

凍土方式遮水壁の概要について (参考資料)

平成26年3月31日

東京電力株式会社

鹿島建設株式会社



東京電力



1. 凍土方式遮水壁に関する実施計画申請の状況

■実施計画申請の状況

- 国の汚染水処理対策委員会の報告書（H25.5.30）にて、「地下水流入抑制の抜本策の柱としてプラント全体を取り囲む凍土方式の陸側遮水壁（以下、凍土遮水壁と言う）を設置すべき」とあり、現在、凍土遮水壁の設置を計画している。
- 凍土遮水壁の実実施計画として、「2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋 添付資料-14 凍土遮水壁設置による地下水流入量の低減」を申請。
（申請日：H26.3.7）
- 今後、実証試験、解析、詳細設計の進捗に応じ、補正申請を行う予定。

2. 凍土遮水壁の目的

凍土遮水壁の目的

汚染源に水を「近づけない」の重層的な対策の一つとして、汚染水が滞留している原子炉建屋内への地下水流入量を低減させることで**汚染水の増加を抑制**すること

汚染水の増加を抑制させる方策とは

山側からの地下水を原子炉建屋内に流入させないよう、原子炉建屋周りに凍土による遮水壁を設置する。

3. 凍土遮水壁の設計の考え方

- ・ 事業期間は、建屋内止水処理が完了する約7年後までとし、その間において凍結プラント（凍結管も含む）のメンテナンスや交換が容易にできるシステムとする。
- ・ 事業期間が過ぎた後においても必要に応じてメンテナンスやリプレイス等の対応で機能維持ができることとする。
- ・ 建屋内止水処理の完了後は、速やかに凍土を解凍する。

4. 1 事業概要 (1 / 3) 凍土遮水壁の位置づけ

建屋に地下水を『近づけない』対策

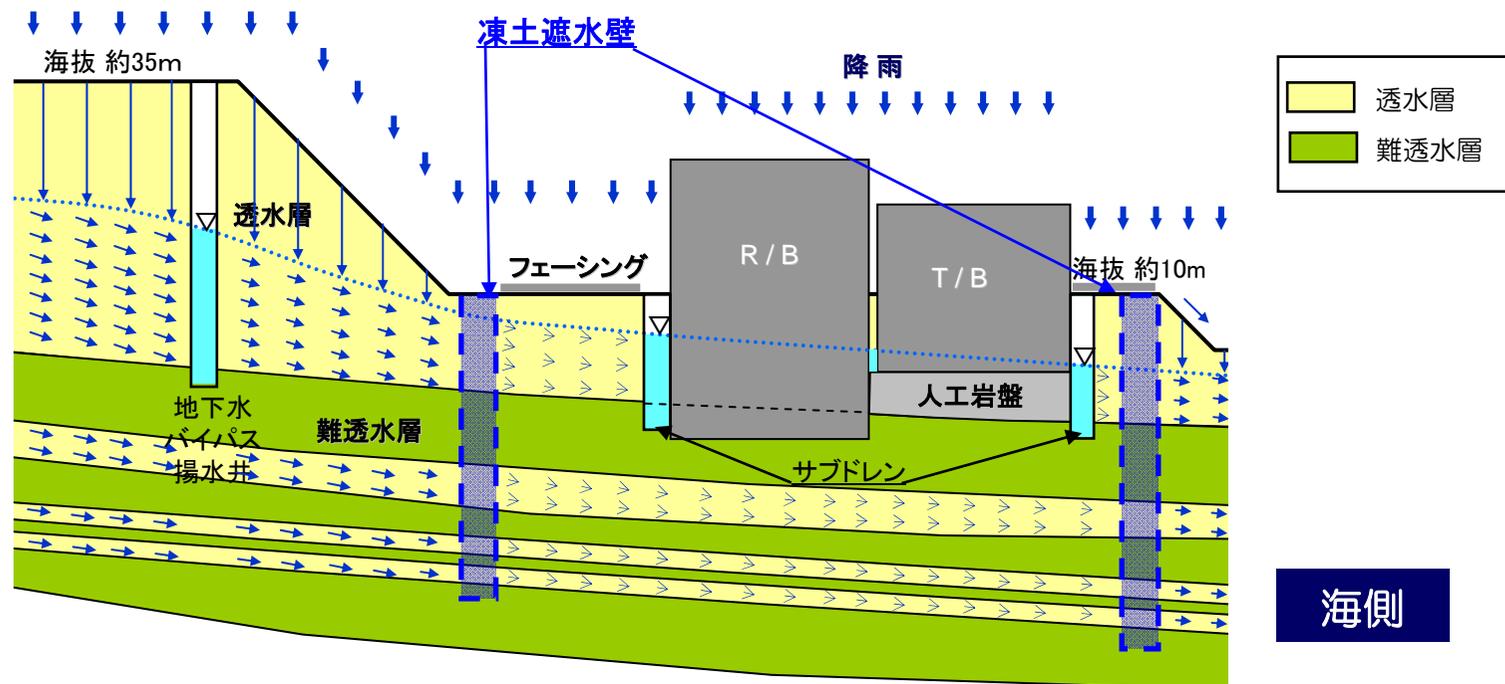
地下水バイパス

サブドレン

建屋に地下水を『近づけない』
重層的な対策

凍土遮水壁

+

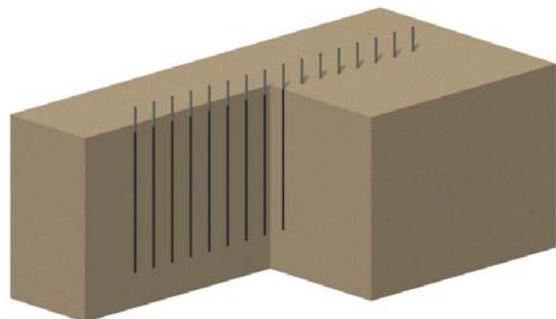


山側

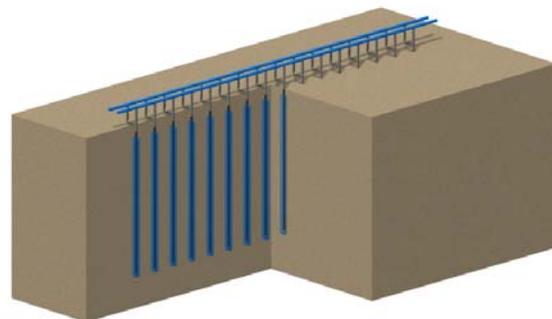
海側

4. 2 事業概要 (2/3) 凍土遮水壁の施工イメージ

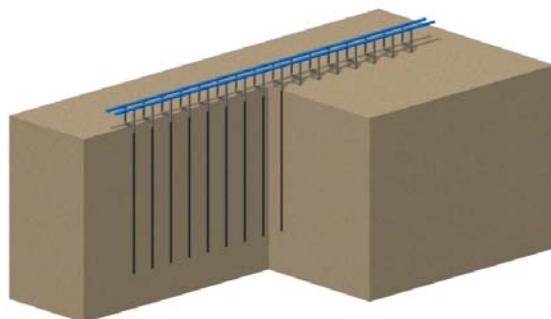
施工手順



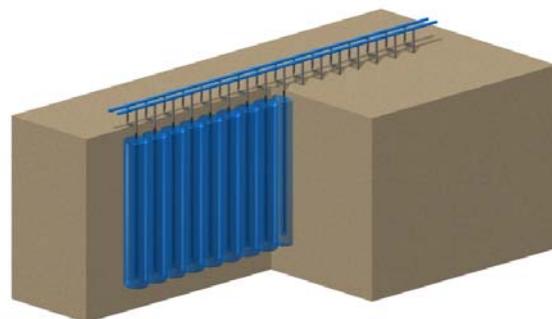
(1)ボーリング・凍結管建込み



(3)凍土遮水壁 造成開始



(2)冷媒配管接続



(4)凍土遮水壁 造成完了

施工イメージ

削孔には、井戸や杭の削孔で用いられているロータリー式のボーリングマシンを使用（汎用性あり）



[出典；鹿島建設]

4. 3 事業概要（3／3） 凍結工法の実績

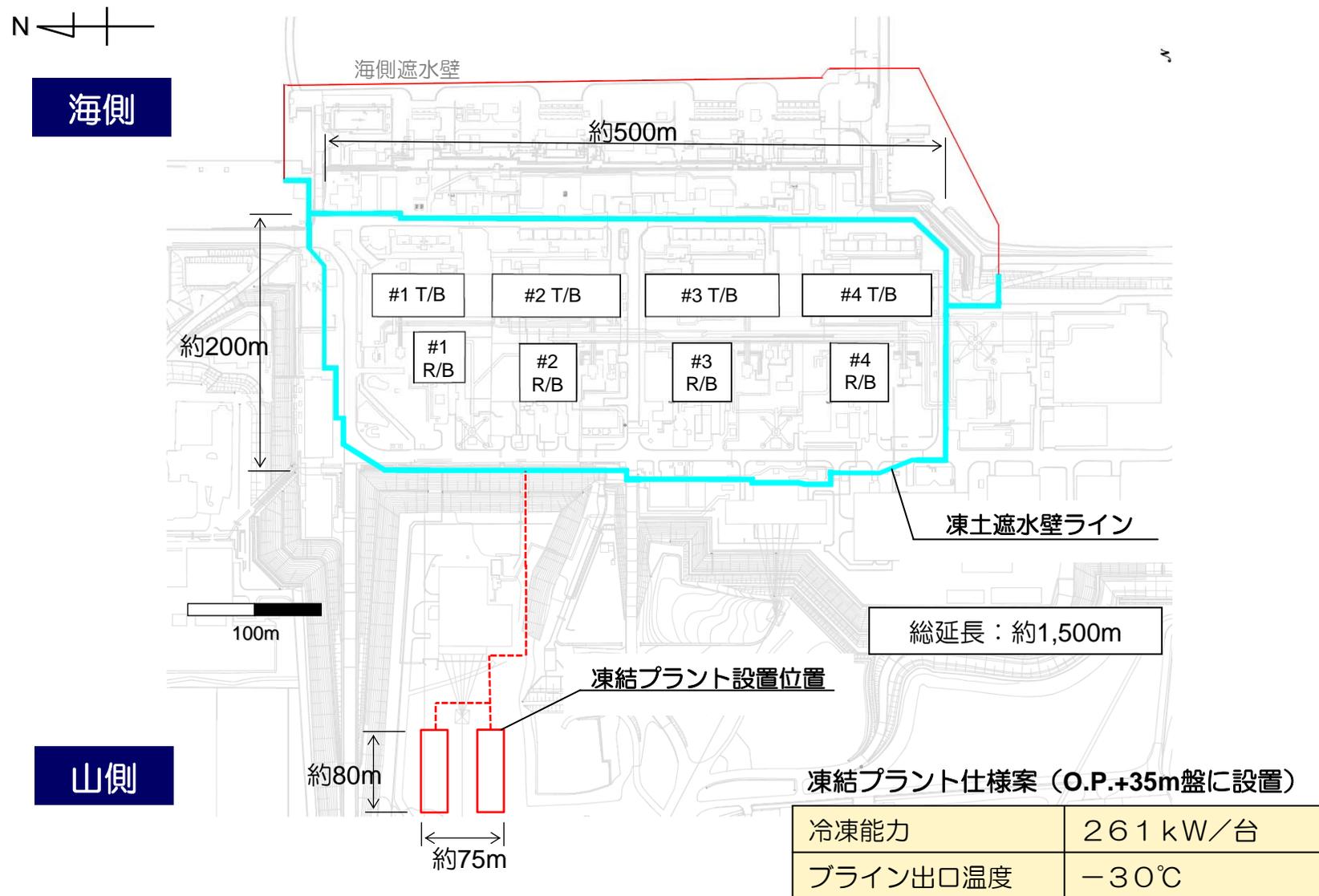
■凍結工法の実績

- ・国内での凍結工法は、オープン掘削が不可能な都市部（シールドトンネル 拡幅・接続部等）での掘削時地山自立性の確保のために多数使われている。
- ・昭和37年～平成23年竣工の主要凍結工法採用工事（建設会社ヒアリングに基づく588件の工事実績）のうち、最大の凍土造成量は40,000m³※程度。
- ・今回の凍土遮水壁の凍土造成量は、現計画では70,000m³程度であることから、国内では過去最大の凍土造成量となる。

