

陸側遮水壁の効果に関する現時点での評価について

2018年1月17日

TEPCO

東京電力ホールディングス株式会社

1. 陸側遮水壁の効果に関する現時点での評価

1.1 実測データに基づく評価

1.2 分析に基づく評価

1.3 現時点での評価のまとめ

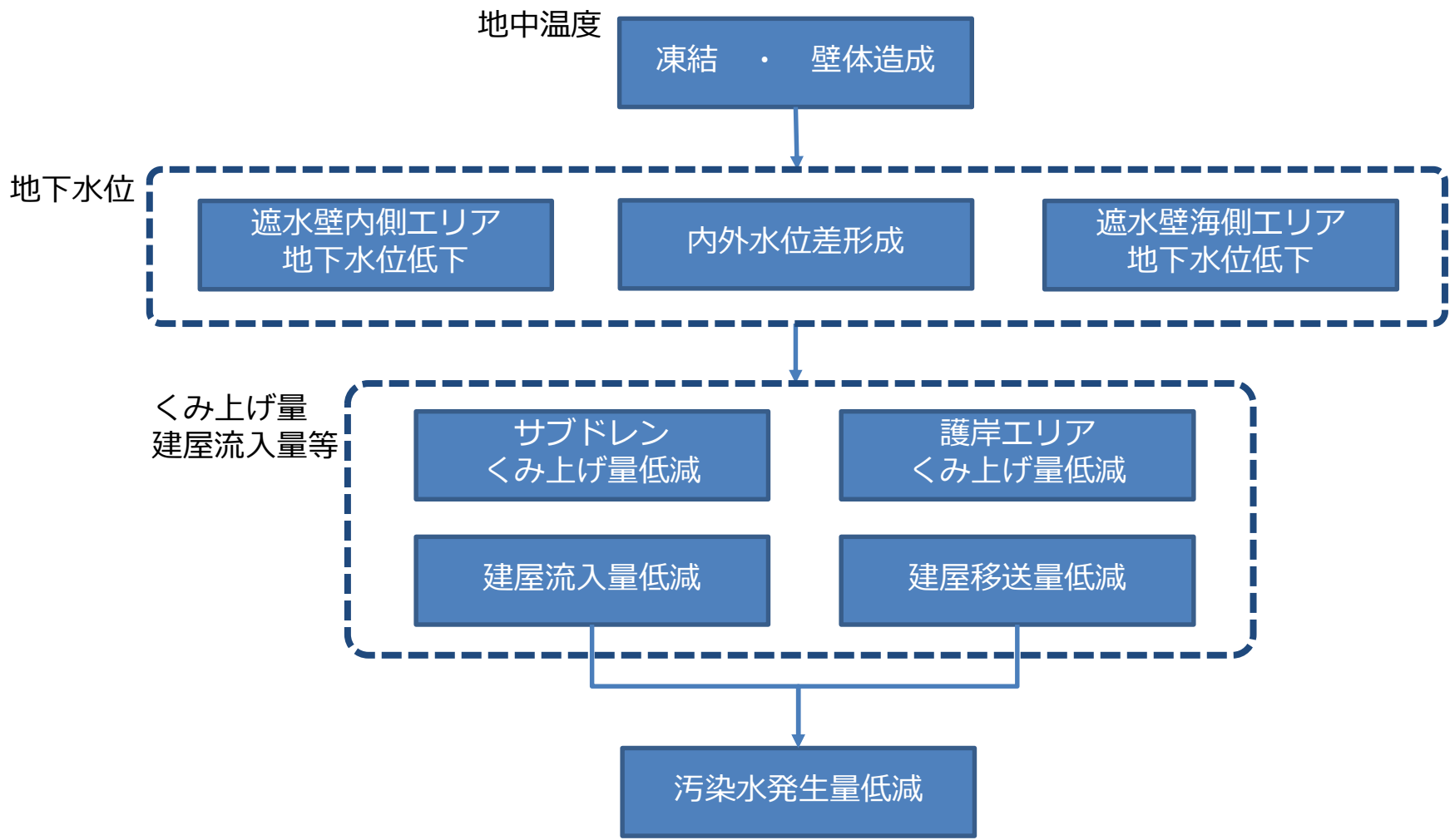
2. 台風等大雨時の状況

3. まとめ

1. 陸側遮水壁の効果に関する現時点での評価

1.1 実測データに基づく評価

1.1.1.1 実測データにあらわれる陸側遮水壁の効果

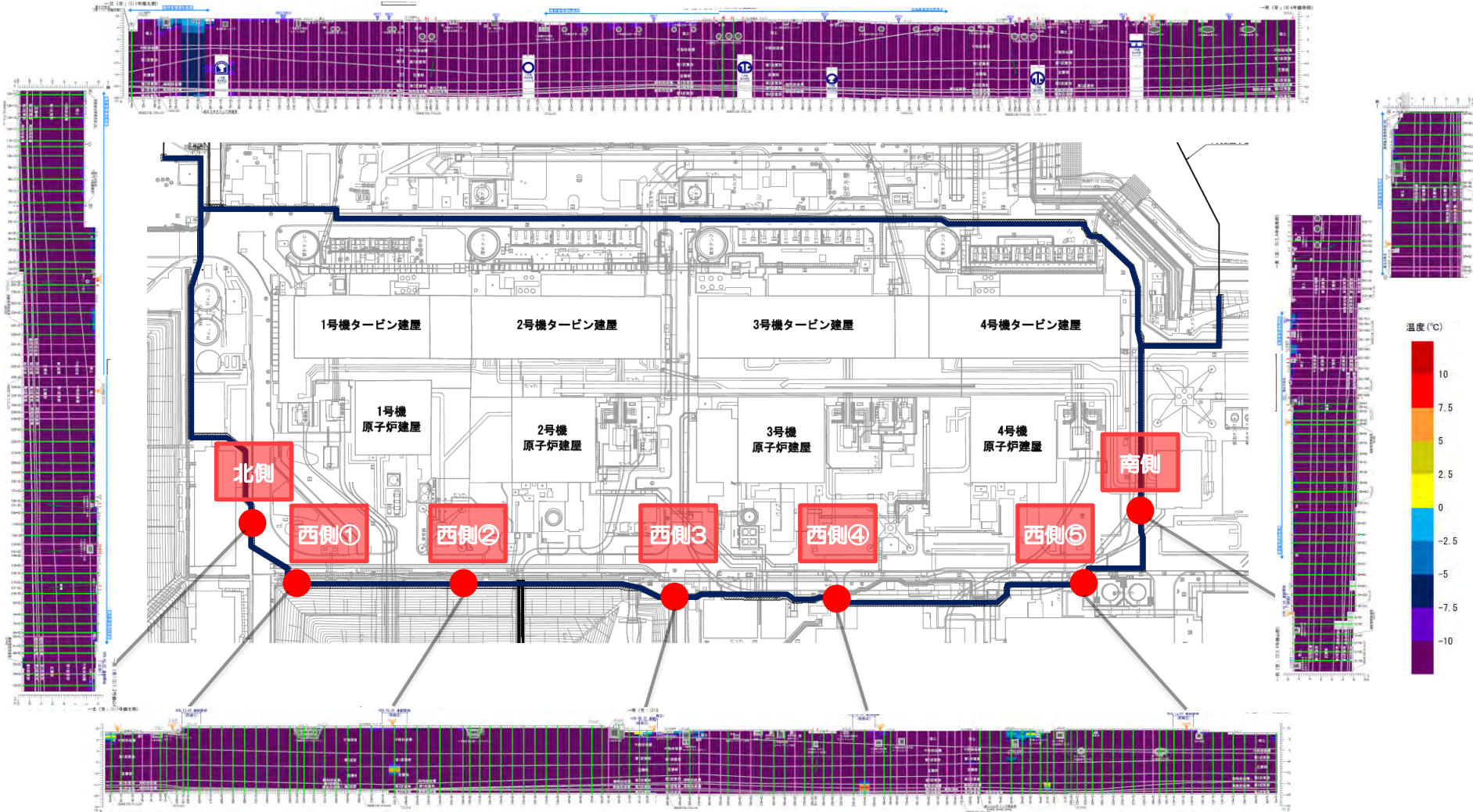


1.1.2 凍結状況

- 最終閉合箇所（西③）凍結開始（2017.8.22）後、約5ヶ月が経過。
- 地下水位より上の表層浅部や、深部の互層部、粗粒細粒砂岩層の一部を除き、凍土ラインから85cm離れた測温管での測定値は0°C以下となっている。（※測温管は全範囲・全深度での不凍結箇所の存在による温度変化を検知できるよう、5m離隔で配置されている）

凡例

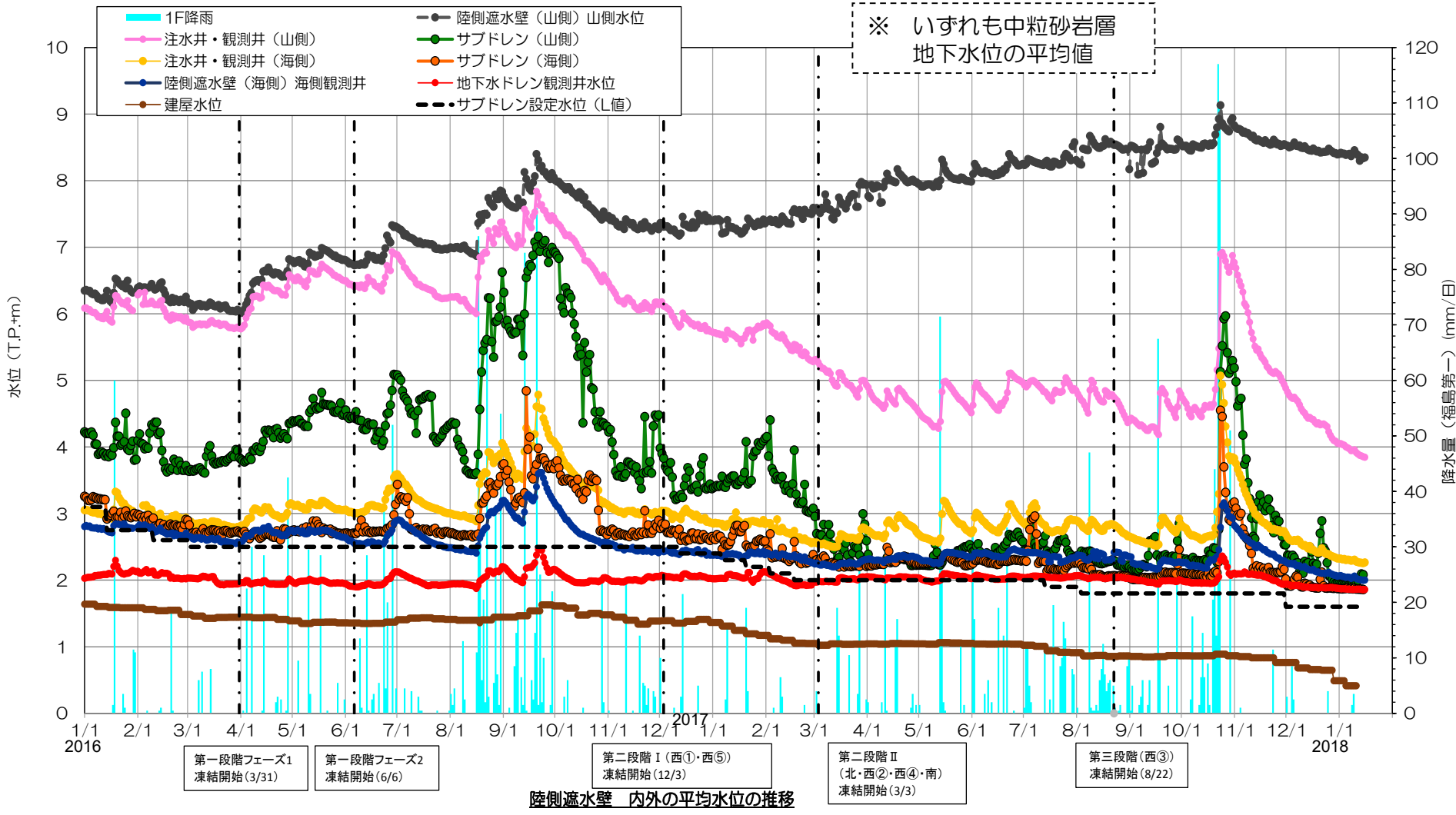
	測温管（凍土ライン外側）		RW（リチャージウェル）
	測温管（凍土ライン内側）		Ci（中粒砂岩層・内側）
	測温管（複列部斜め）		Co（中粒砂岩層・外側）
	複列部凍結管		凍土折れ点



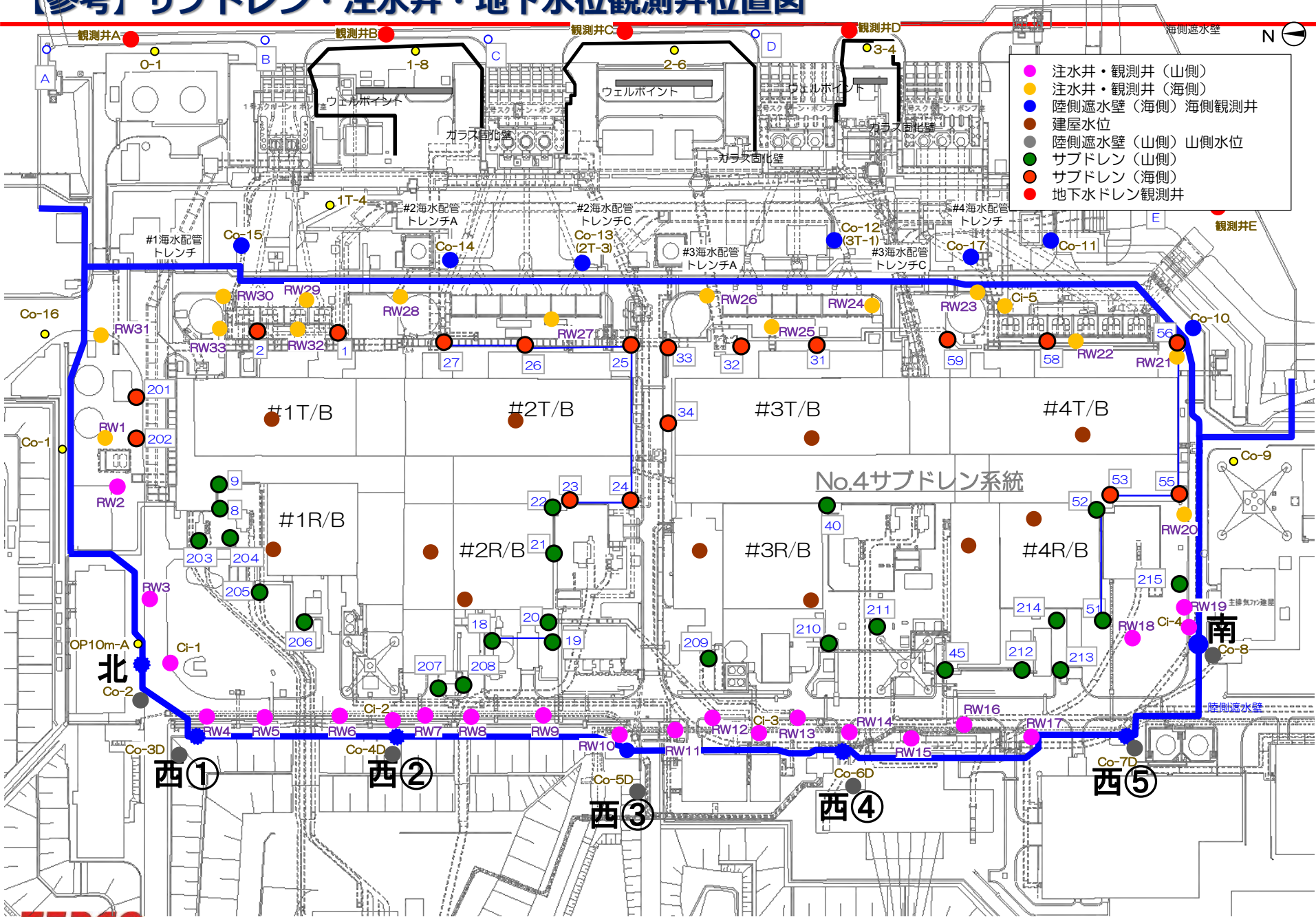
(温度は 2018/1/15 7:00時点のデータ)

1.1.3 陸側遮水壁内外の地下水位の経時変化

- 陸側遮水壁の段階的な凍結閉合とサブドレンの安定的な稼働により、大雨時を除いて、陸側遮水壁内側エリアの地下水位は低下傾向にある。
- 2017年10月の台風以降、降雨が少ないことや、11月30日にサブドレン設定水位を下げた (T.P.+1.8m→1.6m) ことに伴い、陸側遮水壁内側エリアの平均地下水位は、既往最低レベルを更新している。

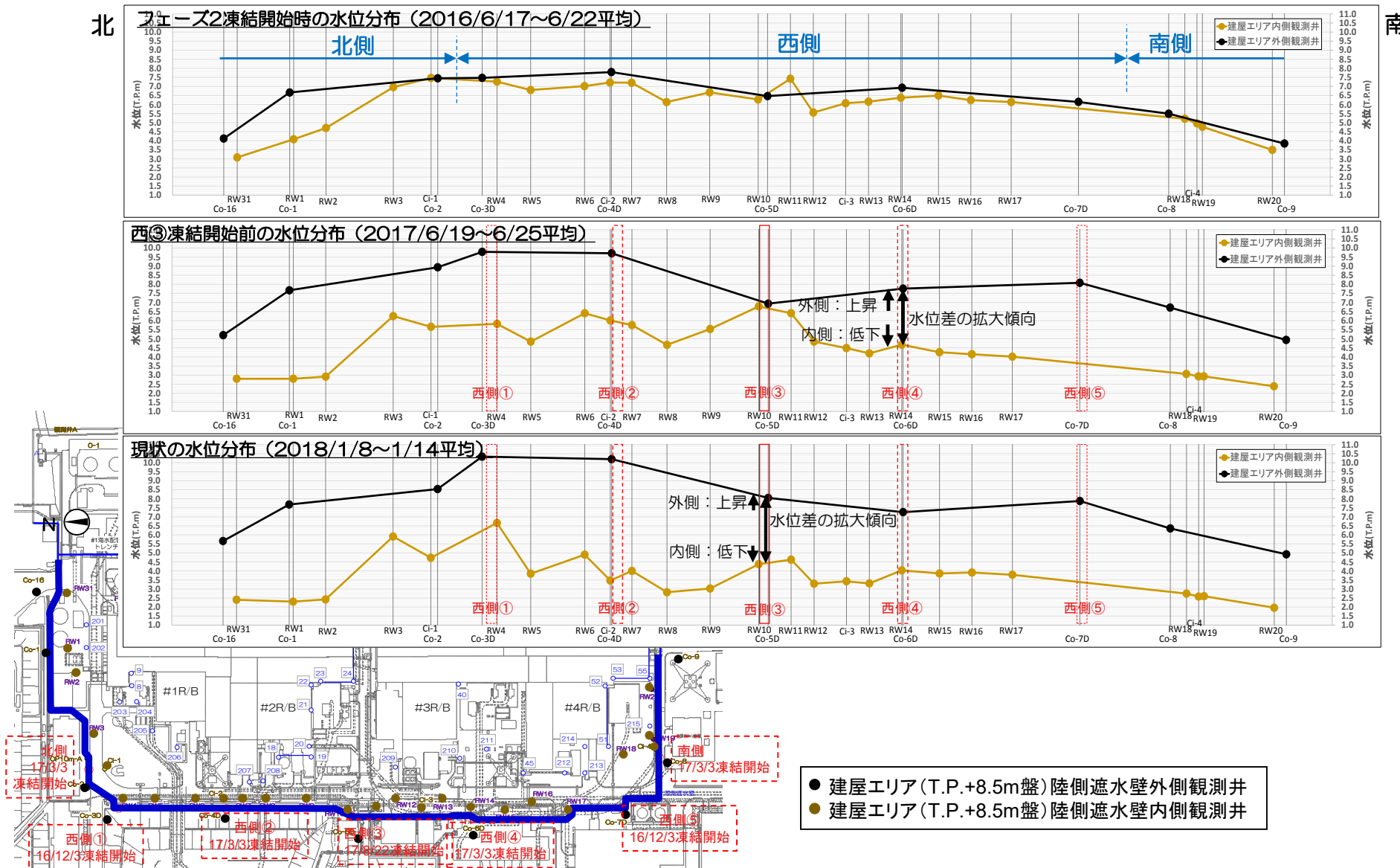


【参考】サブドレン・注水井・地下水位観測井位置図

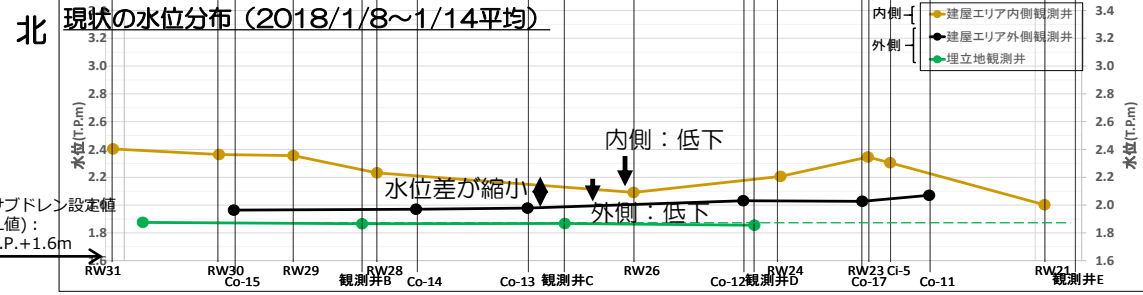
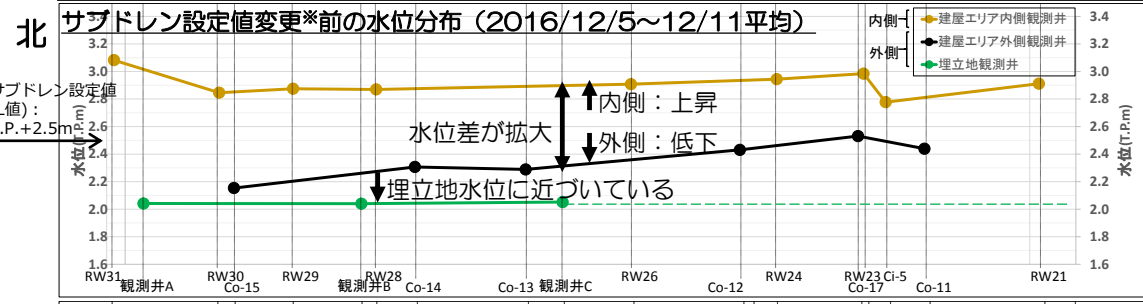
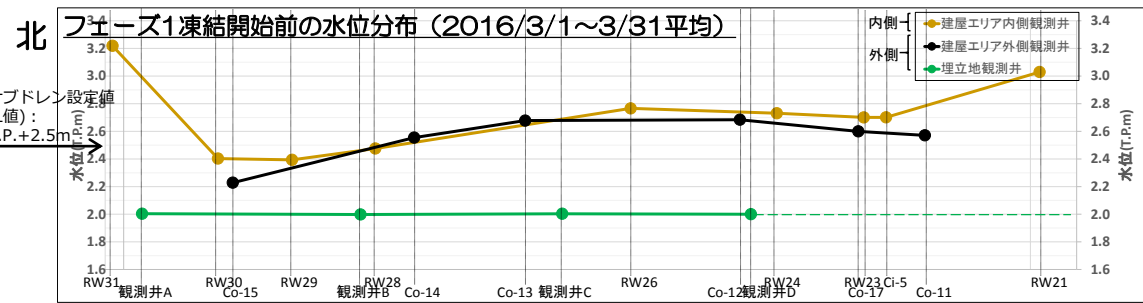


1.1.3 陸側遮水壁（山側）の内外水位差

- 陸側遮水壁の段階的な凍結閉合に伴い、外側水位は上昇、内側水位は下降し、内外水位差が形成されている。
- 内外水位差の形成は南北区間にも及んでおり、凍土壁によって遮られた山側からの地下水が迂回している。



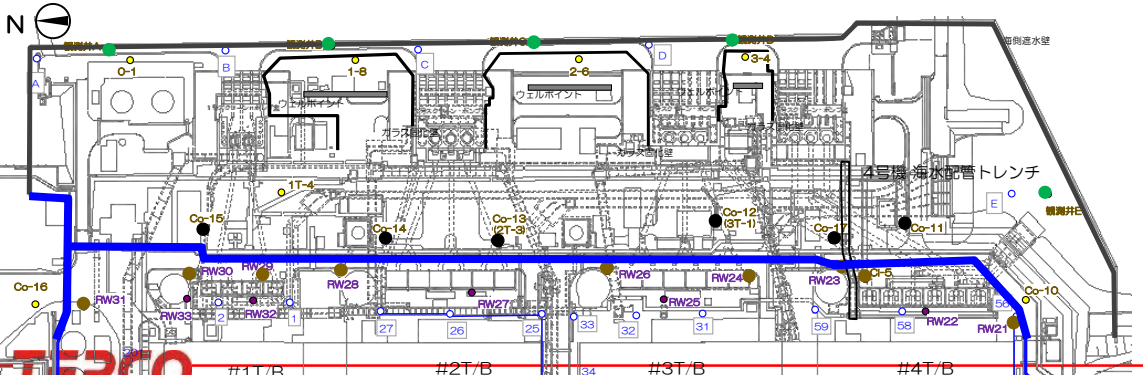
1.1.3 陸側遮水壁（海側）の内外水位差



■ フェーズ1凍結開始以降、サブドレン設定値変更前までは内側地下水位が上昇し、内外水位差が拡大した。

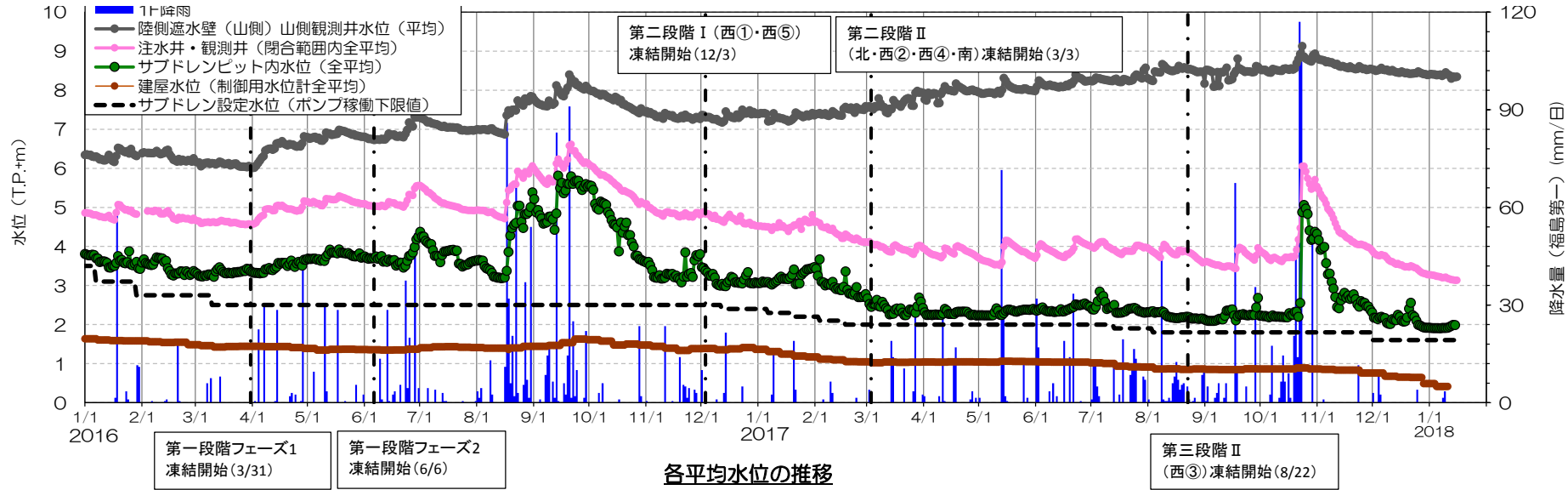
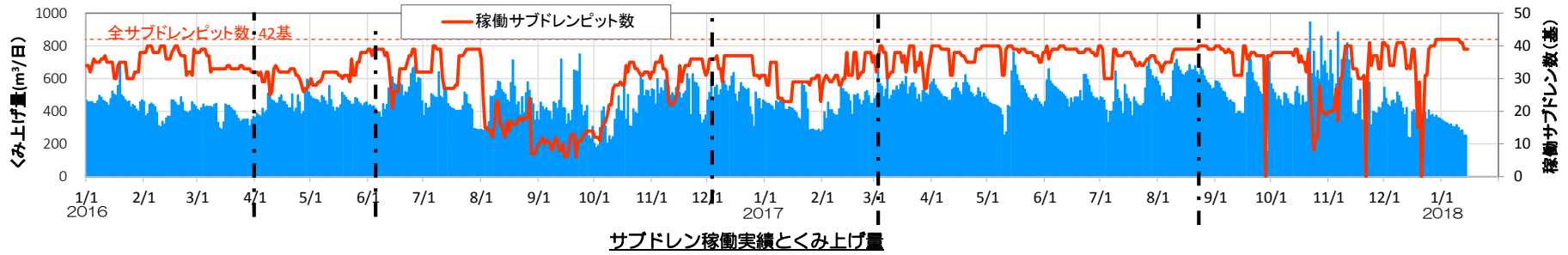
■ その後、サブドレン設定値の段階的な引き下げに伴い陸側遮水壁内側エリアの地下水位が低下していることから、陸側遮水壁（海側）の内外水位差は縮小してきている。

