

試験凍結に関する報告

2015年11月17日

陸側遮水壁の進捗状況報告

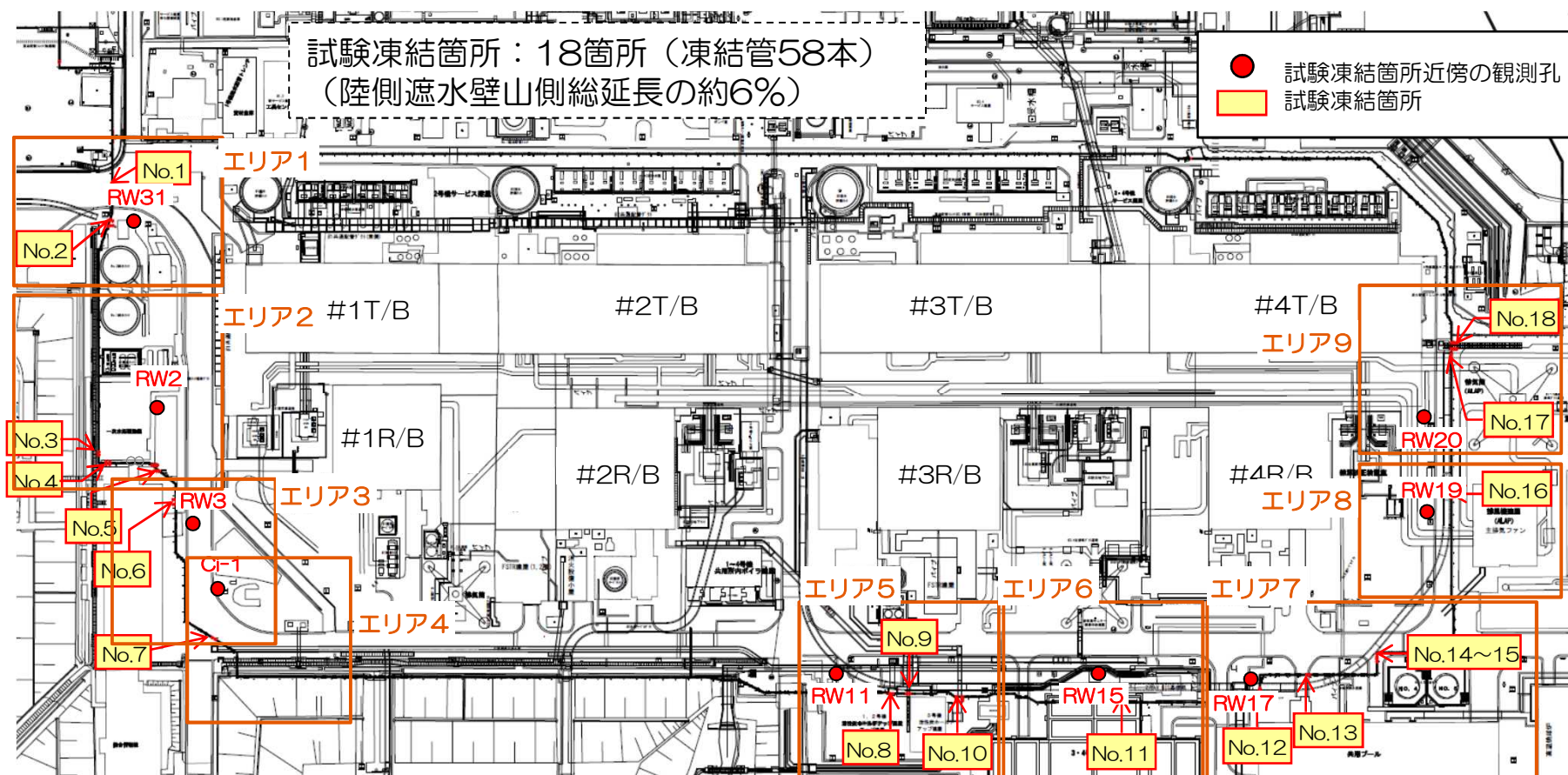
2015年10月14日
東京電力株式会社

3. 試験凍結に関する報告

1. 試験凍結計画

(1) 試験凍結の概要

- 試験凍結（2015年4月30日12時開始）では、ブライン移送配管や凍結管等を循環されるブラインの温度や温度計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した。
- 併せて、試験凍結箇所近傍の観測孔より、試験凍結による周辺地下水の影響を確認した。



試験凍結箇所、その近傍の観測孔位置およびエリア区分

1. 試験凍結計画

(2) 試験凍結箇所を選定

- 試験凍結は、下記の3つの観点に着目し、18箇所を選定して実施した。

- (1) システム規模・形状の違いの影響
 - (2) 地形・周辺構造物の影響による地下水流況の違いの影響
 - (3) 特殊な凍結管配置の影響

試験凍結箇所の設定の考え方

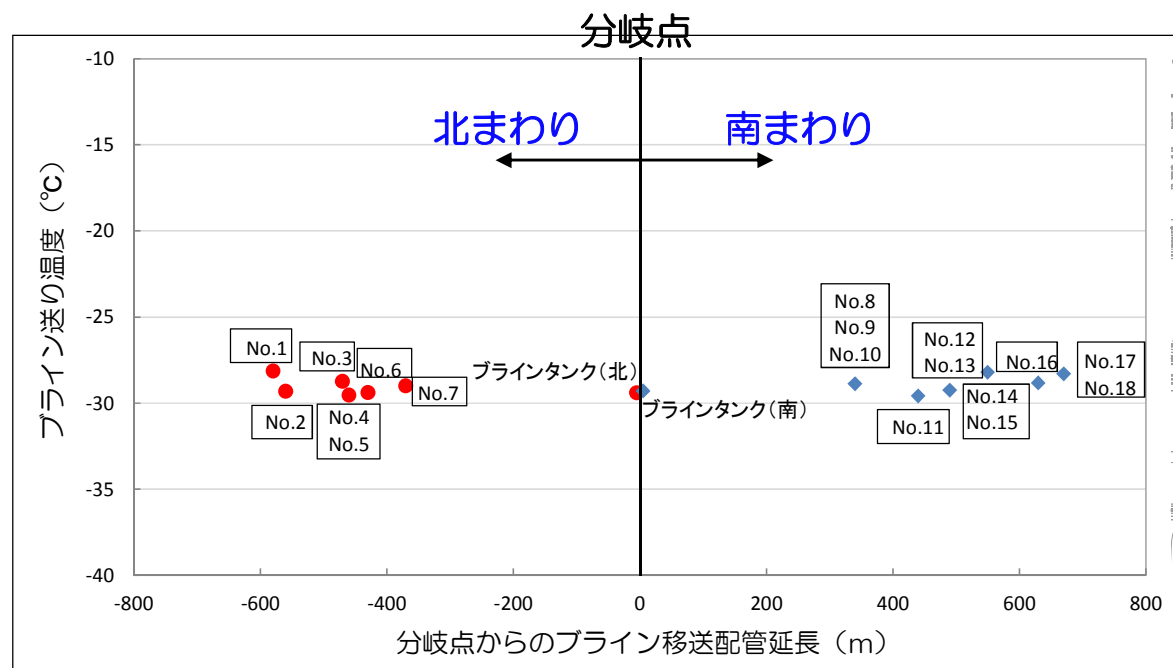
No	主たる確認項目		試験凍結 対象箇所																	
			北側							西側							南側			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	システム全体	ブライン供給元からの距離を考慮したブライン循環設備全体システム	移送距離の影響	○																○
2		ブライン移送管の設置形状の影響を考慮したブライン循環設備全体システム	設置形状の影響			○														
3	地下水流況	陸側遮水壁の設置位置（北・西・南面）やその設置による地下水流況の違いの影響	西側背後斜面法尻近傍の影響で地下水流況が複雑である箇所						○											
4			旧地形情報から地下水流況条件が厳しと推測した箇所						○											
5		建物背面箇所や周辺構造物基礎による地下水流向の影響	建屋間（隙間）背面設置による局所的な流況の影響							○										
6			建屋内配置の影響									○								
7			立坑近傍による影響										○							
8			岩着構造物による影響											○						
9			杭基礎構造物による影響															○		
10	特殊環境	地中埋設物との干渉を回避するために凍結管を複列配置した箇所の影響	円形構造物の特種性		○															
11			凍結管4本施工での造成形状確認			○														
12			造成形状（平行四辺形：幅大）の特種性				○													
13			凍結管6本施工での造成形状確認					○												
14			土被り4m以上（地下水以深）での影響								○									
15		凍結箇所が近接（連続）する場合の影響	凍結管が4箇所連続する特殊箇所													○	○			
16			複列箇所との連続する特殊箇所																○	

