

陸側遮水壁閉合後の水位管理について

平成27年2月9日

東京電力株式会社

鹿島建設株式会社



東京電力



1. 建屋滞留水の水位管理について
2. 陸側遮水壁の遮水性発現後の水位管理
 - 陸側遮水壁造成順序と地下水位変化の想定
 - 1～4号機建屋内外の水位管理方針

1. 建屋滞留水の水位管理について

1. 1 現状の建屋滞留水の水位管理

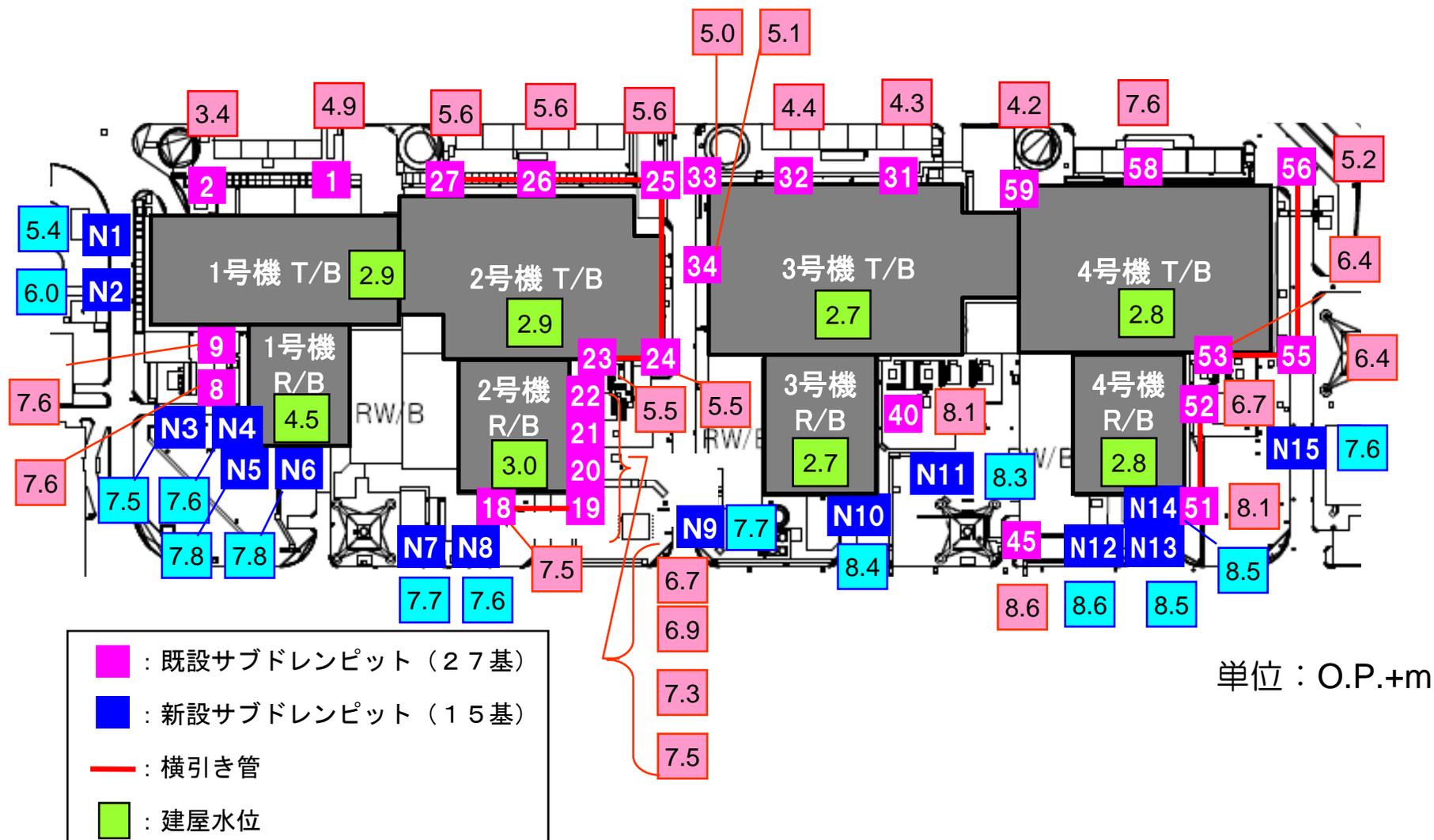
1～4号機建屋内に滞留している高濃度放射性汚染水については、プロセス主建屋・高温焼却炉建屋に移送し、さらに、汚染水処理設備により放射性核種のセシウム及び塩分を除去して淡水を生成し、原子炉への注水に再使用している（循環注水冷却）。

ただし、1～4号機の建屋内には地下水が流入しているため、高濃度放射性汚染水が系外に放出しないよう適切に建屋内水位を管理する必要がある。

現状の1～4号機の建屋滞留水の水位管理の運転上の制限は、以下のとおり。

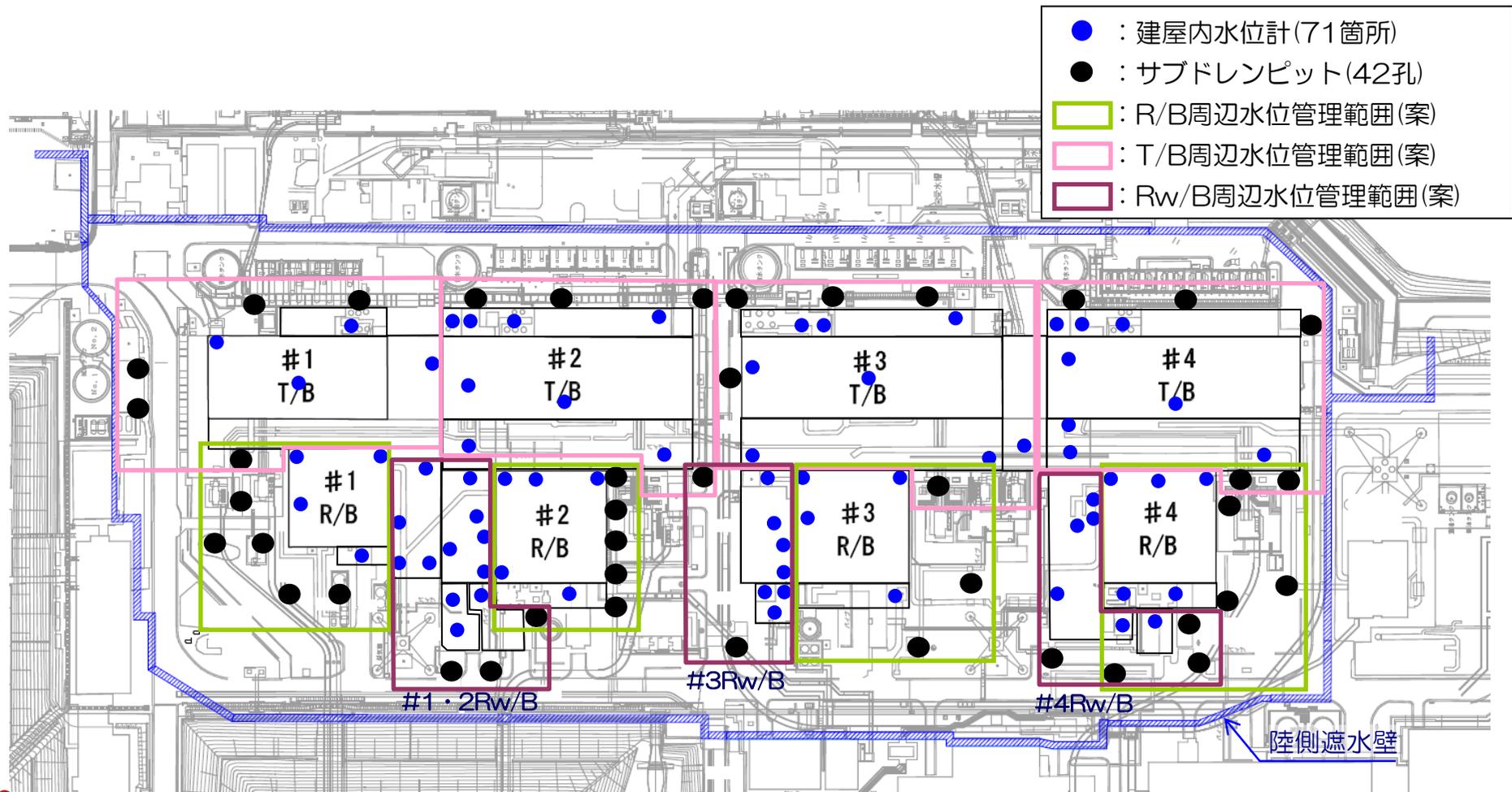
- 2・3号炉の立坑およびタービン建屋の滞留水水位はOP3,500mm以下であること。
- 建屋滞留水の水位が各建屋近傍のサブドレン水の水位を超えないこと。

1. 2 現状の建屋水位とサブドレン水位（平成26年11月10日）



2. 建屋内滞留水水位計設置後の水位管理（実施計画変更申請中）

- 建屋内滞留水水位計を設置した後の水位管理は以下のように行う。
 - 建屋水位と地下水位のデータ管理は、1～4号機の各建屋毎に行う。
 - 各建屋に設置した水位計の水位が近傍のサブドレン水位を上回らないように管理する。



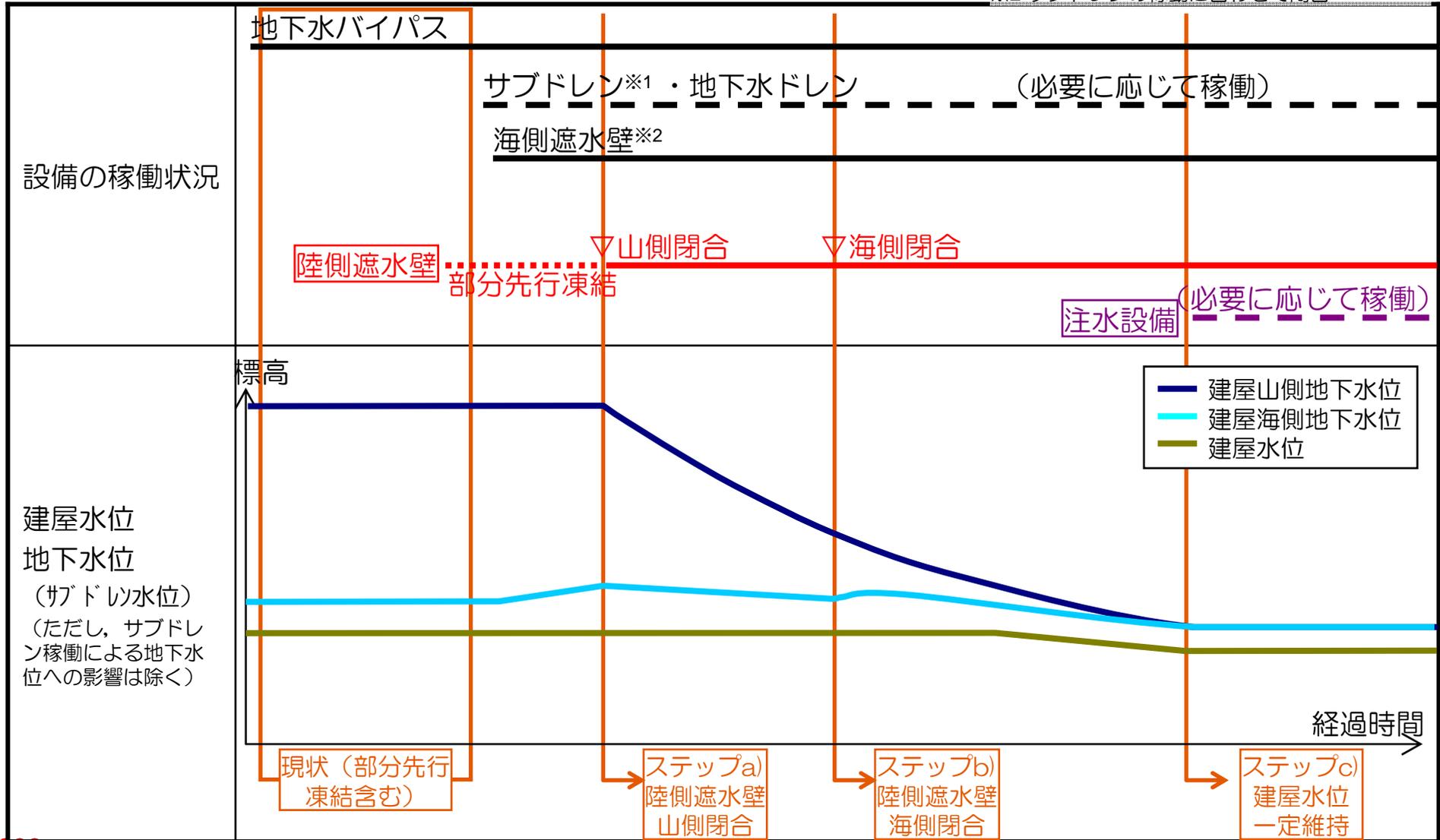
2. 陸側遮水壁の遮水性発現後の水位管理

- 陸側遮水壁造成順序と地下水位変化の想定
- 1～4号機建屋内外の水位管理方針

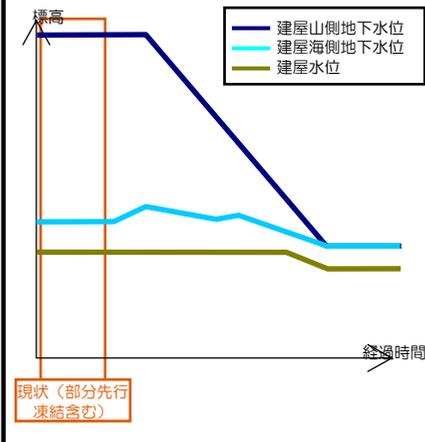
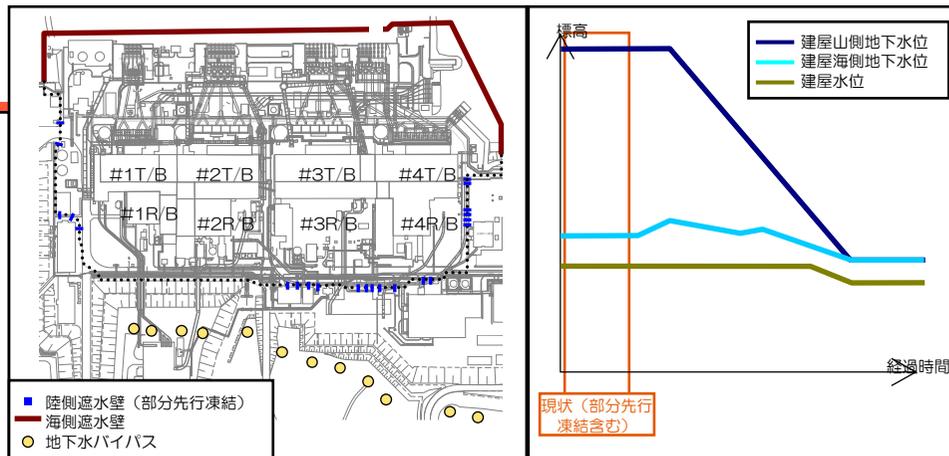
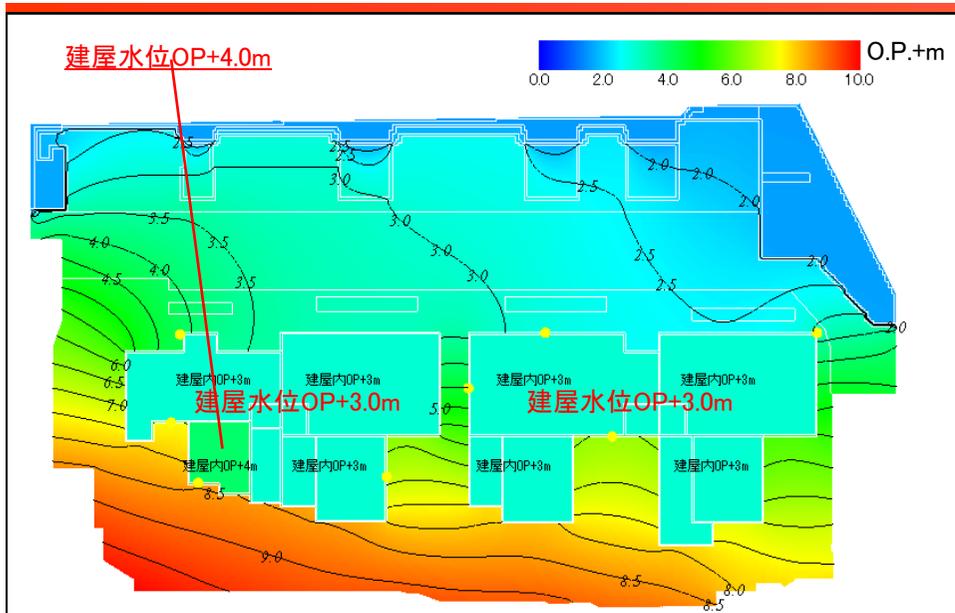
1. 陸側遮水壁閉合等に伴う地下水位変化の想定（イメージ）

- 陸側遮水壁造成等に伴い地下水位は以下に示すイメージで変化すると想定される。
- 以降、各ステップにおける地下水位変化の概要を示す。

※1 サブドレンの稼働は関係者と調整の上、実施
 ※2 サブドレンの稼働に合わせて閉合

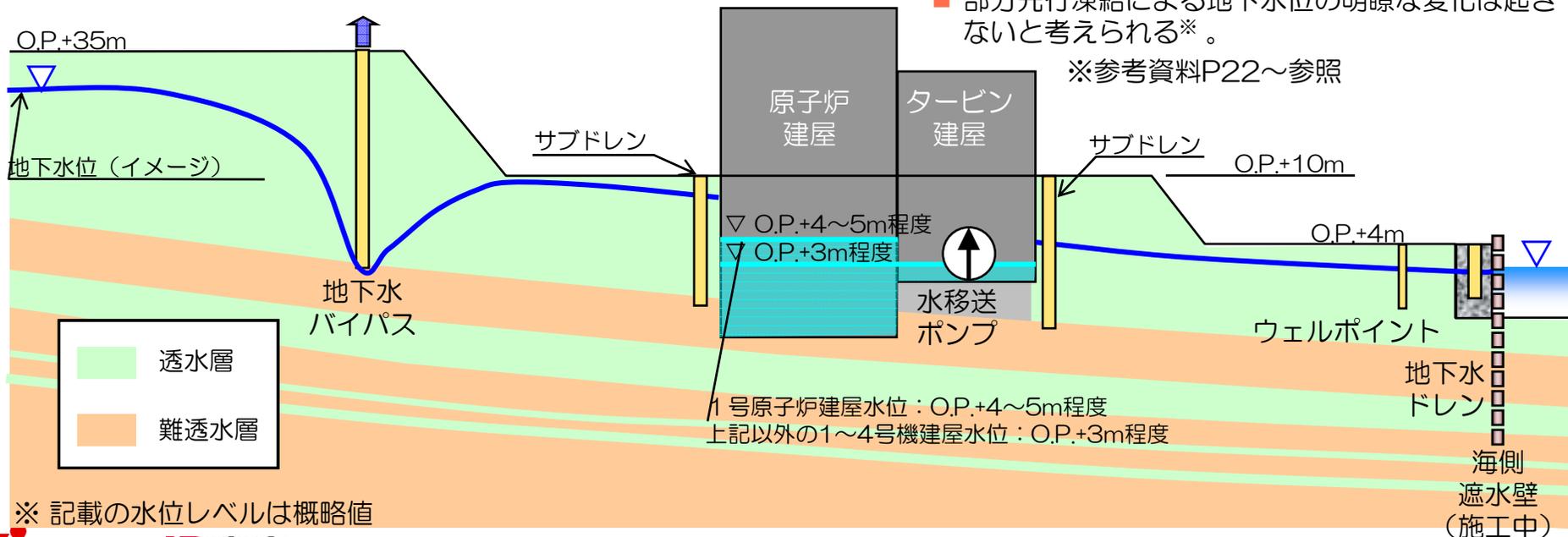


2. 1 現状（部分先行凍結を含む）



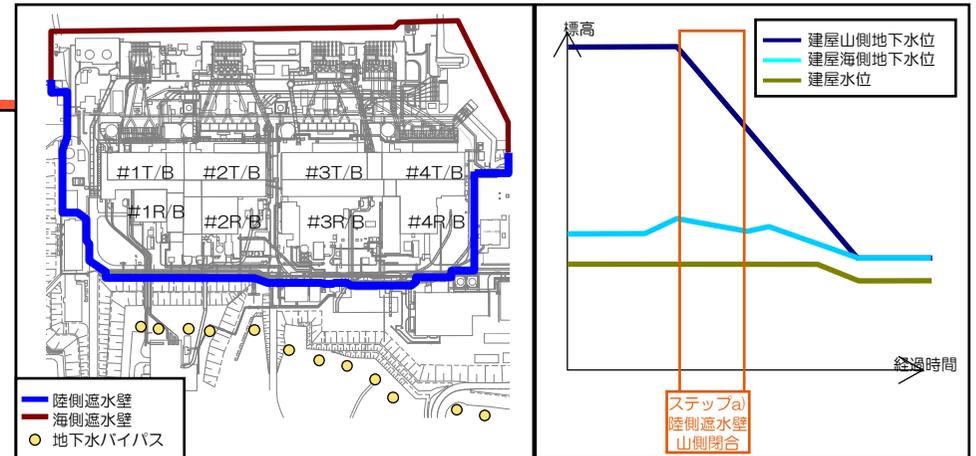
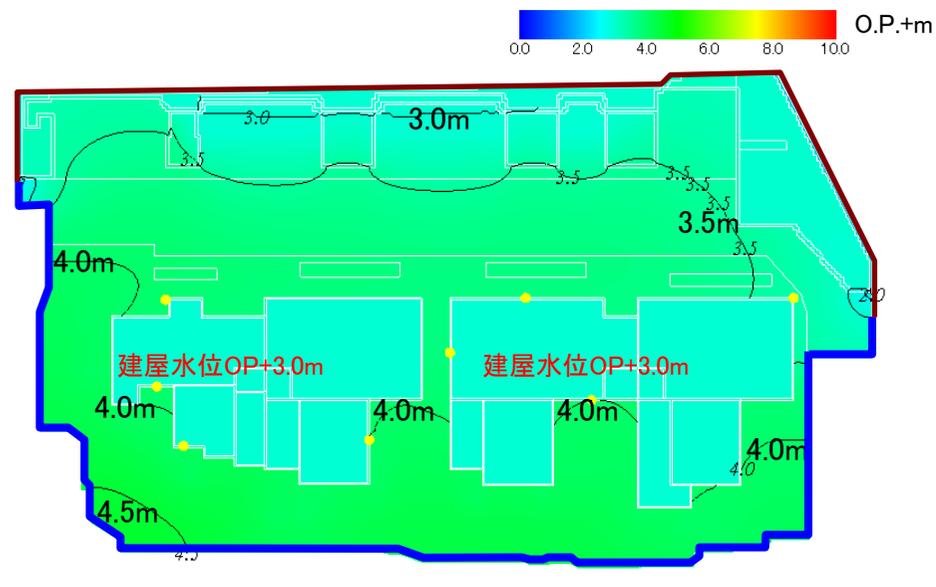
- 稼働中
 - 地下水バイパス
- 施工中
 - 海側遮水壁未閉合（施工中）
 - 部分先行凍結（今後実施）※
- 部分先行凍結による地下水位の明瞭な変化は起きないと考えられる※。

※参考資料P22～参照

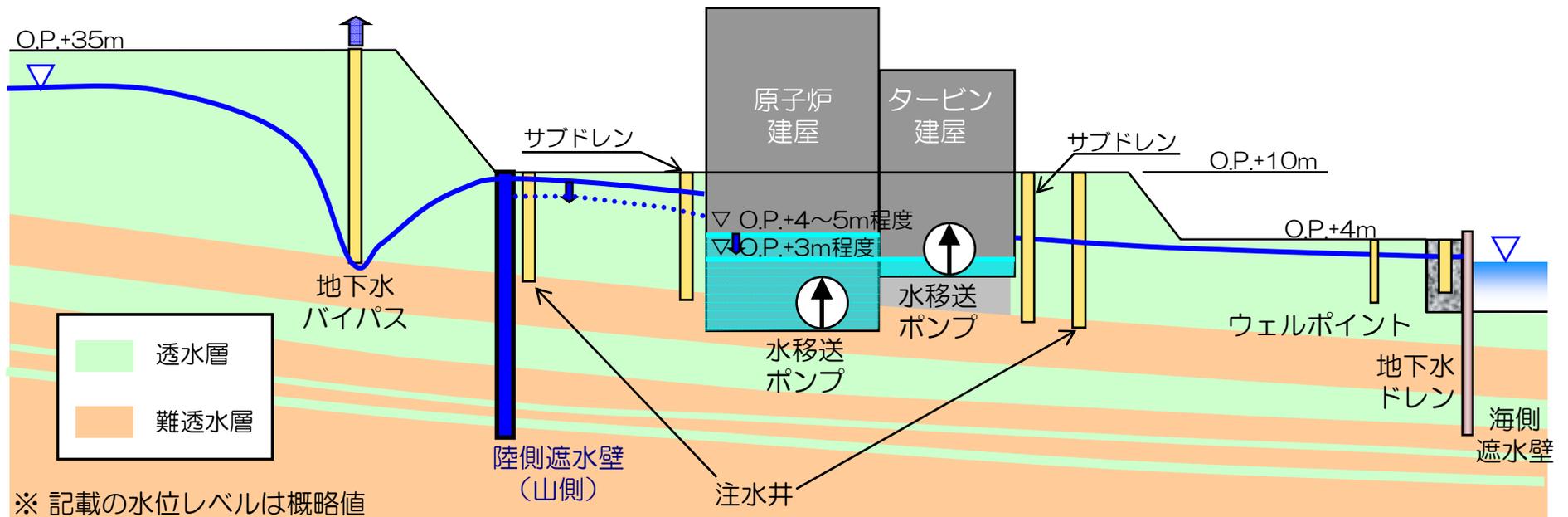


※ 記載の水位レベルは概略値

2.2 ステップa) 陸側遮水壁山側閉合

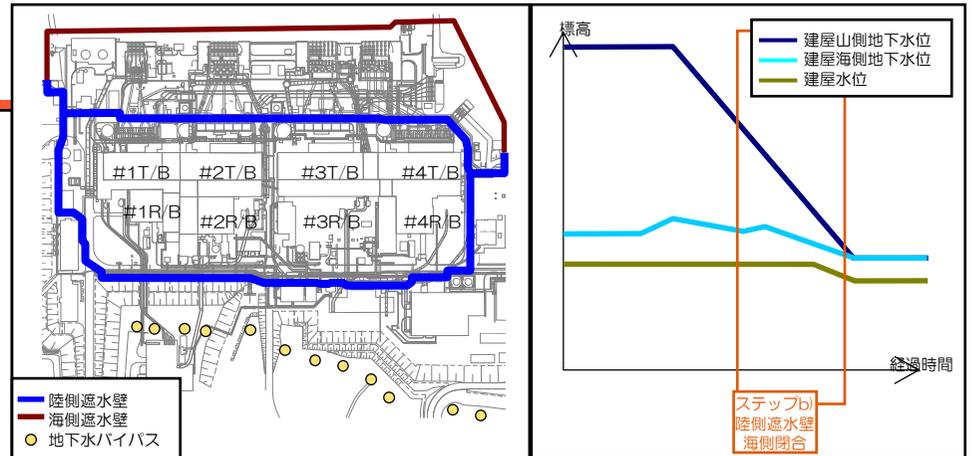
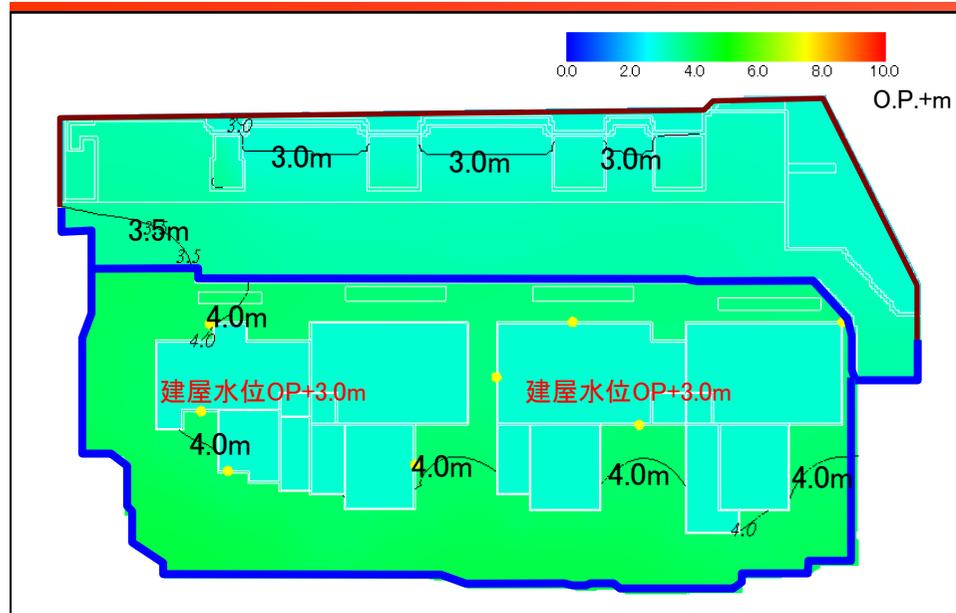


