

「凍土方式遮水壁による汚染水対策に関する 東京電力(株)への質問事項」へのご回答

平成26年5月2日

東京電力株式会社

鹿島建設株式会社

1. 共通事項(1) (2) 凍土壁による地下水流入量抑制効果—各対策の効果—

(1)凍土方式遮水壁によって建屋への地下水流入量がどの程度抑制されるのか、その予測値を根拠となるデータとともに示すこと。その際、各々の対策の効果について、いくつかの想定をおいた感度分析を行うこと。

- 汚染水対策を幾つか組合せた条件下で地下水シミュレーションが実施されており、凍土方式遮水壁（以下 凍土壁と記載）による地下水流入抑制効果は下表の通り評価されている。

(2)凍土方式遮水壁によらず、建屋周辺にあるサブドレンの稼働のみによっても同様に地下水水位を下げることは可能なのではないか。

- 凍土壁はサブドレン等と比較し、地下水流入抑制効果に加え、地下水汲み上げ量抑制効果も大きいことが確認されている。

ケース	対策工					建屋流入量（トン/日）			地下水汲み上げ量（トン/日）		
	4m盤対策 （ガラス固化壁、ウエルサイト）	地下水バypass	海側遮水壁 （地下水ドレン）	山/海側サブドレン	陸側遮水壁 （凍土壁）	合計	1～4号機 建屋	プロセス主 建屋、高温 焼却炉建屋	ウエルサイト+地 下水ドレン	地下水 バypass	山/海側 サブドレン
1	●					410	320	90	50	—	—
5	●			●		120	80	40	30	—	920
6	●				●	130	30	100	10	—	—
10	●	●	●	●	●	70	0	70	140	500	310

