

- 【凍結管】
490-3T
480-3T
470-3T
460-3T
450-3T
440-3T
- 【測温管】
100-3S



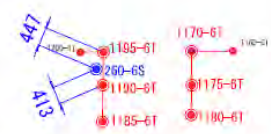
No. 7

- 【凍結管】
140-4T
130-4T
- 【測温管】
30-4S



No. 10

- 【凍結管】
1195-6T
1190-6T
1185-6T
1180-6T
1175-6T
1170-6T
- 【測温管】
260-6S



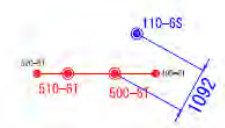
No. 8

- 【凍結管】
1450-6T
1440-6T
- 【測温管】
320-6S
310-6S



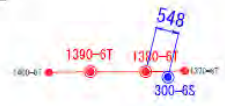
No. 11

- 【凍結管】
510-6T
500-6T
- 【測温管】
110-6S



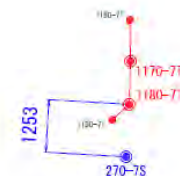
No. 9

- 【凍結管】
1390-6T
1380-6T
- 【測温管】
300-6S



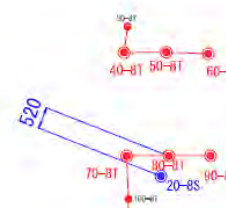
No. 12

- 【凍結管】
1170-7T
1180-7T
- 【測温管】
270-7S



No. 18

- 【凍結管】
40-8T
50-8T
60-8T
70-8T
80-8T
90-8T
- 【測温管】
20-8S



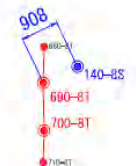
No. 17

- 【凍結管】
110-8T
120-8T
- 【測温管】
25-8S



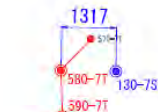
No. 16

- 【凍結管】
690-8T
700-8T
- 【測温管】
140-8S



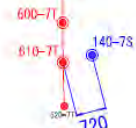
No. 15

- 【凍結管】
580-7T
590-7T
- 【測温管】
130-7S



No. 14

- 【凍結管】
600-7T
610-7T
- 【測温管】
140-7S



No. 13

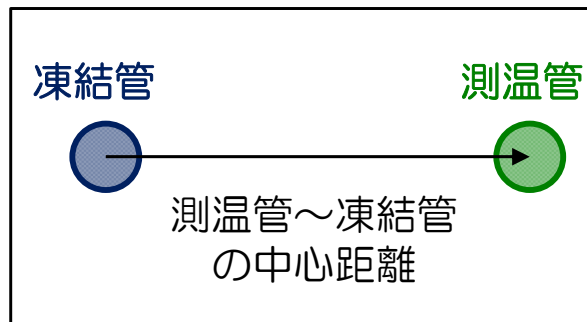
- 【凍結管】
940-7T
930-7T
- 【測温管】
210-7S



凡例

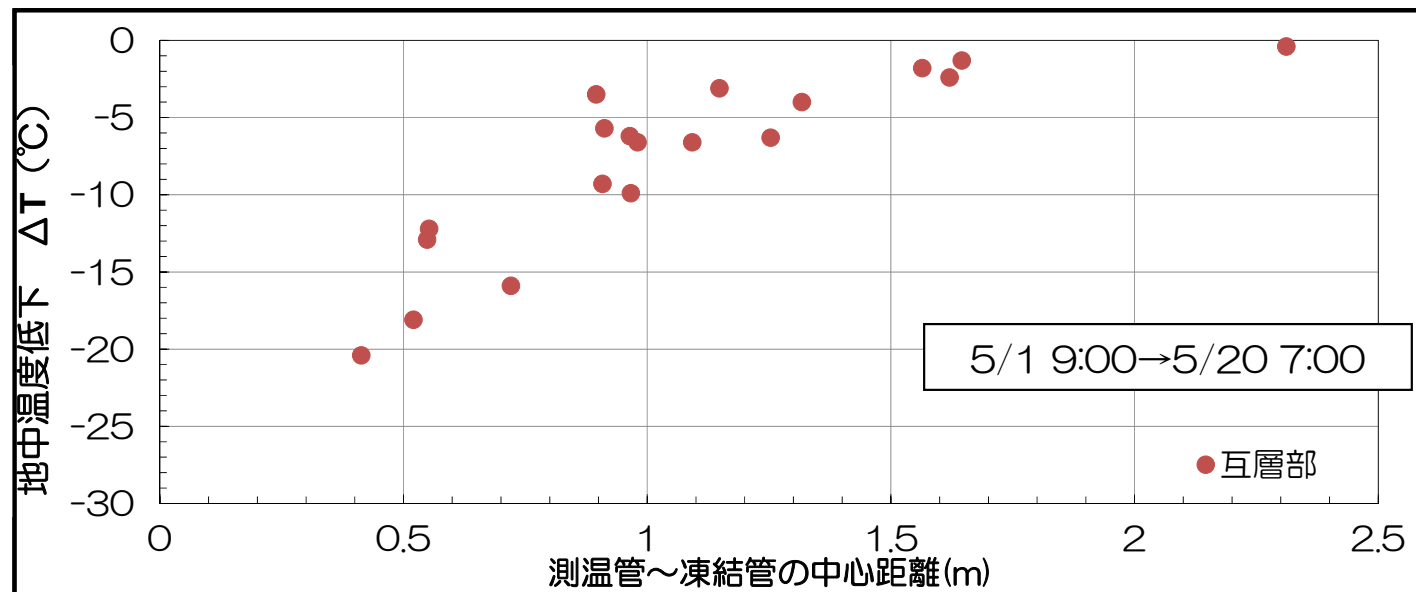
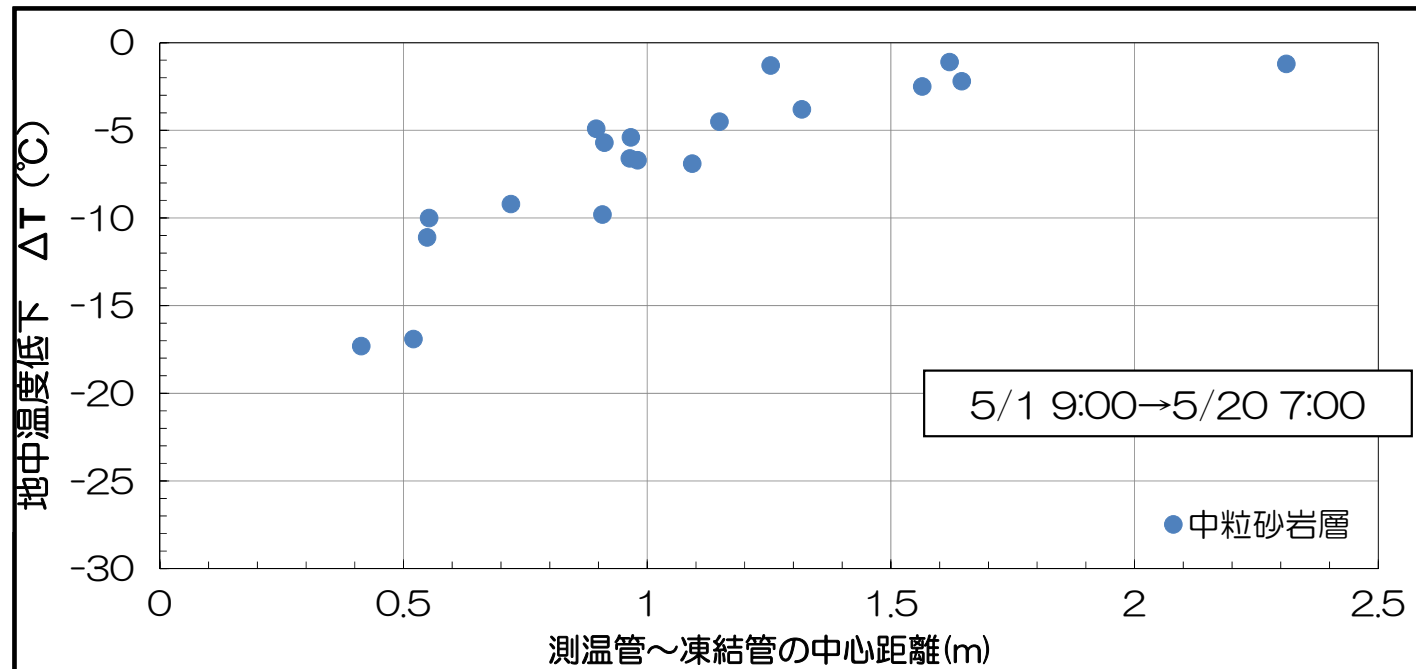
- 試験凍結対象凍結管
- 試験凍結対象測温管

