

陸側遮水壁の検討結果

2016年2月15日
東京電力株式会社

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

- これまで陸側遮水壁は、山側からの閉合を前提に計画を進めてきたが、原子力規制庁からの論点整理（第38回監視・評価検討会資料1-1 II.4-1.(1)③, 4-2（以下、同様））を踏まえるとともに、諸条件の変化を総合的に勘案し再評価した。
- その結果、陸側遮水壁は海側の閉合を先行させ、山側を段階的に閉合することを合わせて実施することで、水位逆転のリスクを回避しつつ陸側遮水壁の効果を得ていくことが可能であり、「海側閉合＋山側段階的閉合」が現状を踏まえて最適と判断した。
- 本日は、「海側閉合＋山側段階的閉合」の手順を前提として、陸側遮水壁の運用方法について、第38回監視・評価検討会資料1-1でご指摘頂いている論点への回答を示しながら、説明する。
- なお、上記説明に含まれない、その他論点についても、併せて説明する。

1. 陸側遮水壁の目的
2. 絶対下限水位【Ⅱ.4-1.(1)④】
 - (1) 建屋滞留水水位の低下幅【Ⅱ.4-1.(3)①】
 - (2) 建屋滞留水水位の低下速度【Ⅱ.4-1.(3)①】
3. 地下水位の回復方策【Ⅱ.4-1.(1)①】
4. 海側閉合時の評価【Ⅱ.4-2.①,②,③】
5. 地下水遮断率に応じた地下水位低下想定【Ⅱ.4-1.(1)③,⑤】
6. 段階的な閉合における運用【Ⅱ.4-1.(1)③】
7. 運用ルール【Ⅱ.4-1.(3)②】
8. 水位管理の妥当性【Ⅱ.4-1.(2)①,②】

【 】内は「陸側遮水壁等の地下水流入抑制対策に関する論点整理（平成27年12月18日）」の事前確認事項の項目

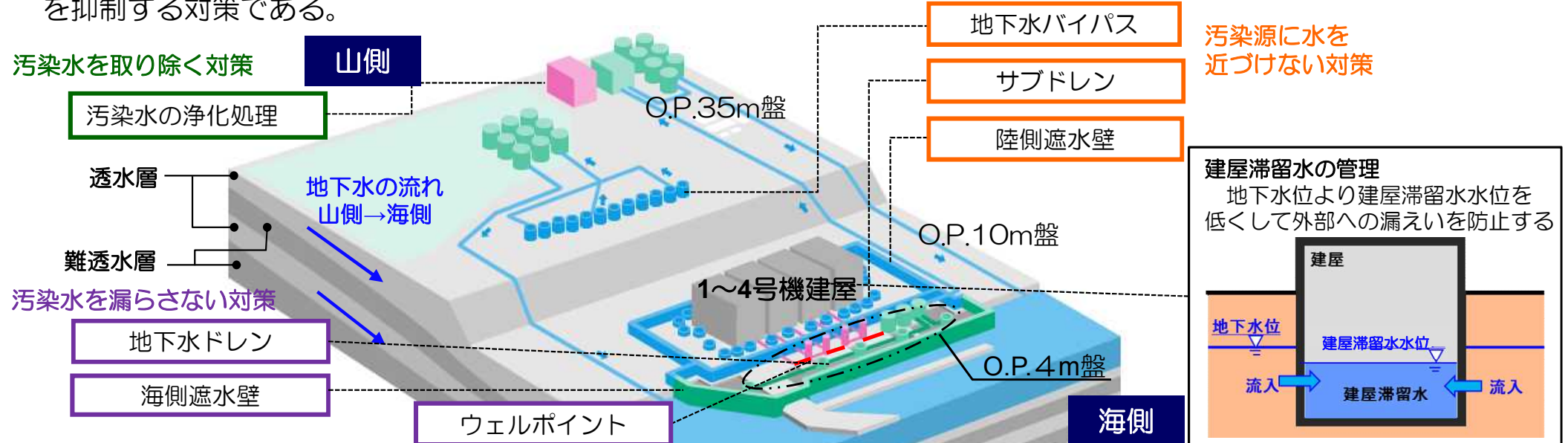
1. 陸側遮水壁の目的

1. 陸側遮水壁の目的

- 「汚染源に近づけない対策」である陸側遮水壁の目的は、山側から海側に流れる地下水を建屋周辺に近づく前に大きく迂回させることで、建屋周辺の汚染エリアと地下水の接触および周辺地下水の建屋への流入による汚染水の増加を抑制することである。（P5参照）
- 対策を進めるに際しては、地下水位より建屋滞留水水位を低くして、水位の逆転を防止することが前提である。

汚染水対策実施状況（陸側遮水壁の目的）

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



主な対策	時期	目的	状況
ウェルポイント	2013.8稼働	O.P.4m盤付近の汚染エリアの地下水をくみ上げて漏らさない	継続実施中
地下水バイパス	2014.5稼働	建屋から離れたO.P.35m盤で地下水をくみ上げ、建屋内の汚染源に地下水を近づけない	建屋止水と合わせて建屋内流入量80m ³ 程度低減
サブドレン	2015.9稼働	建屋近傍で地下水をくみ上げ、建屋内の汚染源に地下水を近づけない	稼働水位の段階的な低下に応じて、建屋内流入量が低減中。(現状;稼働水位T.P.2.75m(O.P.+4.25m)) O.P.4m盤付近への地下水流入低減は限定的。
海側遮水壁	2015.10閉合	発電所敷地から港湾内に流れている地下水を堰止めて漏らさない	O.P.4m盤周辺の地下水位が上昇
地下水ドレン	2015.11稼働	堰止められた海側遮水壁内側の地下水を汲み上げて漏らさない	海側遮水壁閉合による地下水位上昇後、汲み上げ開始
陸側遮水壁	準備完了	建屋を凍土方式の遮水壁で囲み、山側からの地下水の流れを遮断し、①建屋内の汚染源、②O.P.4m盤付近の汚染エリアへ、地下水を近づけない	山側：準備完了 海側：2/9準備完了

2. 絶対下限水位【Ⅱ.4-1.(1)④】

2. 絶対下限水位

- 建屋周辺地下水位の低下の検討に先立ち、地下水位の絶対下限水位（これ以上下がることのない下限の地下水位）について示す。
- ここでは、「陸側遮水壁（山側）により地下水供給が100%遮断される」の条件下で想定外の最悪の場合として、「何らかの理由により海側遮水壁の遮水性を喪失」、かつ、「無降雨の状態が継続」した条件のもとで、建屋周辺の地下水位は低下を続け、最終的に海水面（平均潮位：絶対下限水位（これ以上低下することのない水位）と設定）まで低下する事象を対象に建屋内外の水位管理の安全性を確認する。

(1) 建屋滞留水水位の低下幅について【Ⅱ.4-1.(3)①】

- 絶対下限水位 (=平均潮位T.P.-0.098m) に対し、各建屋の滞留水の移送可能なレベル (ポンプによる最低排水レベル) を確認した。
- その結果,
 - 絶対下限水位よりも最低排水レベルが高い建屋は、1号タービン建屋 (T/B) だけである。
 - 1号タービン建屋周辺の地下水位が最低排水レベル以下まで低下する恐れのある場合には、仮設ポンプを追加設置し、残水を他の建屋へ移送することで対処可能である。
- したがって、地下水位が絶対下限水位まで低下したとしても、いずれの建屋からも滞留水の移送が可能であり水位逆転は生じない。

各建屋の滞留水移送ポンプの最低排水レベルについて

- 現状の移送ポンプの設置レベル・吸い込み高さより算出した最低排水レベルは以下の通り。
- 平均潮位：T.P.-0.098m^{*1}よりも最低排水レベルが高い建屋は、1号タービン建屋（T/B）だけである。
- 2号・3号タービン建屋水位計は現状T.P.0.58mまでしか測定出来ないが、それ以下の水位となることが想定される場合には別途水位計を設置あるいは手計りで対応する。

建屋		ポンプの最低排水レベル ^{*2} T.P.+m (O.P.+m)	最低床レベル ^{*2} T.P.+m (O.P.+m)	【参考】水位計測下限レベル T.P.+m (O.P.+m)
1号	R/B	-0.40 (1.04)	-2.67 (-1.23)	-2.54 (-1.10)
	T/B	0.74 (2.20)	0.44 (1.90)	0.56 (2.02)
	Rw/B	-0.04 (1.40) ^{*3}	-0.04 (1.40)	-0.04 (1.40) ^{*3}
2号	R/B	-0.08 (1.36) ^{*4}	-4.80 (-3.36)	-0.26 (1.18)
	T/B	-1.39 (0.05)	-1.74 (-0.30)	0.58 (2.02)
	Rw/B	-1.43 (0.01)	-1.74 (-0.30)	-1.61 (-0.18)
3号	R/B	-2.09 (-0.65)	-4.80 (-3.36)	-3.40 (-1.96)
	T/B	-1.34 (0.10)	-1.74 (-0.30)	0.58 (2.02)
	Rw/B	-1.43 (0.01)	-1.74 (-0.30)	-1.58 (-0.15)
4号	R/B	-3.20 (-1.76)	-4.80 (-3.36)	-0.15 (1.29)
	T/B	-1.44 (0.00)	-1.74 (-0.30)	-1.62 (-0.18)
	Rw/B	-1.44 (0.00)	-1.74 (-0.30)	-1.59 (-0.15)

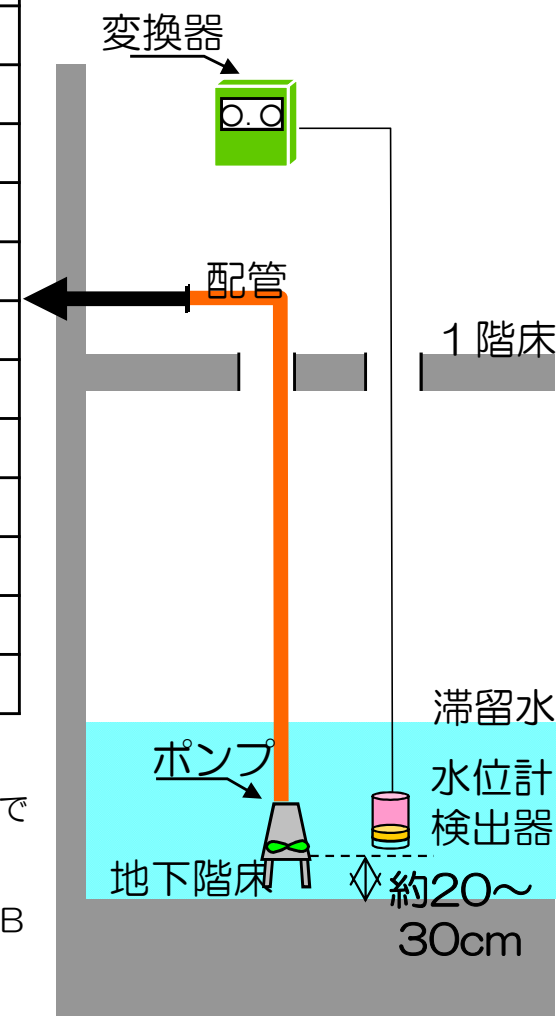
【注】 T/B：タービン建屋， R/B：原子炉建屋， Rw/B：廃棄物処理建屋

※1：気象庁HPより小名浜地点の平均潮位はT.P.-0.098m（2010～2014年平均）

※2：各建屋の水位は、滞留水移送ポンプの吸い込み高さ等の関係から、床面より約20～30cmの高さまで滞留水を移送し低下させることが可能である。ただし、移送ポンプ・水位計は、干渉物等の影響から、各建屋の最低床レベルに設置出来ない箇所がある。

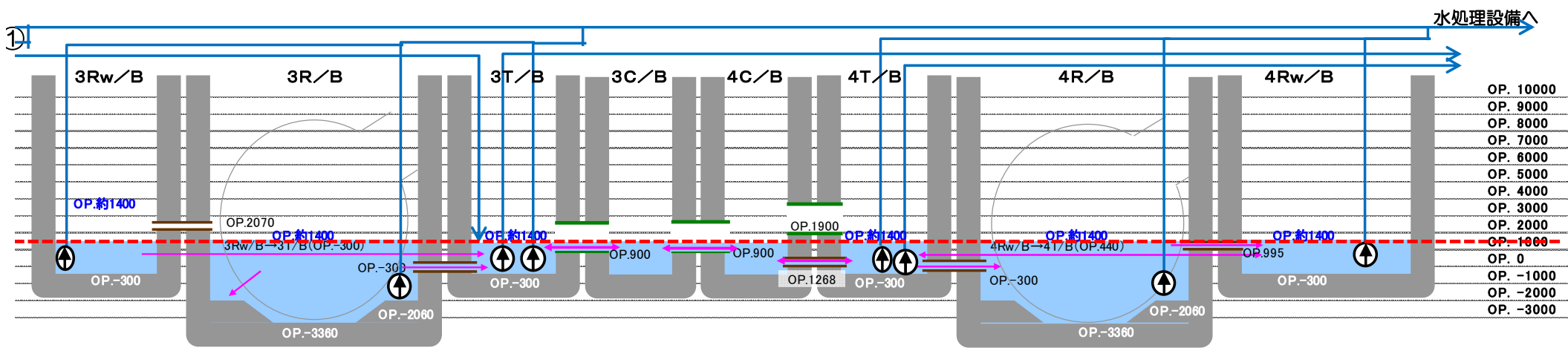
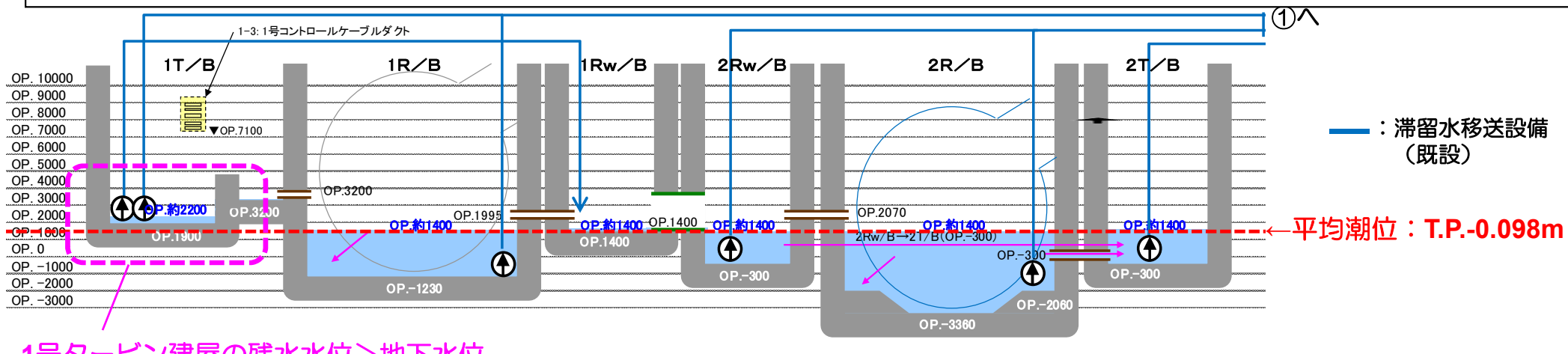
※3：1号Rw/Bは、2号Rw/Bと開いた扉で連通しているため、移送ポンプを設置していない。2号Rw/Bの移送ポンプにより水位を低下させることで、2号Rw/Bの最低排水レベルまでは低下可能。残水はピット内に少量（数m³程度）。

※4：2号R/Bは2号T/BとT.P.-1.75（O.P.-0.3m）付近で連通しているため、2号T/B水位を低下させることで、2号R/B水位を連通高さまでは低下可能と評価している。



平均潮位まで地下水位が低下した場合の建屋滞留水の想定状況

- 1～4号機建屋の床面と貫通部レベル，平均潮位まで地下水位が低下した場合の建屋滞留水の水位の状況について模式的に示した。
- 平均潮位よりも最低排水レベルが高い建屋は，1号タービン建屋（T/B）だけである。
- 地下水位が，1号タービン建屋の最低排水レベル以下となることが想定される場合には，残水処理が必要である

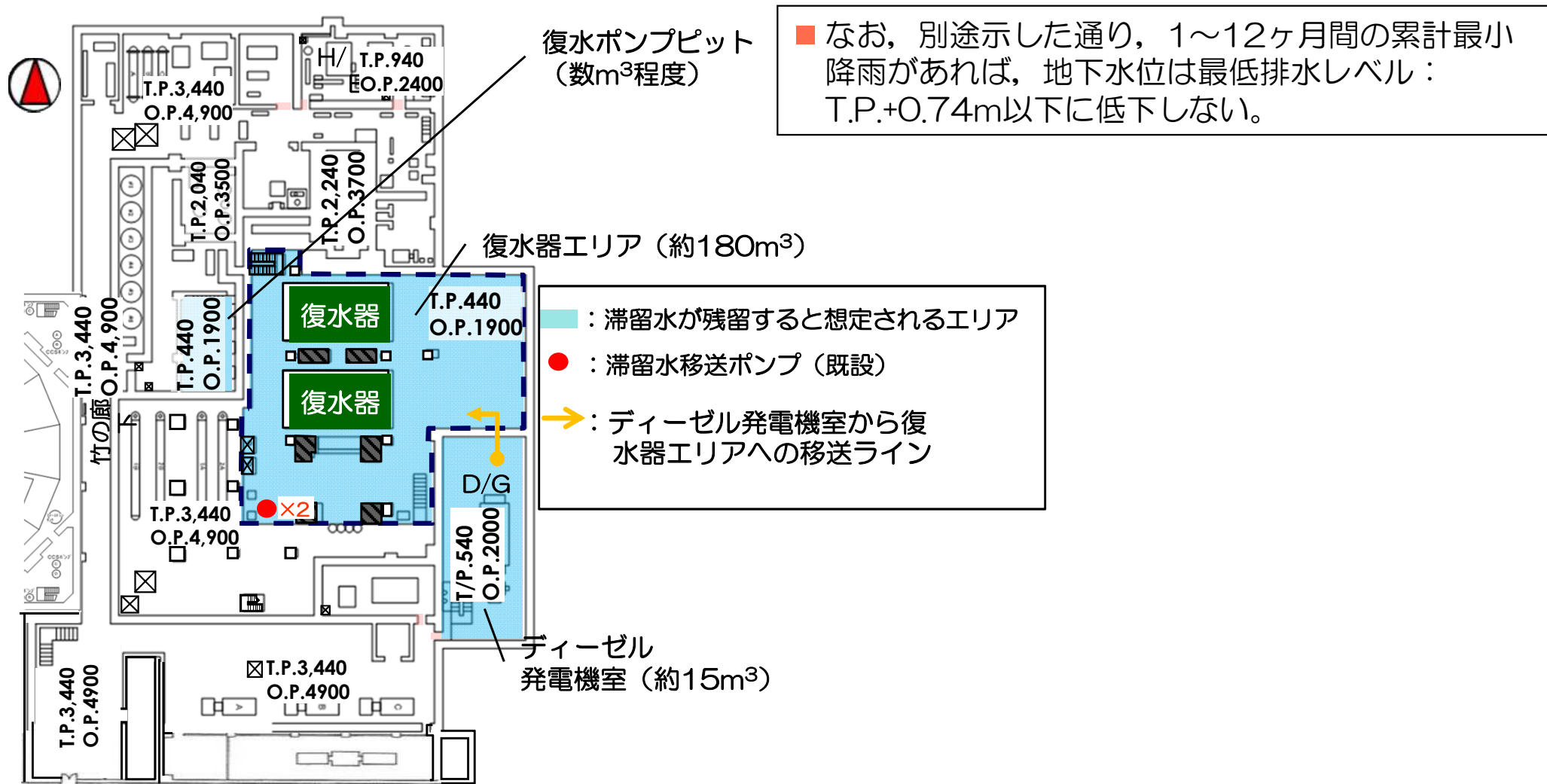


【注】 T/B：タービン建屋， R/B：原子炉建屋， Rw/B：廃棄物処理建屋

平均潮位まで建屋水位を低下させた場合の状況および1～4号機の建屋床面・貫通部レベル

1号タービン建屋で最低排水レベルまで移送した場合の建屋内滞留水の残水量

- 1号タービン建屋において建屋滞留水を最低排水レベル：T.P.+0.74m（O.P.2.2m）まで移送した場合、主に復水器エリア・ディーゼル発電機室・復水ポンプピットに滞留水が残留し、その量は概算で200m³程度と想定している。
- 1号タービン建屋周辺の地下水位が最低排水レベル以下まで低下する恐れのある場合には、仮設ポンプを追加設置し、残水を他の建屋へ移送する。



(2) 建屋滞留水水位の低下速度【Ⅱ.4-1.(3)①】

- 1～4号機建屋の滞留水水位を絶対下限水位（=平均潮位）まで低下させる場合の低下可能な速度について、滞留水移送設備や水処理設備の容量による律速条件、さらに処理水の移送先確保状況を検討した。
- その結果、以下のとおりである。
 - 1～4号機の建屋水位（T.P1.5m（O.P.約3.0m））を平均潮位（T.P.-0.098m（O.P.約1.5m））まで低下させるのに、必要な建屋滞留水の移送量は、建屋滞留水の水位低下分約36,000m³程度である。
 - 2016年2月4日現在の滞留水移送先の空き容量は、約71,500m³であり、1～4号機の建屋水位を平均潮位まで低下するために必要な移送量を確保できている。
 - 現状と同程度の建屋流入量が継続する場合でも、0.013m/日程度の水位低下（300m³/日の滞留水移送）が可能である。
- 地下水位の低下速度との比較は、5章で後述する。

建屋滞留水の水位低下速度

- 建屋滞留水の水位低下速度を，建屋滞留水移送可能量と建屋有効面積から算出した。
- 現状と同程度の建屋流入量がある場合でも，0.013m/日程度の水位低下（300m³/日の滞留水移送）が可能である。
- 海側遮水壁の遮水性喪失時などを想定した場合には，0.03m/日（700m³/日程度の滞留水移送）程度の水位低下が可能である。ただし，建屋流入量が現状程度から減らないなど，算出条件は保守的に設定しており，実際にはこれ以上の水位低下が可能である。

表 建屋滞留水水位低下速度

	建屋への流入量			建屋滞留水移送可能量 ^{※3} (m ³ /日)	水位低下のための移送分 (m ³ /日)	建屋有効面積 (下表参照) (m ²)	建屋滞留水水位低下速度 (m/日)
	原子炉への注水量 (m ³ /日)	建屋流入量 ^{※2} (m ³ /日)	O.P.4m盤から建屋への移送量 (m ³ /日)				
ケース1	300	200	400	1,200	300	23,470	0.013
ケース2 ^{※1}			0		700		0.030

※1：海側遮水壁の遮水性喪失時などにO.P.4m盤の地下水位が低下し，O.P.4m盤のくみ上げ量は0m³/日になったと仮定した。

※2：建屋流入量は，周辺地下水位の低下により減少すると思われるが，保守的な検討条件として，現状程度の建屋流入量が継続すると仮定した。

※3：建屋滞留水移送可能量は，律速となる滞留水処理設備の処理量1,200m³/日とした。

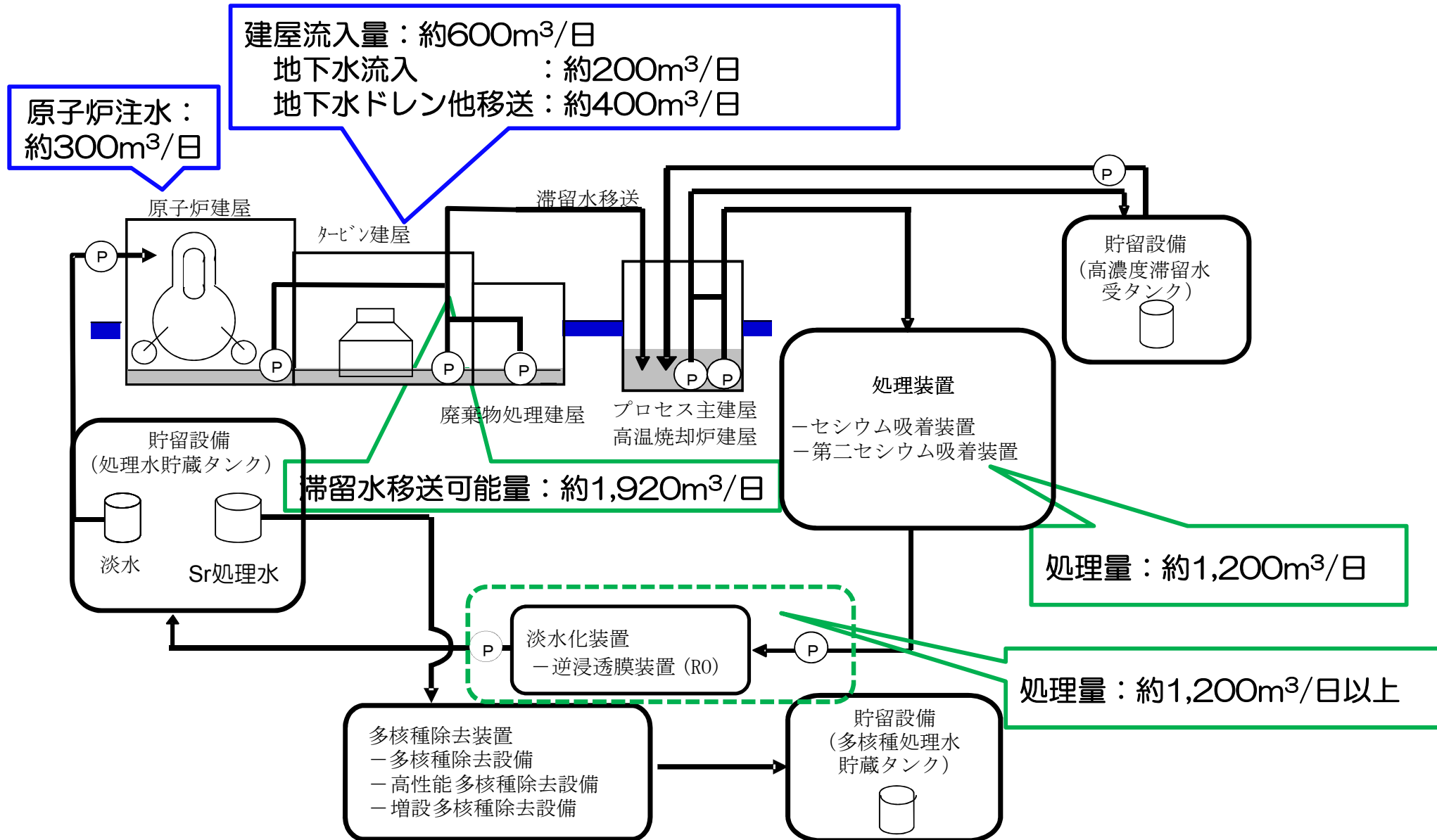
【参考】表 建屋有効面積

	1号	2号	3号	4号	計
建屋有効面積 ^{※4} (m ²)	1,750	6,840	7,730	7,150	23,470

※4：建屋有効面積は，建屋構造上の平面積（壁等で囲まれた範囲）から，機器類の専有面積を除いて算出した。

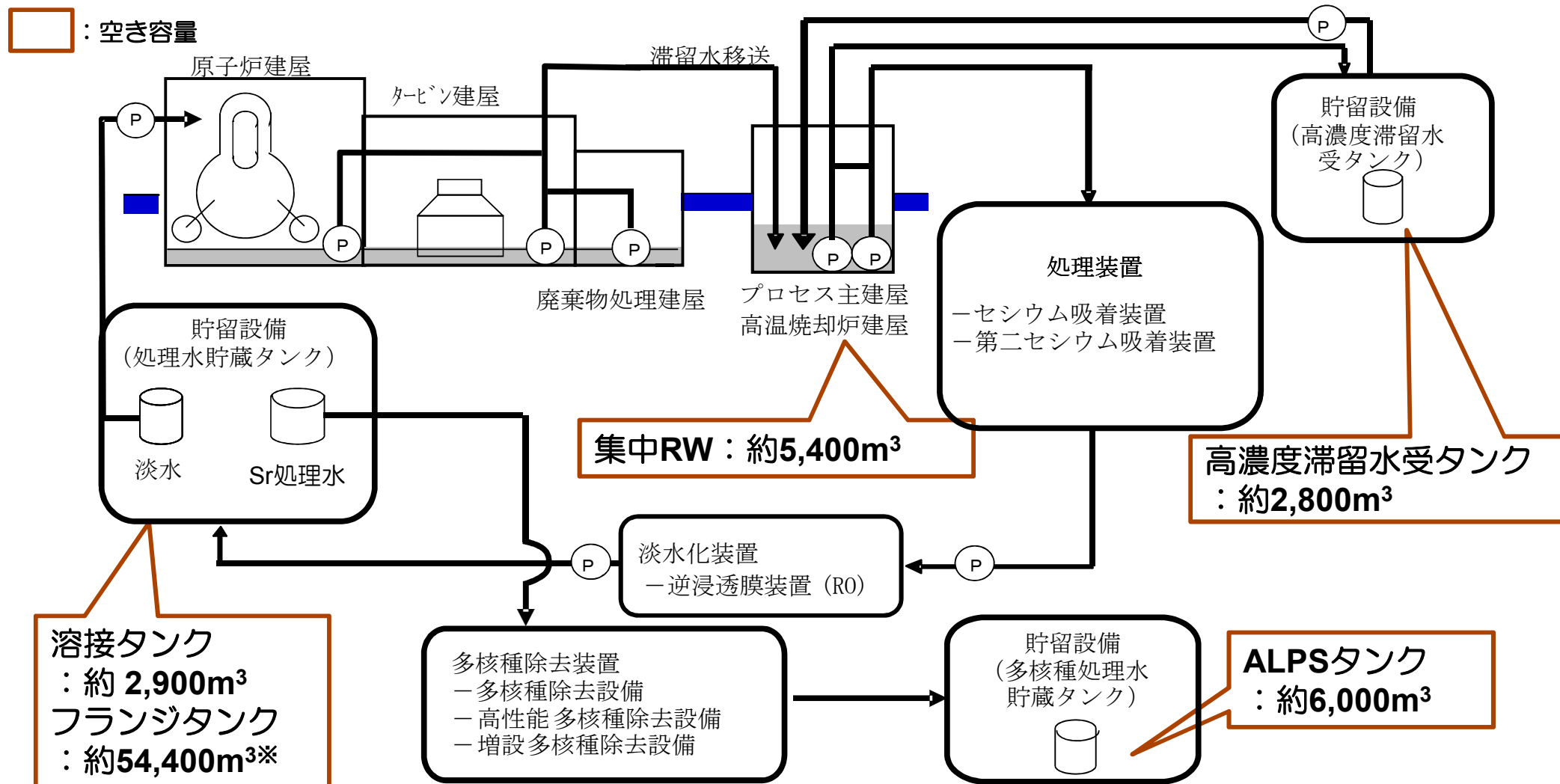
建屋滞留水の移送可能量について

■ 建屋滞留水の流入側は、原子炉注水量と建屋流入量を合わせて、平均で900m³/日程度となっている。対して移送側は、定常的に移送可能な量は滞留水処理設備の処理量約1,200m³/日である。