2. 凍結性能の確認

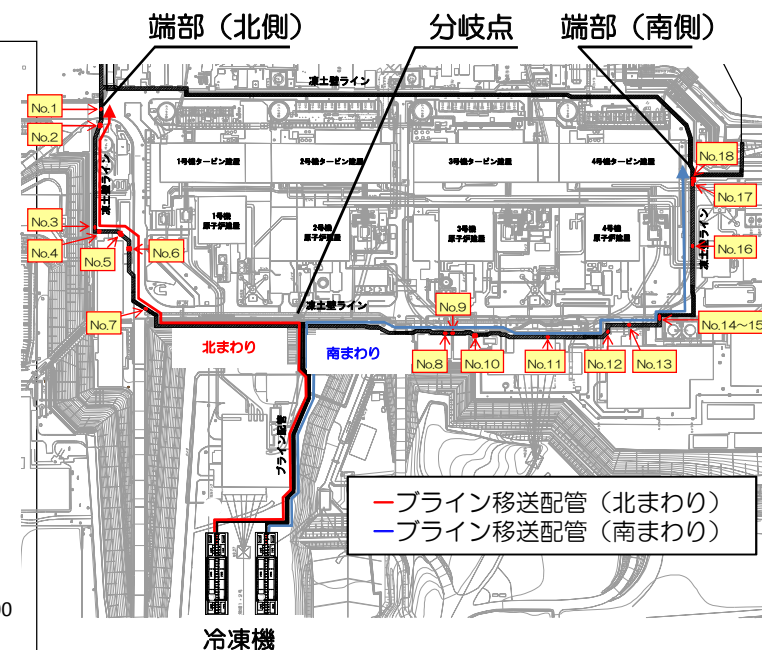
(1) システム規模・形状の違いの影響①

○ブライン移送距離の影響（対象：No.1, No.18）

- ・O.P.+35m盤に設置した冷凍機より圧送されたブラインは、OP+10m盤で南北に分岐し、循環して冷凍機に戻る。左下図に試験凍結におけるブラインを循環範囲のうち、北側の端部に位置するNo.1，南側の端部に位置するNo.18およびその間のブライン送り温度の分布を示す。
- ・左下図より，ブライン送り温度の最大値と最小値の差異は，1℃強程度であり，温度計の測定誤差（±1℃）と同程度であることから，ブライン移送距離がブライン送り温度に与える影響は認められない。



No.1, 18およびその間のブライン送り温度（稼働期間中の平均温度）の分布



ブライン供給範囲図

注）ブライン送り温度はグラフ内に示す四角枠内ごとにヘッダー管の位置で測定

2. 凍結性能の確認

(1) システム規模・形状の違いの影響②

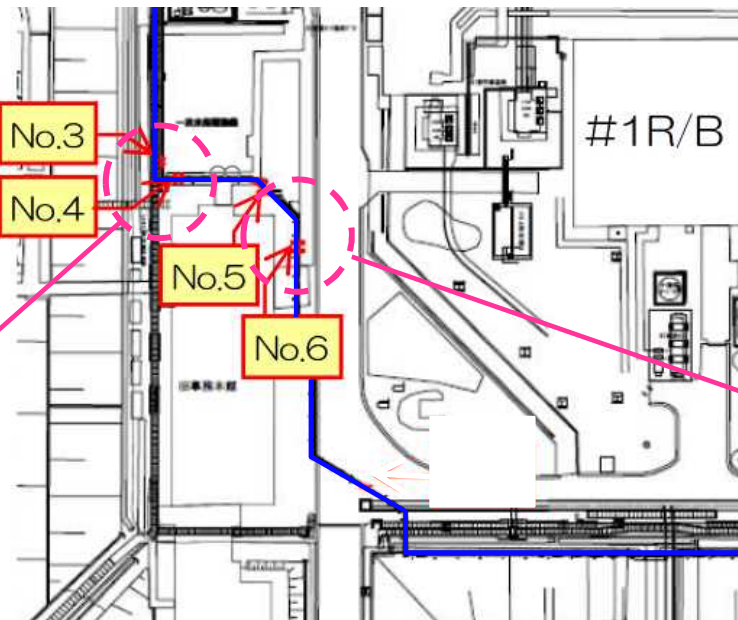
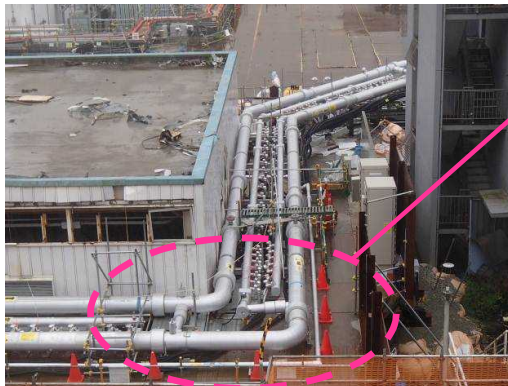
○ブライン移送配管の設置形状の影響（対象：No.3, No.6）

- ブライン移送配管の縦断・平面形状が大きく変化する前後（No.3, No.6）において、ブライン送り温度を比較したところ、温度変化が殆どないことから、ブライン移送配管の設置形状による凍結性能への影響は認められない。

ブライン移送配管の縦断・平面形状が大きく変化する前後でのブライン送り温度

	変化前 (No.6付近)	中間部 (No.4, No.5付近)	変化後 (No.3付近)
ブライン送り温度 (平均値)	-29.4℃	-29.5℃	-28.7℃

写真：No.3付近平面形状屈曲部



写真：No.6付近縦断形状屈曲部

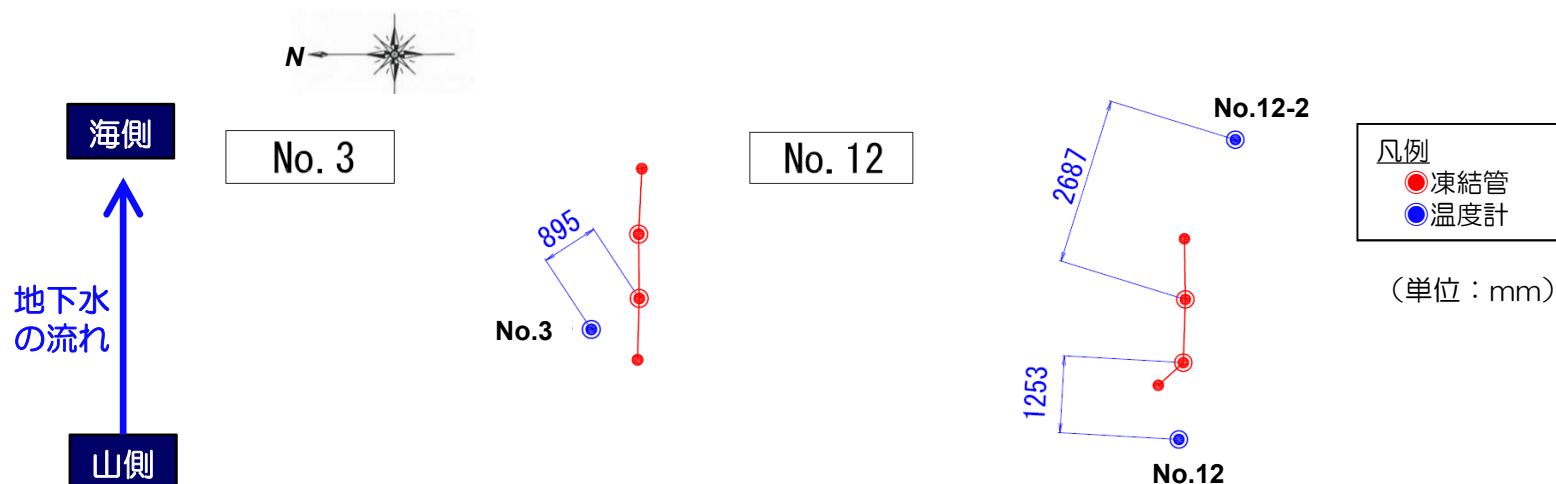


No.3～6付近のブライン移送配管の設置状況

2. 凍結性能の確認

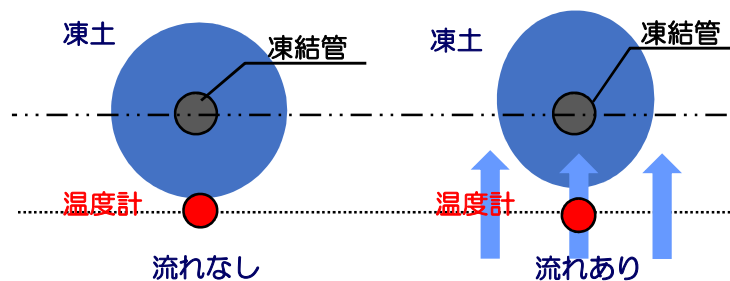
(2) 凍結管と温度計の位置関係

- 試験凍結箇所近傍の地中に設置した温度計の低下傾向は、試験凍結箇所ごとに凍結管～温度計距離が異なるため、凍結管～温度計距離に応じた関係となる。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（上下流側）の影響も受けることから、凍結管～温度計距離と凍結管に対する温度計の位置関係（上下流側）に着目して整理する。