1. 10 凍結管との離隔と地中温度低下について



ΔT : 5/1~5/20の測温管における温度低下量

凍結管から1.5m弱の範囲においては温度低下が認められる。
 距離0.5m : -20~-10°C程度
 1m : -10~0°C程度



【参考】陸側遮水壁 準備状況 (2015/5/20現在)



提供：日本スペースイメージング(株), ©DigitalGlobe, 2014年12月25日撮影

【参考】陸側遮水壁 準備状況 (2015/5/20現在)



山側 (2~4号建屋西側) 施工状況



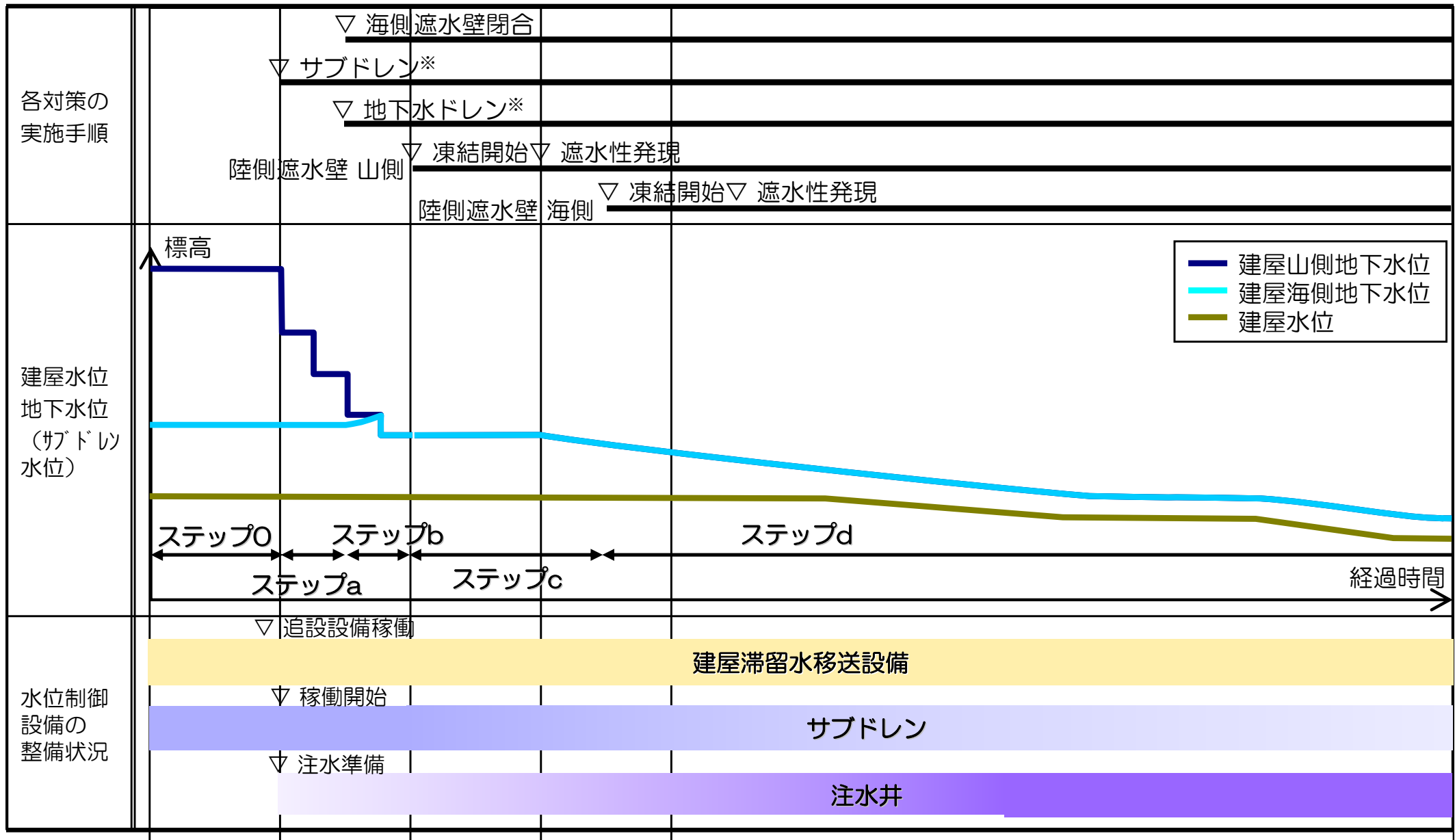
山側 (4号機建屋南側) 施工状況



山側埋設構造物貫通施工箇所 削孔準備状況

2. 基本シナリオにおける陸側遮水壁閉合の進め方

- 各対策実施に伴い地下水位は以下に示すイメージで変化すると想定される。
 - 各対策実施段階においては以下の水位制御設備により建屋水位が地下水位を上回らないように管理する。
- ※ 関係者と調整の上、実施