建屋水位を平均潮位まで低下する際の移送先確保状況（2016年2月4日現在）

- 2016年2月4日現在の滞留水移送先の空き容量は、集中RW建屋，貯留設備（処理水貯蔵タンク・多核種処理水貯蔵タンク・高濃度滞留水受タンク）を合わせて約71,500m³であり，1～4号機の建屋水位を平均潮位まで低下するのに必要な建屋滞留水の移送量約36,000m³に対して確保できている。
- 今後，建屋滞留水移送状況により，貯蔵設備の各容量は変動するものの，上記の緊急時に必要な移送量を考慮し，貯蔵設備を増設していく。



※ : Sr処理水等のフランジタンク容量。ただし，H5/6エリアのタンク容量（約55,600m³）は除く

3. 地下水位の回復方策【Ⅱ.4-1.(1)①】

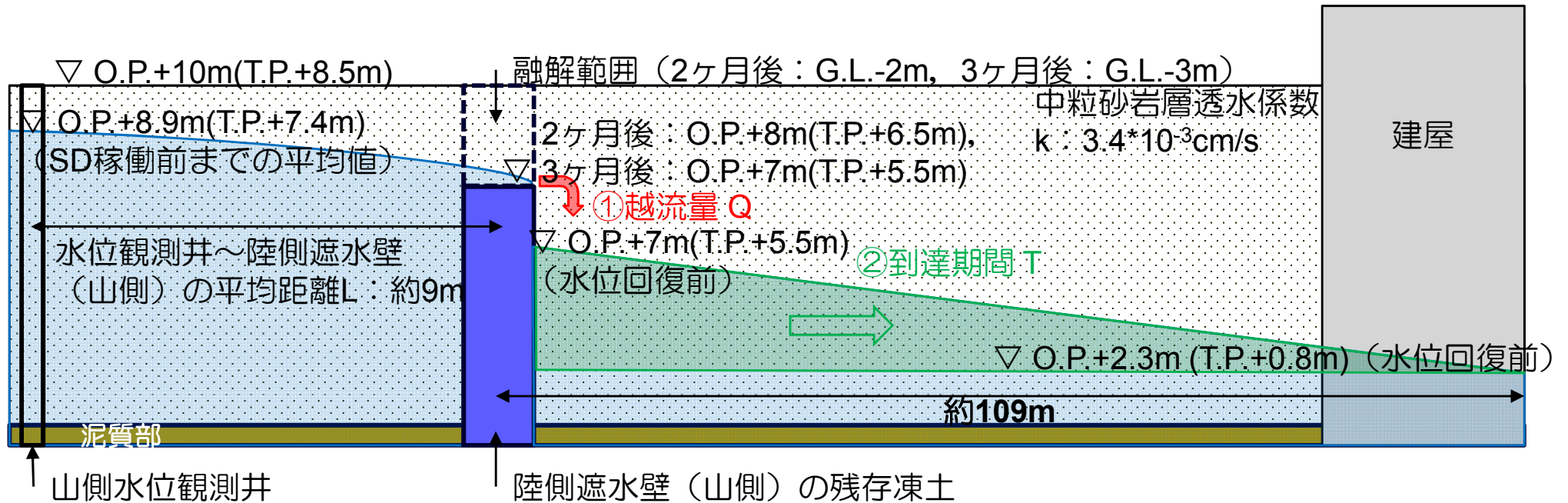
3. 地下水位の回復方策

- 2章において、絶対下限水位として平均潮位まで地下水位が低下した場合においても、地下水位と建屋水位の逆転は起きないことを示した。
- 本章では、更に、万が一の事態に備え、建屋周辺の地下水位が絶対下限水位（平均潮位）まで低下するような異常時における地下水位の回復方策について、検討した。
- 地下水位を回復させるには、サブドレンの停止に加えて、以下の方策がある。
 - 凍土の自然融解
 - 凍土壁の部分撤去
 - 注水井への注水
- これらの方策が、想定外の最悪の条件下での極端な地下水位低下に対しても有効であることを述べる。

- 陸側遮水壁（山側）閉合後，地下水位の予期せぬ低下が起きた場合に，地下水位を回復させるのに要する期間について，想定外の最悪の条件で検討する。
 - 地下水位の予期せぬ低下の発生要因：海側遮水壁の遮水性喪失
 - 陸側遮水壁：（山側）遮水性100%（初期状態）
（海側）遮水性0%（継続）
 - 降雨：降雨がない期間が継続
 - 建屋水位：1号タービン建屋最低排水レベル（O.P.+2.2m(T.P.+0.7m)）まで滞留水移送による低下実施（低下速度：0.01m/日，以下の各ケース共通）
 - 目標地下水位回復レベル：O.P.+3.2m
（T.P.+1.7m，1号タービン建屋最低排水レベル+1m）
 - 異常時に以下の対策を施した場合の地下水位回復期間を評価
 - ① 凍結運転停止→自然融解→地下水流入
 - ② 凍土壁の部分撤去実施→地下水流入
 - ③ 注水井への注水

陸側遮水壁閉合後 異常時に地下水位回復までに要する期間 (①自然融解) 計算条件

- 水位低下確認後，凍結運転を停止。同時に建屋水位低下開始。
- 凍結運転停止後，2ヶ月後に地表-2m，3ヶ月後に地表-3mの凍土が融解※1（地表-3m以深の融解は考えない），融解範囲より地下水が越流。 ※1 小規模凍土実証試験結果による（詳細は参考1 p.25参照）
- 越流した地下水が建屋周辺まで到達，到達後サブドレン水位が上昇。

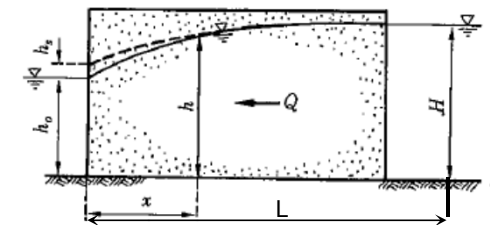


①越流量Q (右図参照) :

- 2ヶ月後：約70m³/day (延長500m, 地表-2m融解) L=9m, H=0.9(=8.9-8)m, h₀=0m
 - 3ヶ月後以降：約300m³/day (延長500m, 地表-3m融解) L=9m, H=1.9(=8.9-7)m, h₀=0m
- (2~3ヶ月間は一定速度でG.L.-2~3mの範囲が融解し，それに応じて越流量が増加するものとして算定)

②到達期間T：(凍結運転停止3ヶ月後) 約1.2ヶ月

陸側遮水壁 (山側) ~ 建屋周辺まで地下水が到達し，建屋周辺の地下水が上昇し始めるまでの期間※2



$$Q = \frac{k}{2L} (H^2 - h_0^2)$$

定常一次元地下水流と仮定

(「地下水工学 (河野,1989)」より引用, 加筆)

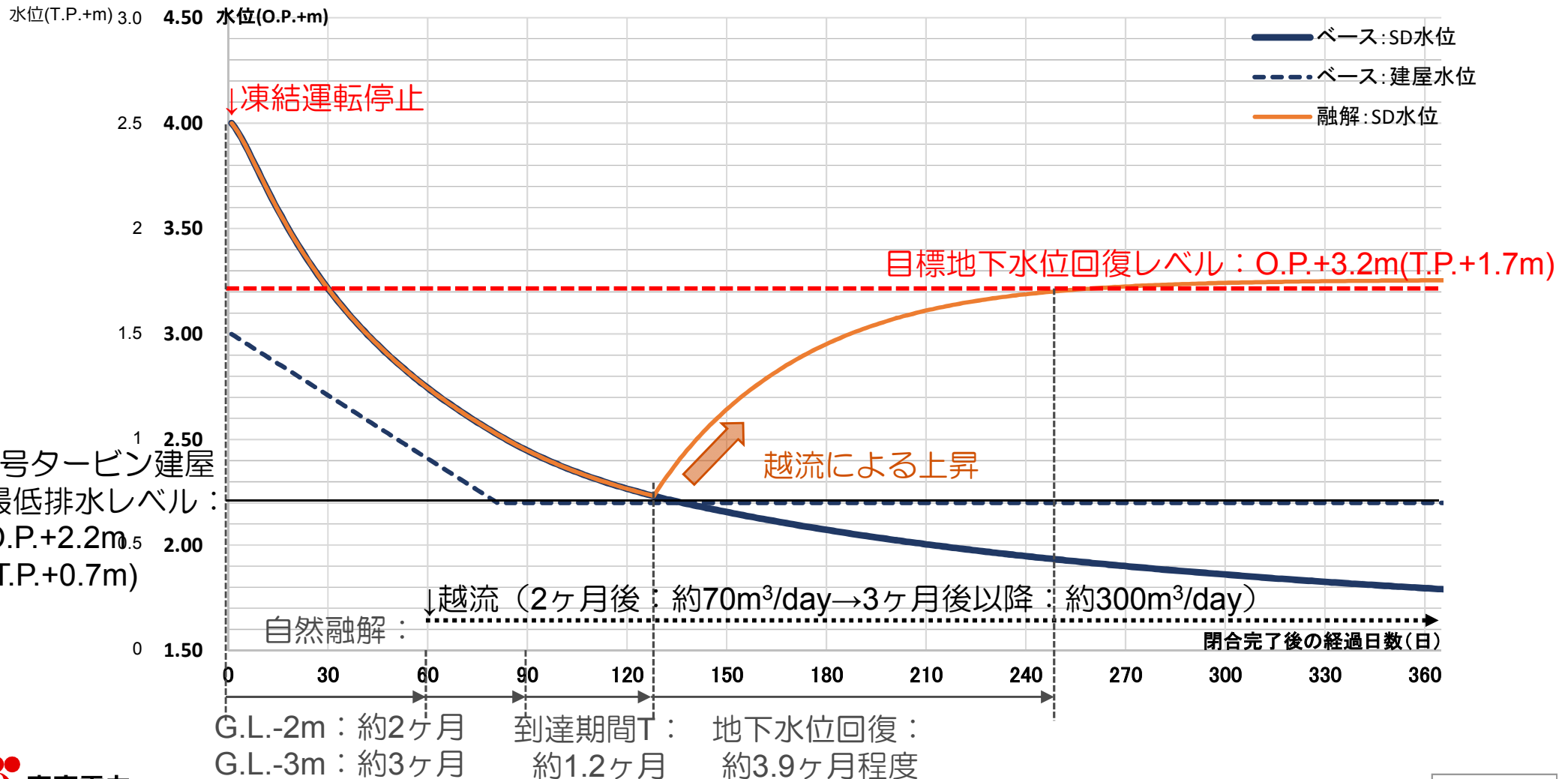
※2 断面積は定常状態でバランスする水位，奥行き延長は一樣 (約500m) を仮定

陸側遮水壁閉合後 緊急時に地下水位回復までに要する期間（①自然融解） 計算結果

■ 凍結運転停止・自然融解により地下水位を回復させる場合、「地下水位低下前の水位（建屋水位+1m）」まで地下水位が回復するまでに必要な期間は以下の通り評価した。

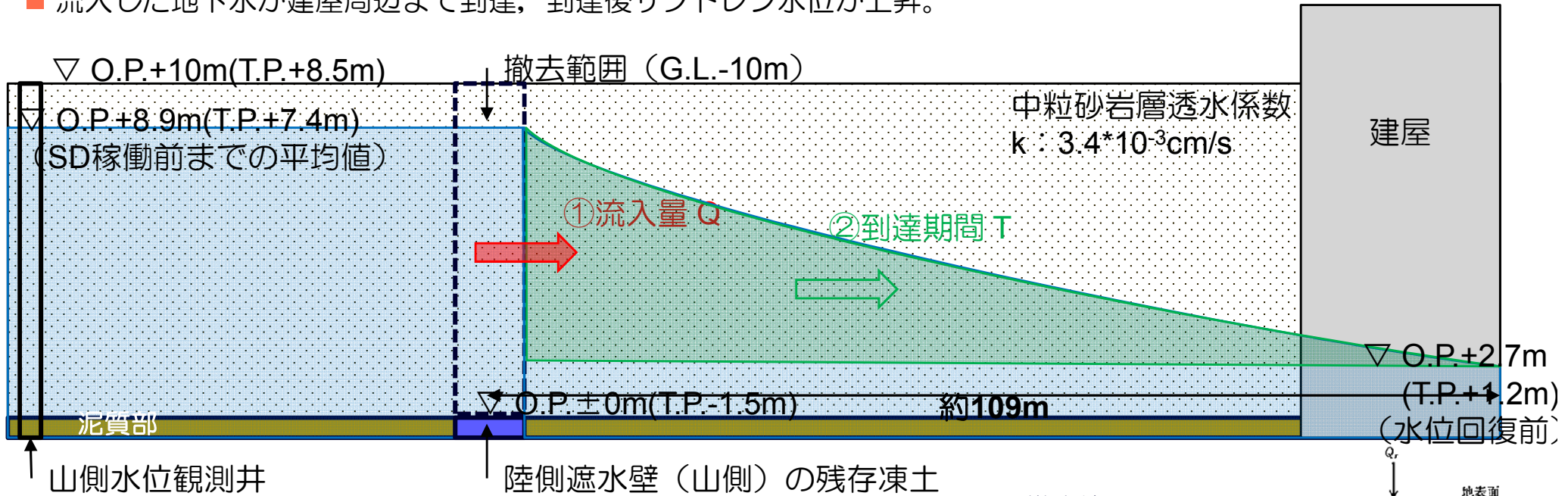
約8.1ヶ月間（自然融解：約3ヶ月 + 到達期間：約1.2ヶ月 + 地下水位回復：約3.9ヶ月）

■ 想定外の最悪の条件（「海側遮水壁の遮水性喪失」，「無降雨期間継続」）であっても，建屋周辺の地下水位（サブドレン水位）は1号タービン建屋最低排水レベル（O.P.+2.2m(T.P.+0.7m)）以上であり，水位は逆転しない。



陸側遮水壁閉合後 緊急時に地下水位回復までに要する期間（②部分撤去） 計算条件

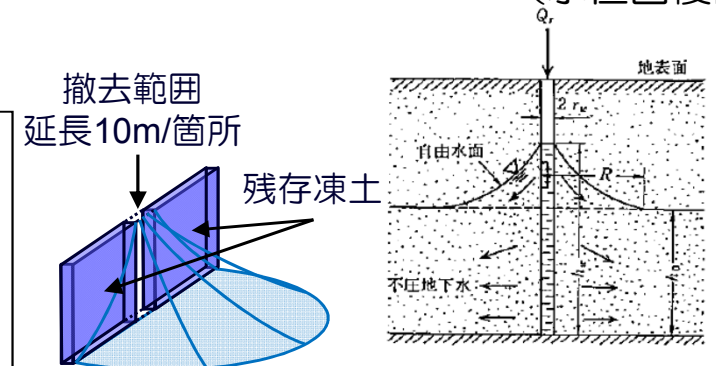
- 水位低下確認後，部分撤去作業を準備（約0.7ヶ月），撤去作業を実施（約1ヶ月）。同時に建屋水位低下開始。
- 部分撤去作業開始後，撤去範囲（深度：地表約-10m，延長：約50m）より地下水が流入。
- 流入した地下水が建屋周辺まで到達，到達後サブドレン水位が上昇。



①流入量Q（右図参照）：
 約470m³/day（撤去延長10m×5箇所）
 ※ $h_w=8.9m, h_0=2.7m, R=109m, r_w=3.2m$ （撤去延長10mに相当する井戸半径）
 （撤去期間中は撤去延長分に相当する流入量を段階的に増加し算定）
 （地下水位の回復に伴い減少）

②到達期間T：（撤去完了後）約0.6ヶ月
 陸側遮水壁（山側）～建屋周辺までの地下水が到達し，建屋周辺の地下水が上昇し始めるまでの期間※

※ 右図の撤去範囲からの流入が定常状態でバランスする体積を仮定



$$Q_r = \frac{\pi k (h_w^2 - h_0^2)}{2.3 \log_{10} \frac{R}{r_w}}$$

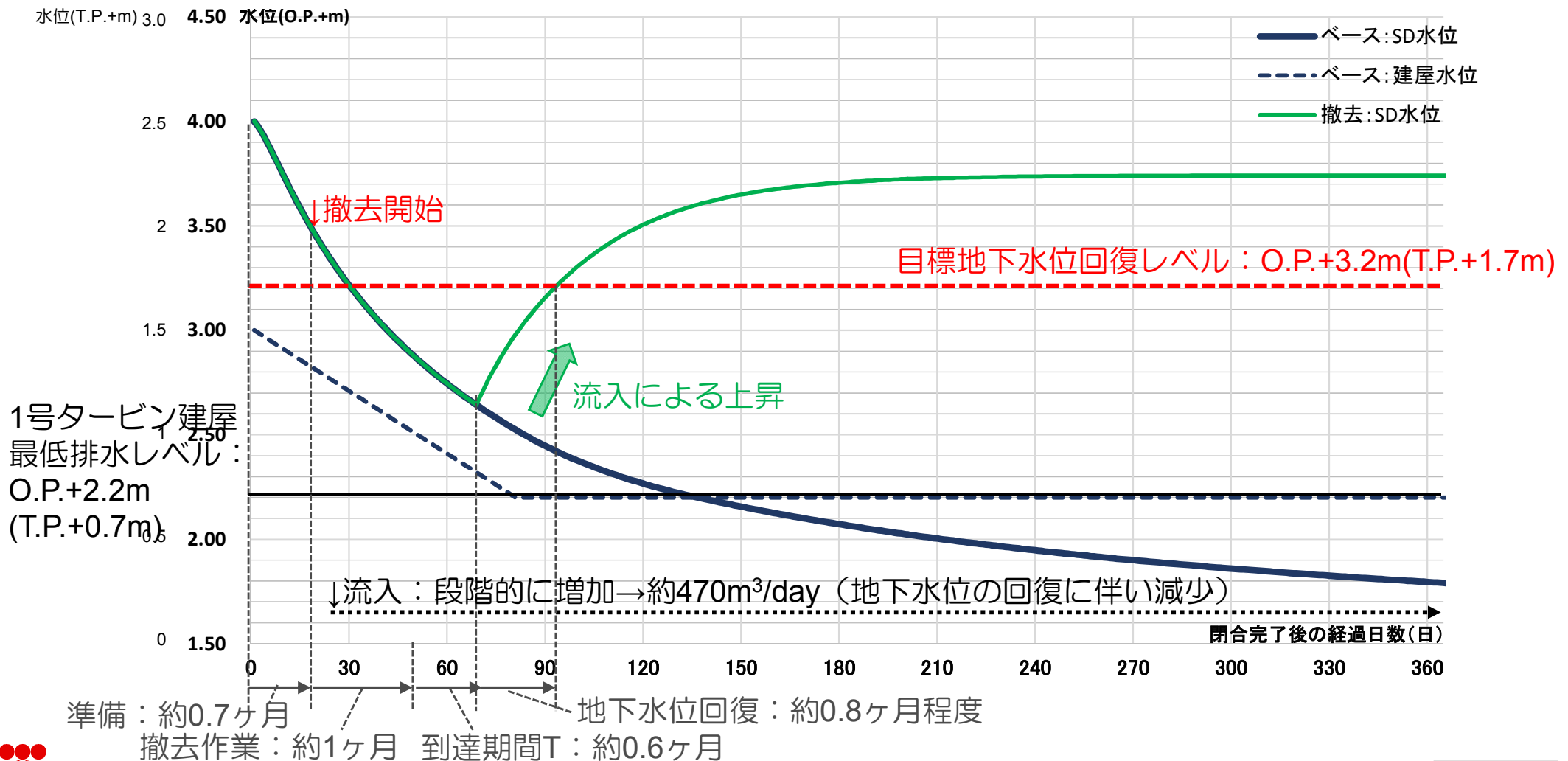
撤去箇所からの流入を
 注水井戸からの注水時の定常地下水流と仮定
 （「根切り工事と地下水-調査・設計から
 施工まで-（地盤工学会,1991）」より引用）

陸側遮水壁閉合後 緊急時に地下水位回復までに要する期間（②部分撤去） 計算結果

■ 凍土壁の部分撤去実施により地下水位を回復させる場合、「地下水位低下前の水位（建屋水位+1m）」まで地下水位が回復するまでに必要な期間は以下の通り評価した。

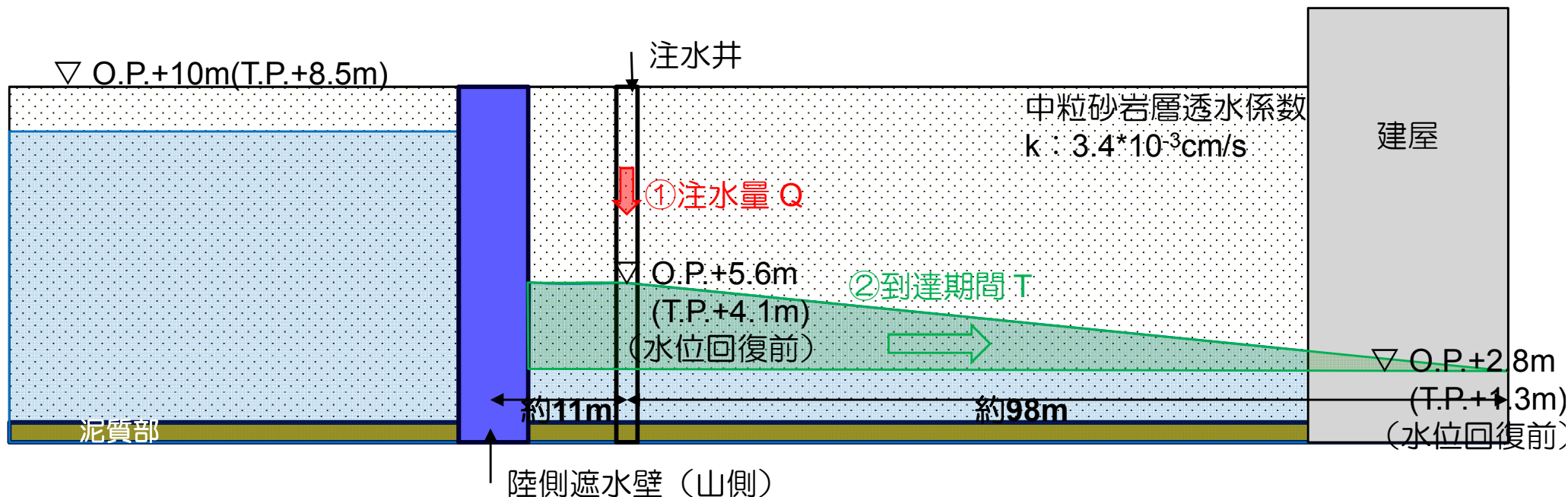
約3.1ヶ月間（撤去作業準備・実施：約1.7ヶ月 + 到達期間：約0.6ヶ月 + 地下水位回復：約0.8ヶ月）

■ 想定外の最悪の場合（「海側遮水壁の遮水性喪失」，「無降雨期間継続」）であっても，建屋周辺の地下水位（サブドレン水位）は1号タービン建屋最低排水レベル（O.P.+2.2m(T.P.+0.7m)）以上であり，水位は逆転しない。



陸側遮水壁閉合後 緊急時に地下水位回復までに要する期間 (③注水) 計算条件

- 地下水位低下確認後，注水井への注水開始。同時に建屋水位低下開始。
- 注水した地下水が建屋周辺まで到達，到達後サブドレン水位が上昇。



①注水量Q：約360m³/day（一定流量継続）※1

※1 総注水量のうち，3/4が10m盤水位（サブドレン水位），1/4が4m盤水位に寄与すると仮定

②到達期間T：約1.9ヶ月

陸側遮水壁（山側）～建屋周辺まで地下水が到達し，建屋周辺の地下水が上昇し始めるまでの期間※2

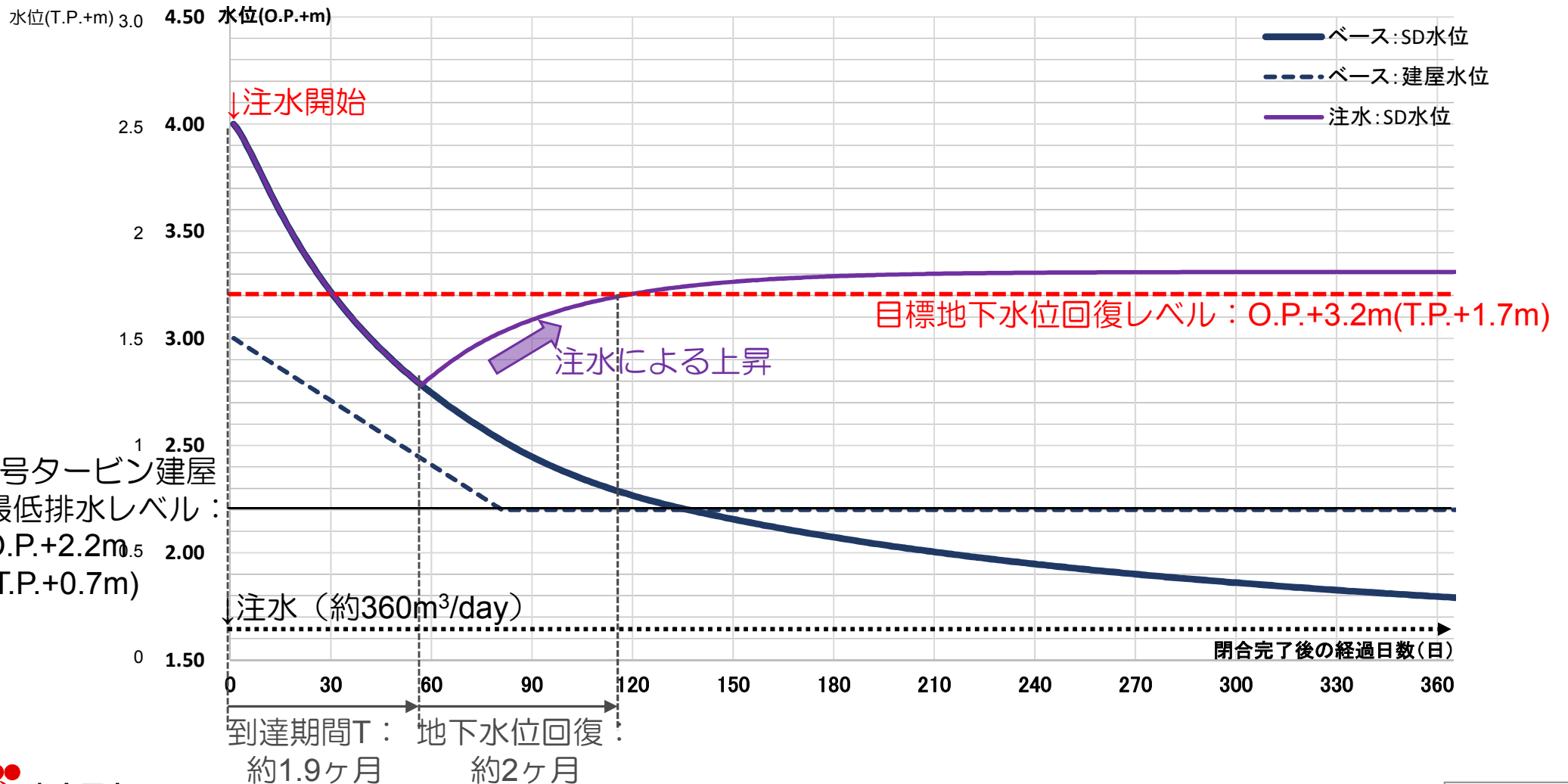
※2 断面積は定常状態でバランスする水位，奥行き延長は一様（約500m）を仮定

陸側遮水壁閉合後 緊急時に地下水位回復までに要する期間 (③注水) 計算結果

- 注水により地下水位を回復させる場合、「地下水位低下前の水位（建屋水位+1m）」まで地下水位が回復するまでに必要な期間は以下の通り評価した。

約3.9ヶ月間（到達期間：約1.9ヶ月 + 地下水位回復：約2ヶ月）

- 想定外の最悪の場合（「海側遮水壁の遮水性喪失」，「無降雨期間継続」）であっても，建屋周辺の地下水位（サブドレン水位）は1号タービン建屋最低排水レベル（O.P.+2.2m(T.P.+0.7m)）以上であり，水位は逆転しない。



地下水位の回復方策（まとめ）

- 陸側遮水壁（山側）閉合後，想定外の最悪の場合（「海側遮水壁の遮水性喪失」，「無降雨期間継続」）に，地下水位を回復させるのに要する期間は，以下のように評価した。
 - ①凍結運転停止→自然融解→地下水流入：約8.1ヶ月
 - ②凍土壁の部分撤去実施→地下水流入：約3.1ヶ月
 - ③注水井への注水：約3.9ヶ月

- この間，建屋滞留水の低下速度を0.01m/日として評価した結果，上記の方策を講じることにより，建屋周辺の地下水位は1号タービン建屋最低排水レベル（O.P.+2.2m(T.P.+0.7m)）以上であり，水位は逆転しない。