※都営10号線営団11号線九段下第二工区日本橋川河底部隧道築造防護凍結工事
（竣工年月：昭和55年8月完了）

5. 凍土遮水壁ライン・凍結プラント基本配置

凍土遮水壁ライン・凍結プラント基本配置計画



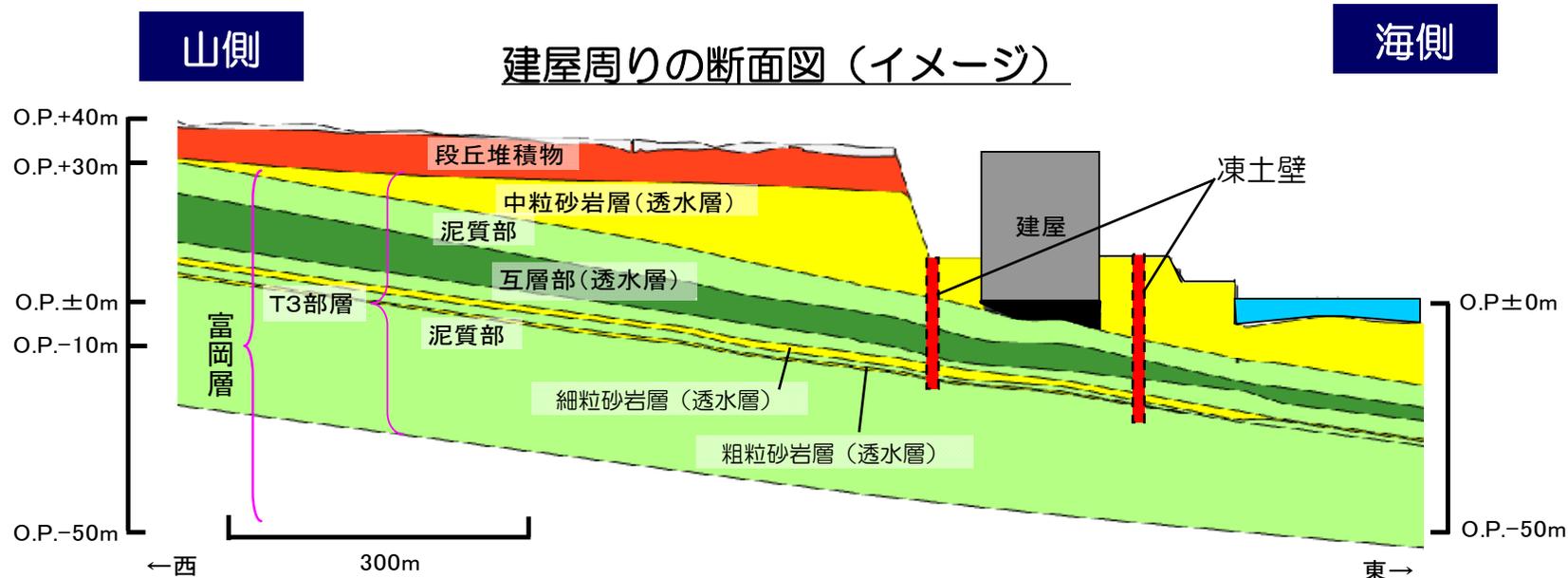
6. 凍土遮水壁の深度

■ 凍土遮水壁の深度

- ・ 建屋内への地下水の主な流入源は中粒砂岩層（4号原子炉建屋は互層も含む）であると想定されるが、遮水壁の根入れ深さについては、以下の点を考慮し、粗粒砂岩層下の泥岩まで根入れすることとした。

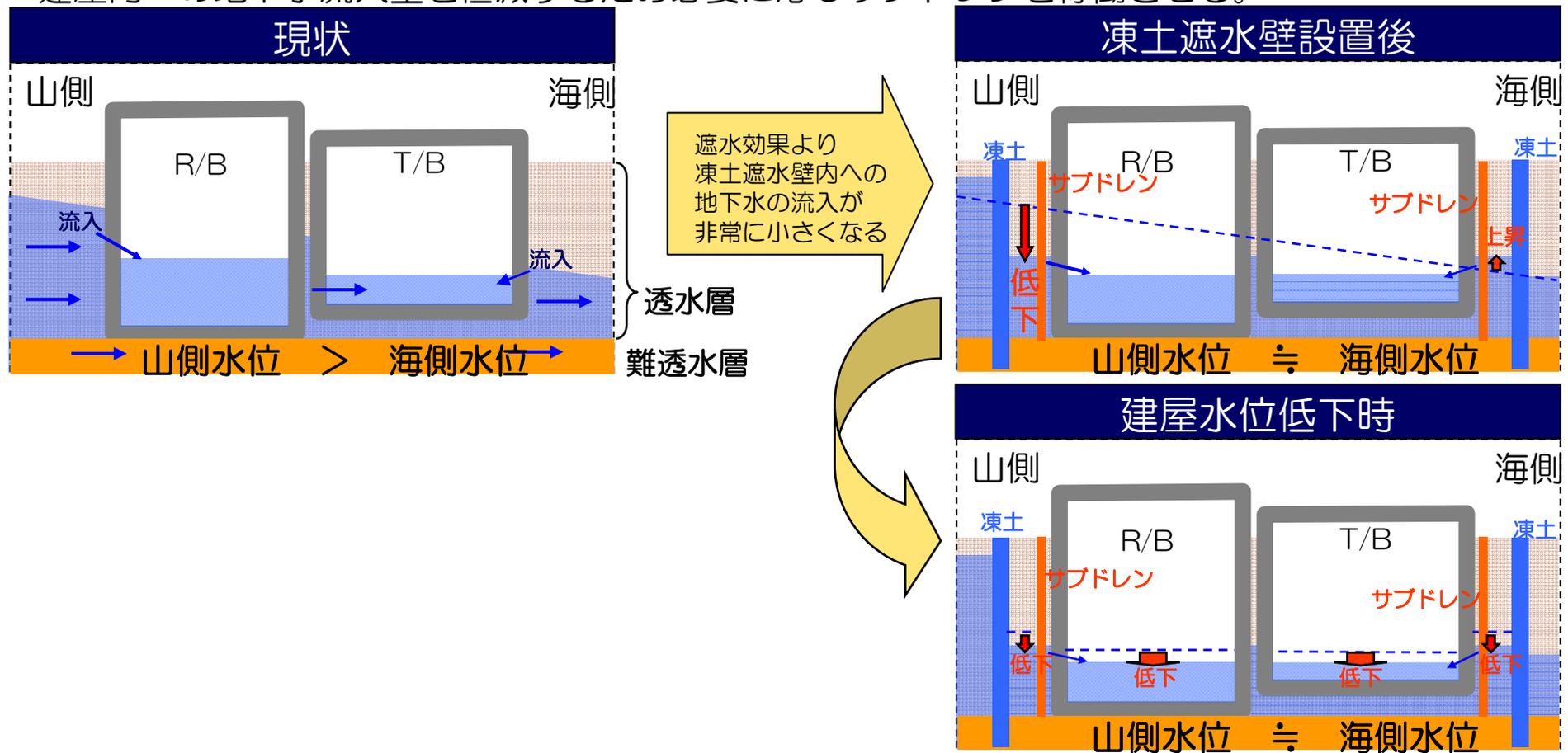
地下水流入量の低減効果

- ・ 凍土壁を根入れする泥岩が下部からの地下水の湧水を十分に抑制し、建屋内への地下水流入量の低減効果が大きい。

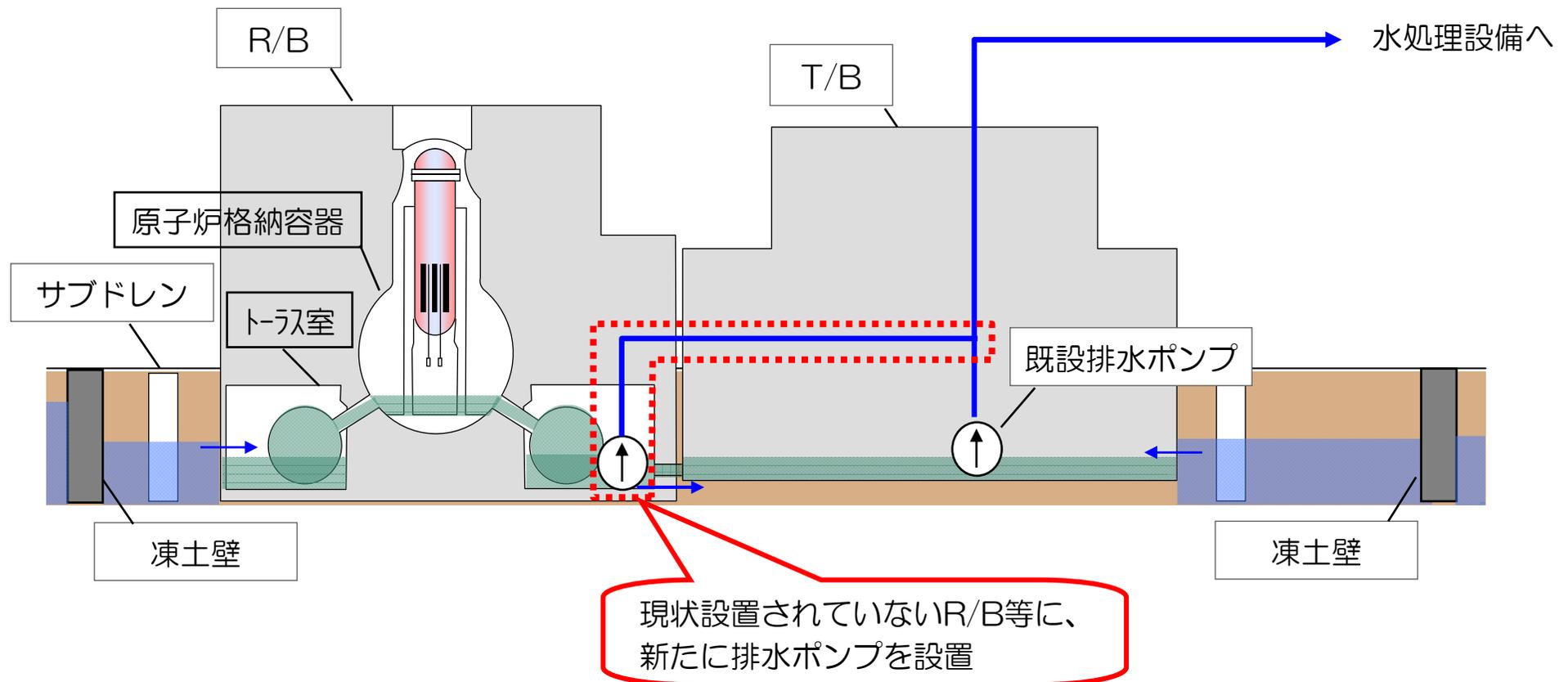


7. 凍土遮水壁設置による地下水位の変動

- ・現状、建屋周辺水位は山側＞海側となっているが、凍土遮水壁の遮水効果により閉合範囲内の水位は全体に均一になるようゆっくりと変化（山側：低下、海側：上昇）する。また、閉合範囲内の地下水は徐々に建屋内に流入していき、それに伴い水位は全体的に低下していく。
- ・その後、計画に沿った建屋内の水位低下に伴い、凍土壁内の地下水位も低下していく。その際、建屋内への地下水流入量を低減するため必要に応じサブドレンを稼働させる。