T₀-1ヶ月 T₀ T₀+1ヶ月 T₀+2ヶ月 T₀+3ヶ月以降

注) 月数は概数

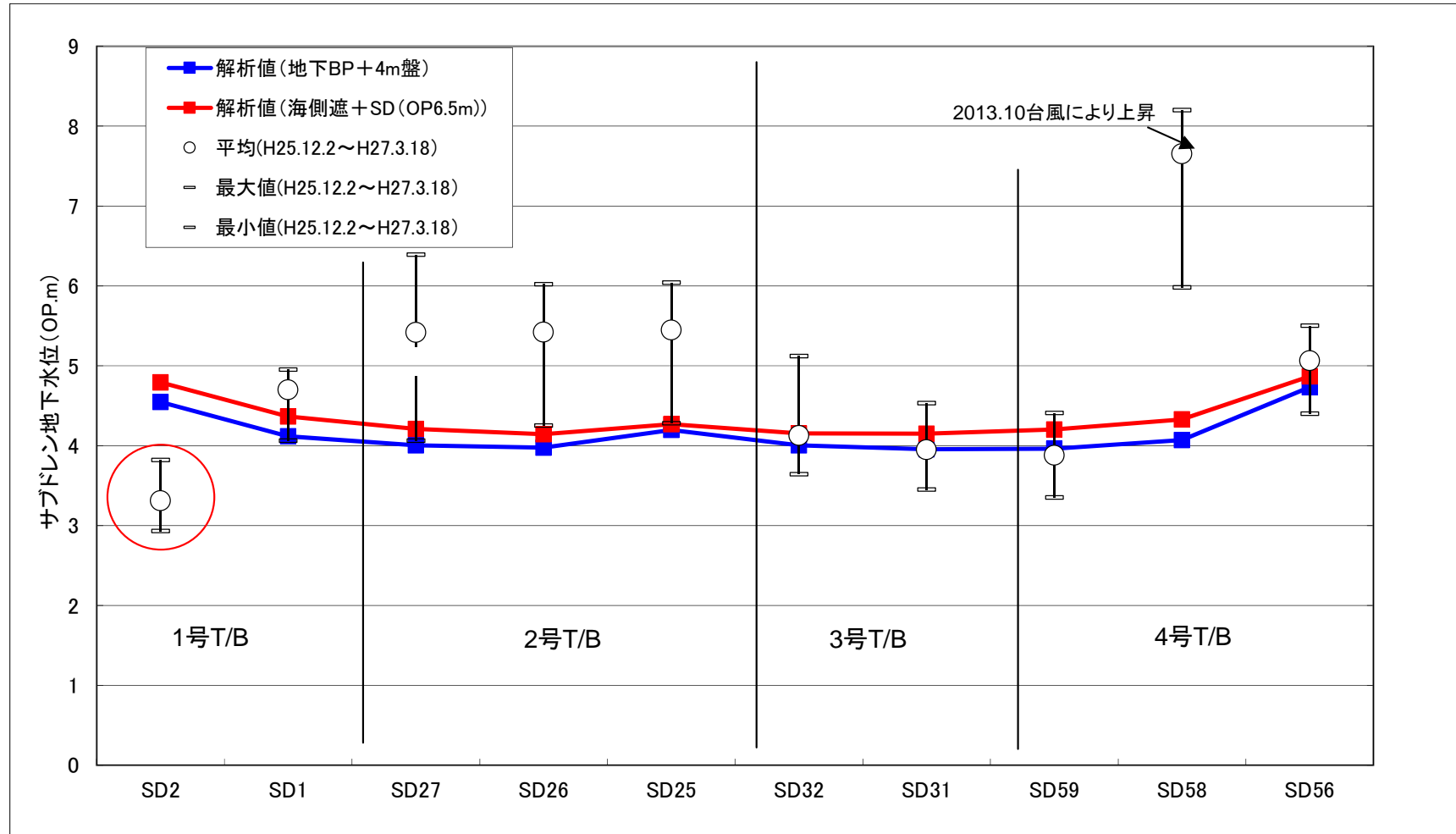
2. 1 (1) ステップc：陸側遮水壁山側3辺閉合に進むための条件

【第34回監視・評価検討会 ご指摘事項】

- 基本シナリオにおけるサブドレン・地下水ドレン（ステップa）稼働，海側遮水壁閉合（ステップb）完了後，推定・推測がどの程度の範囲に収まるかを確認した上で，次ステップである陸側遮水壁凍結開始に進むべきであると考えている。

- サブドレン稼働（ステップa），海側遮水壁閉合（ステップb）後の陸側遮水壁山側3辺は，以下を確認してから凍結開始する。
 - ◆ 建屋流入量の低減を確認する。
 - ◆ 建屋海側の地下水位の上昇を確認する。（⇒2. 1 (2) 参照）
 - ◆ 「注水設備」を稼働可能な状態とする。