No.3およびNo.12試験凍結箇所における凍結管と温度計の位置関係

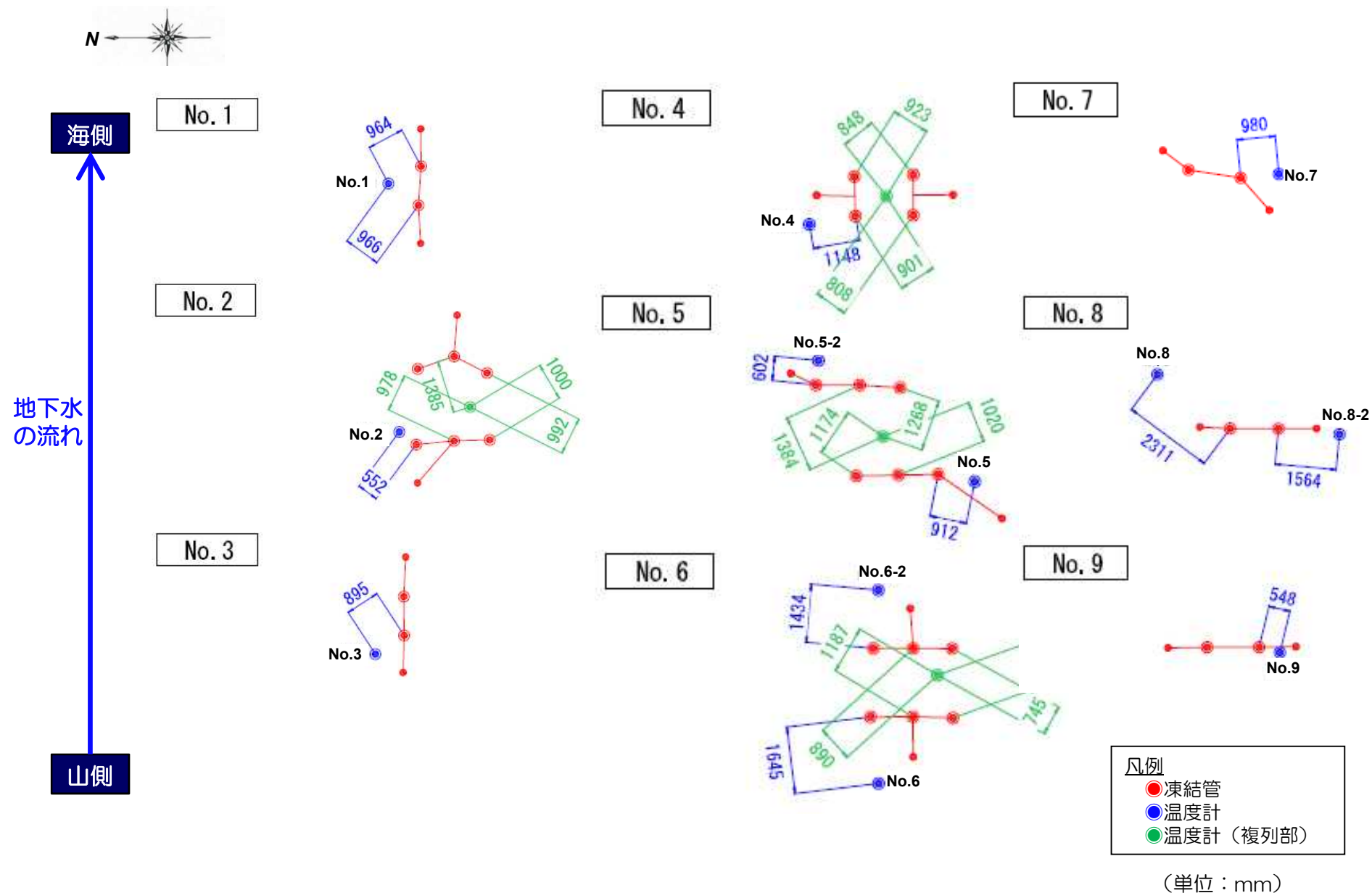
地下水の流れがある状態では、凍土は下流側に発達しやすく、凍結管周りでは凍結が進んでも上流側に位置する温度計は温度低下が遅れやすい



地下水の流れがある状態での凍結管周りの凍結状況

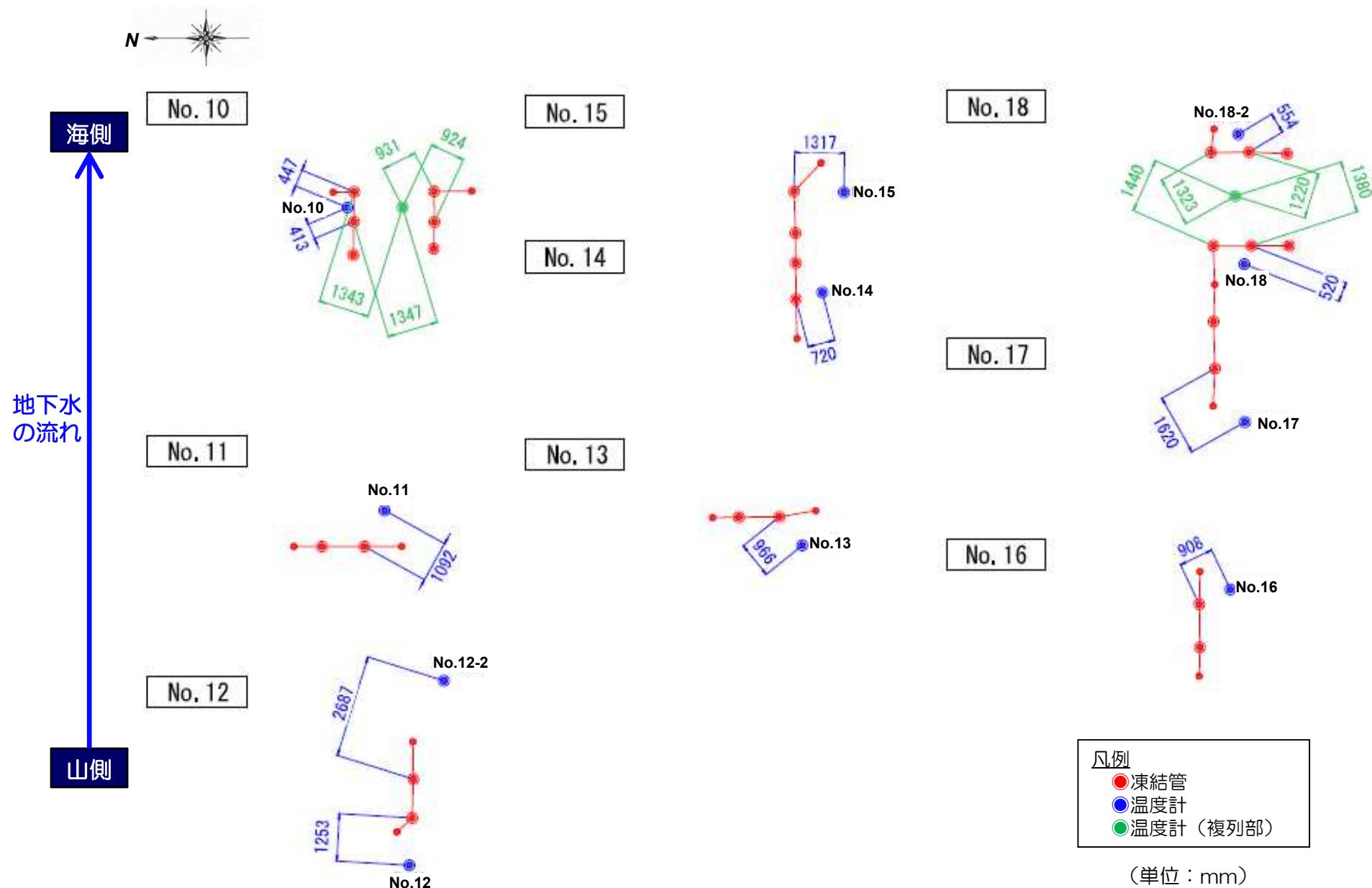
2. 凍結性能の確認

【参考】凍結管と温度計の位置関係(1/2)