- 凍結による遮水性の発現に伴って、主に建屋山側の地下水位が低下していく。
- 建屋海側の地下水位は、海側遮水壁閉合の影響により一旦上昇した後、陸側遮水壁山側閉合により若干低下する。
- サブドレン・地下水ドレンは必要に応じ稼動
- 1～4号機の全ての建屋水位をほぼ均一にする。

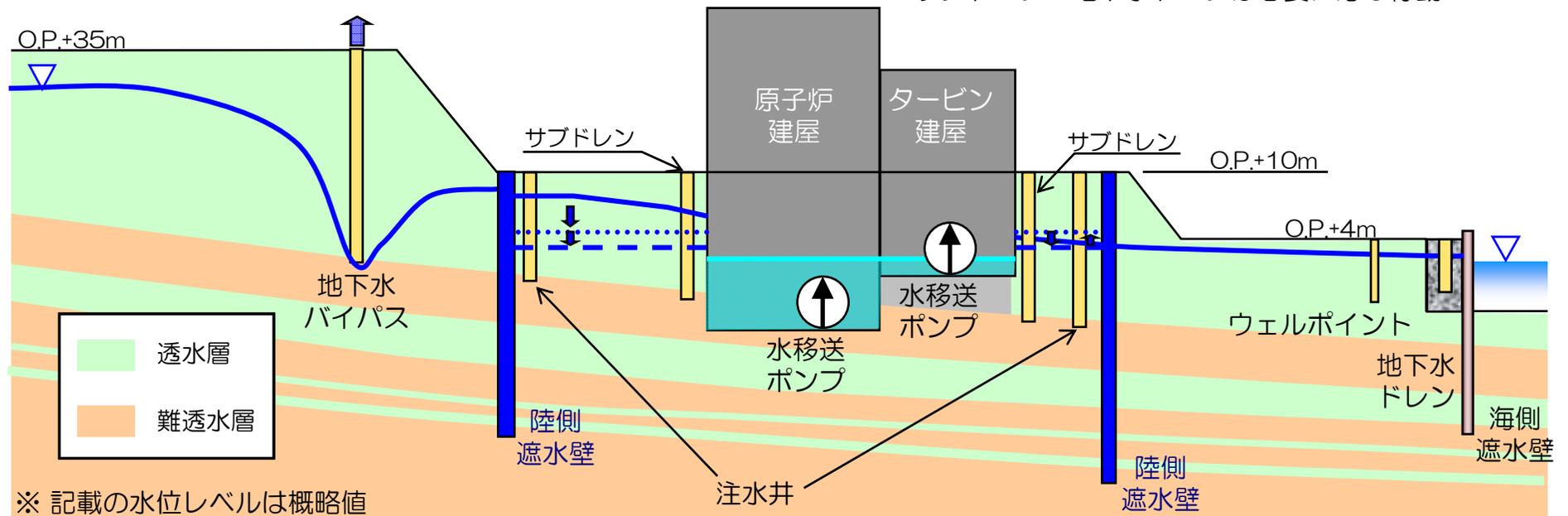


※ 記載の水位レベルは概略値

2. 3 ステップb) 陸側遮水壁海側閉合

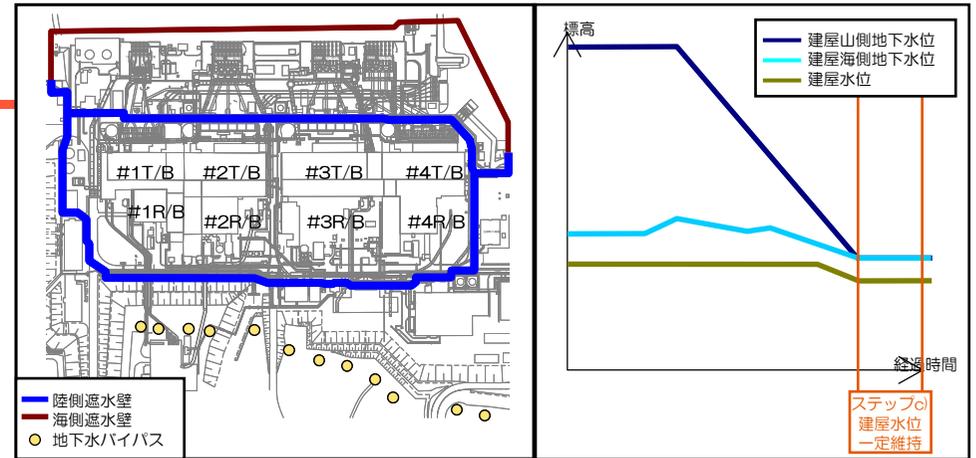
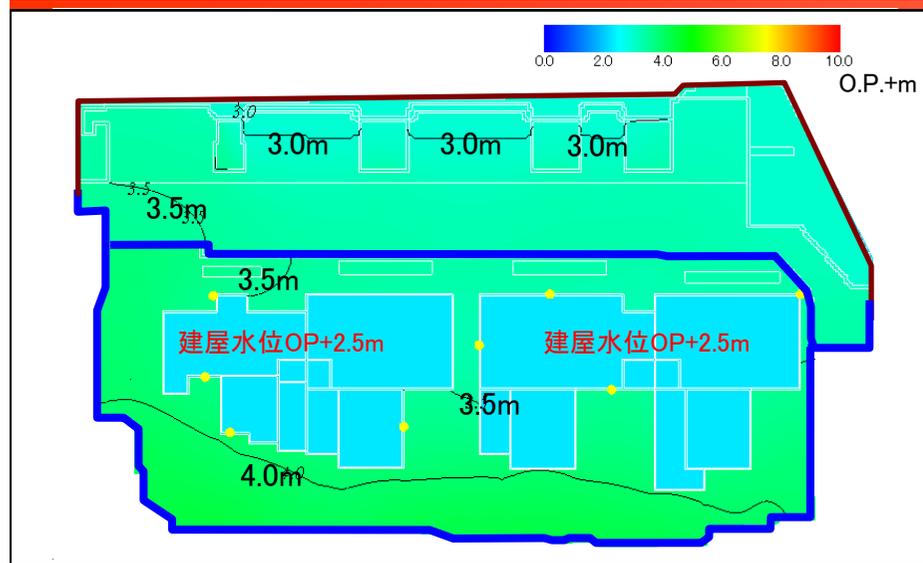


- 陸側遮水壁海側の凍結による遮水性の発現に伴って、遮水壁内の地下水位は均一化しながら低下する。
- 建屋周辺の地下水位の低下に合わせて、建屋水位を必要に応じ低下させることで建屋水位と地下水位の水位差を確保する。
- サブドレン・地下水ドレンは必要に応じ稼動

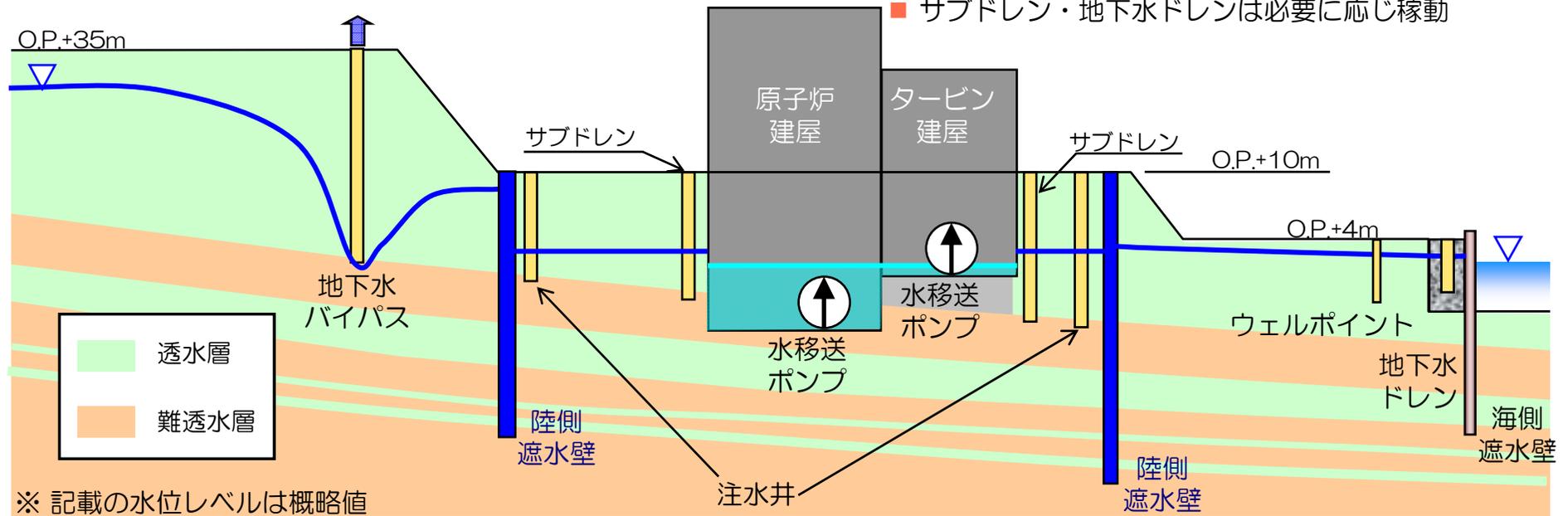


※ 記載の水位レベルは概略値

2. 4 ステップc) 建屋水位一定維持



- 降雨等による地下水涵養と建屋への地下水流入とのバランスにより地下水位の低下は緩慢となり、建屋周辺の地下水位はある一定の水位に落ち着く。
- 必要に応じ注水井からの注水を実施することで建屋水位と地下水位の水位差を確保する。
- サブドレン・地下水ドレンは必要に応じ稼働



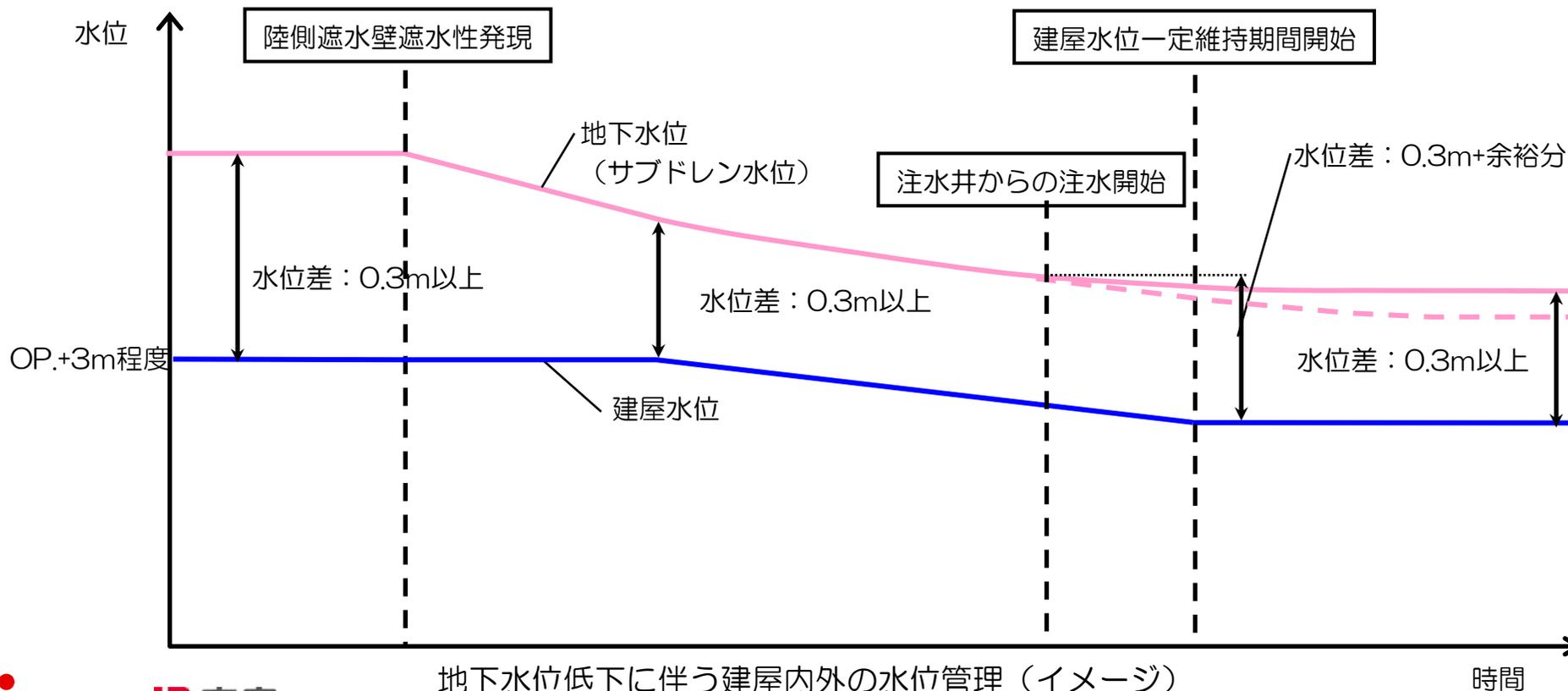
※ 記載の水位レベルは概略値

2. 陸側遮水壁の遮水性発現後の水位管理

- 陸側遮水壁造成順序と地下水位変化の想定
- 1～4号機建屋内外の水位管理方針

1. 陸側遮水壁の遮水性発現後の1～4号機建屋内外の水位管理方針

- 建屋水位が地下水位を上回ることがないように管理する。
- 地下水位の低下に合わせて必要に応じ建屋水位を低下させ、建屋水位と地下水位の水位差を確保する。
- 建屋水位一定維持期間において、降雨等による地下水涵養と建屋への地下水流入とのバランスにより建屋周辺の地下水位はある一定の水位に落ち着くが、必要に応じ注水井からの注水を行うことにより、建屋水位と地下水位の水位差を確保する。
- サブドレンは、降雨時などに建屋への地下水流入量低減のために必要に応じ稼働する。



2. 1 陸側遮水壁山側閉合〔ステップa)〕後の地下水位低下 解析条件

■ 解析の目的

- 陸側遮水壁山側3辺の遮水性発現後を想定しシミュレーション解析をすることで、地下水位低下量および地下水位低下時期について解析・評価する。

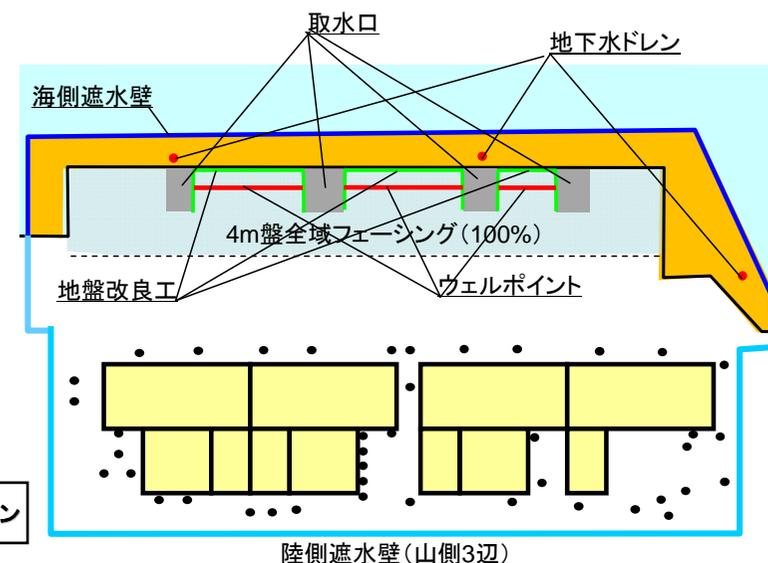
■ 解析モデルおよび手法

- 解析モデル化領域：海側遮水壁と陸側遮水壁山側3辺で囲まれた領域
- 解析手法：準3次元解析（GWAP）による非定常解析

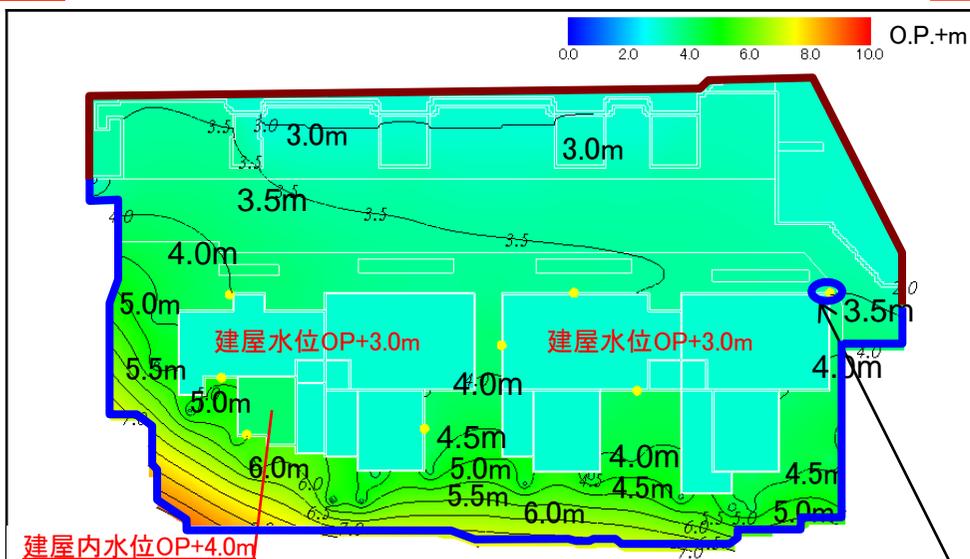
- 建屋水位と地下水位の水位差が小さい（制御上厳しい）条件について解析を行った。

各設備		解析条件
海側（鋼管）遮水壁		閉合
4m盤	地盤改良	完了
	揚水工 （ウエルポイント）	稼動 （稼働水位： GL-1.0m （O.P.+3.0m）
	地下水ドレン	
	フェーシング	100%
4～10m盤間	フェーシング	0%
10m盤 （陸側遮水壁内）	フェーシング	0%
	サブドレン	稼動（稼働水位： 建屋水位+1m）
	陸側遮水壁	山側3辺閉合 （海側未閉合）
	注水井からの注水	無

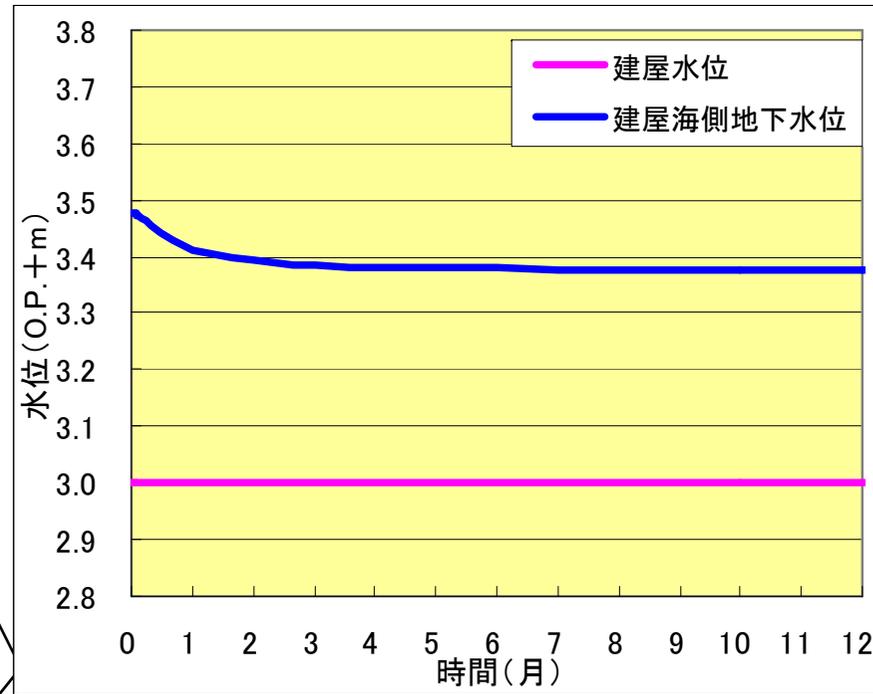
降雨量	約4mm/日 一定 （建屋以外の領域に降雨）	年平均降雨量1,545mmより設定
降雨浸透率	55%	汚染水処理対策委員会報告より



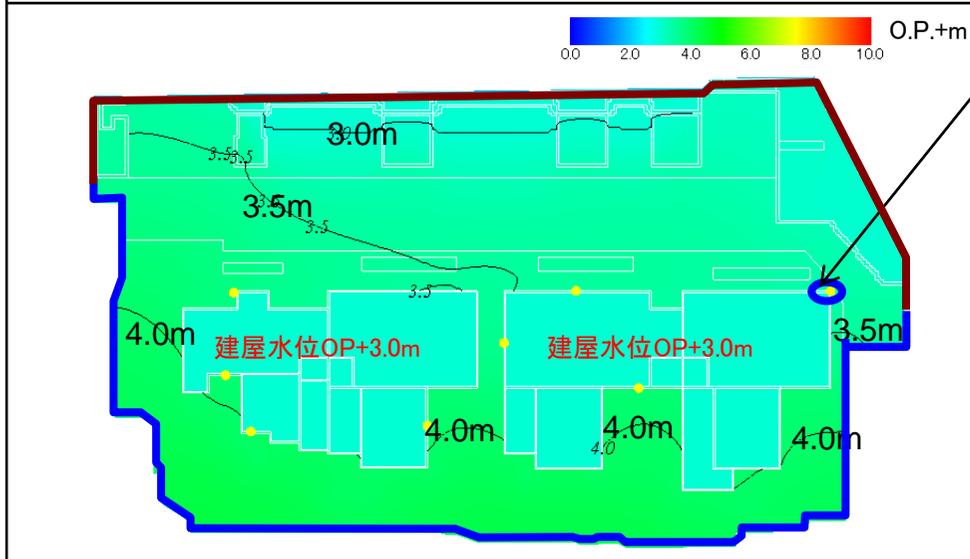
2. 2 陸側遮水壁山側閉合〔ステップa)〕後の地下水位低下 解析結果



水位コンター（初期状態（遮水性発現時））



建屋水位に対する地下水位の経時変化
（解析上、水位差が小さいサブドレンNo.56
の水位変化について抽出した。）



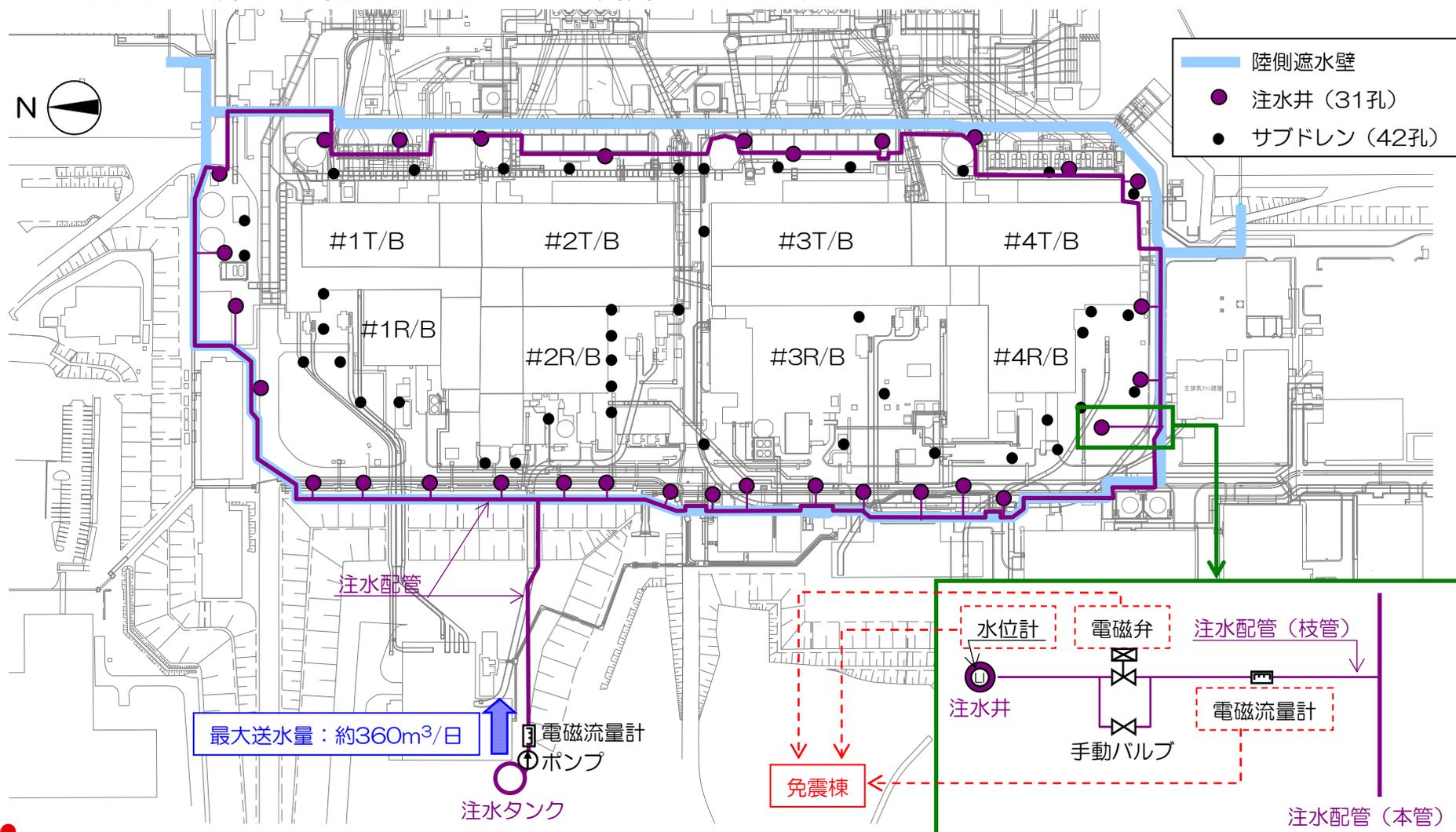
水位コンター（12ヶ月後）

- 陸側遮水壁山側3辺閉合後の建屋海側の地下水位の低下量は0.1~0.3m程度である。

3.1 注水井および関連設備の配置

■ 注水井配置

- 注水井 1 孔毎の計測データ（水位・注水量・電磁弁稼働状況）を取り込み、免震棟にて遠隔監視・操作が可能
- 電磁弁が故障した場合には手動バルブの開閉により注水井への注水が可能



3. 2 注水井からの注水効果に関する解析結果（降雨浸透率：0mm/日）

ケース	建屋水位	建屋周辺地下水位（初期）	注水井（孔）	注水総量（m ³ /日）	1孔当り注水量（L/分/孔）	降雨浸透（mm/日）
1	O.P. +3 m	サブドレン稼動	31	0	0	0
2	→0m			40	0.9	