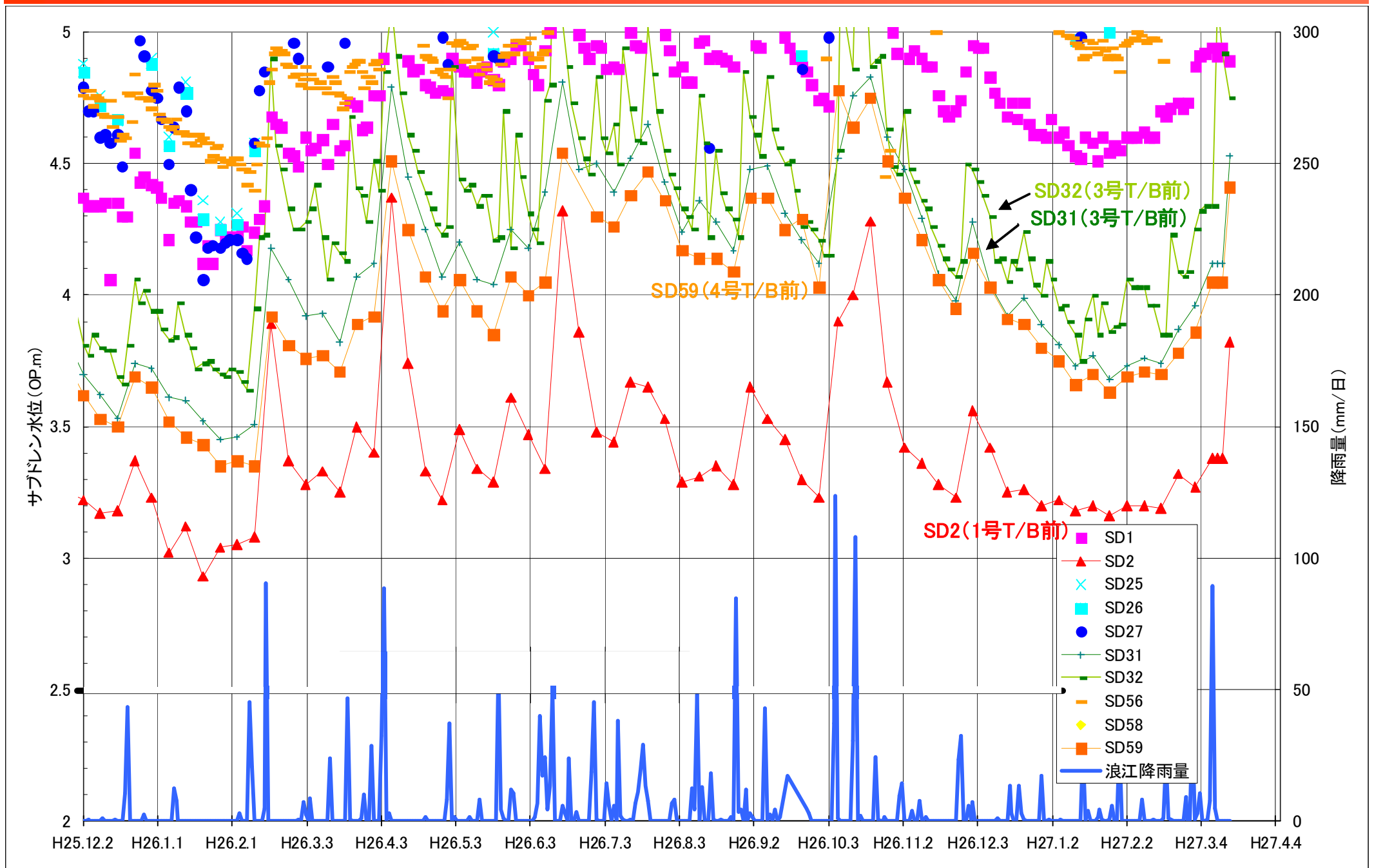
2. 1 (2) サブドレン稼働および海側遮水壁閉合後の建屋海側地下水位の想定



建屋海側地下水位は、海側遮水壁閉合（サブドレンの稼働水位はO.P.+6.5m）により0.2m程度上昇すると予測される。

現状、解析結果より低いサブドレンNo.2についても、海側遮水壁閉合後は他のサブドレンと同程度の水位となると想定している。

【参考】建屋海側地下水位経時変化



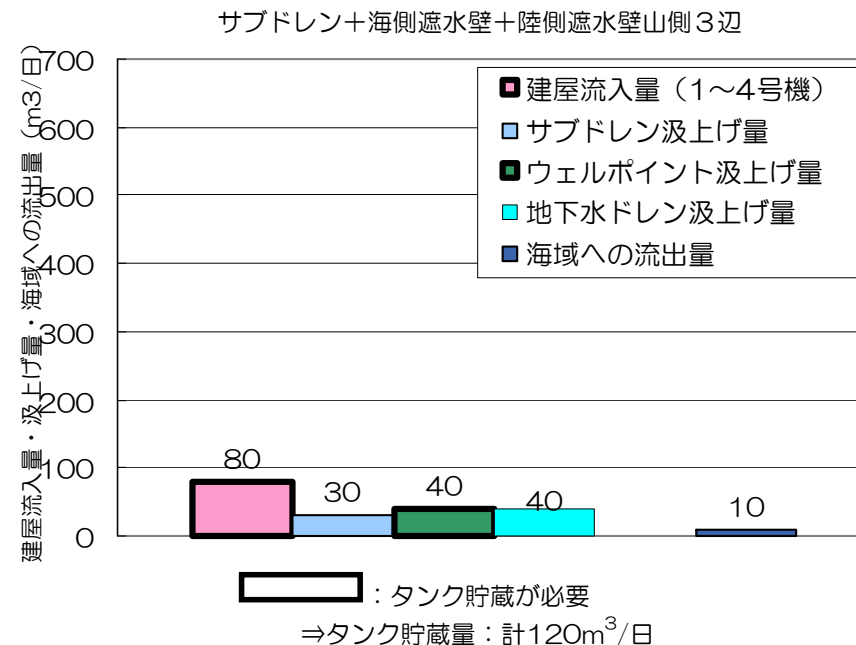
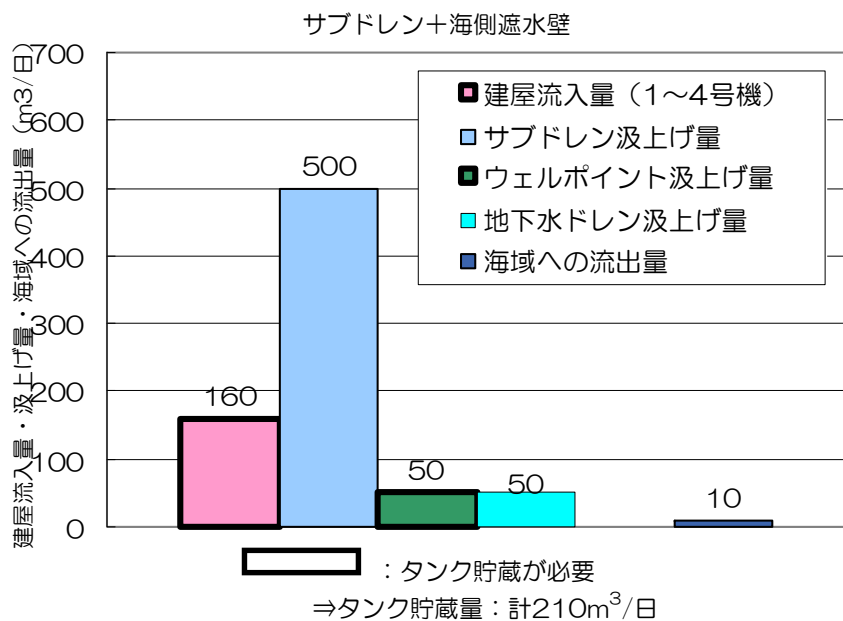
2. 2 基本シナリオにおける陸側遮水壁山側3辺閉合の効果

【第34回監視・評価検討会 ご指摘事項】

- 基本シナリオにおけるサブドレン・地下水ドレン（ステップa）稼働，海側遮水壁閉合（ステップb）まで進めることについては異論はない。但しステップbとステップcの間には，運用の確認のために相当の期間があってもいいのでは？

- サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後，陸側遮水壁山側3辺閉合することにより下記の利点があることから，準備が整い次第，凍結を開始する。

- 建屋への地下水流入量をより低減できる。
- サブドレンによる放出量を低減できる。



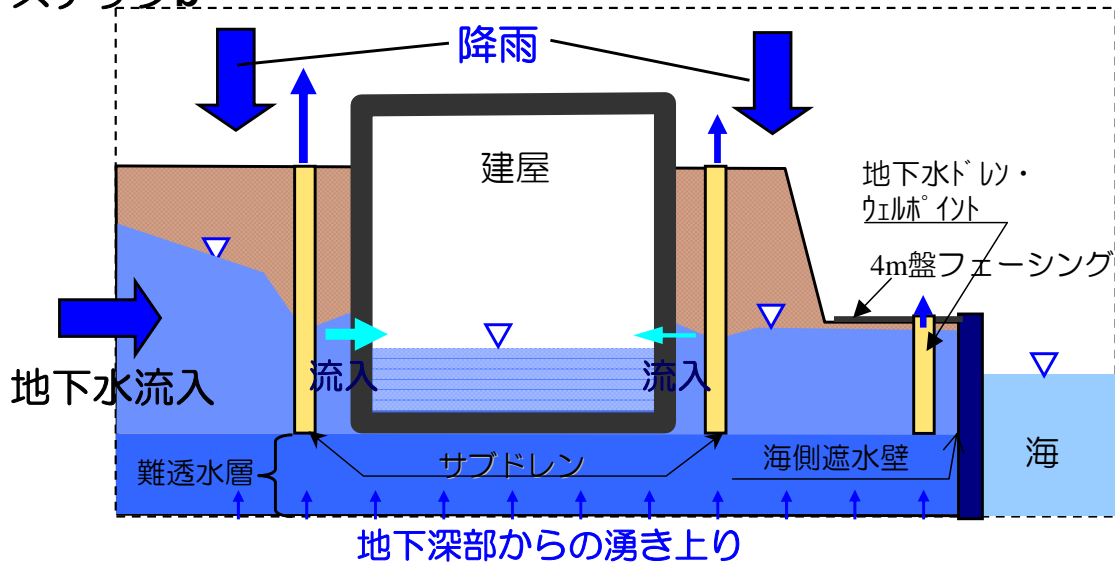
2. 3 陸側遮水壁山側3辺閉合前後の建屋内外水位の関係（1）

【第34回監視・評価検討会 ご指摘事項】

- 海側遮水壁＋陸側遮水壁山側3辺閉合時における、水位管理上の安全性に関する考え方について確認したい。
- 海側遮水壁＋陸側遮水壁山側3辺閉合時における水位管理上の安全性については、P26，27に示すようなメカニズムで考えている。

2. 3 陸側遮水壁山側3辺閉合前後の建屋内外水位の関係 (2)