8. ポンプ増設計画について



1. 目的

地下水位低下時における建屋内滞留水の建屋個別の水位制御

2. 工程

H27. 3 凍土壁造成開始までに排水ポンプを設置

9. 建屋の水位管理について

■ 実施計画（Ⅱ，Ⅲ章）建屋の水位管理は、現状の以下の記載である。

■ Ⅱ 特定原子力施設の設計，設備

2.6 滞留水を貯留している（滞留している場合を含む）建屋

◆ 2.6.1.3 設計方針

(2) 汚染水処理設備の長期間の停止，豪雨等があった場合にも，建屋等の外への漏えいが防止できるように水位を管理する。

具体的には，汚染水処理設備の長期間の停止及び豪雨等に備え，タービン建屋等の水位を余裕のある水位に維持することにより管理する。また，プロセス主建屋，高温焼却炉建屋については，受け入れを停止すれば問題とならない。また，1～4号機の滞留水が急激に増加した場合，高濃度滞留水受タンク等に貯留する。

■ Ⅲ 特定原子力施設の保安

表26-1

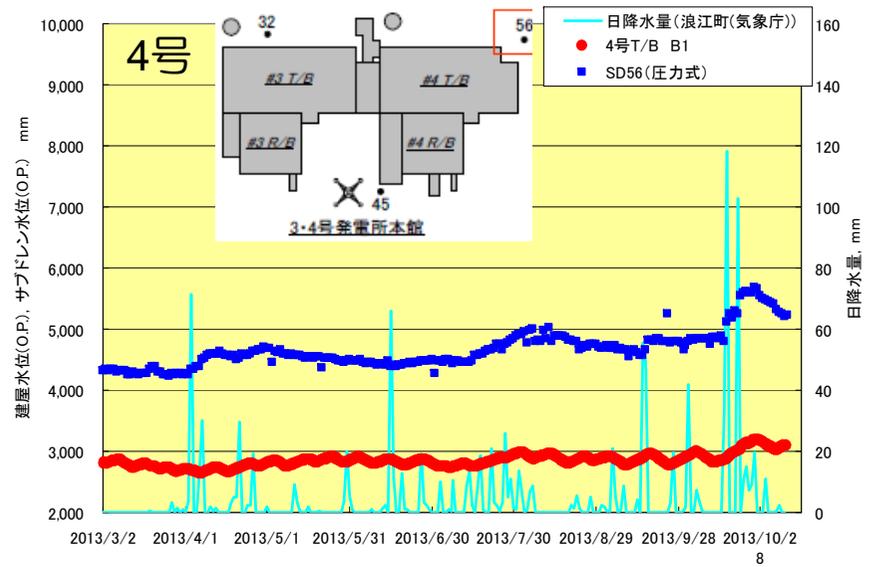
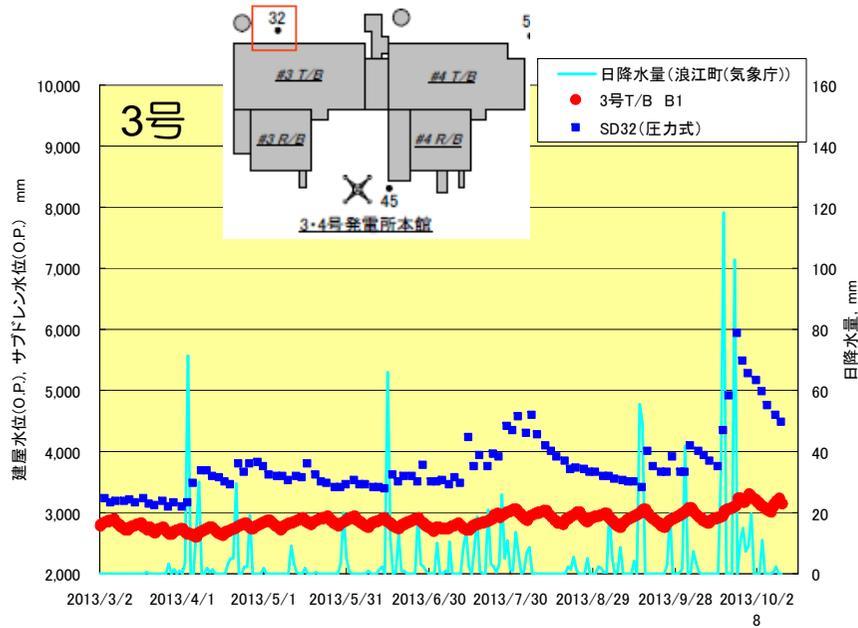
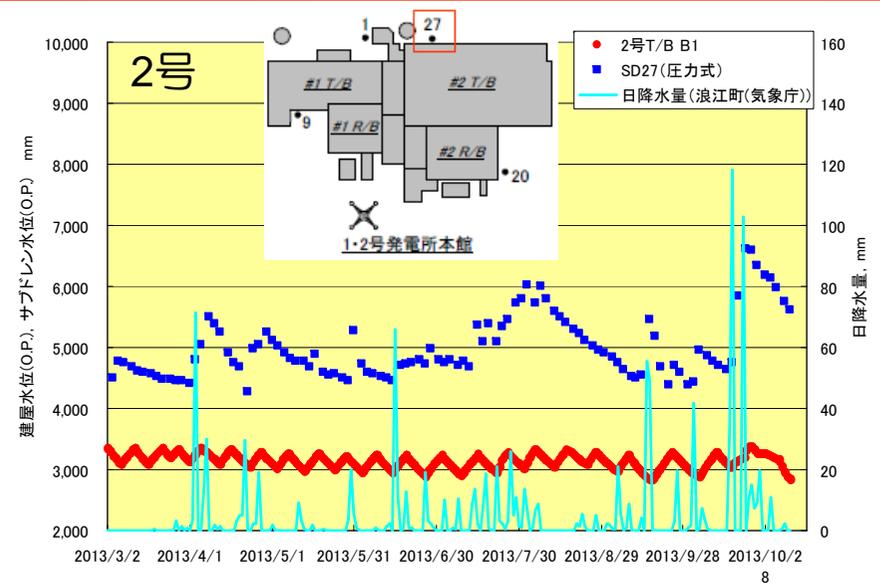
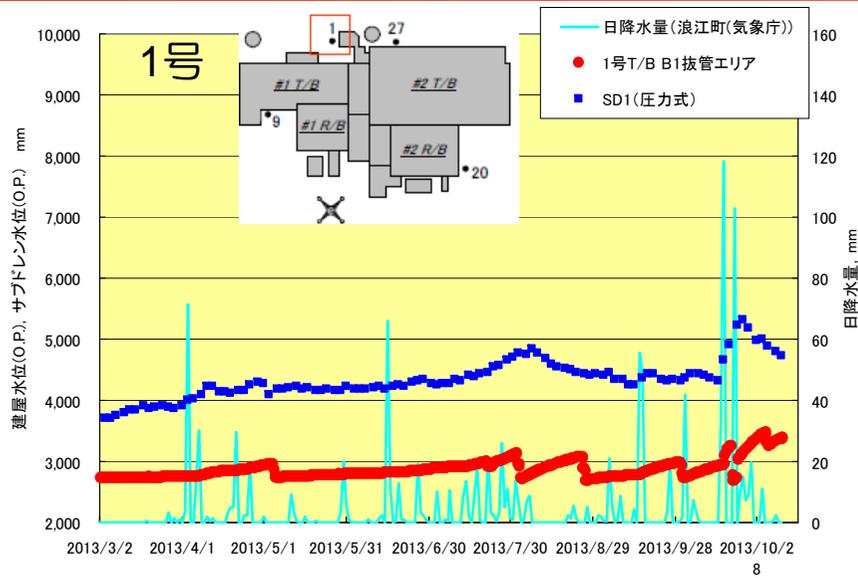
項目	運用上の制限
1号炉，2号炉，3号炉および4号炉タービン建屋の滞留水水位	各建屋近傍のサブドレン水位を超えないこと
1号炉，2号炉，3号炉および4号炉原子炉建屋の滞留水水位	
1号炉，2号炉，3号炉および4号炉廃棄物処理建屋の滞留水水位	
プロセス主建屋の滞留水水位	
雑个体廃棄物減容処理建屋の滞留水水位	