- また，上記の方策を複合的に運用すること，並びに地下水位の低下原因を究明し，必要な対策を実施することで，回復までの期間を短縮し，余裕をもって水位回復することができる。

4. 海側閉合時の評価

【Ⅱ.4-2.①,②,③】

4. 陸側遮水壁 山側閉合と海側閉合の水位逆転リスク

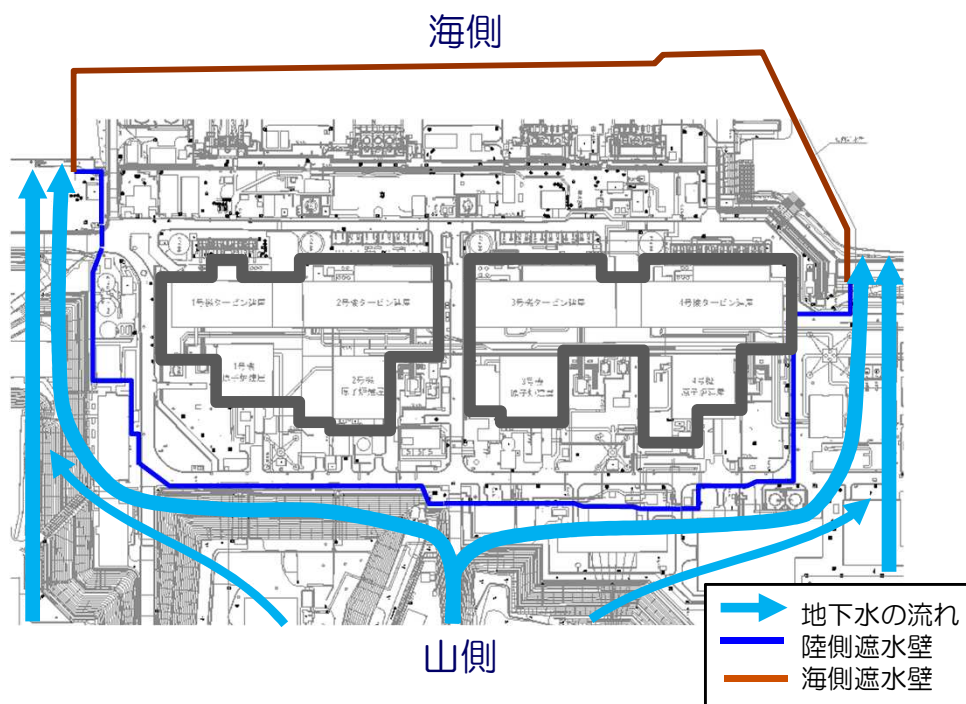
- 水位逆転回避の観点から遮水壁閉合の手順を地下水位変動に着目して考えると、山側を閉合する場合、周辺地下水と建屋内滞留水の水位差は縮まる傾向になると考えられる。
(理由) 山側の凍結後、遮水壁内側の地下水位が低下し、建屋周辺の地下水位も低下するが、建屋周辺地下水の行先は建屋内への流入以外考えにくく、直接的に建屋内外水位の逆転につながるとは考えられないものの、周辺地下水位は建屋内滞留水の水位に漸近する。
- 一方、海側を閉合する場合、周辺地下水と建屋内滞留水の水位差は広がる傾向になると考えられる。
(理由) 海側の凍結後、陸側遮水壁海側の上流で水が堰止められ、まずは建屋周辺地下水の水位が先行して上昇し、その水が建屋内に流れ込んで建屋内の水位を遅れて押し上げるため。
- 以上のように、山側を閉合させた場合に比べ、海側を閉合させた場合の方が、建屋内外水位の逆転リスクが低いと言える。
- 本章では、海側を閉合した場合において、地下水環境や地下水収支へ与える影響を評価する。

陸側遮水壁（海側）が環境に及ぼす影響[Ⅱ.4-2.②]

- 陸側遮水壁（山側）を運用しない場合は、建屋近傍の汚染されたエリアを通過した地下水が、護岸付近に到達する可能性があるため、その影響を評価する。

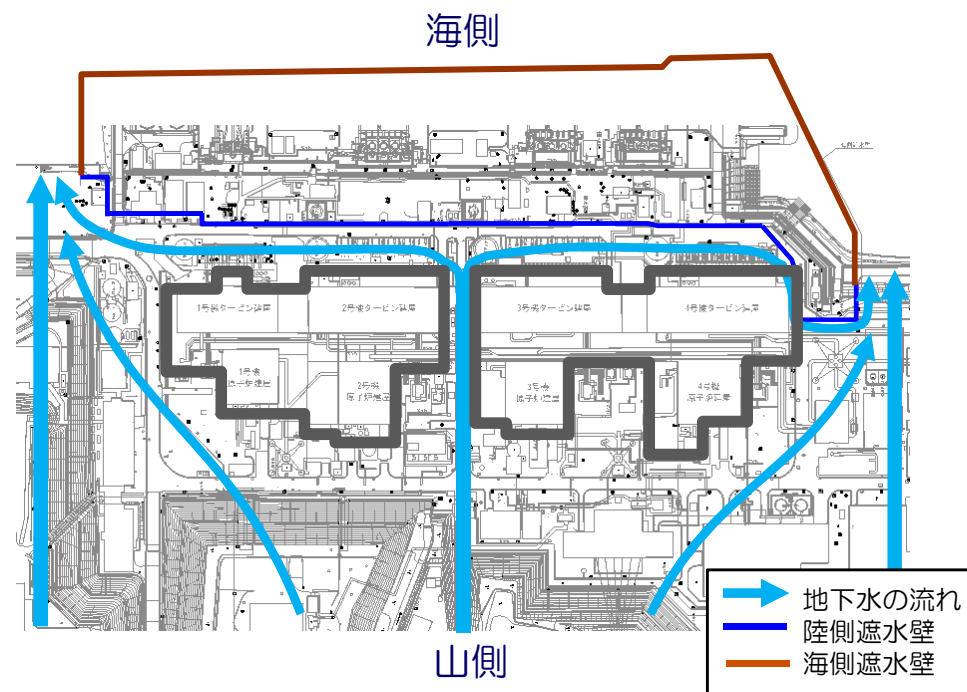
陸側遮水壁（山側）を運用する場合

- 山側から流れ込む地下水は陸側遮水壁（山側）の南北両側を流れて、最終的には護岸付近へ到達する
- そのため、建屋近傍の汚染されたエリアに地下水が近づくことはない



陸側遮水壁（山側）を運用しない場合

- 山側から流れ込む地下水は陸側遮水壁（海側）の南北両脇を流れて、最終的には護岸付近へ到達する
- そのため、建屋近傍の汚染されたエリアを通過した地下水が護岸付近に到達する可能性がある



建屋周辺（海側）の地下水濃度測定結果（セシウム-137）

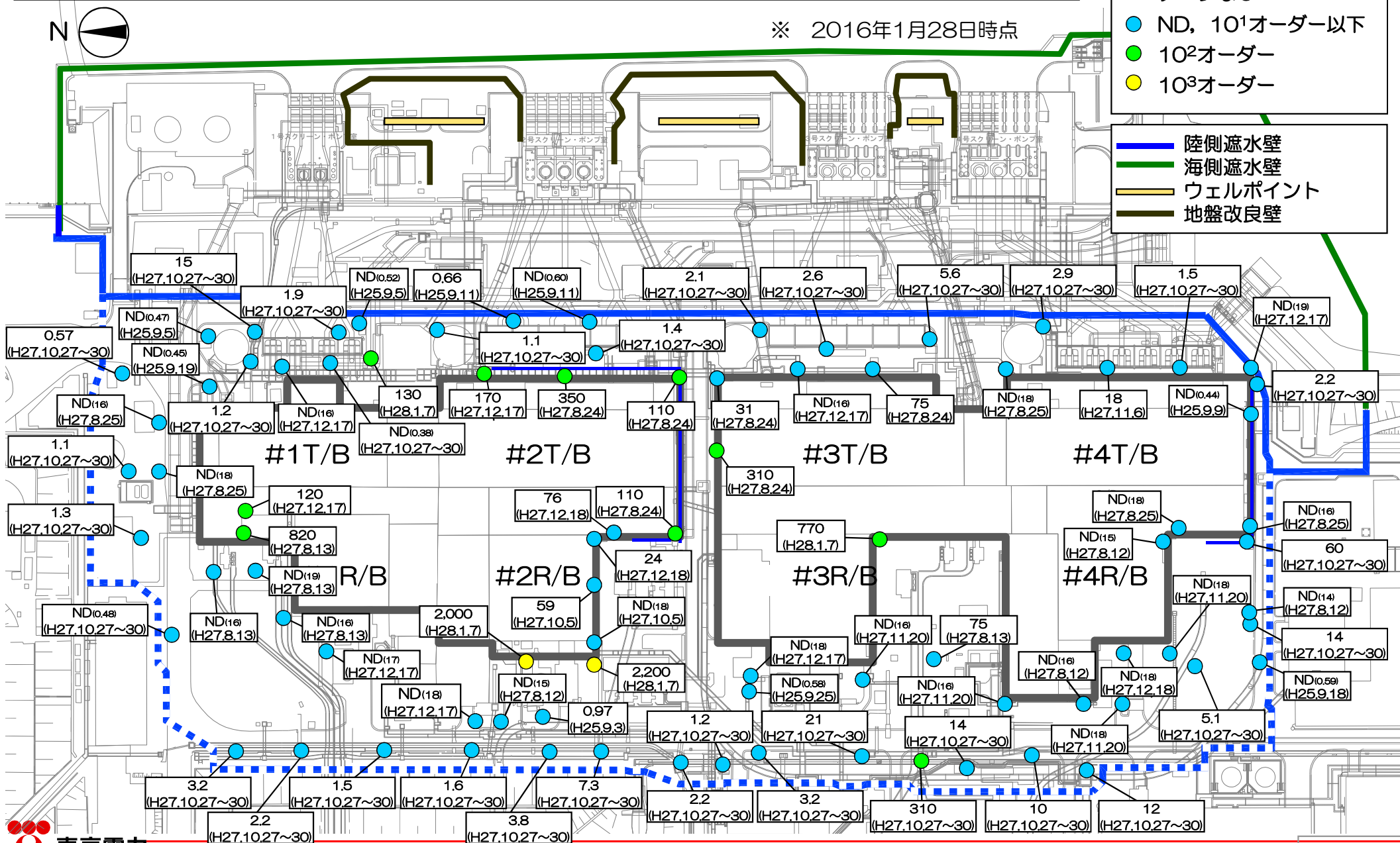
- 2号機建屋山側ではセシウム-137は 10^3 Bq/Lオーダーが検出されている。
- また1, 2号機建屋海側では, 10^2 Bq/Lオーダーが検出されている。

※ 2016年1月28日時点

放射性物質濃度 (Bq/L)

- データなし
- ND, 10^1 オーダー以下
- 10^2 オーダー
- 10^3 オーダー

- 陸側遮水壁
- 海側遮水壁
- ウェルポイント
- 地盤改良壁



建屋周辺（海側）の地下水濃度測定結果（トリチウム）

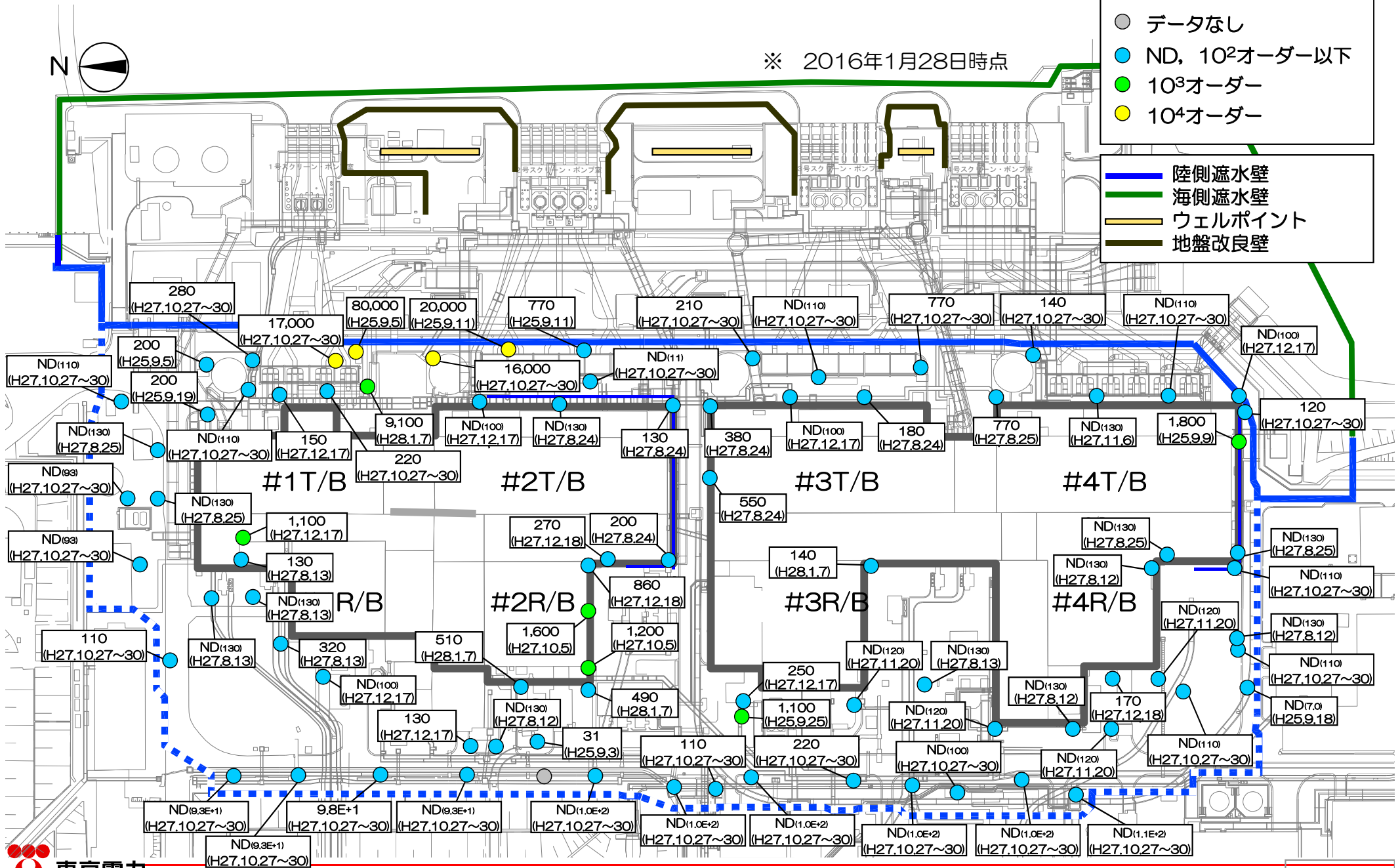
・トリチウムは1, 2号機建屋海側付近で 10^4 Bq/Lオーダーが検出されている。

放射性物質濃度 (Bq/L)

- データなし
- ND, 10^2 オーダー以下
- 10^3 オーダー
- 10^4 オーダー

- 陸側遮水壁
- 海側遮水壁
- ウェルポイント
- 地盤改良壁

※ 2016年1月28日時点



建屋周辺（海側）の地下水濃度測定結果（ストロンチウム-90）

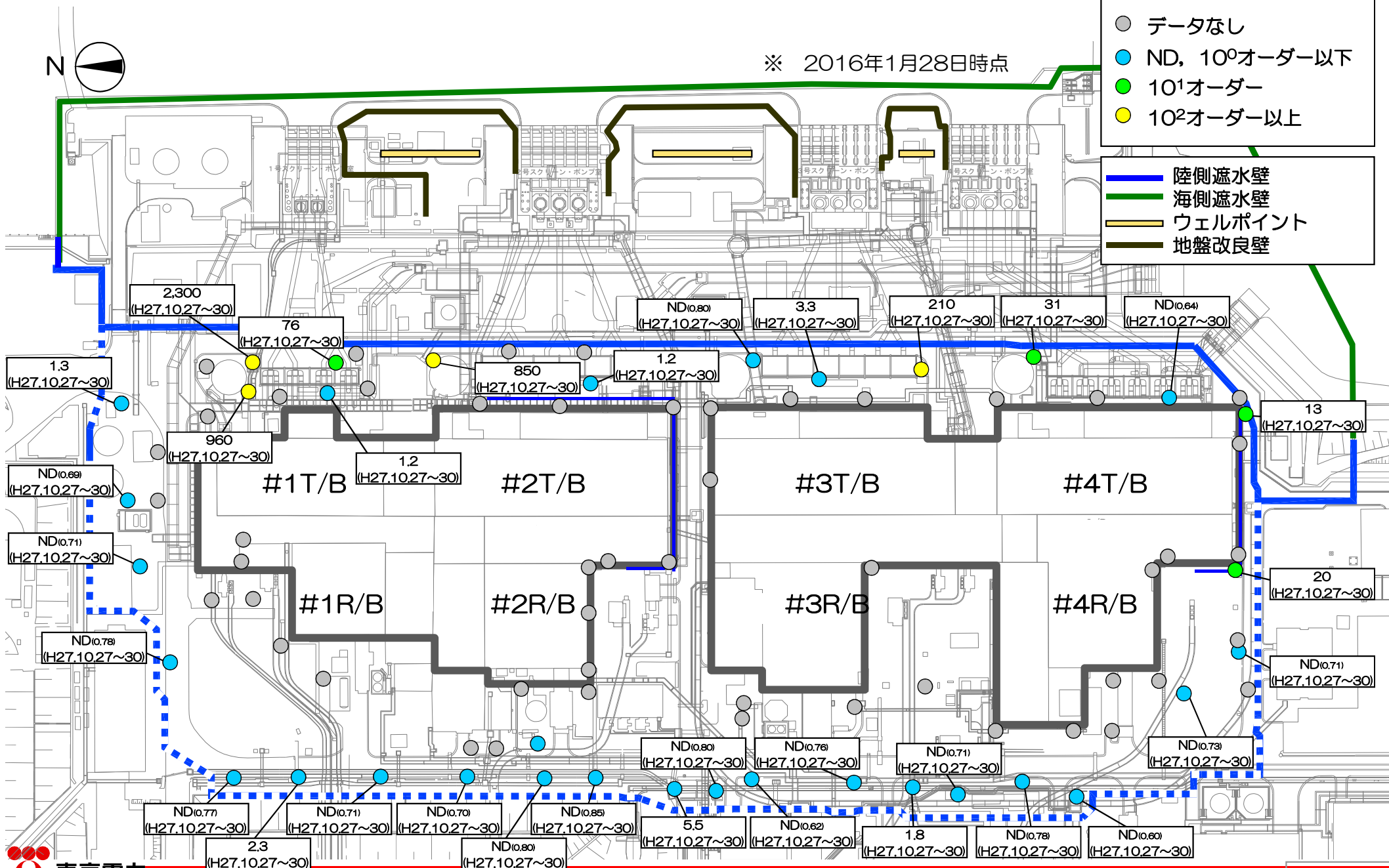
・ストロンチウム-90は、1号機付近で 10^3 Bq/Lオーダーが検出されている。

放射性物質濃度 (Bq/L)

- データなし
- ND, 10^0 オーダー以下
- 10^1 オーダー
- 10^2 オーダー以上

- 陸側遮水壁
- 海側遮水壁
- ウェルポイント
- 地盤改良壁

※ 2016年1月28日時点



評価概要

- 建屋近傍の汚染されたエリアを通過した地下水が、陸側遮水壁（海側）の北側へ流れて護岸に達した場合の影響について、移流分散解析により各評価地点における地下水中の核種の移行時間、濃度上昇幅を評価する。

評価概要

評価内容	<ul style="list-style-type: none">• 評価エリアから護岸までの流速を求めて、評価地点での地下水の放射性物質濃度の濃度変化を一次元移流分散解析を用いて評価する
評価エリア	<ul style="list-style-type: none">• 放射性物質濃度が高く護岸に近い建屋海側の北側エリア（1,2号機タービン建屋海側） ※南側エリアは放射性物質濃度が低く、また、陸側遮水壁（海側）ラインの配置上、護岸に到達しにくい ため、評価対象外とした
流出経路	<ul style="list-style-type: none">• 観測井から護岸まで構造物を迂回しながら最短距離となる経路
地下水位	<ul style="list-style-type: none">• 建屋海側の地下水位は陸側遮水壁（海側）のダムアップ効果により、現状の建屋山側の地下水位の最大値程度（T.P.+約5.5m(O.P.+約7.0m)）まで上昇したものと保守的に仮定
条件	<ul style="list-style-type: none">• 「海側閉合+山側段階的閉合」の場合、陸側遮水壁（山側）が閉合後は陸側遮水壁（海側）の両脇の流れは抑制されるが、本検討では陸側遮水壁（山側）を運用しないと仮定し、継続して流出した場合を想定した。
解析対象核種	<ul style="list-style-type: none">• Cs-137• H-3• Sr-90

検討ケース

- 以下の2ケースを想定して検討を行った。

ケース1：放射性物質濃度を平均値とした場合

- 1,2号機タービン建屋海側で測定された放射性物質濃度の平均値を、1,2号機タービン建屋のうち最も護岸に近い観測井から移流分散したものと仮定。

ケース2：放射性物質濃度を最大値とした場合

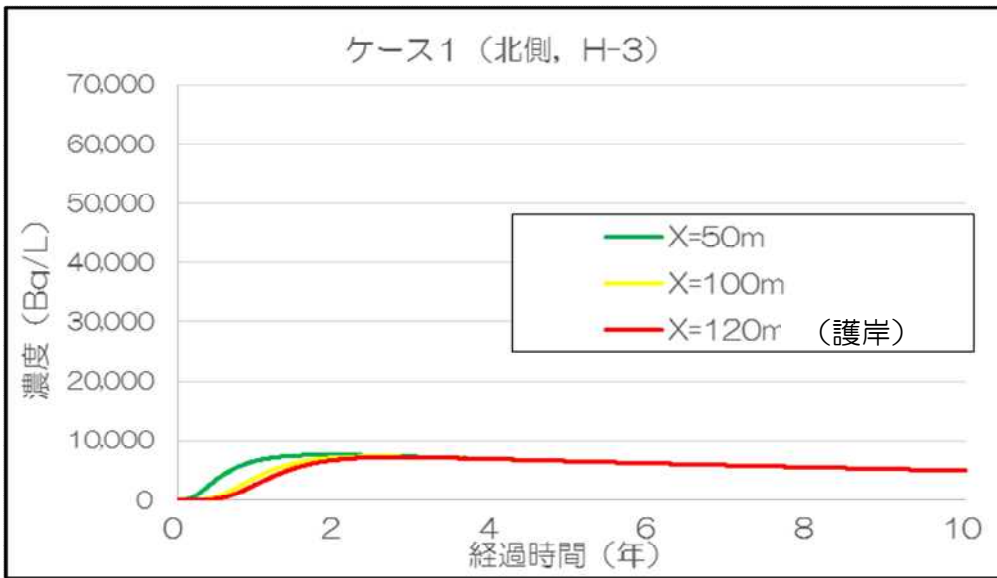
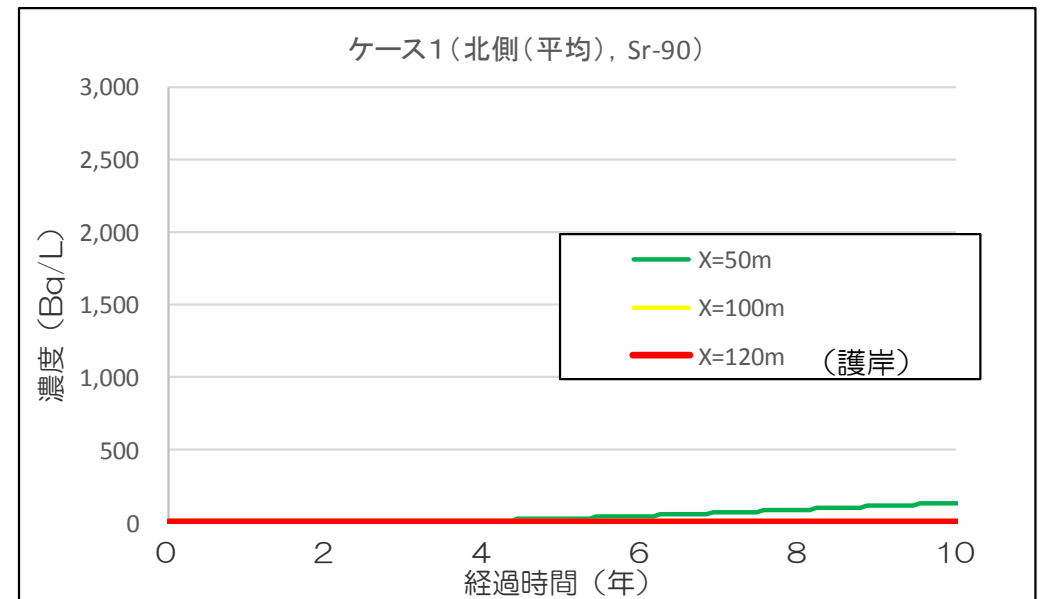
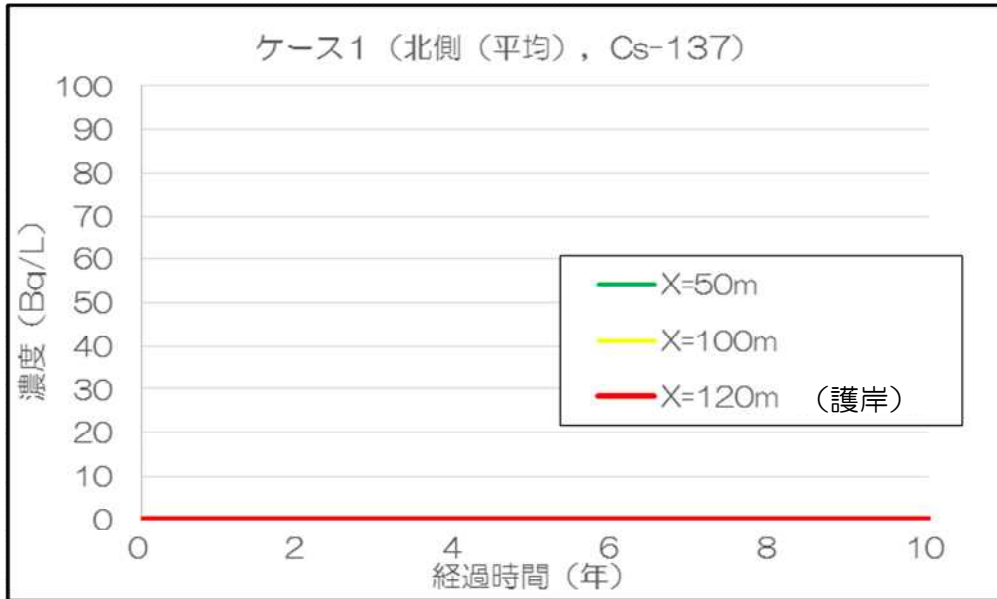
- 1,2号機タービン建屋海側で測定された放射性物質濃度の最大値を、測定された観測井から移流分散したものと仮定。

陸側遮水壁(海側)の両脇へ流れて地下水が護岸付近に達した場合の影響 検討ケース

	初期濃度			護岸付近までの移動距離	
	データ	対象核種	放射性物質濃度 (Bq/L)		
ケース1	北側(1,2号機建屋海側)の平均値	Cs-137	47	120m	・建屋海側近傍のうち、最も護岸に近い観測井から護岸までの距離
		H-3	8,600		
		Sr-90	700		
ケース2	北側(1,2号機建屋海側)の最大値	Cs-137 (SD26)	350	350m	・核種ごとに最大の放射性物質濃度が測定された観測井から護岸までの距離
		H-3 (1T-3)	80,000	160m	
		Sr-90 (RW30)	2,300	120m	

解析結果(1/2)

■解析結果：ケース1



(Cs-137)

- 北側護岸の (X=120m) での濃度上昇幅は、10年後で 0.1Bq/L未満である。

(H-3)