※ 2016/12/12から2017/11/30にかけてサブドレンL値を段階的に低下 (T.P.+2.5→1.6m)



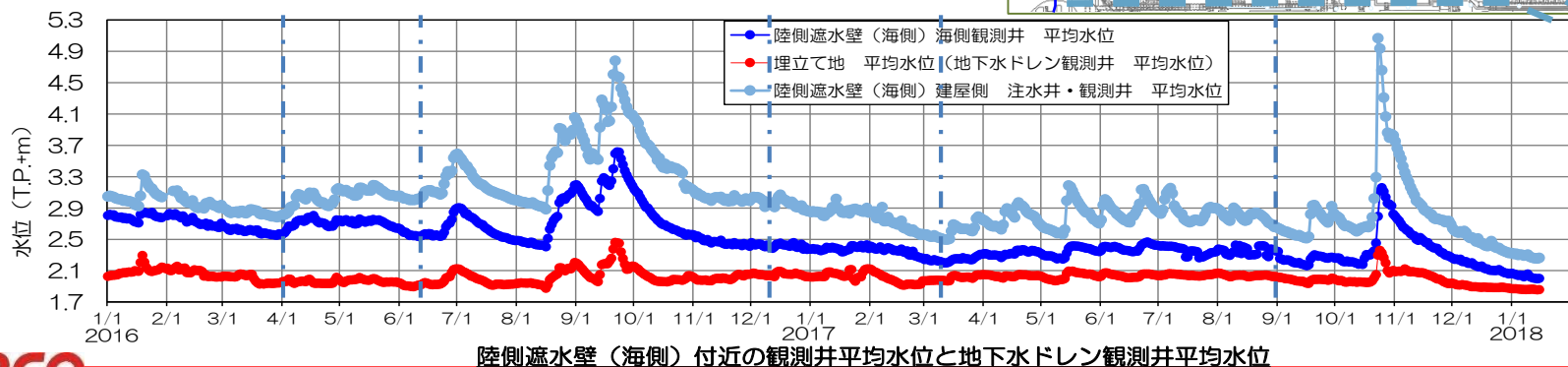
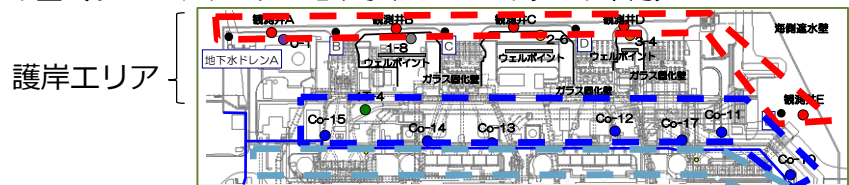
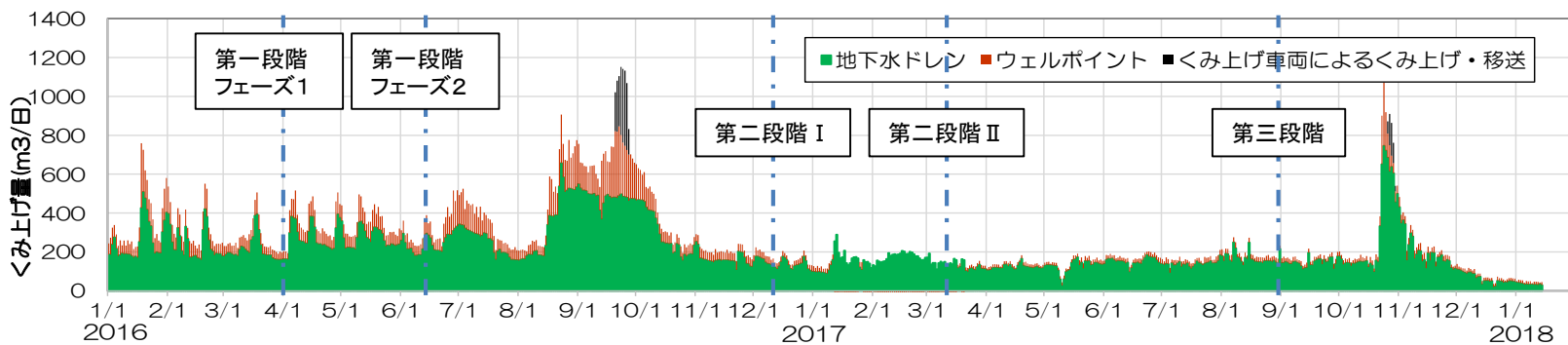
1.1.4 サブドレンくみ上げ量の低減状況

- サブドレンくみ上げ量は、陸側遮水壁（山側）の閉合進展に伴い減少してきており、2018年1月8日にサブドレン全基稼働状態（42基中42基稼働）での既往最小値304m³/日となった。
- サブドレンくみ上げ能力は、サブドレン信頼性向上対策の実施により段階的に向上してきた。また、サブドレン設定水位（L値）も段階的に引き下げてきており、これに伴ってサブドレンくみ上げ量は本来増加するはずのところ最近では減少してきている。このことは、段階的閉合に伴う遮水効果のあらわれと考えられる。



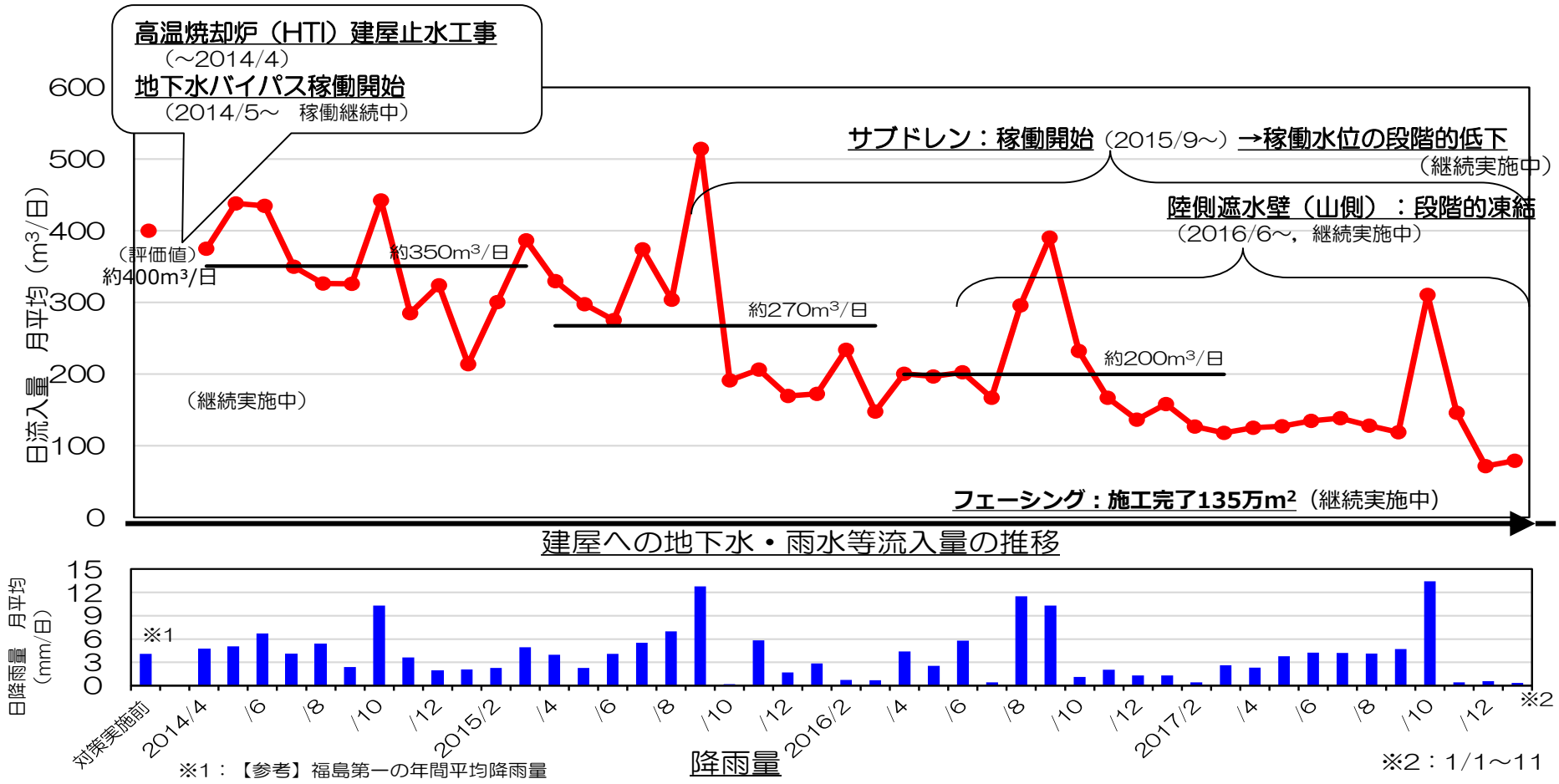
1.1.4 護岸エリアくみ上げ量の低減状況

■ 護岸エリアくみ上げ量は、凍結開始前に比べて減少しており、至近では陸側遮水壁（海側）の内外水位差が小さくなり、さらにくみ上げ量が低減し、2018年1月5日には既往最少41m³/日となった。



1.1.4 建屋への地下水・雨水流入量の低減状況

- 建屋流入量（建屋への地下水・雨水等流入量）は、各低減対策（地下水バイパス・フェーシング・サブドレン・陸側遮水壁）の実施により、対策実施前の400m³/日程度から、2017年4月～9月は月平均で120～140m³/日程度まで低減している。
- 2017年10月の台風21号、22号の降雨の影響により建屋流入量は一時的に増加したものの、至近では70m³/日程度まで減少している。

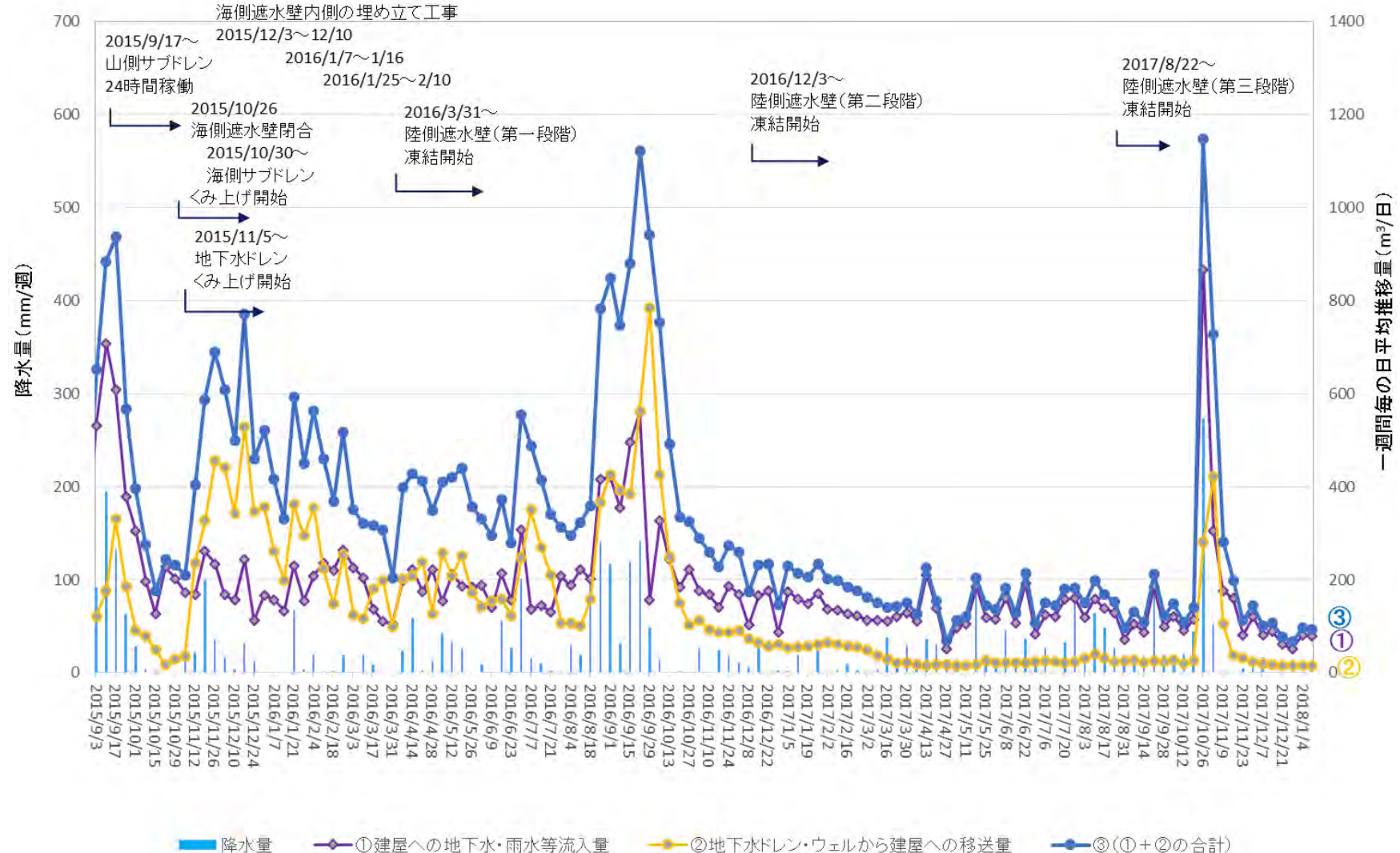


注）月毎の「建屋への地下水・雨水等流入量」は週毎の評価値より算出

1.1.5 「雨水や地下水に起因する汚染水発生量※」の低減状況

■ サブドレン、陸側遮水壁、フェーシング等による重層的な汚染水対策の実施により、建屋流入量および護岸エリアから建屋への移送量はともに低減している。その結果、「雨水や地下水に起因する汚染水発生量」は90m³/日程度まで低減した。

※中長期ロードマップにおける「汚染水発生量」のうち、「雨水・地下水の建屋流入量」と「護岸エリアからくみ上げた地下水の一部の建屋への移送量」の合計であり、「廃炉作業に伴う建屋への水の移送量」は含まない。

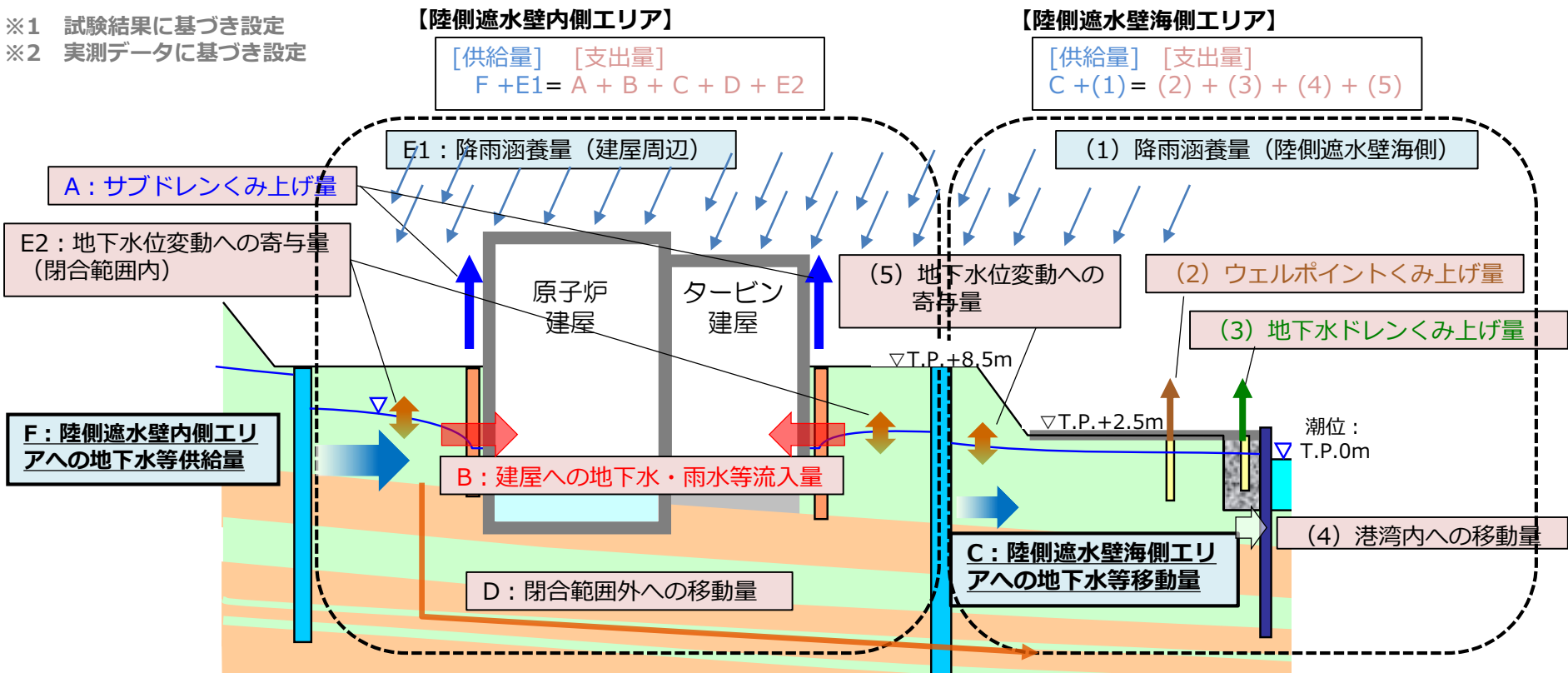


1.2 分析に基づく評価

1.2.1 陸側遮水壁海側エリア・内側エリアの水収支評価方法（従来）

- 陸側遮水壁海側エリア、内側エリアの水収支は、下記に示す条件にて算定し、各エリアへの地下水等供給量について評価した。
 - 「A：サブドレンくみ上げ量」，「(2)ウェルポイントくみ上げ量」，「(3)地下水ドレンくみ上げ量」は実測値を用い，「B：建屋への地下水・雨水等流入量」は1週間単位で評価した値を用いた。
 - 「E2:地下水位の変動への寄与量」は，地盤の有効空隙率を21%※1とし，地下水位計測データから算定した値を用いた。
 - 「E1:降雨涵養量（建屋周辺）」，「(1)降雨涵養量（陸側遮水壁海側）」は，浸透率を55%※2として雨量実績から算定した。
 - 陸側遮水壁海側エリア（海側遮水壁－陸側遮水壁（海側）閉合範囲内）の水収支から「C：陸側遮水壁海側エリアへの地下水等移動量」を算定した。
 - 次に，「C:陸側遮水壁海側エリアへの地下水等移動量」を用いて陸側遮水壁内側エリア（陸側遮水壁閉合範囲内）の水収支から「F:陸側遮水壁内側エリアへの地下水等供給量」を算定した。

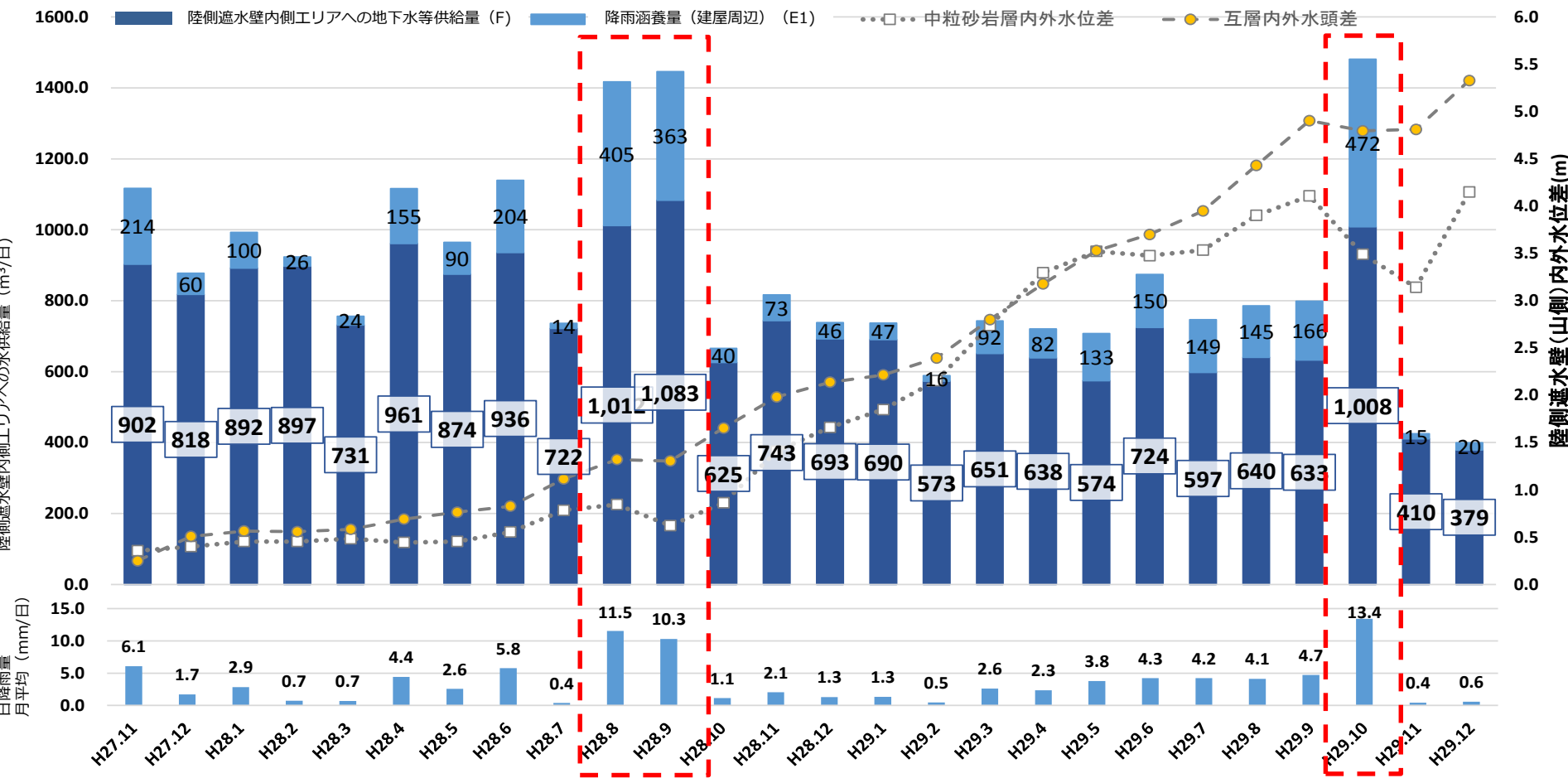
※1 試験結果に基づき設定
 ※2 実測データに基づき設定



水収支の概念図と陸側遮水壁海側エリア・内側エリアへの地下水供給量の算定式

1.2.1 陸側遮水壁内側の水供給量 (F+E1) の経時変化 (従来)

「陸側遮水壁内側エリアへの地下水等供給量 (F)」については、水収支から算術的に求められるものであり、様々な誤差や不確実性を含んでいる。特に、降雨量が多い場合に値が大きくなる傾向にある。



1.2.1 水収支評価方法の見直し（建屋屋根への降雨の排出経路）

■ 震災前，建屋屋根への降雨の排出先は，タービン建屋上屋については放水路，その他については構内排水路であり，降雨の全量が陸側遮水壁および海側遮水壁で囲まれたエリアの外側に排出されていた。

■ 震災以降，次のような理由により，建屋屋根への降雨の一部は地下水として涵養されている。

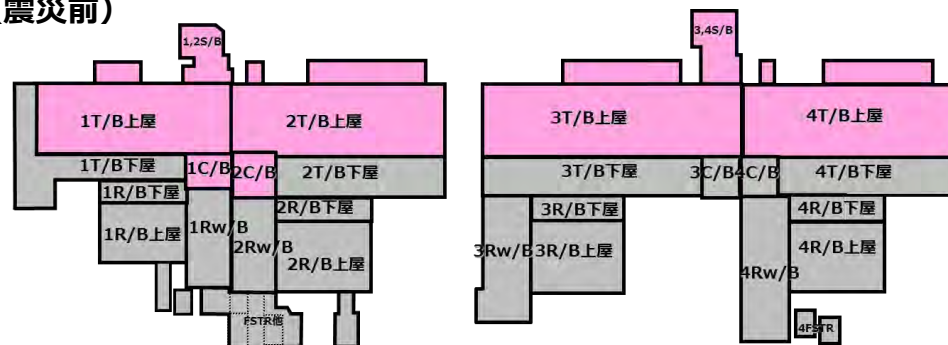
- ルーフドレンや排水系統の損傷により系外に排水されず，地盤に浸透もしくは建屋内へ流入
- 放水路が海側遮水壁により閉め切られたため，放水路経由での排水は地盤に浸透
- 屋根面の一部については，陸側遮水壁内側エリアの地盤へ浸透するように排水ルートを変更