◎タービン建屋等の水位の余裕

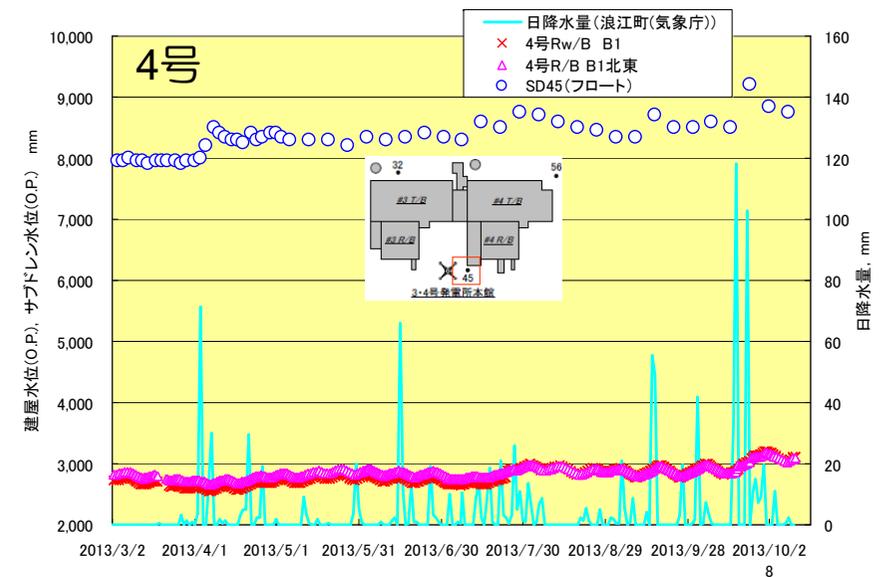
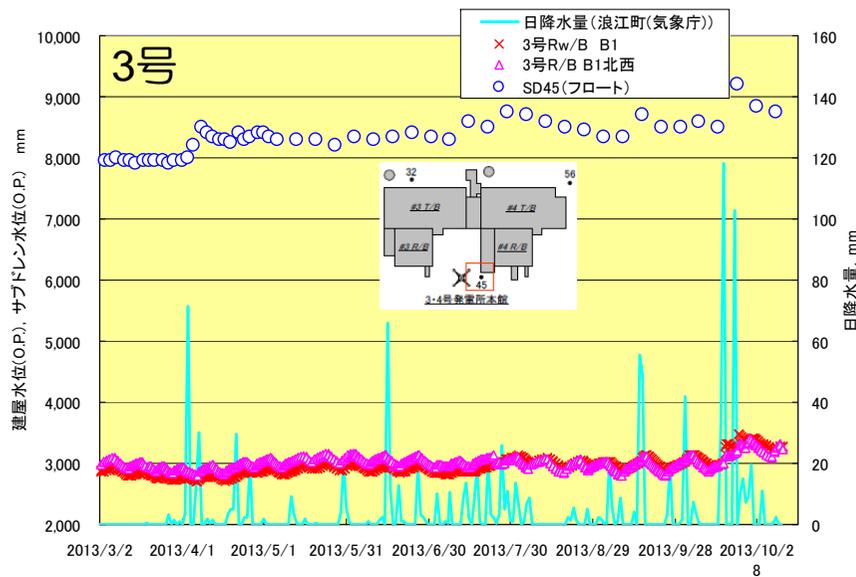
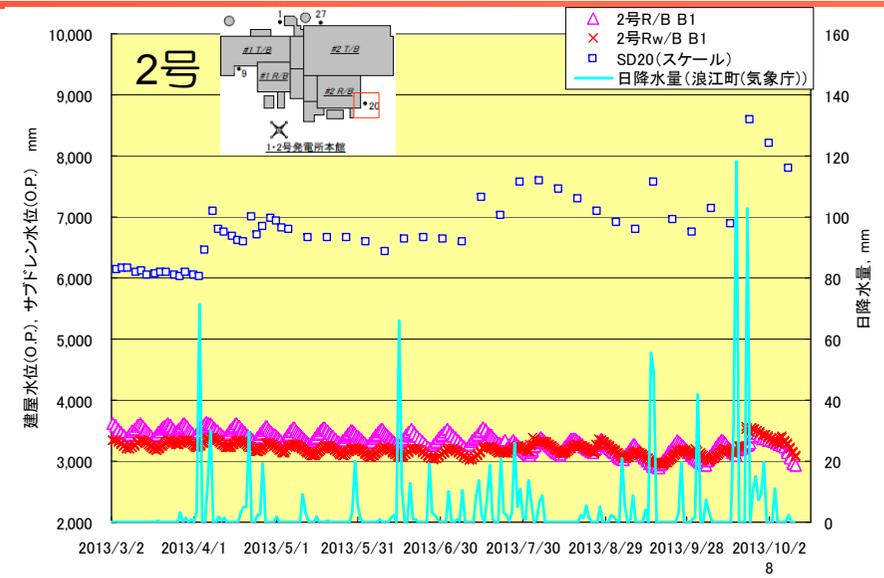
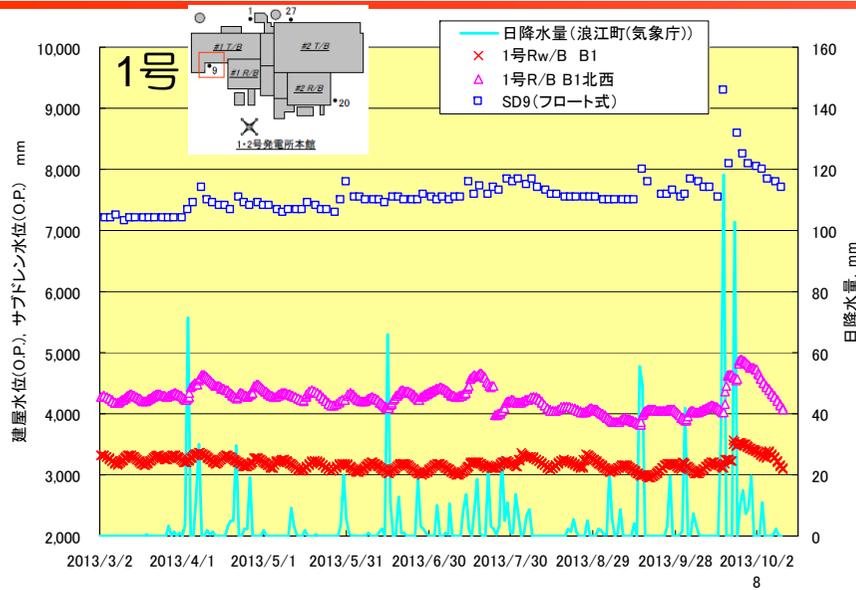
● 現状のタービン建屋水位の運用について、実施計画等の記載は上述のとおりであるが、実際の運用ではタービン建屋の水位に余裕を持った管理を実施している（実績を次頁に示す）。

なお、凍土遮水壁構築後の運用管理方針については今後検討する。

10.1 タービン建屋の水位の余裕について（実績）



10.2 原子炉建屋、廃棄物処理建屋の水位の余裕について（実績）



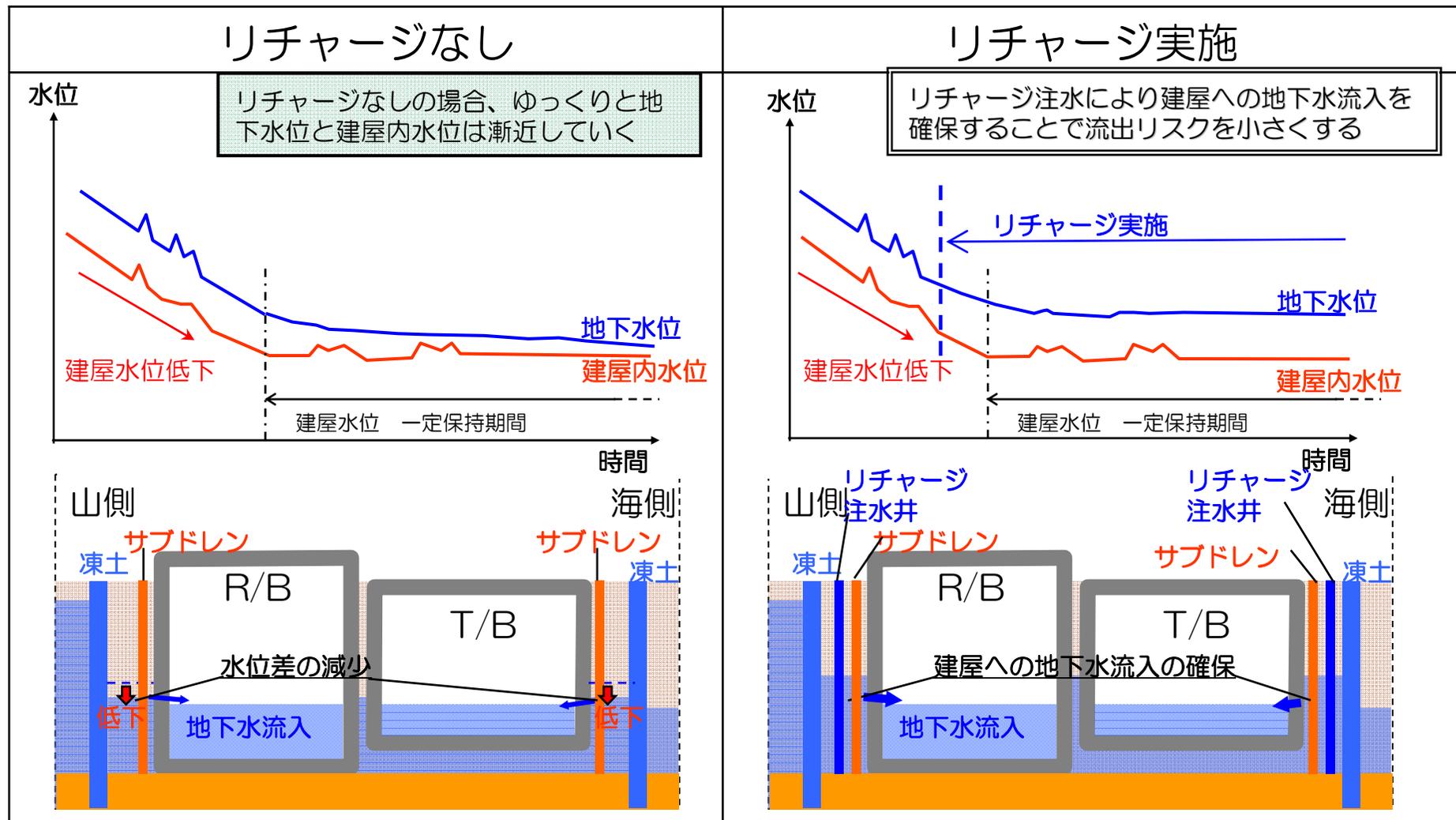
11. リチャージの目的

■凍土壁設置後の建屋内水位管理の対応

凍土壁設置後に想定される事象	対応
①不測の事態によるタンク建設の長期間停止	・ 緊急時の汚染水の移送先（バッファ容量）の確保 <⇒現状と同じ>
②台風、大量降雨等による建屋の水位上昇	
③タンク漏えい等による汚染水の受け入れ先不足	
④移送設備、浄化処理設備の停止	・ 系列、電源の多重化 <⇒現状と同じ>
⑤建屋内水位一定期間などにおける、建屋水位と地下水位の水位差の接近	・ 緊急時の汚染水の移送先（バッファ容量）の確保 <⇒現状と同じ> ・ <u>リチャージにより、建屋滞留水の流出リスクを更に小さくすることが可能</u>