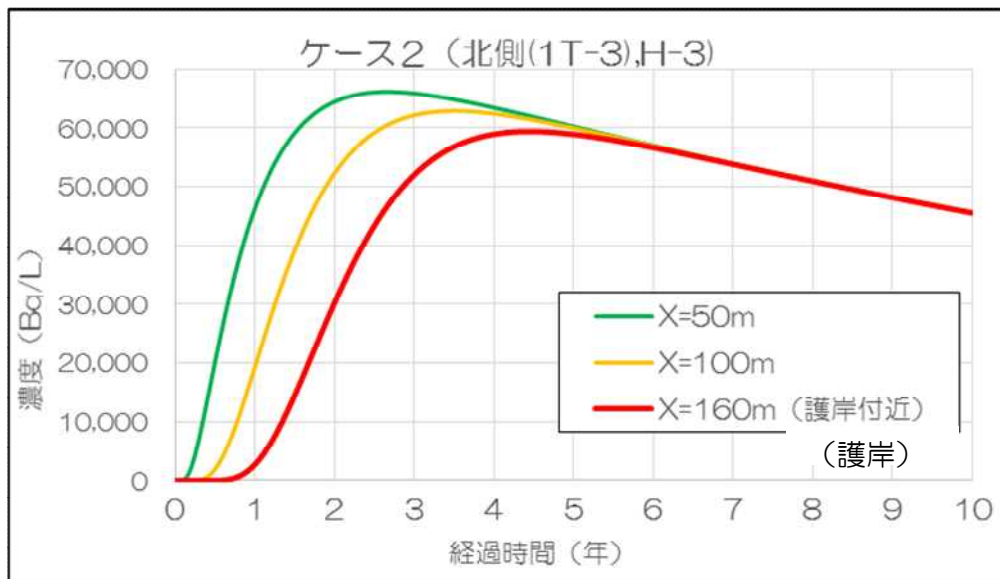
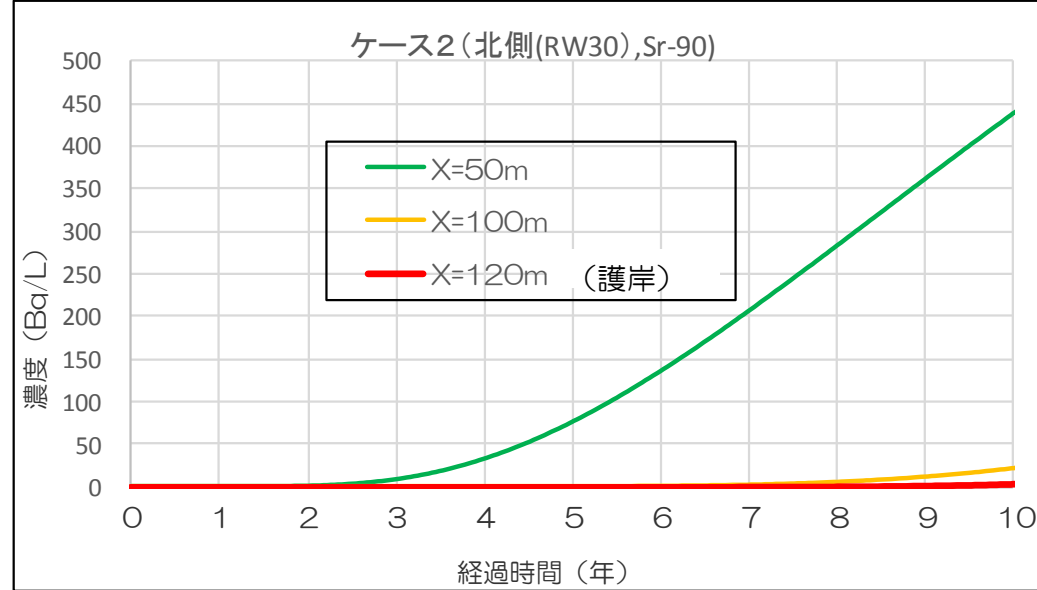
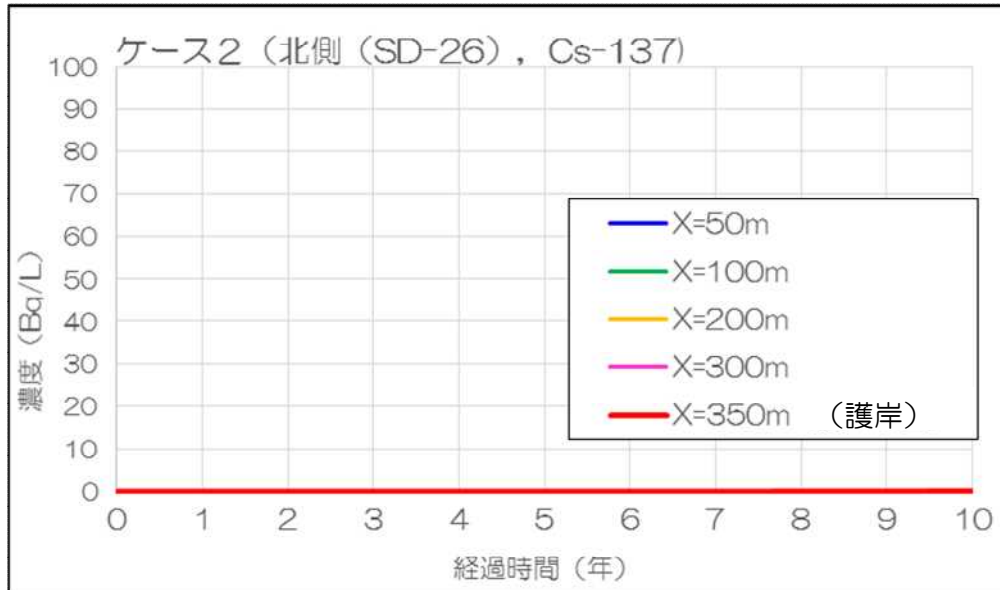
- 北側護岸 (X=120m) での濃度上昇幅は、3年後に 7,000Bq/L程度である。

(Sr-90)

- 北側護岸 (X=120m) での濃度上昇幅は、10年後に 1 Bq/L程度である。
- 護岸よりも距離が近い地点 (X=50m) での濃度上昇幅は、10年後に13Bq/L程度であるため、護岸でも時間をかけて徐々に上昇していくものと考えられる。

解析結果(2/2)

■解析結果：ケース2



- (Cs-137)
- 北側護岸 (X=350m) での濃度上昇幅は、10年後でゼロである。
- (H-3)
- 北側護岸 (X=160m) での濃度上昇幅は、4～5年後に59,000Bq/L程度である。
- (Sr-90)
- 北側護岸 (X=120m) での濃度上昇幅は、10年後に4Bq/L程度である。
 - 護岸よりも距離が近い地点 (X=50m) での濃度上昇幅は、10年後に440Bq/L程度であるため、護岸でも時間をかけて徐々に上昇していくものと考えられる。

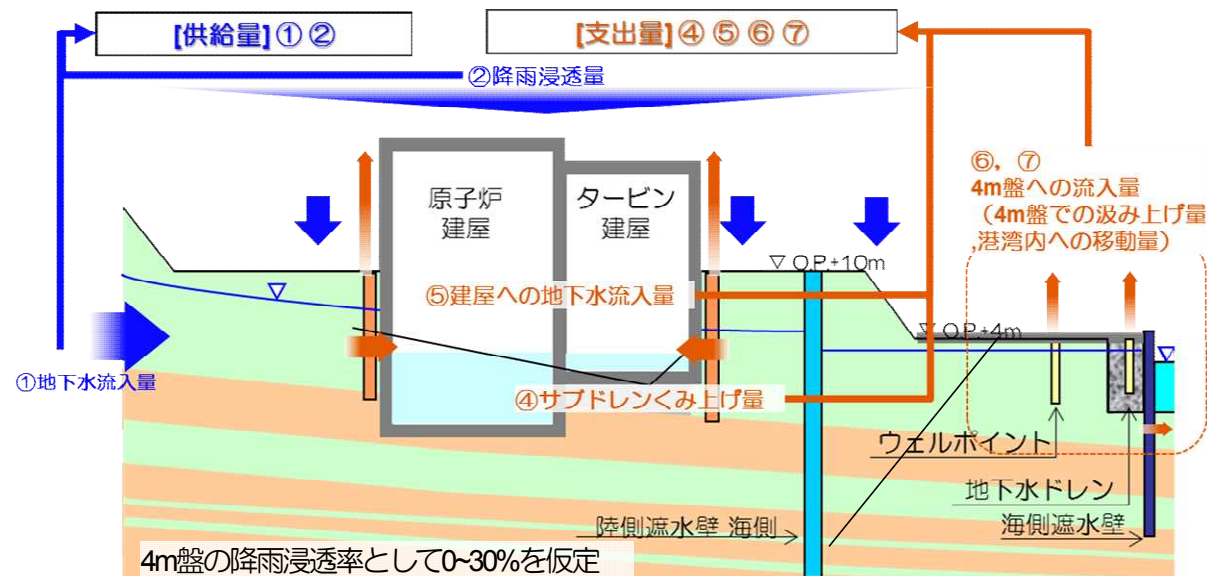
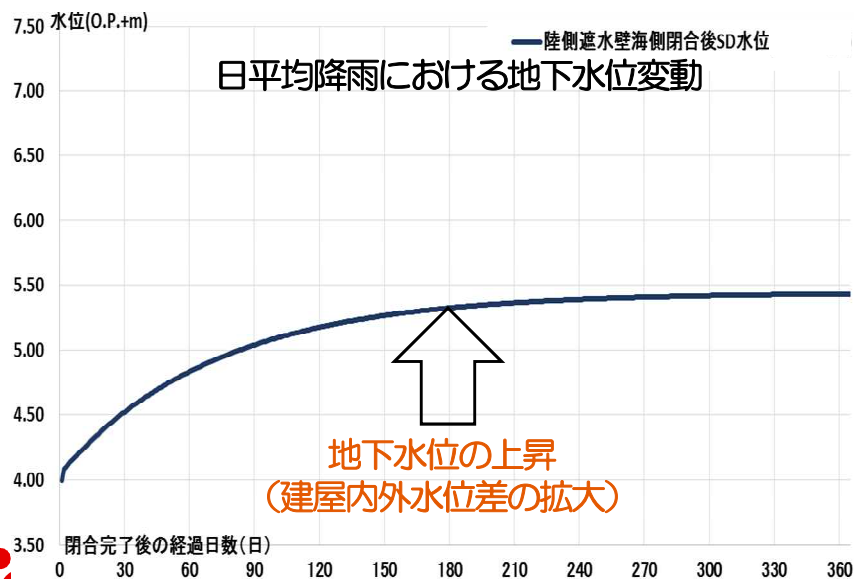
陸側遮水壁海側のみを閉じた場合の地下水収支【II.4-2.①③】

- 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 (m ³ /日) ①	降雨浸透量 (m ³ /日) ②	供給量計 (m ³ /日) ^{※1} ③=①+②	SD水位 (O.P.+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 ^{※2} (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	汚染水増加量 (m ³ /日) ⑨=⑤+(⑥-⑦) (⑥-⑦<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）

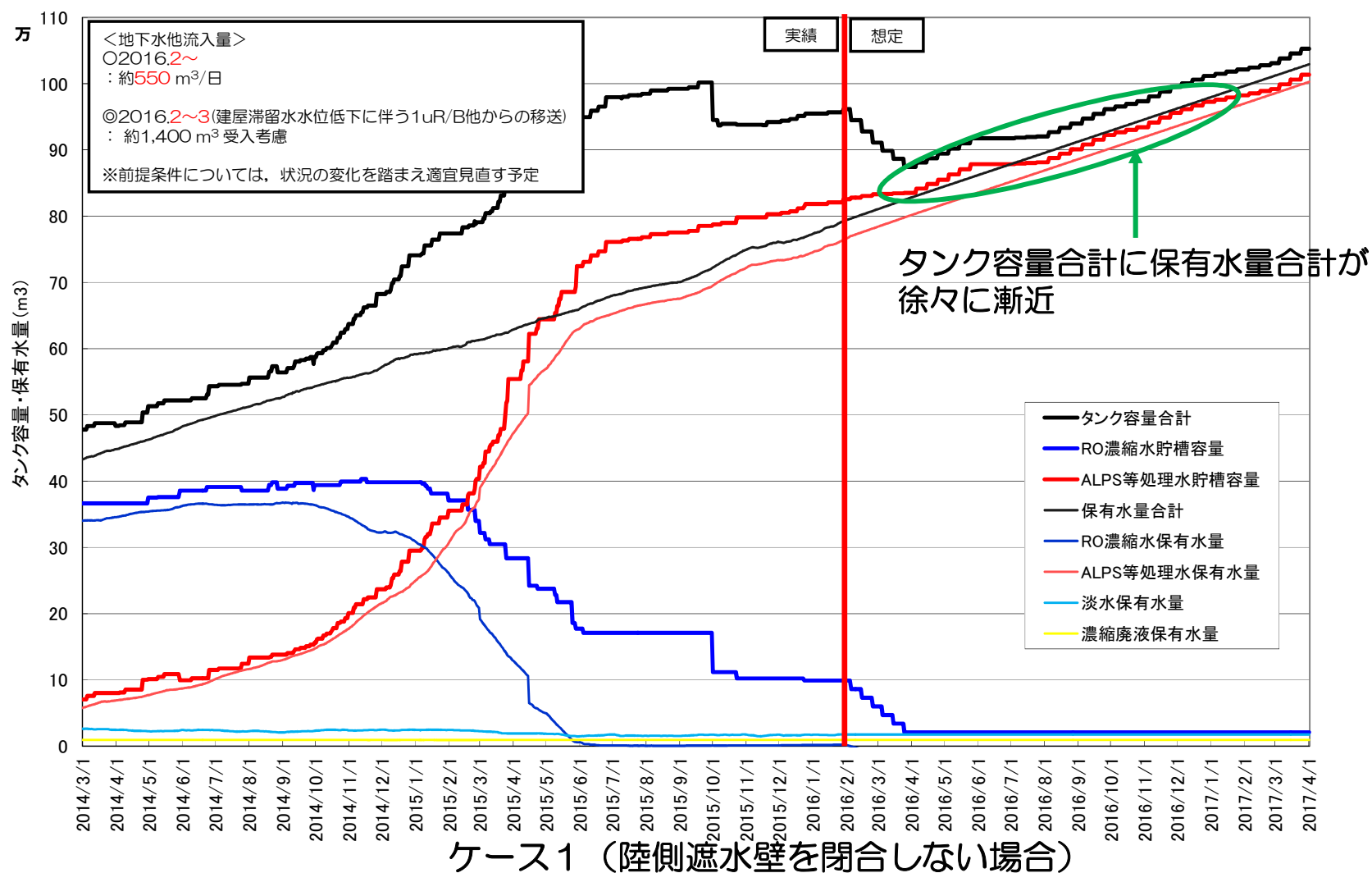
※2 うち50m³はサブドレンとともに排水と仮定



水バランス評価 (1 / 3)

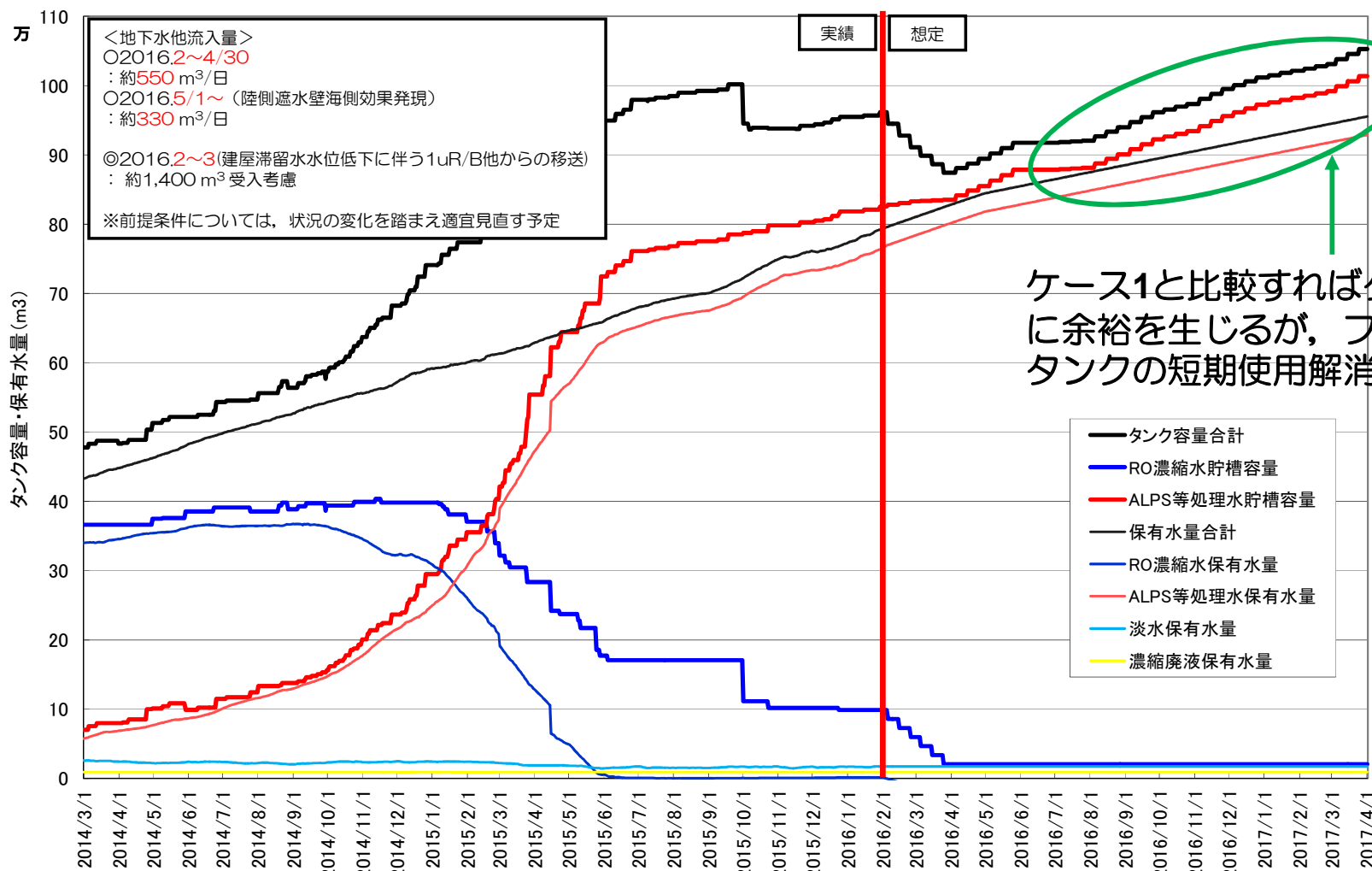
■ 汚染水の増加量が現状のまま継続した場合（ケース1），陸側遮水壁海側のみ閉合した場合（ケース2），陸側遮水壁海側閉合に加え山側を段階的閉合した場合（ケース3）の水バランスを評価

- ケース1の場合，タンク容量に対して汚染水貯蔵量が漸近（フランジ型タンクは継続使用）。また，2016年度以降の建屋滞留水処理の推進（建屋滞留水位の低下）も困難



水バランス評価（2／3）

- ケース2の場合，陸側遮水壁海側閉合による地下水流入抑制効果によりケース1よりもタンク容量に余裕が生じるが，Sr処理水を貯留しているフランジ型タンクの短期使用解消が困難。また，2016年度以降の建屋滞留水処理の推進（建屋滞留水位の低下）も困難

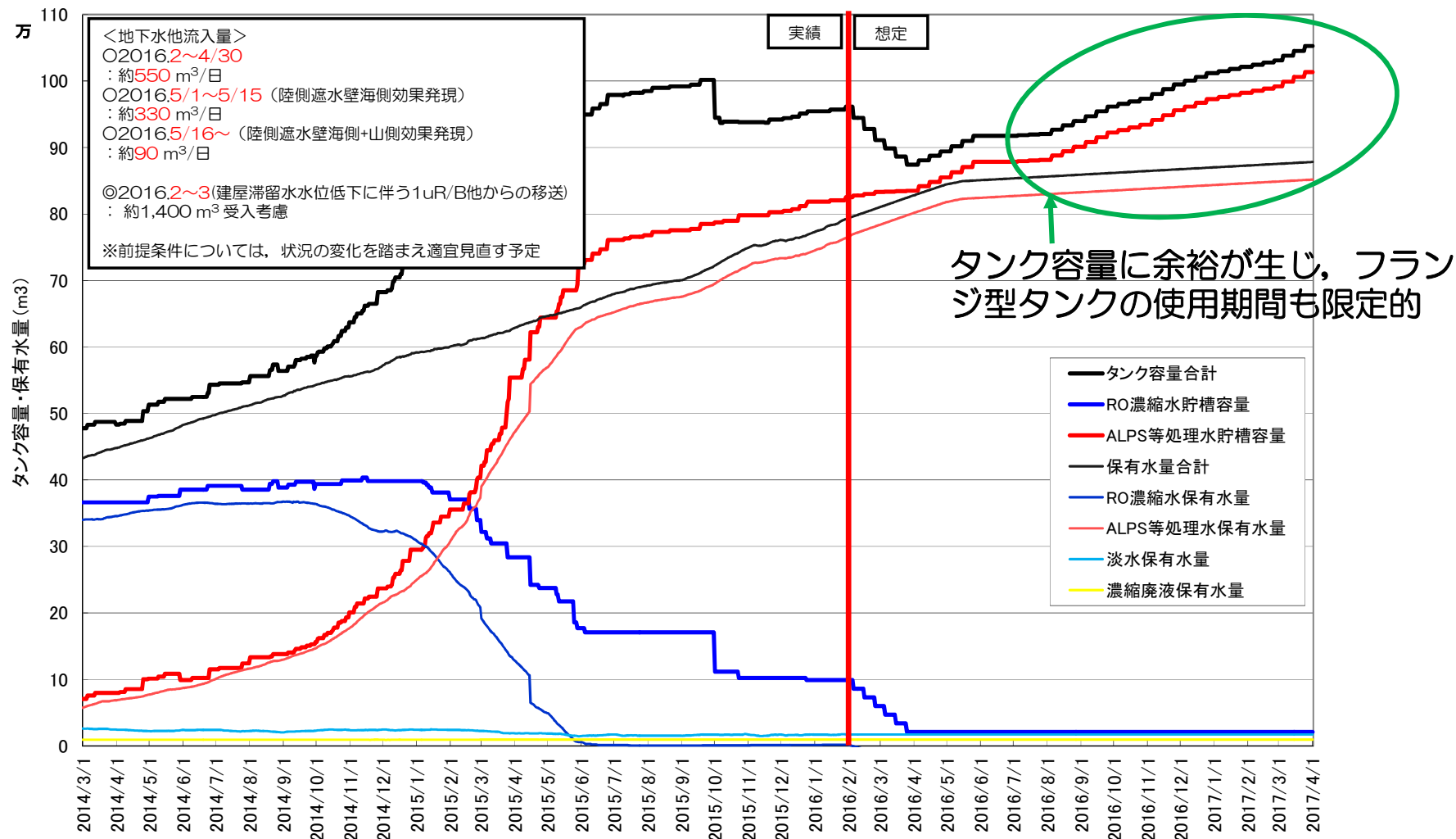


ケース1と比較すればタンク容量に余裕を生じるが，フランジ型タンクの短期使用解消が困難

ケース2（陸側遮水壁海側のみ閉合した場合）

水バランス評価 (3/3)

- ケース3の場合，陸側遮水壁海側及び山側閉合による地下水流入抑制効果により，タンク容量に余裕が生じ，フランジ型タンクに貯留しているSr処理水の処理が2016年度早期に完了。また，2016年度以降の建屋滞留水処理の推進（建屋滞留水位の低下）が可能



ケース3（陸側遮水壁海側閉合に加え山側を段階的閉合した場合）

- 陸側遮水壁の海側のみを閉合した場合、以下の状態が予想される。
 - 建屋周辺地下水位の上昇に伴い、建屋周辺の汚染が護岸周辺に到達する可能性がある。
(本検討では、1, 2号機タービン建屋海側を対象として検討したが、建屋山側の汚染エリア(2号機建屋山側付近)を通過した地下水も1号機建屋北側を經由して護岸に到達することから、この地下水が、1,2号機タービン建屋海側を流れる地下水に加わる可能性がある。)
 - サブドレンの汲み上げ量増加により、水処理二次廃棄物発生量が増加する
 - サブドレン他処理水の港湾内への排水量が増加する
 - 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

- 陸側遮水壁の海側のみ閉合した場合の水バランスを評価した結果、現状に比べタンク容量に余裕が生じるが、Sr処理水を貯留しているフランジ型タンクの短期使用解消が困難。2016年度以降の建屋滞留水処理の推進(建屋滞留水位の低下)も困難となった。また、海側に加え山側を段階的閉合した場合についても評価した結果、タンク容量にさらに余裕が生じ、フランジ型タンクに貯留しているSr処理水が処理が2016年度早期に完了。また、2016年度以降の建屋滞留水処理の推進(建屋滞留水位の低下)が可能となった。

- 以上より、極力早期に陸側遮水壁の山側を閉合することが望ましい。

5. 地下水遮断率に応じた地下水位低下想定【Ⅱ.4-1.(1)③,⑤】

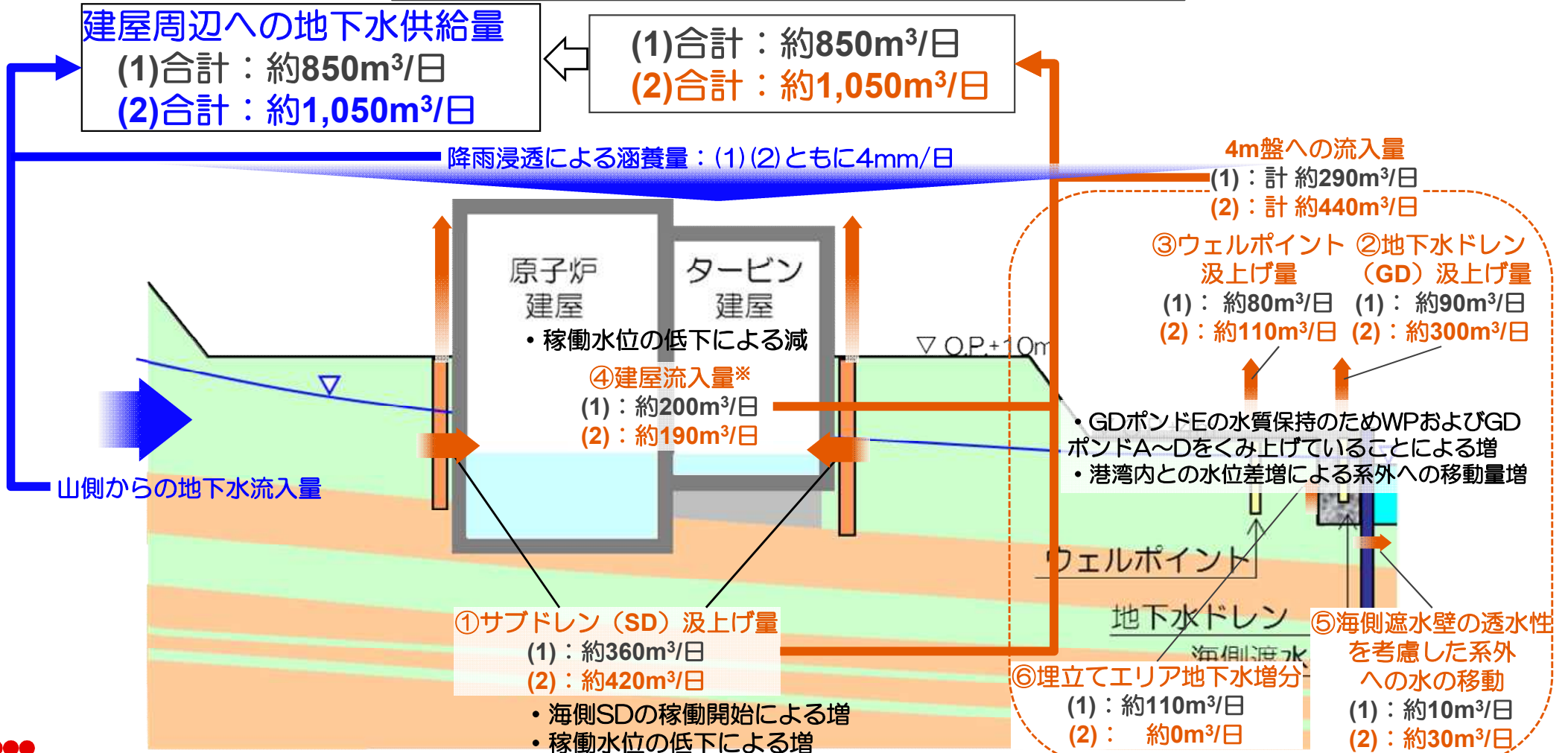
地下水遮断率に応じた地下水位低下想定

- 本章では、原子力規制庁から示された段階的閉合の適用性を評価するために、山側からの地下水流入を段階的に遮断することによる、建屋周辺地下水位の低下および水収支の変化を検討した。（以下、地下水流入量の減少率のことを地下水遮断率と呼称する）
- その場合に、最小降雨を考慮した地下水位の低下速度は約0.007m/日となり、2章で示した建屋滞留水の低下速度（0.01m/日）に対し余裕があり、建屋内外水位差が逆転しないことを示す。なお、3章で示した通り、降雨がない場合においても、地下水位と建屋水位間の水位差管理を行っていることから、逆転しない。
- なお、地下水位の低下想定に先だって、第38回監視・評価検討会にて示した建屋周辺へ地下水供給量約850m³/日を、検討会以降のデータも用いて1,050m³/日と再評価した。生じた差異については、サブドレンの稼働状況などの変化などによる汲み上げ量等の変化に起因するものであることから、本検討では至近の状況を表す1,050m³/日を使用する。（P43）

最新データに基づく地下水収支の再評価結果（前回監視・評価検討会報告時との比較）

- 地下水ドレン汲み上げ開始以降、サブドレン水位低下等により地下水収支状況が変化した。
- このため、2015年12月18日の監視・評価検討会において示した、(1) 2015年10月15日（海側遮水壁閉合工事終盤）～2015年12月2日における実測に基づく供給量約850m³/日について、最新データ（(2) 2015年11月6日（地下水ドレン汲み上げ開始後）～2016年1月7日）に基づき、供給量を約1,050m³/日程度と再評価した。
- 評価値の差分については、主に各汲上量の変動に起因するものであり、以後の検討では至近の状況を表している(2)約1,050m³/日を使用する。

$$[\text{供給量}] = [\text{支出量}] \textcircled{1} + \textcircled{2} + \textcircled{3} + \textcircled{4} + \textcircled{5} + \textcircled{6}$$



地下水位低下想定（定義）

◆ 陸側遮水壁の地下水遮断率に応じた地下水位変動について、1～12ヶ月累積最小降雨（浪江※）を考慮し、評価する。

条件一覧

	ケース1	ケース2	ケース3
陸側遮水壁海側	閉合		
降雨	1～12ヶ月累積最小降雨実績（浪江）		
地下水供給遮断率	40%	90%	100%

【陸側遮水壁閉合範囲内地下水位の変動量】

$$\text{地下水位低下量} = \frac{\text{①} + \text{②} - (\text{③} + \text{④} + \text{⑤})}{\text{面積} \times \text{有効空隙率 (0.12)}}$$

【7.5m～4m盤地下水位の変動量】

$$\text{地下水位低下量} = \frac{\text{④} - \text{⑥}}{\text{面積} \times \text{有効空隙率 (0.12)}}$$