■ また，一部の建屋においては屋根破損部から建屋に直接流入している。

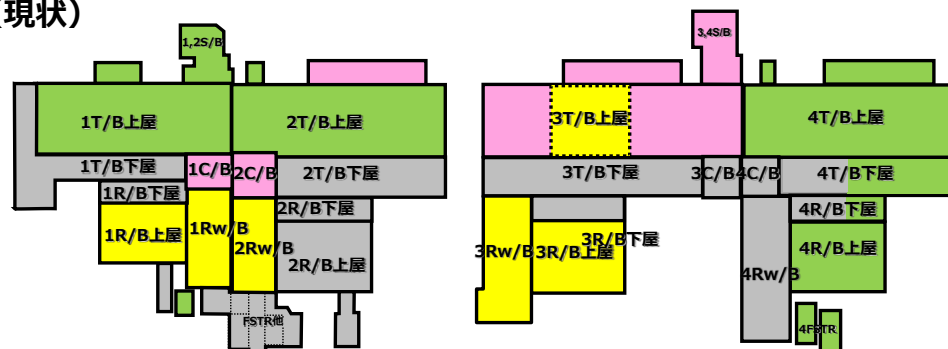
■ これまでの水収支評価では，屋根降雨は全て陸側遮水壁および海側遮水壁で囲まれたエリアの外側に排出されることを仮定しており，上記の震災後の状況が反映されていない。

■ 建屋屋根への降雨がどのように流下しているかについては未解明の点もあるが，陸側遮水壁および海側遮水壁で囲まれたエリアの外側に全量が排出されていないと考えられるため，**建屋屋根面の降雨について，陸側遮水壁内側エリアに浸透することを仮定（浸透率は，地盤相当55%で算定）**して，水収支評価を見直すこととした。

（震災前）



（現状）



	放水路へ排水※		屋根破損部から流入
	構内排水路へ排水※		陸側遮水壁内側で浸透

※現状においては想定

1.2.1 水収支評価方法の見直し（建屋屋根への降雨量を反映）

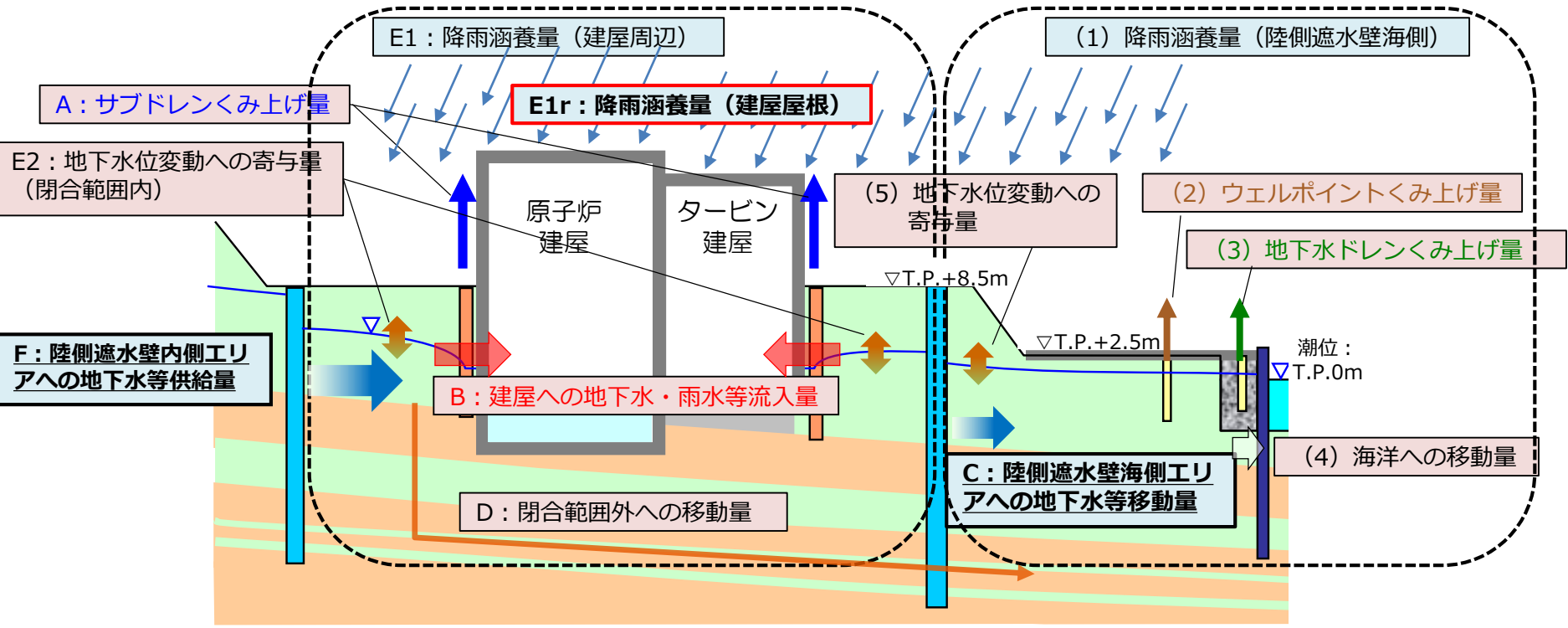
- 震災後の建屋屋根面への降雨の排出状況を反映するため、「降雨涵養量（建屋屋根）：E1r」を供給側に追加して水収支評価方法を見直すこととした。なお、降雨の浸透率は地盤相当の55%で算定。

【陸側遮水壁内側エリア】

[供給量] [支出量]
 $F + E1 + E1r = A + B + C + D + E2$

【陸側遮水壁海側エリア】（変更なし）

[供給量] [支出量]
 $C + (1) = (2) + (3) + (4) + (5)$



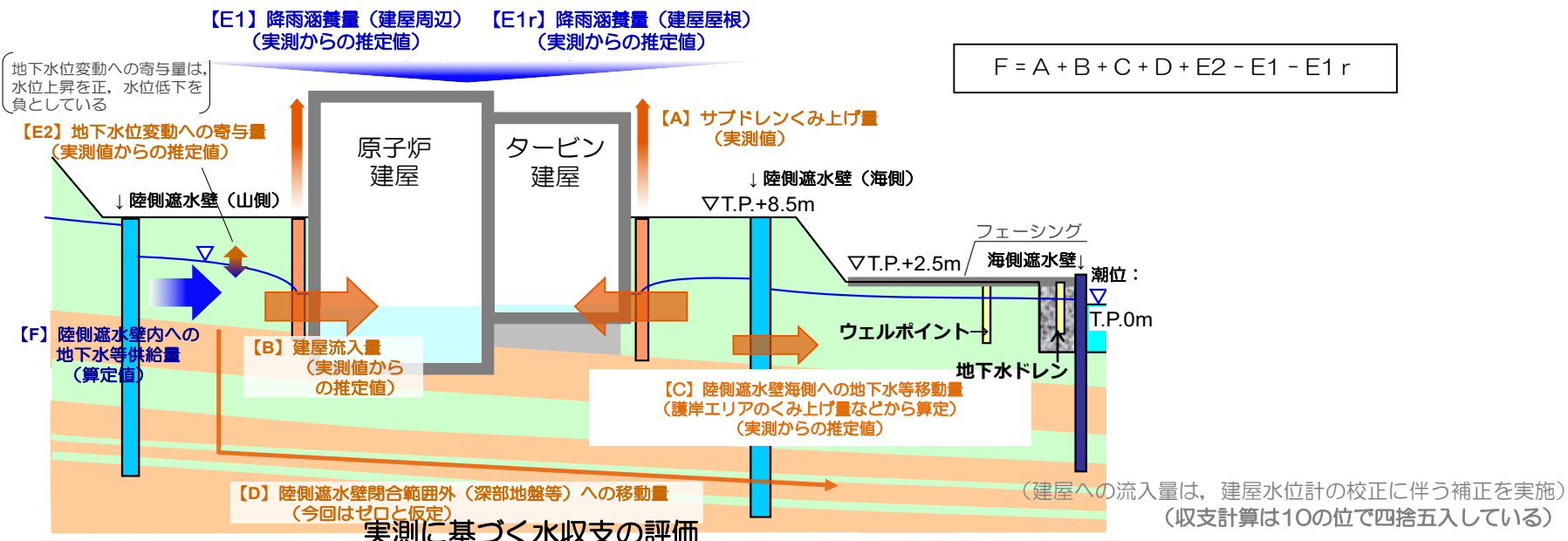
- 今後も、建屋屋根等への降雨の流出状況（集水面積，排出先等）に関する調査，検討結果を水収支評価方法に適宜反映し，評価精度の向上を図る。

1.2.1 凍結開始前と現状の陸側遮水壁内側エリアの水収支の評価（見直し後）

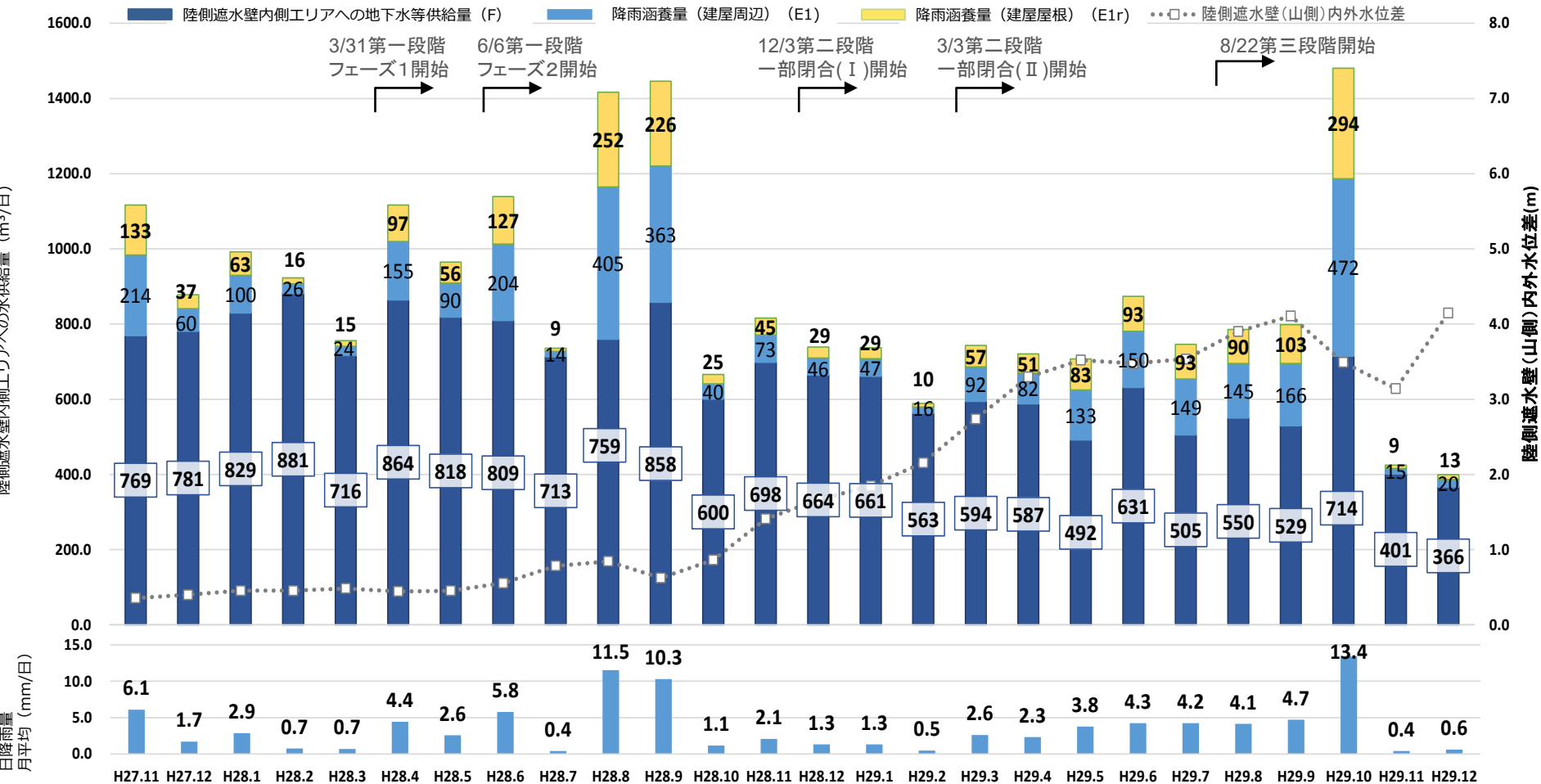
■ 凍結開始前と現状で陸側遮水壁内側エリアの水収支の評価を比較すると、陸側遮水壁内側エリアへの地下水等供給量・建屋流入量・陸側遮水壁海側エリアへの地下水等移動量は減少している。

期間	陸側遮水壁内側エリアへの地下水等供給量 (実測からの推定値) F※1	<参考> サブドレン平均水位	<参考> 日平均降雨量	サブドレンくみ上げ量 (実測値) A	建屋流入量 (実測からの推定値) B※3	陸側遮水壁海側エリアへの地下水等移動量C (実測からの推定値)	閉合範囲外への移動量 D※2	降雨涵養量 (実測からの推定値) E1 + E1 r ※1	地下水位変動への寄与量 (実測からの推定値) E2 ※1
2016.1.1~3.31	810	T.P.+3.5m	1.4mm/日	420	180	310	0	50+30	-20
2017.9.1~9.30	530	T.P.+2.1m	4.7mm/日	510	120	110	0	170+100	50
2017.10.1~10.31	710	T.P.+2.9m	13.4mm/日	570	310	250	0	470+290	350
2017.11.1~11.30	400	T.P.+2.9m	0.4mm/日	520	150	130	0	10+10	-370
2017.12.1~12.31	370	T.P.+2.1m	0.6mm/日	390	70	70	0	20+10	-130

- ※1 上表は、降雨浸透率や有効空隙率を仮定して算出しているが、その仮定条件には不確実性が含まれている。屋根面への降雨の扱いについては引き続きデータを分析し、評価精度向上を図る。陸側遮水壁内側エリアへの水の流入経路についてはP.25を参照。
- ※2 現時点までで、深部透水層（粗粒、細粒砂岩）の水頭が互層部と同程度で、上部の中粒砂岩層よりも高いことから、深部地盤等への移動量Dをゼロとする。
- ※3 従来、収支計算において建屋流入量は推定値を切り上げた数値を使用していたが、以後、評価の精度向上のため、切り上げ前の数値を四捨五入して使用する。



1.2.1 陸側遮水壁内側エリアの水供給量 (F+E1+E1r) の経時変化 (見直し後)



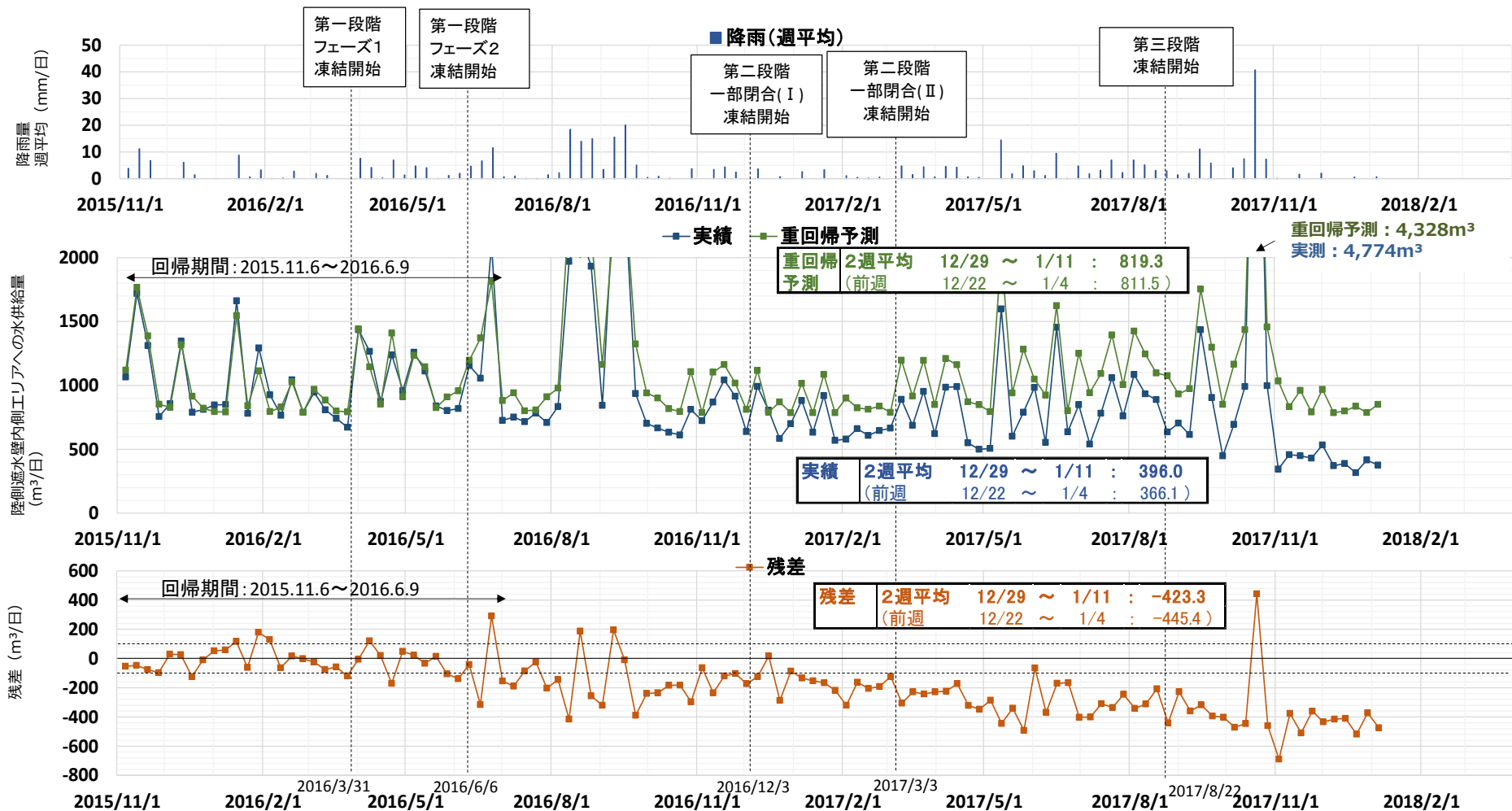
(収支計算は10の位で四捨五入しており、上記の数字とは異なる場合がある)

- ◆ 陸側遮水壁(山側)の内外水位差は第一段階フェーズ2開始以降拡大を続けている。
- ◆ H29.12における陸側遮水壁内側エリアへの地下水等供給量(F)は、陸側遮水壁が凍結閉合していない時期 (H28.1~3) と比較して、1/2程度まで減少している。
- ◆ H29.10は台風の影響により地下水供給量は一時的に増加したものの、その後、台風前よりさらに減少している。



1.2.1 陸側遮水壁内側エリアへの水供給量 (F+E1+E1r) の重回帰分析による評価

- 陸側遮水壁内側エリアへの水供給量※を目的変数、降雨の影響が大きいと思われる35日前までの週間平均降雨量を説明変数として、陸側遮水壁（山側）の凍結開始以前のデータに基づく重回帰分析を行い、実測値と予測値の比較を行った。（※：地下水等供給量F+降雨涵養量(E1+E1r)（水収支計算上の支出量であるA,B,C,D,E2の合算により算定））
- 「陸側遮水壁内側エリアへの水供給量 (F+E1+E1r)」について、陸側遮水壁（山側）の凍結開始前の水供給量をもとに重回帰分析による予測値と実績値を比較すると、陸側遮水壁内側エリアへの水供給量が420m³/日程度減少している。

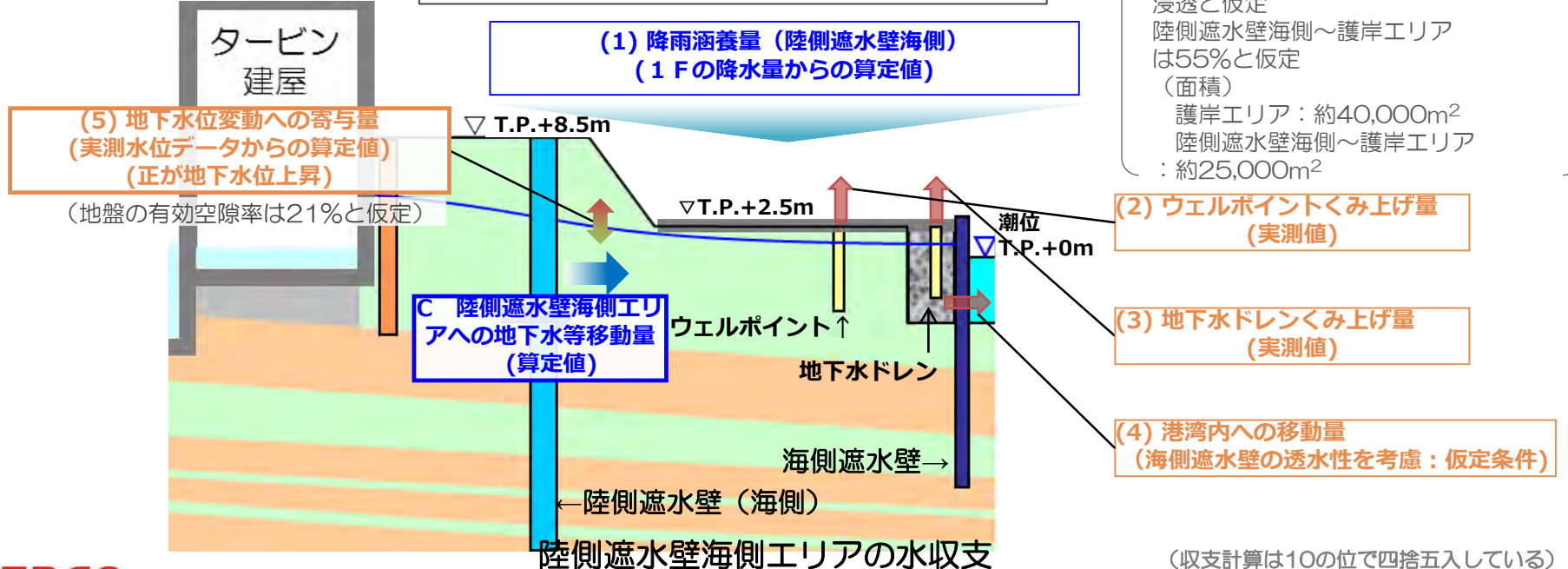


1.2.1 凍結開始前と現状の陸側遮水壁海側エリアの水収支の評価

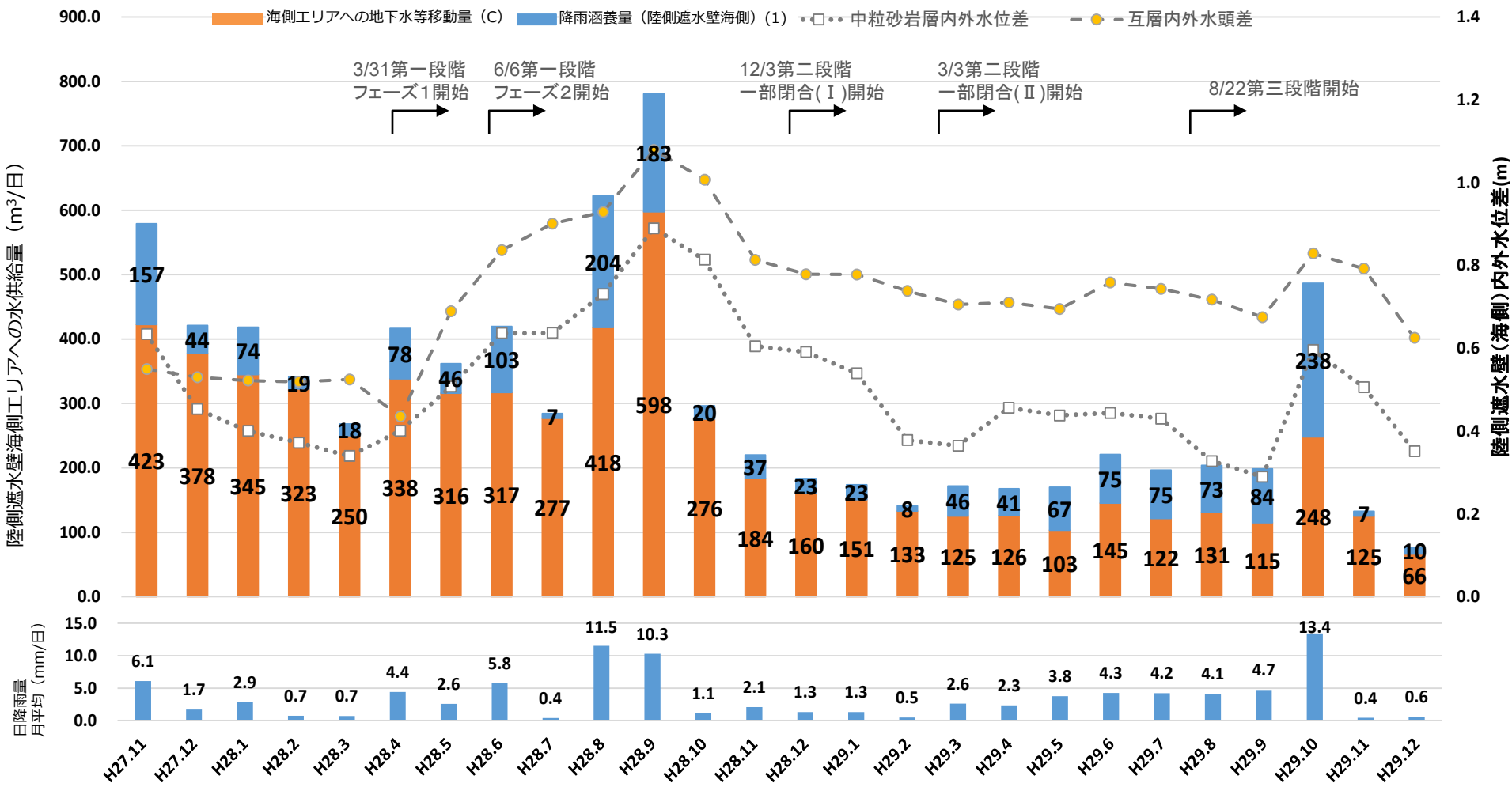
- 凍結開始前と現状の陸側遮水壁海側エリア(T.P.+2.5m盤)の水収支を比較すると、陸側遮水壁海側エリアへの地下水等移動量は大雨により一時的に増加してしたものの、その後減少している。
- 減少している要因は、サブドレン稼働、陸側遮水壁（海側）の閉合などの複合効果によるものと考えられる。

期 間	(参考) 日平均降雨量	陸側遮水壁海側エリアへの 地下水等移動量C	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
2016.1.1～3.31	1.4 mm/日	310	40	80	240	30	0
2017.9.1～9.30	4.7 mm/日	110	80	20	150	30	0
2017.10.1～10.31	13.4 mm/日	250	240	60	310	30	100
2017.11.1～11.30	0.4 mm/日	130	10	30	200	30	-130
2017.12.1～12.31	0.6 mm/日	70	10	20	60	30	-30