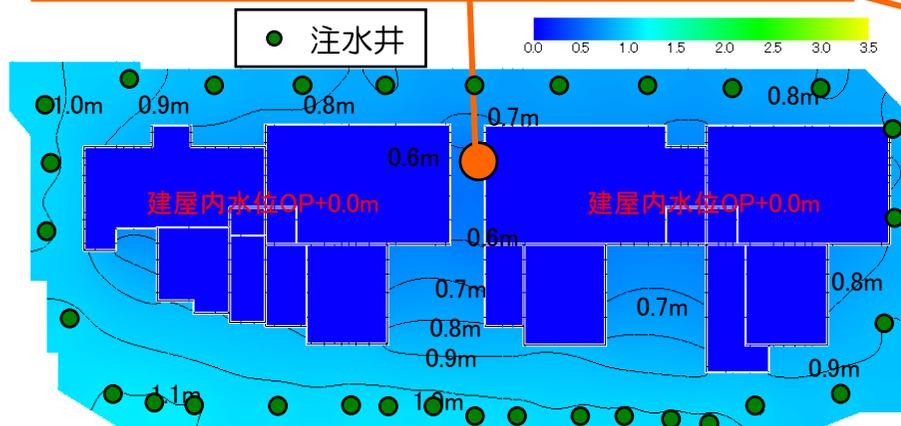
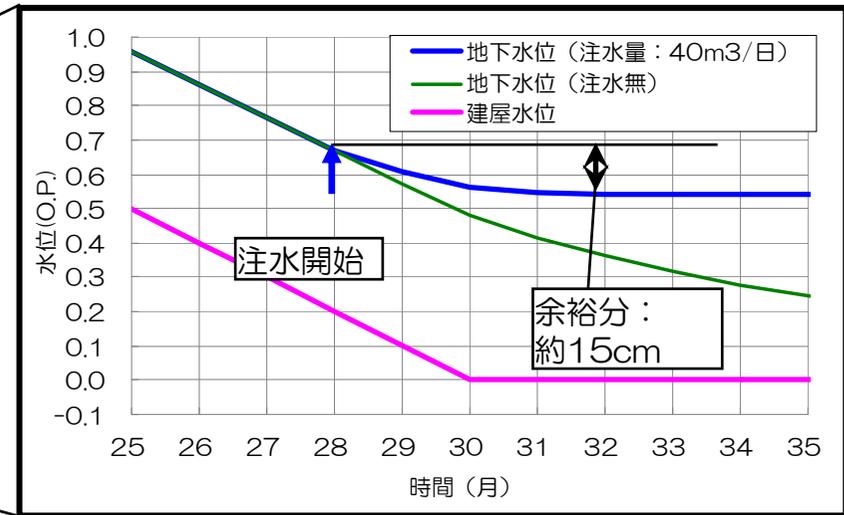
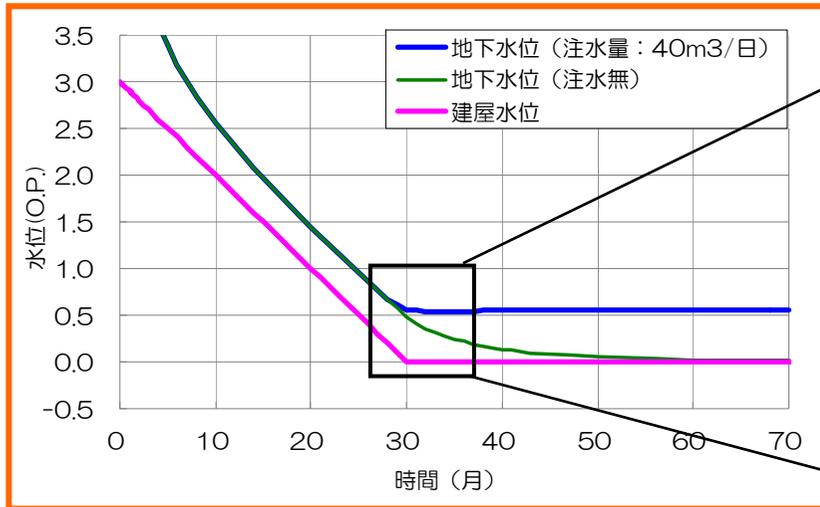


図 地下水位コンター（30ヶ月）

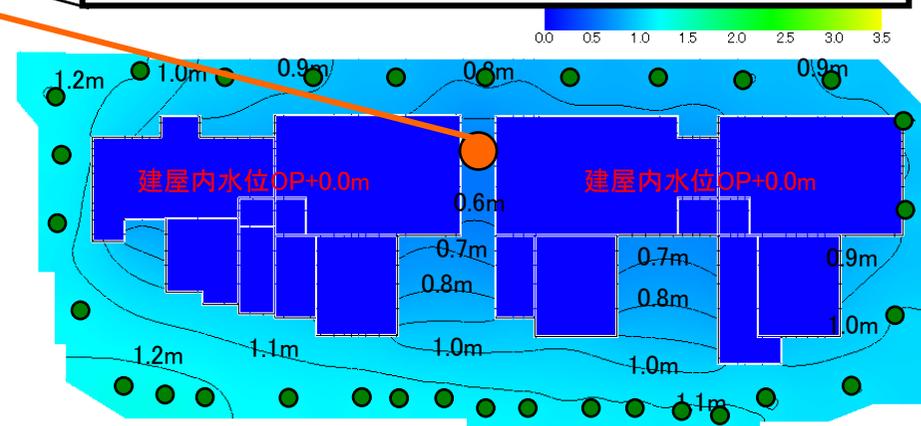


図 地下水位コンター（60ヶ月）

■ 水位差50cmを目標として、15cm程度の余裕を持って注水井からの注水を行うことで水位差を確保できる。

3. 3 注水井からの注水による地下水位の維持について

■5・6号機建屋周辺で実施した「注水試験結果（フィージビリティ・スタディ）」より、下記の結論が得られている。

- 注水井1本当たりの注水量：10L/分以上確保することが可能

- 注水井からの注水により、解析結果と同程度の地下水位上昇を確認

これらを基に解析を実施して、現計画の注水井配置による地下水位維持を確認した。

■陸側遮水壁山側凍結開始前に、各注水井において上記の注水量が確保出来ることを注水試験により確認する。なお、十分な注水を行うことが出来ない場合には注水井の再設置等必要な対応を行う。

■陸側遮水壁閉合後、現地において注水効果を確認し、不足する場合には注水井の増設等必要な対応を行う。

特定原子力施設 監視・評価検討会
(第31回)
参考3

陸側遮水壁閉合後の水位管理について 参考資料

平成27年2月9日

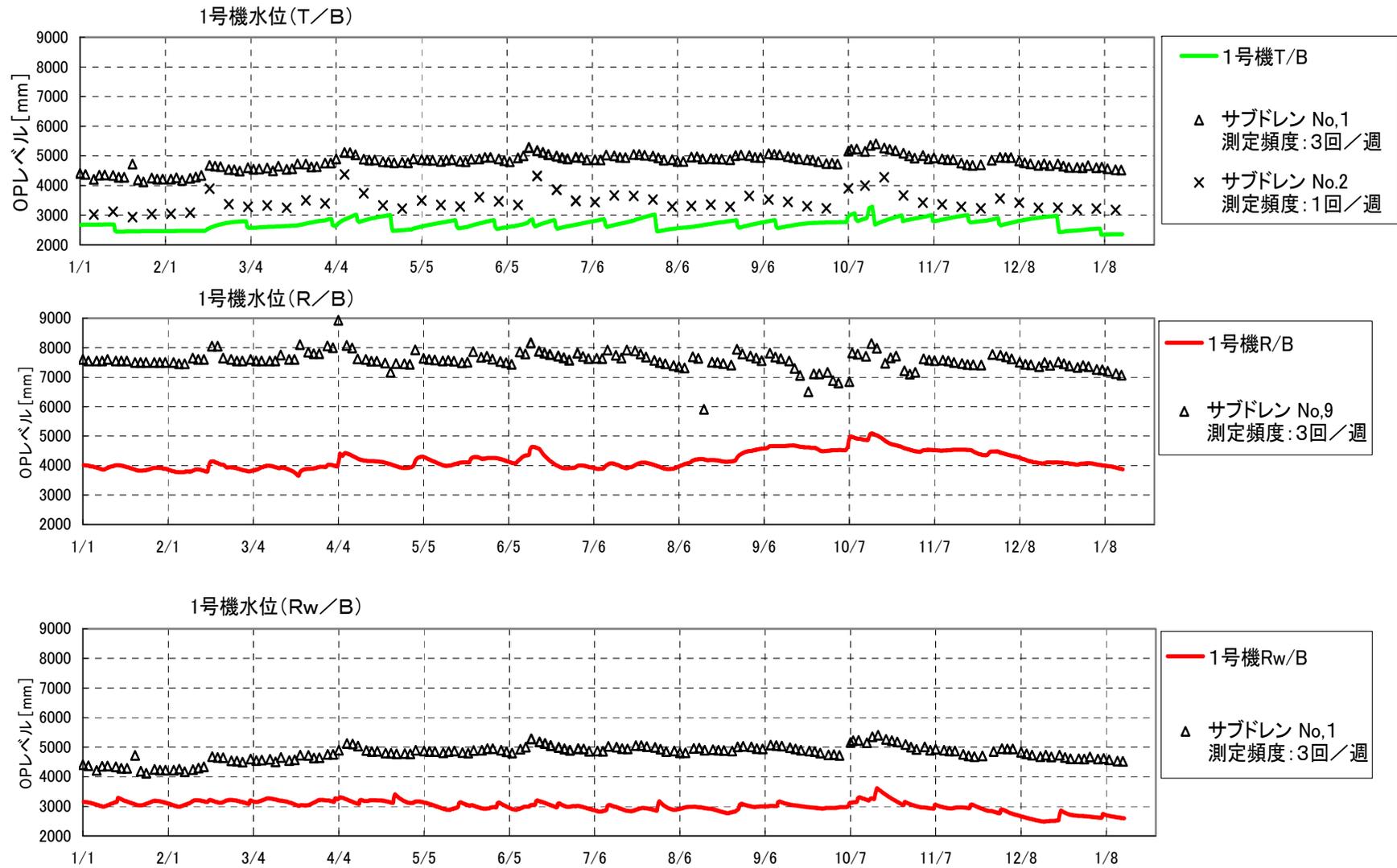
東京電力株式会社



東京電力  鹿島

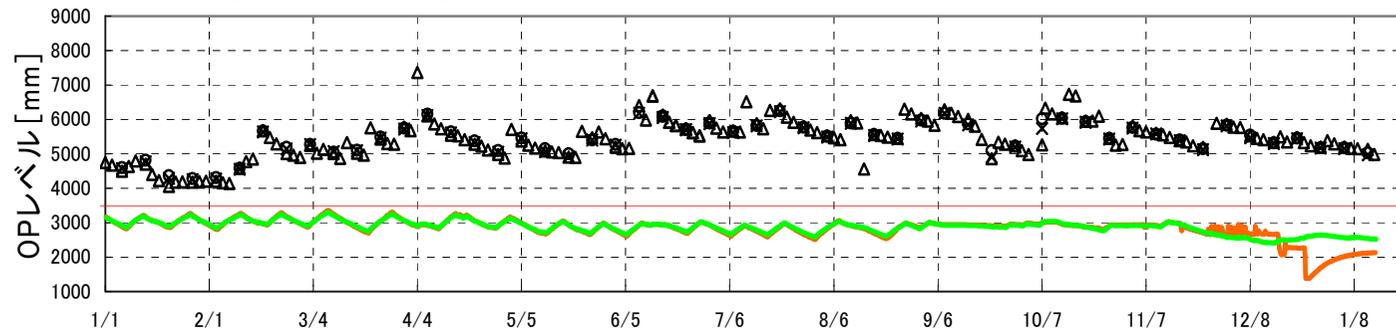
建屋水位・サブドレン水位管理の現状

建屋水位監視状況（1号機）



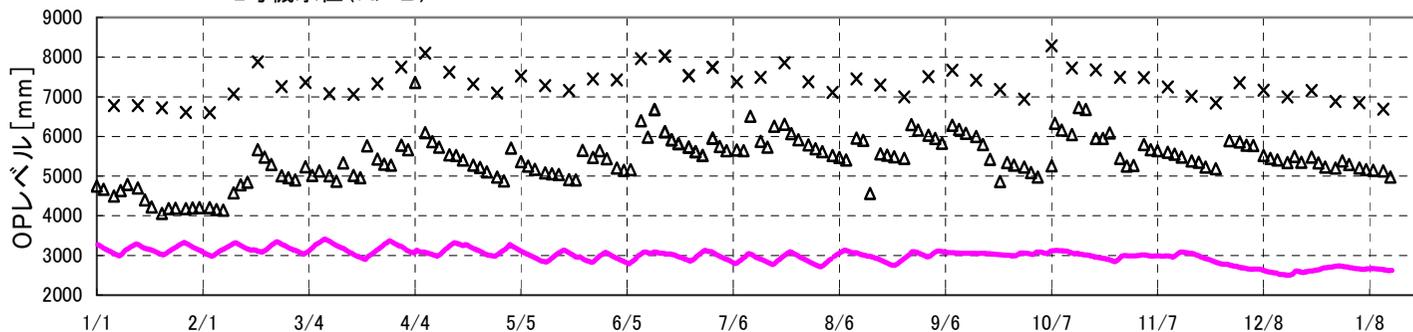
建屋水位監視状況（2号機）

2号機水位(T/B・立抗)



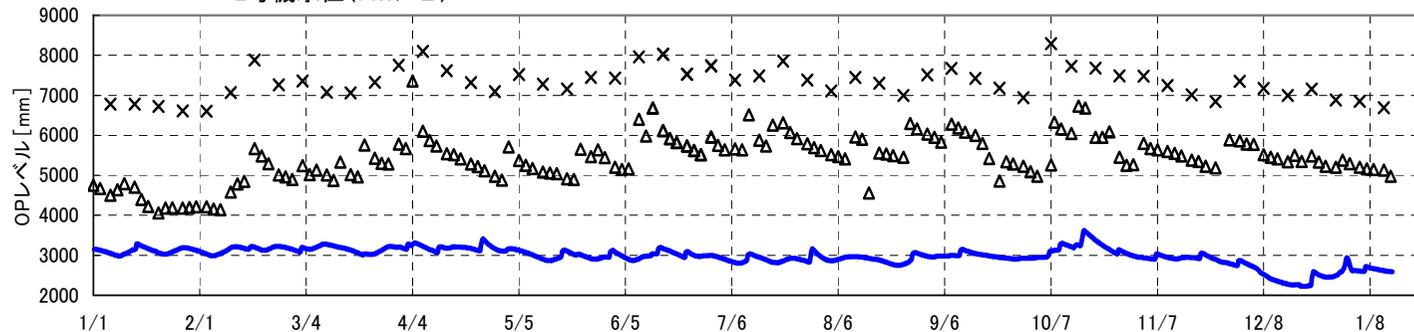
- 2号機立抗
- 2号機T/B
- △ サブドレン No.27
測定頻度: 3回/週
- サブドレン No.25
測定頻度: 1回/週
- × サブドレン No.26
測定頻度: 1回/週
- 2号立抗上限OP3500

2号機水位(R/B)



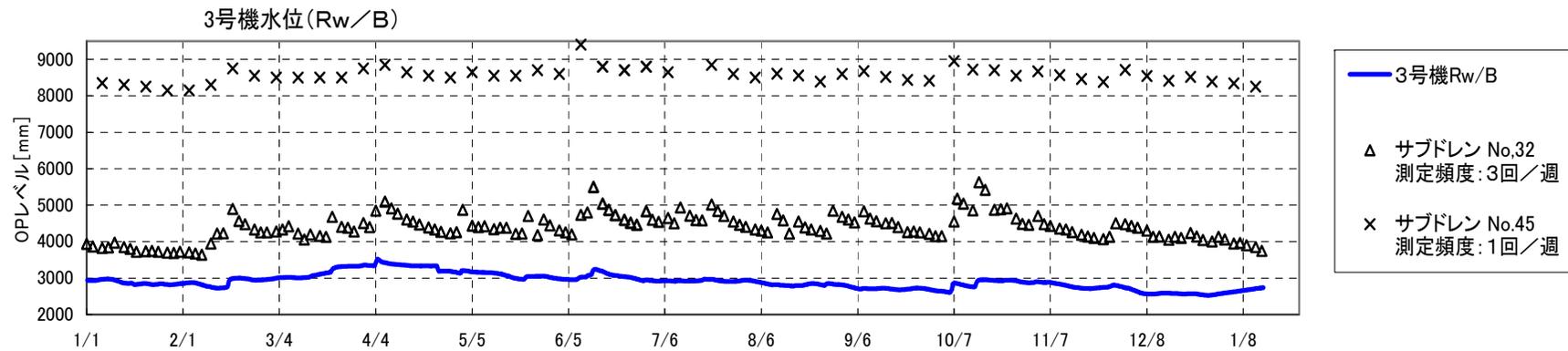
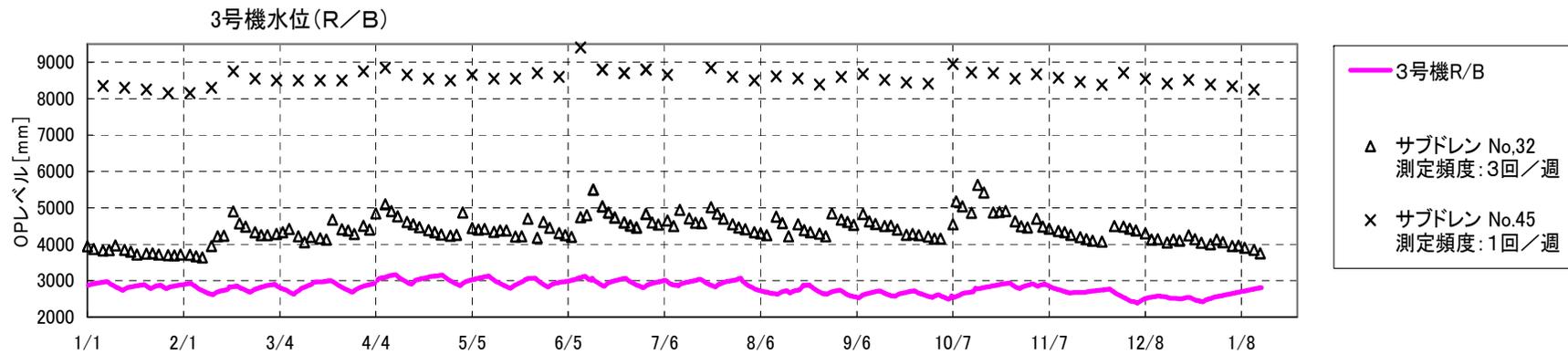
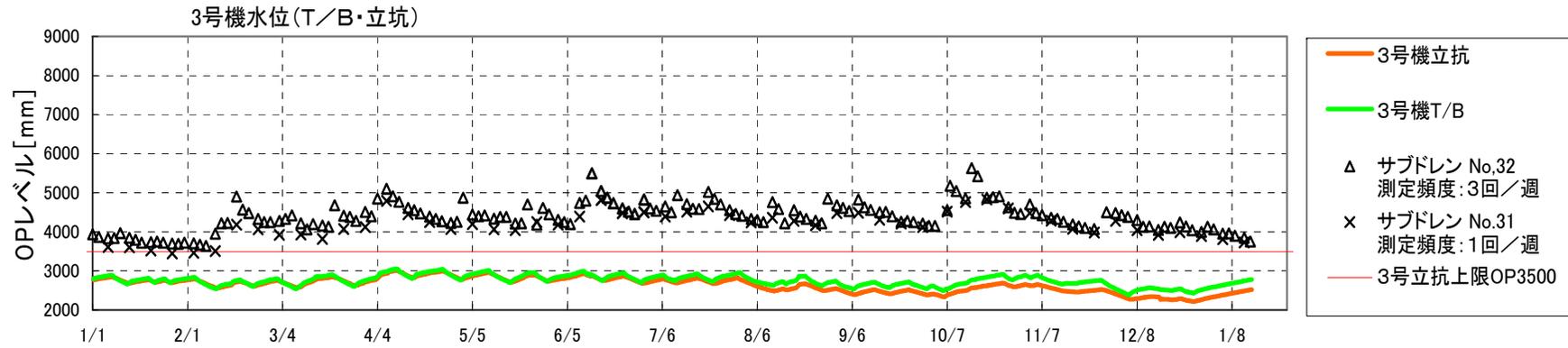
- 2号機R/B
- △ サブドレン No.27
測定頻度: 3回/週
- × サブドレン No.20
測定頻度: 1回/週

2号機水位(Rw/B)

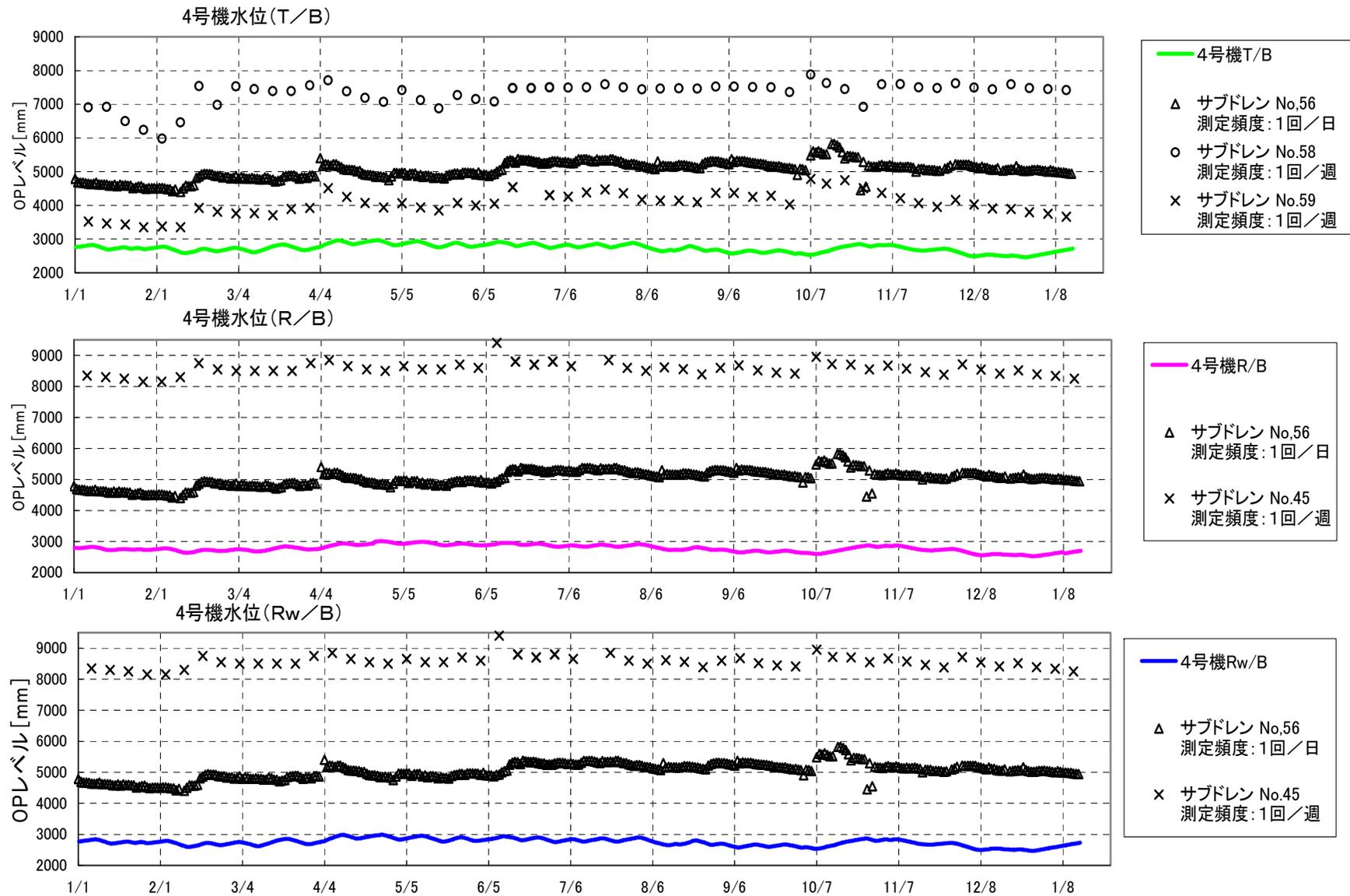


- 2号機Rw/B
- △ サブドレン No.27
測定頻度: 3回/週
- × サブドレン No.20
測定頻度: 1回/週

建屋水位監視状況（3号機）



建屋水位監視状況（4号機）



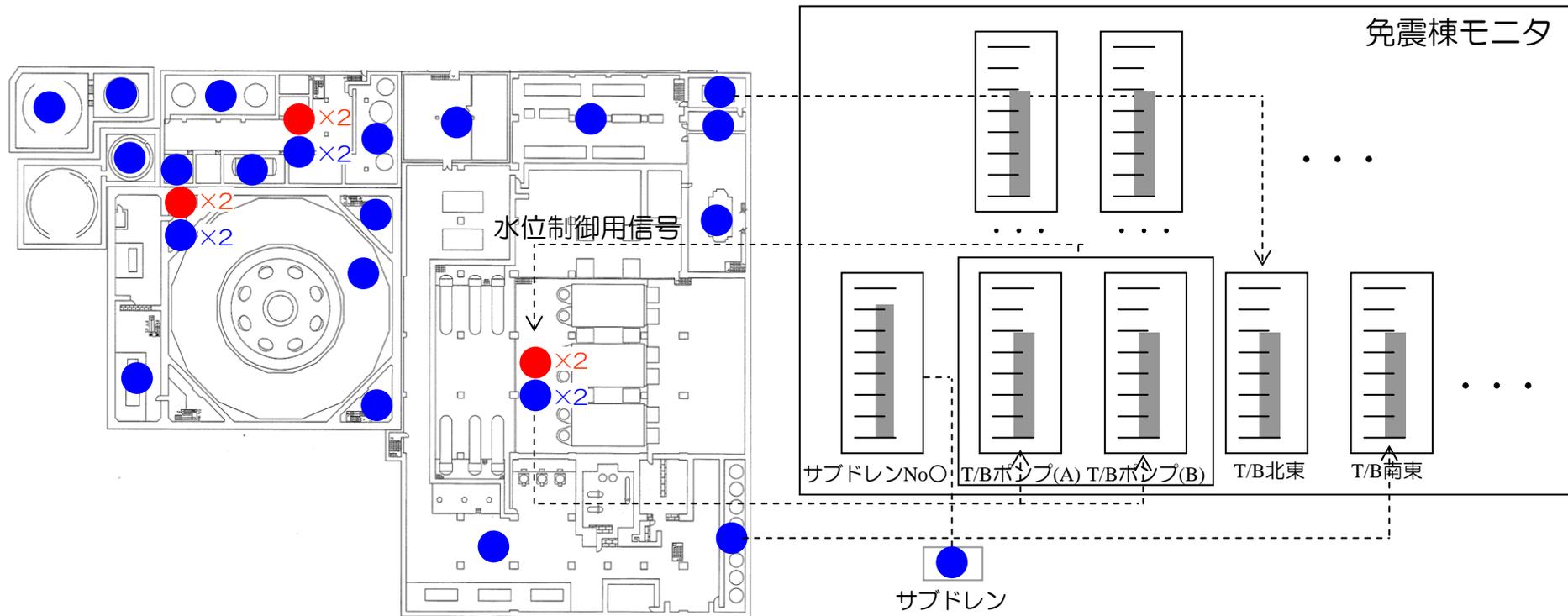
建屋滞留水ポンプ・水位計の追加設置と設置後の水位管理
(別途 実施計画申請中)

- 建屋水位データおよび地下水位データ(サブドレン水位)を免震棟に伝送し、一括管理を行う。各々の水位データを基に、以下の警報を出力させ、水位を管理する。

偏差大 : 建屋水位の指示値の中で偏差が大きい水位計を検出し警報を出力
水位差小: 地下水位と建屋水位の水位差にて警報を出力

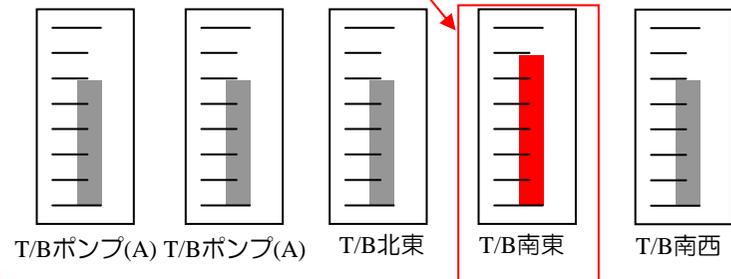
- 「偏差大」は、水位計の異常や建屋水位の挙動等の異常の検出、「水位差小」は、地下水位ー建屋水位間の水位差の管理を目的に設定。
- 次頁以降に、データ収集方法、管理方法（「偏差大」および「水位差小」のイメージ）を示す。