2. 凍結性能の確認

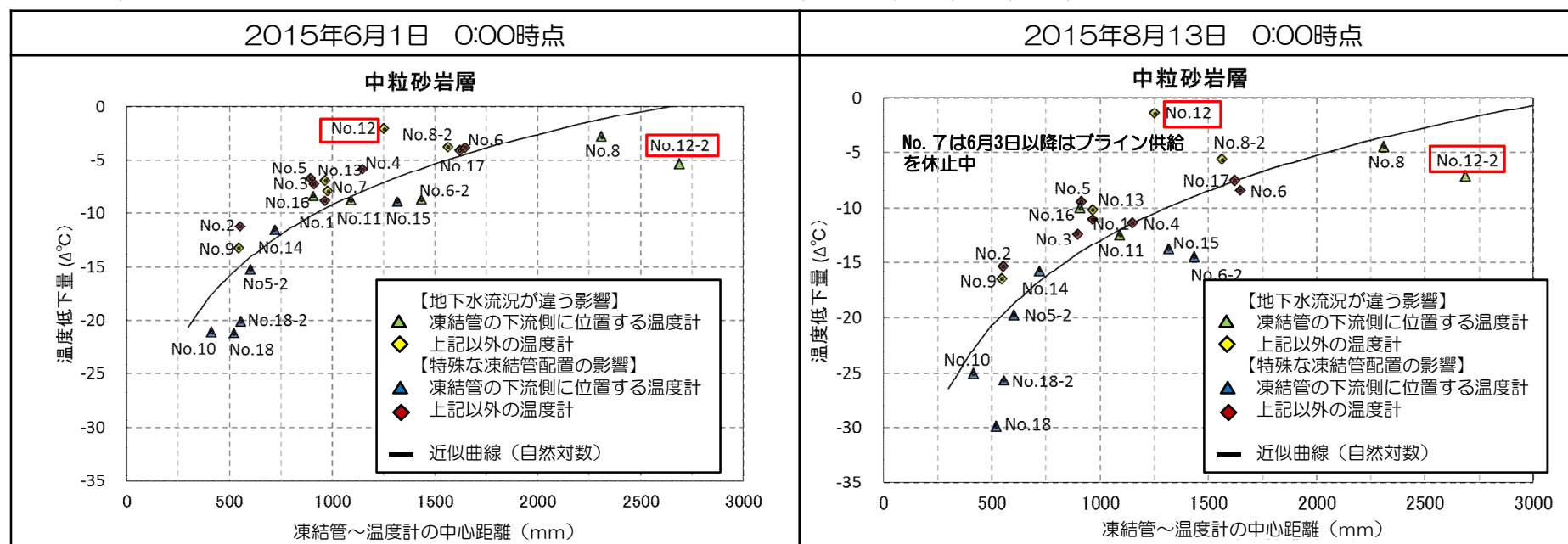
【参考】凍結管と温度計の位置関係(2/2)



2. 凍結性能の確認

(3) 温度低下量と凍結管～温度計距離との関係(中粒砂岩層)

- 試験凍結開始約1ヶ月後(2015年6月1日)および約3.5ヶ月後(同年8月13日)の試験凍結箇所近傍の温度計の低下量と凍結管～温度計距離(中粒砂岩層)の関係を下図に示す。
- 温度低下量は凍結管～温度計距離に応じて分布し、凍結管の近傍ほど温度低下量が大きい。
- 凍結管の下流側(△印)は、上流側(◇印)より温度低下が大きくなる傾向を示している。
- 1ヶ月後と3.5ヶ月後の温度分布から、全体的に温度低下していることが確認できる。
- 凍結箇所No.12の上流側近傍に位置する温度計は、6月1日に対し8月13日は若干上昇しているが、下流側近傍に位置している温度計No.12-2は経時的に低下傾向を示しており、順調に凍結していると考えられる。
- その他、中粒砂岩層において、地形・周辺構造物の影響による地下水流況が異なる影響(No.7～9,11～13,16)および特殊な凍結管配置の影響(No.1,4～6,10,14,15,17)は認められなかった。



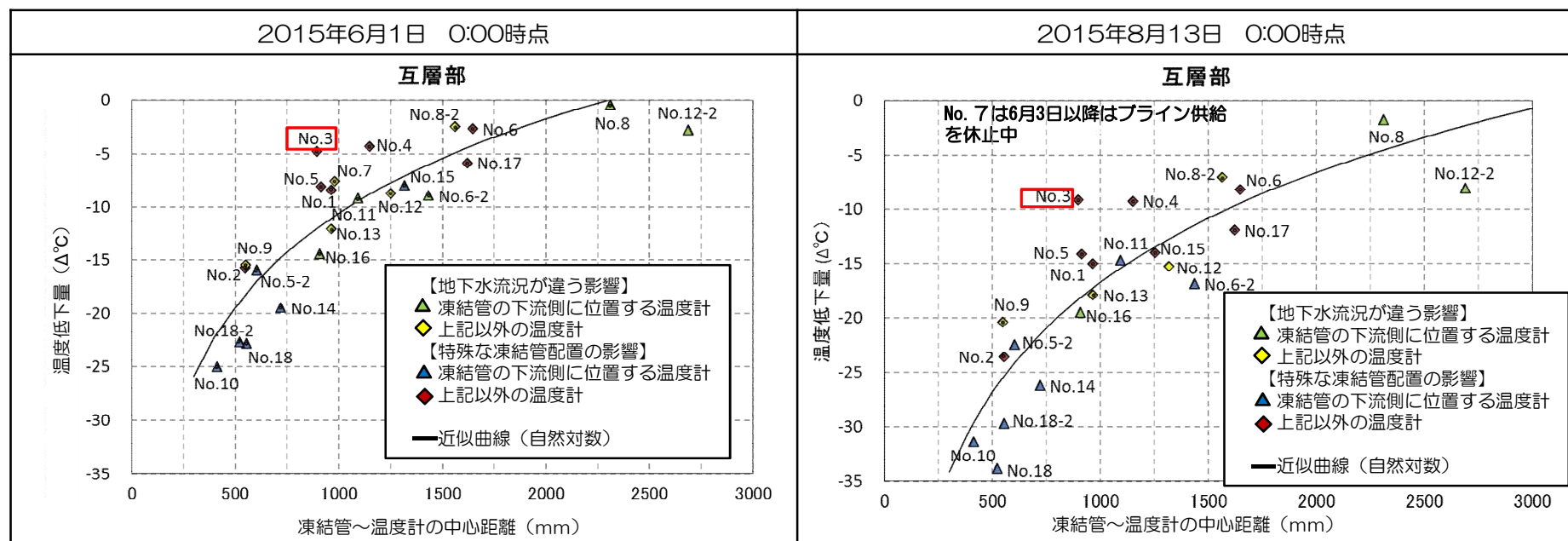
温度低下量と凍結管～温度計距離の関係(中粒砂岩層)

<層内の平均温度の算出方法> 中粒砂岩層：地表面から2mの範囲および下端のデータを除外した温度計の平均値
 <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

2. 凍結性能の確認

(4) 温度低下量と凍結管～温度計距離との関係(互層部)

- ・前頁の中粒砂岩層と同様に、互層部における試験凍結箇所近傍の温度計の低下量と凍結管～温度計距離の関係を下図に示す。
- ・温度低下量は凍結管～温度計距離に応じて分布し、凍結管の近傍ほど温度低下量が大きい。
- ・凍結管の下流側（△印）は、上流側（◇印）より温度低下が大きくなる傾向を示している。
- ・1ヶ月後と3.5ヶ月後の温度分布から、全体的に温度低下していることが確認できる。
- ・凍結箇所No.3の上流側近傍に位置する温度計は、温度低下が遅れているが、6月1日に対し8月13日は低下しており、順調に凍結していると考えられる。
- ・その他、互層部において、地形・周辺構造物の影響による地下水流況が異なる影響（No.7～9,11～13,16）および特殊な凍結管配置の影響（No.1,4～6,10,14,15,17）は認められなかった。



温度低下量と凍結管～温度計距離の関係（互層部）

<層内の平均温度の算出方法> 中粒砂岩層：地表面から2mの範囲および下端のデータを除外した温度計の平均値
 <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

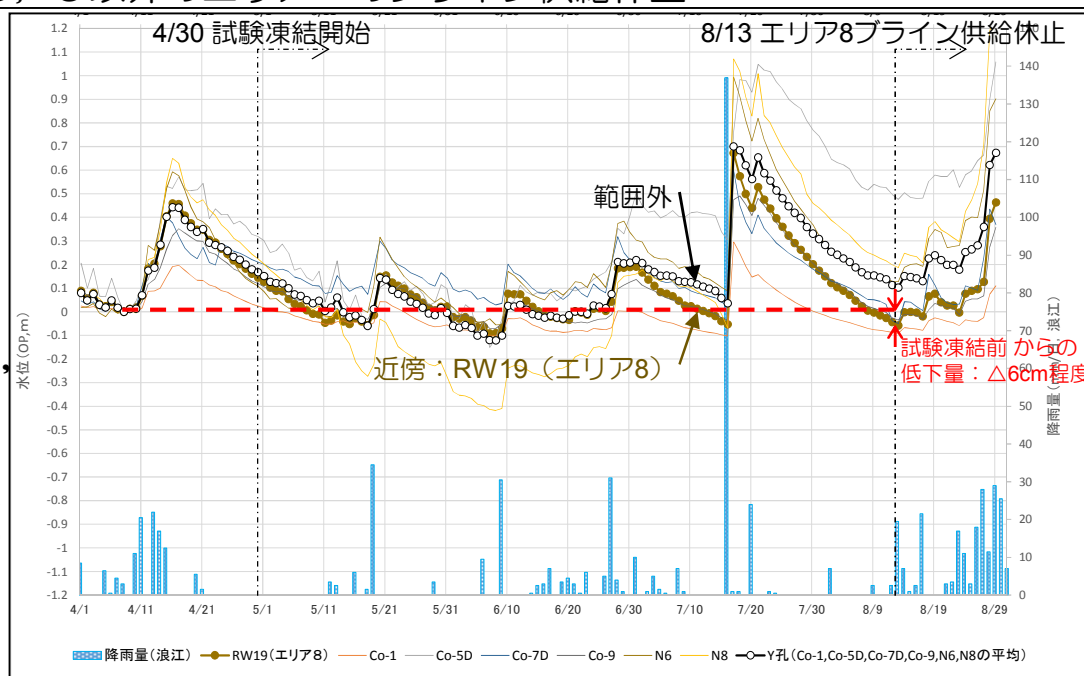
3. 試験凍結箇所近傍の地下水位への影響 (1) 概要ならびにエリア8, 9の状況