[供給量] **[支出量]**
 $C + (1) = (2) + (3) + (4) + (5)$



1.2.1 陸側遮水壁海側エリアへの水供給量 (C+(1)) の経時変化



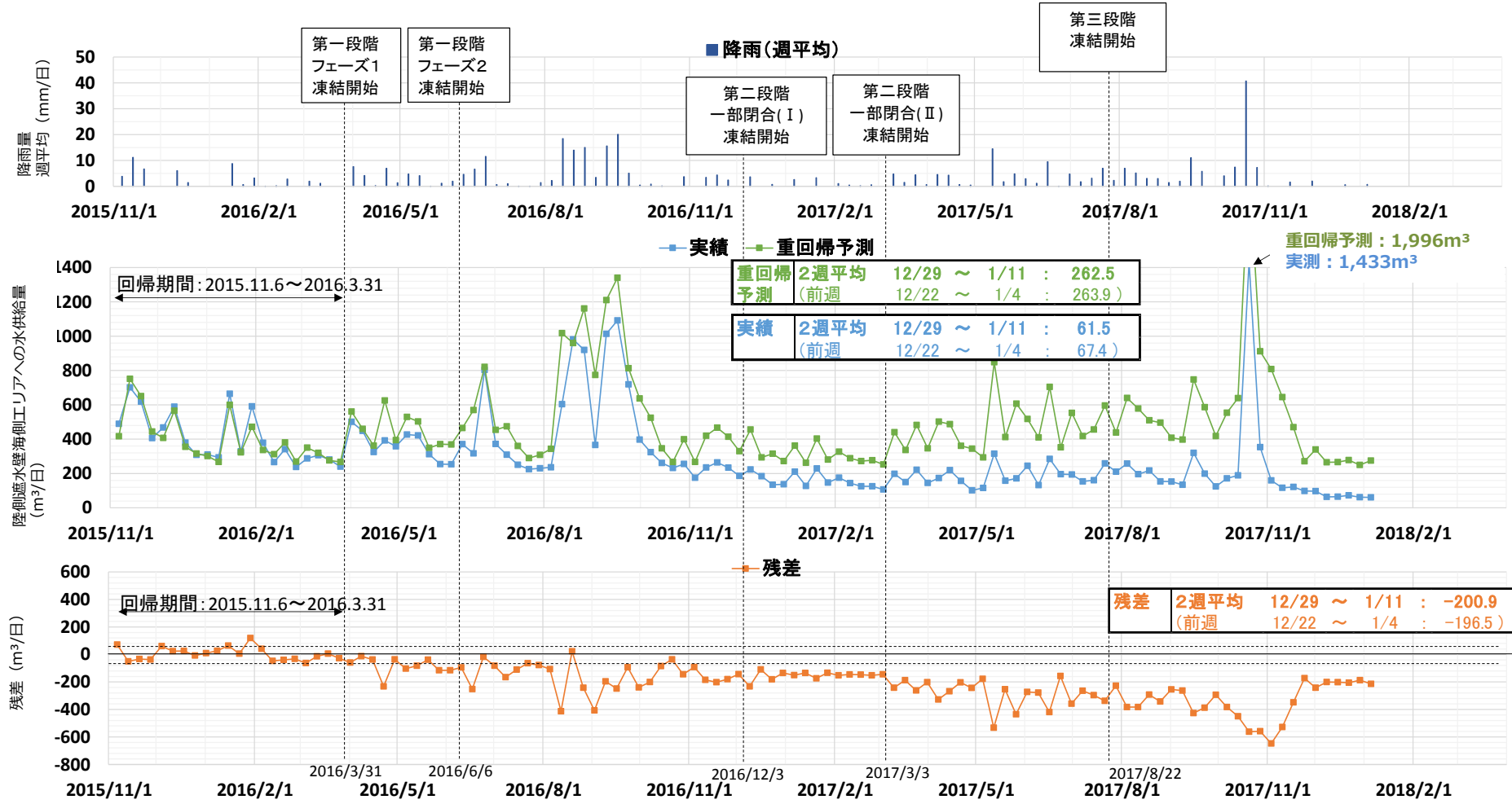
(収支計算は10の位で四捨五入しており、上記の数字とは異なる場合がある)

- ◆ 陸側遮水壁 (海側) の内外水位差は縮小傾向にある。
- ◆ H29.12の陸側遮水壁海側エリアへの地下水等移動量 (C) は、陸側遮水壁の凍結閉合していない時期 (H28.1~3) と比較して、1/4以下まで減少している。
- ◆ H29.10は台風の影響により地下水等移動量は一時的に増加したものの、その後は台風前よりさらに減少している。



1.2.1 陸側遮水壁海側エリアへの水の供給量 (C+(1)) の重回帰分析による評価

- 陸側遮水壁海側エリアへの水供給量※を目的変数、降雨の影響が大きいと思われる15日前までの週間平均降雨量を説明変数として、陸側遮水壁（海側）の凍結開始以前のデータに基づく重回帰分析を行い、実測値と予測値の比較を行った。（※：地下水等移動量C+降雨涵養量(1)（水収支計算上の支出量である(2),(3),(4),(5)の合算により算定））
- 「陸側遮水壁海側エリアへの水供給量 (C+(1))」について、陸側遮水壁（海側）の凍結開始前の水供給量をもとに重回帰分析による予測値と実績値を比較すると、陸側遮水壁海側エリアへの水供給量が200m³/日程度減少している。



1.2.1 陸側遮水壁内側エリアへの水供給

- 陸側遮水壁内側エリアへの水供給は、以下の流入経路によると想定される。

(1) 台風等大雨時に顕在化する陸側遮水壁内側エリアへの水供給

- ① 陸側遮水壁外部に排水されない建屋屋根等への降雨
- ② 陸側遮水壁外部からの降雨の地表面流入

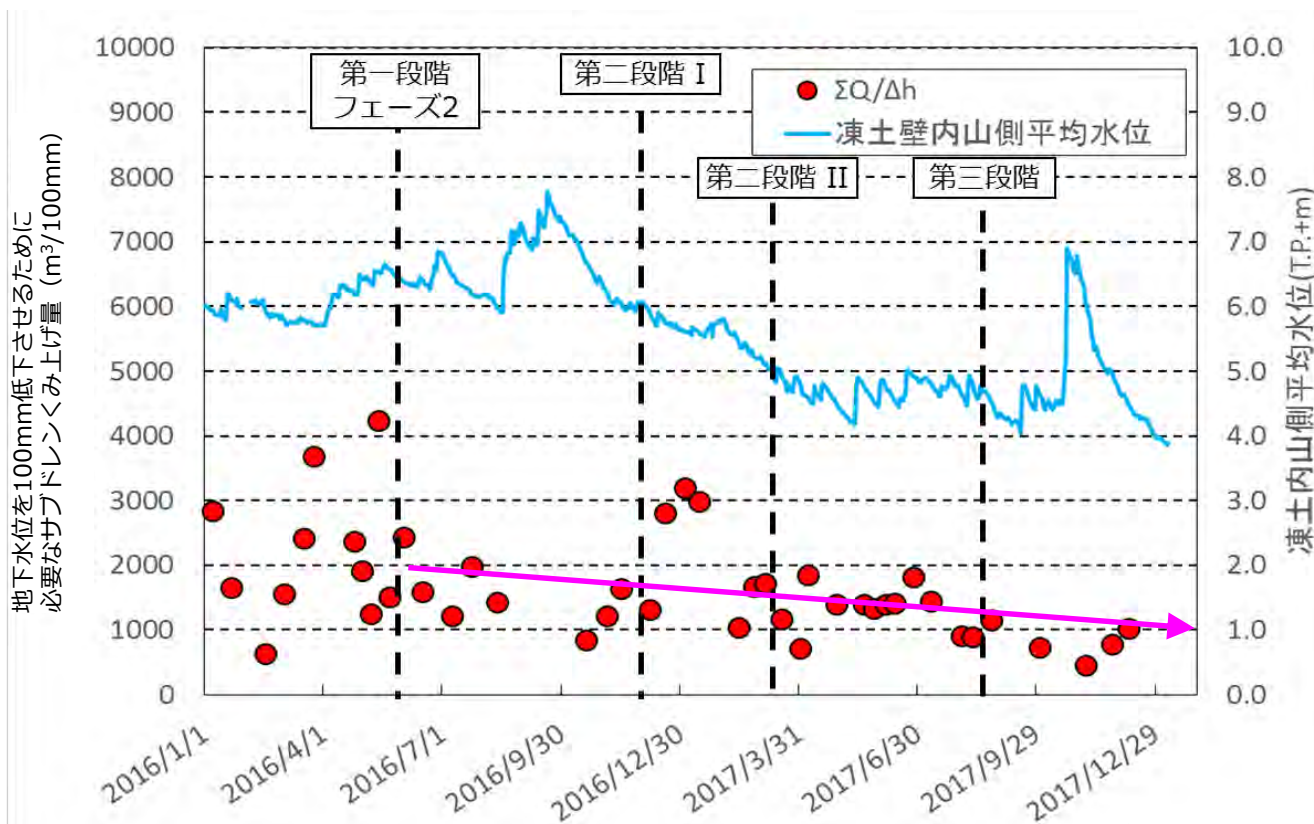
(2) 通常時の陸側遮水壁内側エリアへの水供給

- ③ 陸側遮水壁を横断する構造物の内部およびその周辺地盤（均し砕石等）を通じた流入
- ④ 陸側遮水壁のうち、凍結に至っていない箇所を通じた流入
- ⑤ 陸側遮水壁下の深部地盤を通じた流入

- 今後は、汚染水発生量の低減状況を注視しつつ、上記の陸側遮水壁内側エリアへの水供給について、必要な調査検討を実施する。

1.2.2 陸側遮水壁内側エリアにおけるサブドレンのくみ上げ効率向上に関する試算

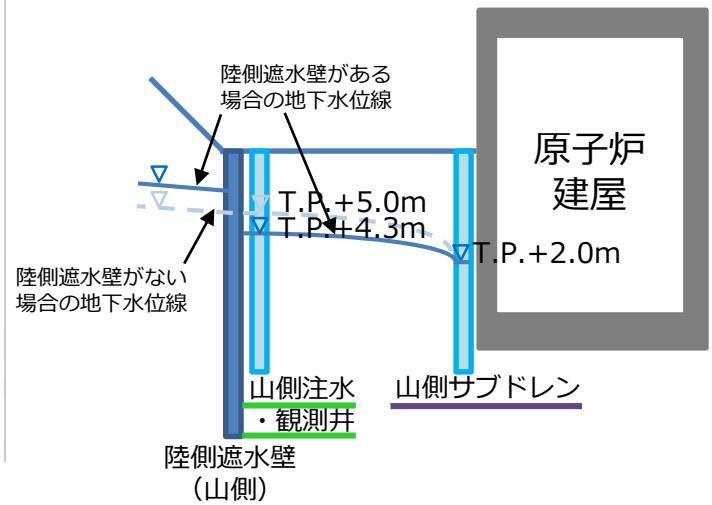
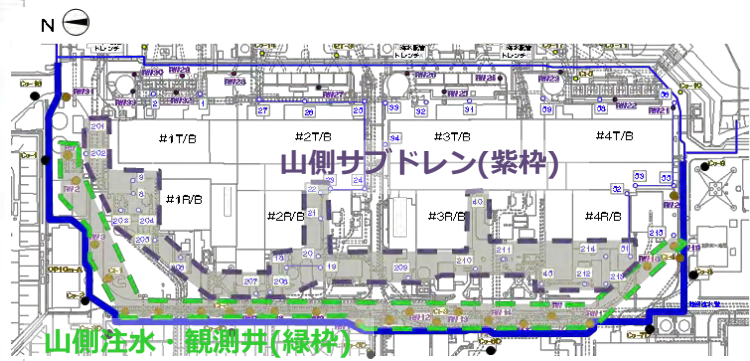
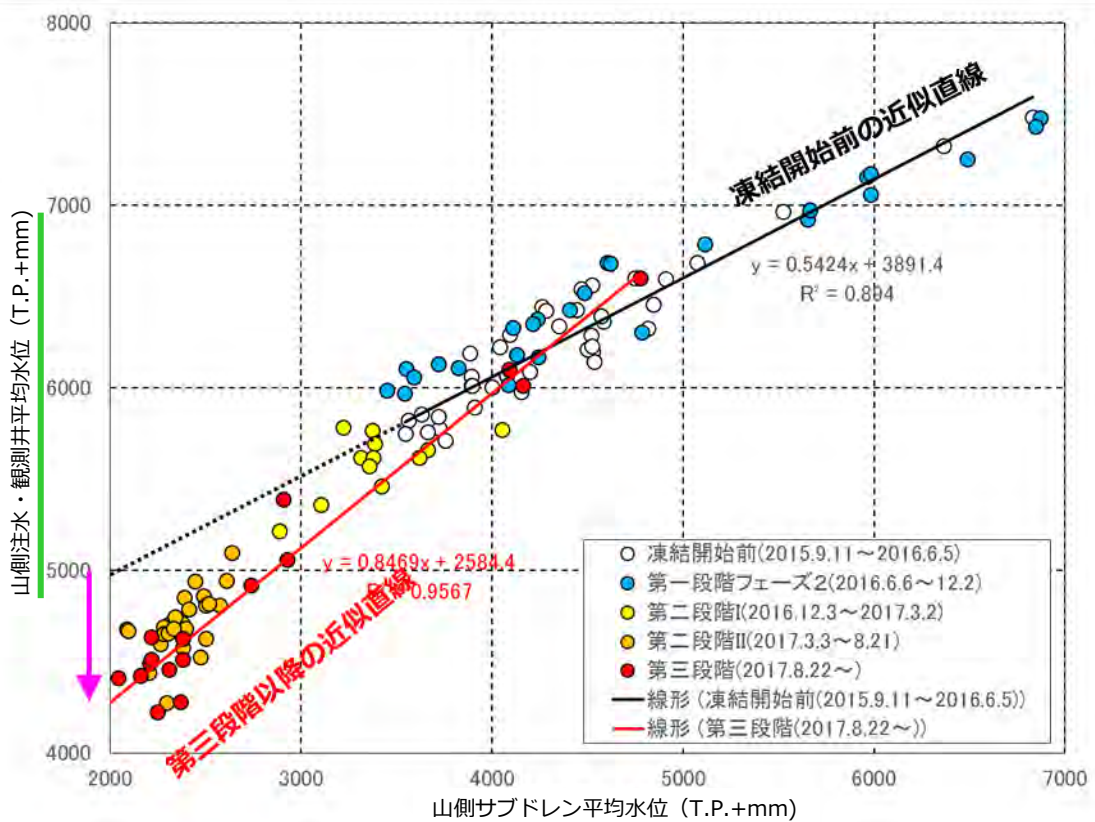
- サブドレンくみ上げ効率の指標として、陸側遮水壁内側エリアの山側平均地下水位を100mm低下させるのに必要な山側サブドレンのくみ上げ量を算出した。
- 連続して5日以上水位低下している期間を評価対象とした。また、サブドレンくみ上げ量は降雨量や稼働状況の影響を受けることから、算出にあたっては次の条件の期間のデータは除外している。
 - ・ 日降雨量4mmを超える期間
 - ・ 山側サブドレンが系統単位で停止した期間
- 第二段階凍結開始以降、陸側遮水壁（山側）の閉合に伴って、上記評価値が陸側遮水壁（山側）の凍結を開始した時点の2000m³/100mm程度から至近では1000m³/100mm程度まで減少しており、陸側遮水壁の遮水効果により山側からの地下水の流入が抑制され、サブドレンくみ上げ効率が向上していると考えられる。



陸側遮水壁内側エリアの山側平均地下水位を100mm低下させるために必要な山側サブドレンくみ上げ量

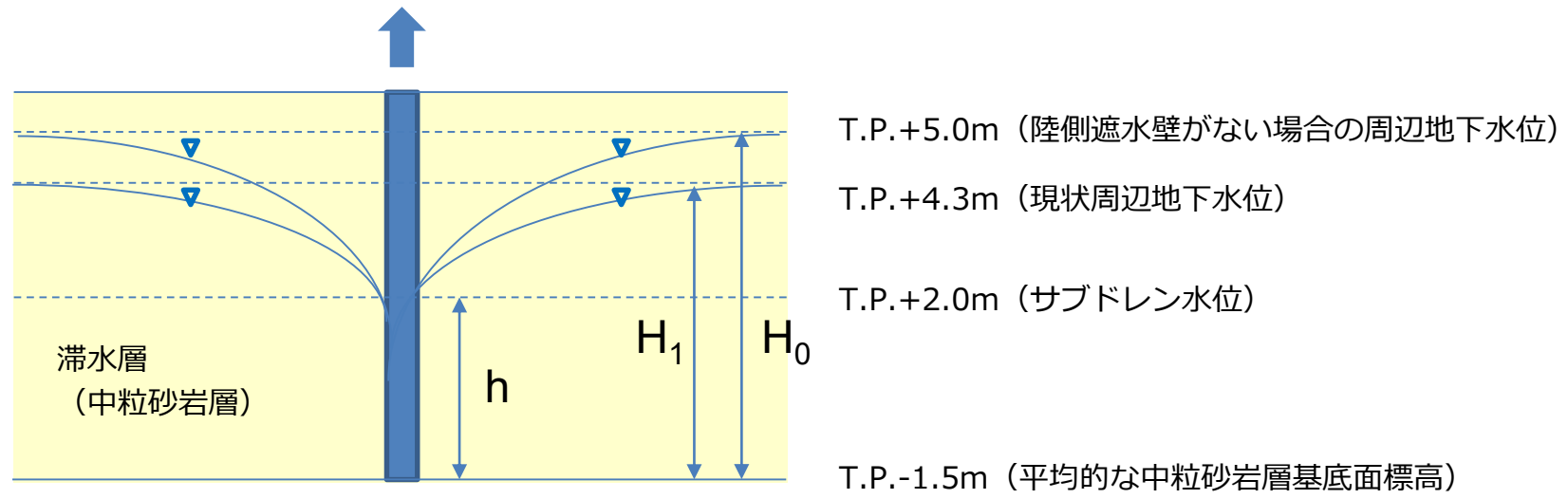
1.2.3 陸側遮水壁によるサブドレンくみ上げ量低減効果に関する試算①

- 山側サブドレン平均水位と山側注水・観測井平均水位の関係について整理した。
- 現状、山側サブドレン平均水位はT.P.+2.0m程度であり、山側注水・観測井平均水位はT.P.+4.3m程度である。
- 凍結開始前（白プロット）の相関関係を用いると、仮に陸側遮水壁がない場合には、サブドレン水位をT.P.+2.0mとしたときの注水・観測井平均水位はT.P.+5.0mと算定される。



1.2.3 陸側遮水壁によるサブドレンくみ上げ量低減効果に関する試算②

- 前頁で算出した地下水位の関係を用いて、理論式（重力井戸の揚水量に関するThiemの式）を適用して山側サブドレンのくみ上げ量低減効果を試算した。
- 陸側遮水壁（山側）がない状態で山側サブドレン平均水位を現状のT.P.+2.0mにする場合と比較して、現状の山側サブドレンくみ上げ量は約30%低減していると試算される。



$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{H_1^2 - h^2}{H_0^2 - h^2} = 0.71 \quad \left(\begin{array}{l} H_1 = 5.8\text{m} \\ H_0 = 6.5\text{m} \\ h = 3.5\text{m} \end{array} \right)$$

$\left[\begin{array}{l} Q_1: \text{現状での山側サブドレンくみ上げ量} \\ Q_0: \text{陸側遮水壁（山側）がない状態での山側サブドレンくみ上げ量} \end{array} \right]$

1.3 現時点での評価のまとめ

1.3 陸側遮水壁の効果に関する現時点での評価 まとめ（1/2）

実測データに基づく陸側遮水壁の効果に関する現時点での評価は次のとおり。

- 陸側遮水壁は2017年8月に最終閉合箇所凍結が開始された。現時点では、地下水位より上の表層浅部や、深部の互層部・粗粒細粒砂岩層の一部を除き、ほぼ全ての範囲で測温管位置での地中温度が0℃を下回っており、凍土壁はおおむね造成できている。
- 陸側遮水壁（山側）では、平均的におよそ4mの内外水位差が形成され、山側からの地下水が迂回しており、陸側遮水壁内側エリアへの地下水供給が抑制されている。
- 遮水壁閉合前と現時点を比較すると、建屋流入量等は次のように低減している。

（※ 遮水壁閉合前評価値は2015.12～2016.3の平均値とし、現時点評価値は2017.12～2018.1現在の平均値を用いた）

- ① サブドレンくみ上げ量は、遮水壁閉合前の約430m³/日から約360m³/日にまで低減された。
（既往最低値：304m³/日（2018年1月8日））
- ② 護岸エリアくみ上げ量は、遮水壁閉合前の約340m³/日から約70m³/日にまで低減された。
（既往最低値：41m³/日（2018年1月5日））
- ③ 建屋流入量は、遮水壁閉合前の約180m³/日から約70m³/日にまで低減された。
- ④ 「雨水や地下水に起因する汚染水発生量」は、遮水壁閉合前の約440m³/日から約90m³/日にまで低減された。

なお、①～④の数値の低減傾向は継続しており至近に既往最小値を更新している。現時点の数値は暫定的な中間評価である。

1.3 陸側遮水壁の効果に関する現時点での評価 まとめ (2/2)

分析に基づく陸側遮水壁の効果に関する現時点での評価は次のとおり。

■ 水収支評価に基づく地下水等供給量

(※ 遮水壁閉合前評価値は2016.1~2016.3の平均値とし、現時点評価値は2017.12の平均値を用いた)

- 陸側遮水壁内側エリアへの地下水等供給量は、遮水壁閉合前の約810m³/日から約370m³/日にまで低減された。
- 陸側遮水壁海側エリアへの地下水等移動量は、遮水壁閉合前の約310m³/日から約70m³/日にまで低減された。

なお、これらの数値の低減傾向は継続しており至近に既往最小値を更新している。現時点の数値は暫定的な中間評価である。

■ 山側サブドレンによる水位低下効率

山側平均地下水位と山側サブドレンくみ上げ量の実測データを用いてサブドレンくみ上げ効率を試算したところ、現時点において、一定の水位を低下させるのに必要な山側サブドレンくみ上げ量は、陸側遮水壁閉合前と比較して約1/2にまで低減されている。

■ 山側サブドレンくみ上げ量

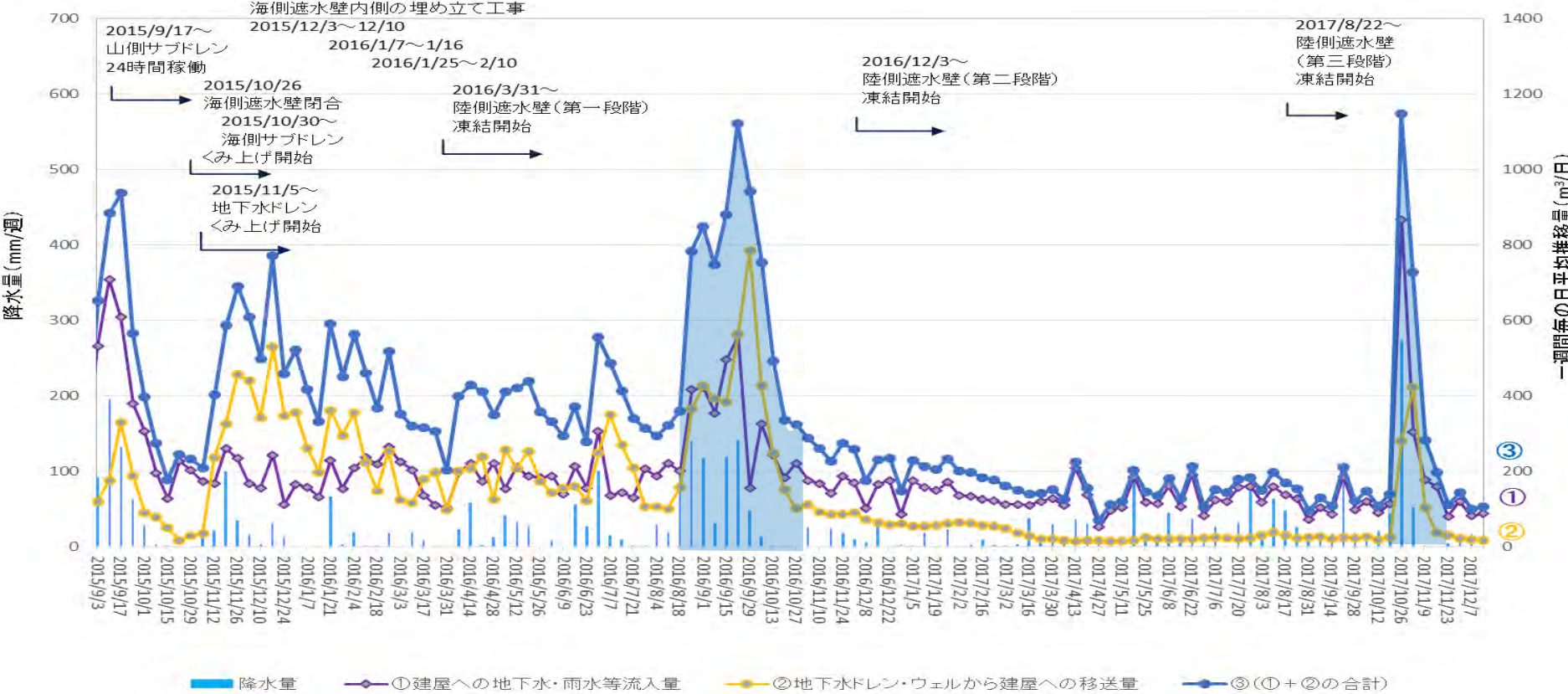
陸側遮水壁内側エリアの地下水位実測データの相関関係から陸側遮水壁閉合前の水位を算定し、理論式を適用してくみ上げ量低減率を試算したところ、現状の山側サブドレン水位において、山側サブドレンくみ上げ量は陸側遮水壁がない場合と比較して30%程度低減されている。

引き続き、降雨による水供給の影響が小さい渇水期のデータを取得・分析し、陸側遮水壁の遮水効果等の評価の精度向上を図る。

2. 台風等大雨時の状況

2.1 「雨水や地下水に起因する汚染水発生量」の比較

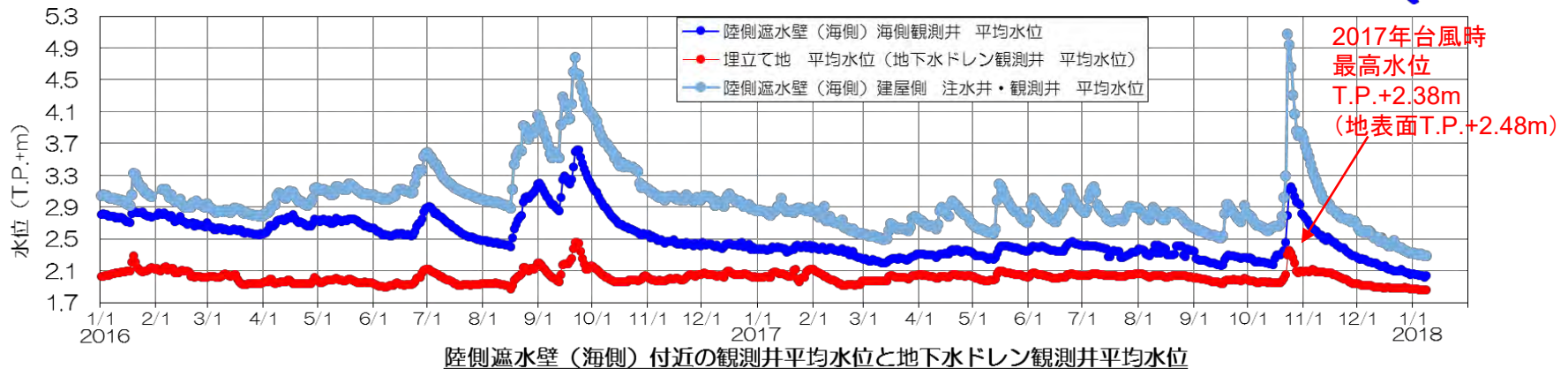
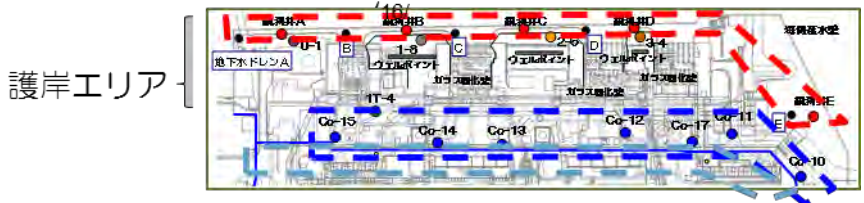
■ 2016年と2017年の台風時の、「雨水や地下水に起因する汚染水発生量」を比較すると、2016年の約49,300m³に対して、2017年は約17,300m³であり、2016年比で0.35と低減している。
 (降雨影響で「雨水や地下水に起因する汚染水発生量」が増加してから降雨前の状況に戻るまでの期間累積値で比較)