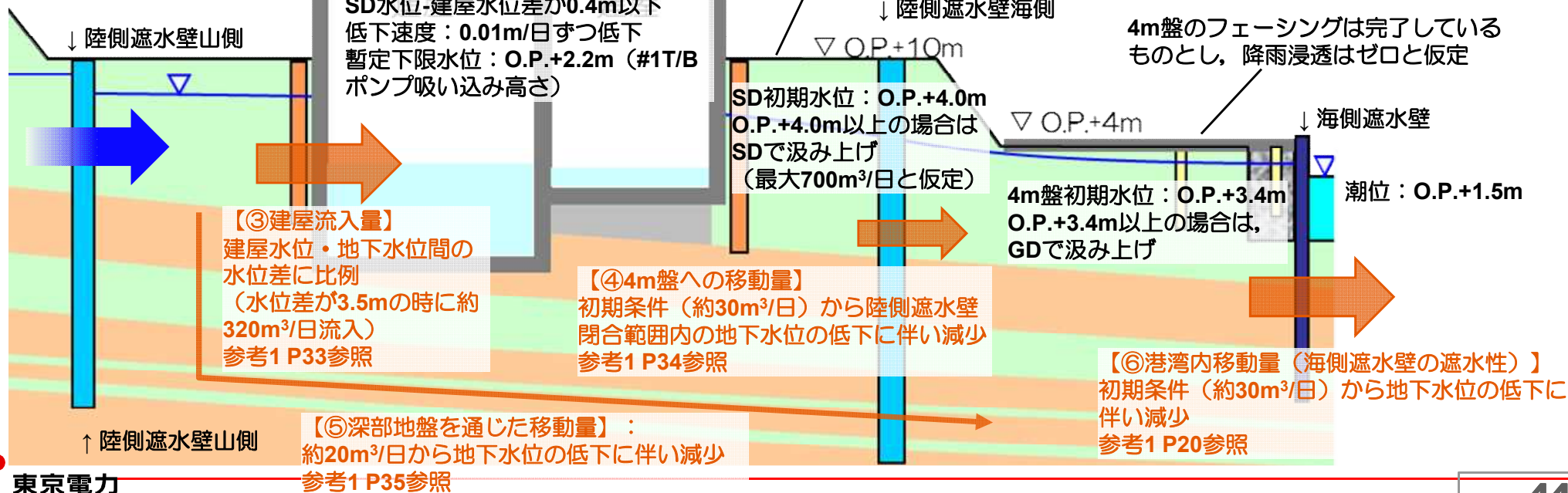
陸側遮水壁～海側遮水壁間面積：134,000m²

（陸側遮水壁閉合範囲内（建屋除く）：64,000m²，7.5m～4m盤：70,000m²）

①降雨浸透による地下水涵養（1～12ヶ月累積最小降雨実績）参考1 P22参照

②地下水供給量：

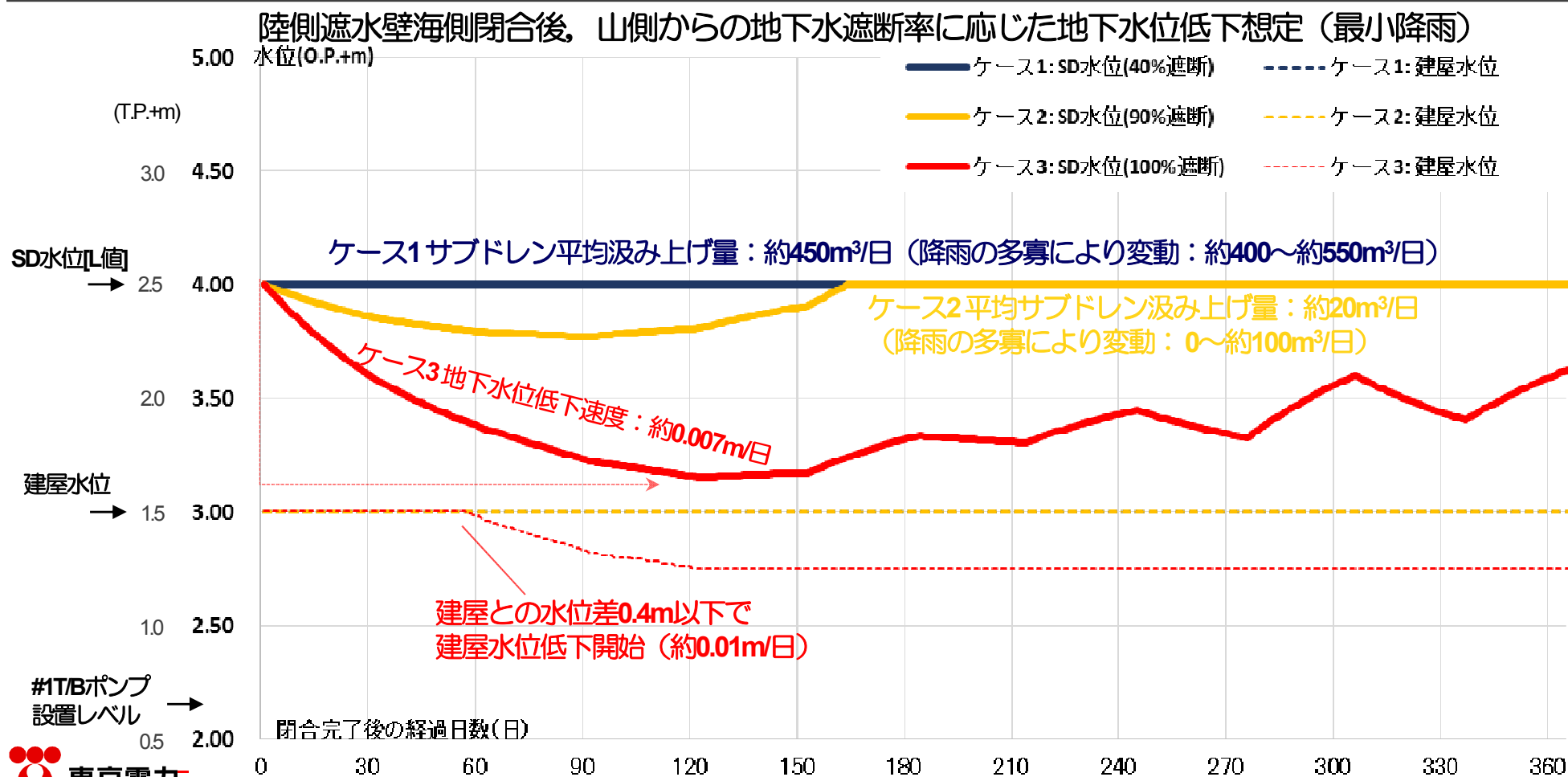
陸側遮水壁の閉合に伴う地下水供給の遮断率に応じて供給量を減少。
遮断率：40%,90%,100%



※ 大熊における降水量と差がないことを確認済みであり、データの信頼性（欠測期間の有無等）を勘案し、浪江を使用（参考1 P21）

地下水位低下想定（結果）

- ◆ 前スライドで示したケースにおける閉合状態を長期に維持すると仮定し、最小降雨時の地下水位低下を想定した。
- ◆ ケース1（遮断率40%）では、上流からの地下水の供給および降雨浸透が日平均で約590* m^3 /日あり、サブドレンの稼働が継続し、地下水位はO.P.+4mに維持される。
- ◆ ケース2（遮断率90%）では、供給量が日平均で約160* m^3 /日あり、少雨時期にはサブドレン稼働水位以下まで地下水位が低下するものの、降雨とともに徐々に水位が回復し、サブドレンが稼働するものと評価している。
- ◆ 一方、ケース3（遮断100%）では、山側からの供給を完全に遮断されるため、地下水位は低下するが、その地下水位低下量（約0.007m/日）は建屋水位制御能力（約0.01m/日）以下であり、建屋内外水位差が逆転することはない。なお、降雨とともに水位が回復し、建屋との水位差を保持した状態で推移する。

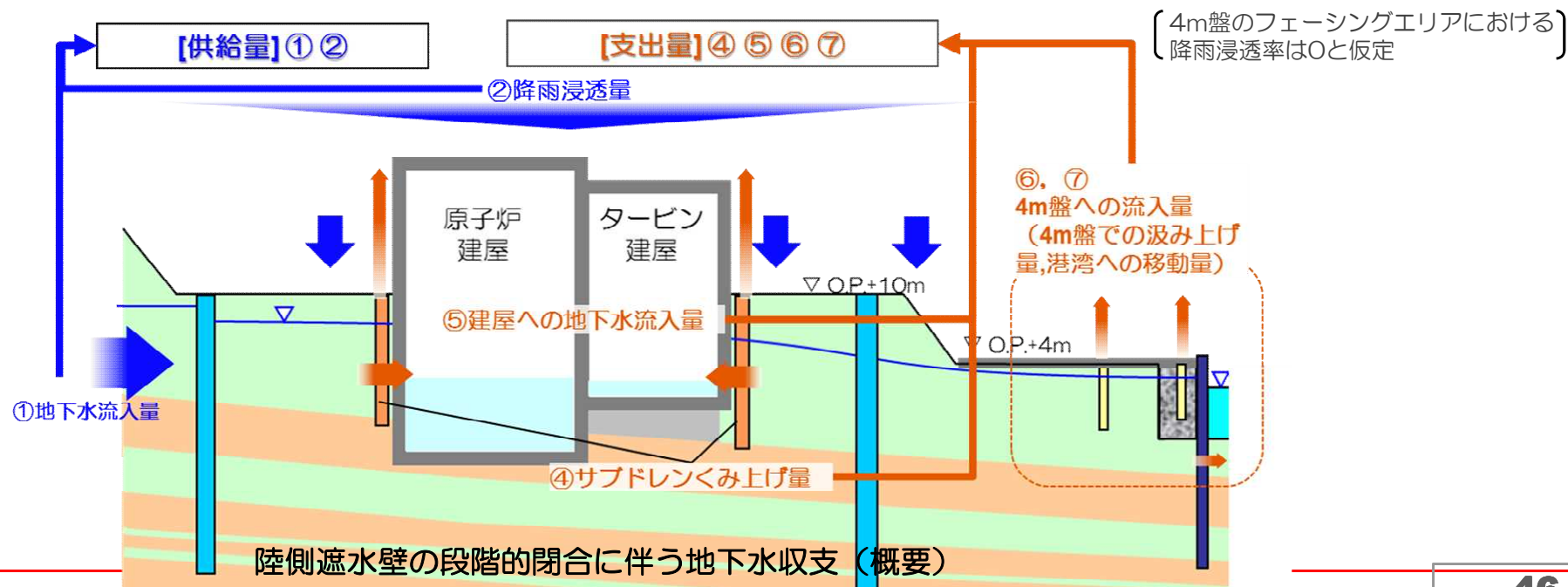


地下水遮断率に応じた地下水収支（結果）

- P44にて示した各ケースにおける，最小降雨（日平均：約2mm/日）での，定常状態の地下水収支について評価した。
- 地下水遮断率を40%とした場合において建屋流入量は現状より減少するものの，サブドレン汲み上げ量は現状以上となり，建屋水位との水位差を維持している。
- 地下水遮断率を90%とした場合においても，サブドレン汲み上げ量は約20m³/日程度であり，SD水位はO.P.+4.0mを維持している。（P45の水位変動想定では，少雨時期にはサブドレンは稼働しないが，長期的には安定して稼働する）

陸側遮水壁の段階的閉合に伴う地下水収支（最小降雨における定常状態）

地下水遮断率	地下水供給量 (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 (O.P.+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	汚染水増加量 (m ³ /日) ⑨=⑤+(⑥-⑦) (⑥-⑦<0なら⑤のみ)
0%(現状)	860	190	1050	5.0	420	190	410	30	1050	550
40%(最小降雨)	520	70	590	4.0	450	90	20	30	590	90
90%(最小降雨)	90	70	160	4.0	20	90	20	30	160	90
100%(最小降雨)	0	70	70	3.5	0	30	10	30	70	30*



まとめ

- 地下水遮断率を40%または90%とした場合においても、サブドレンは安定して稼働し、建屋周辺地下水位（サブドレン水位）は稼働水位（O.P.+4m）で維持される。
- 遮断率を100%とした場合においては、サブドレン水位は低下するものの、その低下速度は約0.007m/日と想定しており、建屋水位の低下速度である0.01m/日以下であることから、建屋内外水位差の逆転はないものとする。
- 以上より、陸側遮水壁は海側の閉合を先行させ山側を段階的に閉合することを合わせて実施することで、水位逆転のリスクを回避しつつ陸側遮水壁の効果を得ていくことが可能であり、「海側閉合＋山側段階的閉合」が現状を踏まえて適切と判断した。

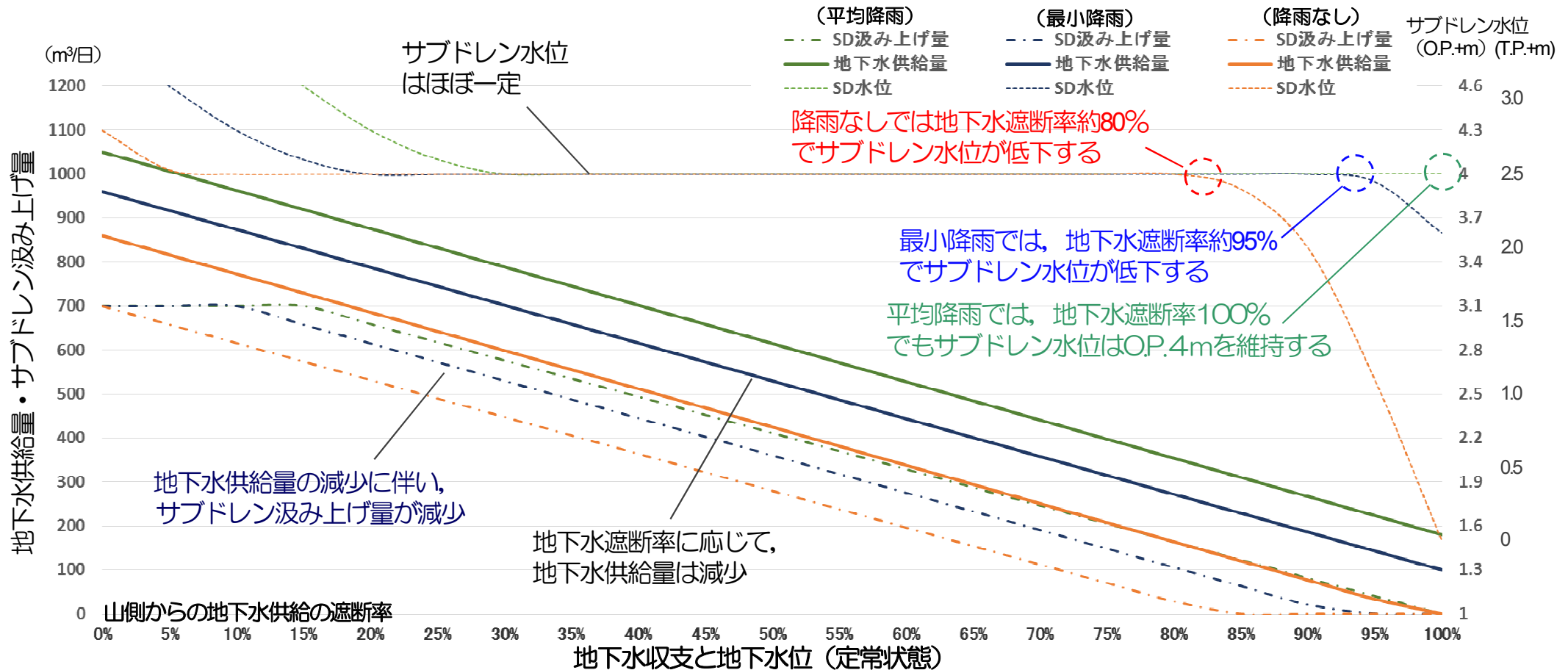
6. 段階的な閉合における運用【Ⅱ.4-1.(1)③】

段階的な閉合について

- 5章では地下水遮断率に応じた地下水位低下想定について説明し、「海側閉合＋山側段階的閉合」が適切と判断した。
- 次頁より、段階的な閉合の具体的な運用について示す。

地下水遮断率毎の地下水収支と地下水位

- ▶ P44に示した地下水遮断率とサブドレン水位，サブドレン汲み上げ量の関係を降雨条件（平均降雨，最小降雨，降雨なし）をパラメータとして連続的に評価した結果を，下図に示す。ここでは，地下水遮断率（供給量）を変化させ，各地下水遮断率毎のサブドレン汲み上げ量，サブドレン水位を評価した。
 - 平均降雨では地下水遮断率100%でもサブドレン水位は維持される。
 - 最小降雨では，地下水遮断率約95%にて，サブドレン水位が低下する。
- ▶ 遮断率が大きくなるとサブドレンが停止し，リスク状態が変化する。



各ステップの定義と予想される状態

■ P50の「地下水遮断率」と「地下水収支」, 「地下水位」との関係をもとに以下のステップにより閉合を進める。

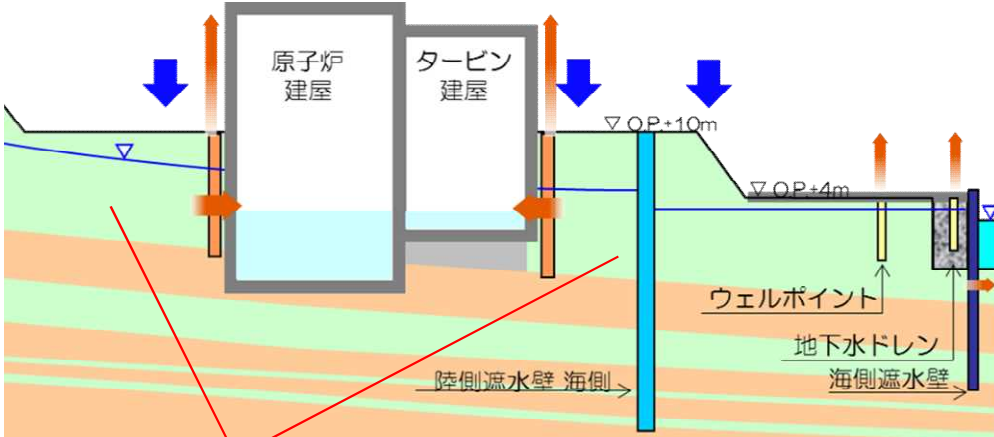
	定義	閉合率 ^{※1} / 遮断率	予想される各ステップの最終的な状態 ^{※3}
STEP1	水位逆転リスクを低下させる海側を先行的に凍結している段階。 水位逆転リスクに対して影響のないことを確認済みの山側試験凍結範囲を凍結している段階。	試験凍結（山側）18箇所 / 0%	陸側遮水壁海側の凍結により, 建屋周辺海側はダムアップし, 4m盤の地下水流入は抑制されている。
STEP2	山側の遮水効果が発現するが, サブドレンが稼働を継続しており, サブドレンを停止することで水位を回復できる段階。 (リスク状態変化前)	95% / 50%程度 ^{※2}	遮水壁内への地下水流入は5割程度遮断されているが, サブドレンの稼働は継続している状態。 <ul style="list-style-type: none"> ・地下水供給 : 約930⇒約500m³/日 (内訳: 地下水 約860m³/日, 降雨 約70m³/日) ・建屋流入量 : 約100⇒約90m³/日 ・サブドレンくみ上げ量: 約700⇒約360m³/日 ・系外への移動量 : 約80 ⇒約50m³/日
STEP3	山側をさらにゆっくり遮断し, サブドレンが停止している段階。 (リスク状態変化後)	95~100% / 50~100%	遮水壁内への地下水流入は5割以上遮断されており, 稼働していたサブドレンの一部が停止している状態。 <ul style="list-style-type: none"> ・地下水供給 : 約70m³/日以上 ・建屋流入量 : 約40m³/日以上 ・サブドレンくみ上げ量: 0m³/日以上 ・系外への移動量 : 約30*m³/日以上
STEP4	建屋内外水位差を確保しながら山海ともに完全閉合している段階。	100% / 100%	山側が閉合完了し, 山側からの地下水流入が無くなるものの, 建屋内外水位差は確保している。 <ul style="list-style-type: none"> ・地下水供給 : 約70m³/日 ・建屋流入量 : 約40m³/日 ・系外への移動量 : 約30m³/日

※1 閉合率（全体凍結範囲に対して凍結を行っている割合）は遮断率に比べ凍結状態をコントロールしやすいこと, 閉合率に対し遮断率は小さいことから, 閉合率を基準として管理する。（参考1 P29）

※2 数値は目安値。数値解析による一例として閉合率95%に対し, 遮断率54%の結果を得ている。（参考1 P32）

※3 記載の数字は, 最小降雨における定常状態の収支想定。

STEP1での確認事項と次ステップへの判断

	確認事項	次STEPへの判断
STEP1	<p>①凍結の確認：測温管温度</p> <ul style="list-style-type: none"> 陸側遮水壁海側の凍結状況の確認 陸側遮水壁山側の試験凍結範囲の凍結状況の確認 	<p>• 海側・山側の測温管の温度が低下傾向にあることを確認し、STEP2へ移行する。</p>  <p>測温管の温度を確認</p>

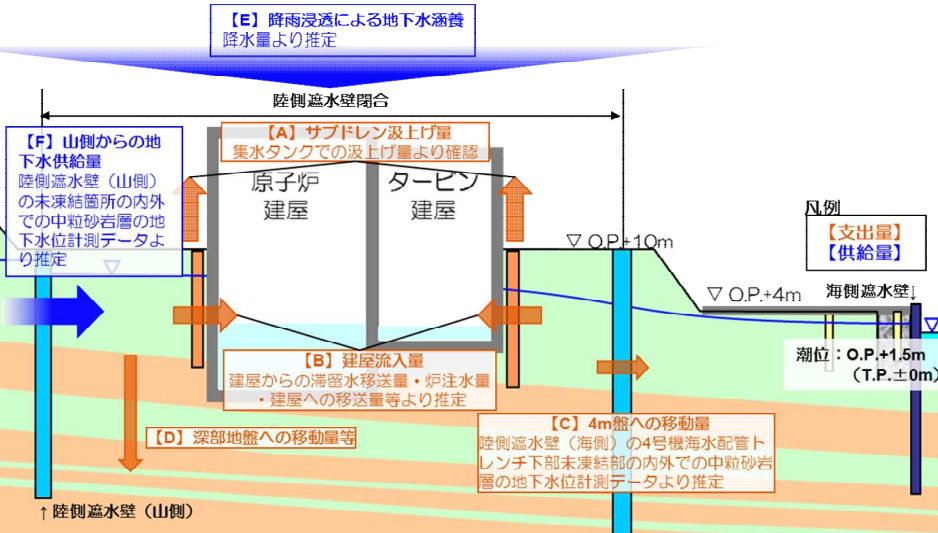
■ STEP1の具体的な凍結範囲はP58参照。

STEP2での確認事項と次ステップへの判断

	確認事項	次STEPへの判断
STEP2	<p>【状態確認（凍結状況）】</p> <p>①凍結：測温管温度</p> <ul style="list-style-type: none"> 陸側遮水壁（山側・海側）測温管温度 0℃以下（海側：全数，山側：凍結箇所全数） <p>【状態確認（水位・水収支状況）】</p> <p>②地下水流入：各汲み上げ量および建屋流入量</p> <ul style="list-style-type: none"> 陸側遮水壁（山側）上流側地下水位 ≥ 下流側地下水位 各汲み上げ量・建屋流入量の変化を確認する。 遮水壁開口部近傍における遮水壁内外水位差から得られる動水勾配から流入量を算出し，地下水遮断率を評価する。 次STEPにおける閉合率，遮断率を必要に応じて再設定する。 <p>③サブドレン稼働継続：サブドレン汲み上げ量</p> <ul style="list-style-type: none"> サブドレン水位はポンプ起動位置（H値）以上 <p>その他： 注水性能の確認</p>	<ul style="list-style-type: none"> 山側の遮水効果の発現，および海側の閉合を確認する。 地下水収支計算により，陸側遮水壁系外への移動量（深部地盤・4m盤への移動量を含む）を評価。 ※地下水収支計算 地下水供給量 + 降雨浸透量 = SD汲上量 + 建屋流入量 + 陸側遮水壁系外への移動量 「陸側遮水壁系外への移動量（(C)+(D)） ＜最小降雨(E)+注水能力」が確認できれば，上流からの供給が0となった場合においても，建屋への地下水流入量が0にならないため，建屋内外水位の逆転は起こらない。 以上を確認できればSTEP3へ移行する。

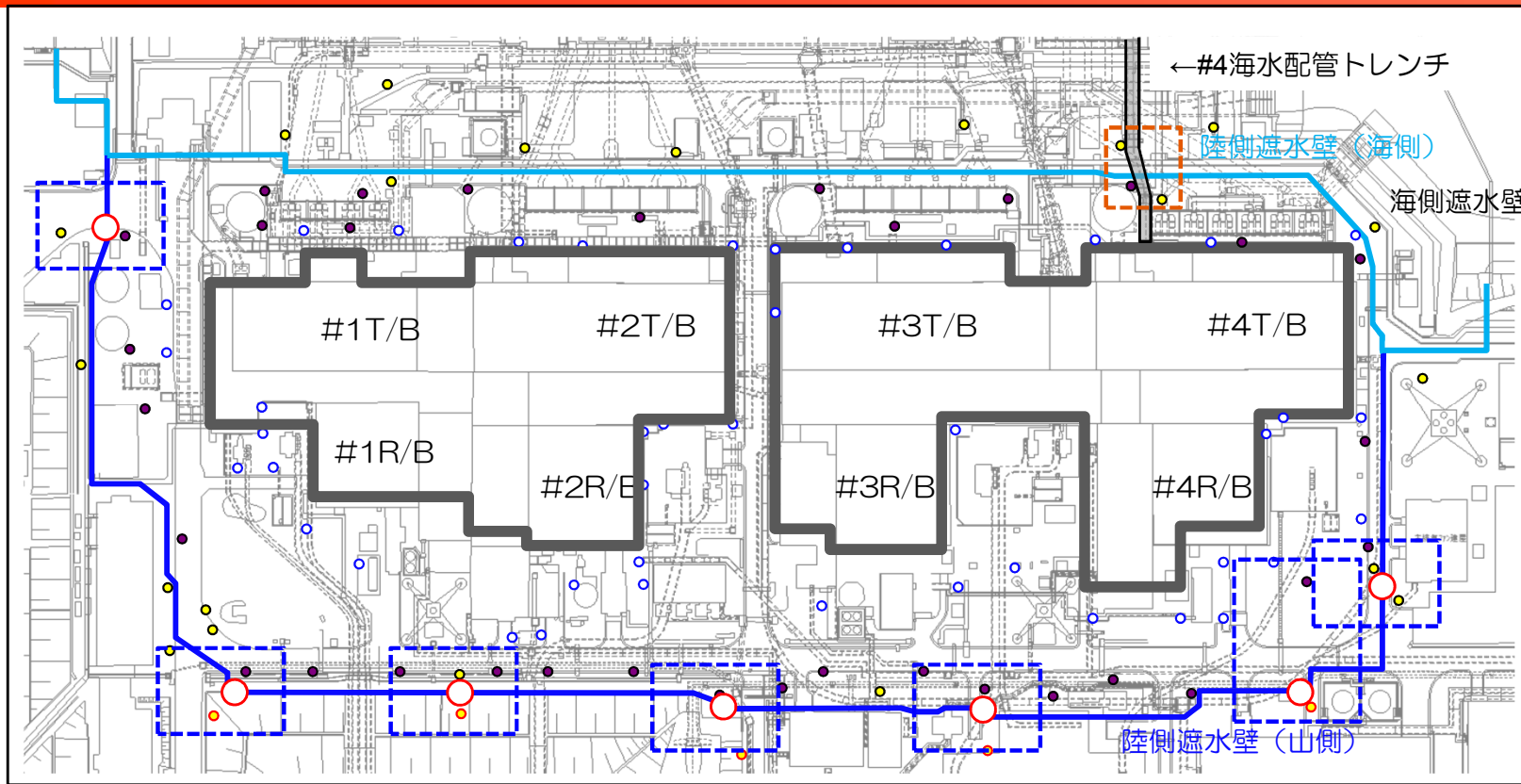
STEP2における具体的な凍結範囲はP59,60参照。

STEP3での確認事項と次ステップへの判断

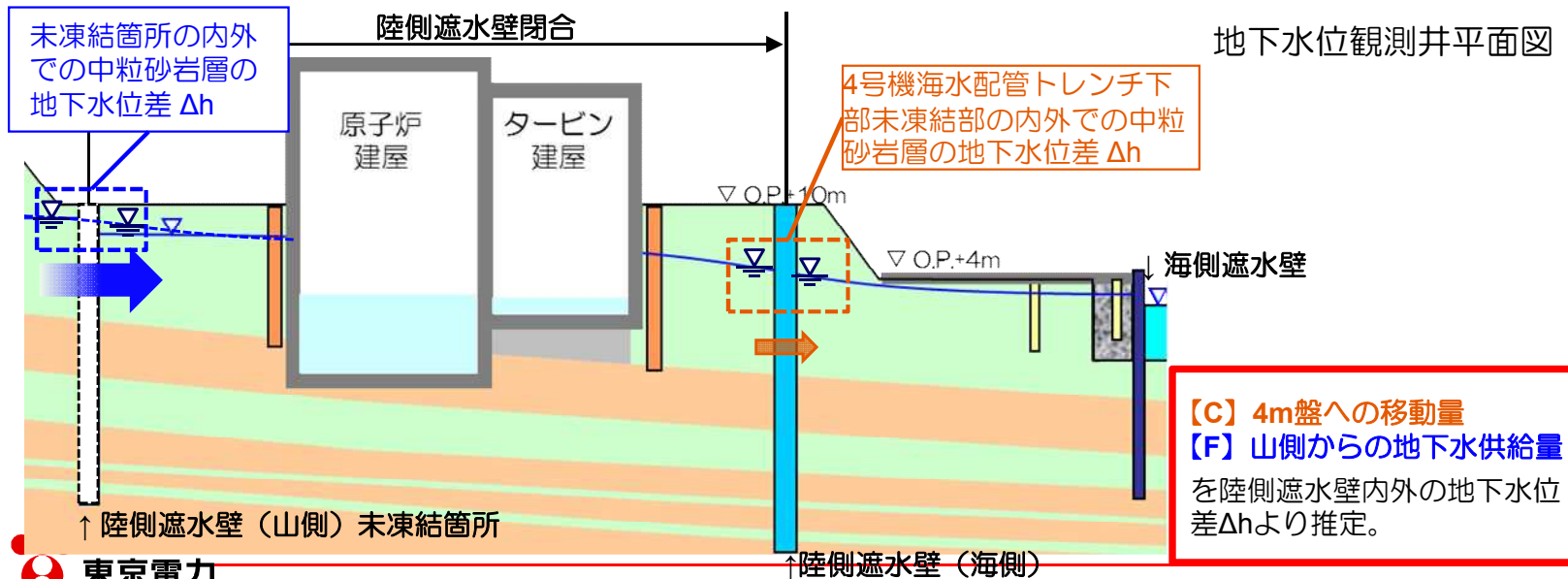
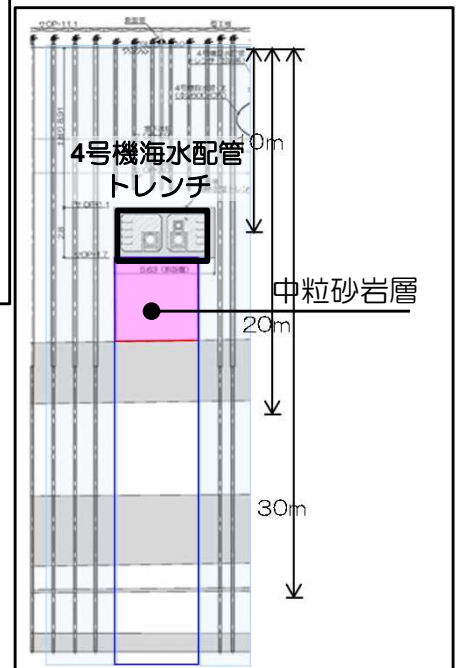
	確認事項	次ステップへの判断
STEP3	<p>稼働中のサブドレンのうち、1箇所が汲み上げを停止した時点で凍結を中断し、以下の状態確認及び右記の判断を行う。</p> <p>【状態確認（凍結状況）】</p> <p>①凍結：測温管温度</p> <ul style="list-style-type: none"> 陸側遮水壁（山側・海側）測温管温度 0℃以下（海側：全数，山側：凍結箇所全数） <p>【状態確認（水位・水収支状況）】</p> <p>②地下水流入：各汲み上げ量および建屋流入量</p> <ul style="list-style-type: none"> 陸側遮水壁（山側）上流側地下水位 ≥ 下流側地下水位 各汲み上げ量・建屋流入量の変化を確認する。 遮水壁開口部近傍における遮水壁内外水位差から得られる動水勾配から流入量を算出し、地下水遮断率を評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 山側の遮水効果の発現、および海側の閉合を確認する。 地下水収支計算により、陸側遮水壁系外への移動量（深部地盤・4m盤への移動量を含む）を評価。 ※地下水収支計算 $\text{地下水供給量} + \text{降雨浸透量} = \text{SD汲上量} + \text{建屋流入量} + \text{陸側遮水壁系外への移動量}$ 「陸側遮水壁系外への移動量 (C)+(D) < 最小降雨(E)+注水能力」が確認できれば、上流からの供給が0となった場合においても、建屋への地下水流入量が0にならないため、建屋内外水位の逆転は起こらない。 以上を確認できればSTEP4へ移行する。 