- ・エリア4, 8, 9の試験凍結箇所について下記自主評価基準に達したため、ブライン供給を休止した。

＜実施経緯＞ 2015年4月30日 試験凍結開始
 2015年6月3日 エリア4へのブライン供給休止
 2015年8月13日 エリア8へのブライン供給休止
 2015年8月14日 エリア9へのブライン供給休止
 2015年8月21日 山側全面凍結の準備作業に伴うブライン配管充填のため、エリア4, エリア8, 9以外のエリアへのブライン供給休止

【エリア8・9へのブライン供給休止の経緯】

- ・エリア8・9の試験凍結箇所近傍（以下、「近傍」）の地下水位の低下量は、ブライン休止前（8月中旬）の時点で、試験凍結前（4月）の初期値から6cm程度であった。
- ・一方、比較対象とした試験凍結影響範囲外（以下、「範囲外」）の地下水位が7月の降雨で大きく上昇し、その後の水位低下が鈍く、高い状態となった。
- ・このため近傍と範囲外の水位差が拡大し、自主評価基準に達したためブライン供給を休止した。その理由は、範囲外の地下水位低下の鈍さによるものであり、試験凍結の影響によるものではないと考える。

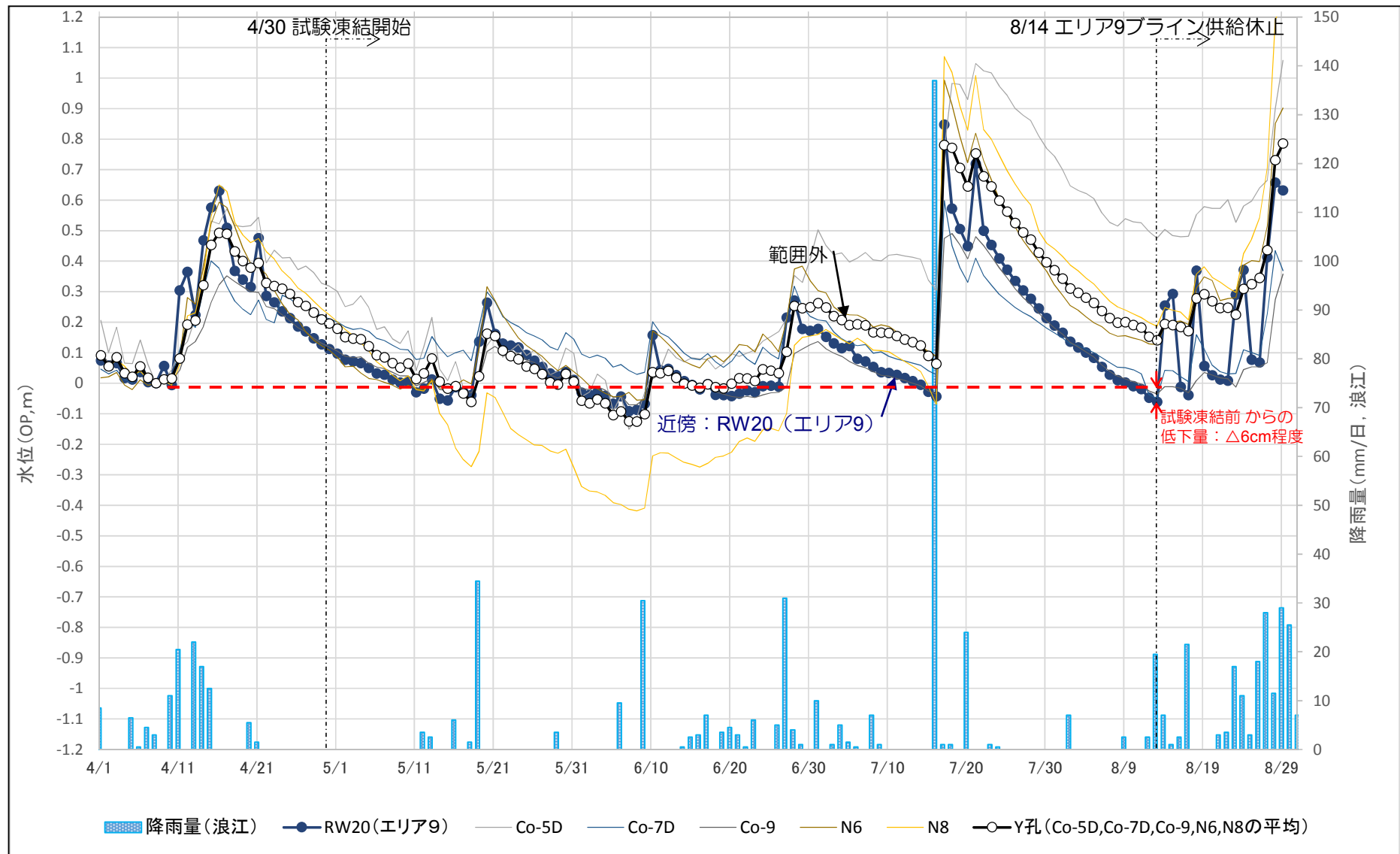


エリア8近傍と試験範囲外の地下水位変化 ※【エリア9】は次頁参照

＜自主評価基準＞

中粒砂岩層の地下水位を対象とし、試験凍結箇所近傍の地下水位が試験凍結影響範囲外と比較して、15cm以上低下した状態が3日間以上継続した場合に当該箇所のブライン供給を休止する。

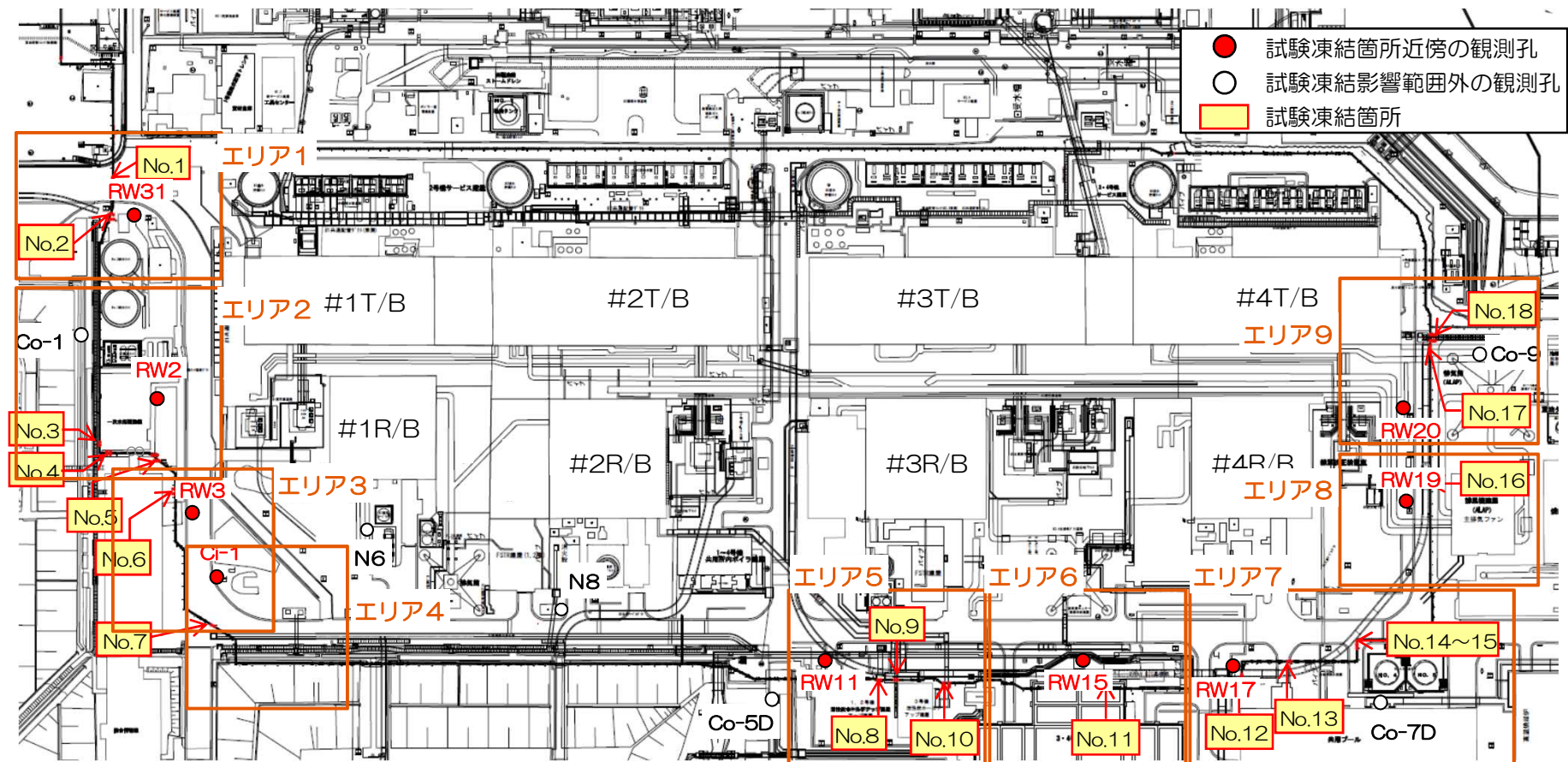
3. 試験凍結箇所近傍の地下水位への影響 【参考】エリア9へのブライン供給休止の経緯