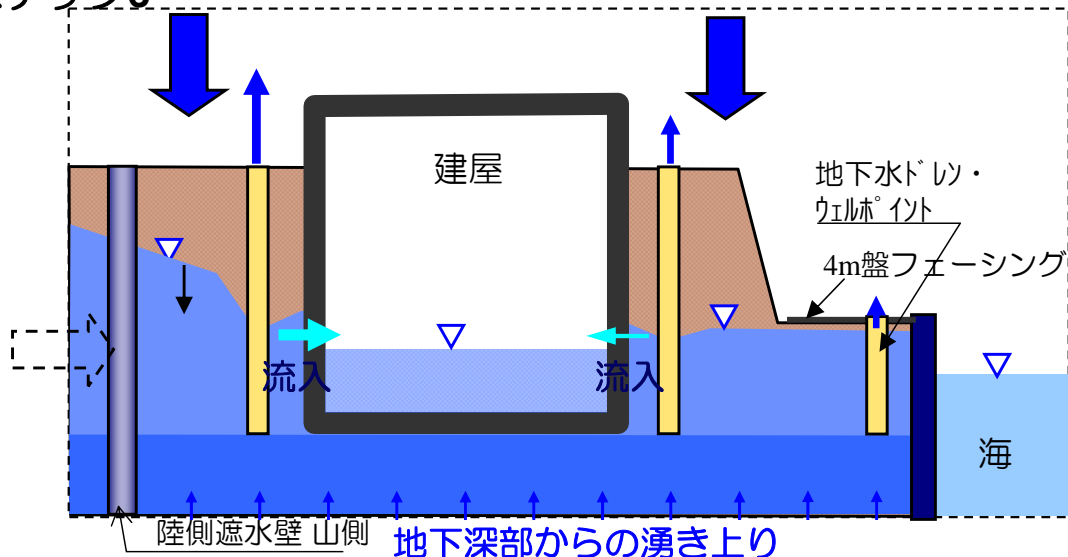
ステップb



地下深部からの湧き上り
サブドレン稼働+海側遮水壁閉合

■ 海側遮水壁閉合により，地下水の海への流出がほぼ無くなる。

ステップc

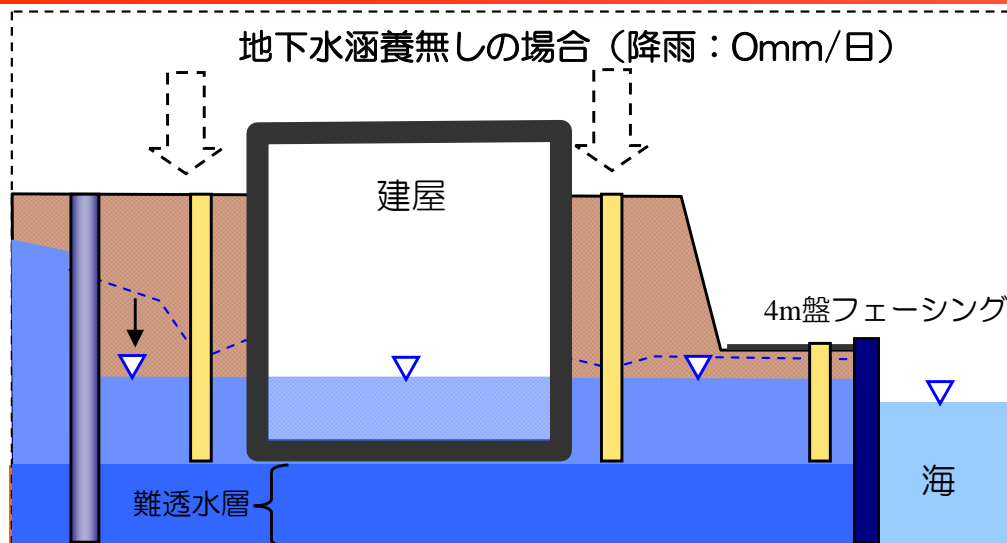


サブドレン稼働+海側遮水壁閉合+陸側遮水壁山側3辺

■ 陸側遮水壁山側3辺閉合により，1～4号機周辺は閉合され，

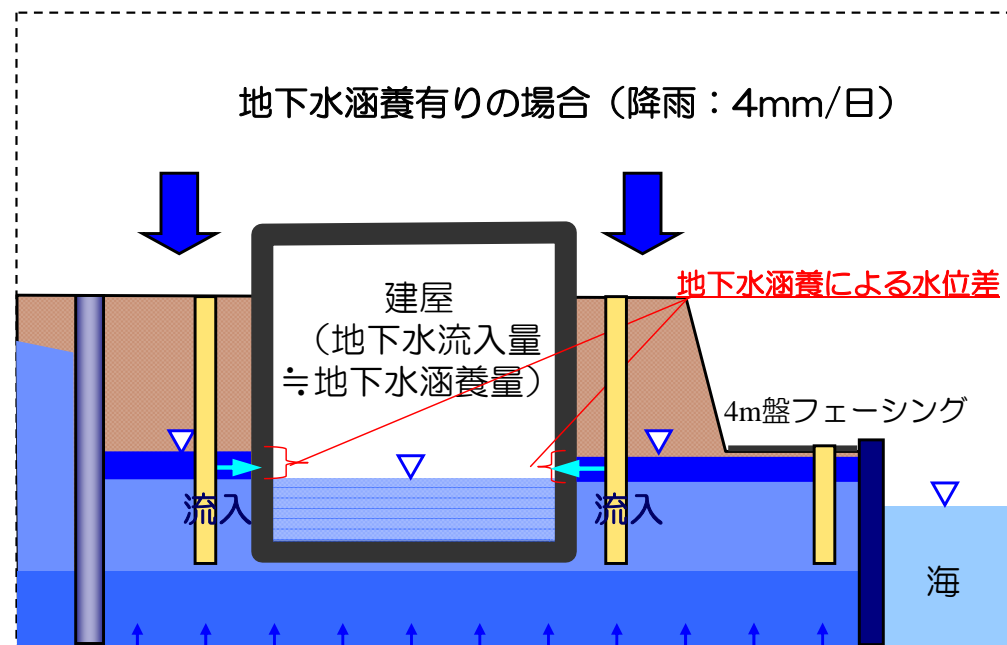
- 閉合範囲内の地下水の行き先は建屋に限定される。
- 山側からの地下水流入が抑制されるため，海側・陸側遮水壁の閉合範囲内の地下水位が低下し，建屋水位に近づく。
- 建屋ー地下水の水位差が小さくなると建屋への地下水流入量が減少し，地下水位の低下速度も小さくなる。

2. 3 陸側遮水壁山側3辺閉合前後の建屋内外水位の関係 (3)