■ STEP3における具体的な施工についてP61参照。

陸側遮水壁（山側）の段階閉合における確認内容：陸側遮水壁未凍結部の移動量の評価



海水配管トレンチ下部の未凍結部【4号機の例】



未凍結箇所設定の考え方(1/2)

- 同じ閉合率でも、未凍結箇所が「大きくて少ない」場合と、「小さくて多い」場合では、地下水位管理、凍結状態（閉合率）の管理、凍土造成への影響は異なることから、得失を整理する。

■ : メリット, ■ : デメリット

	未凍結箇所の設定	地下水位管理への影響	凍結状態管理への影響	凍土造成への影響
大きくて 少ない		<ul style="list-style-type: none"> • 地下水流入が集中するため地下水位が不均一になりやすい 	<ul style="list-style-type: none"> • 温度計・観測井付近に未凍結箇所を配置することで、凍結長さを管理しやすい • 1箇所ごとに凍結長さに誤差が生じても未凍結箇所が少ないため凍結長さを制御管理しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> • 補助工法※の施工難易度を考慮して未凍結箇所を配置することで、最終的な閉合が確実にできる
両者の 中間		<ul style="list-style-type: none"> • 「大きくて少ない」場合に比べて地下水流入が均等になり、平均的に地下水位が低下する 	<ul style="list-style-type: none"> • 温度計・観測井付近に未凍結箇所を配置できれば凍結長さを管理しやすい • 未凍結箇所数が少なくできれば凍結長さの誤差を少なくすることができる 	<ul style="list-style-type: none"> • 「小さくて多い」場合に比べて補助工法※による施工箇所が少なくなり、最終的に閉合し難い箇所を減らすことができる
小さくて 多い		<ul style="list-style-type: none"> • 地下水流入が均等になるため平均的に地下水位が低下する 	<ul style="list-style-type: none"> • 未凍結箇所数が多く、付近に温度計・観測井が無い箇所では、凍結長さを管理しにくい • 1箇所ごとに凍結長さの誤差が生じやすいため全体の誤差が大きくなる 	<ul style="list-style-type: none"> • 補助工法※による施工箇所が多数残り、最終的に閉合し難い箇所が残る可能性が高い

未凍結箇所は「大きくて少ない」「小さく多い」はトレードオフの関係にあるが、温度計・観測井の位置や施工の難易度を考慮した「両者の中間」として、両者のデメリットを少なくするよう未凍結箇所を設定する。

※ 凍結し難い箇所に対し、地盤改良を用いて地下水流速を低下させて凍結しやすくする工法（詳細はP62）

未凍結箇所設定の考え方(2/2)

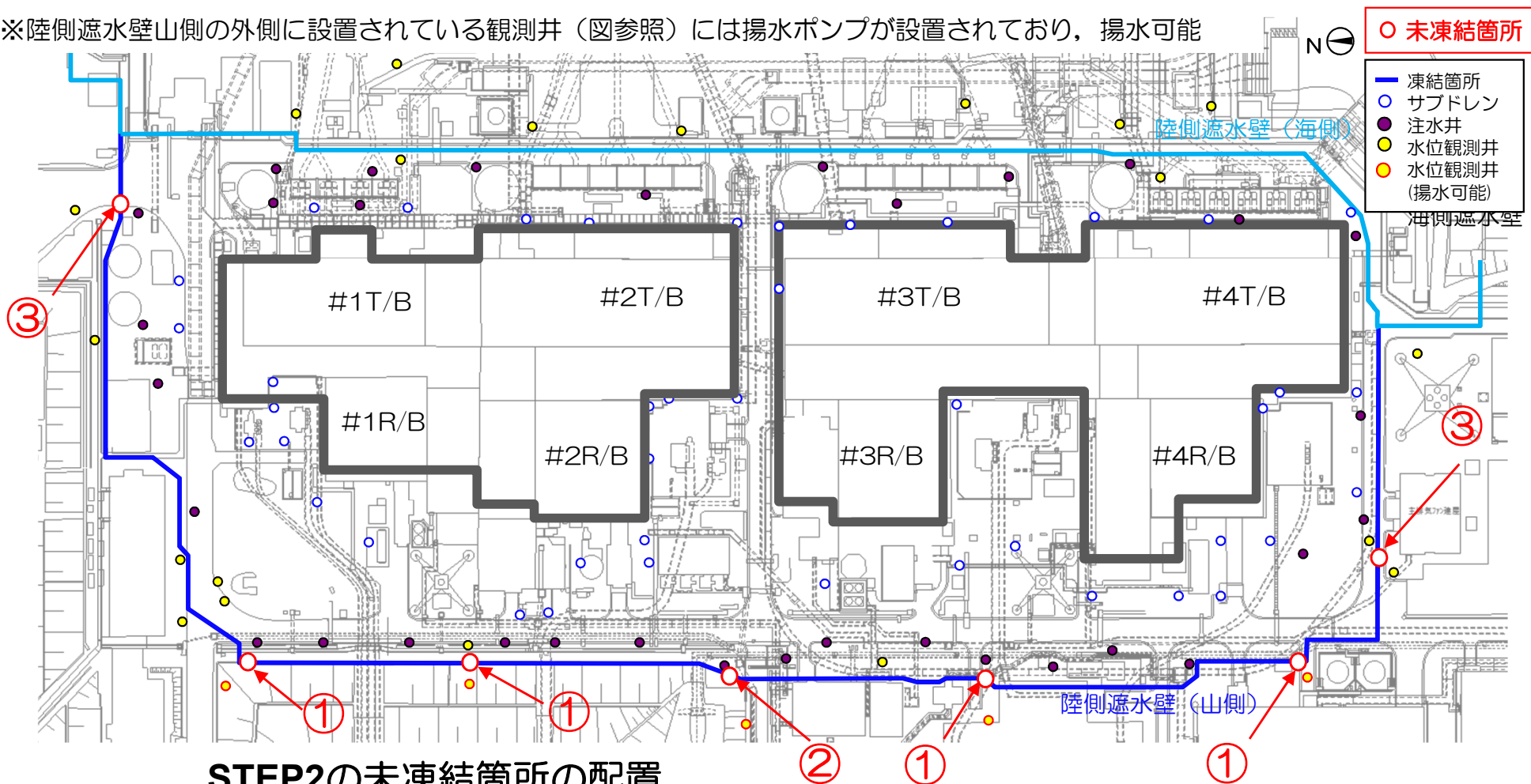
以下を勘案の上、ステップにおける未凍結箇所の数、配置を設定する

- ・ 閉合域内で平均的に水位が低下するよう、下記①～③に配慮し未凍結箇所を均等に配置する

① 各建屋周りへの山側からの地下水流入の確保
② 2-3号機建屋間から建屋海側への地下水流入の確保
③ 陸側遮水壁の南北からの地下水流入の確保

- ・ 凍結長さの管理，地下水流入量の評価の精度を高めるため，温度計，観測井付近に未凍結箇所を配置する
- ・ 確実に最終閉合が行えるよう，周辺状況等の施工性や揚水可能な観測井※に配慮して，未凍結箇所を配置する

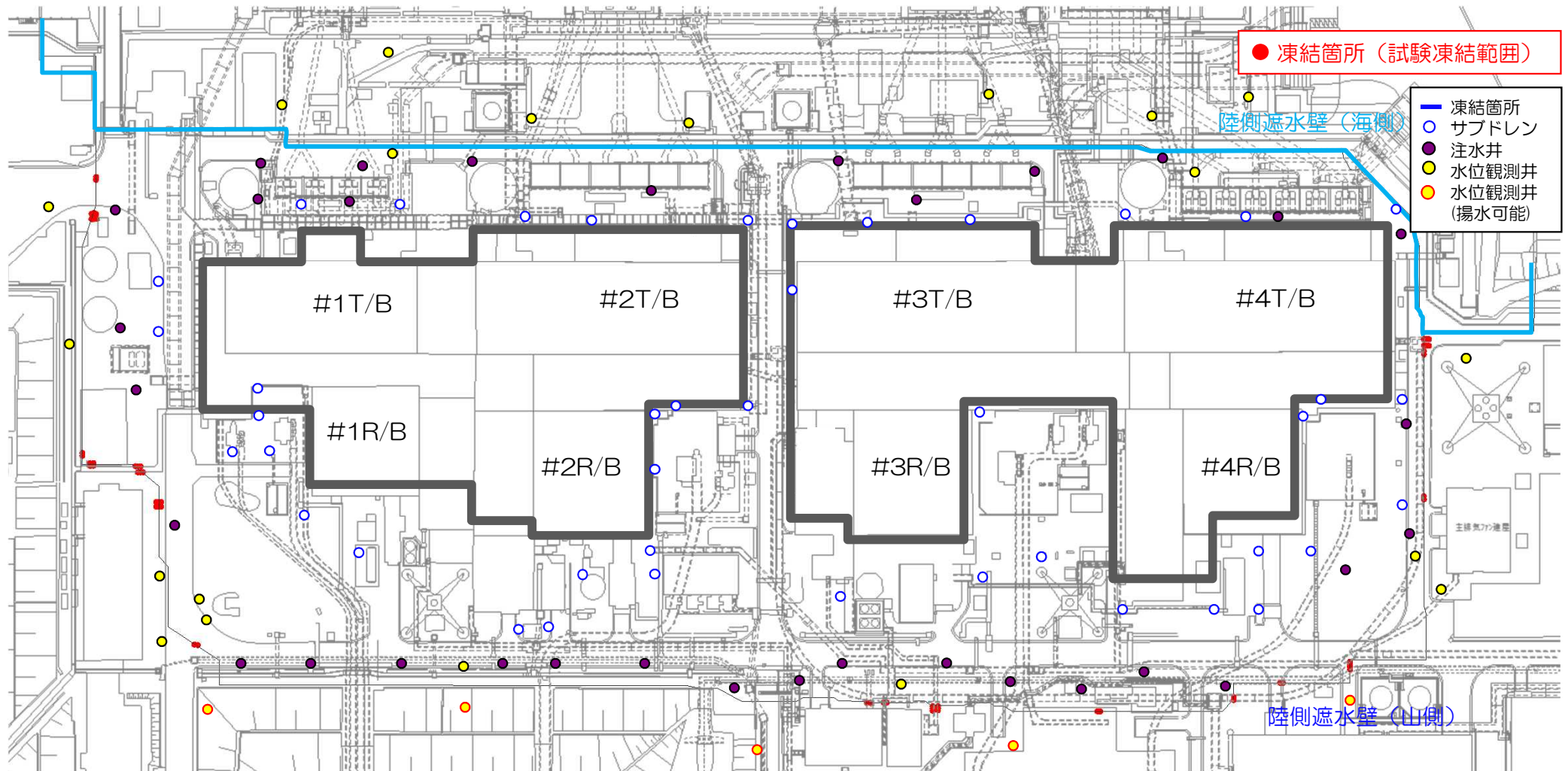
※陸側遮水壁山側の外側に設置されている観測井（図参照）には揚水ポンプが設置されており，揚水可能



STEP2の未凍結箇所の配置

閉合手順 STEP1 (海側+山側 (試験凍結範囲))

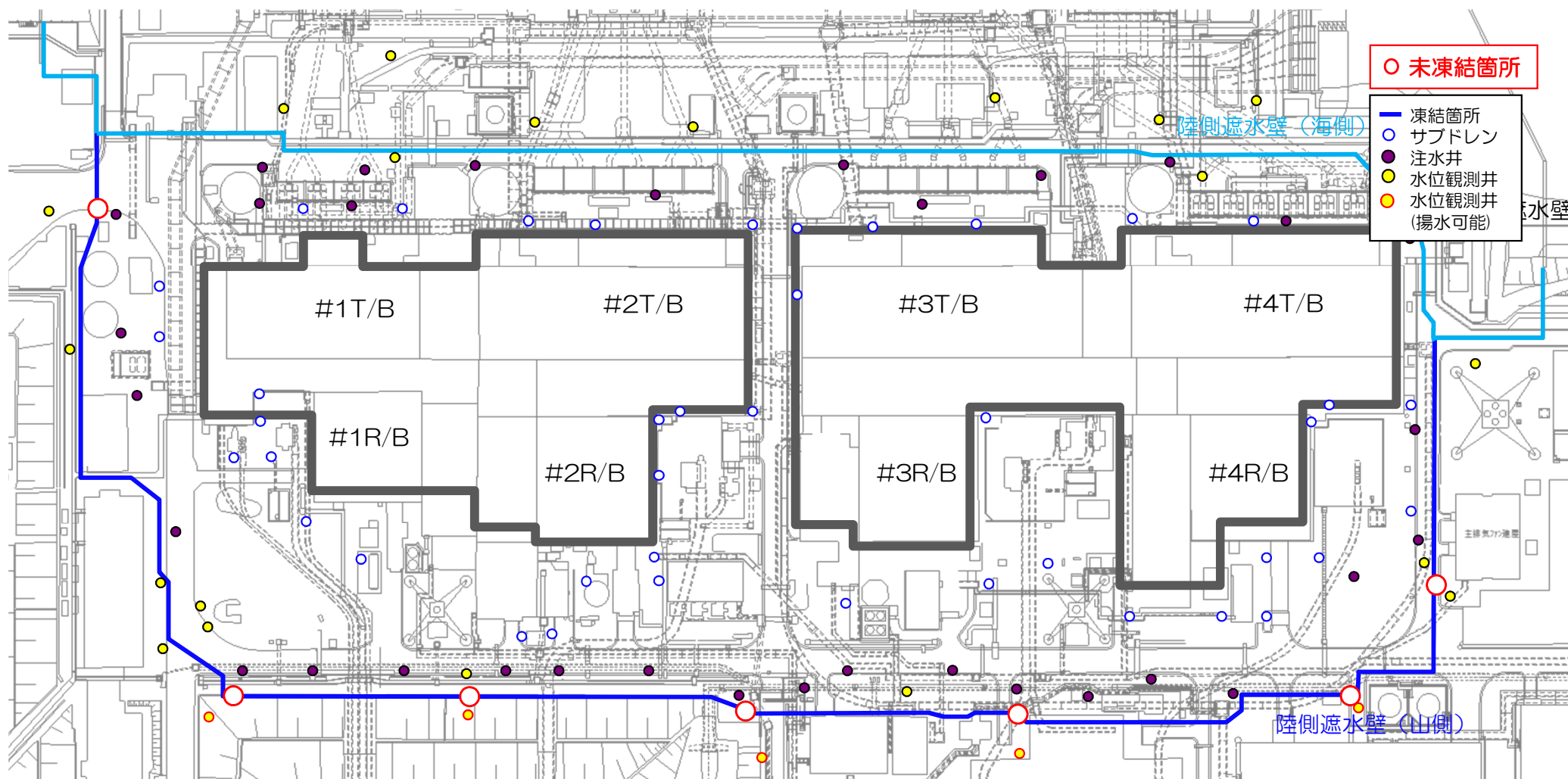
- 陸側遮水壁 (海側), 陸側遮水壁 (山側) のうち先に実施した試験凍結範囲を凍結する。
- 海側: 凍結長さ約690m (総延長約690mの100%)
- 山側: 凍結長さ約52m (総延長約860mの約6%, 18箇所)



閉合手順 STEP2（海側+山側（閉合率：95%））

- 陸側遮水壁（山側）のうち地下水を半分程度遮断する範囲として、約95%*を凍結開始する。
- 山側：凍結長さ約815*m（総延長約860mの約95%）

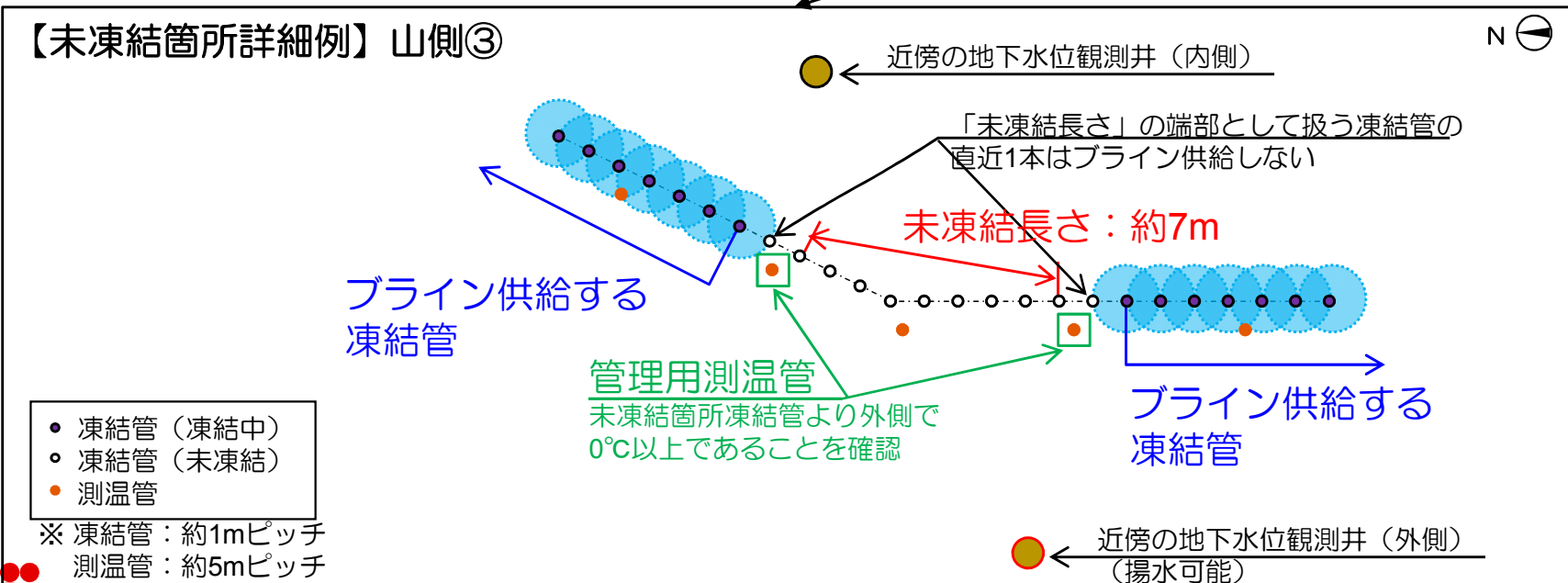
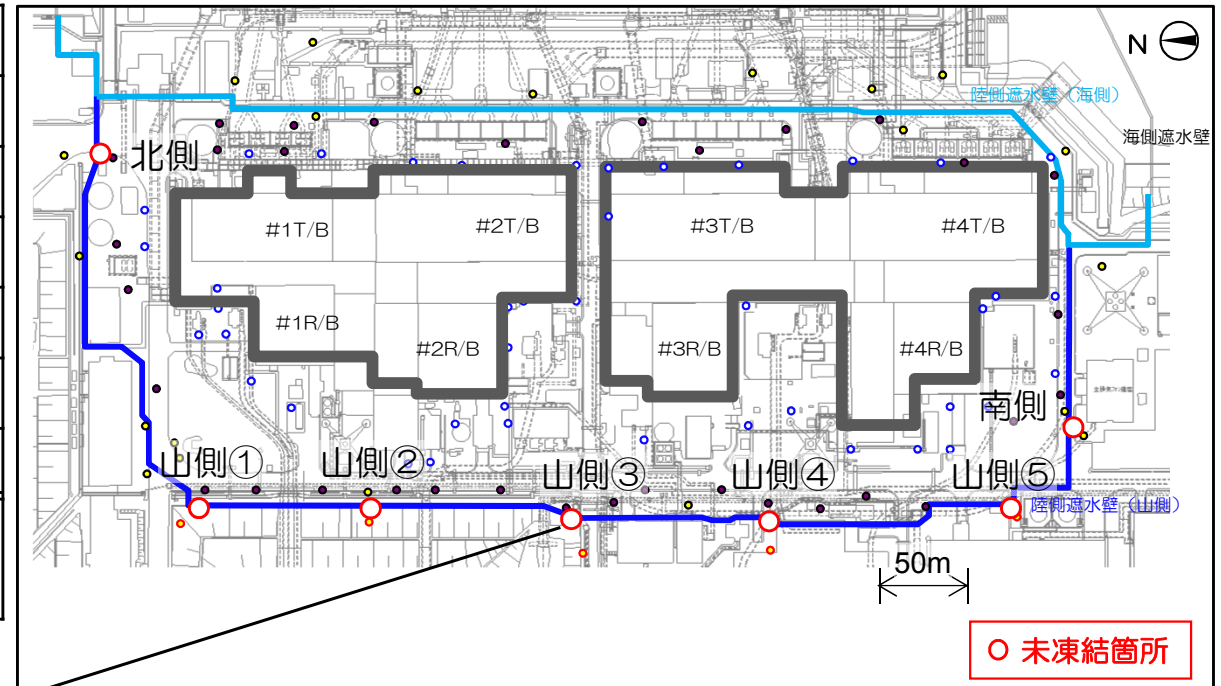
※：STEP1にて凍結する約6%を含む



閉合手順 STEP2（海側+山側（閉合率：95%））：各未凍結箇所での未凍結長さ

■ 現地の凍結管・測温管の配置を踏まえた各未凍結箇所における未凍結長さは以下の通り。

北側	約4m
山側①	約6m
山側②	約9m
山側③	約7m
山側④	約8m
山側⑤	約7m
南側	約4m
合計	約45m (総延長約860mの約5%)



- 凍結箇所
- サブドレン
- 注水井
- 水位観測井
- 水位観測井 (揚水可能)

- 凍結管 (凍結中)
- 凍結管 (未凍結)
- 測温管

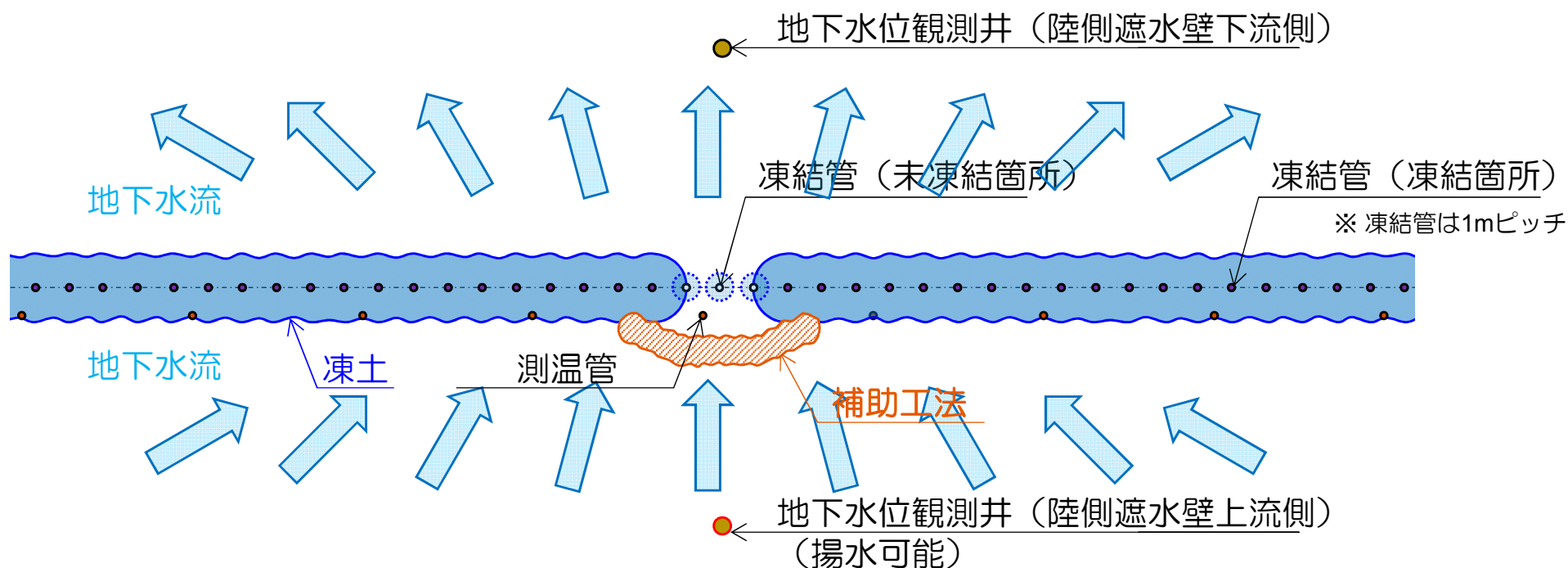
※ 凍結管：約1mピッチ
測温管：約5mピッチ

閉合手順STEP3（海側＋山側（閉合率：95%～100%））

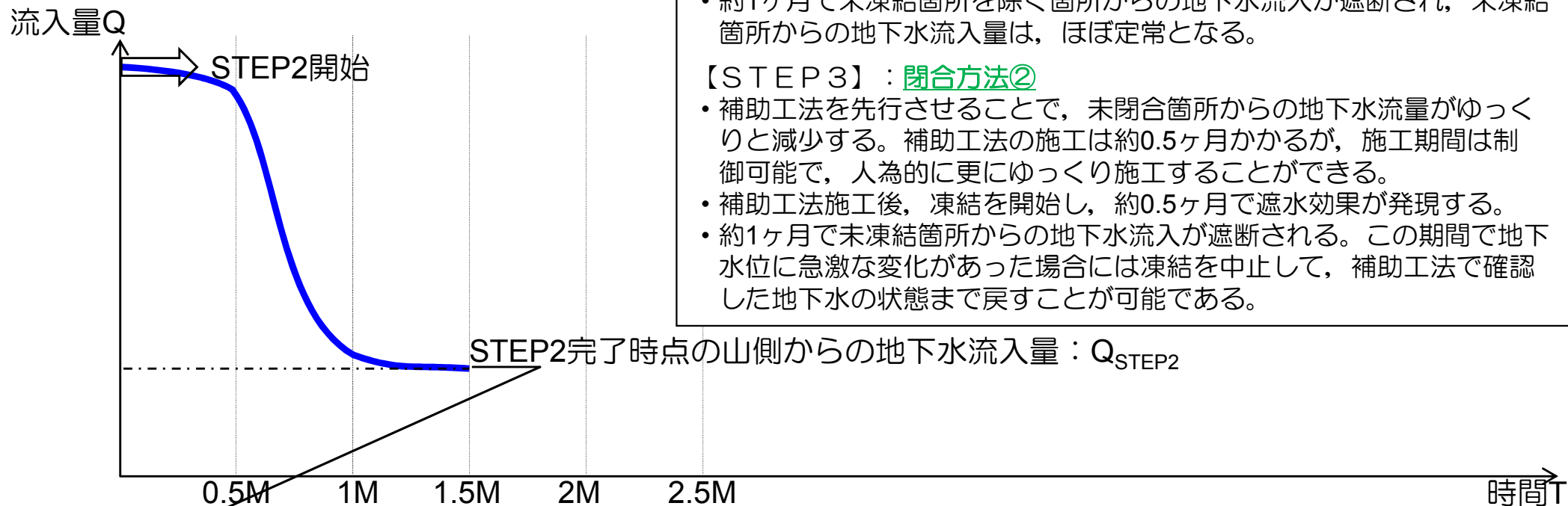
- 地下水遮断率が大きくなると、降雨の状況によっては、建屋周辺地下水位がサブドレン稼働水位を下回り、サブドレンの停止による地下水位の回復ができなくなる。
- STEP3では、水位逆転リスクを最小限とするため、以下により、ゆっくりかつ慎重に閉合を進める。
 - 未凍結箇所は流速が増し凍結させ難くなっているため、補助工法、あるいは観測井からの揚水により流速を低減し、凍結を促進する必要がある。
 - いずれの方法においても、閉合に要する時間を人為的に制御することで、ゆっくりと閉合を進める。
 - P63に補助工法による閉合の手順を示す。
 - 稼働サブドレンのうち、1箇所が汲み上げを停止した時点で、凍結を中断し、状態確認、次ステップへの移行評価を行う。