エリア9近傍と試験凍結範囲外の地下水位変化

3. 3 試験凍結箇所近傍の地下水位への影響

【参考】試験凍結箇所近傍・影響範囲外の観測孔 位置図

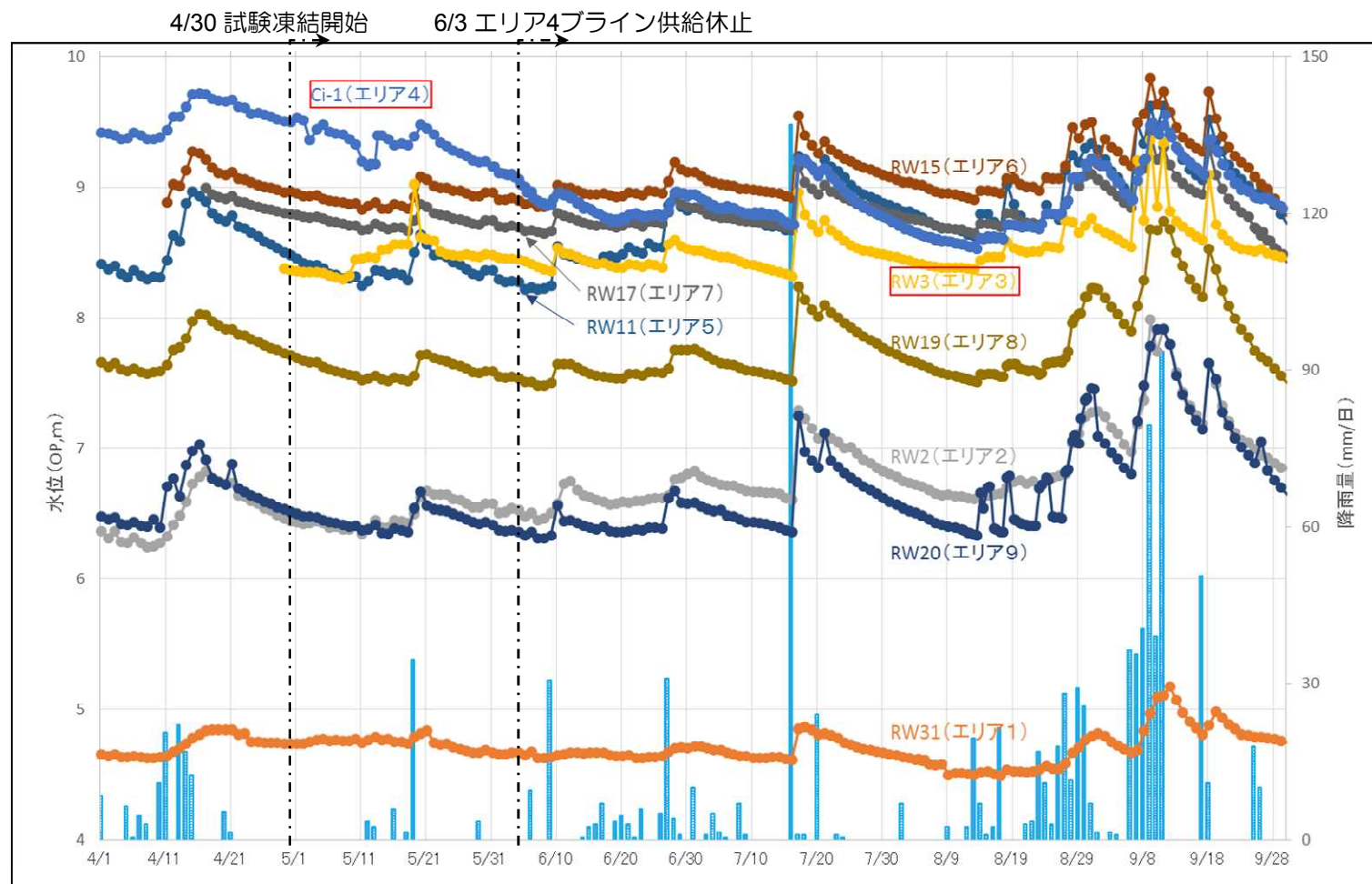


試験凍結箇所近傍・影響範囲外の観測孔 位置図

3. 試験凍結箇所近傍の地下水位への影響

(2) Ci-1孔（エリア4）と各エリアにおける観測孔の地下水位経時変化

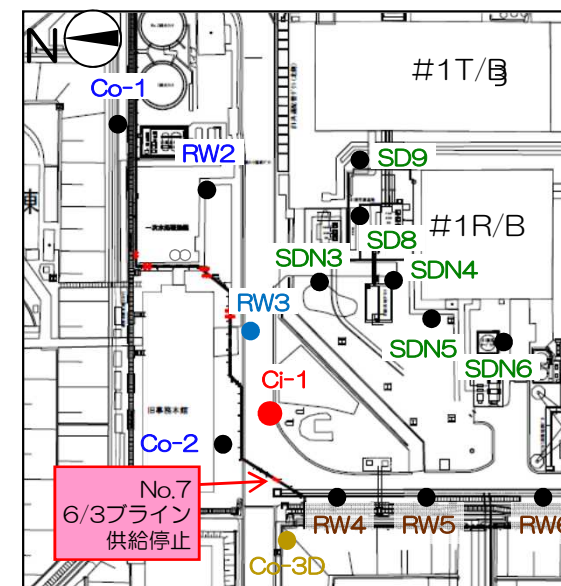
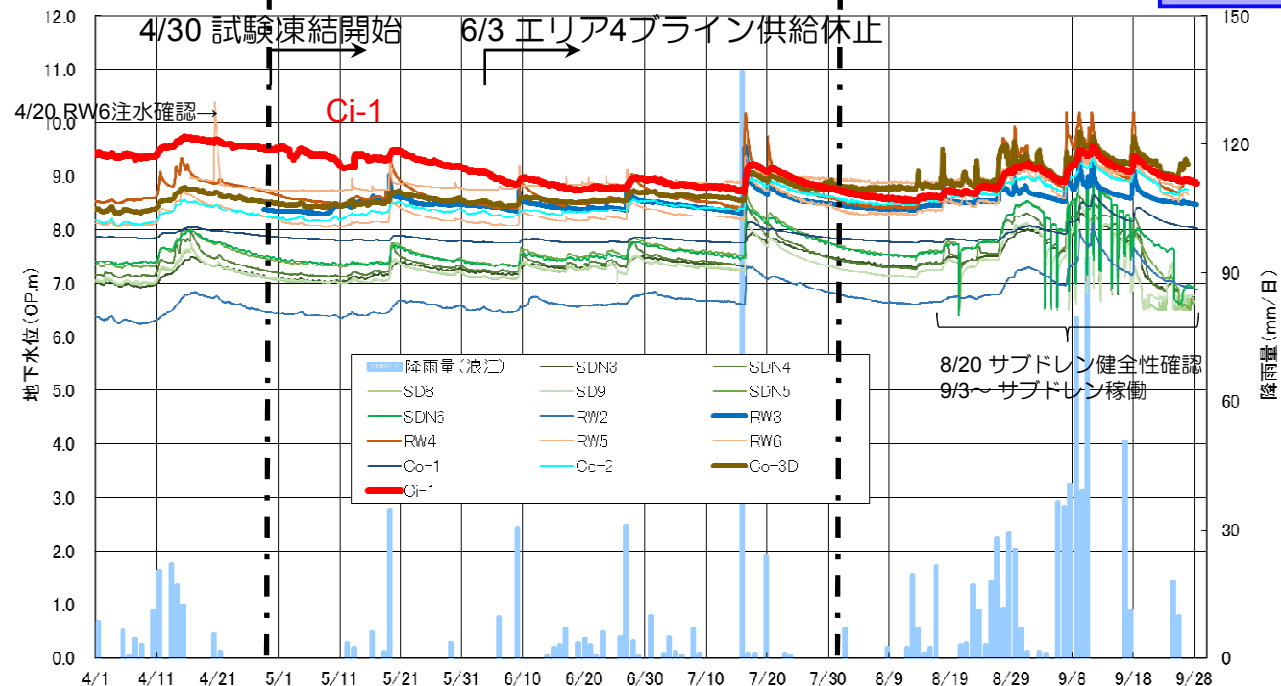
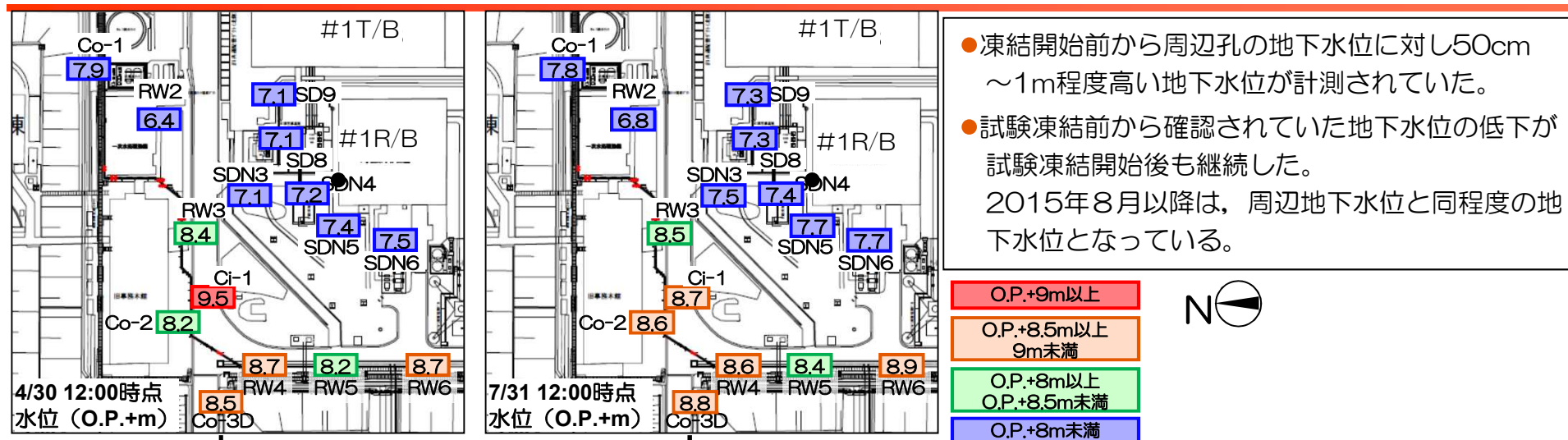
- ・試験凍結箇所近傍の地下水位は、各観測孔共に降雨の影響を受けながら変動している。
- ・エリア4の試験凍結箇所近傍の観測孔Ci-1孔の地下水位は試験凍結開始前から低下が始まり、その後、Ci-1孔の海側近傍にあるRW3（エリア3）の地下水位に近づき、RW3と同様の傾向を示している。