※ 汚染水処理対策委員会報告書（H25.12）より抜粋、一部、加筆

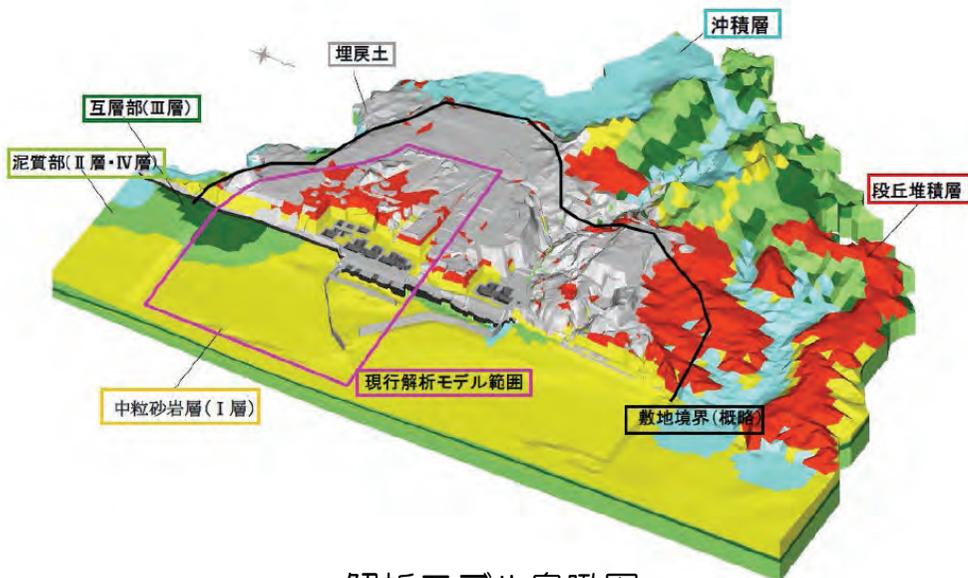
- 高温焼却炉建屋については、建屋止水対策を実施中。

1. 共通事項(1) (2) 凍土壁による地下水流入量抑制効果 —解析モデル・解析ケース・解析条件①—

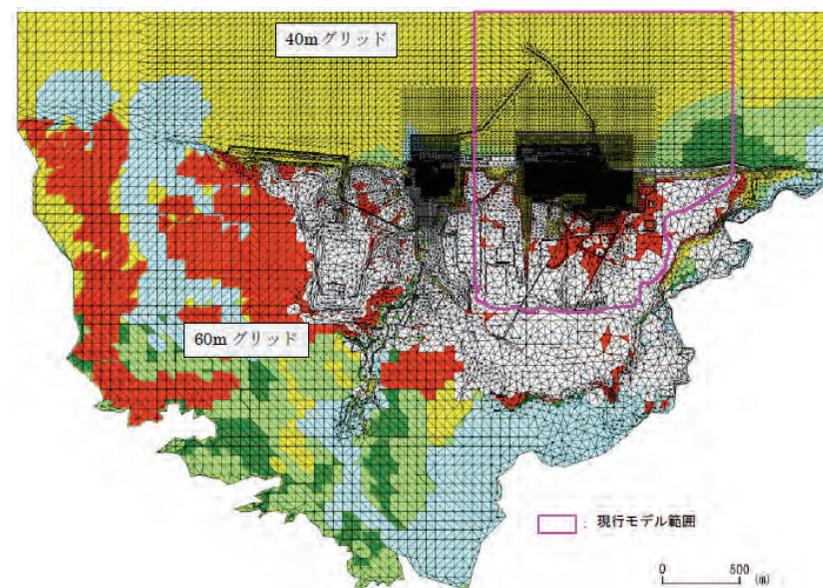
- 解析モデル（汚染水処理対策委員会報告書（H25.12）より抜粋、一部加筆）

三次元定常地下水流動解析（雨水浸透と底部岩盤から上部地層への湧上り考慮）

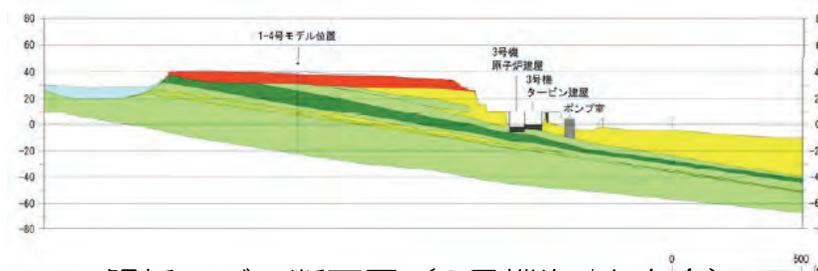
※ 一部、非定常解析含む



解析モデル鳥瞰図



解析モデル平面図



解析モデル断面図（3号機海/山方向）

1. 共通事項(1) (2) 凍土壁による地下水流入量抑制効果 —解析モデル・解析ケース・解析条件②—

■ 解析ケース・解析条件（汚染水処理対策委員会報告書（H25.12）より抜粋、一部加筆）

ケース	解析条件					対策工					備考
	降雨浸透率	境界条件	透水係数	建屋※水位	サブドレン水位	4m盤対策	地下水パイパス	海側遮水壁	山・海側SD	陸側遮水壁	
1	A	a	α	①	—	○					
5	A	a	α	①	建屋水位	○			○		
6	A	a	α	②	—	○				○	
10	A	a	α	③	中粒砂岩下底部	○	○	○	○	○	既往対策全て実施

※ ケース1、5、6は建屋内に滞留水がある条件、ケース10は建屋内に滞留水がない条件でのシミュレーション結果。

○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			

1. 共通事項(1) (2) 凍土壁による地下水流入量抑制効果 —解析モデル・解析ケース・解析条件③—

■ 解析ケース・解析結果一覧 1/2 (汚染水処理対策委員会報告書 (H25.12) より抜粋)