【参考】補助工法

- 未凍結箇所など、地下水流の集中により地下水流速が大きくなる場合には、凍土が十分に成長せず、遮水壁が閉合しない可能性がある。
- 閉合が不十分となる可能性がある場合には、補助工法（地盤改良による仮設止水壁構築）により、地下水流速を低減し、凍土の成長を促して遮水壁を閉合させる。



STEP2,3における閉合期間

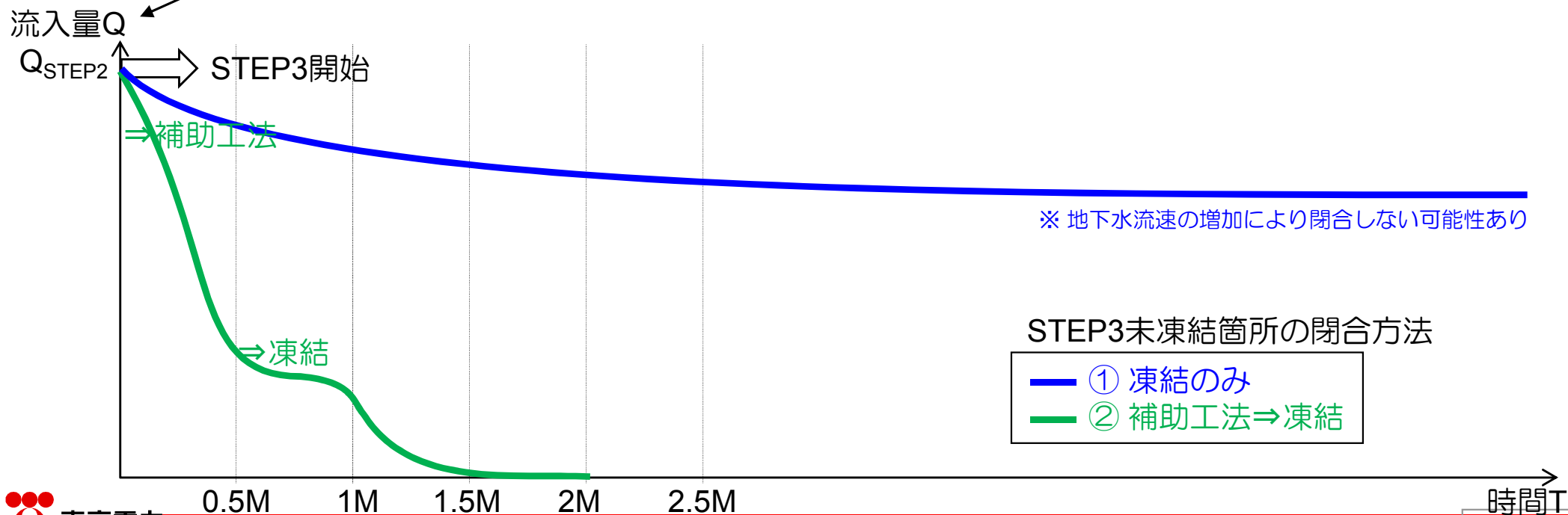


【STEP 2】

- 凍結開始後、約0.5ヶ月で遮水効果が発現する。
- 約1ヶ月で未凍結箇所を除く箇所からの地下水流入が遮断され、未凍結箇所からの地下水流入量は、ほぼ定常となる。

【STEP 3】：閉合方法②

- 補助工法を先行させることで、未閉合箇所からの地下水流量がゆっくりと減少する。補助工法の施工は約0.5ヶ月かかるが、施工期間は制御可能で、人為的に更にゆっくり施工することができる。
- 補助工法施工後、凍結を開始し、約0.5ヶ月で遮水効果が発現する。
- 約1ヶ月で未凍結箇所からの地下水流入が遮断される。この期間で地下水位に急激な変化があった場合には凍結を中止して、補助工法で確認した地下水の状態まで戻すことが可能である。

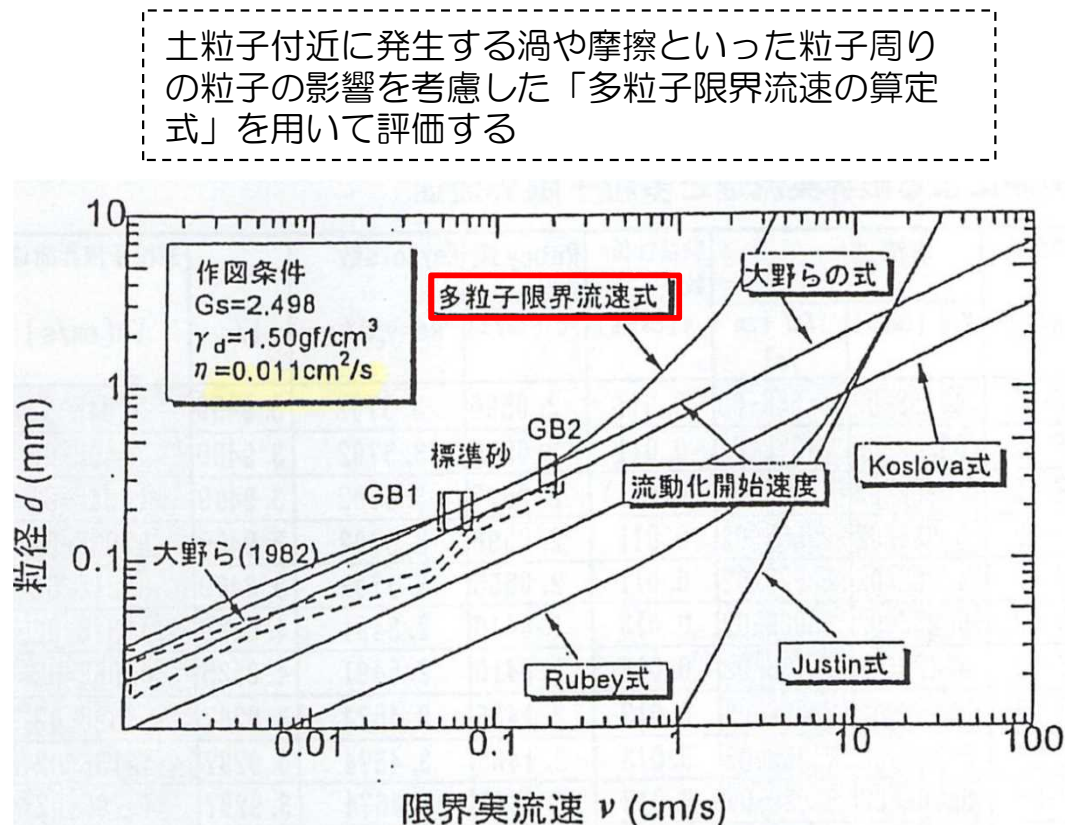


未凍結箇所地下水流速が速くなる場合の地盤安定性(1/3)

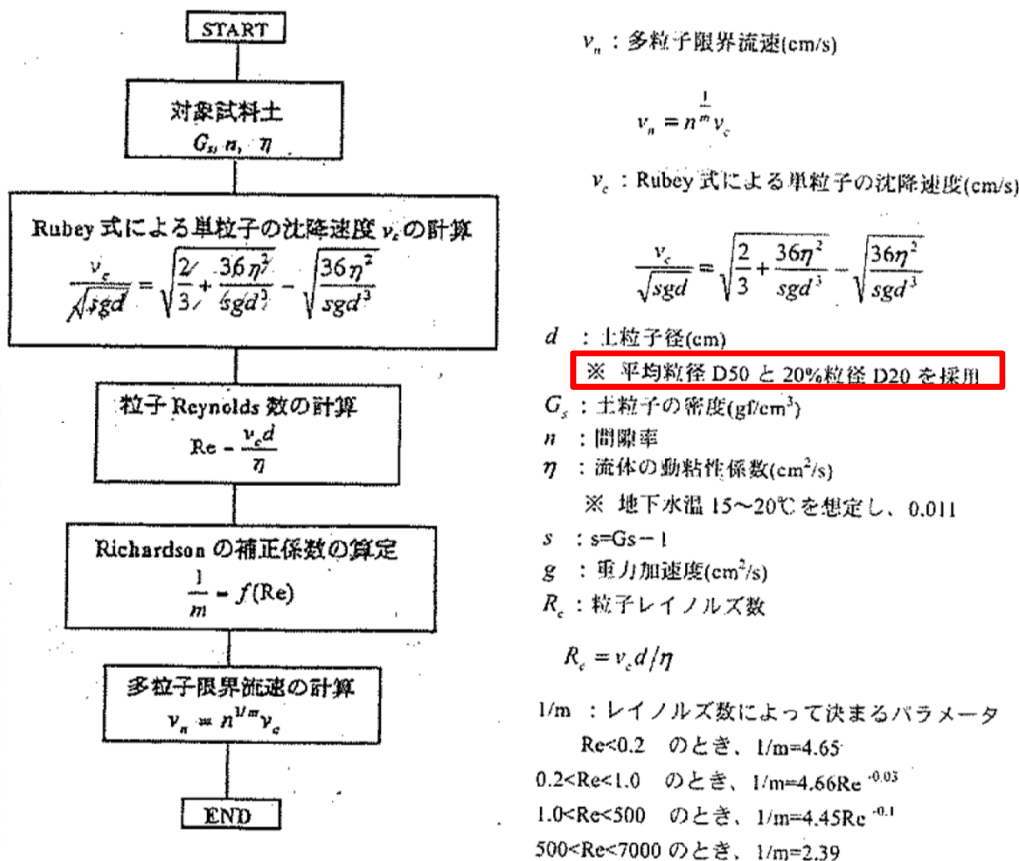
■評価内容

- 地下水流速が速くなる場合の地盤安定性について、地盤中の土粒子が動く場合の地下水の流速を算定する「多粒子限界流速の算定式（杉井他1997）」を用いて評価する。

限界実流速の比較



多粒子限界流速の算定式



出典) 「浸透破壊における粒子群を考慮した限界流速, 地下水技術, vol.39, No.8, p.28-35」

評価方法:

平均粒径 (D50) および20%粒径 (D20) における限界実流速が、未凍結箇所の流速より大きいことを確認する

未凍結箇所での地下水流速が速くなる場合の地盤安定性(2/3)

■未凍結箇所の最大流速

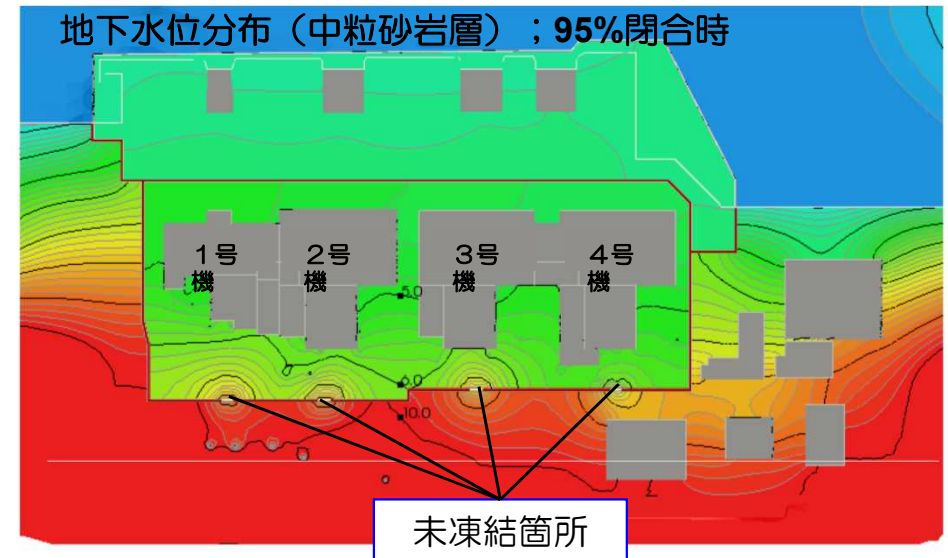
- 未凍結箇所の地下水実流速は、95%閉合した場合の解析では、1号機西側中粒砂岩層で最大1.8m/day ($2.1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$) 程度になっている。

未凍結箇所の最大流速（三次元浸透粒解析結果より評価）

	中粒砂岩層	互層部	細粒砂岩	粗粒砂岩
ダルシー流速 (cm/day)	74	31	40	55
実流速※ (cm/day)	180	76	98	134

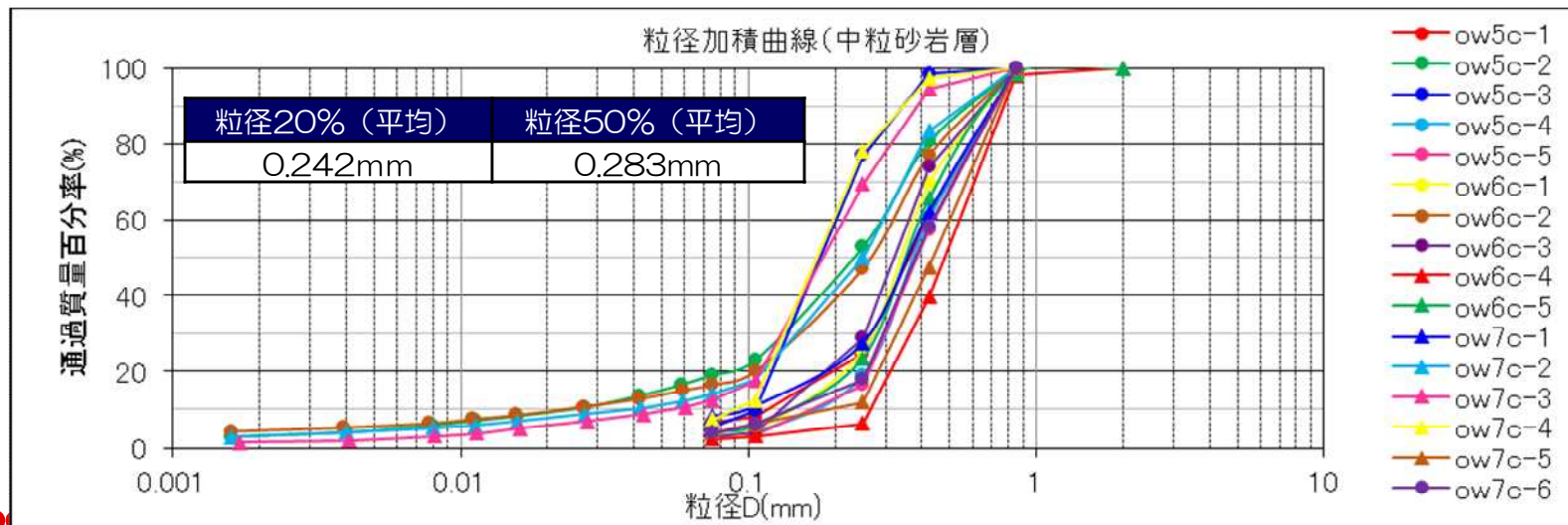
(三次元浸透粒解析の解析条件等は参考1 P30を参照)

※ 間隙率を41%として算定



■中粒砂岩層の土質試験結果

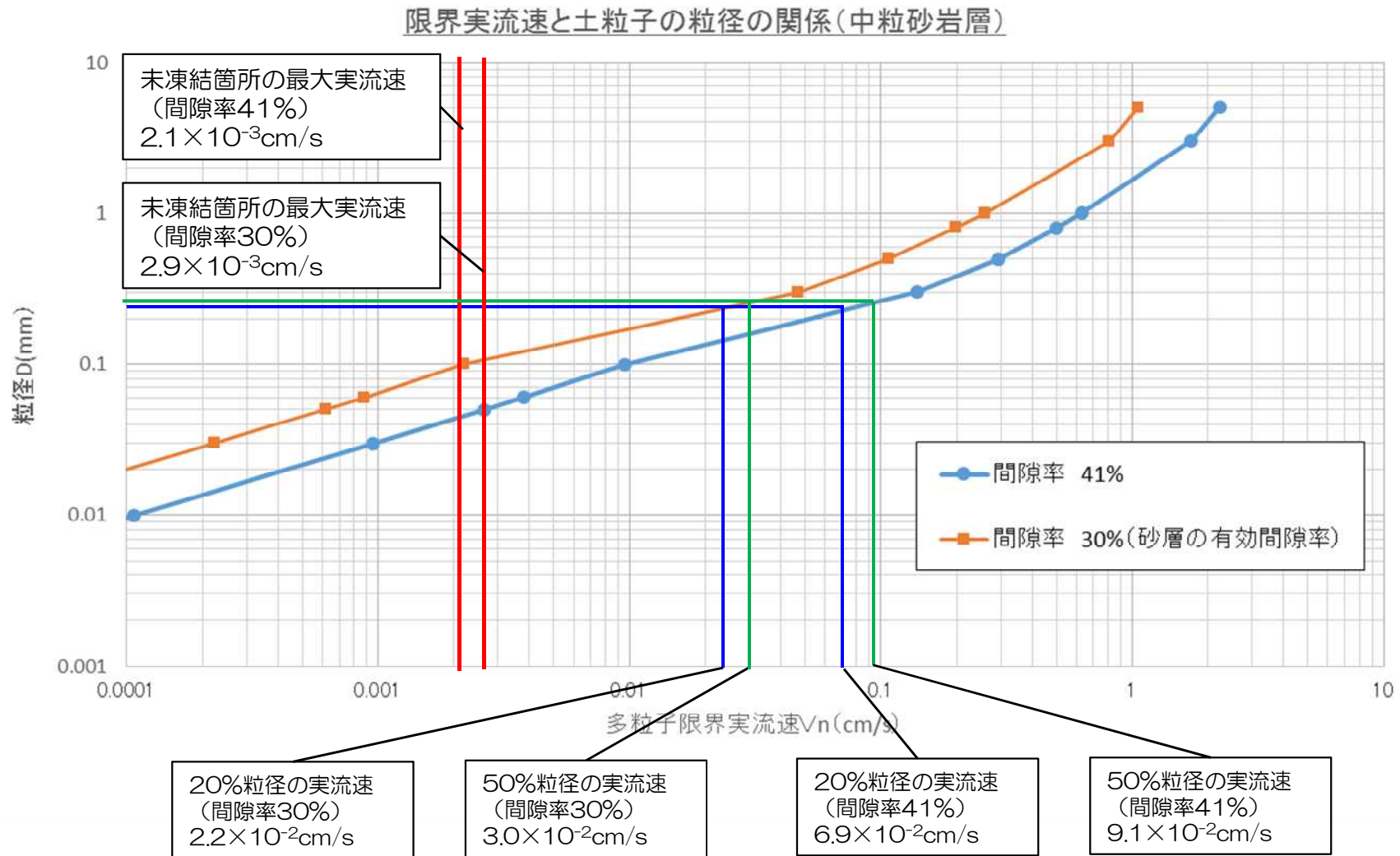
- 土質試験結果による中粒砂岩層の粒径加積曲線（ふるいを用いた土粒子の通過質量の累計曲線）は以下の通り。
- なお、土質試験結果は、FS（実証試験）において実施した試験結果（5号機南側，16試料）を用いた。



未凍結箇所地下水流速が速くなる場合の地盤安定性(3/3)

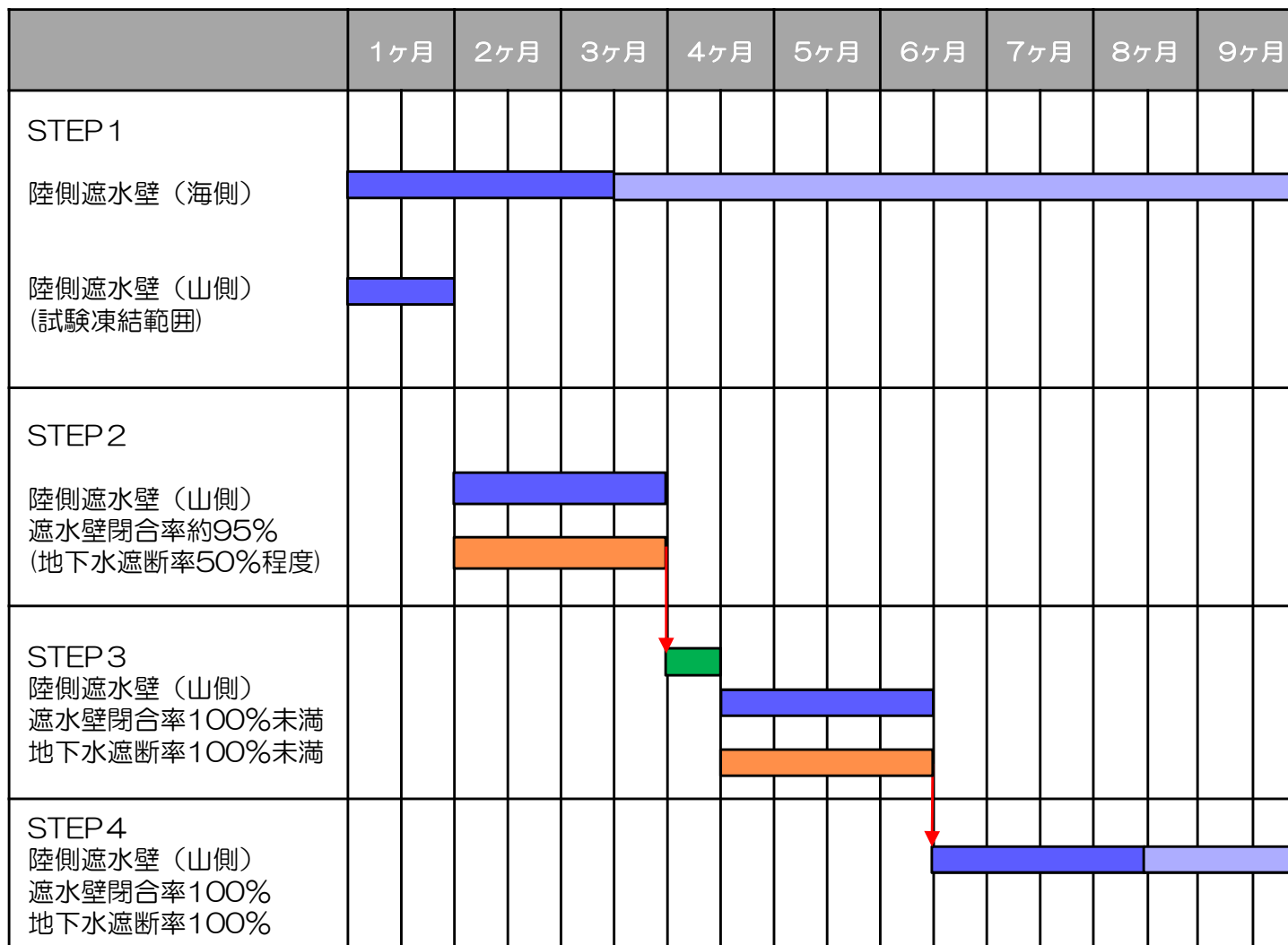
■評価結果

- 20%粒径および50%粒径の限界実流速は、間隙率が30%（砂層の有効間隙率），41%（室内試験値）のいずれの条件でも、未凍結箇所の実流速（解析結果）より1オーダー程度大きい結果となった。
- 以上より、未凍結箇所地下水流速が速くなる場合においても、地盤安定性は維持できるものと考えられる。



※ 水平方向における土粒子の抵抗を考慮して多粒子限界実流速は「多粒子限界実流速の算定式」の算出結果に摩擦係数（内部摩擦角 38.5° *）を乗じた値としている。内部摩擦角は、「福島第一原子力発電所 原子炉変更許可申請書」を参照。

段階的な閉合に関するスケジュール

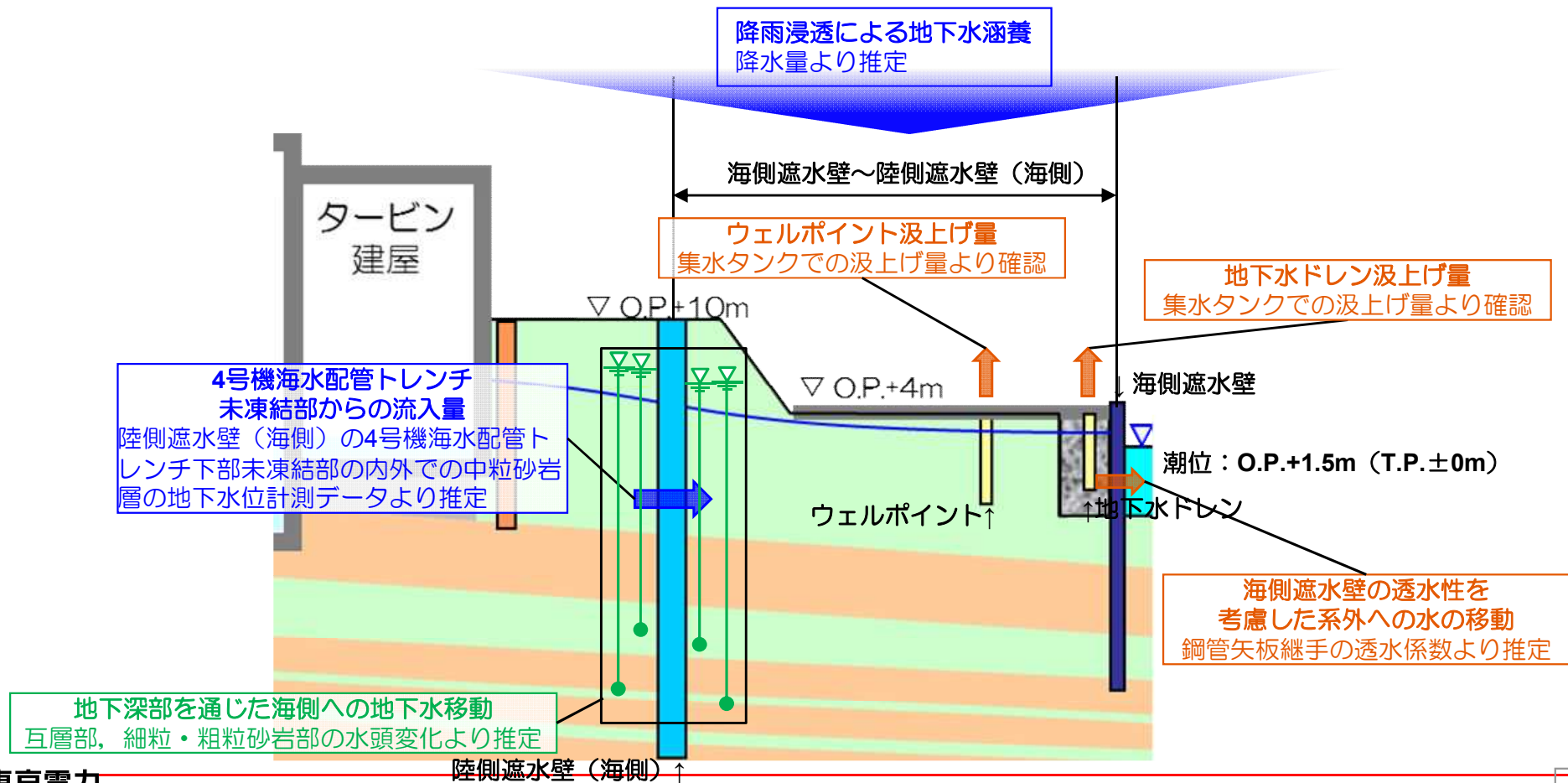


- : 凍土造成中
- : 凍土造成完了, 維持
- : 補助工法
- : ステップ完了評価※

※ : STEP2とSTEP3は次ステップへの判断

陸側遮水壁（海側）閉合過程のデータ活用

- 陸側遮水壁（海側）の閉合過程において得られる下記データを、陸側遮水壁（山側）STEP2の評価の際の参考として活用する。
 - 地下水ドレン・ウェルポイント汲上げ量，4号機海水配管トレンチ下部未凍結部からの流入量等に基づく「海側遮水壁～陸側遮水壁（海側）で閉合された範囲外」への地下水移動
 - 陸側遮水壁（海側）閉合前後の互層，細粒・粗粒砂岩の地下水頭の変化 → 陸側遮水壁の閉合範囲内から地下深部を通じた海側への地下水移動
 - 測温管温度に基づく陸側遮水壁（海側）の凍結状況