■建屋の各箇所における水位を免震棟に収集

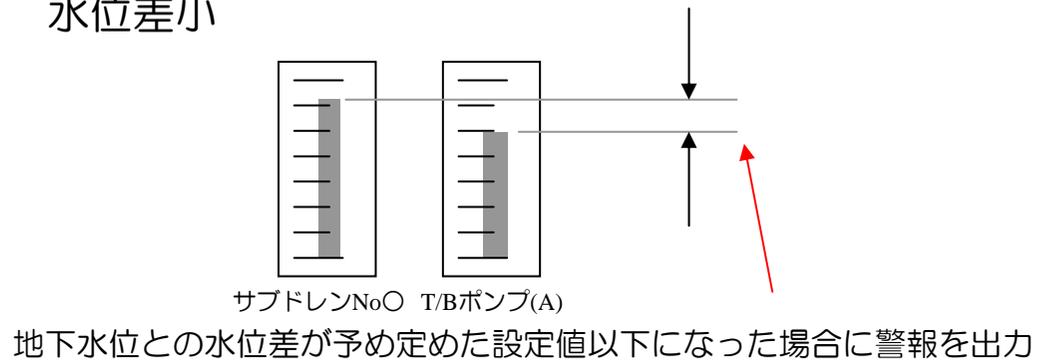


偏差大

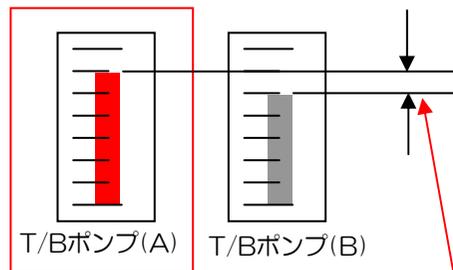
他の水位計との偏差を検出し、警報を出力



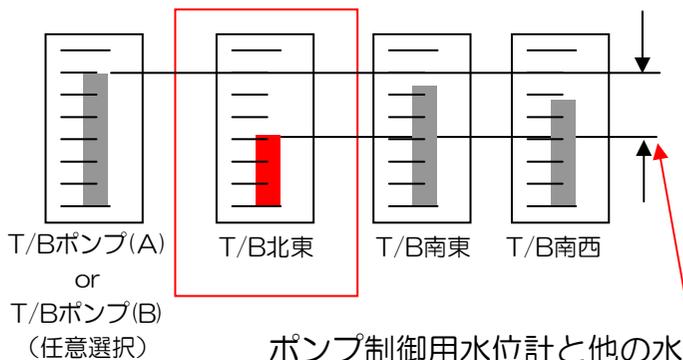
水位差小



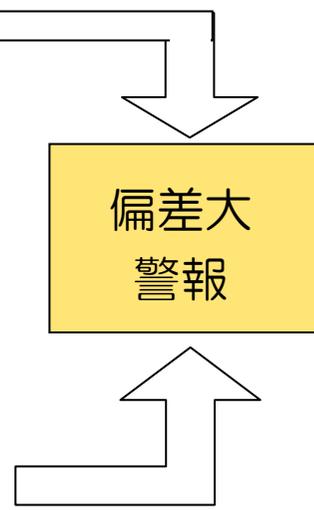
■ 偏差大



ポンプ制御用水位計同士の偏差を検出し、警報を出力



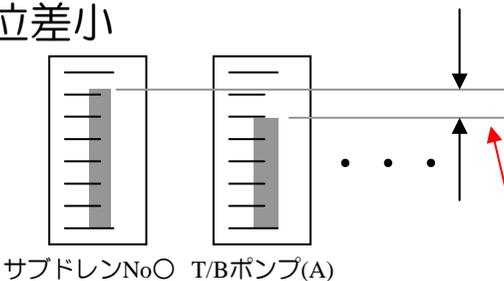
ポンプ制御用水位計と他の水位計との偏差を検出し、警報を出力



<対応>

- ①現場で実水位を計測し、以下を確認する。
 - ・水位計の単体故障
 - ・局所的な残水
- ②計器校正および水中ポンプ投入による残水処理等を実施する。

■ 水位差小



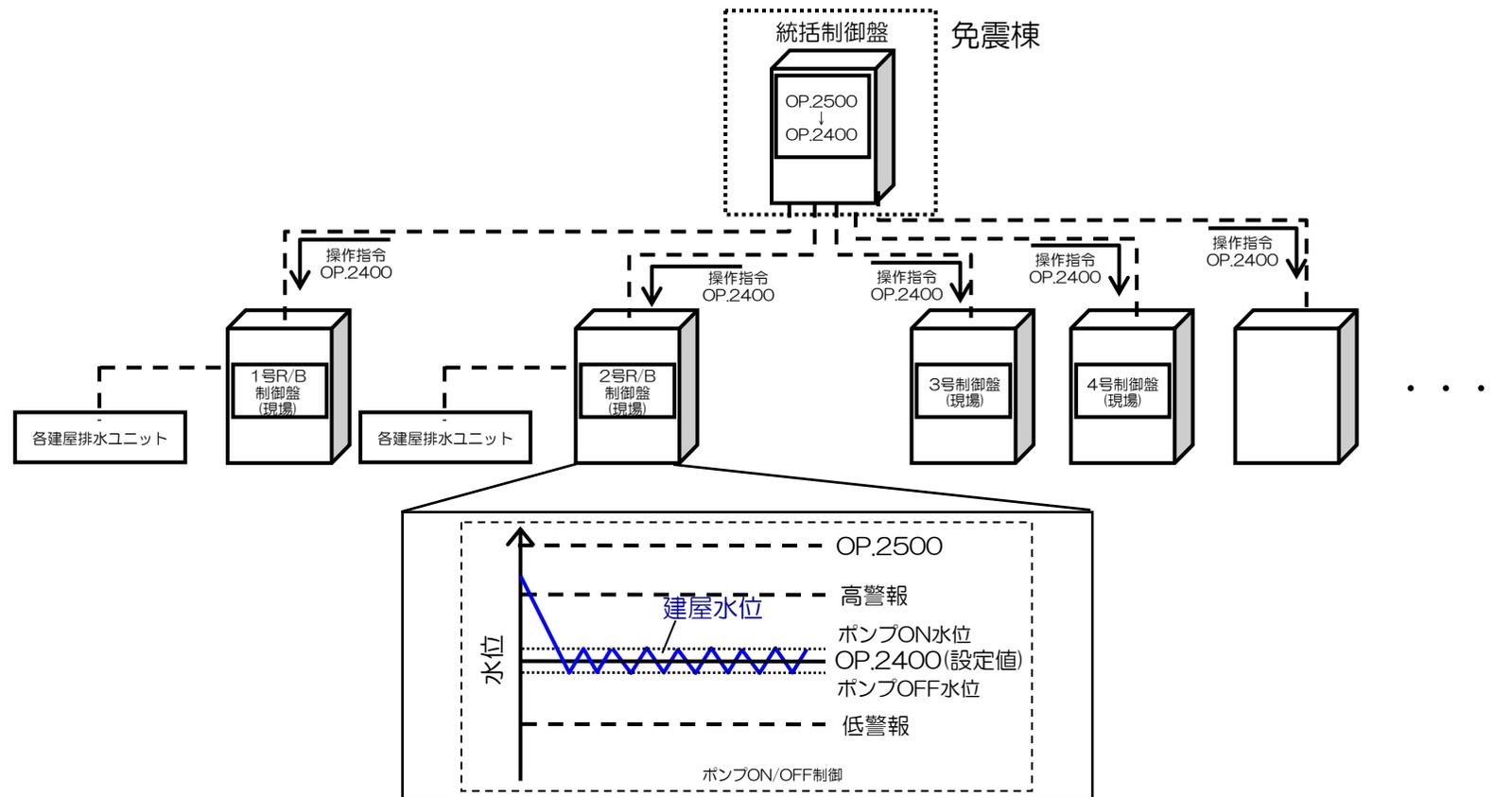
地下水位との水位差が予め定めた設定値以下
になった場合に警報を出力



- ①他の水位計を確認し、偏差によるものではないことを確認
(偏差による場合は上記手順)
- ②水位設定を免震棟にて変更し、
建屋水位を低下させる。

建屋水位制御方法について

- 建屋水位については常時監視し、各建屋の滞留水水位を総括制御盤からの指令で水位制御を行う。
- 各建屋の排水ユニットは、確実に制御可能なポンプのON-OFF制御により水位一定制御を行う。



制御システム構成イメージ

建屋滞留水の移送先の受入裕度について

- なお、直近2年の実績で最小値である5,800m³の受入可能量は、1～4号機建屋の水位で約25cm分の移送量に相当する。（※1～4号機の建屋滞留水保有エリア（約23,000m²）の滞留水を全て一様に移送する場合を想定）

		受入可能量	プロセス主建屋	高温焼却炉建屋	週報※
		容量 (m ³)	水位(O.P.)	水位(O.P.)	
2013 年度	最大値	約12,200	2,545	1,789	110報
	最小値	約5,800	4,318	3090	96報
	平均値 (参考)	約7,600	4,025	2,239	—
2014 年度	最大値	約11,900	2,571	1,905	146報
	最小値	約6,600	4,368	2,297	154報
	平均値 (参考)	約8,200	3,976	1,854	—

※：福島第一原子力発電所における高濃度の放射性物質を含むたまり水の貯蔵及び処理の状況について

従来設備と新規設備の比較（1 / 2）

	従来設備（現状）	新規設備（案）
建屋水位計測頻度	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
ポンプ等の設置箇所	各号機タービン建屋（合計11台（4箇所））	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（合計22台（11箇所））。
建屋水位の計測ポイント	各建屋1箇所（合計12箇所）	ポンプ設置エリアに水位制御用水位計（11箇所），想定外の局所的な水の滞留により屋外への流出リスクが否定できない箇所（60箇所）に監視用水位計を設置。（合計71箇所）
水位計計測精度	放射線影響等によるドリフト（～数百mm）が発生しており，定期的に調整を実施（高線量作業）	要求精度を検討中。 耐放射線性，メンテナンス性を向上し，システム全体として信頼性向上を図る。 精度については建屋水位と地下水位の水位差に見込む。

なお，設置箇所，機器の詳細仕様等は，現場調査の結果等を踏まえて適宜見直す。

従来設備と新規設備の比較（2/2）

特定原子力施設 監視・評価検討会
（第23回）資料 加筆

項目	従来設備（現状）	新規設備（案）
設備の構成	各号機タービン建屋から排水する設備構成	各建屋を同一水位にするため、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）から排水する設備構成とする。（多重化を考慮）
容量 （ポンプの容量）	最大約1,920m ³ /日 （80m ³ /h）	現状以上の排水容量とする。 降雨時の建屋水位変動実績等を踏まえ、過去最大降雨（浪江における24時間最大降雨）に対する建屋水位応答を評価した結果、80m ³ /h排水時の水位上昇は約198mmと算定した。この値は、水位差（建屋一周辺地下水）300mmを考慮しても余裕があると考えている。
水位制御方法	現場での手動操作によるON-OFF制御	自動で設定水位への制御を行い、各建屋の水位を一定にする。また、地下水位低下に伴う設定水位の変更やポンプの運転等を免震棟で遠隔操作できるようにし、制御性を向上させる。
水位制御の範囲	各号機タービン建屋からの排水のみ（建屋間は水位差による移動）	原則として、各号機の各建屋に排水設備を設け、各建屋を同一水位に制御する。
水位制御の能力 ・時間応答性		上記排水容量による建屋水位低下量は約50mm/日。これに対し、地下水位低下量は約5～10mm/日程度となっており、余裕を有している。

建屋の区画とポンプ・水位計設置箇所（1号機）

- . . . 区画の境界線
 - . . . 建屋内排水系や貫通部等を介して連通しているエリアの境界線
 - . . . 土壌と面した外壁に存在する貫通部
 - . . . ポンプ設置箇所と区画され、連通性が不明な箇所であり、かつ土壌と面した外壁に貫通部がある箇所
 - . . . ポンプ設置箇所と建屋内排水系等を介して連通しており、かつ土壌と面した外壁に貫通部がある箇所
- . . . ポンプ設置箇所
 - . . . 水位計設置箇所

水位計を設置し、局所的な水の滞留を監視する。滞留が確認された場合は水中ポンプにより排水を行う。

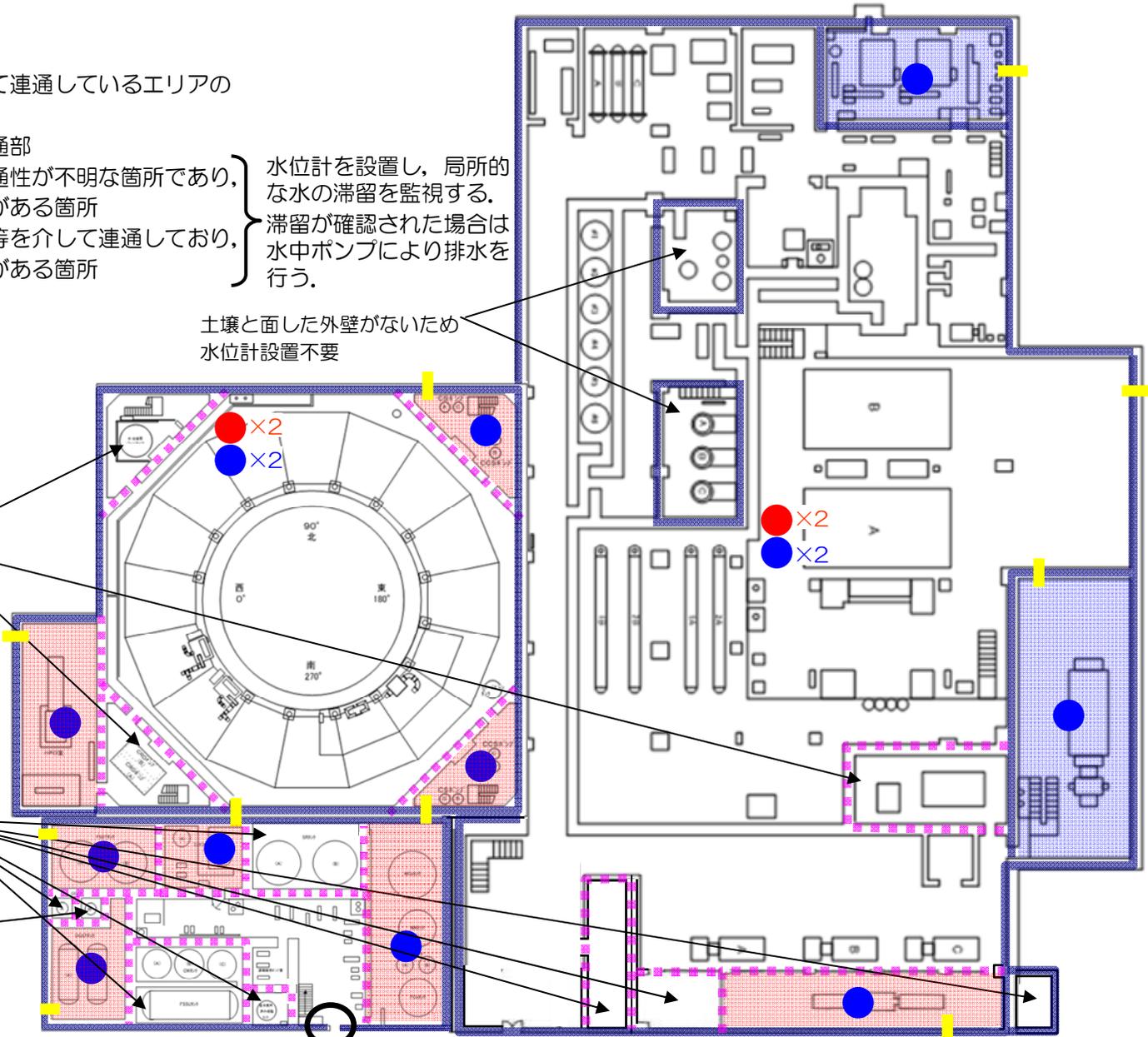
土壌と面した外壁がないため水位計設置不要

土壌と面した外壁に貫通部が存在しないため、水位計設置不要

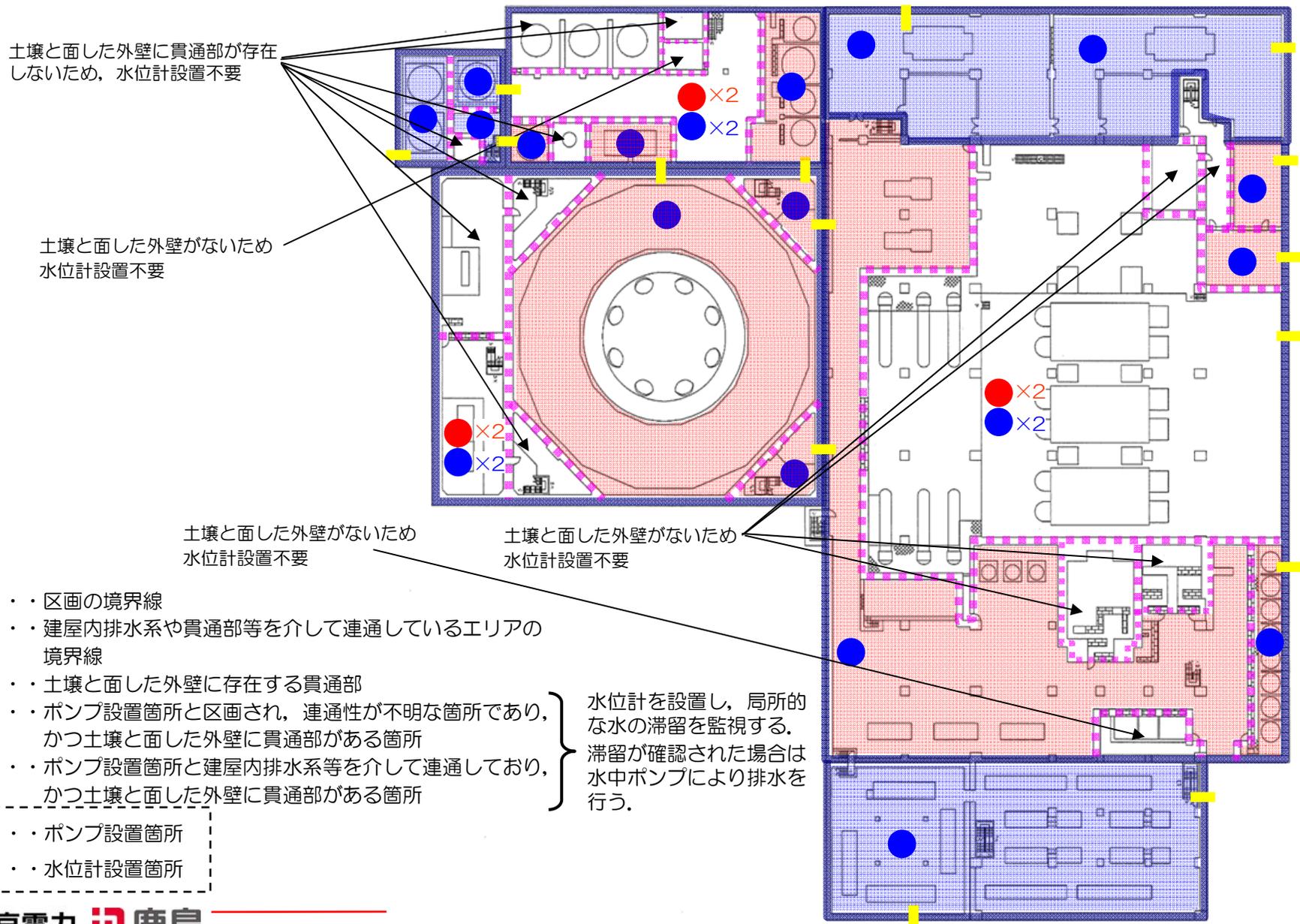
土壌と面した外壁に貫通部が存在しないため、水位計設置不要

土壌に面していないため水位計設置不要

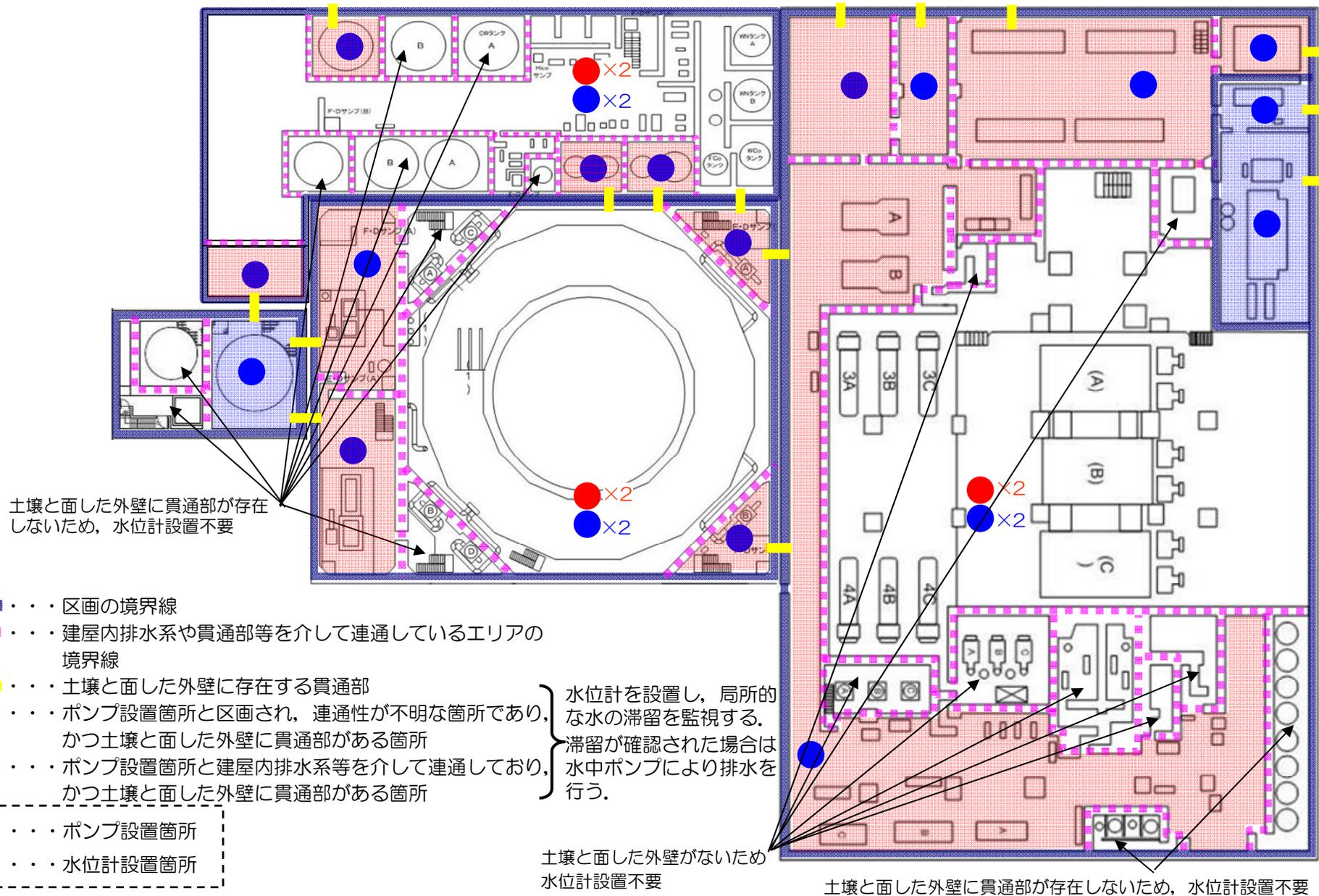
扉開のため2号Rw/Bと区画無し



建屋の区画とポンプ・水位計設置箇所（3号機）



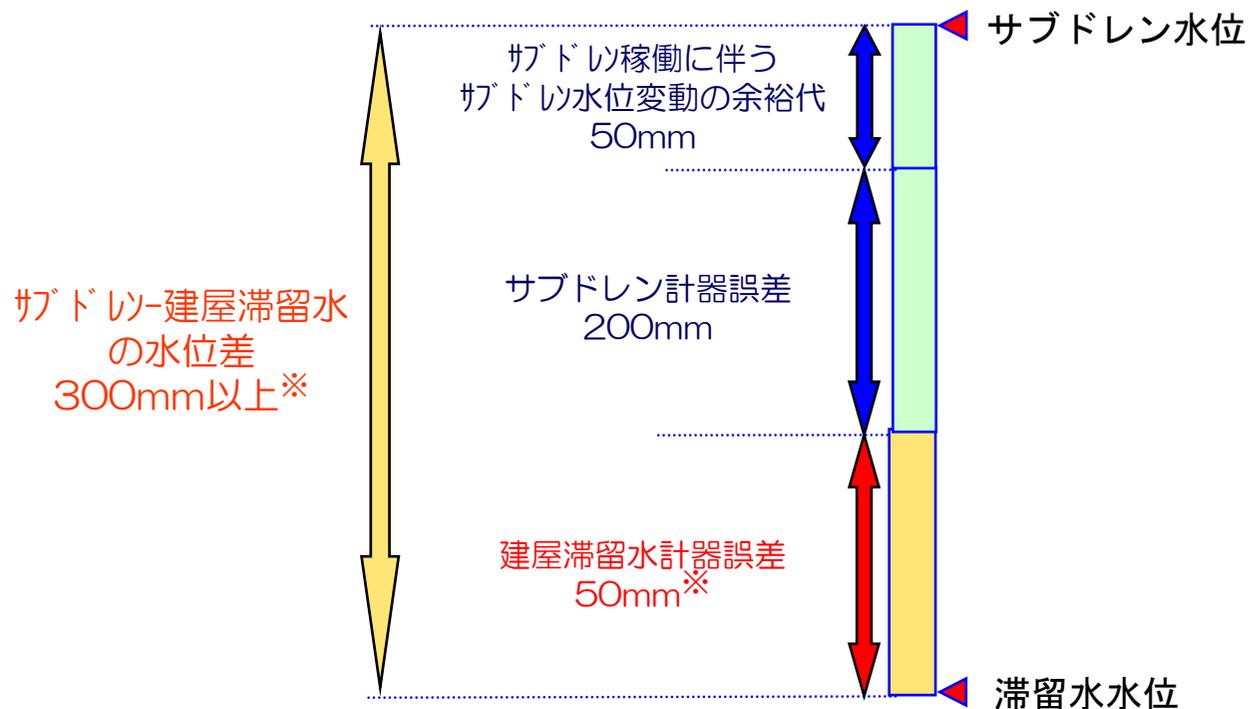
建屋の区画とポンプ・水位計設置箇所（4号機）



- 区画の境界線
- 建屋内排水系や貫通部等を介して連通しているエリアの境界線
- 土壌と面した外壁に存在する貫通部
- ポンプ設置箇所と区画され、連通性が不明な箇所であり、かつ土壌と面した外壁に貫通部がある箇所
- ポンプ設置箇所と建屋内排水系等を介して連通しており、かつ土壌と面した外壁に貫通部がある箇所
- ポンプ設置箇所
- 水位計設置箇所

サブドレンー建屋滞留水の水位差管理について

サブドレンー建屋滞留水間の水位差の設定



※：現在申請中の「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」における建屋滞留水水位計等に関する変更申請の認可後に、認可内容に合わせて記載を適正化する。

サブドレンー建屋滞留水間の水位差の設定根拠について

■ サブドレン稼働に伴う水位変動

- 海側サブドレンの水位低下量は極めて小さくなるよう山側サブドレンは段階的に水位低下させるが、サブドレンー建屋滞留水の水位差確保においては、保守的な解析※から得られた最大日低下量30mmに裕度を持たせた50mmをサブドレン稼働に伴う海側サブドレンの水位変動の余裕代として見込む。