建屋内水位一定期間などに建屋水位と地下水位が接近するリスクに対し、リチャージにより建屋滞留水の流出リスクを更に小さくする。

12. リチャージによる水位差の確保の必要性について

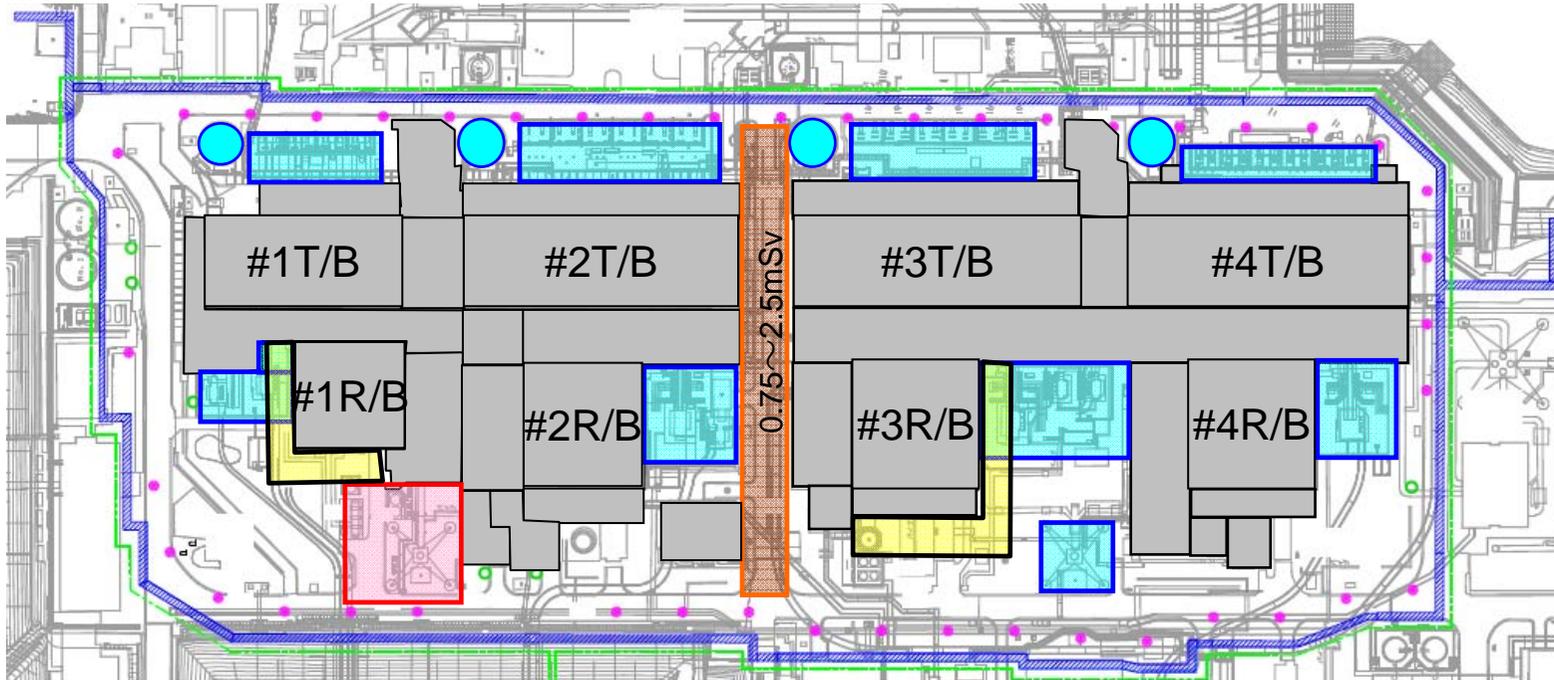


- 地下水位は凍土遮水壁構築後、建屋水位にゆっくりと近づく。基本的には地下水位が建屋水位を下回ることはない。
- 周辺地盤へリチャージ注水を実施することにより、建屋内滞留水の流出リスクを更に小さくする。

1 3. 検討における注水井の配置（仮設定）について

■リチャージ井配置の考え方

- ・実証試験結果を踏まえてリチャージの井戸間隔、位置、数量等を検討する。



■ 注水井の配置においては、下記に該当する箇所については除外した。

- 建屋エリア
- 障害物（トランス、地中構造物等）の錯綜するエリア
- 高線量エリア（10,000mSv以上）
- 2，3号機間道路周辺（比較的高線量かつスペース小）
- 将来デブリ取出し等に必要なヤード

■ 配置間隔については「仮設構造物の計画と施工」土木学会よりディープウェルの標準配置間隔に関する記載（15～30m間隔程度）を参考に25m間隔程度で仮に設定した。

● ：注水井（新設）

○ ：注水井（サブドレン活用）

■ ：高線量（10,000mSv以上）

■ ：道路

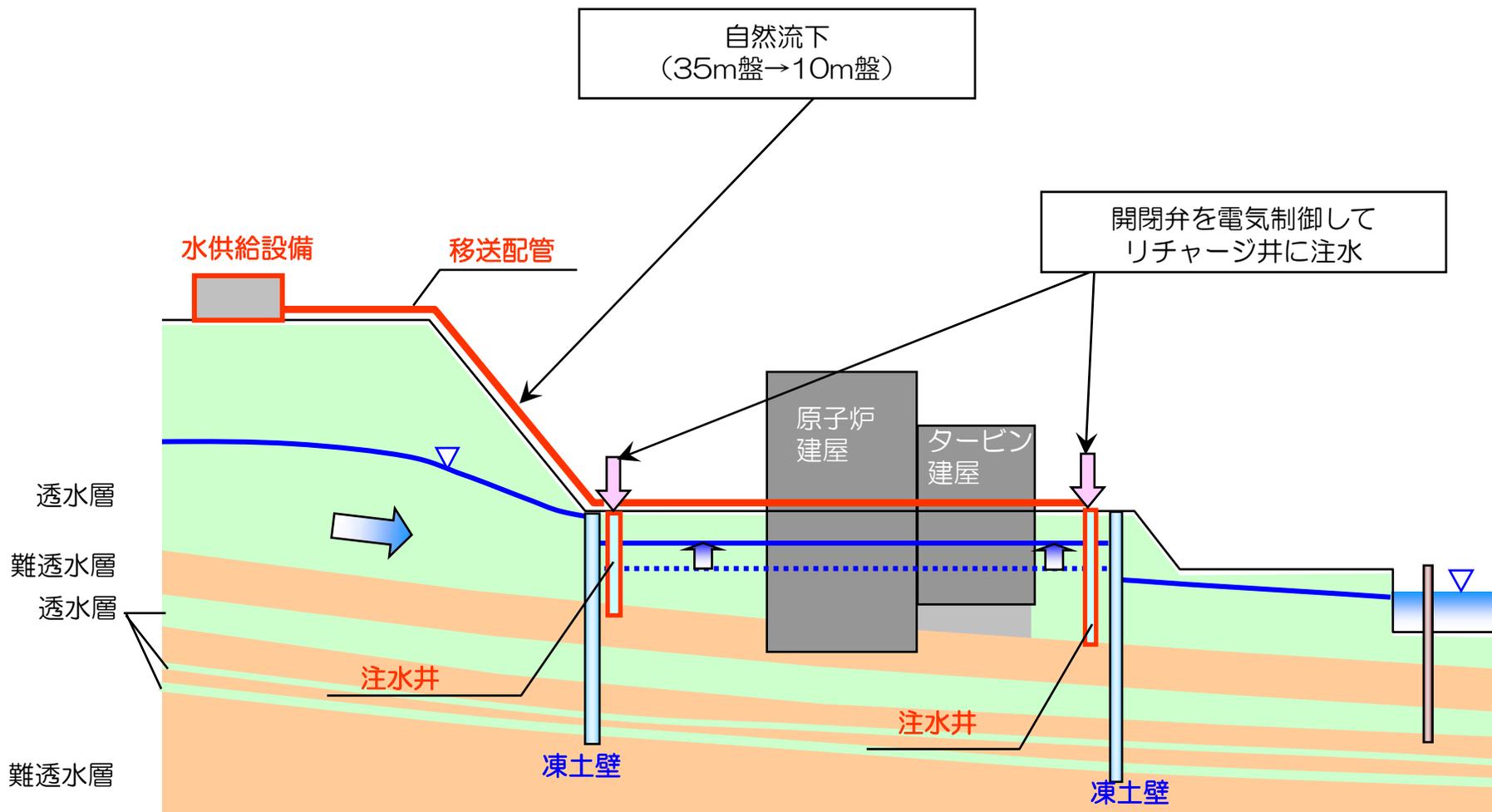
■ ：障害物（トランス、地中構造物等）

■ ：（将来）デブリ取出しヤード

14. 1 リチャージ設備のイメージ (1 / 2)

■リチャージ設備のイメージ

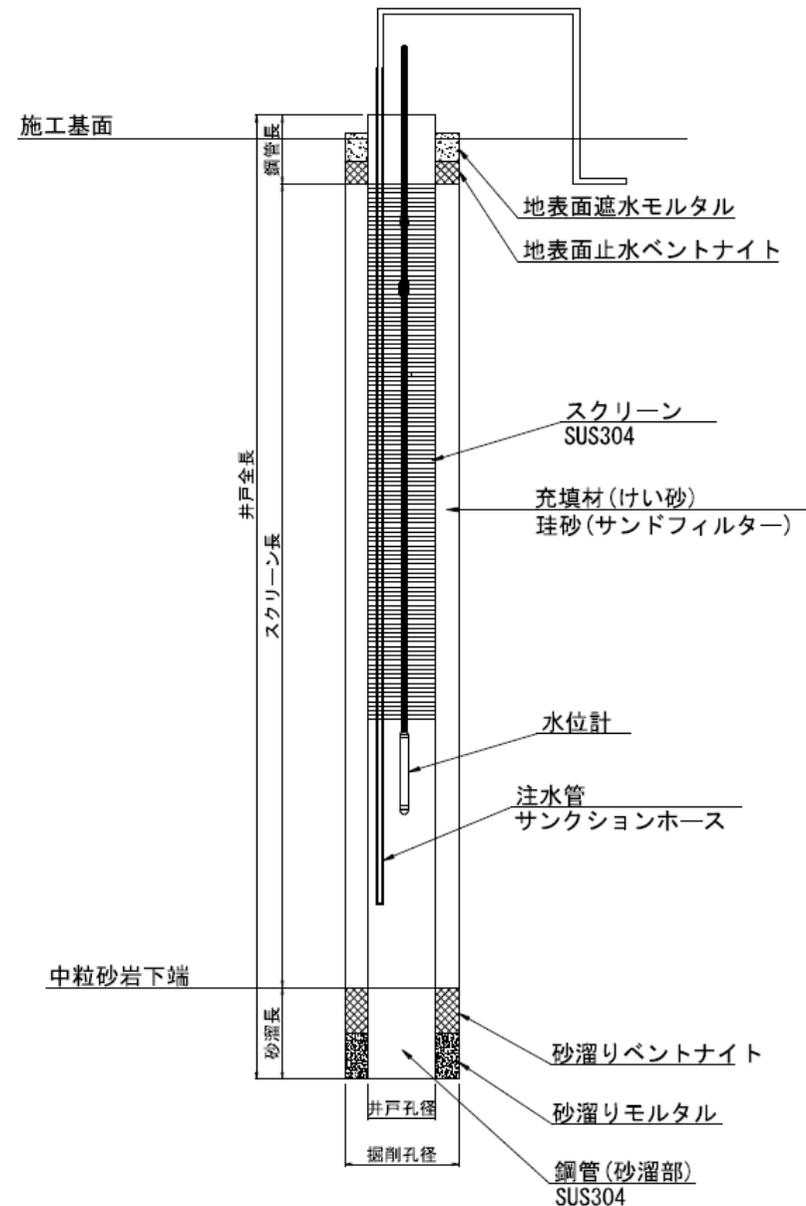
上部透水層を対象に注水する。



14.2 リチャージ設備のイメージ (2/2)

■リチャージ井 (案)

- ・ 井戸径；450mm
- ・ 井戸深；10~20m程度



15. 1 リチャージ設備の性能—建屋周辺水位維持効果について（解析条件）—

■ 解析目的

注水井からの注水による水位低下時の水位差維持効果の確認

■ 解析手法

準3次元浸透流解析プログラム（GWAP）による非定常浸透流解析

■ 解析条件

- モデル化領域：凍土遮水壁内（右図参照）
〔遮水壁内外への水移動は無いと仮定〕
- 建屋モデル化部分：1～4号のタービン建屋
・原子炉建屋・廃棄物処理建屋
- 降雨浸透：なし（0 mm/日）
- 深部岩盤からの湧き上がり：なし（0 m³/日）
- 初期水位：サブドレン稼働（次ページ）
- 水位低下スケジュール：仮定（次ページ）
- 注水量：

ケース	注水量（L/分/本）		注水総量（m ³ /日）
	海側(25本)	山側(25本)	
2-1	0	0	0
2-2	0.5	0.5	36
2-3	1.0	1.0	72