	累積降雨量 (mm)	①建屋への地下水・雨水 等流入量 (m ³)	②地下水ドレン・ウェルから 建屋への移送量 (m ³)	③雨水や地下水に起因する 汚染水発生量 (m ³)
2016.8.19～10.27 (70日間)	548	23,700	25,600	49,300
2017.10.20～11.23 (35日間)	357	11,200	6,100	17,300
昨年比	0.65	0.47	0.24	0.35

2.2 陸側遮水壁（海側）内外の地下水位

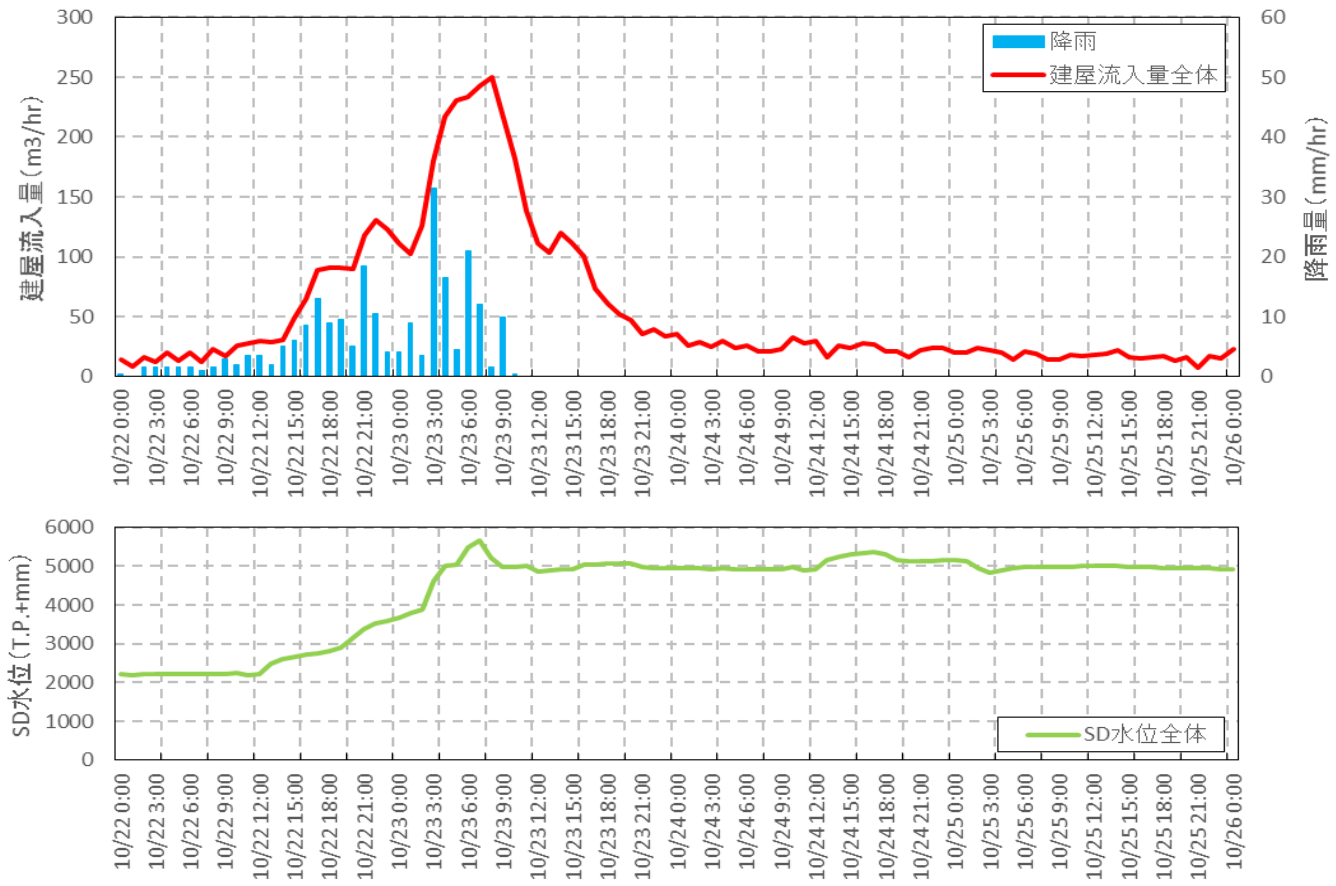
- サブドレン，陸側遮水壁，フェーシング等による重層的な汚染水対策の成果として，効率的なくみ上げ運用によるT.P.+2.5m盤水位管理が可能になり，今年の台風時には，T.P.+2.5m盤地下水位が地表面に達することを回避できた。
- また，2016年と2017年の台風時の海側地下水位挙動を比較すると，陸側遮水壁（海側）の建屋側地下水位（水色）上昇量に対する海側地下水位（青色）上昇量の比が小さくなっている。凍結閉合の進展に伴い，陸側遮水壁（海側）は海側への地下水の流下を一定程度せき止めていると考えられる。



2.3 建屋屋根への降雨が建屋流入量に及ぼす影響（降雨量および地下水位）

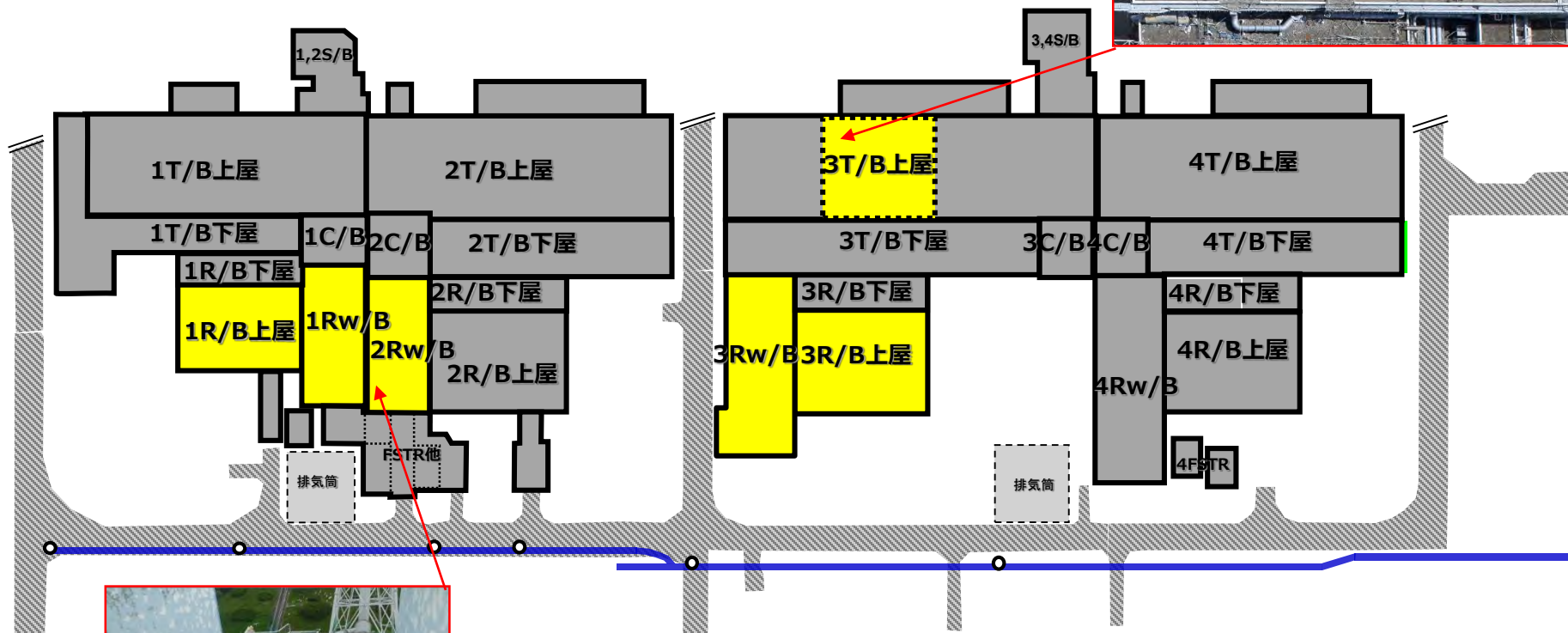
2017年10月の台風時には、建屋流入量が通常時よりも大幅に増加した（1週毎の日平均流入量870m³/日）ことから、以下、その原因について分析する。

- 降雨の増加に伴い建屋流入量が急増したが、降雨のピークと建屋流入のピークには時間差があり、降雨が止んだ後も半日程度は建屋流入が継続した。
 - 降雨後もサブドレン平均水位が高止まりしているにもかかわらず、建屋流入量は減少している。
- ⇒ 一時的な建屋流入量の急増は、建屋周辺からの地下水の流入ではない可能性が高い。



2.3 建屋屋根の状況

3T/B(2011年)



1,2Rw/B(2011年)

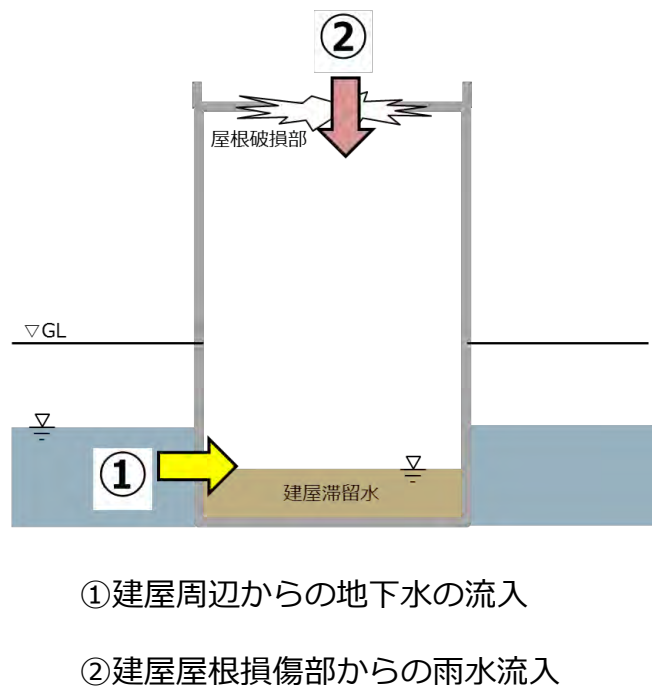
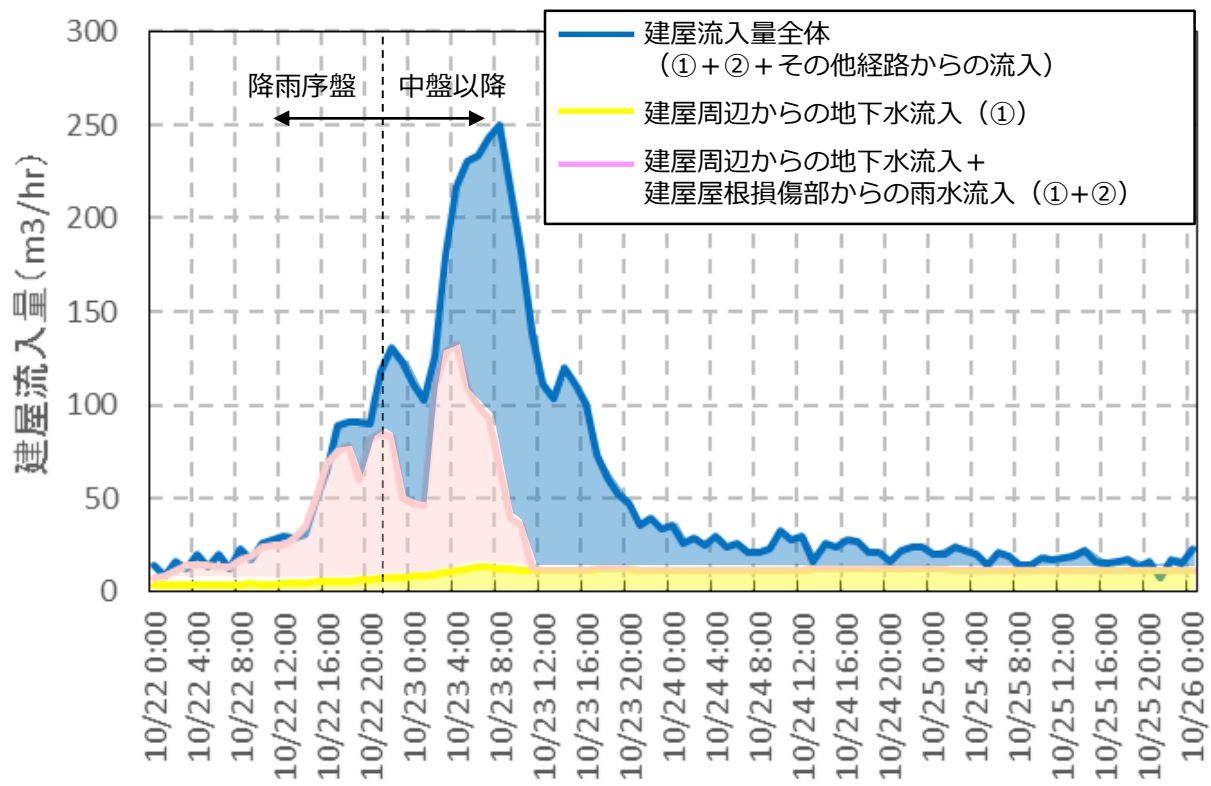
- 1,2号機 屋根損傷面積： 約3,300m² (推定)
- 3,4号機 屋根損傷面積： 約3,600m² (推定)

【凡例】

屋根損傷部（雨水流入箇所）

2.3 建屋屋根への降雨が建屋流入量に及ぼす影響（流入量の試算）

- 地下水流入量（右図中①）を通常時のサブドレン平均水位と建屋流入量との相関関係，また，雨水流入量を屋根損傷面積から試算した。
 - 地下水流入量＋雨水流入量は，降雨の序盤（10/22/18:00頃）までは実際の流入量と概ね一致しているが，その後徐々に乖離が大きくなっている。
- ⇒ 大雨時の一時的な建屋流入量の増加は，周辺からの地下水の流入（右図中①）および建屋屋根損傷部からの流入（右図中②）だけでは説明できずその他の経路を通じた流入の可能性はある。



2.4 台風等大雨時の状況 まとめ

- 2017年台風時は2016年台風時と比較して、「雨水や地下水に起因する汚染水発生量」を低減することができたものの、建屋流入量は一時的に増加した（1週毎の日平均流入量870m³/日）。また、護岸エリアくみ上げ量が増加したことから、建屋への移送量も一時的に増加した。
- 2017年台風時においては、T.P.+2.5m盤地下水位が地表面に達することを回避できた。
- 台風等大雨時の陸側遮水壁内側エリアへの水供給については、建屋屋根への降雨の流下経路等について、まだ十分に解明できていない点がある。今後、強雨時の雨水流下経路の調査とあわせ、屋根対策、フェーシング、排水設備の整備等について検討を実施していく。

3. まとめ

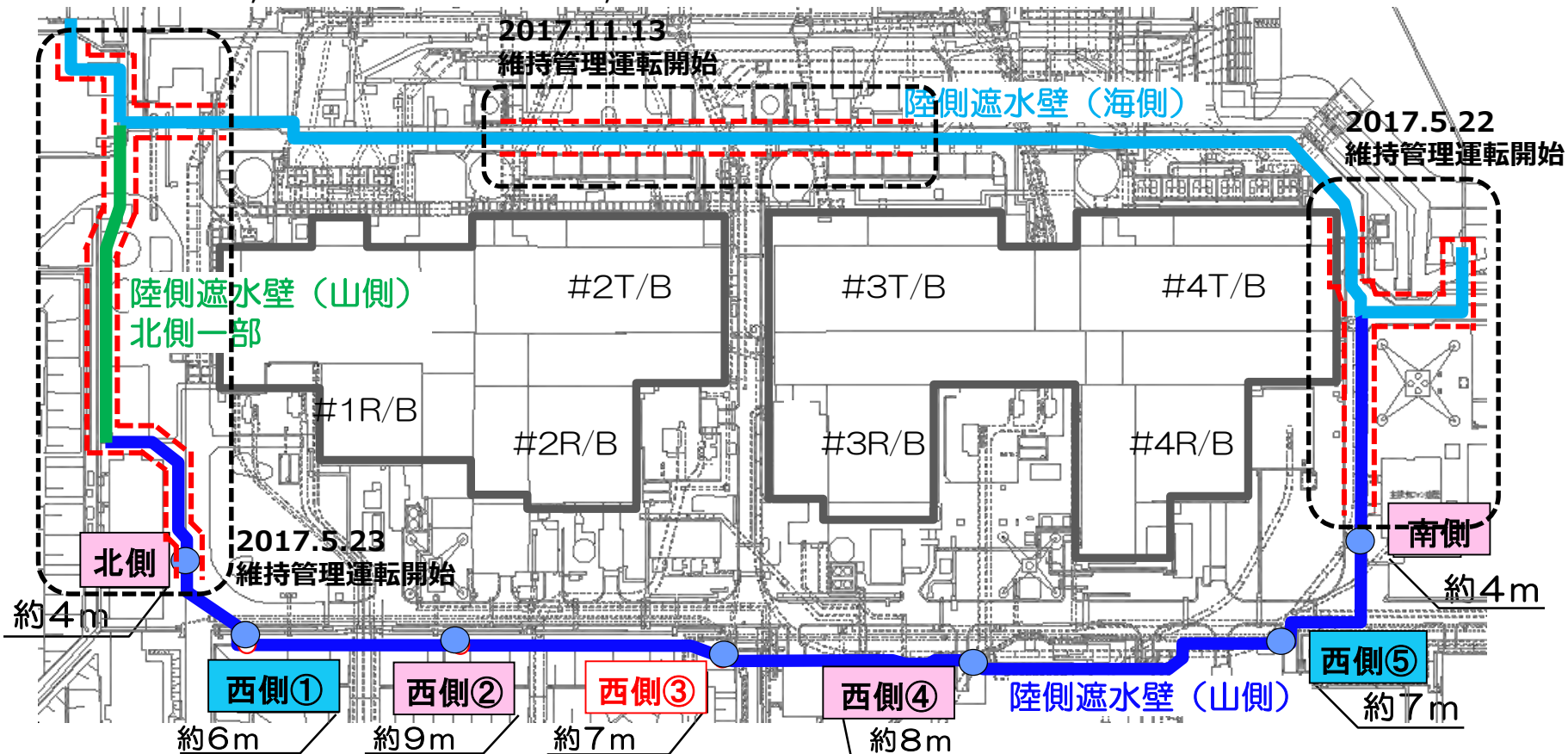
3. まとめ

- 2017年8月に最終閉合箇所が凍結開始され、およそ5ヶ月が経過した現時点での評価をとりまとめた。
- 陸側遮水壁（山側）では内外水位差が形成されており、陸側遮水壁内側エリアへの地下水供給が抑制されている。
- 通常時においては、建屋流入量、護岸エリアくみ上げ量、「雨水や地下水に起因する汚染水発生量」等が低減してきており、陸側遮水壁による効果が発揮されている。
- 2017年10月の台風時には、建屋流入量は一時的に増加したものの、「雨水や地下水に起因する汚染水の発生量」は一昨年の台風時よりも少なかった。強雨時の対策として、今後、屋根対策・フェーシング・排水設備の整備等について検討を実施していく。
- 今後は、汚染水発生量等の低減状況を注視しつつ、一層のデータ拡充に努めるとともに、的確な維持管理を実施していく。

【参考】

【参考】現状の凍結範囲

- 陸側遮水壁閉合の第三段階として2017年8月22日より「西側③」の凍結閉合を開始した。
- 一部の範囲では、維持管理運転を開始し、温度状況を監視しながら運用を実施中。



凡例	範囲	開始日
	第一段階フェーズ1凍結範囲	2016.3.31
	第一段階フェーズ2凍結範囲	2016.6.6
	第二段階一部閉合 (I) 凍結範囲	2016.12.3
	第二段階一部閉合 (II) 凍結範囲	2017.3.3
	第三段階凍結範囲	2017.8.22

※ 図中の数値は各未凍結箇所
の区間延長

維持管理運転

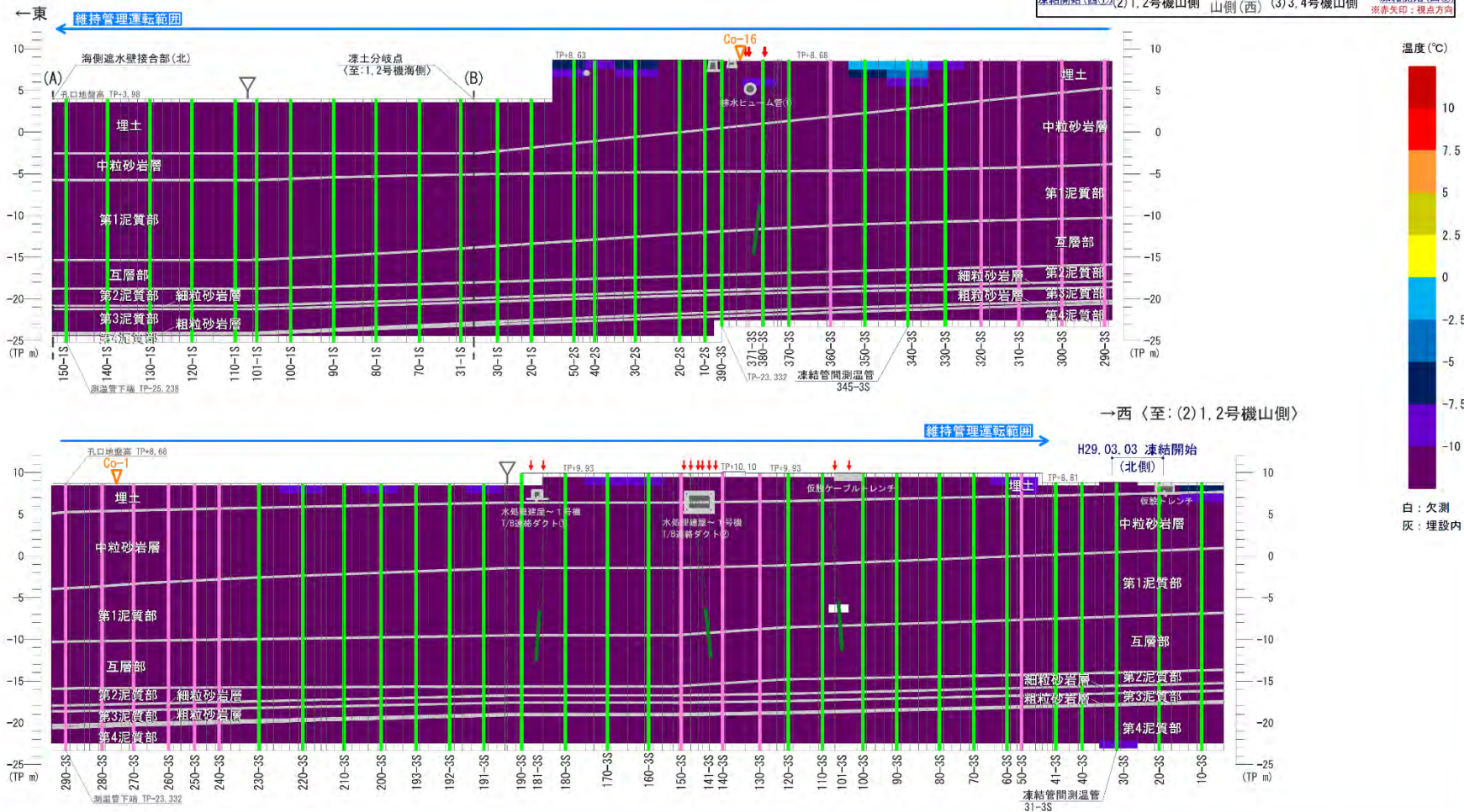
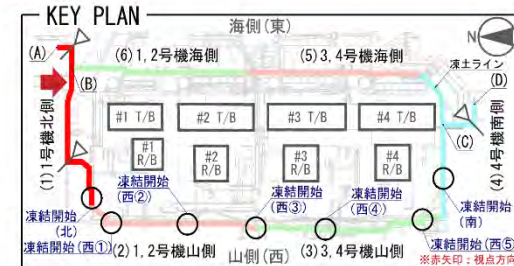
【参考】地中温度分布図（1号機北側）

■ 地中温度分布図

(1) 1号機北側（北側から望む）

(温度は1/15 7:00時点のデータ)

- 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）
 - 複列部凍結管
 - ▽ RW（リチャージ Jewel）
 - ▽ Ci（中粒砂岩層・内側）
 - ▽ Co（中粒砂岩層・外側）
 - ▽ 凍土折れ点