※海側遮水壁が無い状態で山側サブドレンを稼働し3m程度を一度に汲み上げた場合

■ サブドレン水位計の測定誤差

- サブドレン水位計は、水圧式水位計を採用しており、水位管理における計器の測定誤差は200mmを見込む。

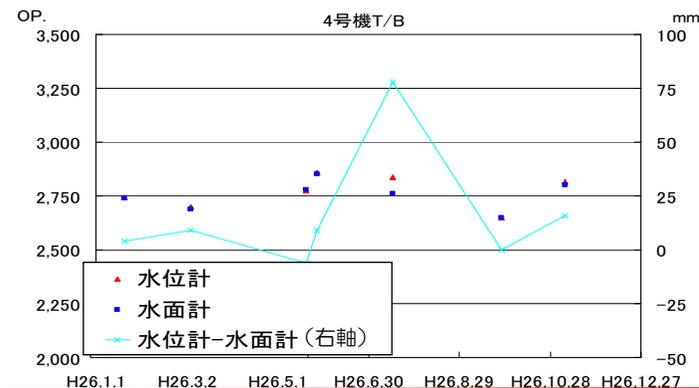
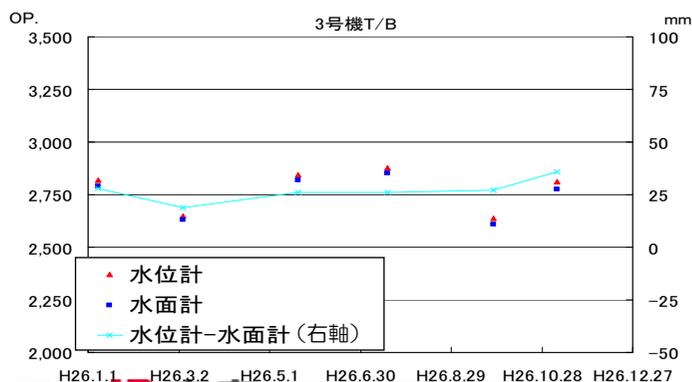
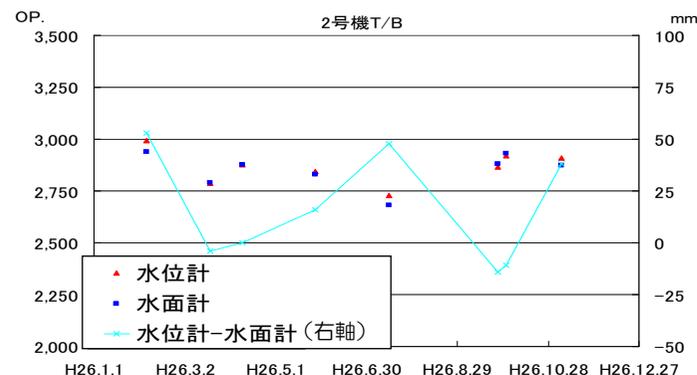
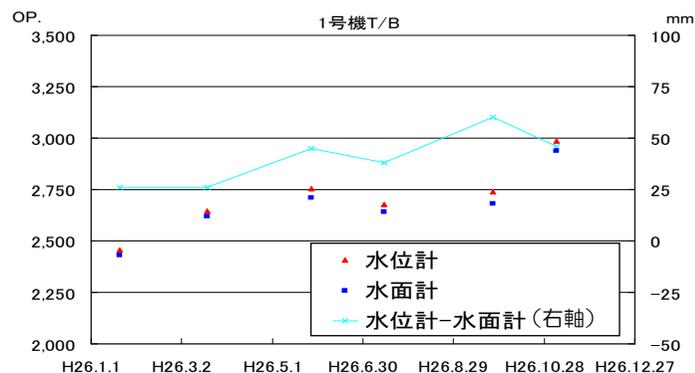
■ 建屋滞留水水位計の測定誤差

- 建屋滞留水水位計は、水圧式水位計を採用しており、水位管理における計器の測定誤差は50mmを見込む。

既存の建屋水位計の精度確認状況

■ 建屋滞留水水位計の測定誤差について

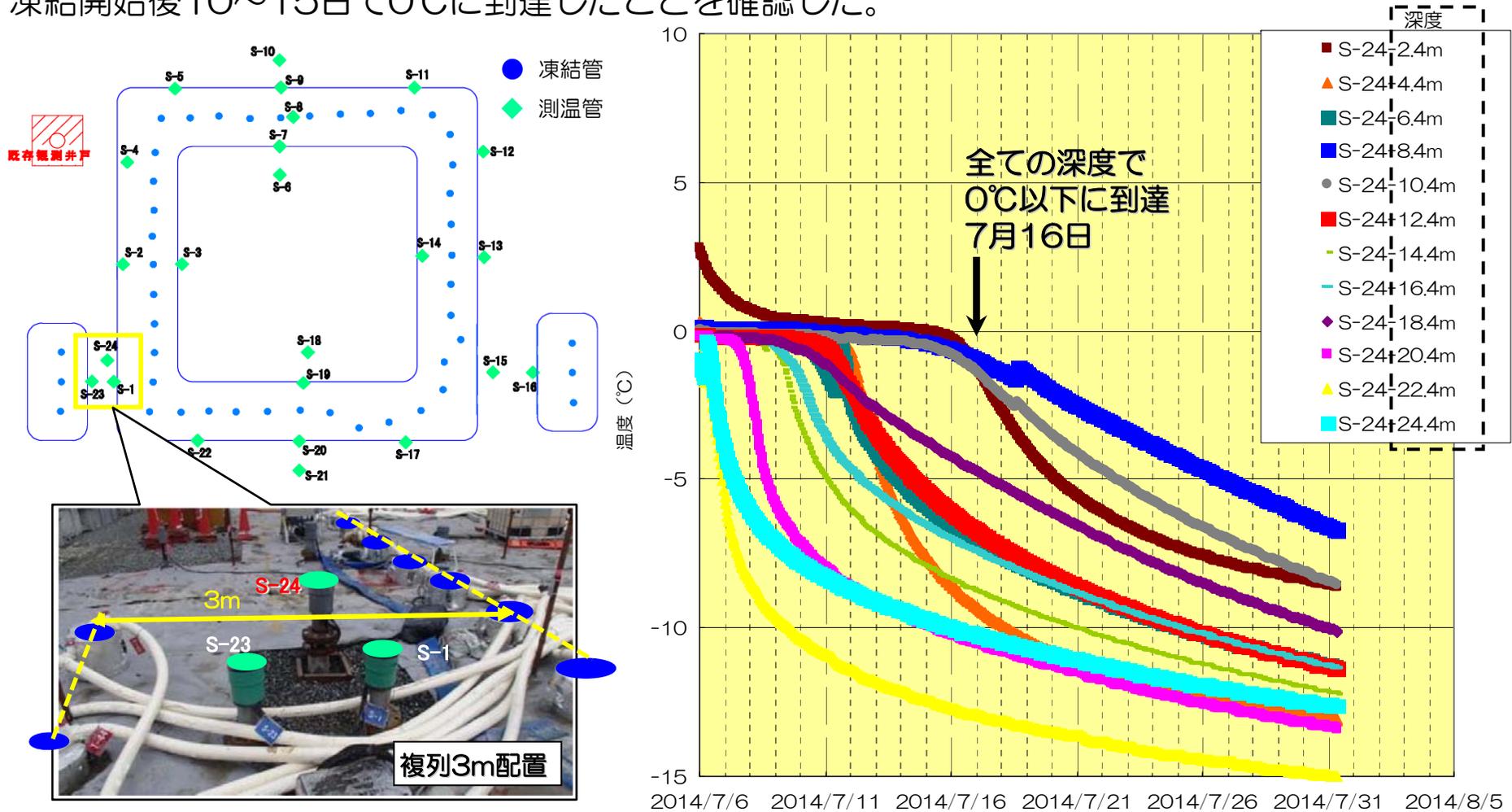
- 水圧式水位計を用いて計測しており、当該水位計については、定期的（約2ヶ月）に水面計による実測値との比較を実施し、必要に応じて以下のとおり補正している。
 - ・ 水位計の値が水面計より低い場合は、50mm単位で補正を行うことを標準とする。
 - ・ 水位計の値が水面計より高い場合は、水位計の測定誤差が0～+100mmの範囲に収まるように、100mm単位で補正を行うことを標準とする。
- 測定誤差（水位計と水面計の値の差）は、基本的に補正単位の50mm以内となるよう管理している。



部分先行凍結について

原地盤での複列施工の凍結実証試験（フィージビリティ・スタディ）

- 原地盤での凍結実証試験において、「貫通施工できない埋設構造物に対し複列施工する」ことを想定し、凍結管間隔3m幅に対して片側3本ずつの複列施工の凍結実証試験を実施した。
- 凍結管間の中央部（S-24）の測温結果より、3月14日に凍結開始し、7月16日に全ての深度で0°Cに到達したことを確認した（凍結期間：約120日）。また、一般部（凍結管間隔：1m）は、凍結開始後10~15日で0°Cに到達したことを確認した。



複列施工箇所の凍結に要する期間に関する検討 解析条件

- 実証試験結果をもとに物性値を定め、複列施工箇所の凍結に要する期間に関する解析を行った。

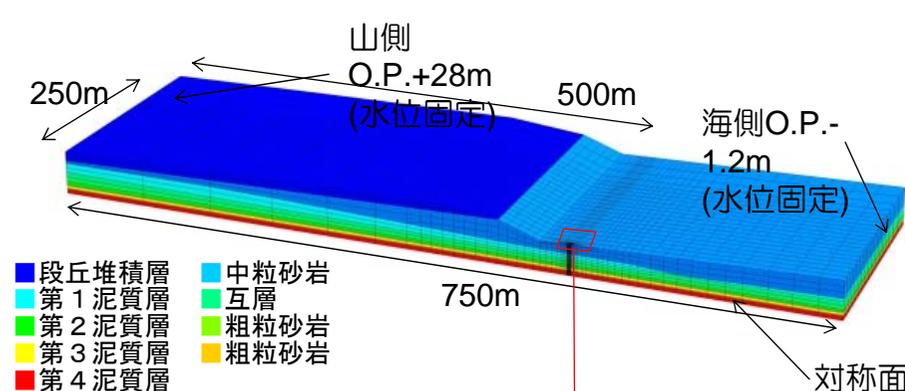
解析モデルおよび条件

水理物性

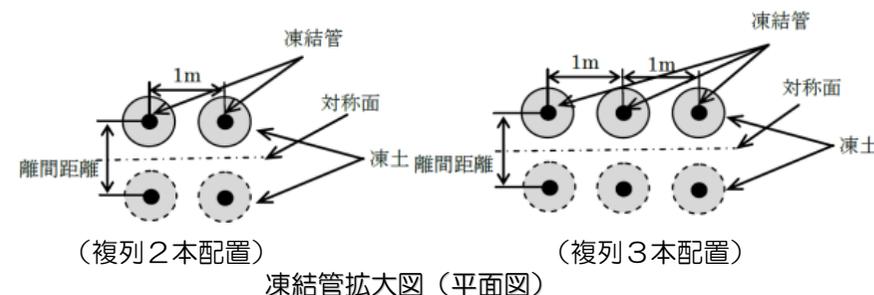
地層	透水係数(cm/s)	比貯留係数(cm ⁻¹)
段丘堆積層・砂岩	3.0×10 ⁻³	2.9×10 ⁻⁶
泥岩	1.1×10 ⁻⁶	4.5×10 ⁻⁷
互層	(水平) 1.0×10 ⁻³ (鉛直) 1.1×10 ⁻⁶	5.8×10 ⁻⁷

熱物性

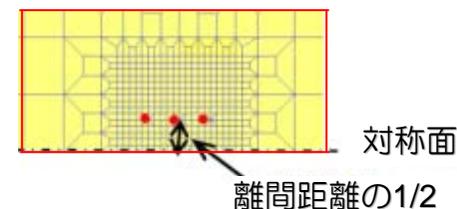
地層	透水係数(cm/s)	比貯留係数(cm ⁻¹)
段丘堆積層・砂岩	3.0×10 ⁻³	2.9×10 ⁻⁶
泥岩	1.1×10 ⁻⁶	4.5×10 ⁻⁷
互層	(水平) 1.0×10 ⁻³ (鉛直) 1.1×10 ⁻⁶	5.8×10 ⁻⁷



解析メッシュ図(1/2対称モデル)



凍結管拡大図(平面図)



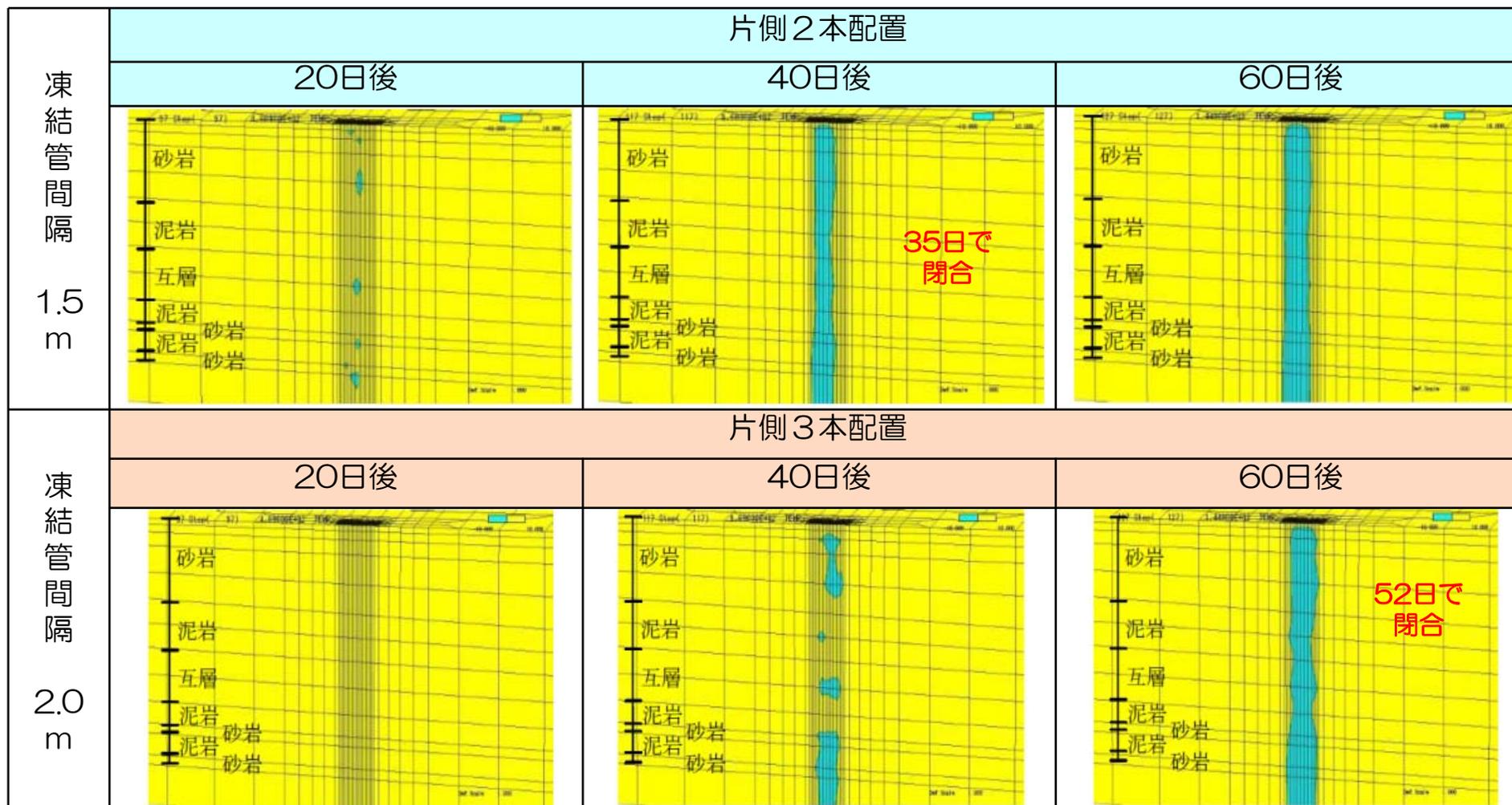
解析メッシュ拡大図(平面図)

水理境界条件 広域三次元地下水解析結果に基づき、凍土造成前は中粒砂岩層0.1m/day、互層0.03m/day、山側凍土壁位置でO.P.8.5mの水位となるように設定 (主要な水理境界条件は上図に表示)

温度設定条件 雰囲気温度15℃、初期地中温度15℃
ブライン温度-30℃

複列施工箇所の凍結に要する期間に関する検討 解析結果

- 現地の施工での複列施工箇所を分類すると、①凍結管間隔1.5m以下・片側2本配置、②凍結管間隔1.5～2m程度・片側3本配置の2種類に大別できる。
- それぞれの、凍結に要する期間は、①：35日程度、②：50日程度である



部分先行凍結の目的

- 以下の目的のため、陸側遮水壁山側の一部を先行凍結する。
 - 陸側遮水壁山側において凍結管間隔が広い箇所については、複列施工などを実施しているが、一般部（凍結管間隔：約1m）と比較して、凍結に時間を要することを原地盤での実証試験において確認している。複列施工箇所は、一般部の凍結期間に加え、20～40日程度の期間が必要となると考えている。
 - そのため、一般部と同時に凍結開始した場合、凍結に時間を要する部位が残り、地下水流が集中し、さらに凍結しにくくなるという事象が想定される。
 - このような地下水流が集中する部位に対しては、部分的に地盤改良工法等の止水対策を施すことにより閉合させることが出来ると考えている。
 - しかしながら、より確実かつ早期に陸側遮水壁を閉合させるために、凍結に時間を要すると予想される部位の凍結を先行的に開始する。

部分先行凍結の地下水位への影響

■ 目的

- 部分先行凍結前後での地下水位への影響評価

■ 解析条件

- 部分先行凍結により遮水される長さは全体の6%程度

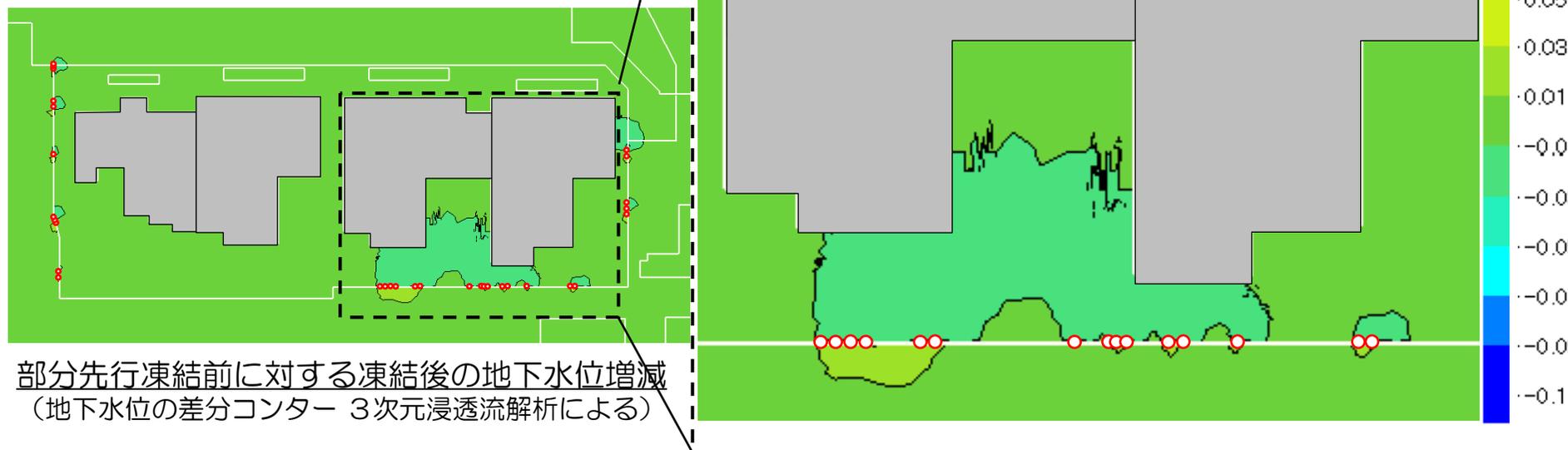
■ 解析結果

- 部分先行凍結前に対し凍結完了後、建屋山側の地下水位が数cm程度低下する。

解析条件

陸側遮水壁山側総延長	986m	100%
先行凍結による遮水長さ※	60m	6%

※：凍結範囲は半径1mと仮定



部分先行凍結前に対する凍結後の地下水位増減
(地下水位の差分コンター 3次元浸透流解析による)

陸側遮水壁による建屋への地下水流入量抑制効果

地下水分布基礎方程式について

- 地下水流動の基礎方程式（ダルシーの法則）

$$v = k i = k \frac{\Delta h}{L}$$

v : 流速, i : 動水勾配, k : 透水係数,
 Δh : 水位差, L : 距離

- 連続の式（質量保存の法則）

$$Q = VA = k i A$$

Q : 流量, A : 面積

上記を元に、定常軸対象浸透流（不圧帯水層：（例）サブドレン）の基礎方程式は下記に導かれる。

$$Q = 2\pi k r h \frac{dh}{dr}$$

r : 井戸中心からの距離

→上記式を基礎方程式として、降雨の影響を加え
 二次元及び三次元の地下水位を解析コードを用いて計算する。
 例) $r=r_0, h=h_0$ で微分方程式を解くと

$$h^2 - h_0^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{r}{r_0}$$

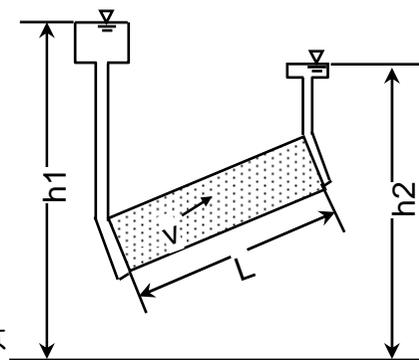
※井戸から r 位置の水位低下量は対数関数となる

また、定常断面二次元浸透流（不圧帯水層：（例）陸側遮水壁の基礎方程式は

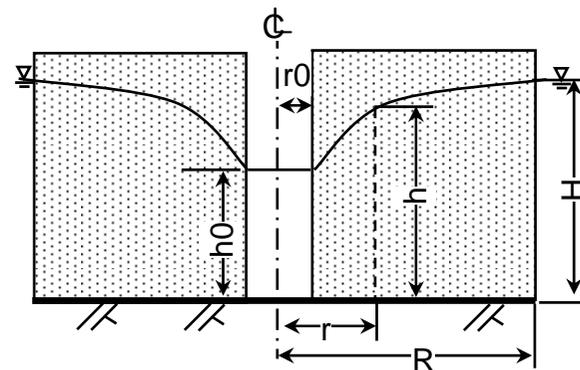
$$Q = h k \frac{dh}{dL}$$

となり、水位低下式は

$$h^2 - h_0^2 = Qk/L \text{ となる。}$$



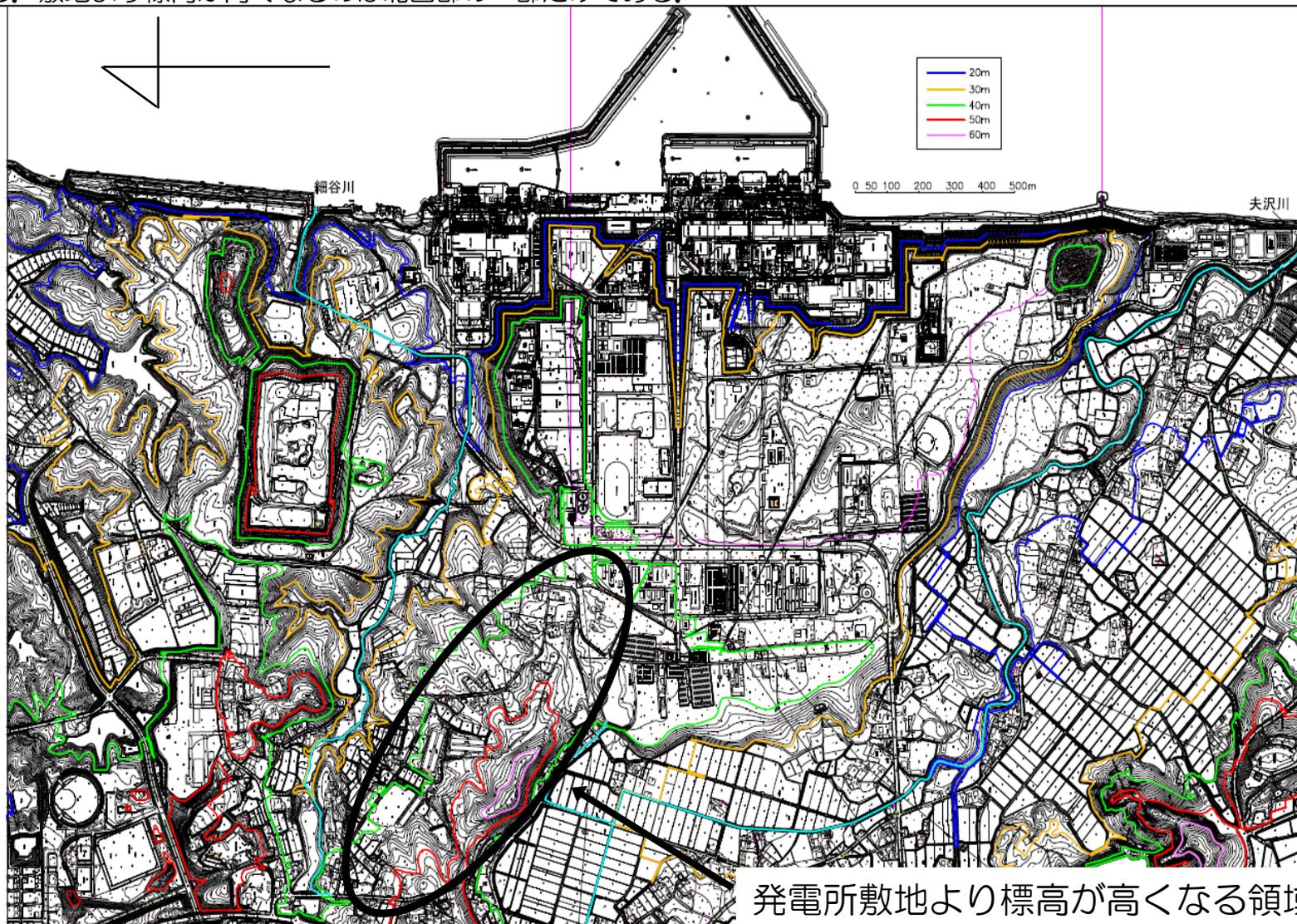
地下水の流れ



不圧帯水層の軸対象定常浸透流

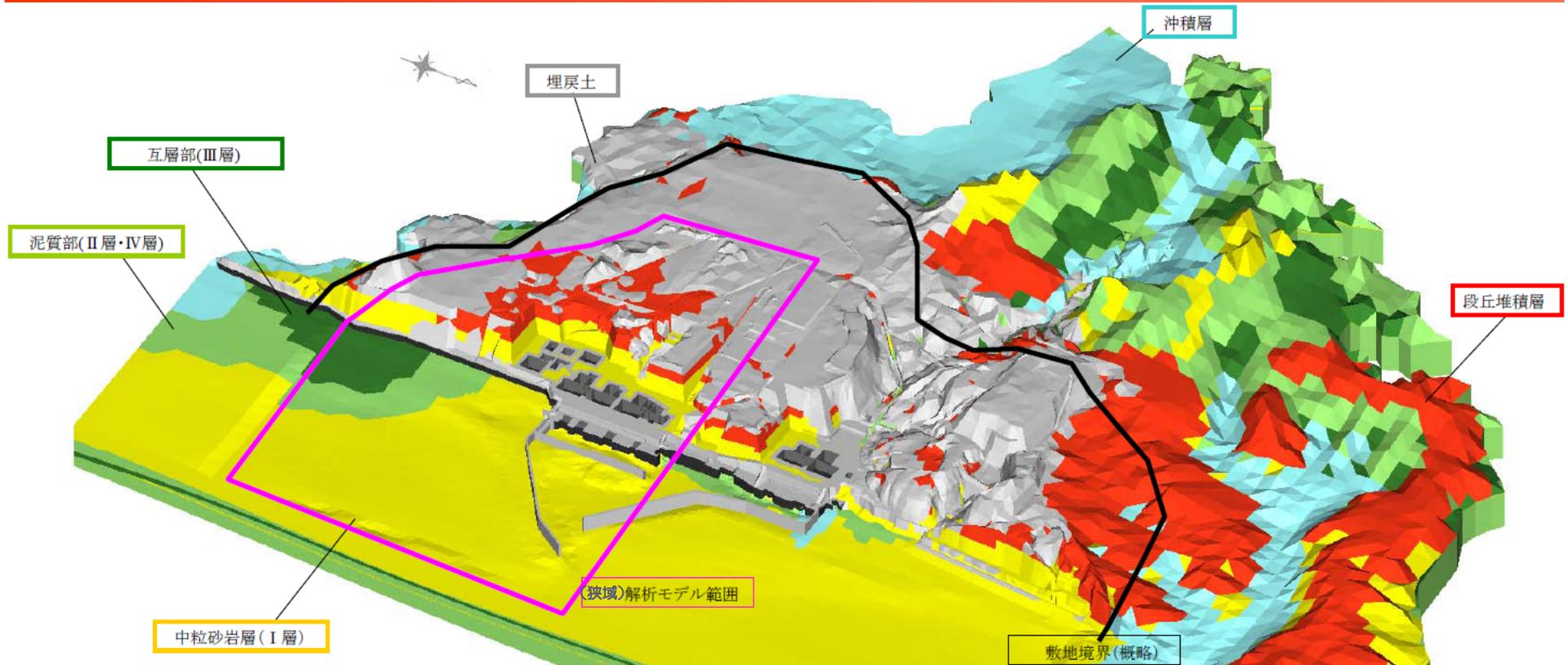
福島第一原子力発電所周辺の地形

発電所の敷地は、周囲を川に挟まれた海拔35m程度の台地であり、海側を掘削し、海拔約10mの地盤に、発電所建屋を設置している。敷地より標高が高くなるのは北西部の一部だけである。