※リチャージ注水は1ヶ月後から稼働させた。

- シミュレーション計算時間：70ヶ月

● 物性値（透水係数・有効間隙率）

	透水係数(cm/s)	有効間隙率
建屋外地盤	3.0×10 ⁻³ ※1	0.16※3
建屋外壁	1.0×10 ⁻⁵ ※2	—

※1：3次元浸透流解析結果（汚染水処理対策委員会にて報告）における“中粒砂岩”の透水係数より設定。

※2：3次元浸透流解析結果（汚染水処理対策委員会にて報告）における建屋内流入量に基づき感度解析を行って同定した。

※3：3次元浸透流解析結果（汚染水処理対策委員会にて報告）における地下水位低下速度に基づき、感度解析を行って同定した。

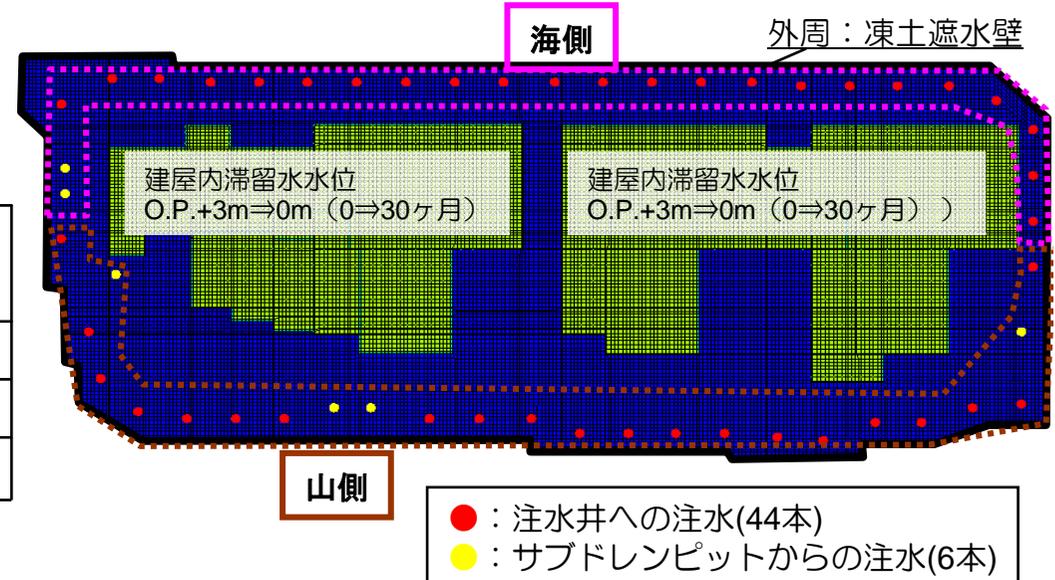


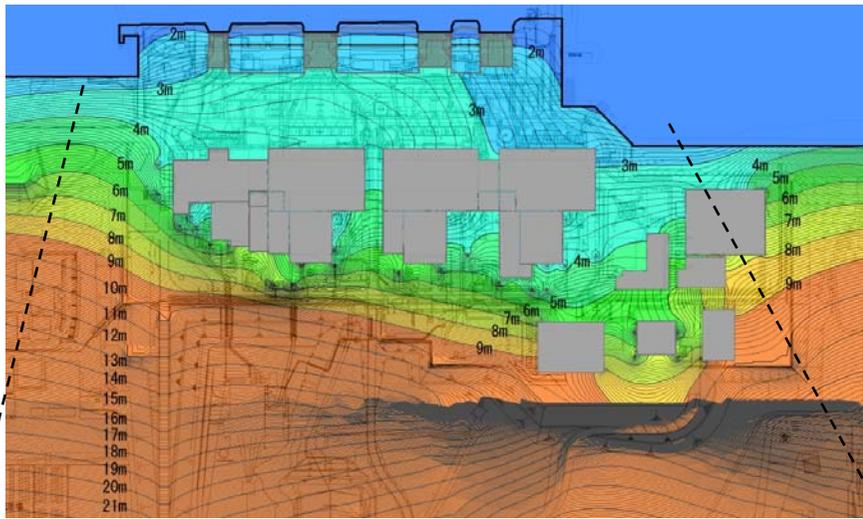
図 解析モデル

15.2 初期水位の設定と水位低下スケジュール

■ 凍土遮水壁内の初期水位

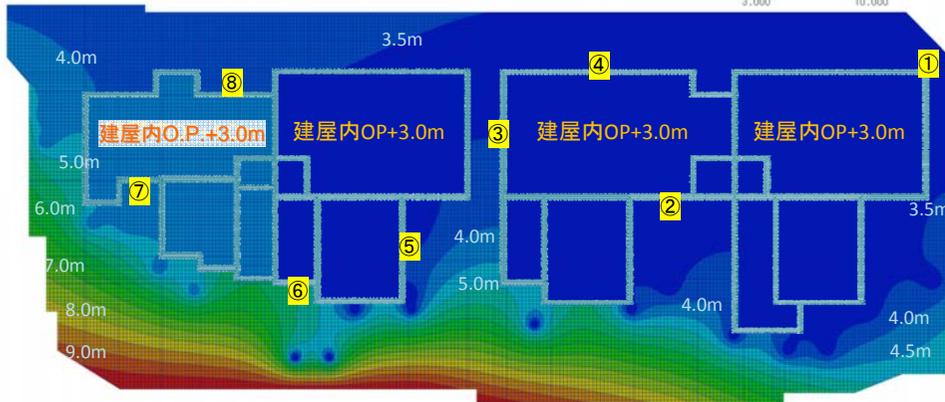
下記条件での3次元浸透流解析により算定。

- サブドレン：稼動（建屋水位）
- 海側遮水壁：閉塞
- 4m盤地盤改良：考慮
- 4m盤地下水ポンド・揚水井：稼動



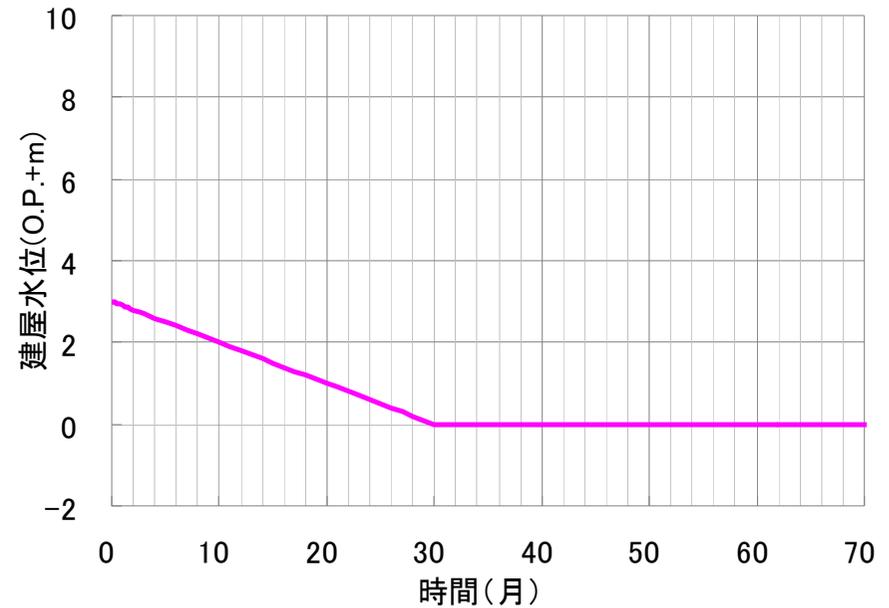
1 Step (0) 0.00000E+00 HEAD-BEL

3.000 10.000



■ 建屋水位低下スケジュール

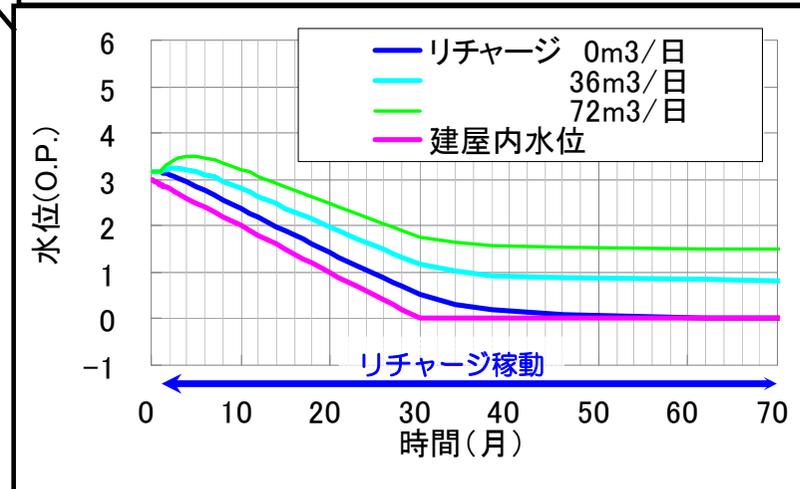
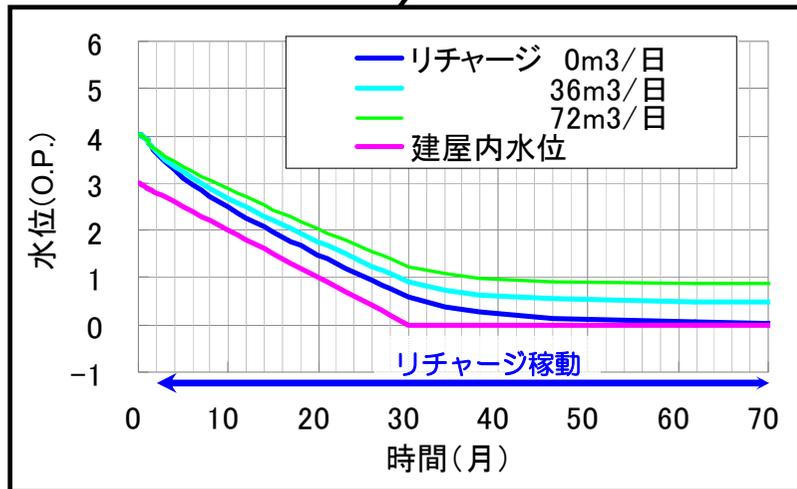
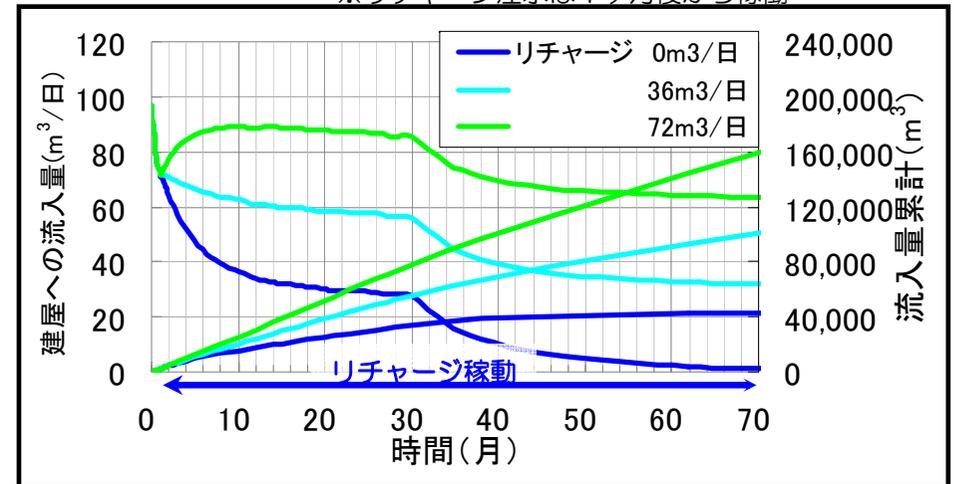
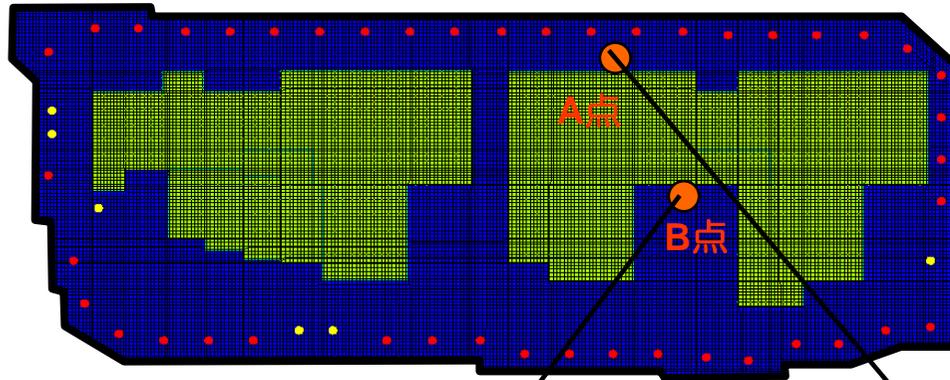
- 下記のような建屋水位低下スケジュールを仮定した。