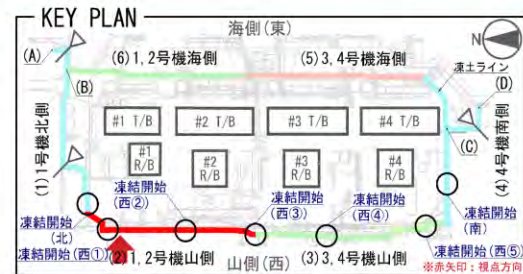
【参考】地中温度分布図（1・2号機西側）

■ 地中温度分布図

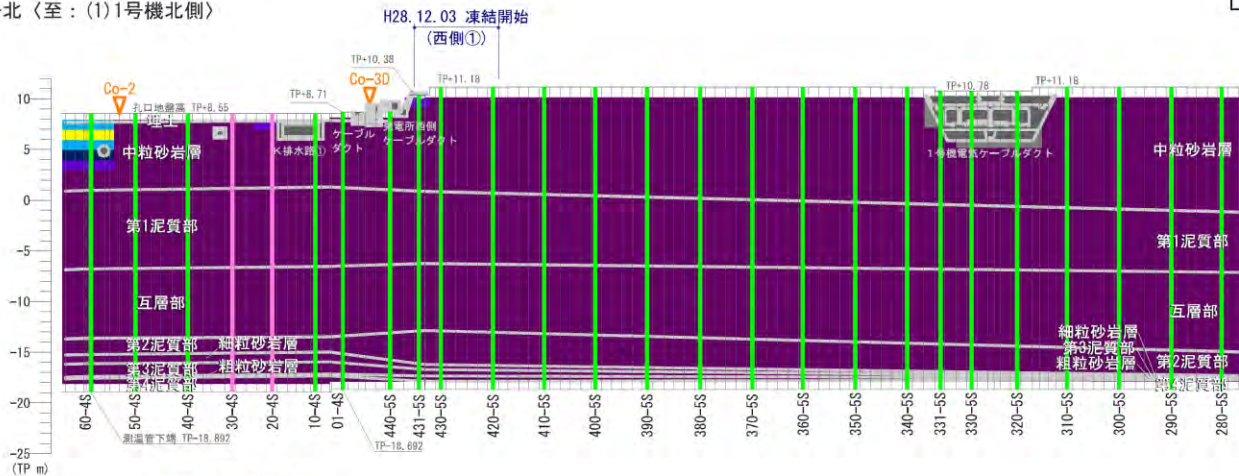
(2) 1, 2号機山側（西側から望む）

（温度は1/15 7:00時点のデータ）

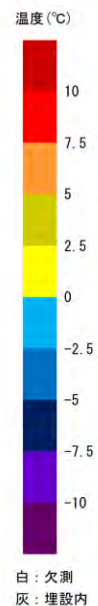
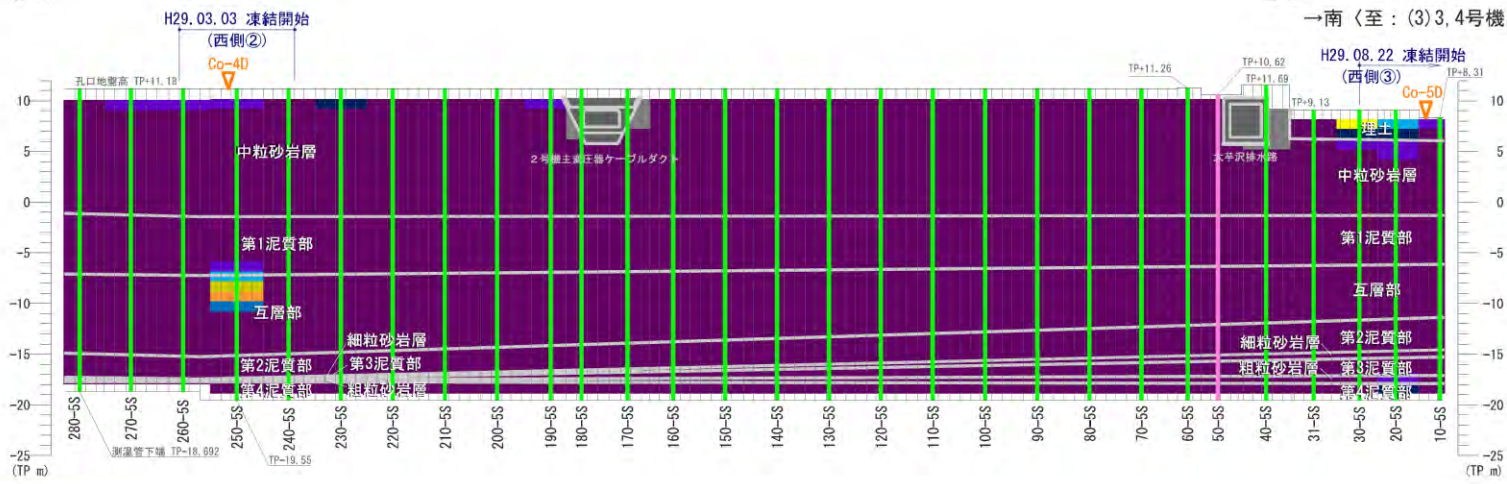
- 凡例
- 測温管（凍土ライン外側）
 - 測温管（凍土ライン内側）
 - 測温管（複列部斜め）
 - 複列部凍結管
 - ▽ : RW（リチャージ Jewel）
 - ▽ : Ci（中粒砂岩層・内側）
 - ▽ : Co（中粒砂岩層・外側）
 - ▽ : 凍土折れ点



←北（至：(1)1号機北側）



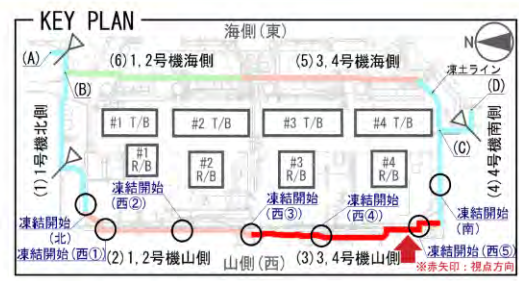
→南（至：(3)3, 4号機山側）



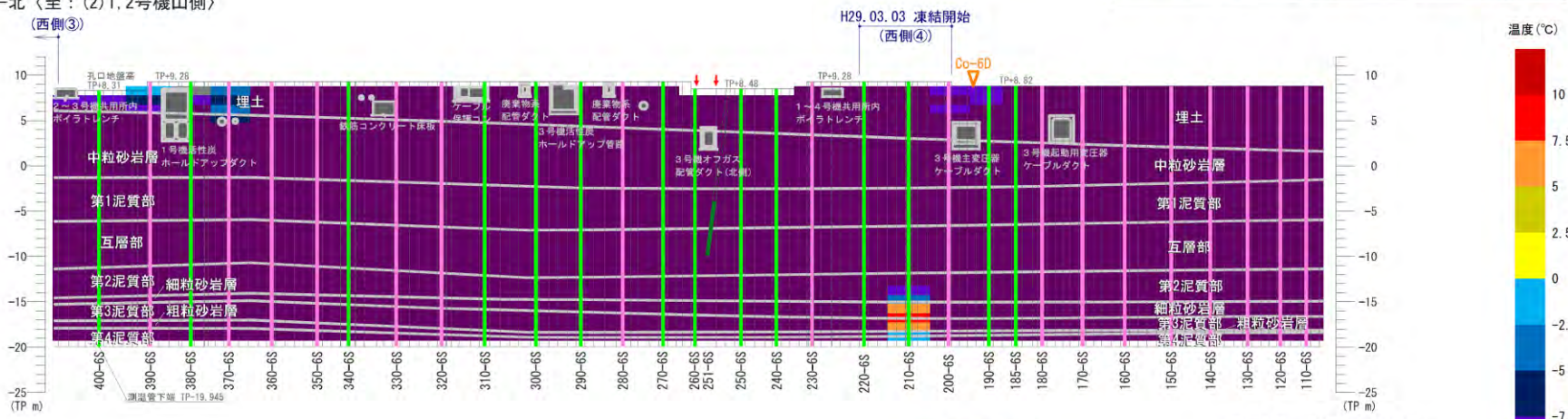
■ 地中温度分布図

(3) 3, 4号機山側（西側から望む）
 (温度は1/15 7:00時点のデータ)

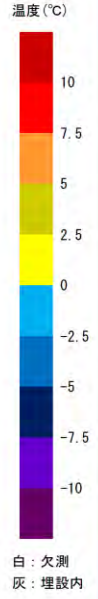
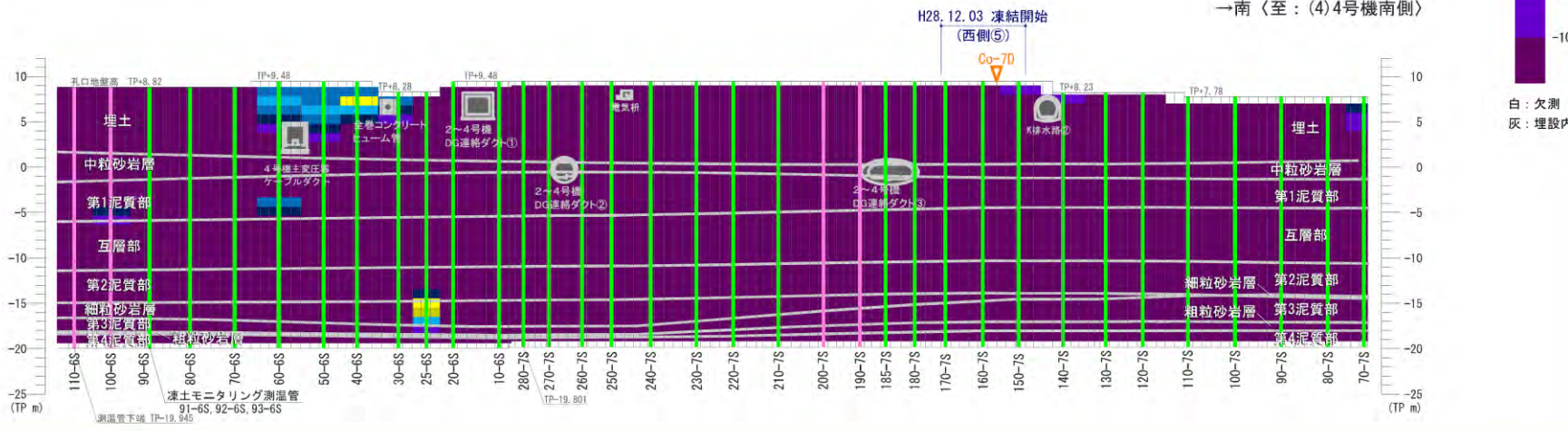
- 凡例
- : 測温管（凍土ライン外側）
 - : 測温管（凍土ライン内側）
 - : 測温管（複列部斜め）
 - : 複列部凍結管
 - ▽ : RW（リチャージウェル）
 - ▽ : Ci（中粒砂岩層・内側）
 - ▽ : Co（中粒砂岩層・外側）
 - ▽ : 凍土折れ点



←北（至：(2)1, 2号機山側）
 (西側③)



→南（至：(4)4号機南側）

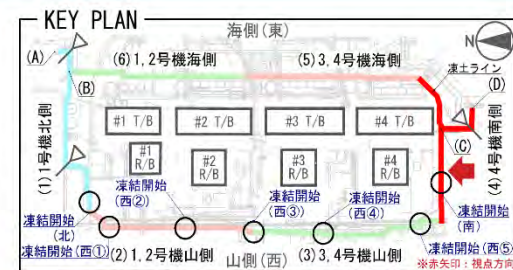


【参考】地中温度分布図（4号機南側）

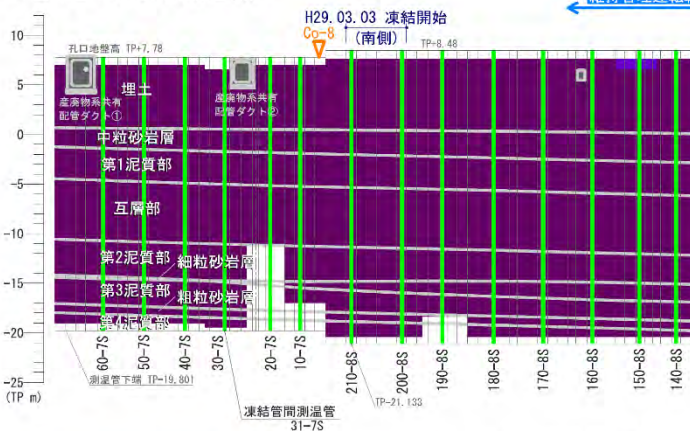
■ 地中温度分布図

(4) 4号機南側（南側から望む）

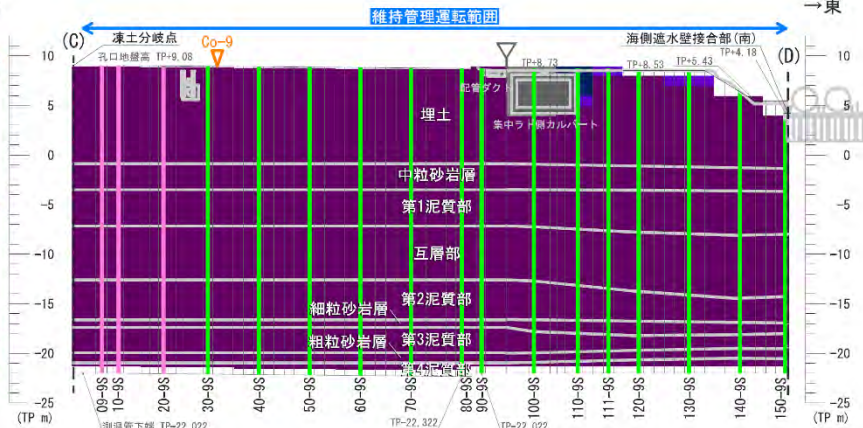
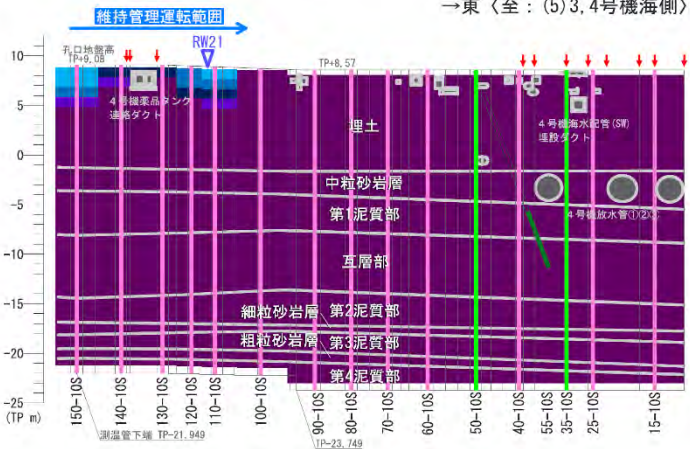
（温度は1/15 7:00時点のデータ）



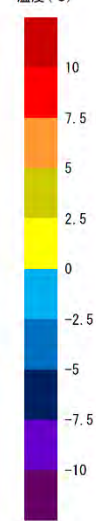
←西 至：(3) 3, 4号機山側



→東 至：(5) 3, 4号機海側



温度 (°C)



白：欠測

灰：埋設内

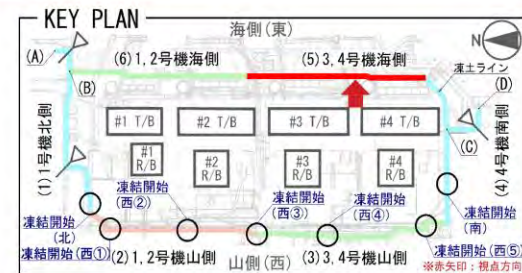
【参考】地中温度分布図（3・4号機東側）

■ 地中温度分布図

(5) 3, 4号機海側（西側：内側から望む）

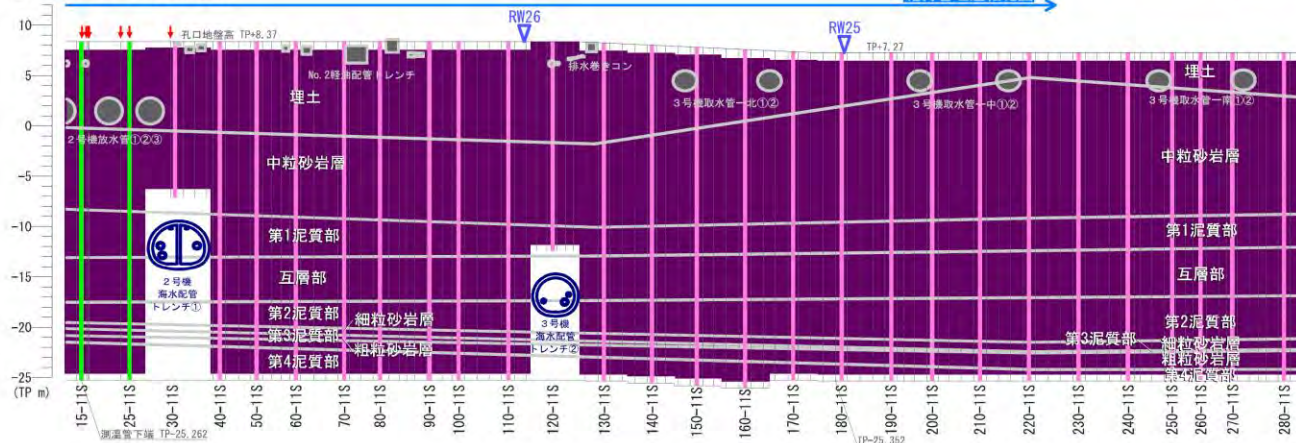
（温度は1/15 7:00時点のデータ）

- 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）
 - : 複列部凍結管
 - ▽ : RW（リチャージウェル）
 - ▽ : Ci（中粒砂岩層・内側）
 - ▽ : Co（中粒砂岩層・外側）
 - ▽ : 凍土折れ点

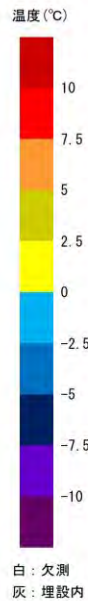
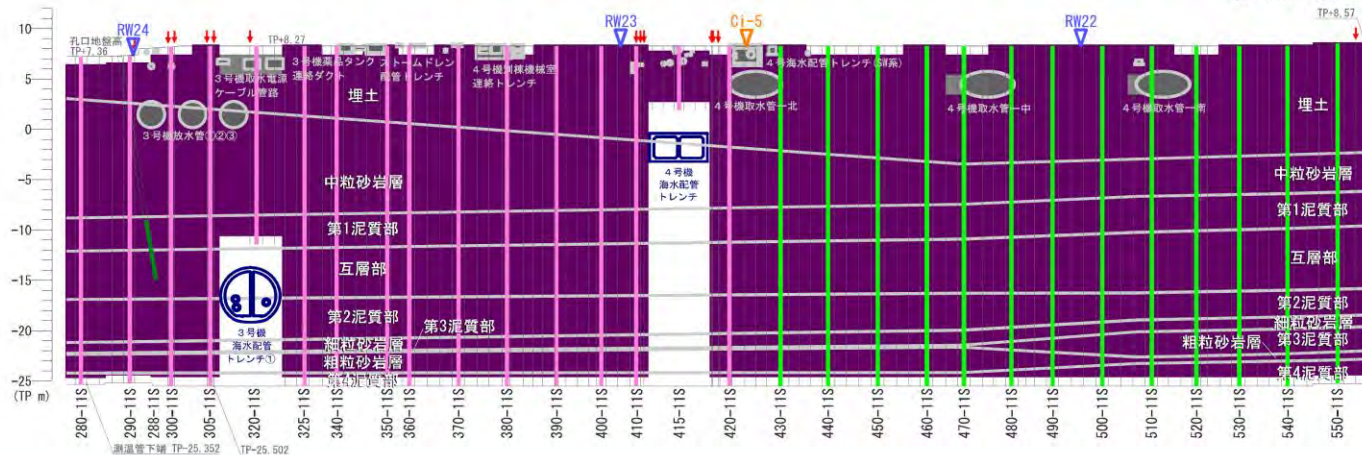


←北（至：(6) 1, 2号機海側）

維持管理運転範囲



→南（至：(4) 4号機南側）



【参考】地中温度分布図（1・2号機東側）

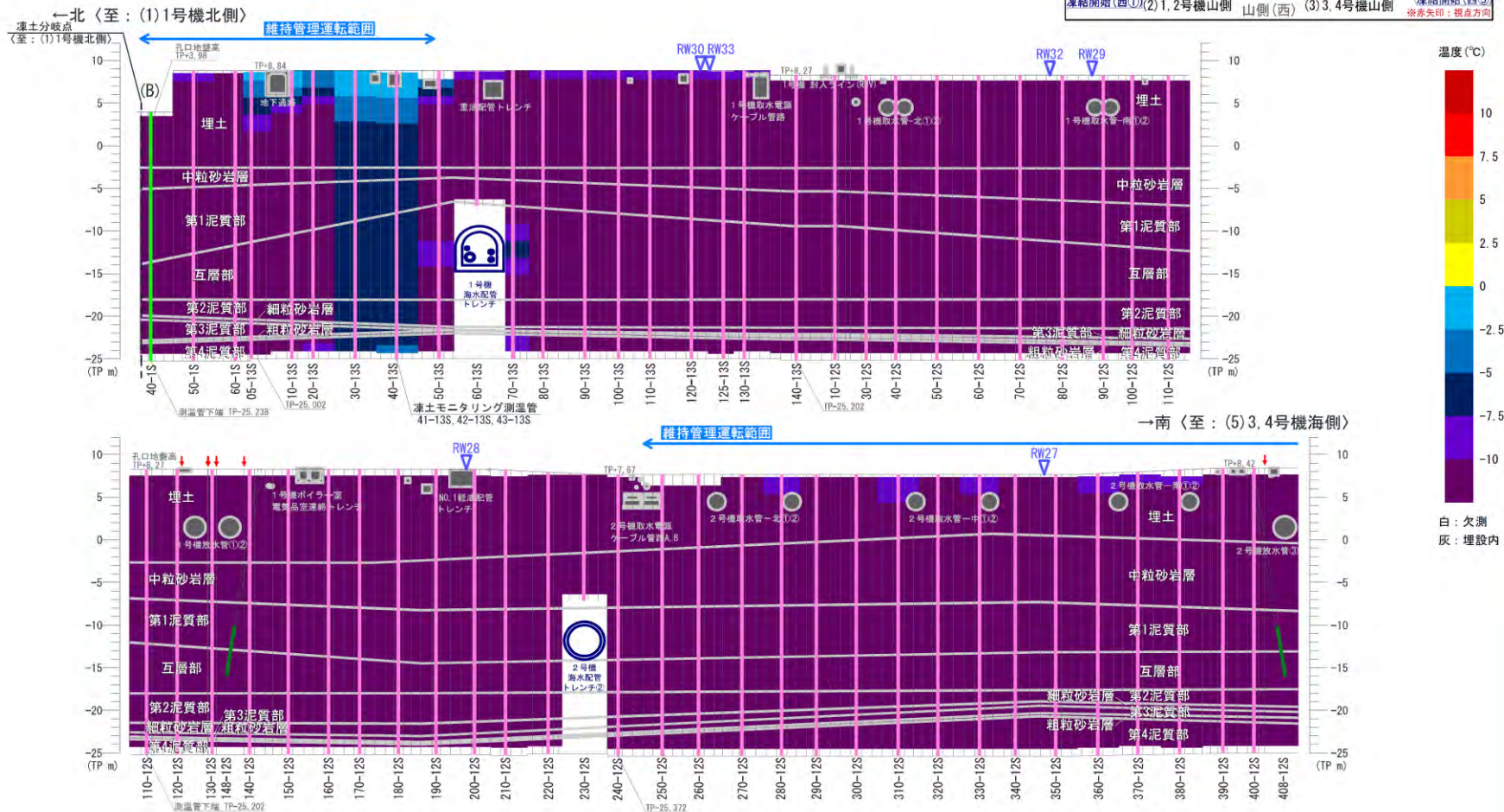
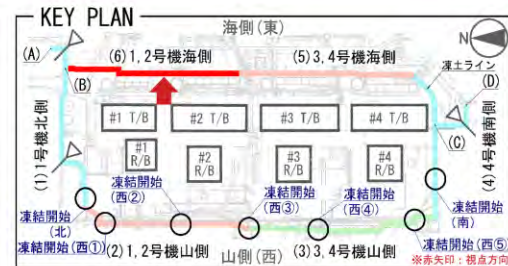
■ 地中温度分布図

(6) 1, 2号機海側（西側：内側から望む）

（温度は1/15 7:00時点のデータ）

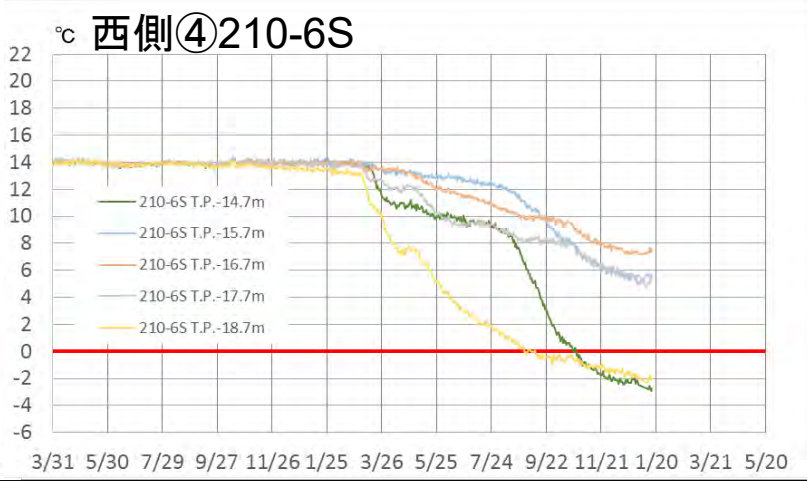
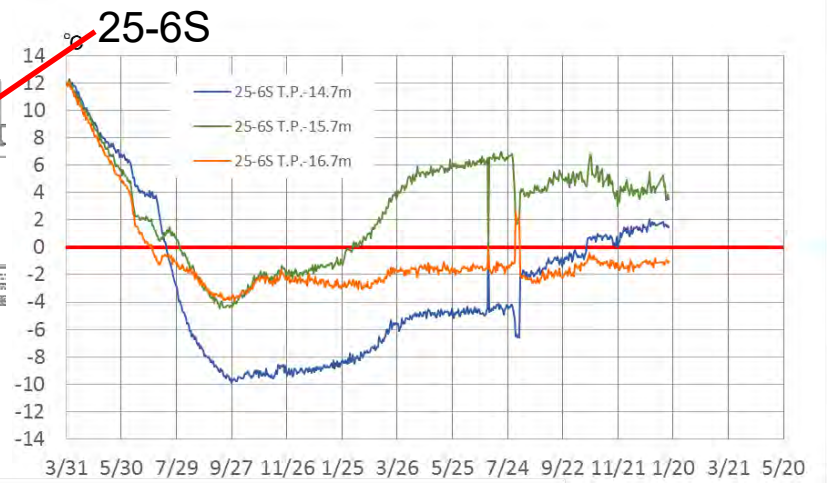
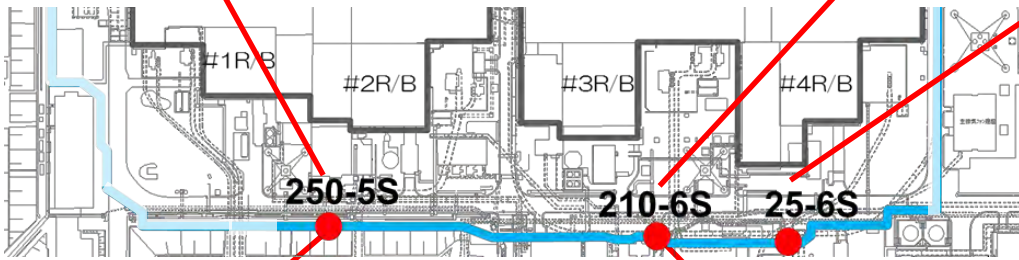
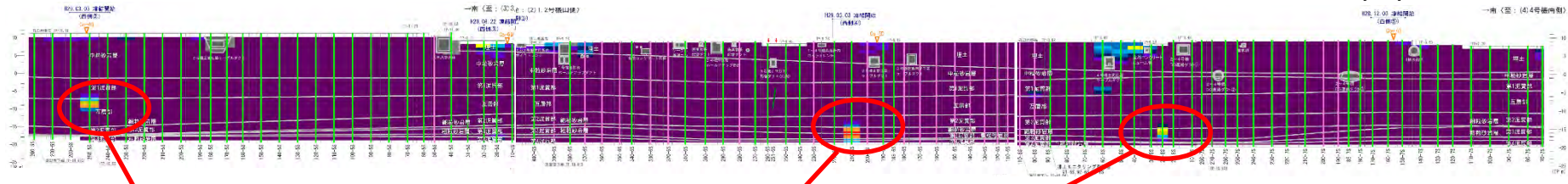
凡例

- : 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）
- : 複列部凍結管
- ▽ : RW（リチャージウェル）
- ▽ : Ci（中粒砂岩層・内側）
- ▽ : Co（中粒砂岩層・外側）
- ▽ : 凍土折れ点