発電所敷地より標高が高くなる領域

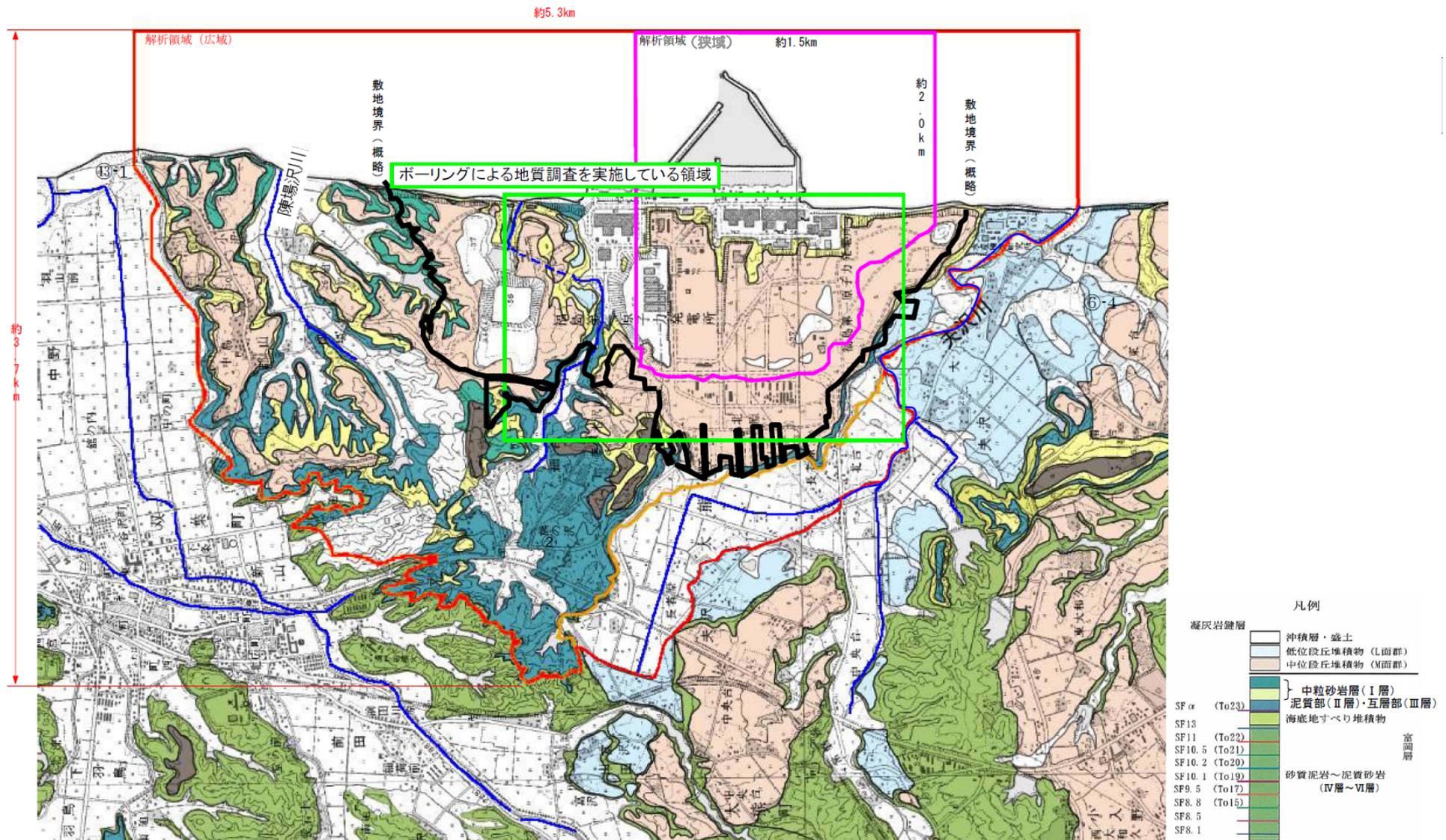
3次元解析モデルについて (鳥瞰図) 1 / 3



モデルは福島第一原子力発電所の敷地をカバーする東西約4 km, 南北約5 km程度の範囲, 富岡層T3部層までの深さとしている。モデルの境界を河川・互層部の露頭が認められる場所等として, 境界条件として静水圧分布を与え, 海側は平均潮位を与えている。解析メッシュは, 地質平面図, 断面図に基づいて, 平面的には1~4号機建屋周辺は数十センチ, モデル境界付近では最大60mのグリッド, 深度方向には, 数十cm~数m程度の厚さとしている。モデルの節点数は約400万となっている。解析コードはDtransu-3D・ELを使用している。Dtransu-3D・ELは, 岡山大学西垣 誠教授, 三菱マテリアル(株), (株)ダイヤコンサルタント, 三者共同で開発したプログラムです。本プログラムのソースコードは公開されており, 多数の使用実績が報告されている。

出典：第9回汚染水処理対策委員会

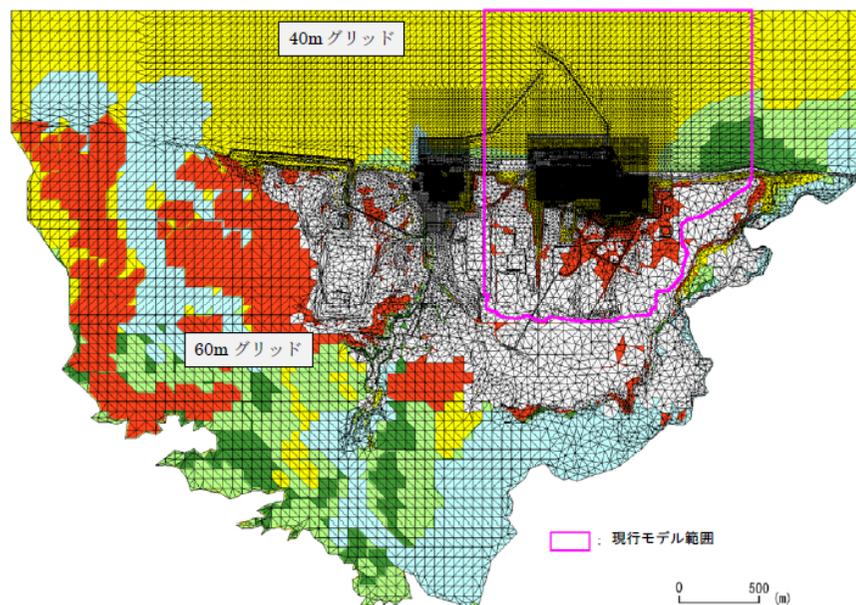
3次元解析モデルについて（地表面の地質分布と解析モデル化領域） 2 / 3



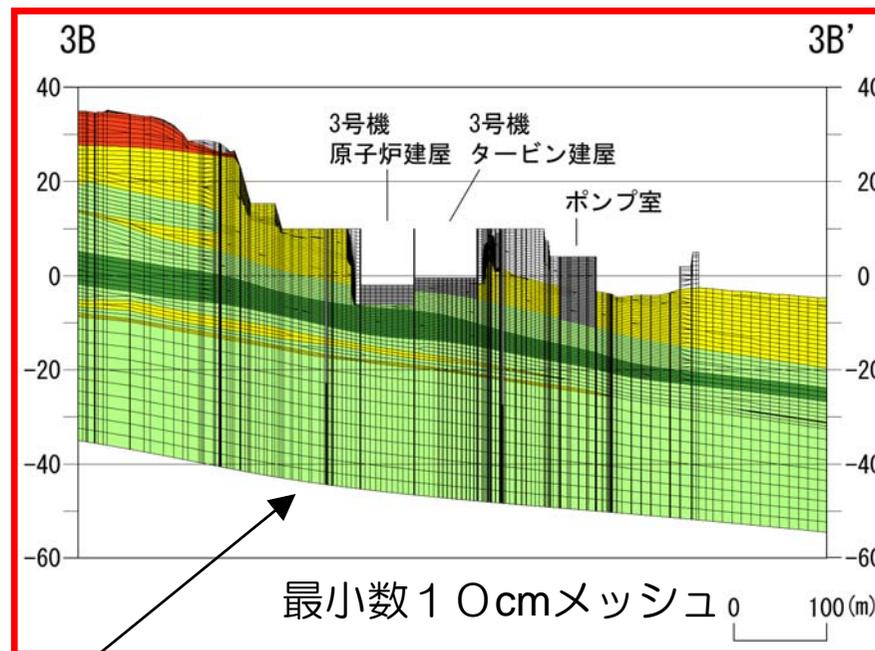
出典：第9回汚染水処理対策委員会

3次元解析モデルについて（解析メッシュ図） 3 / 3

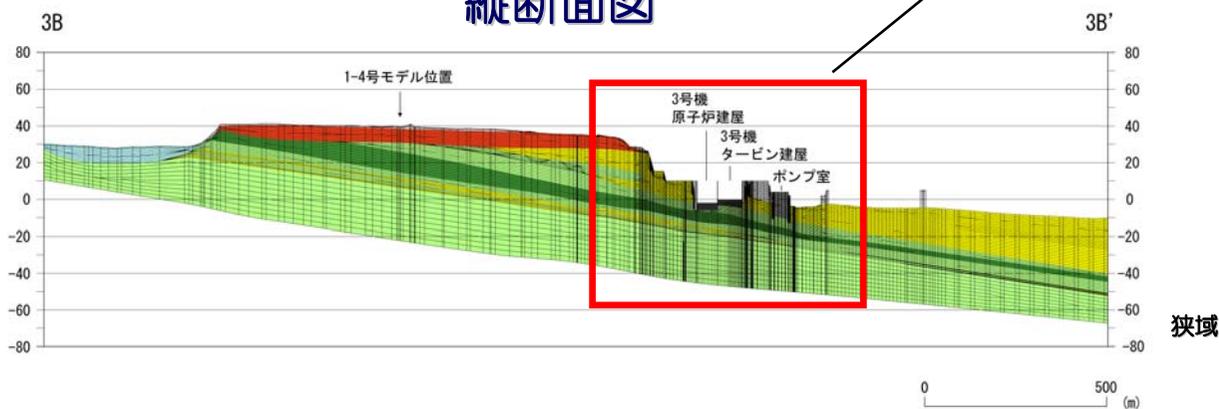
平面図



縦断面図（建屋付近拡大）



縦断面図



- 埋戻土
- 段丘堆積層
- 中粒砂岩層 (I層)・粗粒砂岩層 (IV層内)
- 泥質部 (II層・IV層)
- 互層部 (III層)

出典：第9回汚染水処理対策委員会

3次元解析条件 物性値

地層区分		震災前		震災後		有効間隙率 (実流速換算時)	備考	
		透水係数(cm/sec)		透水係数(cm/sec)				
地層名	記号	水平	鉛直	水平	鉛直			
盛土	bk	2.8E-03	2.8E-03	2.8E-03	2.8E-03	0.46	震災前室内試験結果	
段丘堆積物	tm	3.0E-03	3.0E-03	3.0E-03	3.0E-03	0.41	中粒砂岩層同様	
沖積層	al	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	0.41	文献値	
中粒砂岩	ss1	3.0E-03	3.0E-03	3.0E-03	3.0E-03	0.41	震災前現位置試験結果	
中粒砂岩(南側、上部)	ss3	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	0.41		
泥岩	m0	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	0.54		
中粒砂岩(南側、下部)	ss2	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	0.41		
泥岩	m1	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	0.54		
互層	alt	1.0E-03	1.1E-06	1.0E-03	1.1E-06	0.41		
泥岩	m2	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	0.54		
細粒砂岩	fs	2.3E-03	2.3E-03	2.3E-03	2.3E-03	0.41		
泥岩	m3	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	0.54		
粗粒砂岩	cs	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	2.0E-03	0.41		
泥岩	m4	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	1.1E-06	0.54		
建屋基礎およびMMR	-	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-06	0.30		コンクリート相当
建屋側壁	-	1.0E-06	1.0E-06	5.0E-06	5.0E-06	0.30		感度解析から設定 ^{※1}
既設矢板	-	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-04	1.0E-04	0.30	感度解析から設定、施工幅0.8m ^{※2}	
ポンプ室およびピット	-	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-06	1.0E-06	0.30	コンクリート相当	
4m盤グラウチング	-	-	-	3.0E-05	3.0E-05	0.30	中粒砂岩層の1/100相当、施工幅2m	
砕石	-	-	-	1.0E-01	1.0E-01	0.41	埋立部	
鋼管矢板	-	-	-	1.0E-06	1.0E-06	0.30	海側バウンダリ、施工幅2m	
凍土壁	-	-	-	0.0E+00	0.0E+00	-	施工幅2m	

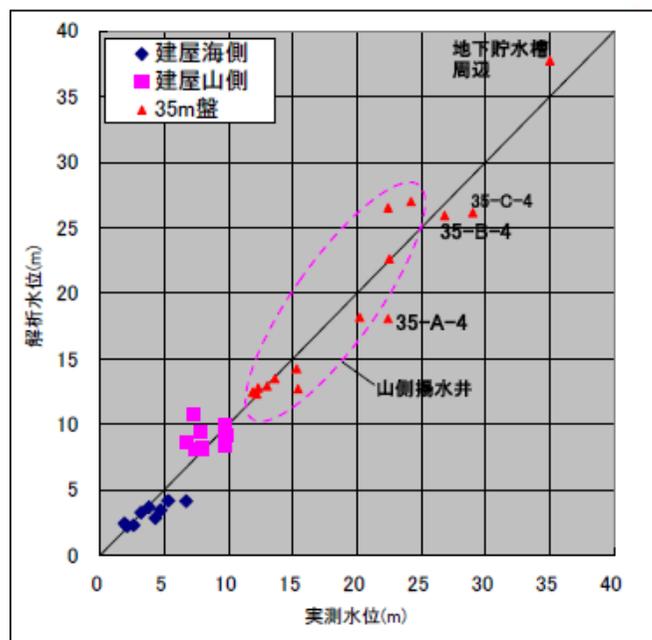
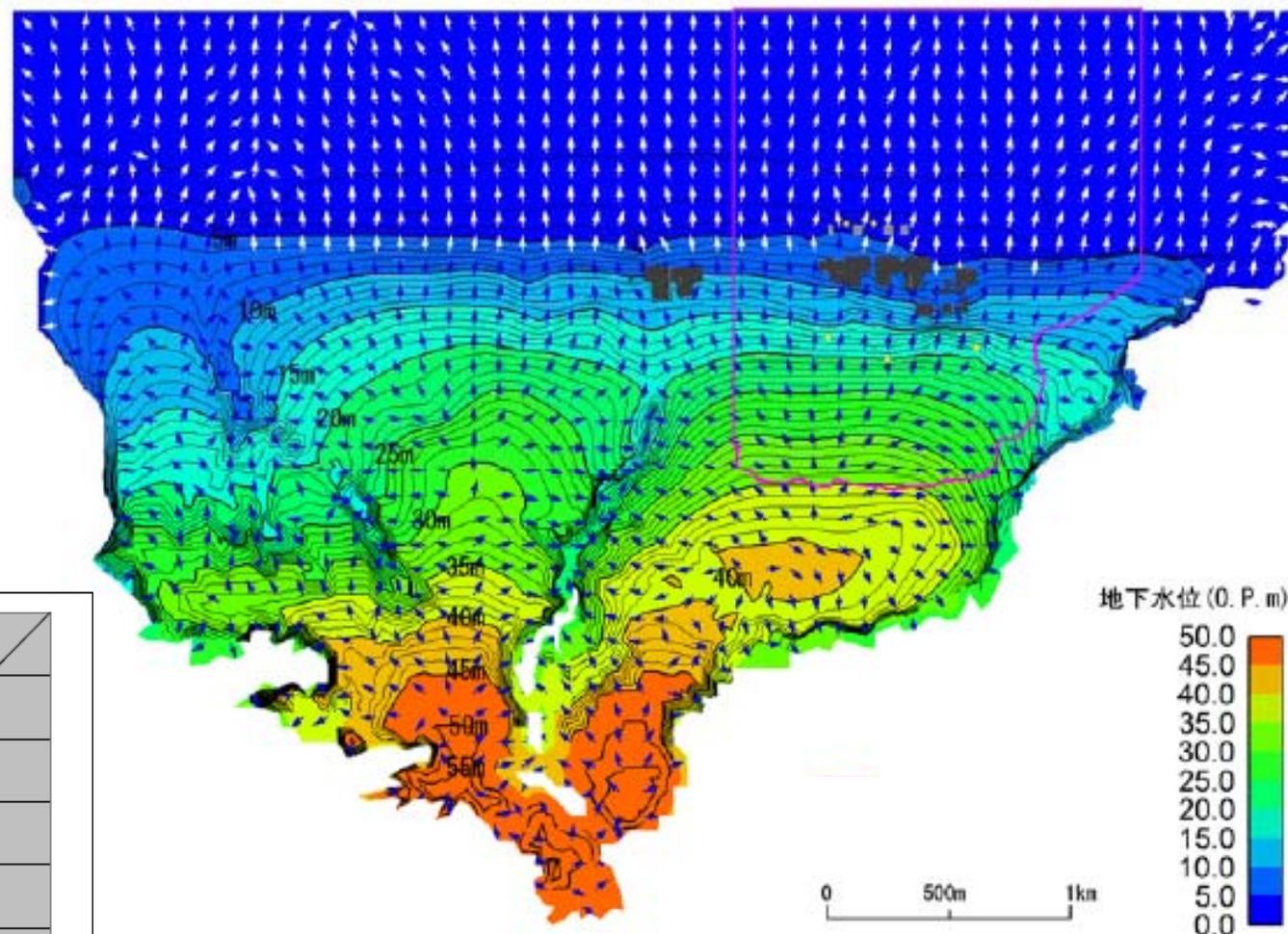
※1: 建屋への流入量が400m³/日を再現できる透水係数

※2: 地下水位(C-3, C-4, C-5)が再現できる透水係数

沖積層の透水係数については実測データがないため、日本の地盤を対象とした地下水データベース（梅田浩司，柳澤孝一，米田茂夫(1995)：日本の地盤を対象とした透水係数データベースの作成，地下水学会誌，第37巻，第1号，1995）の第四紀更新世（平均値：1.2E-03 cm/sec）と第四紀完新世（平均値：5.6E-04 cm/sec）の透水係数の平均値(8.1E-4 cm/sec)から1E-3(cm/sec)と設定した。

出典：第9回汚染水処理対策委員会

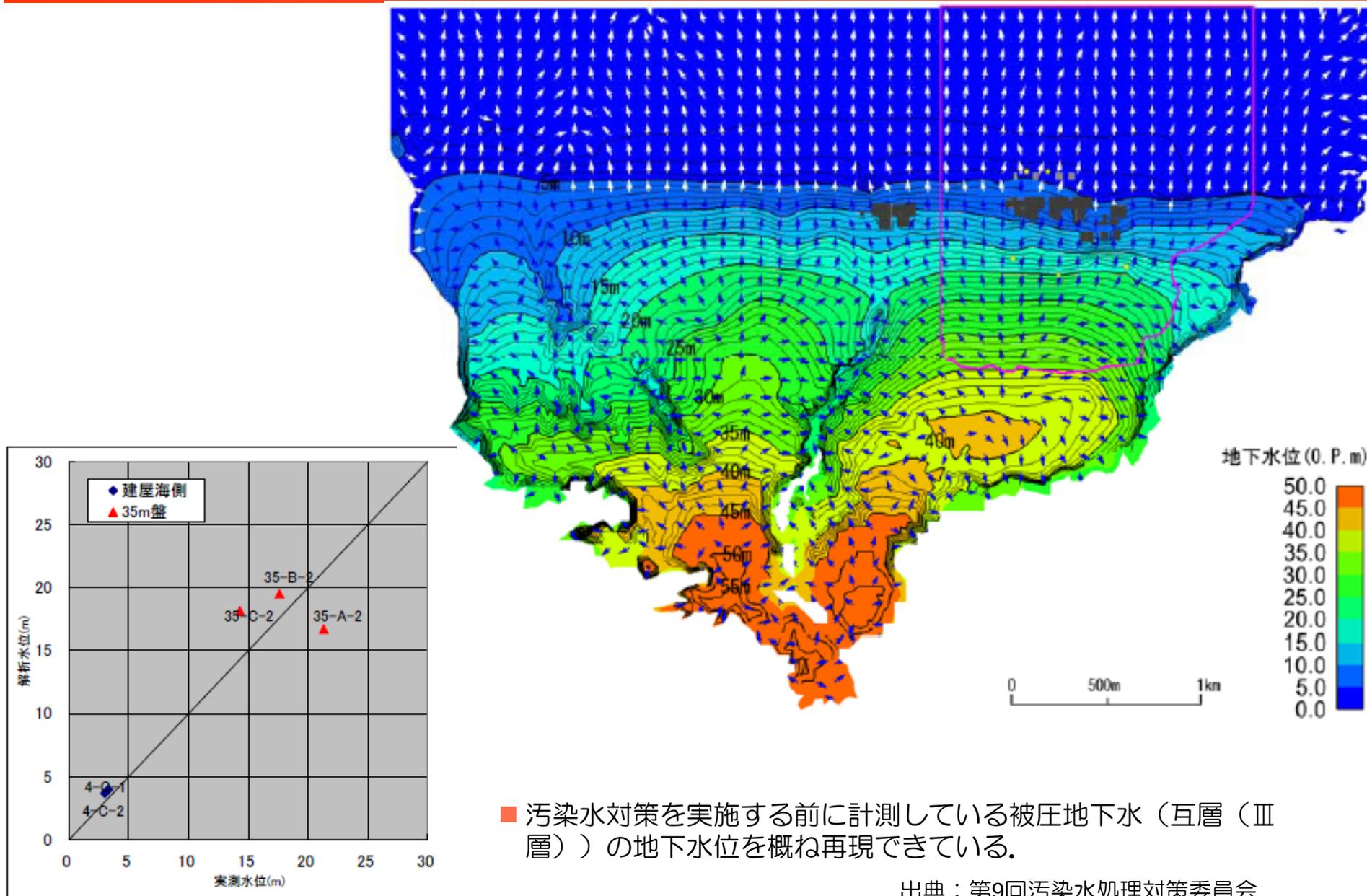
3次元解析モデルの妥当性；対策前 再現解析結果（中粒砂岩層）



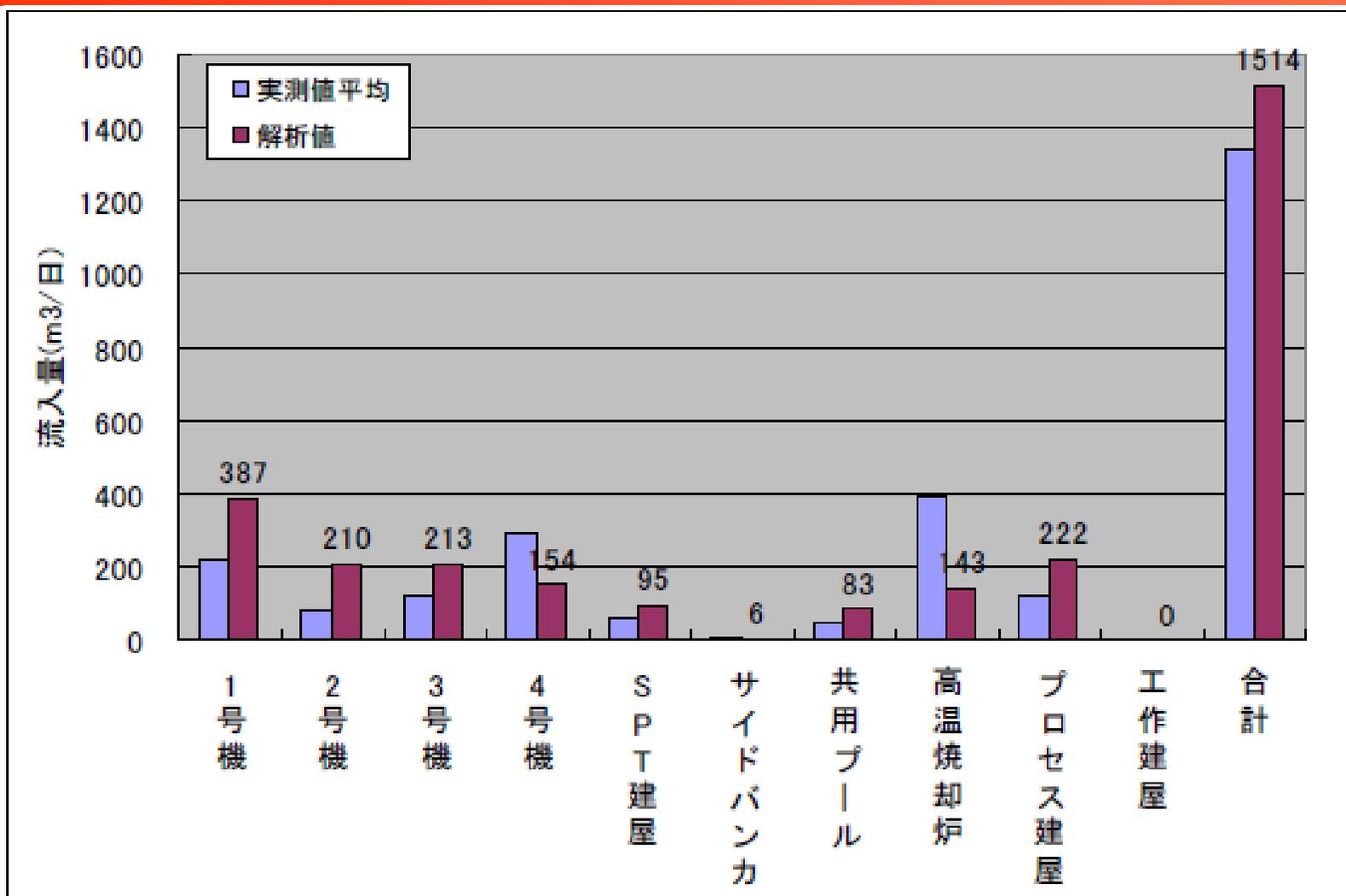
- 汚染水対策を実施する前に計測している不圧地下水（中粒砂岩層（I層））の地下水位を概ね再現できている。

出典：第9回汚染水処理対策委員会

3次元解析モデルの妥当性；対策前 再現解析結果（被圧（互層（Ⅲ層）））



3次元解析モデルの妥当性；震災前サブドレン流入量の比較



- 震災前のサブドレン流入量は、解析モデルの方が全体的に多めに計算される結果となっているが概ね震災前相当である。

陸側遮水壁による建屋への地下水流入量抑制効果—解析条件（定常解析）—

■ 各ケースの解析条件

ケース	解析条件					対策工				
	降雨浸透率	境界条件	透水係数	建屋水位	サブドレン稼働水位	4m盤対策 (ガラス固化壁, ウレタン)	地下水バイパス	海側遮水壁 (地下水ドレン)	山/海側サブドレン	陸側遮水壁 (4辺)
I ※1	A	a	α	①	—	●	—	—	—	—
II ※2	A	a	α	①	—	●	●	—	—	—
III	A	a	α	①	建屋水位 +1m	●	●	●	●	—
IV	A	a	α	①	—	●	●	●	—	●