15.3 リチャージ設備の性能—建屋周辺水位維持効果—

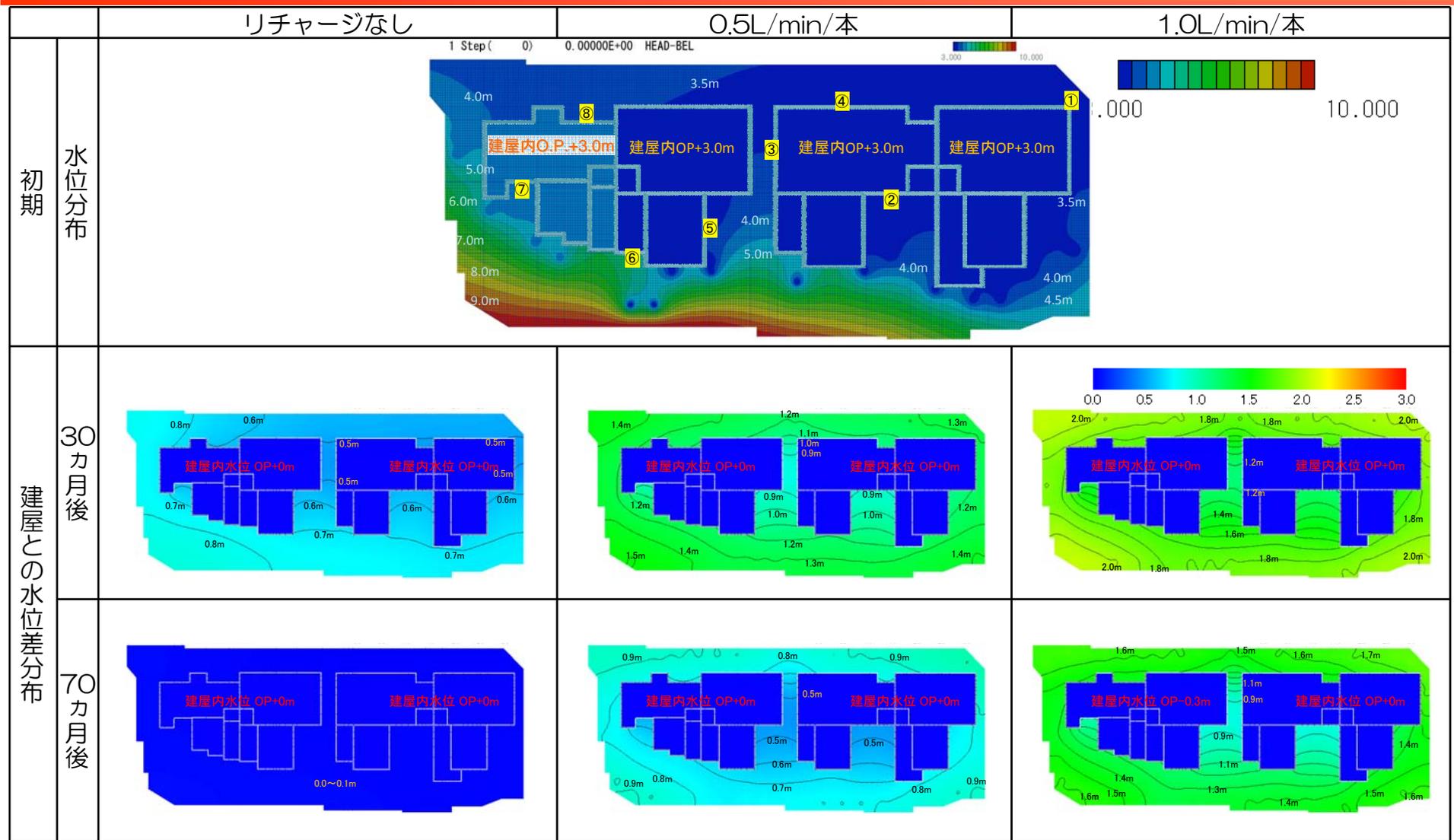
Case	建屋滞留水水位	周辺地下水位 (初期)	サブドレン	注水量(L/分/本)		注水総量 (m ³ /日)	降雨浸透量 (mm/日)
				海側(25本)	山側(25本)		
4-1	O.P. +3 m ⇒0 m (0⇒30ヶ月)	山側サブドレン稼働 (建屋+1m)	稼働 (凍土造成後1ヶ月)	0.0	0.0	0	0
4-2				0.5	0.5	36	
4-3				1.0	1.0	72	

※リチャージ注水は1ヶ月後から稼働



水位低下時において36m³/日、72m³/日（50本の場合 0.5、1.0L/min/本）程度の注水により、建屋周辺地下水位を建屋内滞留水水位に対して平均的にはそれぞれ約0.5～1m、1～1.5m程度高く維持することができる。

15.4 リチャージ設備の性能—建屋周辺水位維持効果—



16.1 水位低下時のリチャージ稼動開始時期等に関する検討（解析条件）

■ 解析目的

水位低下時におけるリチャージ稼動の開始時期
降雨浸透の影響検討

■ 解析手法

準3次元浸透流解析プログラム（GWAP）による
非定常浸透流解析

■ 解析条件

- モデル化領域：凍土遮水壁内（右図参照）
〔遮水壁内外への水移動はないと仮定〕
- 建屋モデル化部分：1～4号のタービン建屋
 - ・ 原子炉建屋
 - ・ 廃棄物処理建屋
- 降雨浸透：なし（0 mm/日）
- 深部岩盤からの湧上り：なし（0 m³/日）
- 地下水位（初期）：O.P.+3.5m
- 建屋水位低下スケジュール：
 - ・ 10cm/月で低下を仮定
 - O.P.+3m⇒0m（0⇒30ヶ月）
- 注水量：0, 0.5 L/分/本
- シミュレーション計算時間：70ヶ月

● 物性値（透水係数・有効間隙率）

	透水係数(cm/s)	有効間隙率
建屋外地盤	3.0×10 ⁻³ ※1	0.16※3
建屋外壁	1.0×10 ⁻⁵ ※2	—

※1：3次元浸透流解析結果（汚染水処理対策委員会にて報告）における“中粒砂岩”の透水係数より設定。

※2：3次元浸透流解析結果（汚染水処理対策委員会にて報告）における建屋内流入量に基づき感度解析を行って同定した。

※3：3次元浸透流解析結果（汚染水処理対策委員会にて報告）における地下水位低下速度に基づき、感度解析を行って同定した。

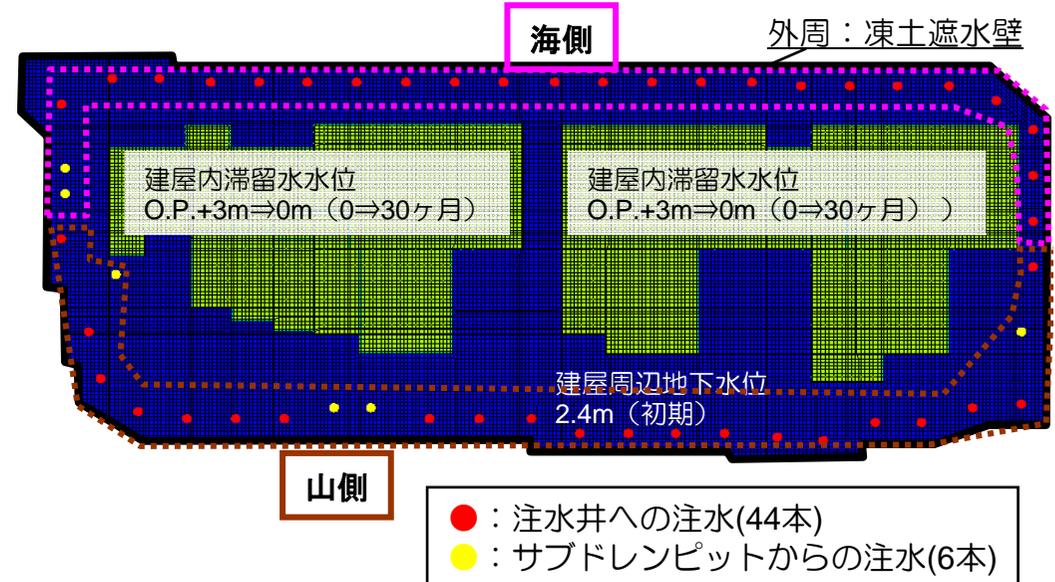


図 解析モデル

16.2 水位低下時のリチャージ稼働開始時期

Case	建屋滞留水水位	周辺地下水位 (初期)	注水開始時期 (水位一定開始に対して)	注水量(L/分/本)		注水総量 (m ³ /日)	降雨浸透量 (mm/日)
				海側(25本)	山側(25本)		
3-1	O.P. +3.0m ⇒0.0m (0⇒30ヶ月)	O.P. +3.5m	—	0.0	0.0	36	0
3-2			0ヶ月前	0.5	0.5		
3-3			1ヶ月前				
3-4			2ヶ月前				