ケース	解析条件				対策工									備考	広域モデル(m ³ /日)									
	降雨浸透率	境界条件	透水係数	建屋水位	4m盤対策	地下水バイパス	海側遮水壁	山側SD	山・海側SD	陸側※遮水壁	フェーシング	敷地境界遮水壁	山側地下水バイパス		建屋流入量		海域への流出量	汲み上げ量						
															合計	1~4号機建屋		地下水バイパス	山側地下水バイパス	地下水ドレン 海側遮水壁+4m盤ウエルP	サブドレン 山・海側SD	汲み上げ量の総量 (建屋流入含む)		
0	0-1	A	a	α	①												400	310	290				1,510	400
	0-2	B	a	α	①												360	280	220				1,050	360
	0-3	B	b	α	①												360	280	220				1,060	360
	0-4	B	c	α	①												360	280	220				1,050	360
	0-5	B	a	β	①												350	280	220				1,150	350
	0-6	C	a	α	①												420	330	330				1,680	420
	0-7	C	b	α	①												420	330	330				1,680	420
	0-8	C	c	α	①												420	330	330				1,680	420
	0-9	C	a	β	①												420	330	330				1,660	420
	0-10	C	a	β	①												490	420	420				1,420	490
	0-11	A	a	α	①												400	310	290				1,510	400
	0-12	D	a	β	①												620	480	650					620
1	—	A	a	α	①	○										410	320	220				50	460	
2	2	A	a	α	①	○	○									390	300	220	460			50	900	
	2-2	A	a	α	①	○	○									290	210	210	790			50	1,130	
	2-3	A	a	α	①	○	○									330	250	200	840			40	1,210	
	2-4	A	a	α	①	○	○									210	140	180	1,210			40	1,460	
3	3	A	a	α	①	○							○			400	320	0				350	750	
	3-2	A	a	α	①	○							△			410	320	220				50	460	
	3-3	A	a	α	①	△							△			430	340	40				0	430	
4	4	A	a	α	①	○							○			140	90	190				40	820	1,000
	4-2	A	a	α	②	○							○			160	110	170				40	870	1,070
	4-3	A	a	α	③	○							○			220	140	150				30	920	1,170
	4-4	A	a	α	③	○							○			100	50	80				0	1,520	1,620
5	5	A	a	α	①	○							○			120	80	180				30	920	1,070
	5-2	A	a	α	②	○							○			130	90	140				10	1,010	1,150
	5-3	A	a	α	③	○							○			160	100	20				0	1,310	1,470
	5-4	A	a	α	③	○							○			50	30	0				0	2,020	2,070
6	—	A	a	α	②	○							○			130	30	100				10	140	

1. 共通事項(1) (2) 凍土壁による地下水流入量抑制効果 ー解析モデル・解析ケース・解析条件④ー

■ 解析ケース・解析結果一覧 2/2 (汚染水処理対策委員会報告書 (H25.12) より抜粋)

ケース	解析条件					対策工									備考	広域モデル(m3/日)						
	降雨浸透率	境界条件	透水係数	建屋水位	4m盤対策	地下水バイパス	海側遮水壁	山側SD	山・海側SD	陸側※遮水壁	フェーシング	敷地境界遮水壁	山側地下水バイパス	建屋流入量		海側への流出量	汲み上げ量					
														合計			1~4号機建屋	地下水バイパス	山側地下水バイパス	地下水ドレン 海側遮水壁+4m盤ウエルP	サブドレン 山・海側SD	汲み上げ量の総量 (建屋流入含む)
7	7	A	a	α	①	○					○			1-6号全体	130	110	90			0		130
	7-2	A	a	α	①	○					○			1-4号全体	160	130	100			0		160
	非定常	A	a	α	①	○					○			フェーシング(ケース7) 非定常								
8	8	A	a	α	①	○					○			南側領域(35m盤、10m盤)	300	240	170			30		330
	8-2	A	a	α	①	○					○	○		フェーシング(ケース8)+遮水壁-全周	170	130	140			20		190
	8-3	A	a	α	①	○					○			10m盤	350	280	180			30		380
	8-4	A	a	α	①	○					○			南側領域-1(35m盤)	390	310	220			50		450
	8-5	A	a	α	①	○					○			35m盤+10m盤+北側領域	340	270	170			30		360
	8-6	A	a	α	①	○					○			35m盤+北側領域	400	310	220			50		450
	8-7	A	a	α	①	○					○	○		フェーシング(ケース8) 遮水壁-西・北	200	150	150			20		220
	8-8	A	a	α	①	○					○	○		フェーシング(ケース8) 遮水壁-西	300	240	170			30		330
	非定常	A	a	α	①	○					○			フェーシング(ケース8-4) 非定常								
	非定常	A	a	α	①	○	○				○			フェーシング(ケース8-4) 非定常								
9	9	A	a	α	①	○						○		敷地境界付近	420	330	220			50		470
	9-2	A	a	α	①	○						○		敷地境界内側	420	330	220			50		470
	9-3	A	a	α	①	○						○		35m盤南側+10m盤	410	320	220			50		460
	9-4	A	a	α	①	○							○	西側にトレンチ設置	410	320	220		540	50		1,000
10	-	A	a	α	③	○	○	○		○	○			既往対策全て実施	70	0	0	500		140	310	1,020
11	-	A	a	α	②	○					○			ケース10から汲み上げ停止	130	30	0			140		270
12	12	A	a	α	②	○	○	○			○			ケース10からSDのみ停止	130	30	0	500		140		770
	12-2	A	a	α	②	○	○	○	プロセスHTI建屋		○			プロセス建屋・HTI建屋のみSD稼働	80	30	0	500		140	210	930
13	13	A	a	α	②	○	○	○			○			新設SD:互層部	60	20	0	330		150	1230	1,770
	13-2	A	a	α	②	○	○	○			○				110	70	0	360		230	830	1,530
	13-3	A	a	α	②	○	○	○			○				120	80	0	360		270	770	1,520
	13-4	A	a	α	②	○	○	○			○			新設SD:互層部	60	30	0	330		170	1210	1,770
	13-5	A	a	α	①	○	○	○						SD無し	380	290	0	460		350		1,190
14	14	A	a	α	③	○	○	○			○	○	○	追加含めて全ての対策工実施 (フェーシングケース8)	30	0	0	130		90	140	400
	14-2	A	a	α	③	○	○	○			○	○	○	フェーシング(ケース7-2)	30	0	0	140		20	130	320
	14-3	A	a	α	③	○	○	○			○	○	○	フェーシング(ケース8)	60	0	0	300		80	200	640
15	-	A	a	α	③	○	○	○			○	○	○	ケース14から汲み上げ停止	110	30	0			90		200
16	-	A	a	α	③	○	○	○			○	○	○	ケース14からSDを停止	100	30	0	150		90		340
17	-	A	a	α	③	○	○	○			○	○	○	ケース14から凍土壁延想定	60	40	0	10		40	440	550
	17-2	A	a	α	③	○	○	○			○			フェーシング(ケース7-2)	60	40	0	20		20	490	590