試験凍結箇所近傍の地下水位（中粒砂岩層）経時変化

3. 試験凍結箇所近傍の地下水位への影響

(3) Ci-1孔（エリア4）の地下水位低下に関する考察① -周辺観測孔との比較-



※ 緑字：サブドレン、青字：北側の観測孔・注水井、茶字：法尻の観測孔・注水井

1号機山側周辺観測孔配置図

※ 7月より水位計の入れ替えを段階的に実施中（自記式→遠隔監視）。自記式水位計計測値は入れ替え時の手測り測定値にて補正。

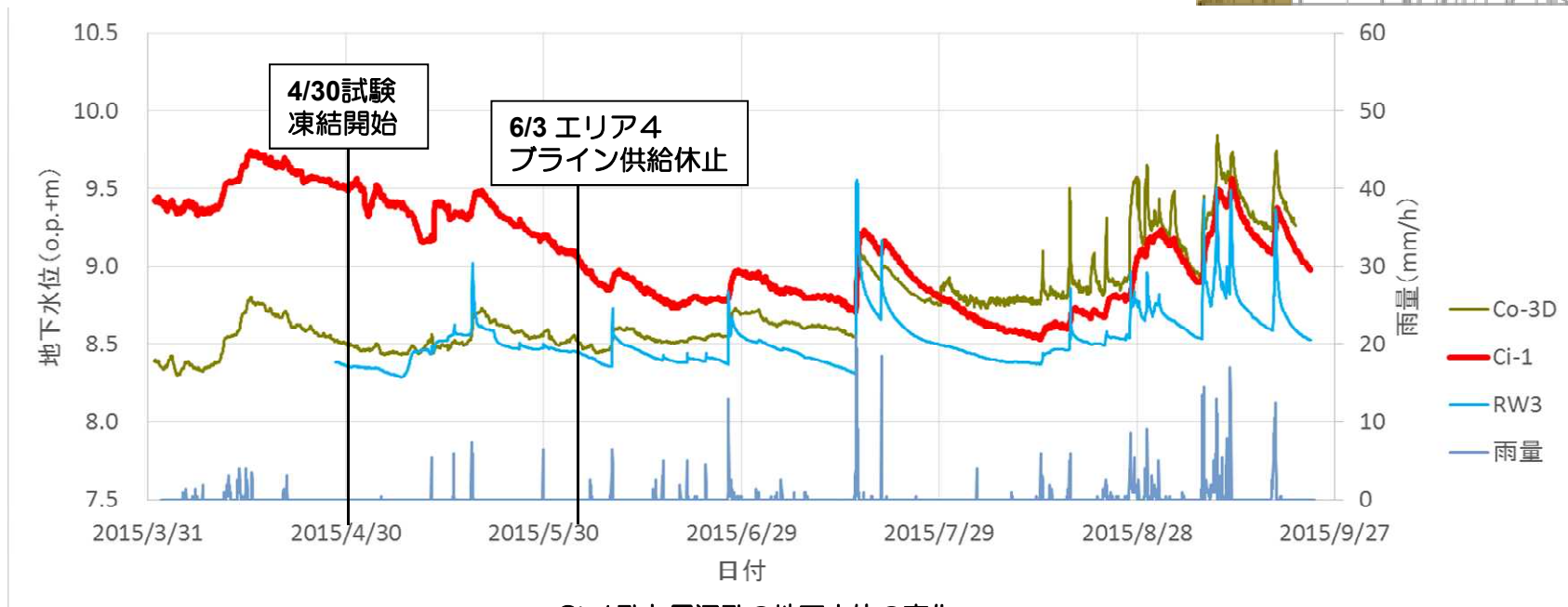
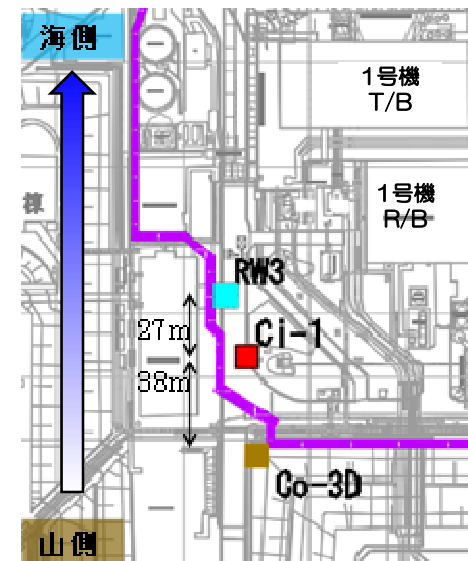
3. 試験凍結箇所近傍の地下水位への影響

(3) Ci-1孔（エリア4）の地下水位低下に関する考察② -Ci-1孔の海側および山側に位置する周辺観測孔との比較-

■Ci-1孔の海側および山側に位置する周辺観測孔との比較

- Ci-1孔の海山方向に位置するRW3とCo-3Dの地下水位の変化を比較した。
- 試験凍結開始前の4月～7月下旬にかけて、Ci-1孔の地下水位が高く山側から海側へ向かう動水勾配のバランス※が崩れていたが、8月以降、安定していることが確認できる。
- Ci-1孔周辺の地下水位は、試験開始以前の時期を含む4～7月下旬にかけて、降雨・地形・埋設構造物の影響を受け、局所的に高い状態となっていたと考えられる。