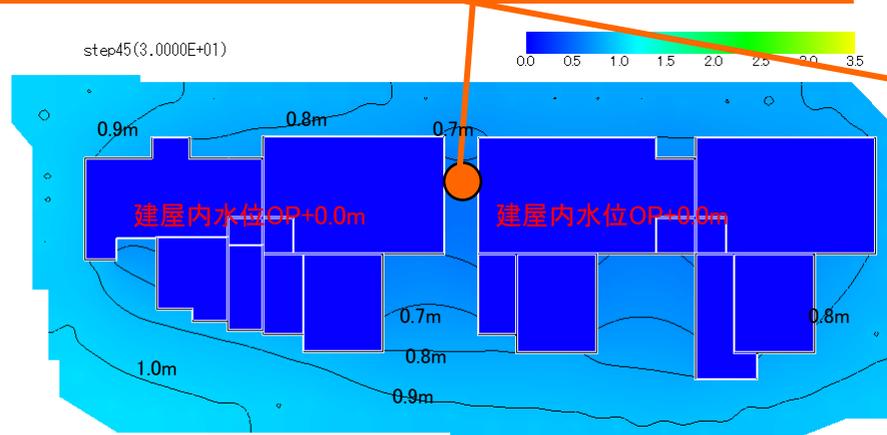
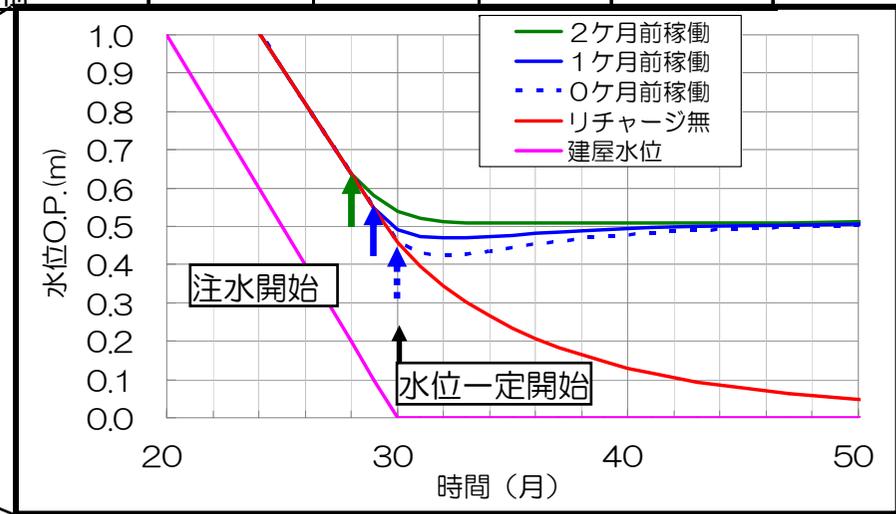
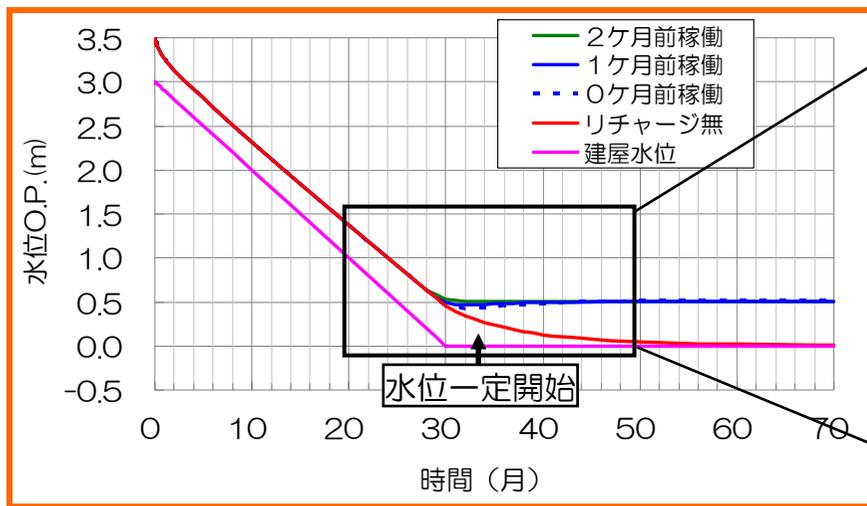


図 水位コンター (2ヶ月前稼働 30ヶ月目)

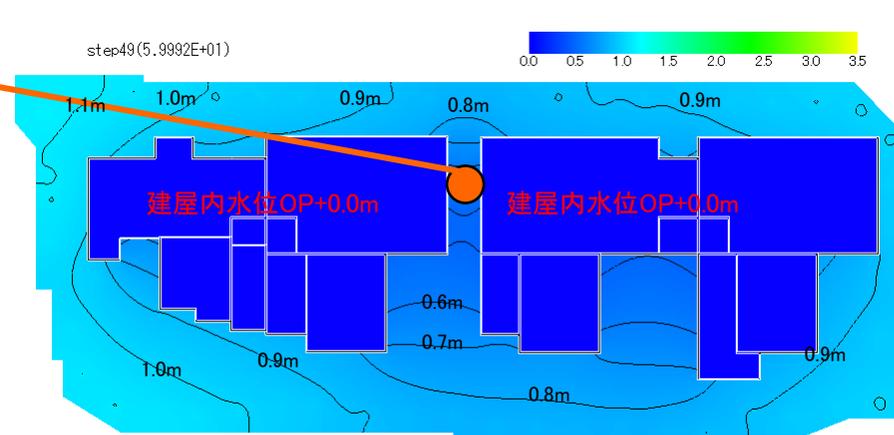


図 水位コンター (2ヶ月前稼働 60ヶ月目)

水位低下時において建屋水位を一定水位を維持する2ヶ月前程度前に40m³/日 (50本の場合0.5L/min/本) 程度の注水を開始することで、建屋周辺地下水位を建屋内滞留水水位に対して約50cm程度高く維持することが可能。

17. 降雨浸透の影響

Case	建屋滞留水水位	周辺地下水位 (初期)	凍土壁造成後	注水量(L/分/本)		注水総量 (m3/日)	降雨量 (mm/年)	降雨浸透率		フェーシング (舗装)率	降雨浸透 量
				海側(25本)	山側(25本)			舗装部	未舗装部		
5-1	O.P. +3m ⇒0m (0⇒30ヶ月)	サブドレン 稼働	サブドレン 非稼働	0.0	0.0	0	1,545	0%	55%	100%	0.0
5-2								0%	55%	80%	0.5
5-3								0%	55%	40%	1.4
5-4								0%	55%	0%	2.3

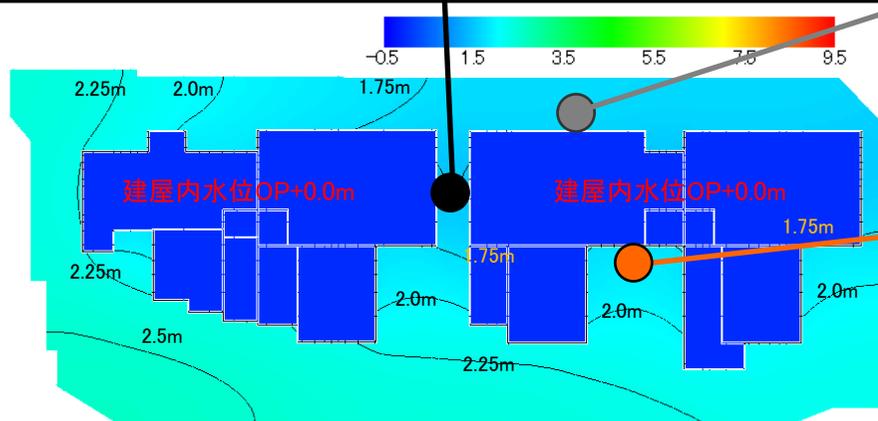
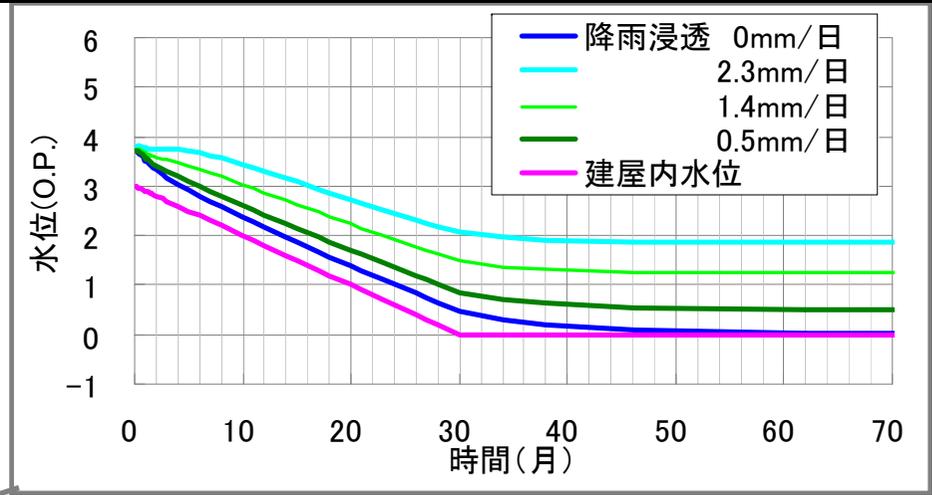
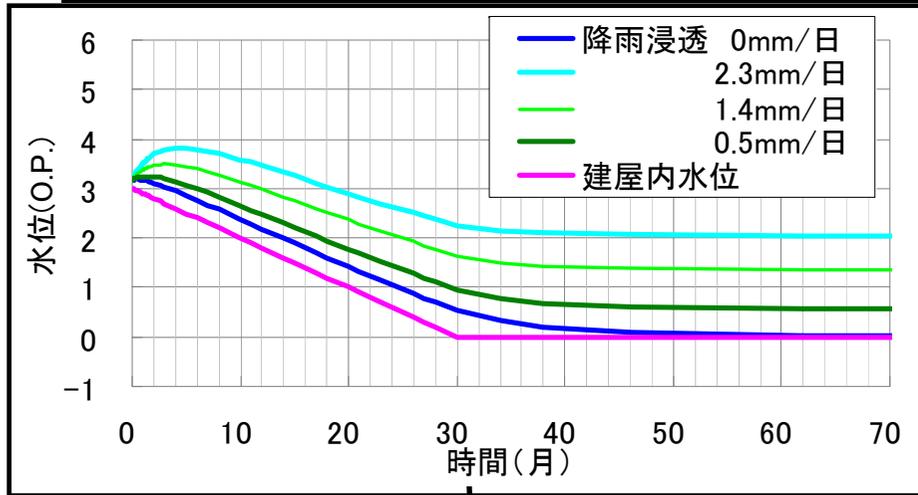
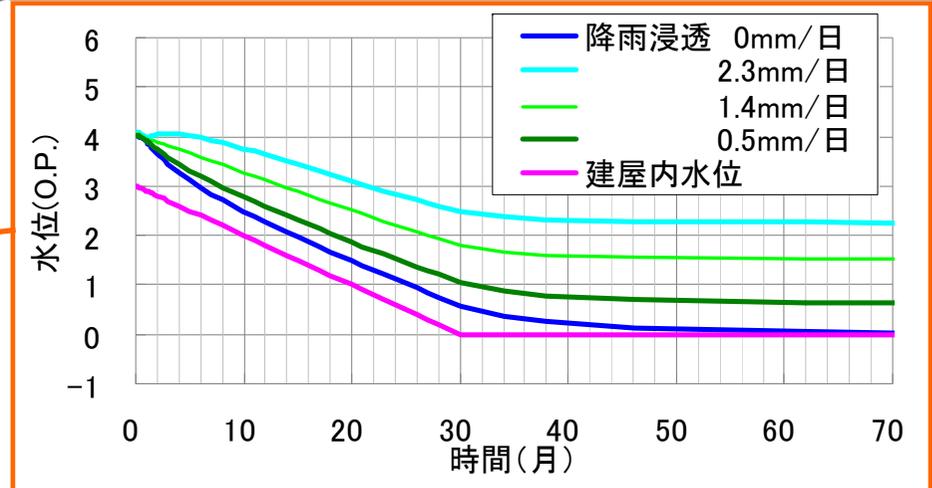


図 水位コンター（降雨浸透1.4mm/日 30ヶ月）



■降雨の影響に関しては年平均降水量1,545mm/年のうち約33%、1.4mm/日程度（凍土遮水壁内のフェーシング率40%相当）の雨水浸透を仮定すると、約1~1.5m程度地下水位が高いレベルで維持される。