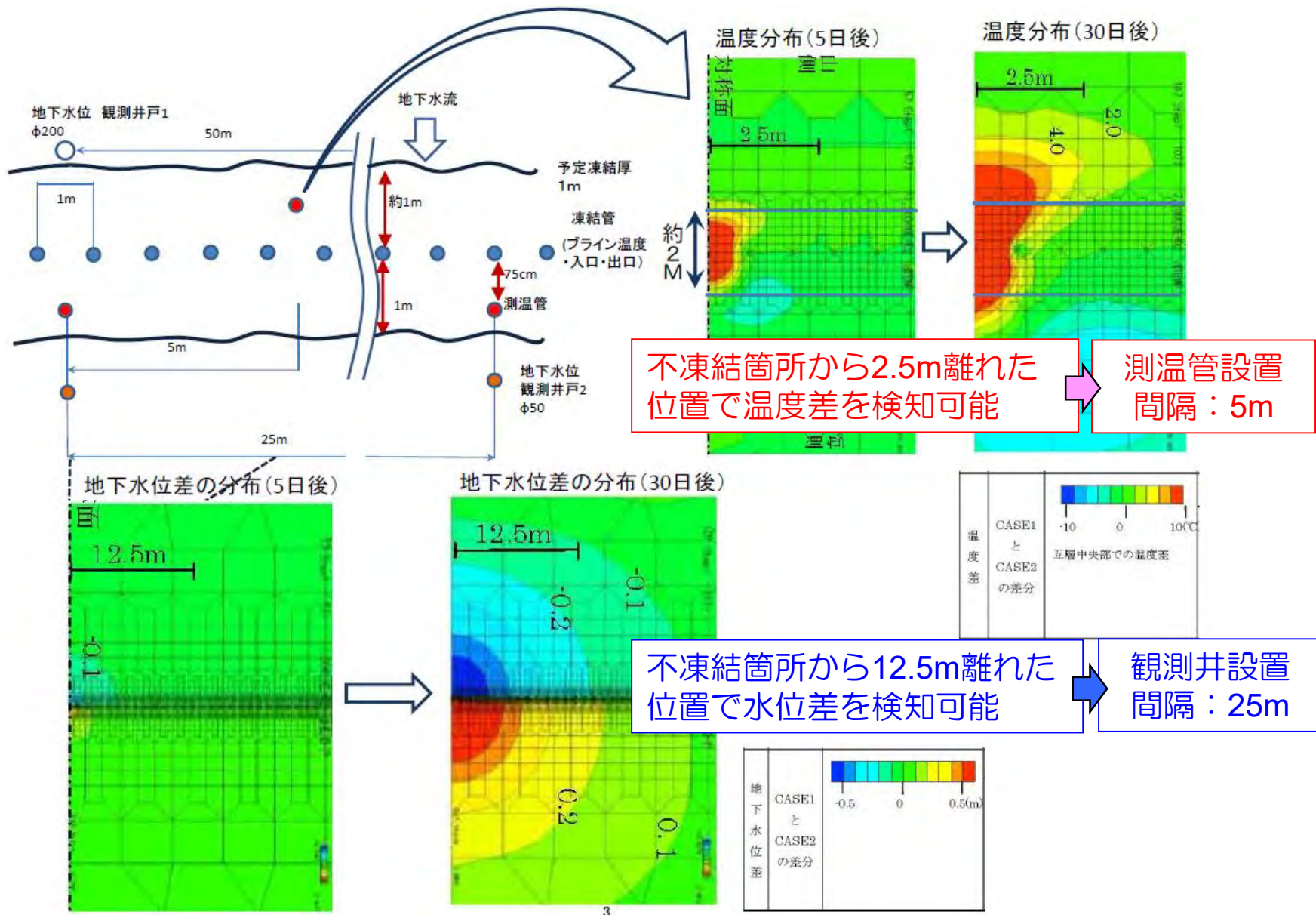


【参考】地中温度変化状況（西側②，西側④，25-6S）

2018/1/15現在

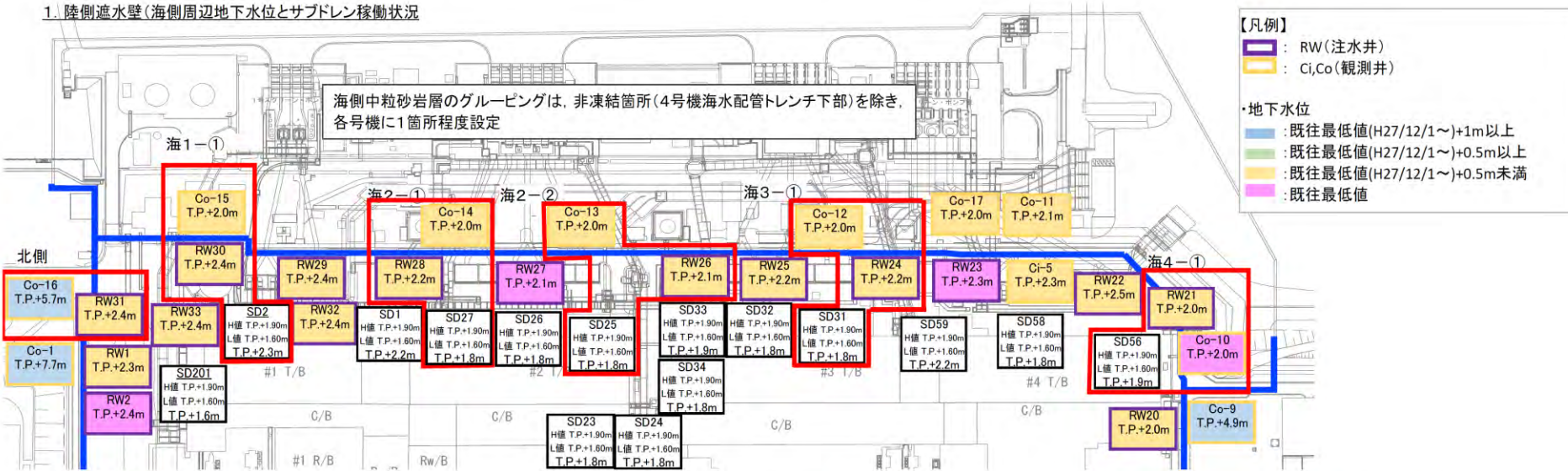


【参考】 測温管および観測井の設置間隔

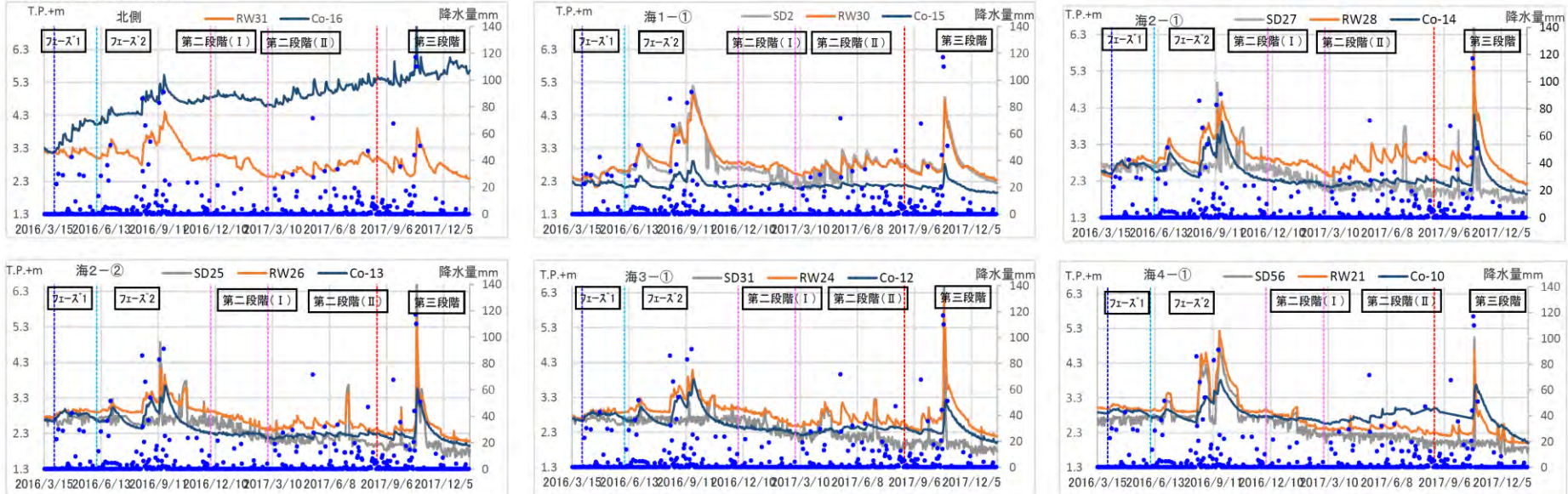


【参考】地下水位・水頭状況（中粒砂岩層① 海側）

1. 陸側遮水壁（海側周辺地下水位とサブドレン稼働状況）



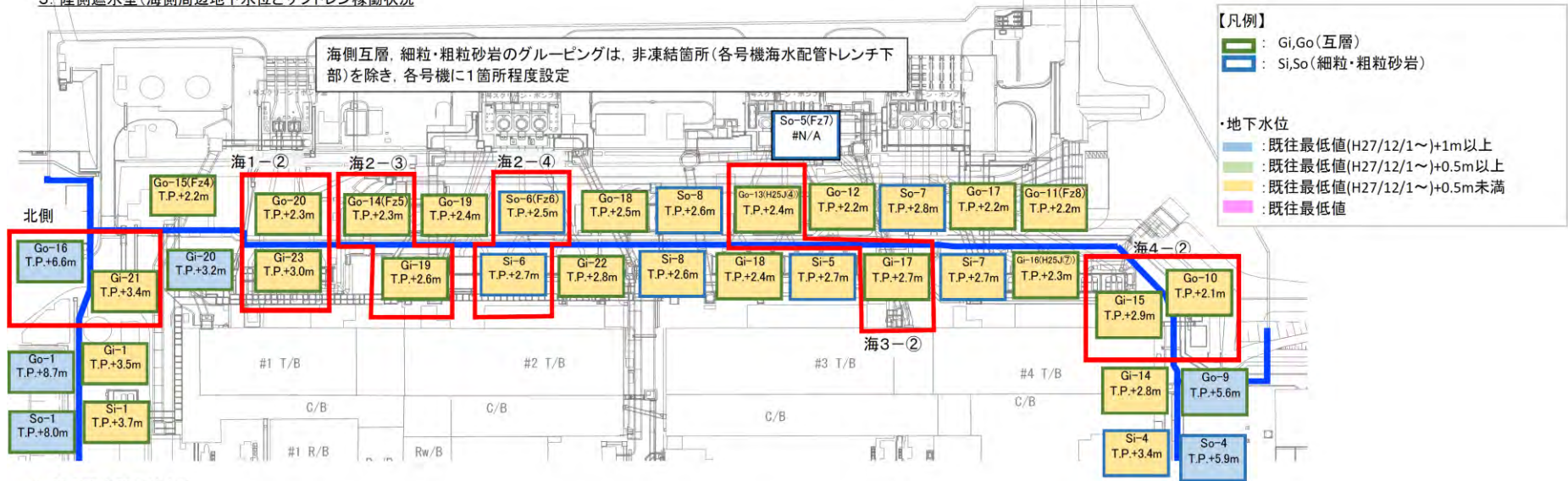
2. 陸側遮水壁内外水位



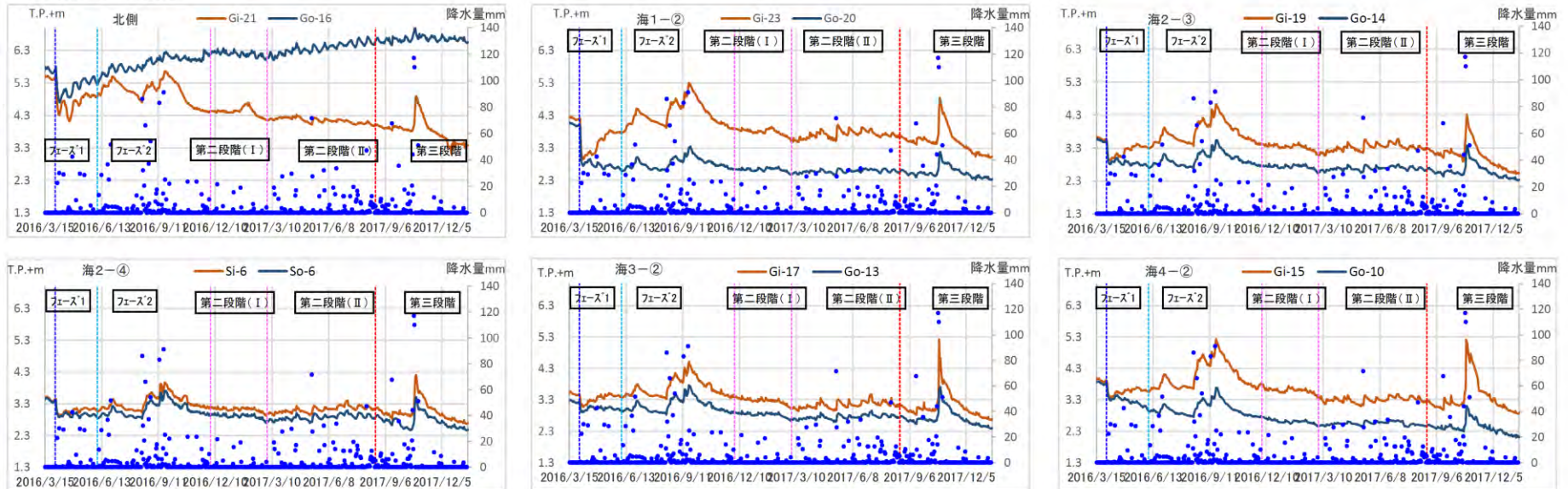
・地下水位は1/15 7:00時点のデータ

【参考】地下水位・水頭状況（互層，細粒・粗粒砂岩層水頭① 海側）

5. 陸側遮水壁（海側周辺地下水位とサブドレン稼働状況



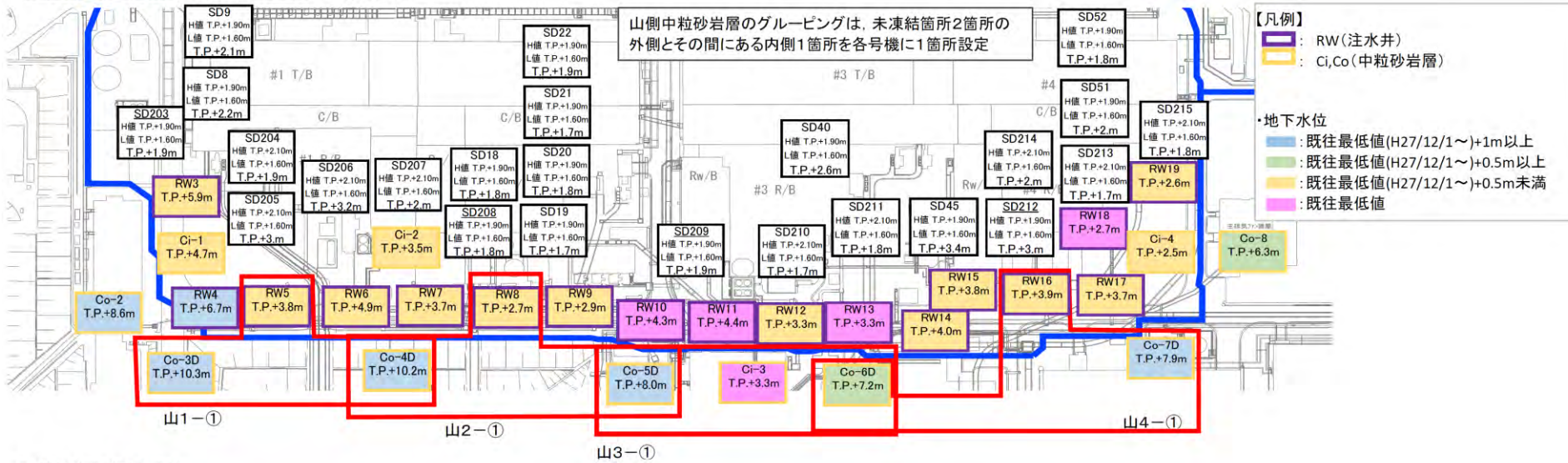
6. 陸側遮水壁内外水位



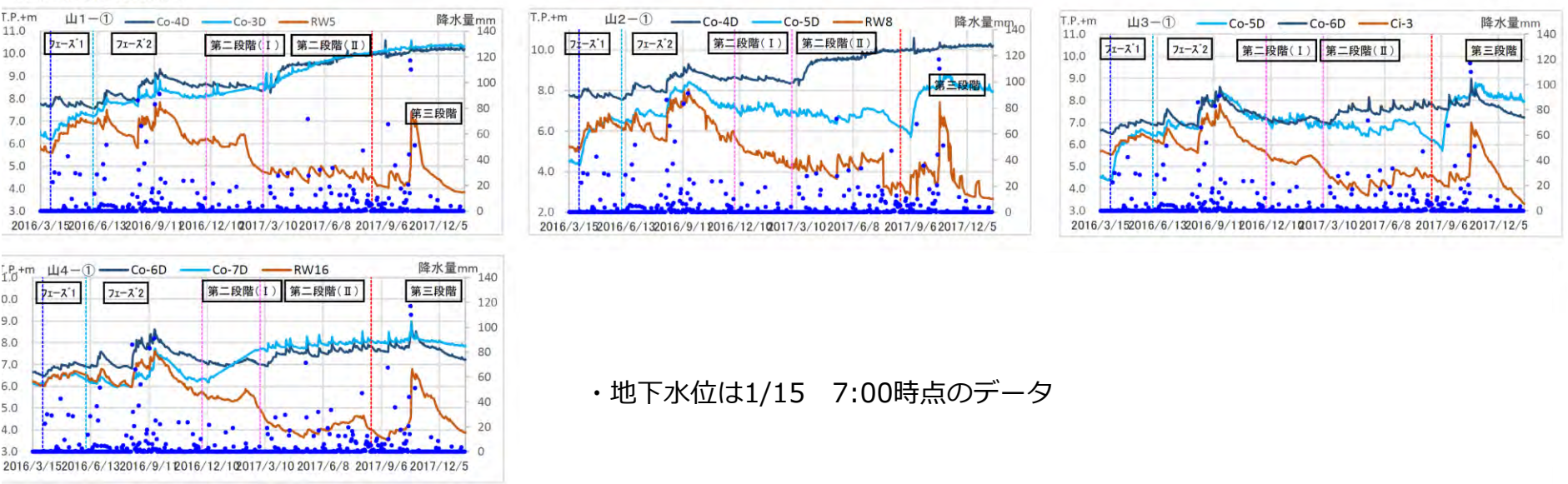
・地下水位は1/15 7:00時点のデータ

【参考】地下水位・水頭状況（中粒砂岩層② 山側）

3. 陸側遮水壁（海側周辺地下水位とサブドレン稼働状況）

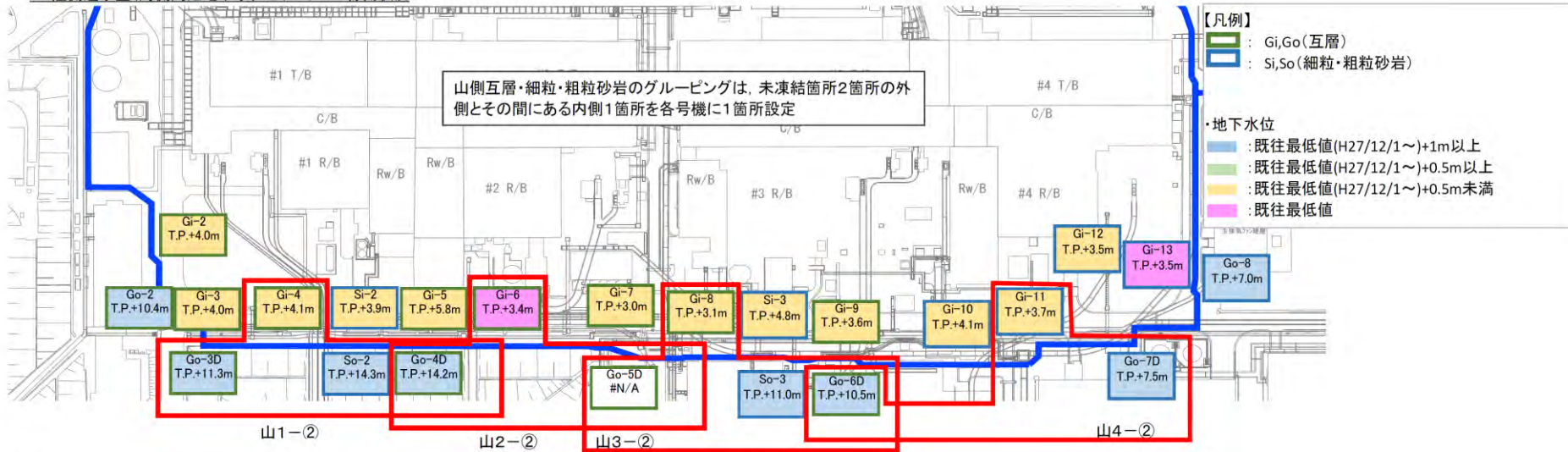


4. 陸側遮水壁内外水位

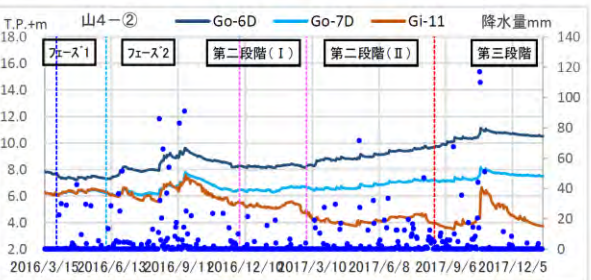
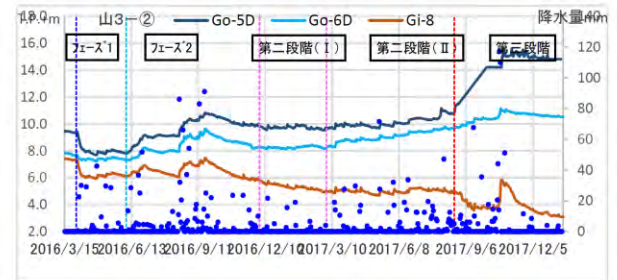
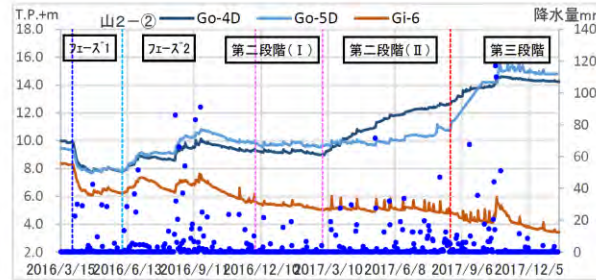
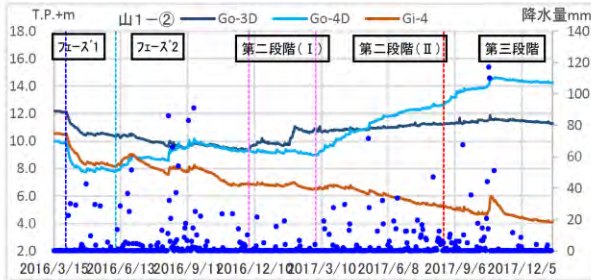


【参考】地下水位・水頭状況（互層，細粒・粗粒砂岩層水頭② 山側）

7. 陸側遮水壁（海側周辺地下水位とサブドレン稼働状況



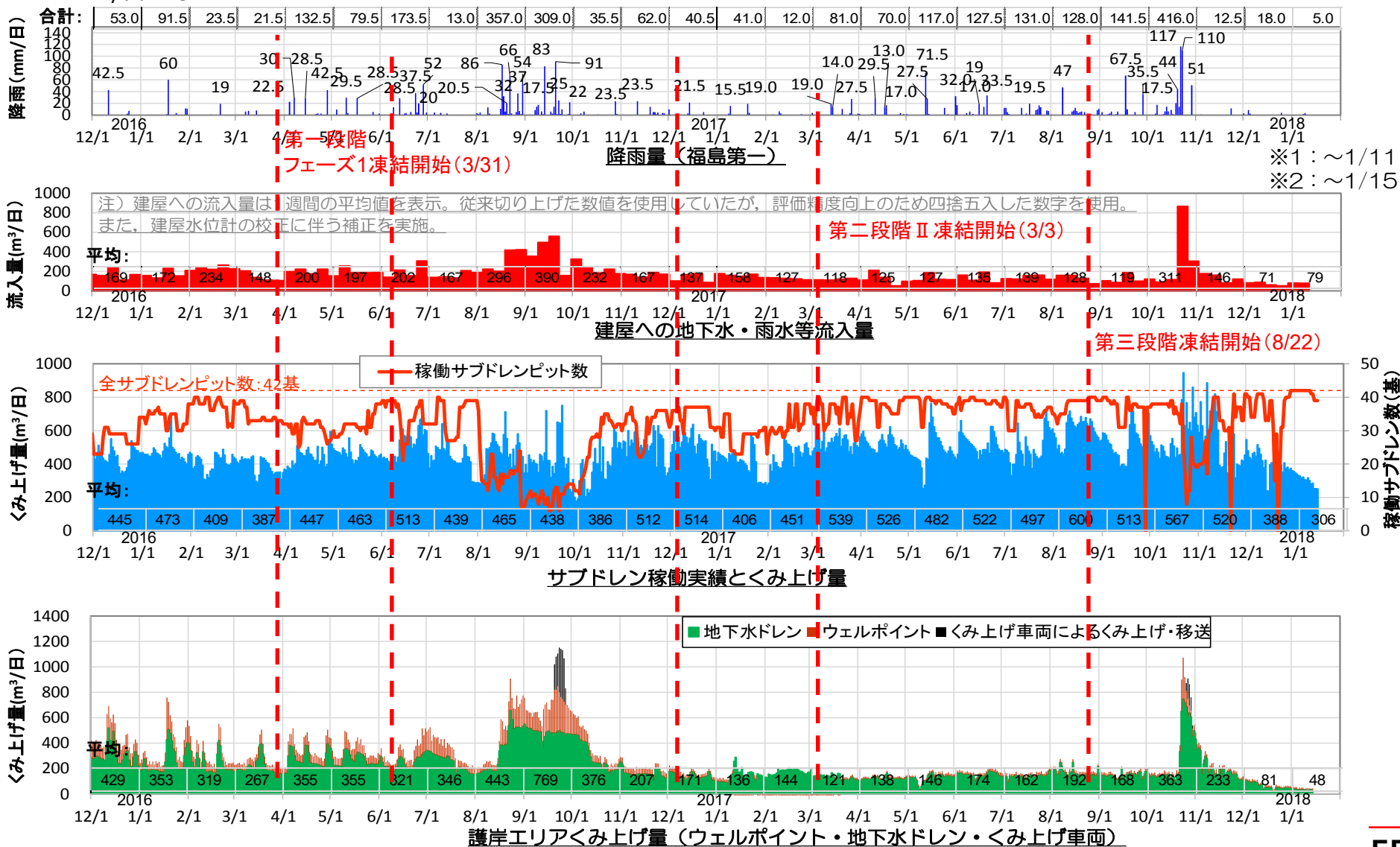
8. 陸側遮水壁内外水位



・地下水位は1/15 7:00時点のデータ

【参考】建屋への地下水・雨水流入量およびサブドレン・護岸エリアくみ上げ量の経時変化

- 建屋流入量（建屋への地下水・雨水流入量）およびサブドレンくみ上げ量は、陸側遮水壁（山側）の閉合進展に伴い減少しており、建屋流入量は2017年12月に既往最小値71m³/日、サブドレンくみ上げ量は2018年1月8日にサブドレン全基稼働状態での既往最小値306m³/日となった。
- 護岸エリアくみ上げ量は、陸側遮水壁（海側および山側）の閉合進展に伴い減少してきており、2018年1月5日に既往最小値41m³/日となった。