※1 汚染水処理対策委員会報告書（H25.12）の「ケース1」に該当
 ※2 // の「ケース2」に該当

○降雨浸透

A: 850mm/年(降雨浸透率: 55%)
B: 降雨浸透率 30%
C: 降雨浸透率 70%
D: 11mm/日

※陸側遮水壁(凍土)内フェーシング率: 80%

○境界条件

a: 陸・海: 静水圧
b: 陸: 不透水、海: 静水圧
c: 陸・海: 不透水

○中粒砂岩の透水性

α : 2分割 3号機建屋南側の泥岩の挟層を伴う 中粒砂岩の透水性を低下させる
β : 均一 中粒砂岩の透水性を均一(3.0E-03/sec)

○建屋内の水位条件

建屋水位	1号機	2~4号機	プロセス	HTI (高温焼却炉)
①	OP4m	OP3m	OP4m	OP3m
②	OP3m	OP2m	OP4m	OP3m
③	ドライアップ			

準3次元解析(GWAP)と解析条件について

準3次元解析 (GWAP) と解析条件について

■ 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

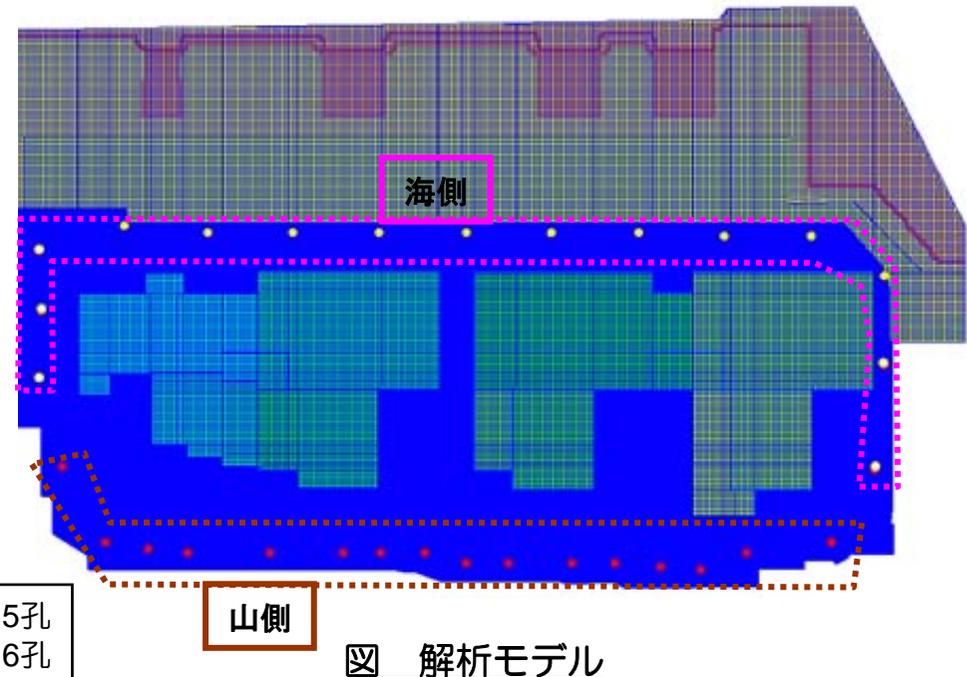
■ 解析条件

- モデル化領域：海側遮水壁と陸側遮水壁山側に
囲まれた領域 (右図参照) [陸側遮水壁内外への
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：2.3mm/日 (基本ケース)
- 深部岩盤からの湧上り：なし (0 m³/日)
(地下水位低下に対して安全側)
- 地下水位 (初期)：サブドレン稼動時
 - ・ 非稼動時
- 建屋水位：一定
経時的に低下
(パラメータとして設定)
- 注水量：0m³/日
110m³/日 (パラメータとして設定)

● 物性値

	透水係数(cm/s)	設定間隙率
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モデル) における建屋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モデル) 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。



- ：注水井 (海側)：15孔
- ：注水井 (山側)：16孔

図 解析モデル

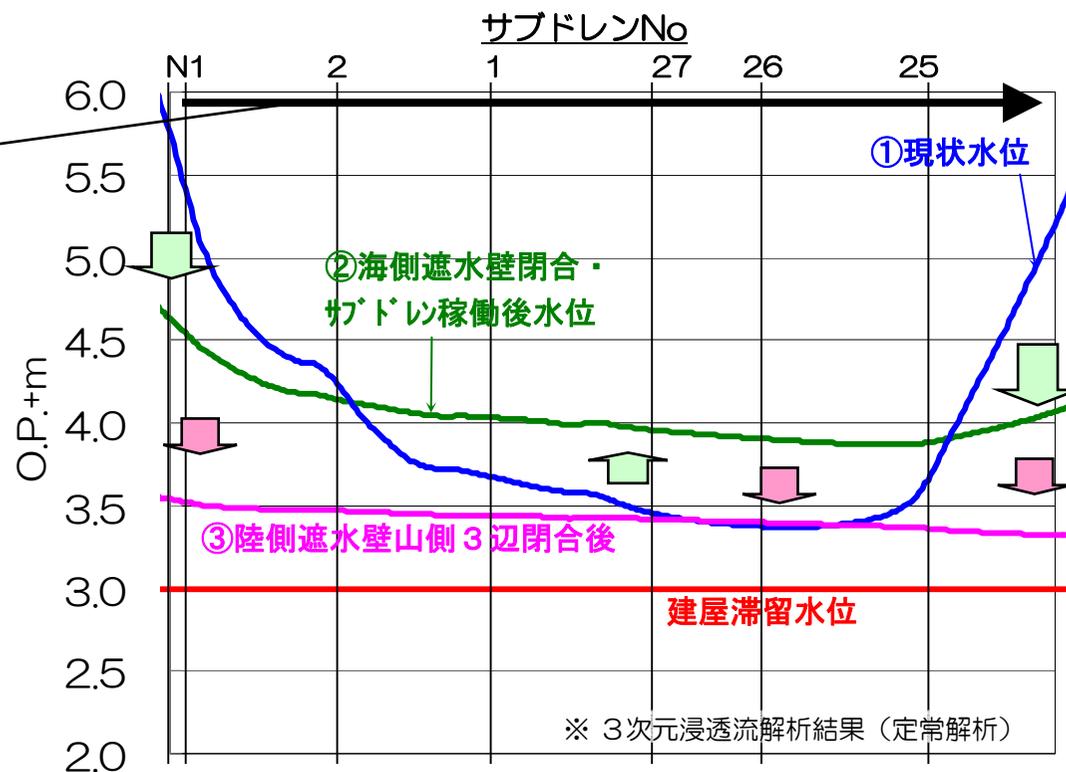
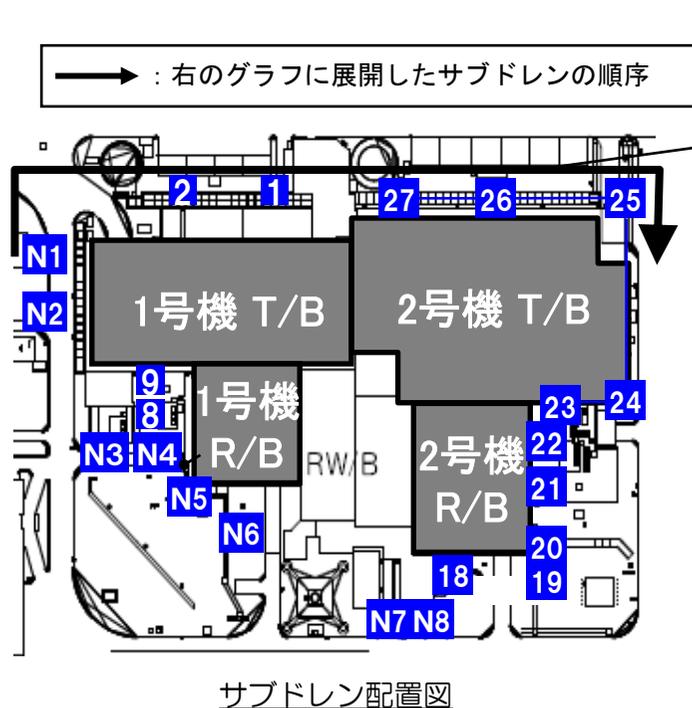
陸側遮水壁の遮水性発現による水位低下について

海側遮水壁閉合および陸側遮水壁山側閉合による建屋海側の地下水位変動について（定常解析結果）

■ 建屋海側の地下水位変動に関する解析検討結果

- 建屋海側の地下水位は、海側遮水壁閉合により50cm程度上昇する。
- その後、陸側遮水壁山側3辺閉合により同程度地下水位が低下し、建屋海側の地下水位はほぼ現状水位と同程度となる。

揚水井	揚水井の設定水位	建屋滞留水の水位	備考
サブドレンピット	建屋滞留水の水位 +1.0m	OP+3.0m	地下水バイパス汲上げ 海側遮水壁閉塞
地下水ドレンポンド	地表面(GL) -1.0m	—	



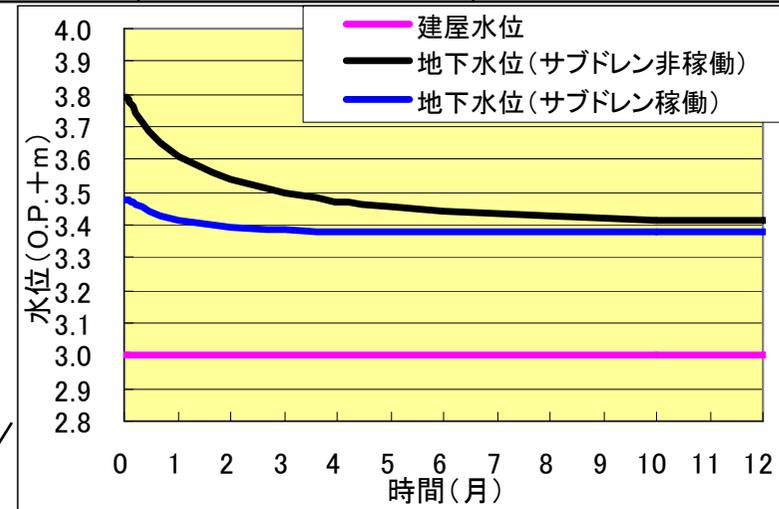
各設備稼働に伴う地下水位の変化（1/2号建屋海側）

※サブドレン稼働後水位は、建屋際約50cm位置での水位を示す。

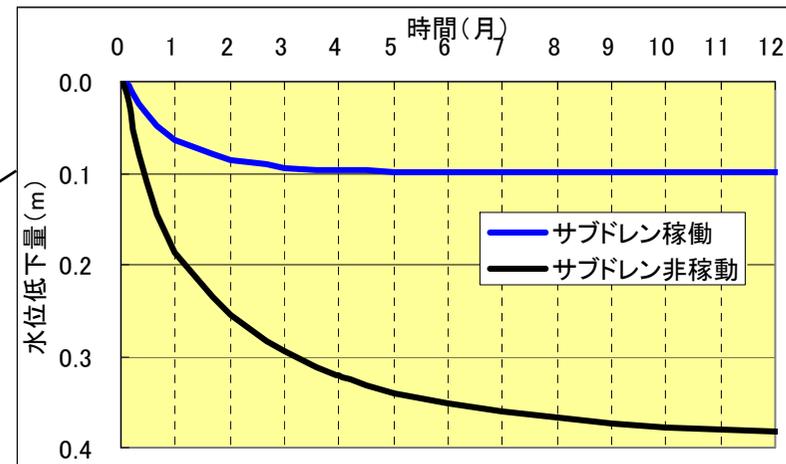
陸側遮水壁山側の遮水性発現に伴う建屋海側の地下水位低下量と低下速度

各設備		解析条件
海側（鋼管）遮水壁		閉合
4m盤	地盤改良	完了
	揚水工 （ウェルポイント）	稼働 （稼働水位： GL-1.0m （O.P.+3.0m）
	地下水ドレン	
	フェーシング	100%
4～10m盤	フェーシング	0%
10m盤 （陸側遮水壁内）	フェーシング	0%
	サブドレン	稼働（稼働水位： 建屋水位+1m） 非稼働
	陸側遮水壁	山側3辺閉合 （海側未閉合）
	注水井からの注水	無

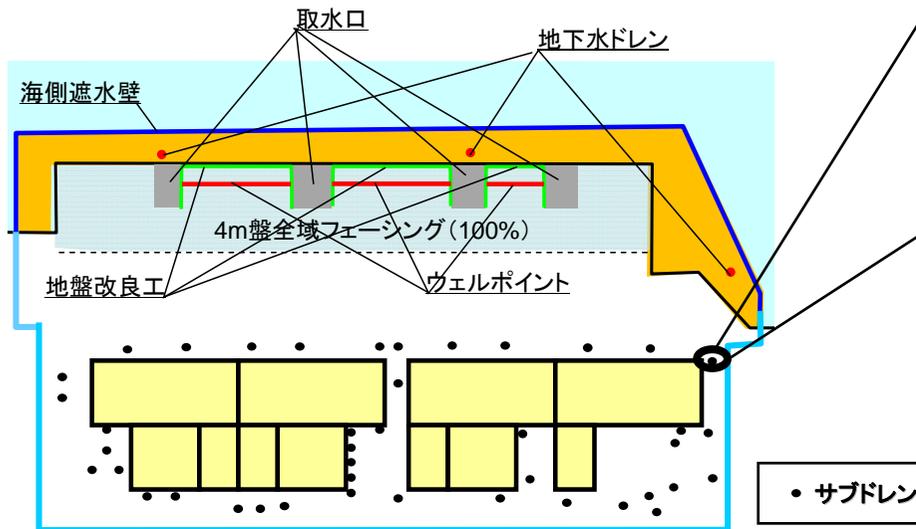
降雨量	約4mm/日 一定 （建屋以外の領域に降雨）	年平均降雨量1,545mm
降雨浸透率	55%	汚染水処理対策委員会報告より



陸側遮水壁の遮水性発現後の地下水位の経時変化



陸側遮水壁の遮水性発現後の地下水位低下量



陸側遮水壁（山側3辺）

極端に降雨が少ない場合の地下水位低下 解析条件

■ 解析の目的

- 極端に降雨が少ない場合の地下水位低下予測
- 上記に対する対応としての注水井からの注水の効果について

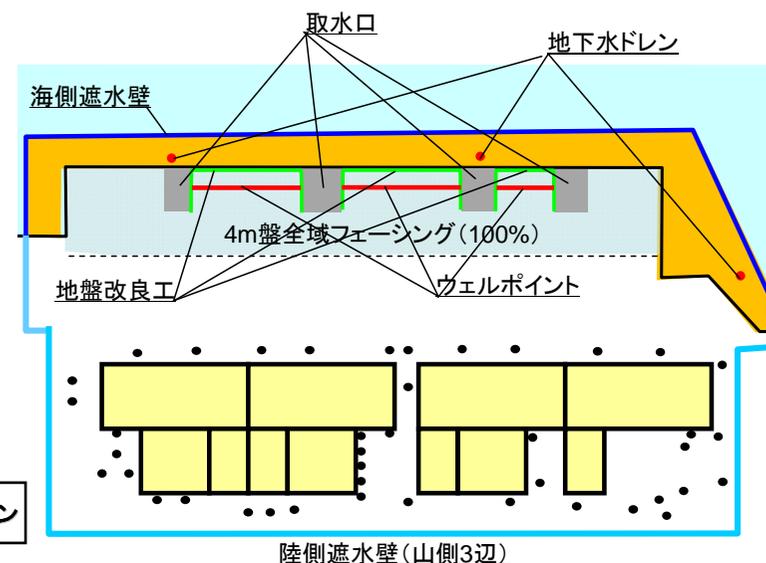
■ 解析モデルおよび手法

- 解析モデル化領域：海側遮水壁と陸側遮水壁山側3辺で囲まれた領域
- 解析手法：準3次元解析（GWAP）による非定常解析

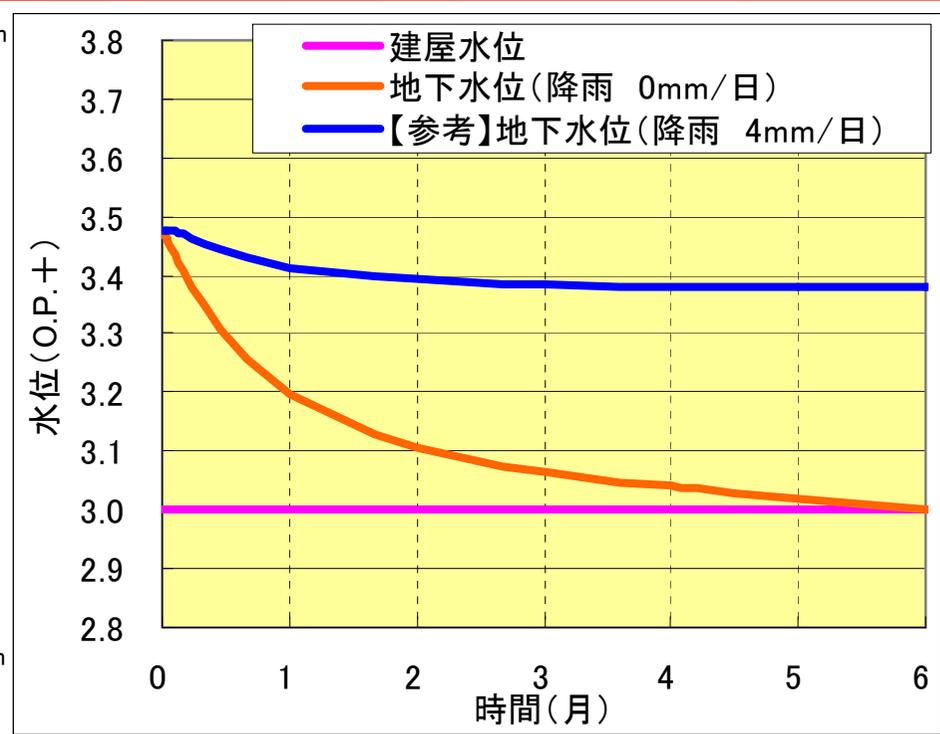
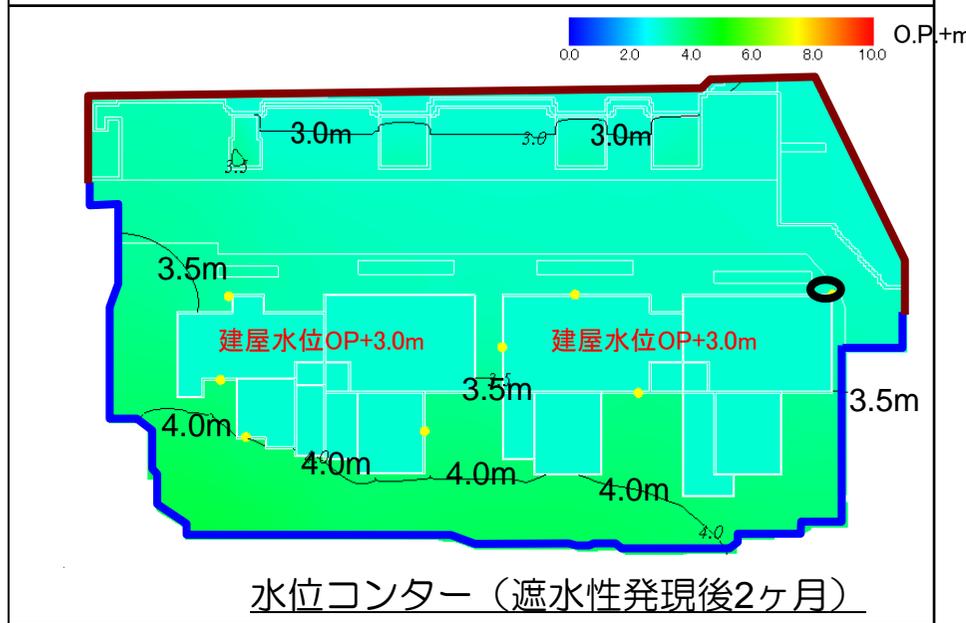
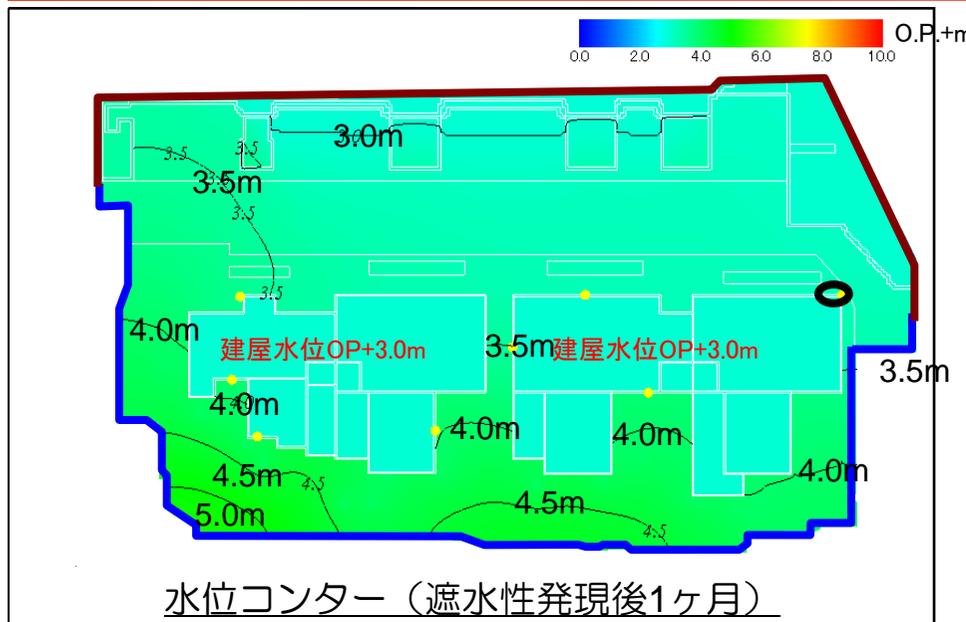
各設備		解析条件
海側（鋼管）遮水壁		閉合
4m盤	地盤改良	完了
	揚水工 （ウェルポイント）	稼動 （稼働水位： GL-1.0m （O.P.+3.0m）
	地下水ドレン	
	フェーシング	100%
4～10m盤	フェーシング	0%
10m盤 （陸側遮水壁内）	フェーシング	0%
	サブドレン	稼動（稼働水位： 建屋水位+1m）
	陸側遮水壁	山側3辺閉合 （海側未閉合）
	注水井からの注水	0m ³ /日 110m ³ /日

降雨量

0mm/日

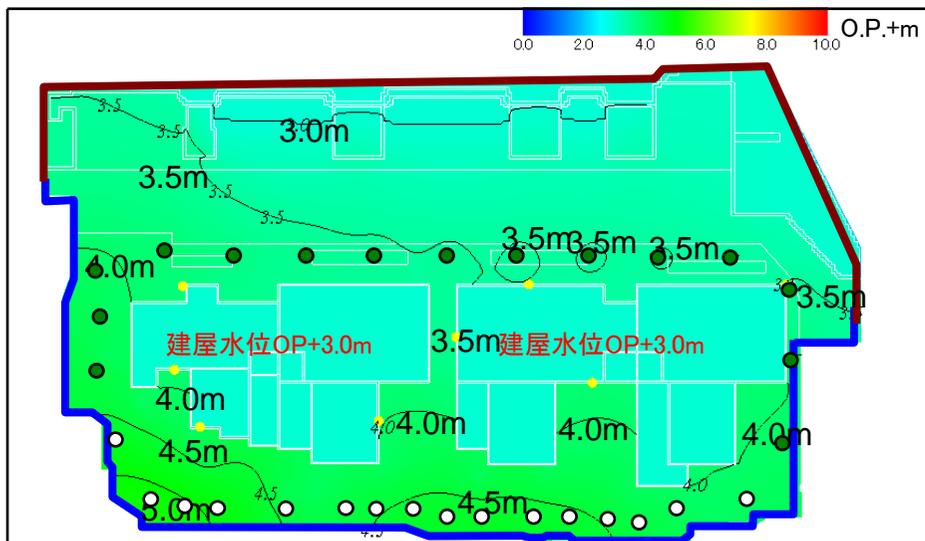


極端に降雨が少ない場合の地下水位低下 解析結果

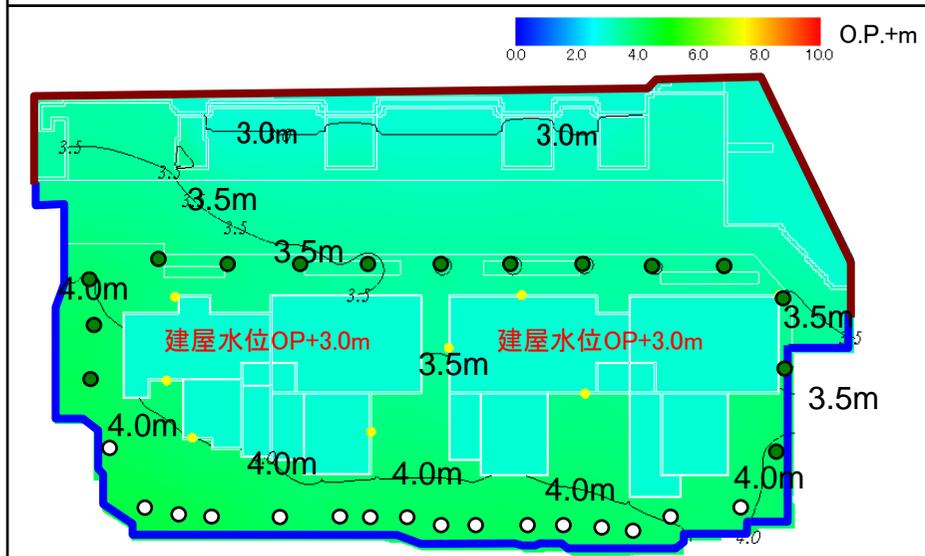


- 降雨が全くない場合、10mm/日（0.3m/月程度）の速度で建屋海側の水位が低下する。
- 建屋滞留水の移送能力は約50mm/日（1.5m/月程度）あり、十分余裕を持っている。