- 降雨等の地下水涵養が全く無いと仮定すると、最終的には建屋水位と地下水位が同水位となる。

サブドレン+海側遮水壁+陸側遮水壁山側3辺



- 降雨と地下深部からの地下水の湧上りによる地下水涵養があるため、涵養量 (≒地下水流入量) に応じた建屋-地下水の水位差が生じる。

* 建屋直上への降雨が滞留水となる量は限定的である。

遮水壁閉合後の地下水涵養による水位差

2. 4 ステップd：陸側遮水壁海側の閉合

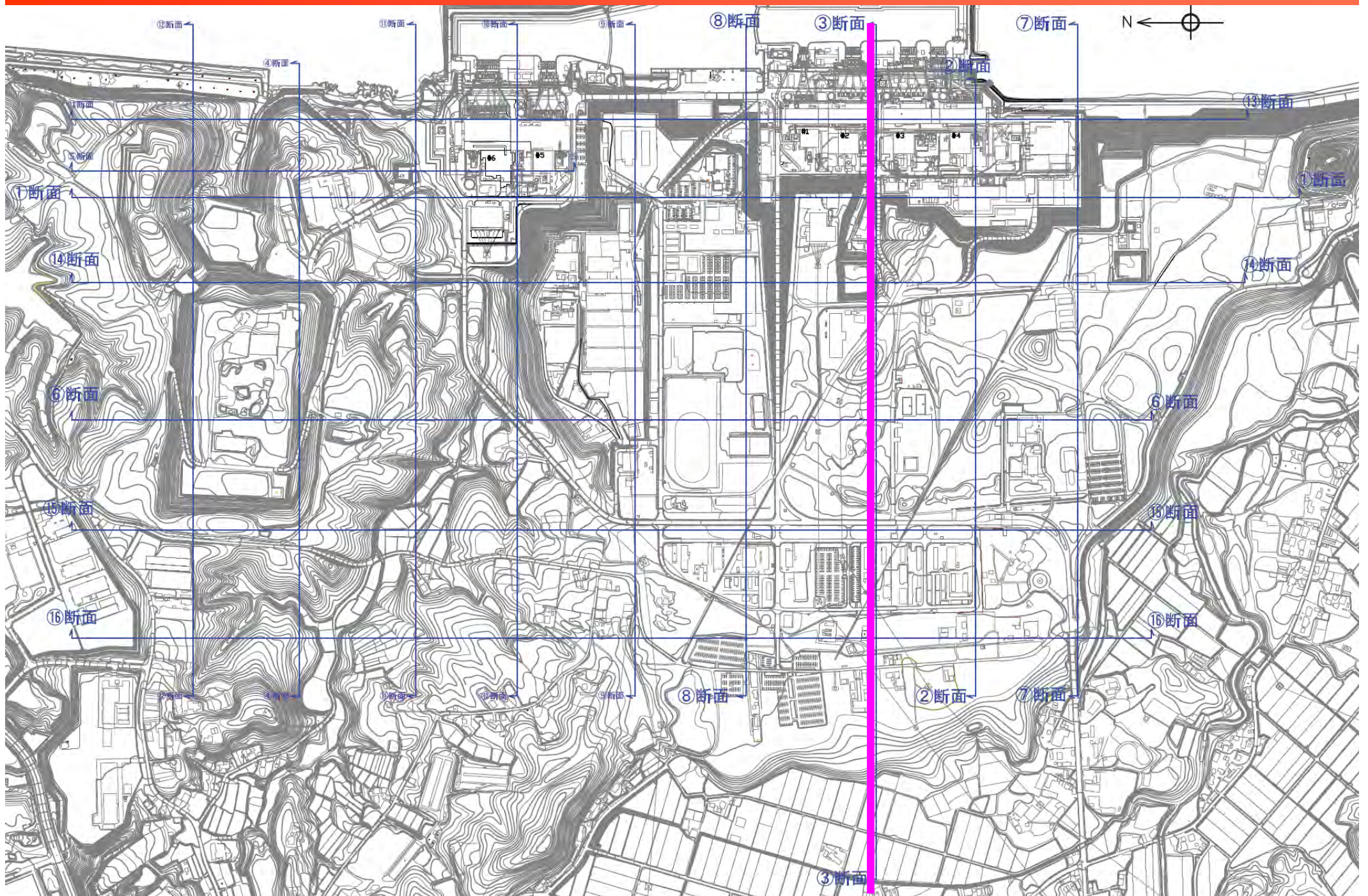
- 陸側遮水壁山側3辺凍結開始後、陸側遮水壁山側の内外水位差が生じていることを確認した後に、出来る限り早く陸側遮水壁海側を閉合する。
 - 陸側遮水壁海側に期待する効果
 - ◆ 陸側遮水壁で閉合する面積を小さくすることで以下が可能となる。
 - ① 迅速かつ確実な地下水位制御
 - ② 地下水位管理範囲の限定化
 - ③ 1～4号機建屋への地下水流入量抑制

今後の予定

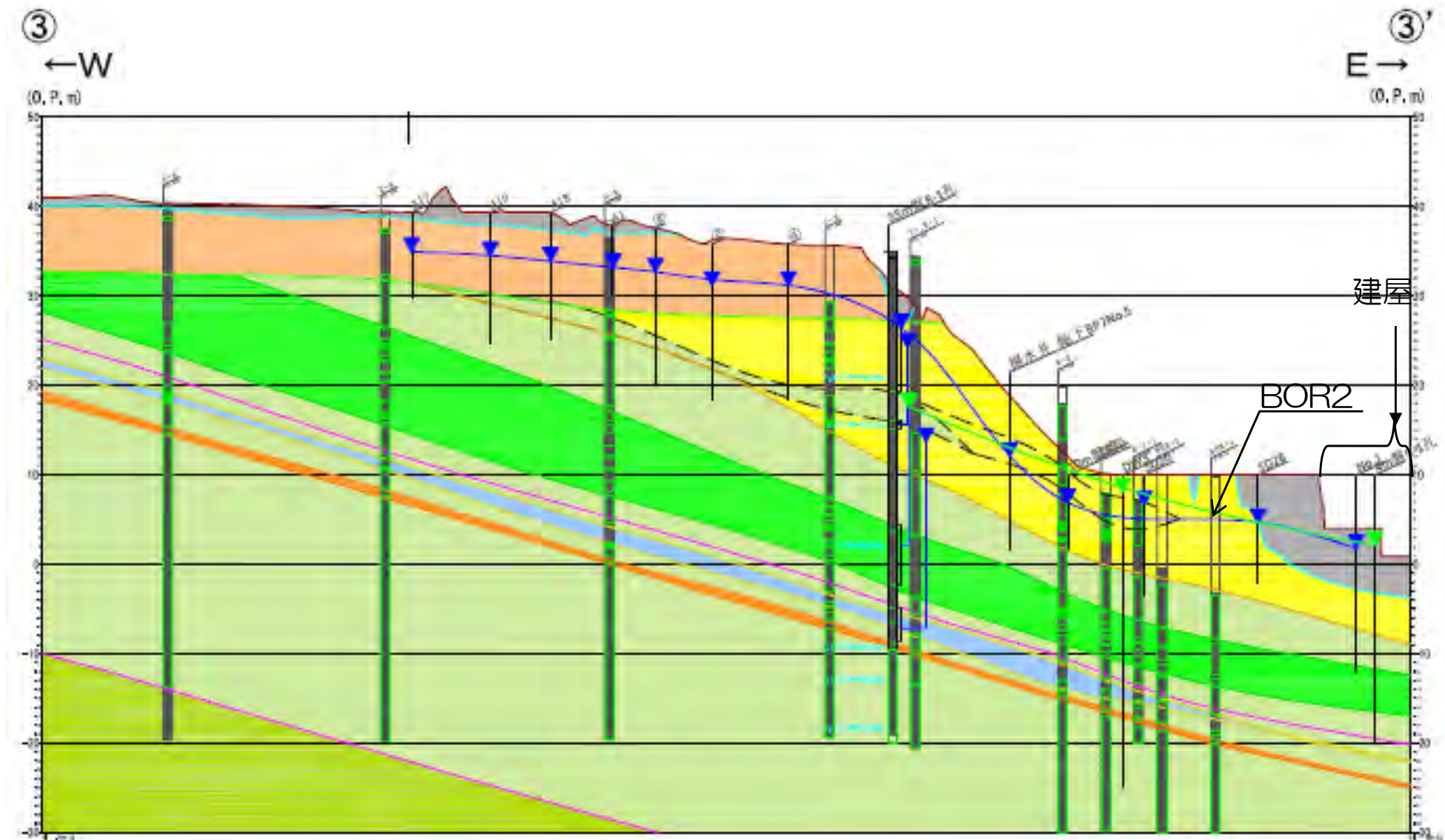
- 汚染水発生量の抑制や海洋汚染拡大防止の観点から、「建屋への地下水流入抑制策」と「海側遮水壁閉合」を出来る限り早く進めるべきと考えている。
- 第34回特定原子力施設 監視・評価検討会にて示した通り、当社としては基本シナリオに従って進めることが望ましいと考えているが、予定通りに進まない場合を考慮し、陸側遮水壁凍結開始に向けた準備を進めていくべきと考える。