7. 運用ルール【Ⅱ.4-1.(3)②】

■ 地下水流入量の低減方策と陸側遮水壁閉合開始後の水位管理

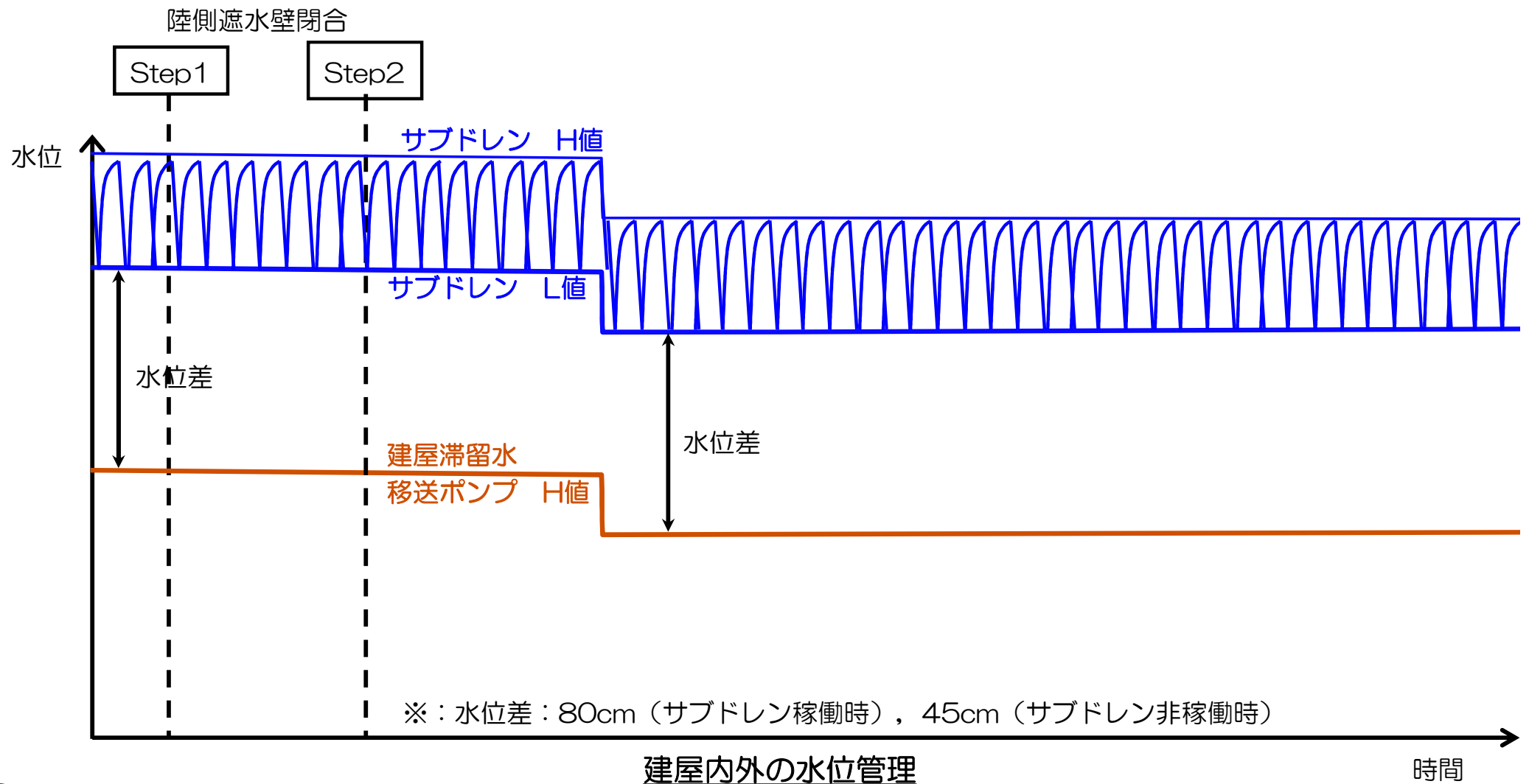
- 建屋内外の水位差を一定以上に維持しつつ、建屋への地下水流入箇所よりも地下水位を低くすることで建屋への地下水流入量を低減していく。
- 建屋内外の水位差を一定以上に維持するために、サブドレンの稼働・停止で地下水位をコントロールできる状態を保持していく。
- 従って、基本的には、下記の「現状の建屋内外の水位管理」を継続する。

■ 【参考】現状の建屋内外の水位管理

- 基本方針：地下水位より建屋水位を低くし、水位の逆転を防止する。
- 基本方針を実現するための運用
 - ◆ 比較対象領域内の建屋滞留水水位の最高値と近傍のサブドレンピット水位の最低値間の水位差警報を設定し、建屋内外の水位差を監視している。（参考1 P38参照）
 - ◆ 更に警報設定の水位差は、建屋内外の水位計の計測誤差に対して余裕を考慮しており、水位差に関する異常をより早期に検知出来るようにしている。（参考1 P39参照）
 - ◆ 更に、サブドレン、建屋滞留水移送ポンプの運用ルールとしてサブドレン側のL値と建屋滞留水側のH値の差=「0.8m+塩分補正」を確保し、運用している。（参考1 P40参照）

陸側遮水壁閉合時および閉合後のサブドレンの運用と1～4号機建屋内外の水位管理

- 陸側遮水壁閉合後においても、サブドレンは現状の実施計画通り稼働させ続ける。
- 建屋水位とサブドレン水位は、現状と同様に、サブドレンポンプのL値と建屋滞留水移送ポンプのH値を設定することで両者の『水位差』を確保する。



滞留水移送装置の設置計画（従来設備と新規設備の比較）

		従来設備	新規設備	
滞留水移送ポンプ	台数	合計11台 (各号機タービン建屋(4箇所))	合計22台 (各号機の各建屋(原子炉建屋, タービン建屋, 廃棄物処理建屋)に原則として1箇所設置(11箇所))	
	排水容量	単体	12m ³ /h	18m ³ /h
		全体	最大約1,920m ³ /日 (80m ³ /h)	現状以上の排水容量とする
水位計	設置箇所数	合計12箇所(各建屋1箇所)	合計69箇所 (制御用: 11箇所, 監視用: 58箇所)	
	計測頻度	3回/日(Webカメラによる目視確認)	常時水位計測データを取り込み, 免震棟(遠隔)にて一括管理	
	耐放射線性	放射線影響等によるドリフトあり	耐放射線性, メンテナンス性を向上	
インターロック		<ul style="list-style-type: none"> 現場での手動操作 手動運転 警報なし 	<ul style="list-style-type: none"> 免震棟での遠隔操作 自動運転(水位自動制御) 警報出力 	
流量計		なし	滞留水移送ポンプごとに設置	

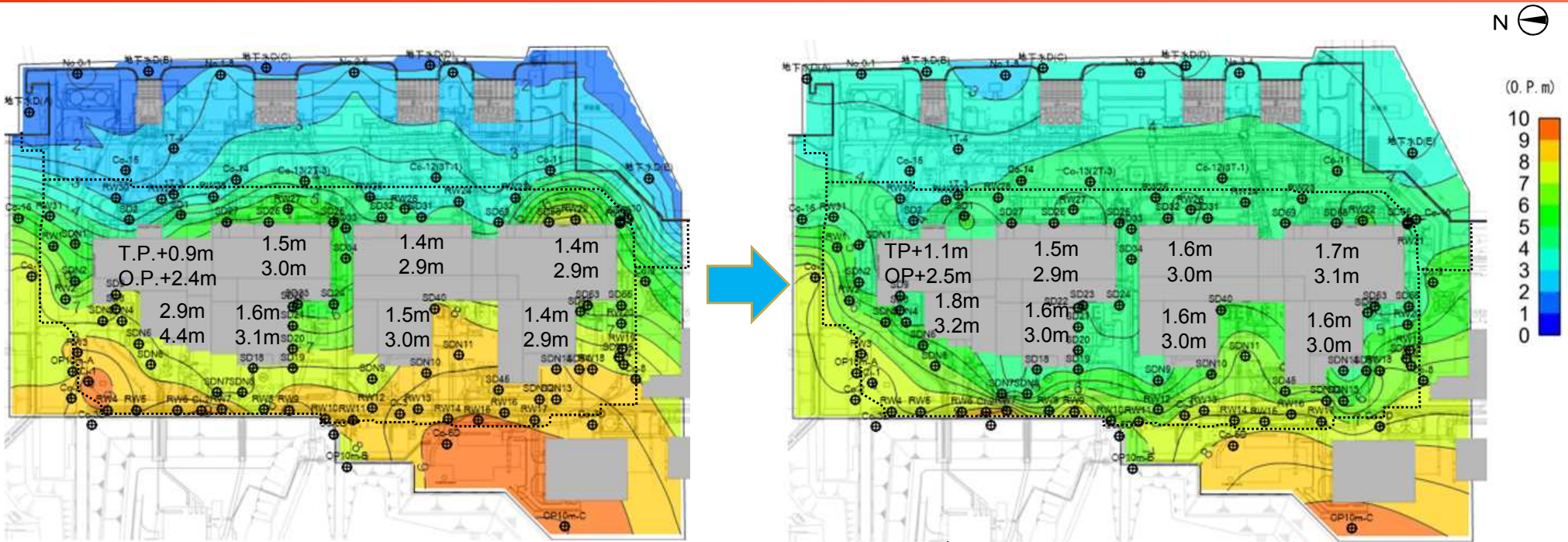
- 陸側遮水壁運用後の水位管理を行っていくうえで、地下水位の急速な低下などの異常時の対応として①注水井への注水等を行い、状況の改善が十分で無い場合あるいは緊急を要する場合には、更に②～④の順で追加措置を講じる。
 - ① 注水井への注水等
 - ② 凍結運転の停止
 - ③ 建屋滞留水の移送（予備ポンプの起動・1号タービン建屋の残水処理 等）
 - ④ 陸側遮水壁の部分撤去

【異常時以外の注水井の運用】

- 降雨が少ない期間が継続した場合に、陸側遮水壁閉合範囲内の観測井水位等の変動傾向により、降雨の補完としてあらかじめ注水を実施する場合がある。

8. 水位管理の妥当性【Ⅱ.4-1.(2)①,②】

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



サブドレン稼働・海側遮水壁閉合前(2015/5/20)

建屋水位上段:T.P.+m
下段:O.P.+m

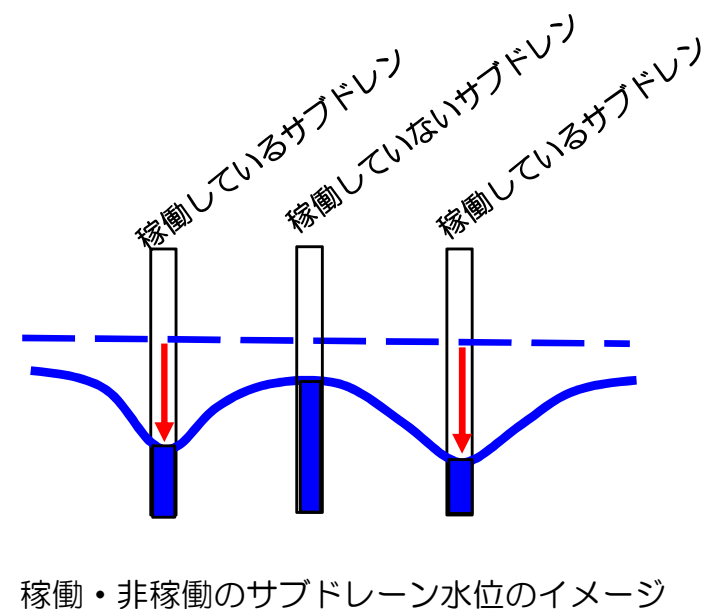
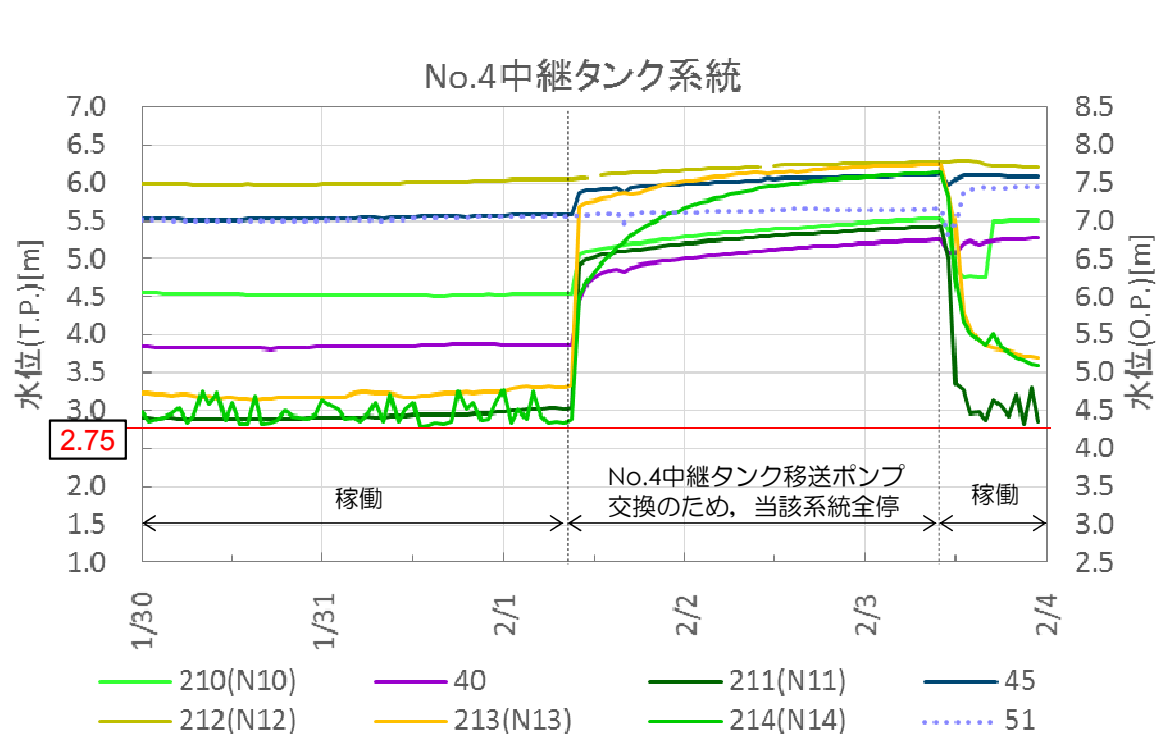
サブドレン稼働・海側遮水壁閉合後(2016/1/17)

[海側サブドレン稼働水位T.P.+2.8m(O.P.+4.2m)]
[山側サブドレン稼働水位T.P.+3.1m(O.P.+4.5m)]

- 下部の被圧透水層である互層部の水頭は中粒砂岩層の水位と同等もしくは高いこと、さらに下部には難透水層の泥質部があることから、中粒砂岩層の地下水が下方の地層に抜けて低下する可能性は低い。
- サブドレン稼働前は、地下水が山側から海側に向かって徐々に低下していることが認められ、建屋山側で水位が高く、海側で低くなっている。
- 海側遮水壁閉合により海近傍の水位は上昇している。一方、サブドレン稼働により建屋周辺の地下水位は低下している。図に示した範囲内で、建屋滞留水水位より低い地下水が確認されているのは地下水を汲み上げている地下水ドレン付近に限定されている。
- 今後、陸側遮水壁の海側を閉合することにより、上記地下水ドレン付近とも遮断される。

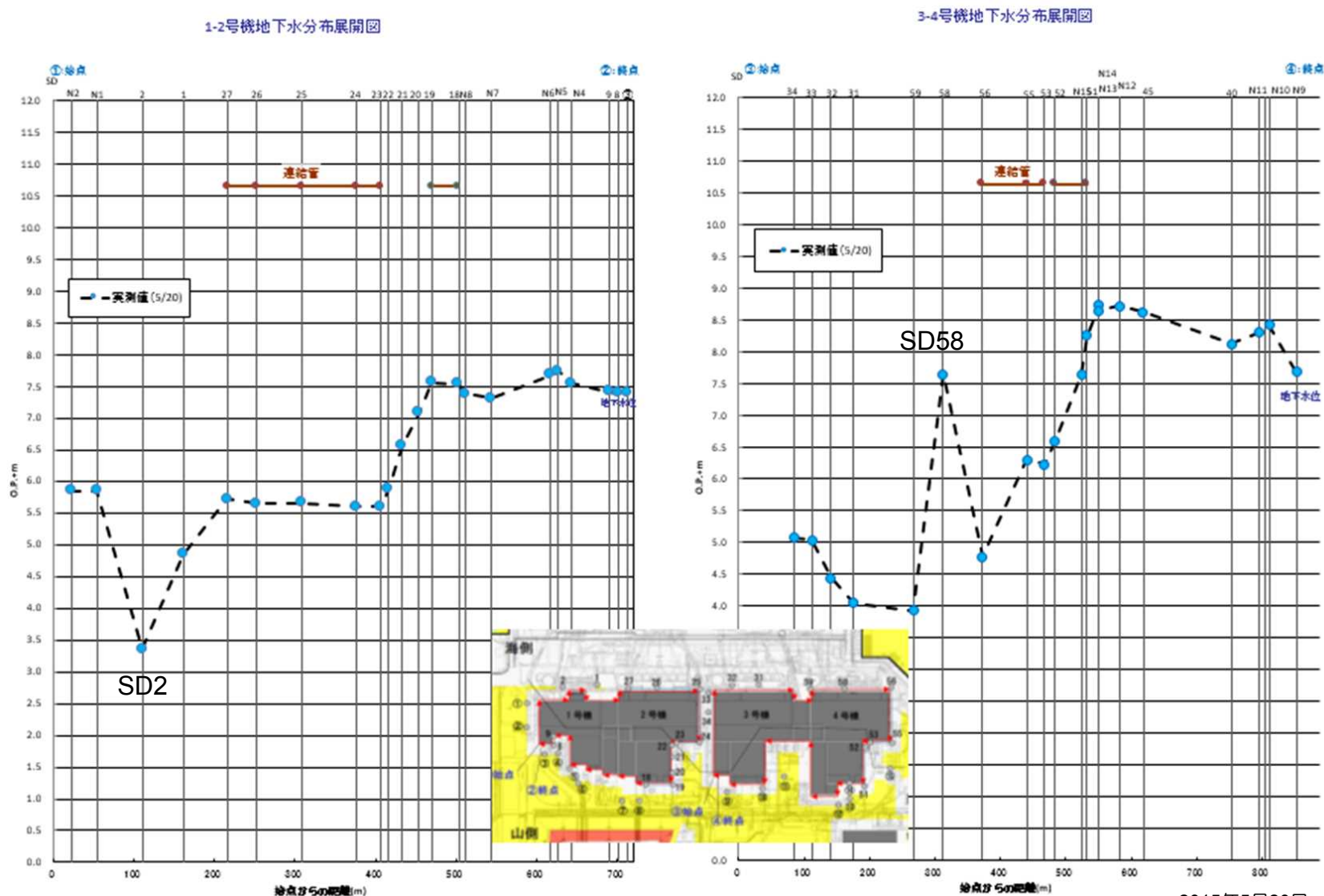
稼働しているサブドレンの水位

- サブドレンはポンプ稼働水位と停止水位の間でOn-Off運転しているが、ポンプが停止した後、周辺からの地下水の流入により、早期（数分間）に水位が回復し、ポンプ稼働水位に到達していることから、稼働しているサブドレン水位は周辺水位に比べて低いことがわかる。
- また、サブドレンを停止させると、サブドレンの水位は、ポンプ稼働水位を大幅に上回る水位（+2m程度）まで、水位が回復することから、周辺の地下水の水位は、稼働しているサブドレン水位より十分に高いことがわかる。
- 陸側遮水壁を凍結開始後もサブドレンが稼働を継続することから、建屋滞留水との水位差をサブドレンで確認することは妥当であると考えている。
- 陸側遮水壁の凍結途上において、サブドレンのくみ上げ量が低下してきた場合、一時的にサブドレンを停止することにより、周辺の地下水水位を確認することができる。



サブドレン稼働前におけるサブドレン水位の計測結果（建屋側壁展開図）

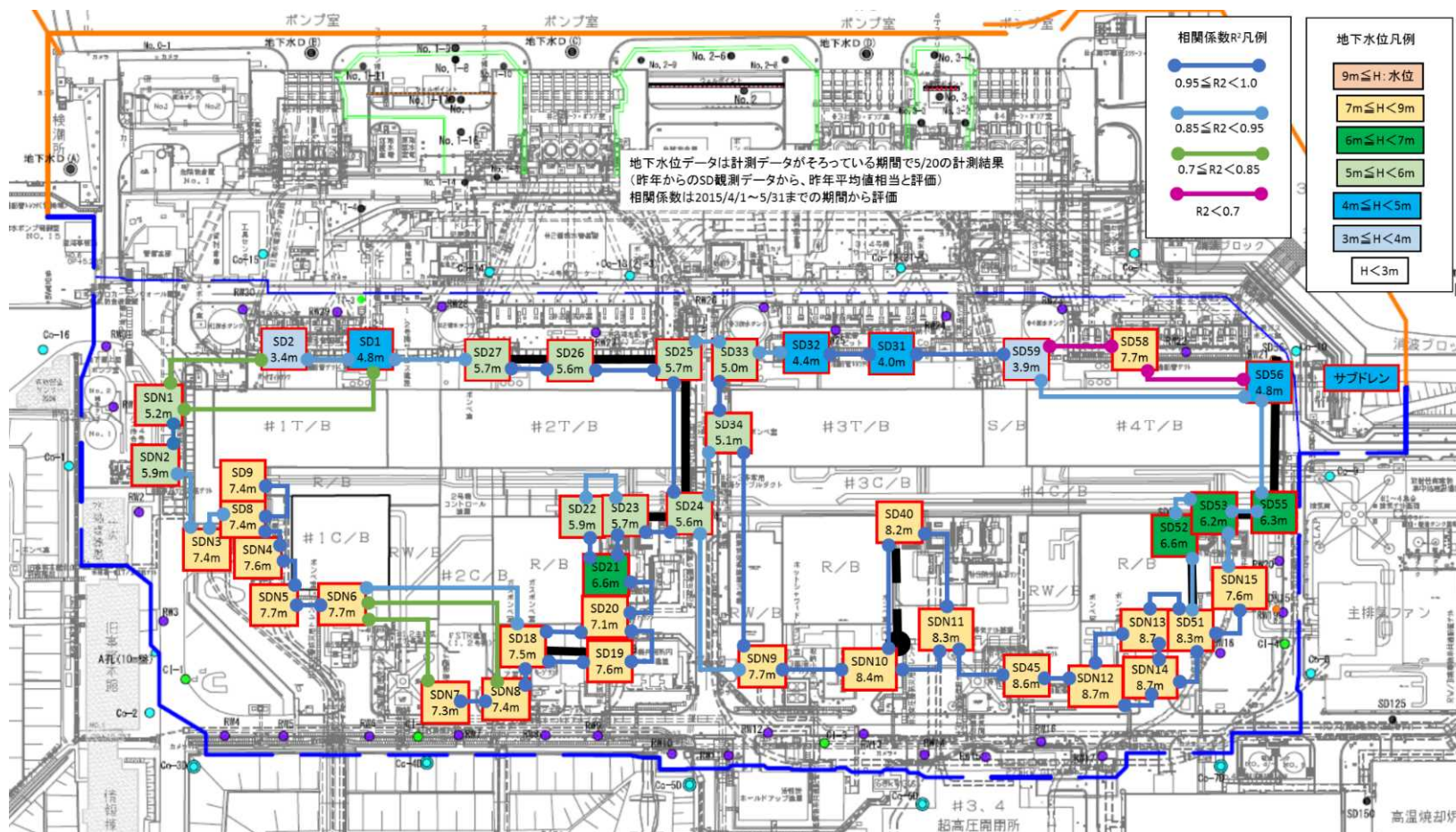
- サブドレンの水位は、地下水が建屋により堰上げられる山側において水位が高く、海側において水位が低い、連通管部分はほぼ水位が一定など、観測されているサブドレン水位は全体として地下水の流れと矛盾があるものではない。
- 個別ピットの水位で、特異なものとしてはSD2（低い）とSD58（高い）であり、周囲に水位観測孔を追加して観測している。



2015年5月20日

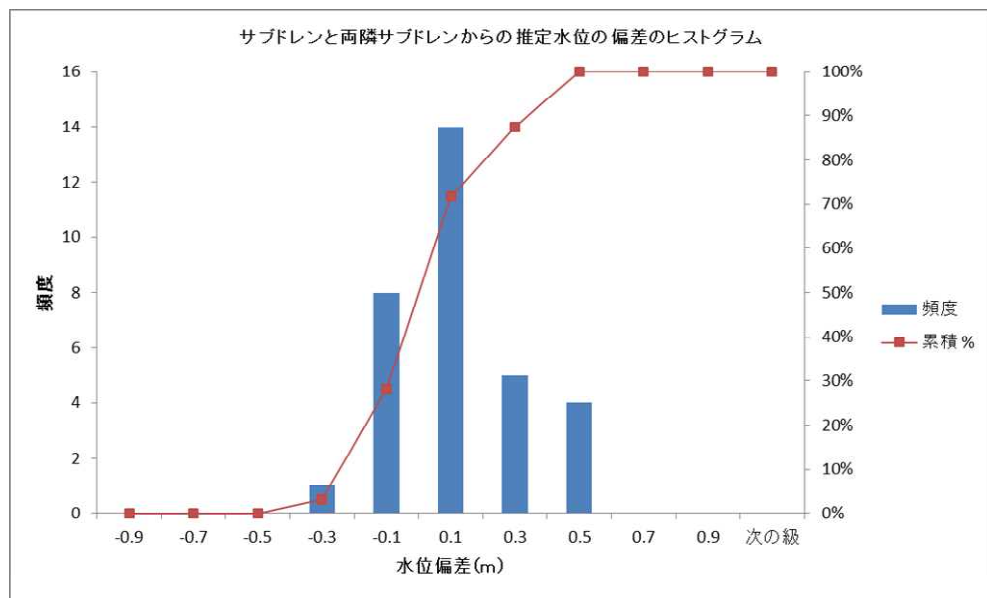
サブドレン稼働前におけるサブドレンピット間の相関について

- 各建屋に対して水位管理対象となるサブドレンピットは5～10カ所設けている。隣接するサブドレンの多くは相互に水位の相関性が高く、その間に無関係の挙動を示す地下水があることは想定されにくい。
- 隣接孔同士で相関性が低いのは、SD 2, SD 58, 及びN6・N7間である。
 - ・SD 2については、周囲に追加孔を設け、本井戸が最も低い水位であることを確認した。
 - ・SD 58は、周囲より高い水位を示していたが、サブドレンの稼働により隣接孔と同程度の水位に維持されている。
 - ・N6・N7間は当該エリアの作業環境により井戸間隔が離れていることによる影響が考えられる。両孔の水位に大きな差がないことから、井戸間に特異な水位がある可能性は低いと考えられるが、作業環境の改善に応じて水位の観測に努める。



稼働していないサブドレン水位と両隣サブドレンから推定される水位との差

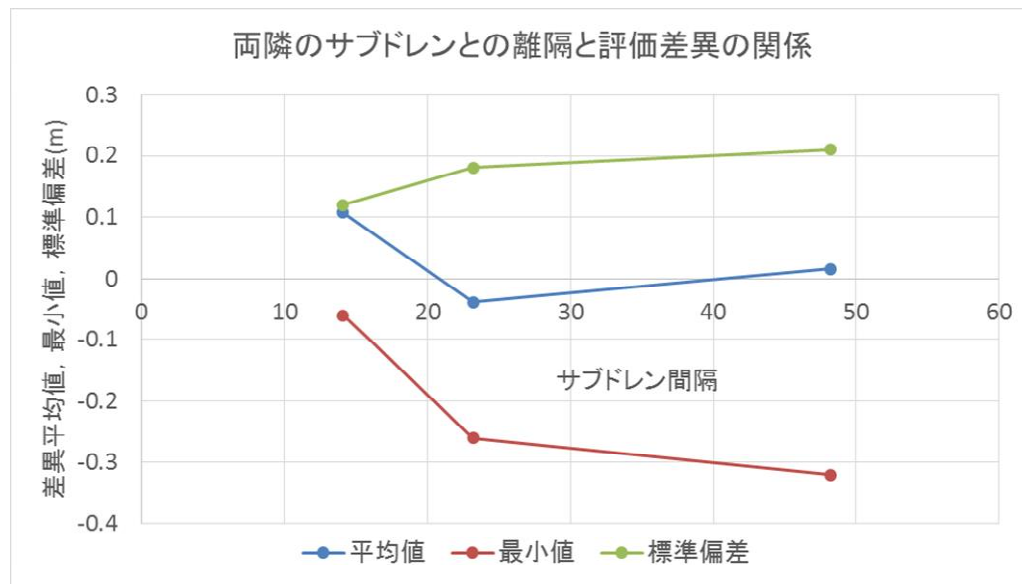
- サブドレン間の水位の推定誤差を評価するために、サブドレンの水位をその両隣サブドレンより推定される水位（両隣のサブドレン水位を距離に応じた重み付け評価）との差異について試算した。
- 実測水位と両側サブドレンからの推定水位との差異の平均は0.01mでありその差異は現状の内外水位差の運用目標（サブドレン稼働時0.8m，非稼働時0.45m）内に包含されている。
- サブドレン間隔による影響を評価すると、サブドレンピット間隔が広くなると、両隣のサブドレン水位から推定した水位と中間孔の実測水位の差のバラツキが大きくなり、両隣から推定される水位と実測水位の差異が大きなもの確認される傾向である。



←両隣のピットから推定される水位より低い

両隣のピットから推定される水位より高い→

平均：0.01m
 最小：-0.32m
 標準偏差：0.19m



※サブドレン間隔20m以下、20～40m、40m超の3グループに分けて評価
 ※SD 2、SD 5 8については特異値であるとして、除外して評価

水位管理の妥当性まとめ

- 陸側遮水壁の海側を閉合することで、建屋周囲の地下水の出口は稼働しているサブドレン以外では建屋になり、出口となる建屋滞留水より低い地下水（内外水位が逆転）が存在する可能性は小さい状況になる。
- 陸側遮水壁閉合後もサブドレンは稼働を継続させていく。
- 稼働しているサブドレンは地下水を汲み上げていることから、サブドレン間の地下水位よりサブドレン水位が低くなっており、建屋周辺地下水位の代表性を有しており、建屋内外水位管理にサブドレン水位の最低値を用いることは妥当である。
- 稼働していないサブドレン水位を両隣のサブドレンから推定される水位と比較しても、その差異は現状の内外水位差の運用目標内に包含されている。
- 1建屋に対して5～10カ所のサブドレンを比較対象として監視しているが、放射線量が高いなどで地下水位の観測ができていない箇所についても、作業環境が改善されれば、順次水位の観測を進める。
- 水質・地下水位低下等によりくみ上げを停止するサブドレンピットについては、個別に、その時点での周囲のピットとの水位・相関性などによる評価を行う。