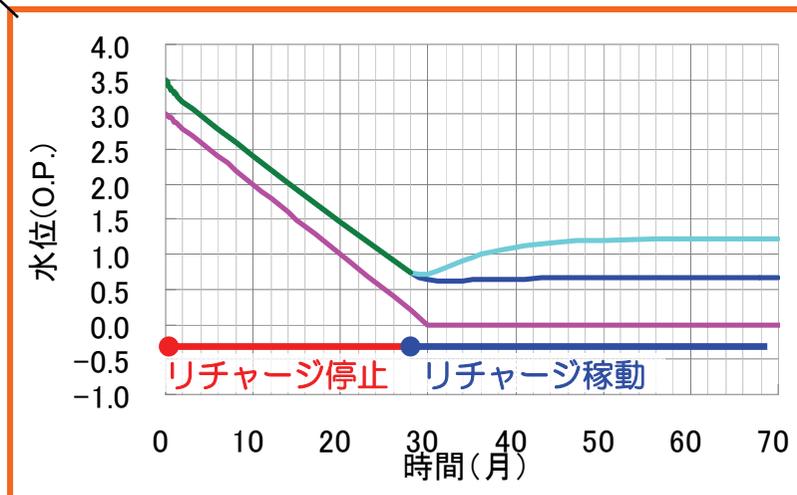
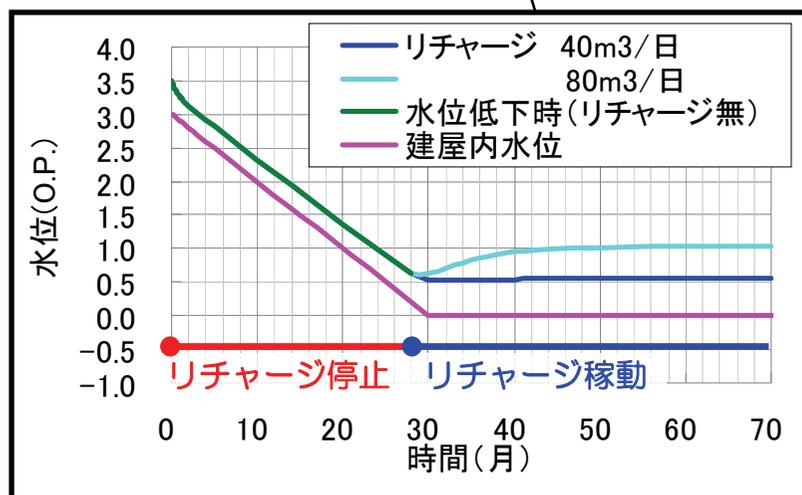
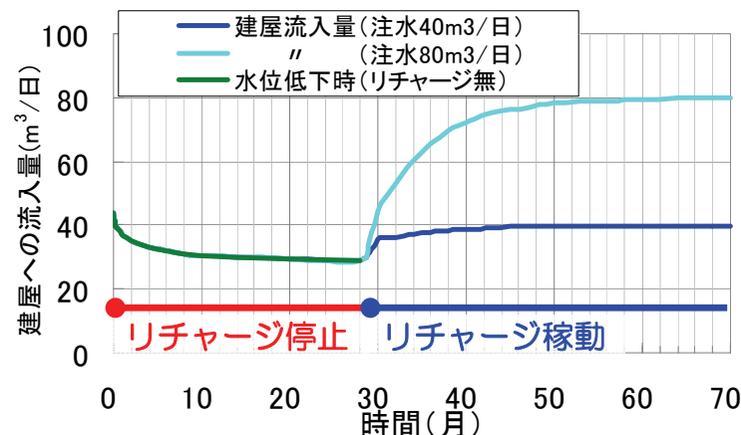
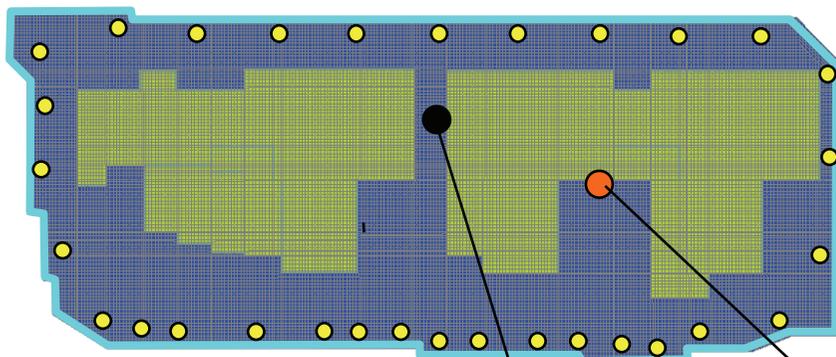
1 共通事項(1) (2) リチャージによる流入分想定①