参考資料

【参考】断面配置図



【参考】福島第一原子力発電所の地層層序（全体断面図）



作成した三次元地質構造モデルの断面図（③-③'断面）

【参考】試験凍結箇所～サブドレン～観測孔 位置関係

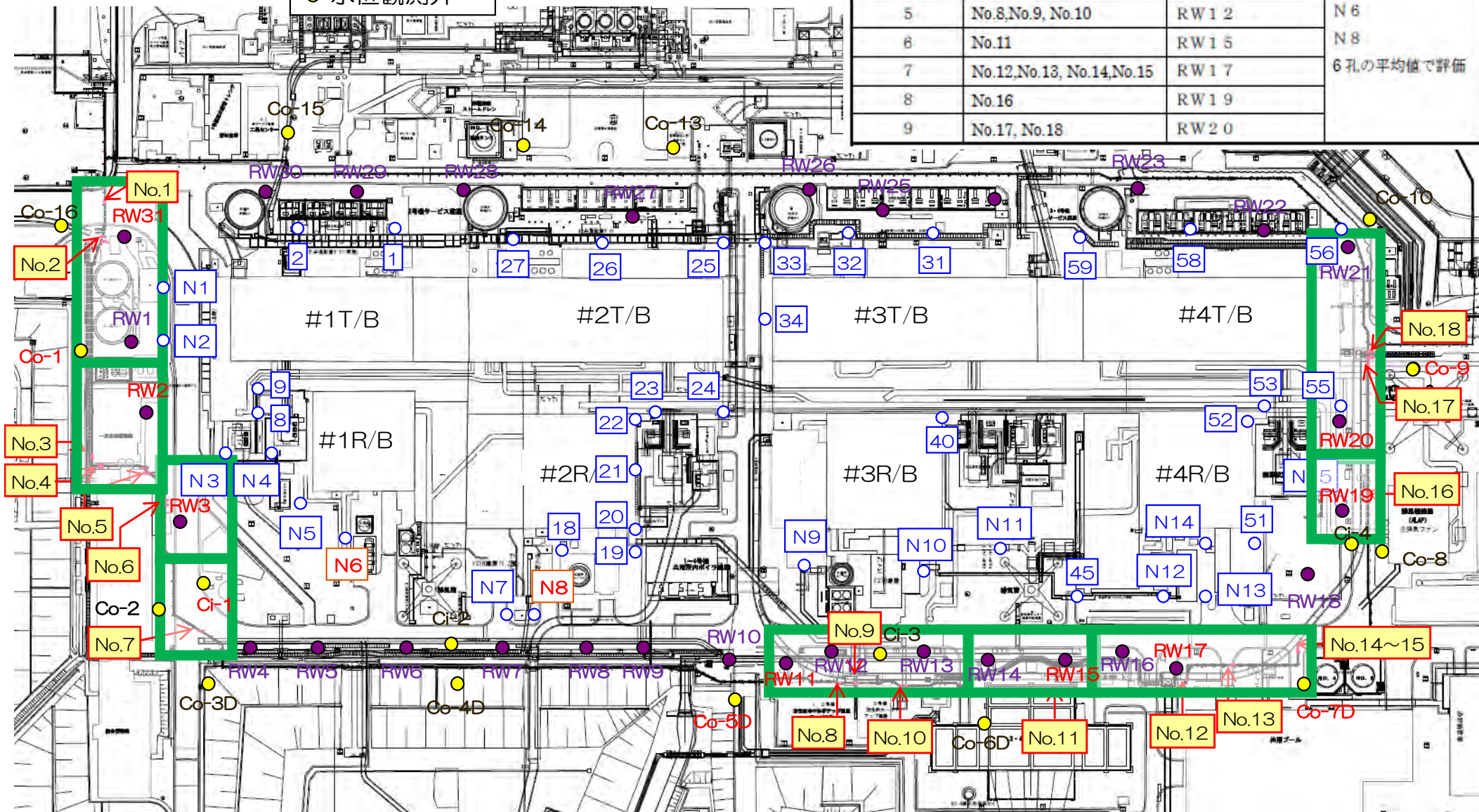
地下水位観測箇所一覧



- 試験凍結箇所
- サブドレン
- 注水井
- 水位観測井

※ 赤字：X孔, Y孔

エリア	試験箇所 No	X孔 (凍結箇所近傍)	Y孔 (影響範囲外)
1	No.1, No.2	RW31	Co-1
2	No.3, No.4, No.5	RW2	Co-5D
3	No.6	RW3	Co-7D
4	No.7	Ci-1	Co-9
5	No.8, No.9, No.10	RW12	N6
6	No.11	RW15	N8
7	No.12, No.13, No.14, No.15	RW17	6孔の平均値で評価
8	No.16	RW19	
9	No.17, No.18	RW20	



【参考】試験凍結開始後の地下水位の監視例【Ci-1観測孔】①

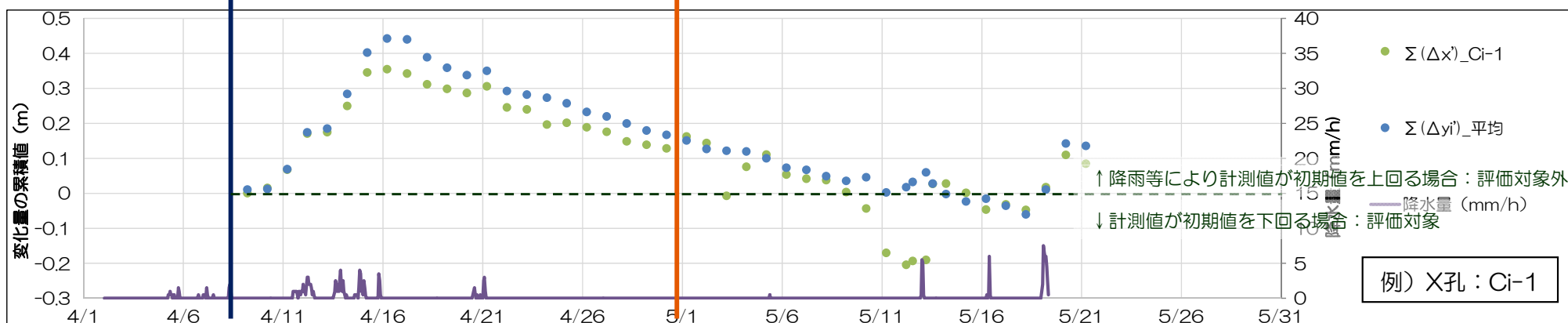
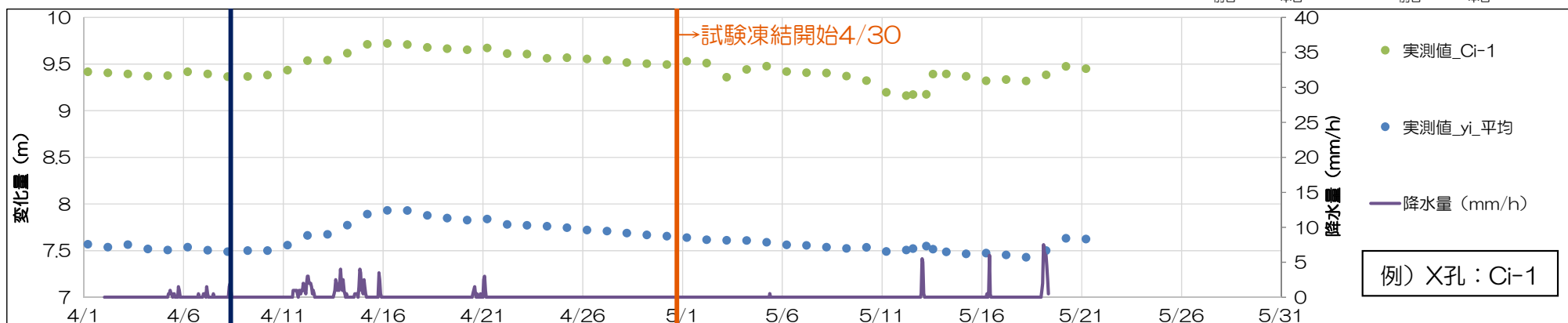
凍結影響による中粒砂岩層の水位低下が顕著であることの指標として、「凍結影響範囲外の地下水位と比較して地下水位が15cm低下すること」としている。Ci-1観測孔については、一旦低下した地下水位が上昇回復する挙動が、2回確認されており、そのうち1回は降雨無しの場合で上昇が確認されている。