【参考】降雨浸透率の考え方①

- ◆ 福島第一原子力発電所における蒸発量の直接観測データはないが、国土交通省によると日本の平均蒸発散量は601 mm（平均降水量1,690mmの36%）とされている（平成26年度水資源白書，国土交通省）。
- ◆ アメダス浪江地点の平均気温（2008～2012年）を基に，ソーンズウエイト法から求まる福島第一原子力発電所付近の可能蒸発散量は，約700mmとなり，日本の平均蒸発散量と大きな差はない。
- ◆ そのため，平均降雨量（1,545mm/年）から可能蒸発量を差し引いた845mm/年が浸透していると評価すると，浸透率は55%と推察される。

（参考）

ソーンズウエイト法(Thornthwaite method)は，気候学，水文学の分野で広く適用されている方法で，気温と可照時間を変数とした経験式である。

$$Ep = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{1}{30} \right)$$

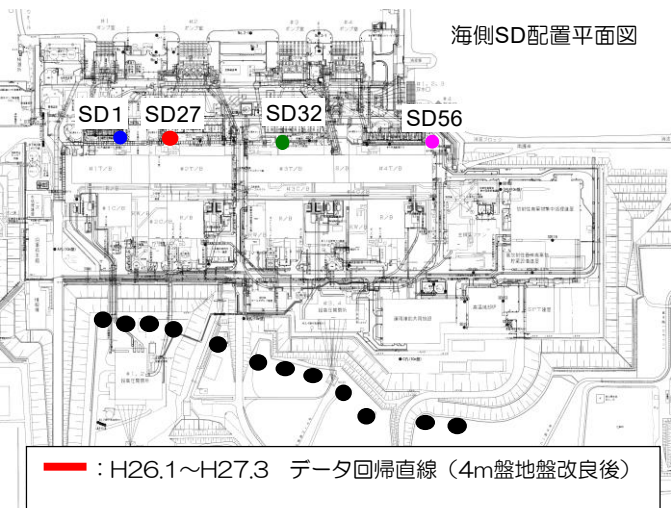
$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = (492390 + 17920I - 77.1I^2 + 0.675I^3) \times 10^{-6}$$

ここに， T_i は月平均気温（℃）， N は月平均可照時間（h）である。

【参考】降雨浸透率の考え方②

海側SD配置平面図

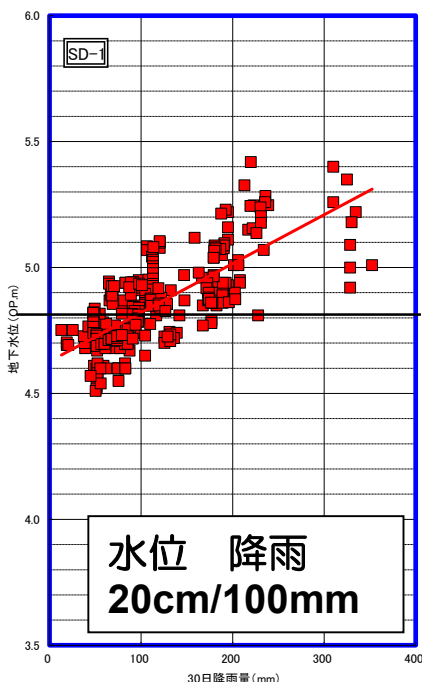


山側からの地下水供給の影響が少ないと考えられる海側サブドレンにおける、サブドレン稼働前の水位と降雨の関係より、100mmの降雨に対して20~40cmの水位上昇が確認されている。

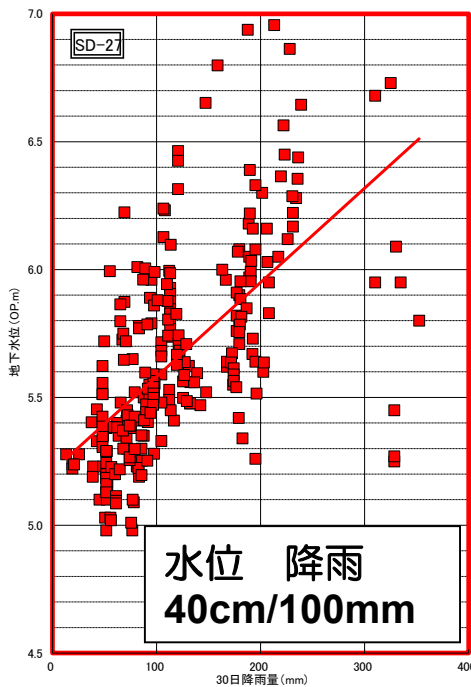
地盤の有効空隙率を20~30%と想定すると、降雨の地盤への浸透量は100mmの降雨に対して、下記のような関係となる。

- 空隙率20% → 降雨浸透率：40~80 (%) 平均：55%
- 空隙率30% → 降雨浸透率：60~120 (%) 平均：80%

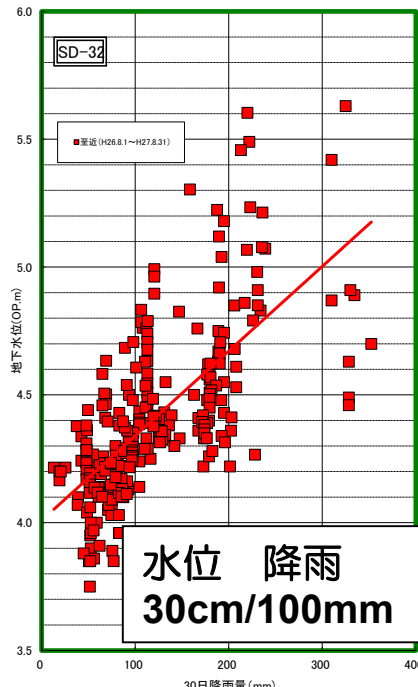
従って、地盤への降雨浸透率は平均で55~80%程度と推察され、ソーンズウェイト法による想定と大きく異なる結果とはなっておらず、降雨浸透率を、想定有効空隙率21%における平均である55%と設定した。



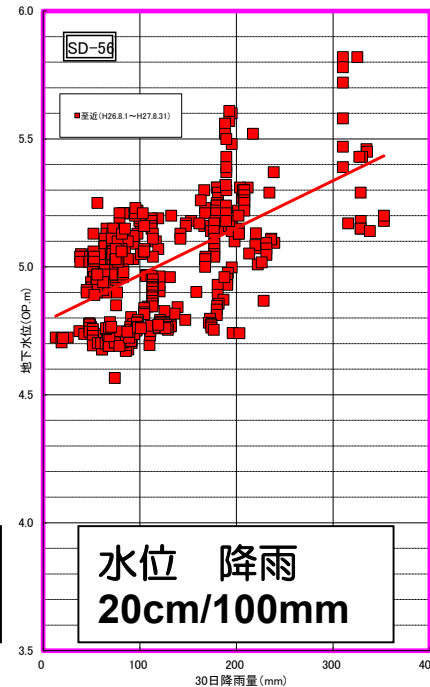
有効空隙率20%：降雨浸透率：40 (%)
有効空隙率30%：降雨浸透率：60 (%)



有効空隙率20%：降雨浸透率：80 (%)
有効空隙率30%：降雨浸透率：120 (%)

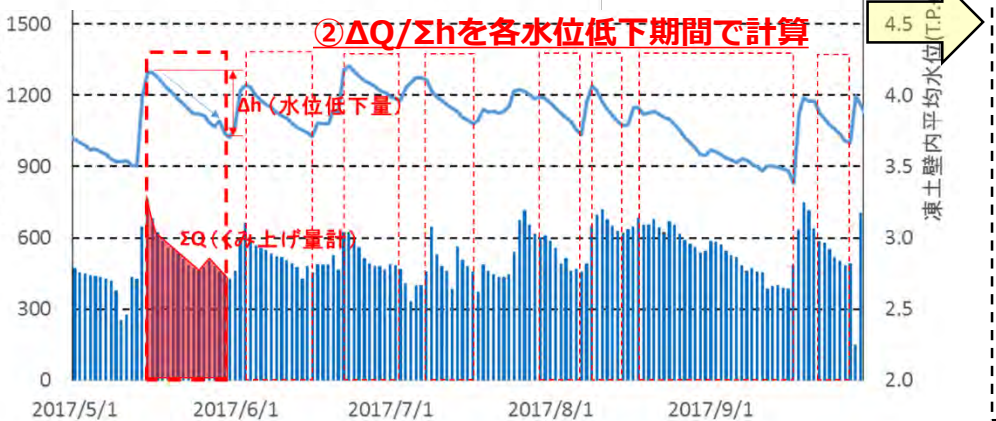
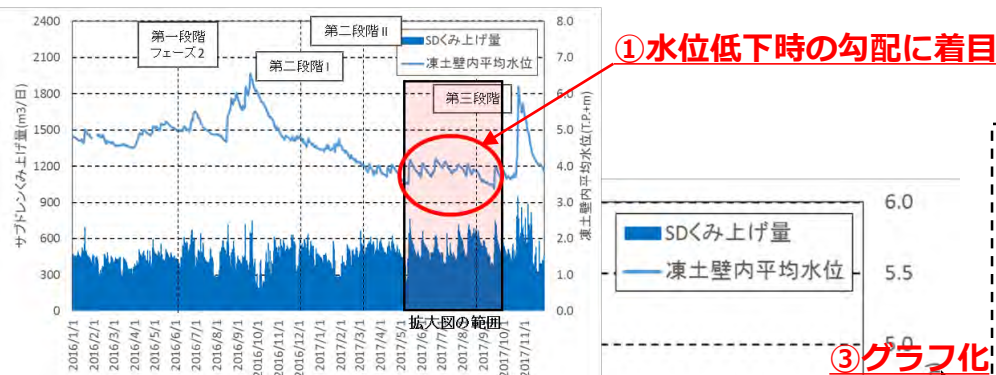


有効空隙率20%：降雨浸透率：60 (%)
有効空隙率30%：降雨浸透率：90 (%)

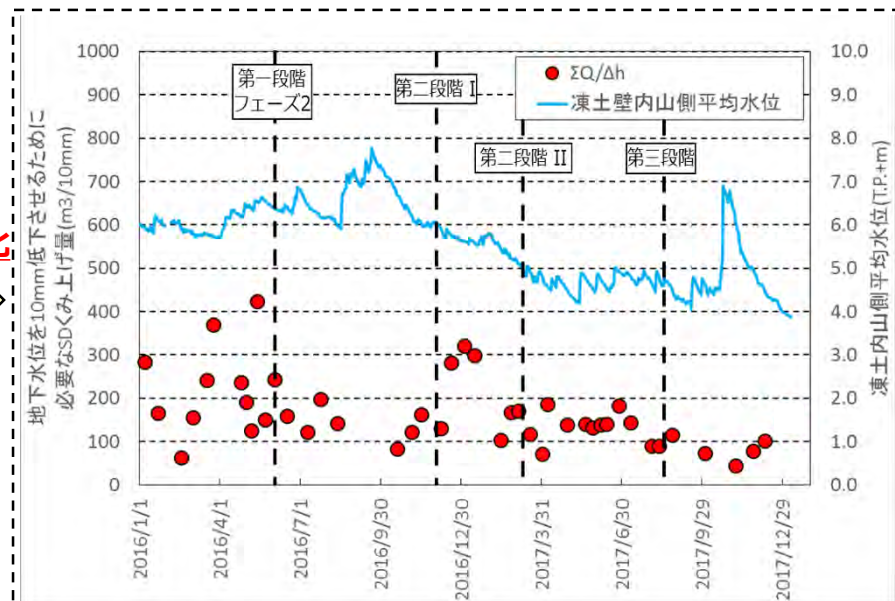


有効空隙率20%：降雨浸透率：40 (%)
有効空隙率30%：降雨浸透率：60 (%)

【参考】凍土壁内の地下水位低下効率（着眼点と計算方法）



③グラフ化



④凍土壁内の地下水位低下効率として評価
(グラフ作成の要点は下記参照)

地下水位低下効率の着眼点

○水位低下期間の設定

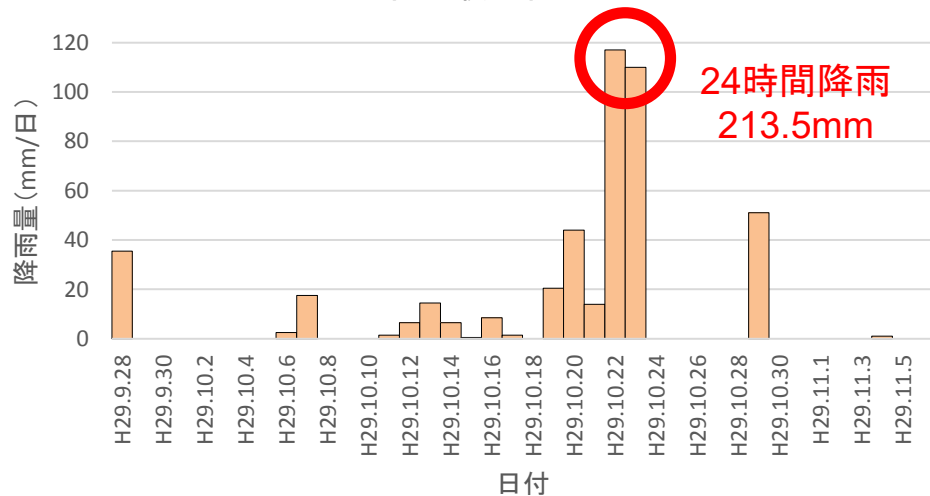
- ・水位低下が5日以上継続（ただし、凍土壁内平均水位の上昇が20mm未満の場合は、低下期間に含める）
- ・日降雨量4mm超およびサブドレン系統停止が生じた日は、水位低下期間から除く

○使用データ

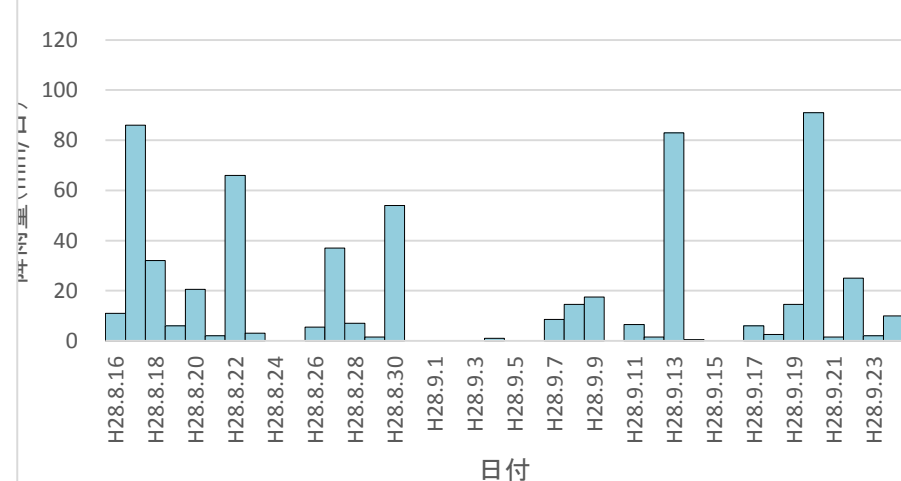
- ・凍土内平均水位は、注水井、観測井の日毎の正午水位（サブドレンは除く）
山側の注水井・観測井・・・RW2～19, Ci-1～4
- ・サブドレンくみ上げ量は、中継タンクへの日移送量
山側の中継タンク・・・No.2～4中継

【参考】台風21号および22号による降雨の状況

2017年の最大降雨量



2016年の最大降雨量



最大雨量	2017年	【参考】 2016年
30日間	416.0mm (10/1~10/30)	464.5mm (8/16~9/14)
5日間	305.5mm (10/19~10/23)	155.5mm (8/16~8/20)
1日間	117.0mm (10/22 0時~23時)	91.0mm (8/17 0時~23時)
連続24時間	213.5mm (10/22 10時~10/23 9時)	94.5mm (9/20 0時~9/20 23時)

➤ T.P.+2.5m盤への雨水浸透防止対策

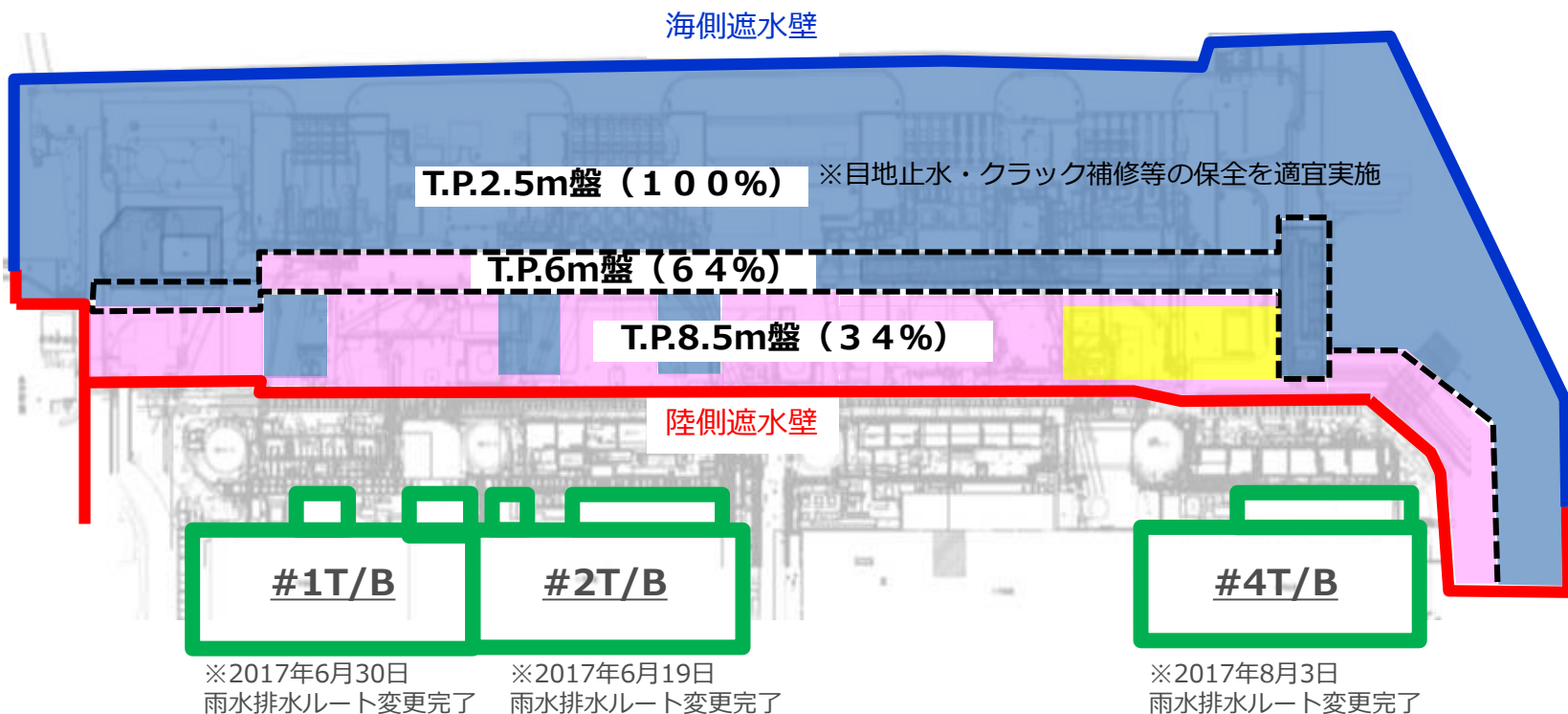
- ① T.P.+2.5m盤, T.P.+6.0m盤, T.P.+8.5m盤のフェーシング・カバー掛け
- ② T/B屋根の雨水排水ルートの変更

フェーシング・カバー掛け凡例

■ : 施工済

■ : 2017年度 完了分

■ : 2018年度 以降実施予定



【参考】台風に備えた対策実施状況と今回の実施内容(1)

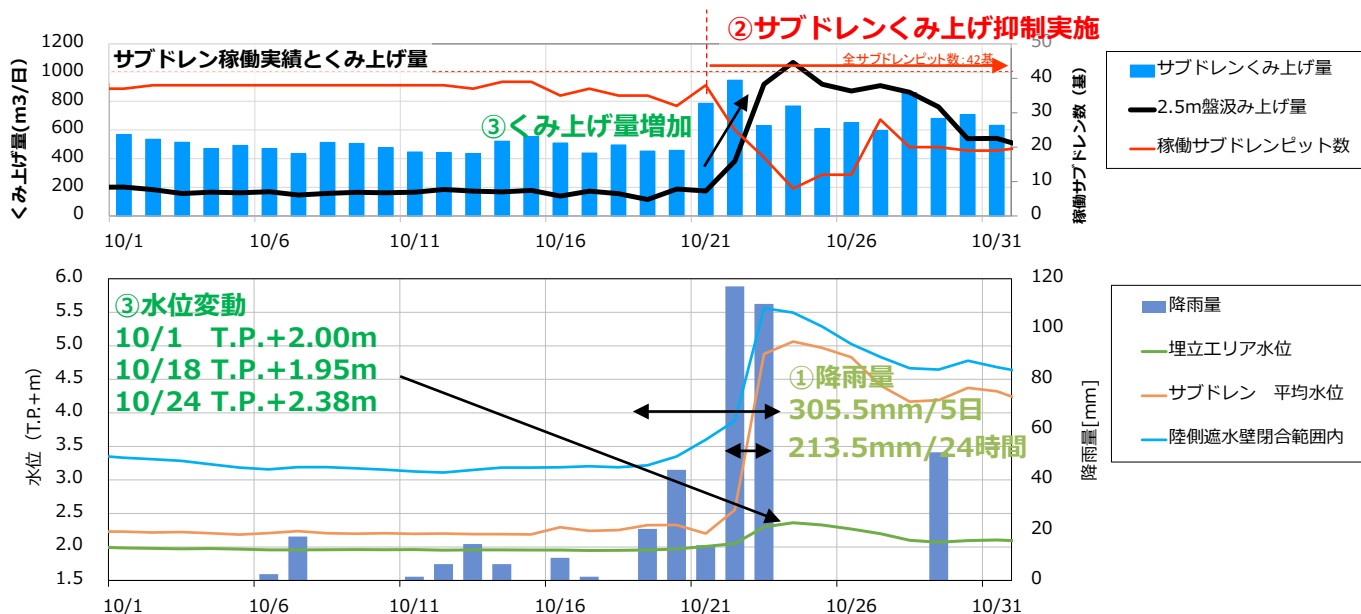
- 台風による降雨量増加に備え、台風前に以下を実施している。
 - サブドレン信頼性向上対策
 - 地下水ドレンのくみ上げ量の向上（井戸の清掃等）
 - 埋立エリア（T.P.+2.5m盤）の水位低下（約T.P.+1.9m）
 - T.P.+2.5m盤フェーシング箇所の維持管理（目地部やひび割れ箇所の補修・充填等）

■ 今回の状況

【台風21号】

- ① 短期間の強い降雨（降雨量213.5mm/連続24時間，305.5mm/5日間）であった。
- ② サブドレンは、くみ上げ量が処理能力を上回る見通しとなったため、10/21～くみ上げ量の抑制を実施した。なお、10/23には、LCO逸脱により4時間程くみ上げ停止期間があった。
- ③ 2.5m盤は、事前の地下水位低下（降雨量150mm程度を想定），地下水ドレン前処理装置の稼働等により、くみ上げ量を増加させた。

降雨後の埋立エリア（T.P.+2.5m盤）の地下水位は、T.P.+2.38mまで上昇したが、地表面レベル（T.P.+2.48m）以下に維持。



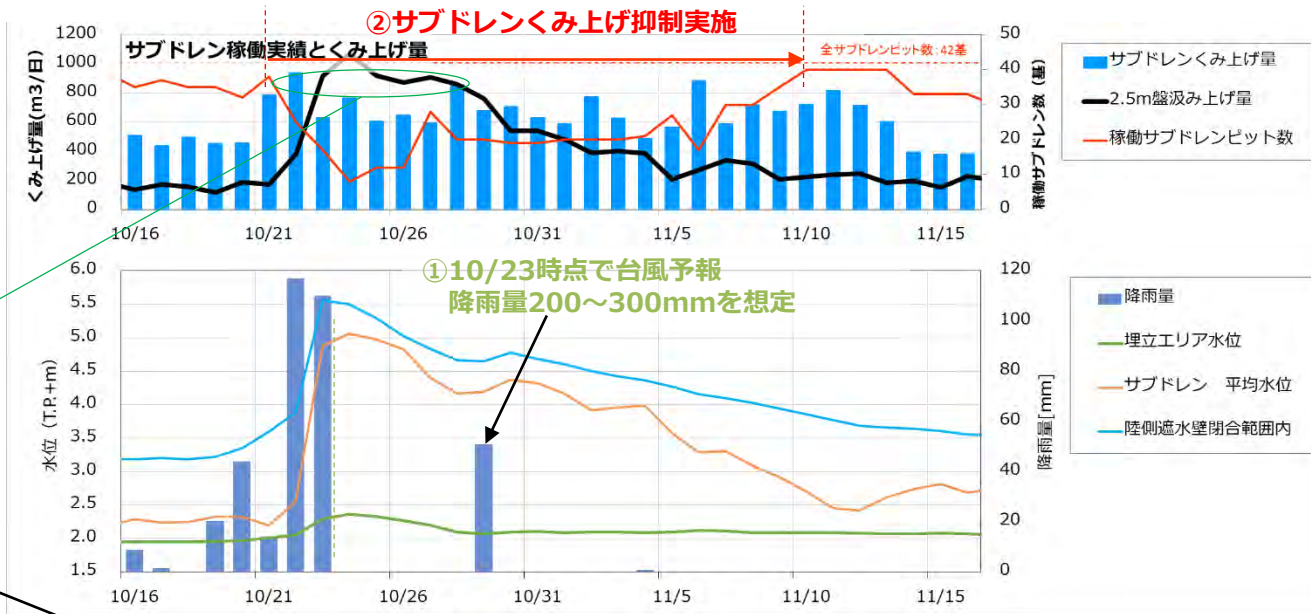
【参考】台風に備えた対策実施状況と今回の実施内容(2)

【台風22号】

- ① 台風21号通過から5日後に福島付近に再接近する予報有り。
- ② T.P.+2.5m盤のくみ上げを優先した結果、サブドレンはくみ上げ量の抑制を継続。
- ③ 地下水ドレンは、埋立エリアの水位が高い状態であったため、台風22号の降雨量を200~300mmと想定し、くみ上げ量は維持しつつ、更に追加で緊急対策を準備したが、50mm/1日間の降雨であったため、対策はくみ上げ車両による移送のみを実施した。

T.P.+2.38mから水位を0.3m程度下げたため、1500m³程度くみ上げる必要があった。

このため、
 ・くみ上げ量の増加を維持
 ・当時、追加くみ上げ増量を検討



	検討した対策	実施の有無
1	観測井Aからくみ上げ車両により4号タービン建屋へ移送	実施
2	中継タンクB（ポンドC/D）から増設中の集水タンク（4基）へ移送	未実施
3	観測井Cから仮設配管により2uT/Bへ移送	未実施
4	サンプルタンク増設4基の使用（再浄化が必要となった際）	未実施

【参考】 建屋への地下水流入量

- サブドレン平均水位-推定地下水流入量（※建屋流入量から推定雨水流入量を除いたもの）を示す。
- 下記回帰式にサブドレン平均水位を代入して地下水流入量を推定した。