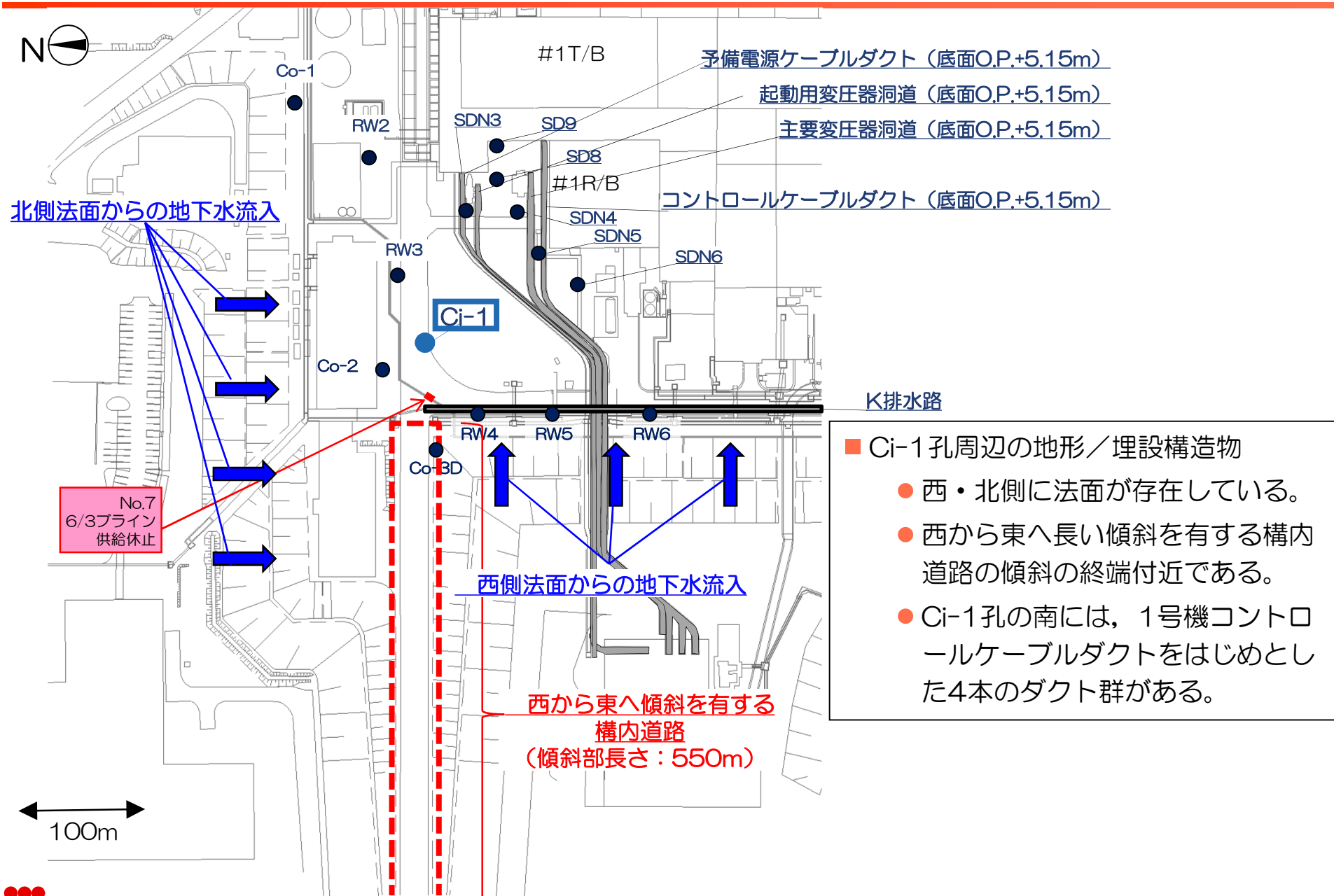
※地下水位は 山側（上流）から海側（下流）に向かって低くなる勾配となる。



Ci-1孔と周辺孔の地下水位の変化

3. 試験凍結箇所近傍の地下水位への影響

(3) Ci-1孔（エリア4）の地下水位低下に関する考察③ - Ci-1孔周辺の地形と埋設構造物 -



3. 試験凍結箇所近傍の地下水位への影響

(3) Ci-1孔（エリア4）の地下水位低下に関する考察④ -温度計の温度変化との関係-

■温度計の温度変化との関係

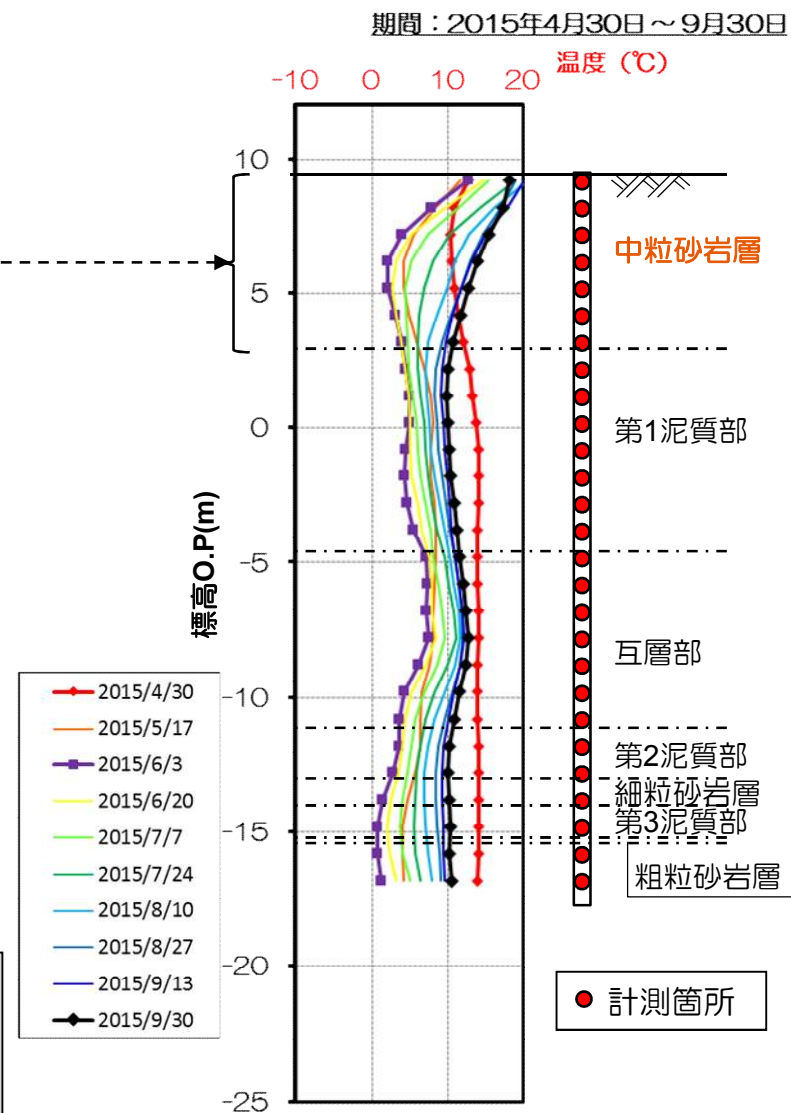
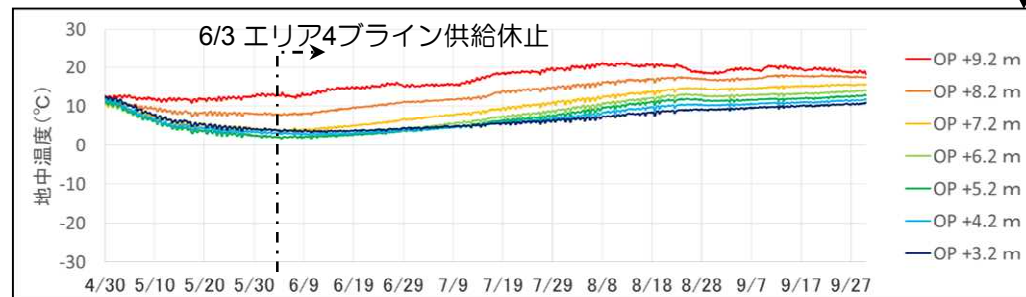
- Ci-1孔近傍の温度計の変化を右図・下図に示す。

(Ci-1孔近傍の地中温度の変化)

- Ci-1孔近傍の地中温度は試験凍結開始以降は低下傾向にあった。2015年6月3日のブライン供給休止以降は地中温度は上昇傾向に転じ、同年8月以降、中粒砂岩層では試験凍結開始時点の温度を上回り、試験凍結開始前の状態に回復している。

(Ci-1孔の水位低下に関する考察)

- Ci-1孔の地下水位低下が、試験凍結箇所No.7の凍結による影響に起因するものであれば、ブライン供給休止以降、試験凍結箇所No.7の凍結範囲が縮小することで、水位の回復(上昇)が想定される。しかし、凍結範囲の縮小した同年8月以降の地下水位は周辺観測孔（RW3, Co-3D）に比べ、上昇の傾向が見られない（39頁参照）ため、Ci-1孔の水位低下は試験凍結の影響であることは考えにくい。



試験凍結箇所No.7近傍の温度計の変化

3. 試験凍結のまとめ

- 今回の試験凍結の結果、延長1,500mの陸側遮水壁ラインの本格凍結を実施した場合に生じる特殊な凍結条件（システム規模の大きさ、地下水流況が異なる箇所や地中埋設物の干渉を回避するために配列が特殊な箇所、周辺に構造物が存在する箇所など）が、凍結性能へ及ぼす影響は確認されなかった。
- ブライン供給を休止したエリア4,8,9のうち、エリア8,9については、試験凍結範囲外の地下水位低下の鈍さによるものであり、試験凍結の影響によるものではないと考える。また、エリア4については、ブライン供給休止後の凍土融解過程においても、試験凍結開始前から低下傾向が見られた凍結箇所近傍Ci-1孔に水位変化の傾向に変化は見られず、試験凍結の影響であるものとは考えにくい。その他の中粒砂岩層の観測孔においても、試験凍結箇所近傍の観測孔において試験凍結の影響による水位変化は見られない。