- 試験凍結箇所近傍及び複数の試験凍結影響範囲外の地下水位を観測し、前日計測値からの試験凍結箇所近傍の地下水位変化量 ($\Delta x'$)、試験凍結箇所範囲外の地下水位変化量 ($\Delta y_i'$) を算出。

- ・ 試験凍結箇所近傍の変化量 $\Delta x' = Hx_{\text{本日}} - Hx_{\text{前日}}$
 // 変化量の累積値 $\Sigma(\Delta x')$

- ・ 試験凍結影響範囲外の変化量 $\Delta y_i' = Hyi_{\text{本日}} - Hyi_{\text{前日}}$: 平均値で評価
 // 変化量の累積値 $\Sigma(\Delta y_i')$

※ 実施計画では $\Delta x = Hx_{\text{前日}} - Hx_{\text{本日}}$ 、 $\Delta y_i = Hyi_{\text{前日}} - Hyi_{\text{本日}}$ として評価



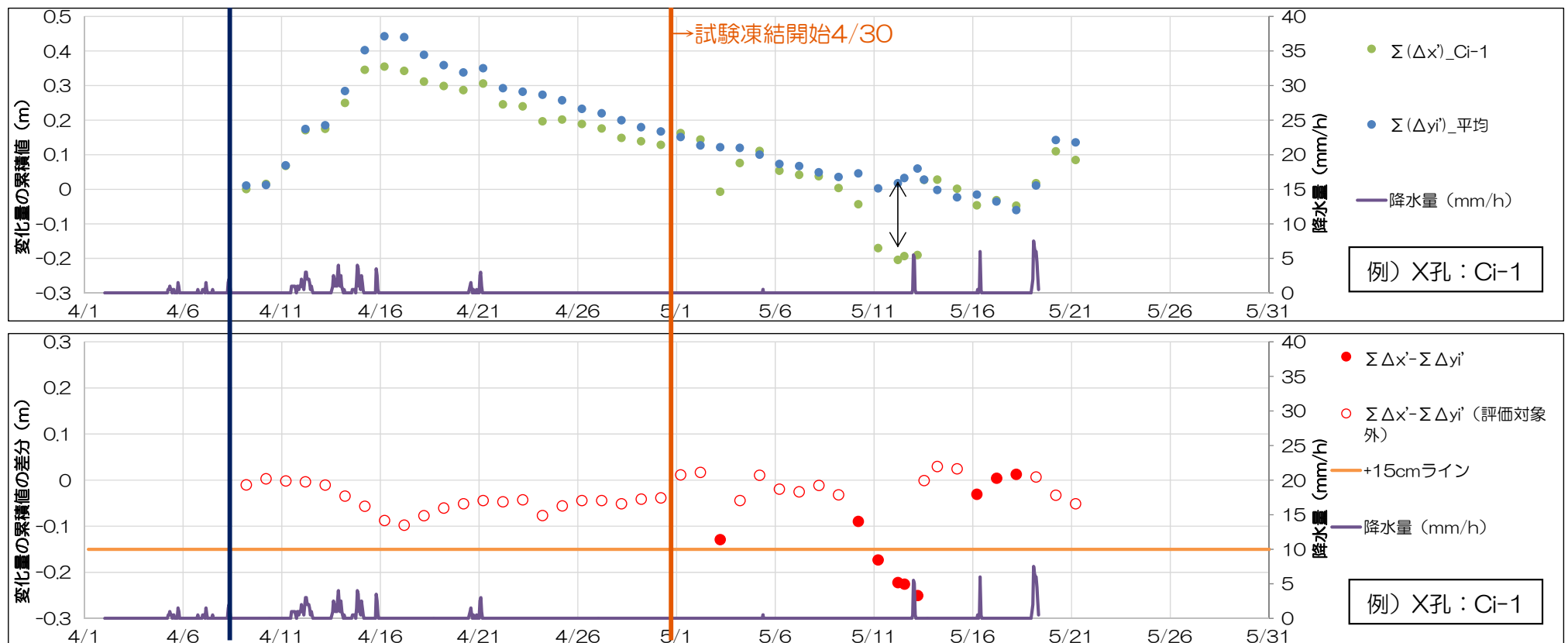
↑ 初期値：試験凍結前で降雨等による地下水への擾乱影響が小さい時期の計測値を設定 (4/8)

【参考】試験凍結開始後の地下水位の監視例【Ci-1観測孔】②

- 地下水が低下し各々の変化量の累積値の差分（下記の評価式）で-15cm以下となった場合で、翌日から3日間の継続監視体制をとり2回/日の地下水位差を確認する。4日目以降においても15cmを超える場合は当該箇所の試験凍結を休止し、原因追及を行う。

・評価式 $\Sigma (\Delta x'_i) - \Sigma (\Delta y_i) \leq -15\text{cm}$

- 休止後も2回/日の地下水観測と継続し、休止判断段階の基準水位に回復が見込めた段階で試験凍結を再開する。



↑初期値：試験凍結前で降雨等による地下水への擾乱影響が小さい時期の計測値を設定（4/8）

【参考】サブドレン稼働時の陸側遮水壁山側・海側の閉合順序について

【第34回監視・評価検討会 ご指摘事項】

- 陸側遮水壁閉合に進む場合、山側・海側のどちらを先に閉合するかについては議論の余地が残っていると考えている。

- 下記の理由により、「陸側遮水壁山側3辺」を先に閉合するのが合理的である。
 - 陸側遮水壁山側を先に閉合すると、サブドレン稼働時に比べ、
 - ◆ 建屋への地下水流入量がさらに減少
 - ◆ サブドレン汲上げ量が減少する。
 - 陸側遮水壁海側を先に閉合すると、サブドレン稼働時に比べ、
 - ◆ 建屋への地下水流入量が増加
 - ◆ サブドレン汲上げ量がさらに増加する。
 - 陸側遮水壁山側3辺閉合前に海側遮水壁を閉合しているため、さらに陸側遮水壁海側の閉合を先に実施する必要は無い。