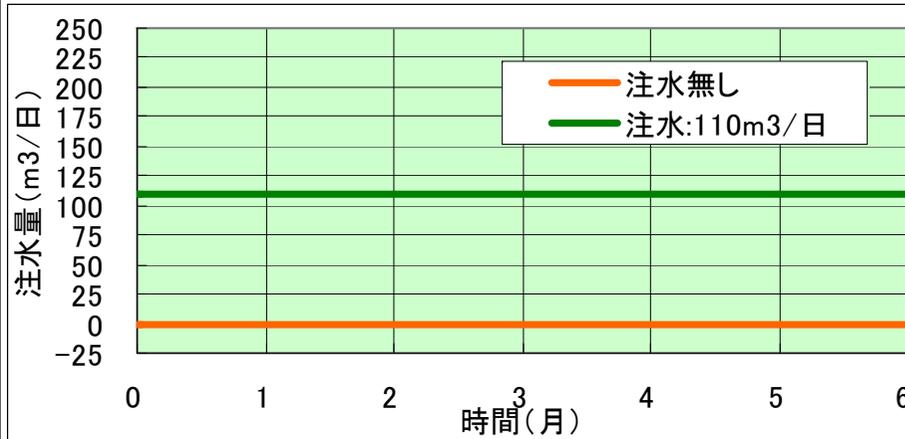
極端に降雨が少ない場合の地下水位低下に対する対応 注水井からの注水



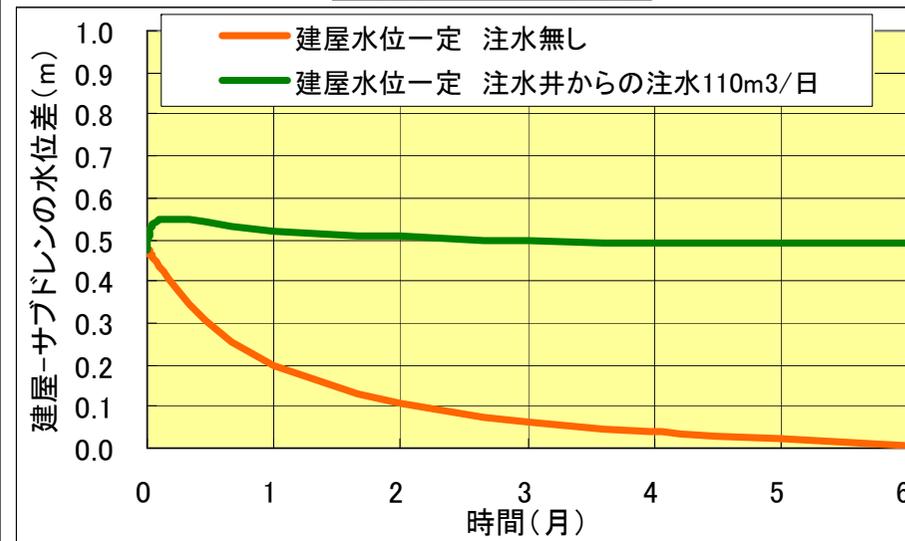
水位コンター（遮水性発現後1ヶ月）



水位コンター（遮水性発現後2ヶ月）



注水井からの注水条件



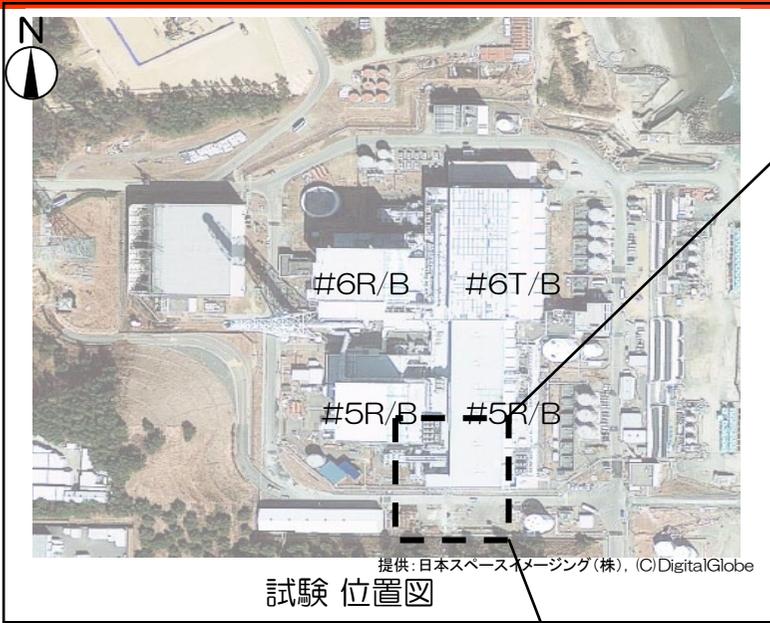
建屋-地下水位 水位差の経時変化

■ 必要に応じた注水井からの注水により、建屋と地下水位の水位差を確保できる。

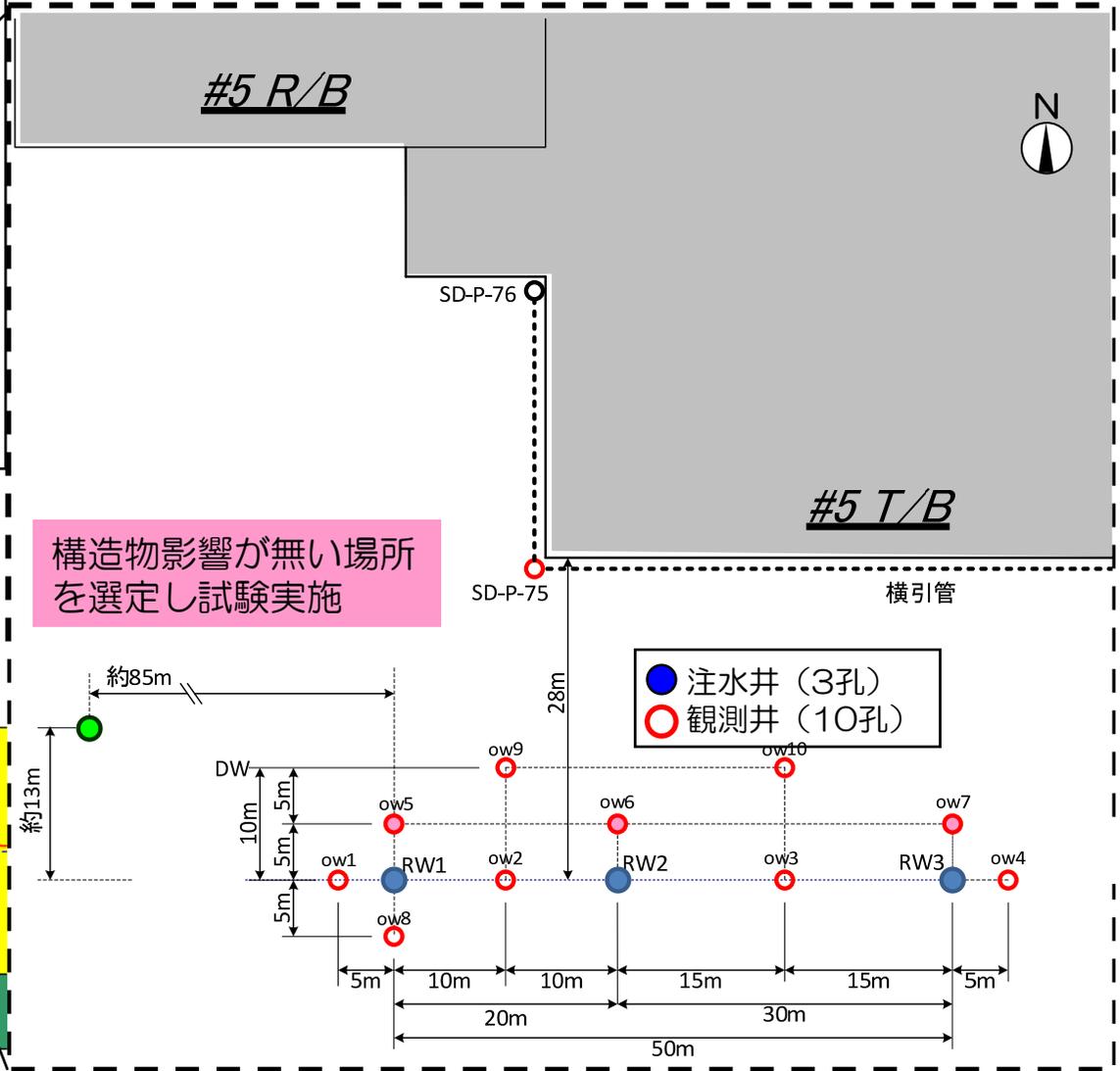
- 注水井（注水中）
- 注水井（停止）

原地盤における注水試験結果と注水設備

原地盤における注水試験（フィージビリティ・スタディ）の概要

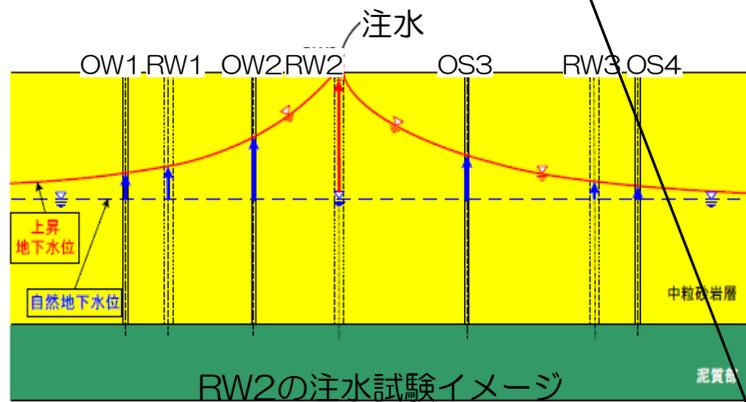


- 5号機建屋南側にて中粒砂岩層*を対象として注水試験等を実施。
※ 1~4号機建屋周辺の注水対象土層と同種の土質条件



■ 目的

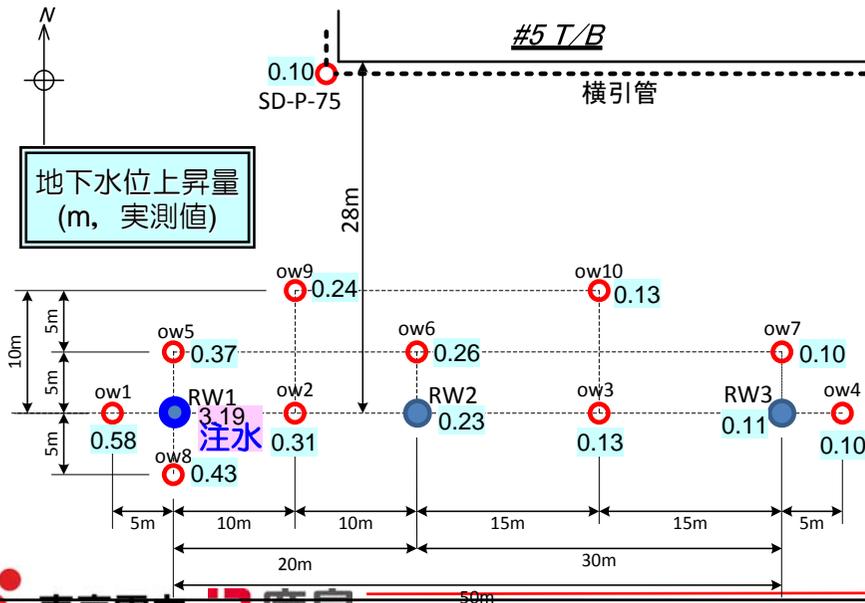
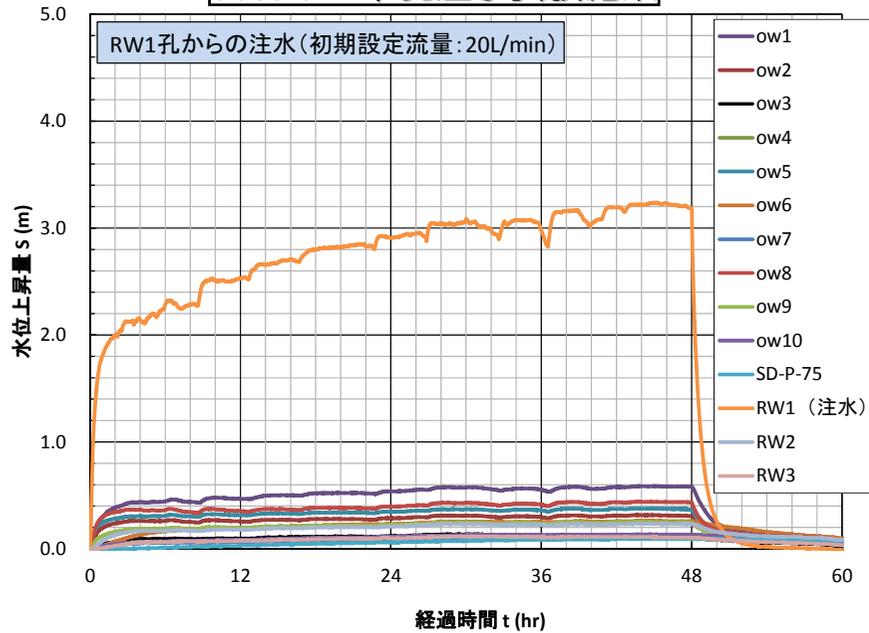
- 注水井の注水性能の把握
- 注水による周辺地盤の地下水位への影響
→注水井配置を設計する地下水解析の検証



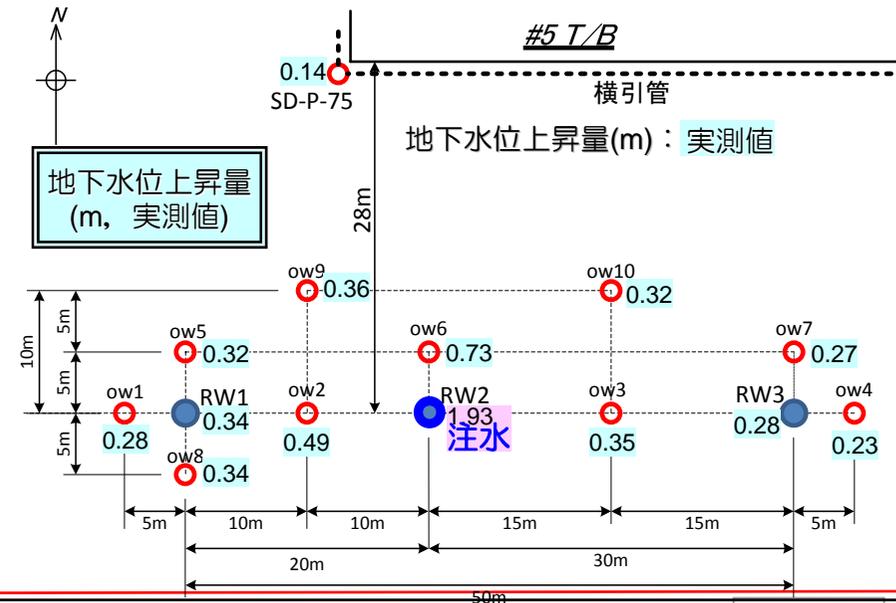
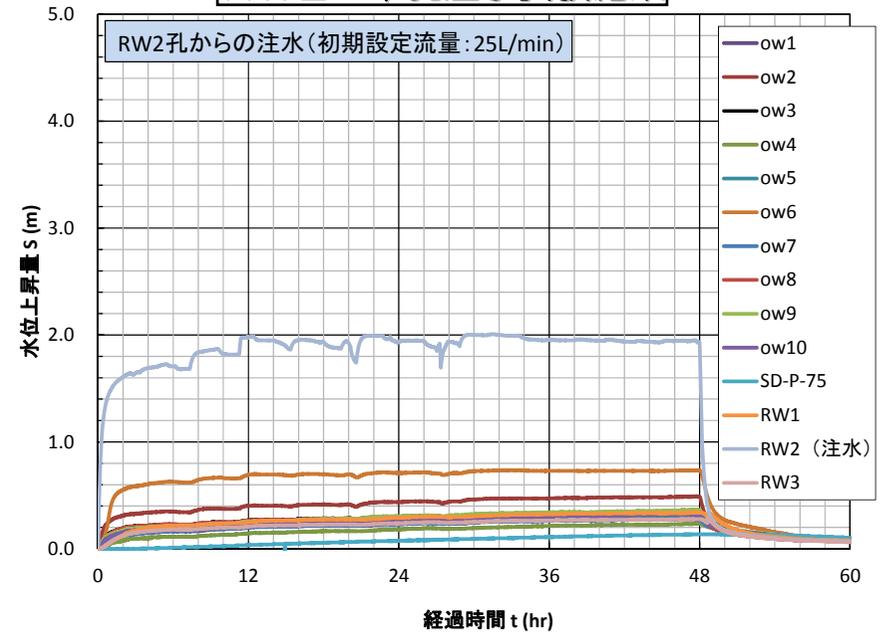
注水井・観測井配置図

原地盤における注水試験結果 (単孔注水RW1・RW2)

RW1 単孔注水試験結果

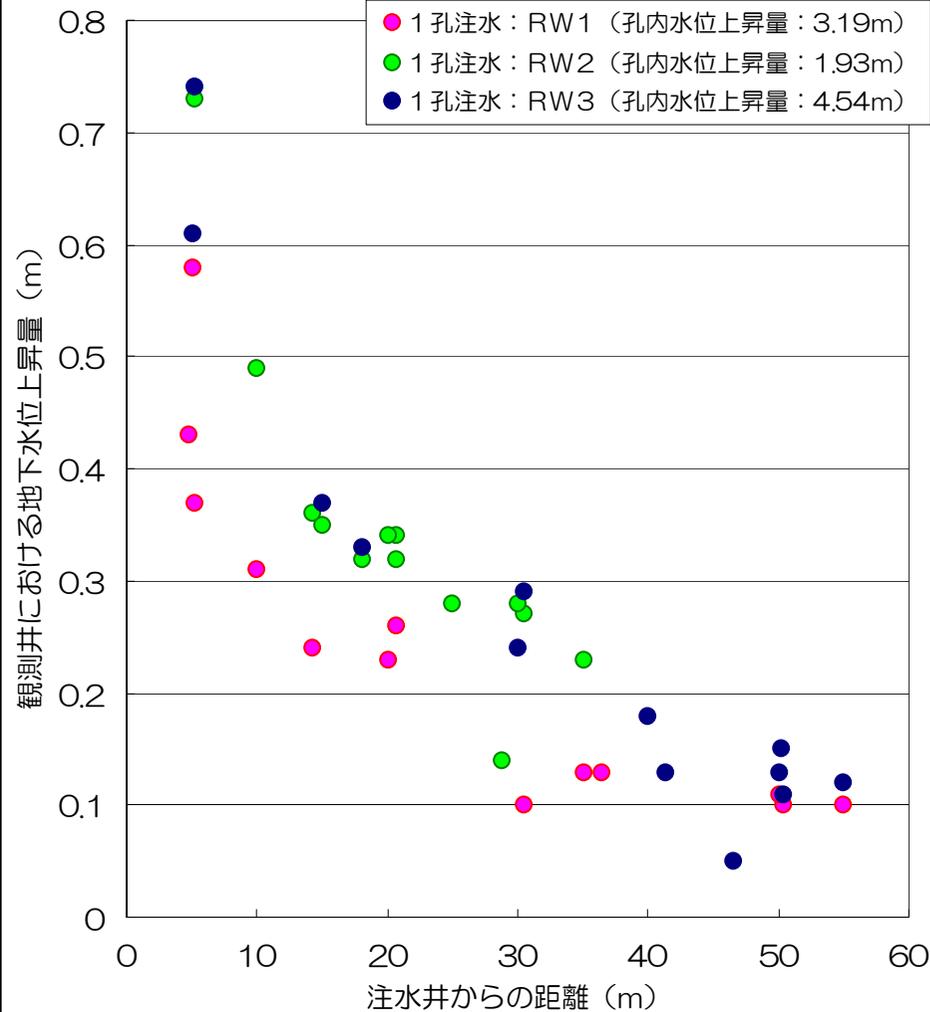
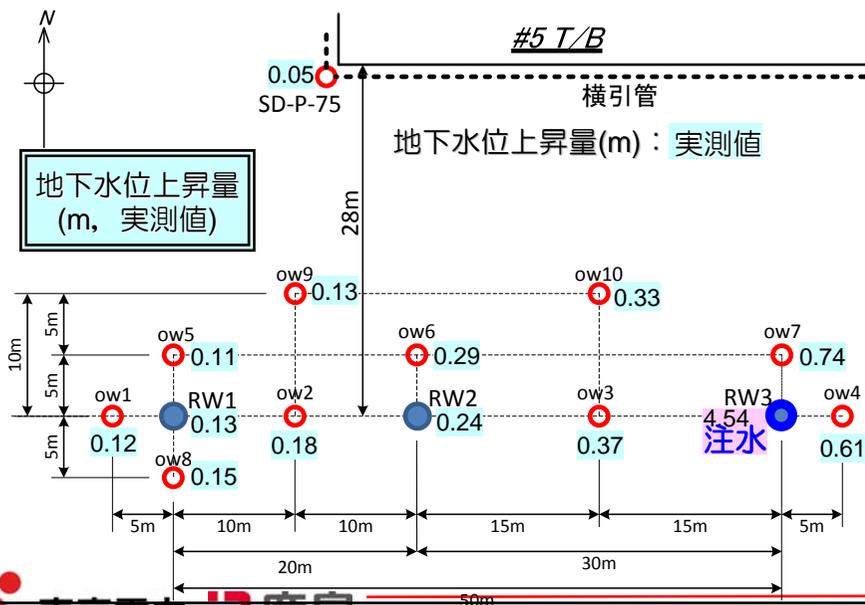
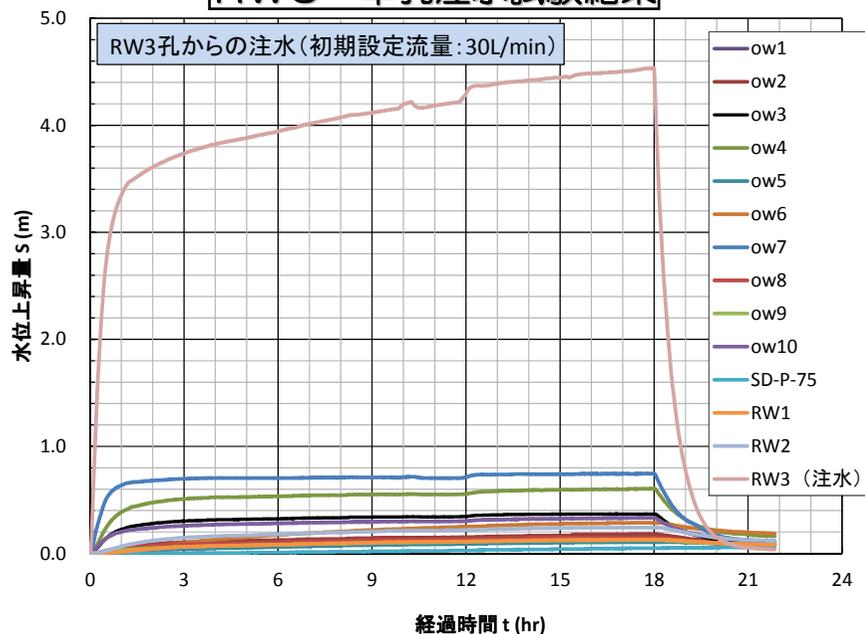


RW2 単孔注水試験結果



原地盤における注水試験結果（単孔注水：RW3，地下水位上昇量（3試験結果集約））

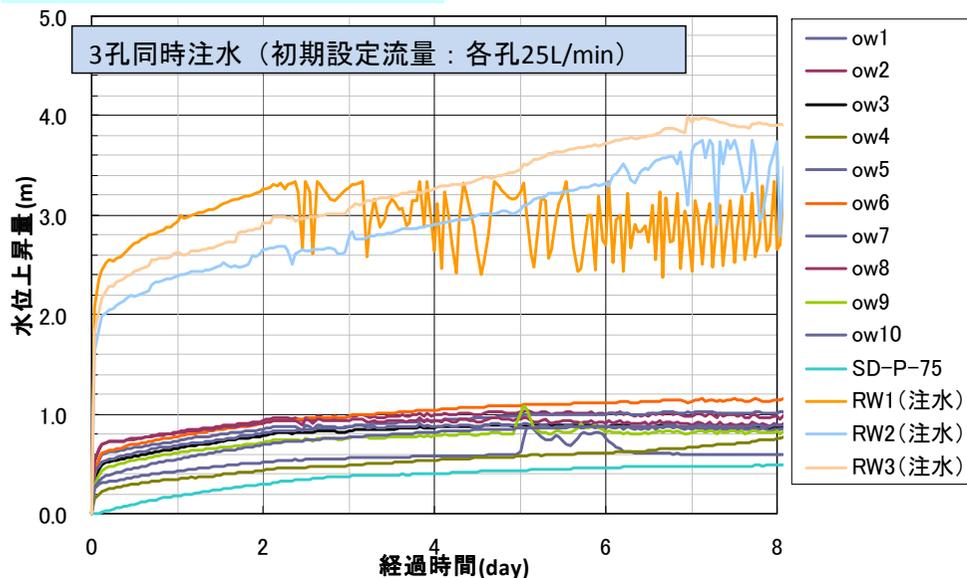
RW3 単孔注水試験結果



注水井からの距離50m程度まで注水の影響が達している

原地盤における注水試験 3孔 (RW1~3) からの注水試験結果 (実測値 および 解析結果)

◆ 地下水位上昇量 (実測)

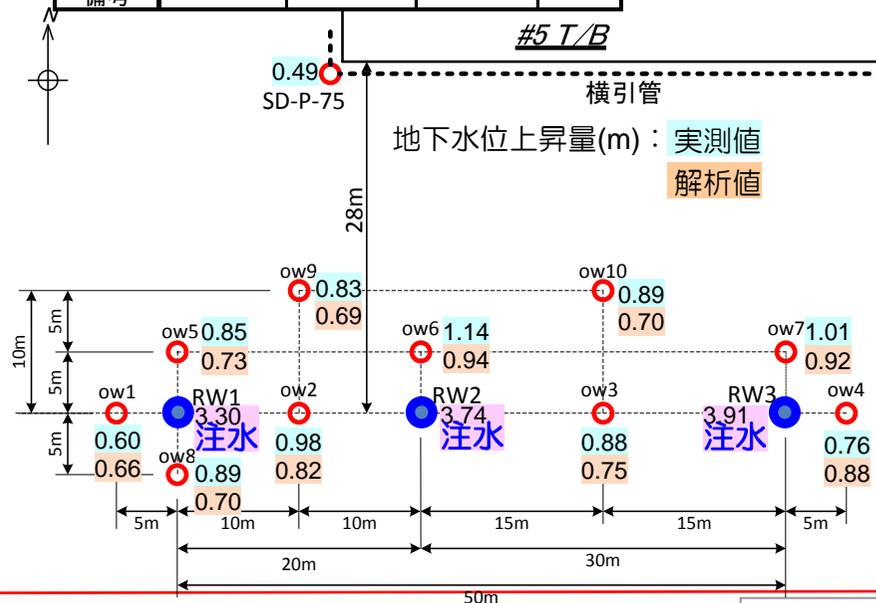
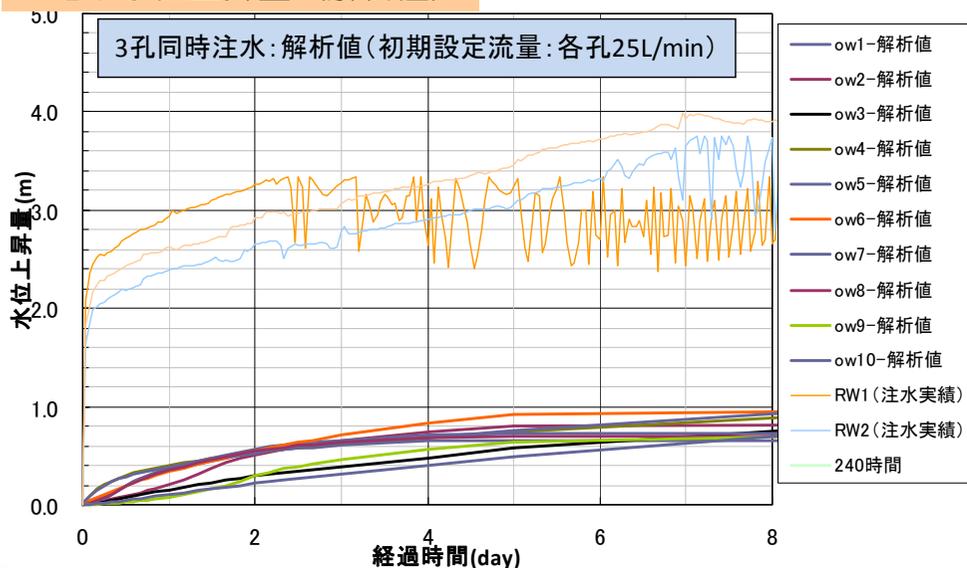


■ ほぼ、解析と同程度以上まで注水により水位が上昇している。

地下水位上昇量と注水井からの距離

	水位上昇量 :実測値(m)	水位上昇量 :解析値(m)	最も近い 注水井との 距離(m)	備考
ow1	0.60	0.66	5.0	
ow2	0.98	0.82	10.0	
ow3	0.88	0.75	15.0	
ow4	0.76	0.88	5.0	
ow5	0.85	0.73	5.2	
ow6	1.14	0.94	5.2	
ow7	1.01	0.92	5.2	
ow8	0.89	0.70	4.8	
ow9	0.83	0.69	14.3	
ow10	0.89	0.70	18.1	
SD-P-75	0.49	—	28.7	
RW1	3.30	—	—	注水井
RW2	3.74	—	—	注水井
RW3	3.91	—	—	注水井
備考				

◆ 地下水位上昇量 (解析値)



注水設備概要（断面図）

注水井内径：450mm
 注水井深さ：10～20m程度
 （中粒砂岩層および埋戻し土に水を供給）

最大送水量：約360m³/日