(1)凍土方式遮水壁によって建屋への地下水流入量がどの程度抑制されるのか、その予測値を根拠となるデータとともに示すこと。その際、各々の対策の効果について、いくつかの想定をおいた感度分析を行うこと。（リチャージによる流入分（増加分）も考慮すること）

- ① 凍土壁内の地盤中に水供給（降雨＋深部難透水層からの湧き上がり＋リチャージ注水）が、 $40\text{m}^3/\text{日}$ 、あるいは $80\text{m}^3/\text{日}$ 程度あれば、 $0.5\sim 1\text{m}$ 程度、あるいは $1\sim 1.5\text{m}$ 程度の水位差を確保出来ると考えられる。その場合、 $40\text{m}^3/\text{日}$ 、あるいは $80\text{m}^3/\text{日}$ 程度が建屋へ流入する。（P7、8リチャージによる流入分想定）
- ② 凍土壁内地表面の80%程度が止水処理（フェーシング）され、リチャージ注水を稼働せず、年間降雨量が平均的に浸透（ $0.5\text{mm}/\text{日}$ ）したと仮定した場合には、約 $30\text{m}^3/\text{日}$ の地下水流入となる。（P1 ケース6「汚染水処理対策委員会報告」の解析結果）
- ③ 従って、リチャージによる建屋流入量増分は、 $0.5\sim 1.5\text{m}$ 程度の水位差を維持すると仮定すると、 $10\sim 50\text{m}^3/\text{日}$ 程度と想定される。

1 共通事項(1) (2) <参考> (1) リチャージによる流入分想定①

ケース	建屋滞留水水位	建屋周辺水位	サブドレ	注水井(孔)	注水量(L/分/本)	注水量(m ³ /日)	降雨浸透(mm/日)
1	O.P. +3 m⇒0 m	O.P. +3.5 m	非稼働	31	0.9	40	0
2	(0⇒30ヶ月)				1.8	80	

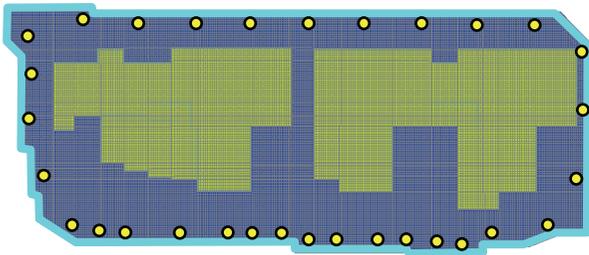


40m³/日程度の注水により0.5~1m程度の水位差を確保

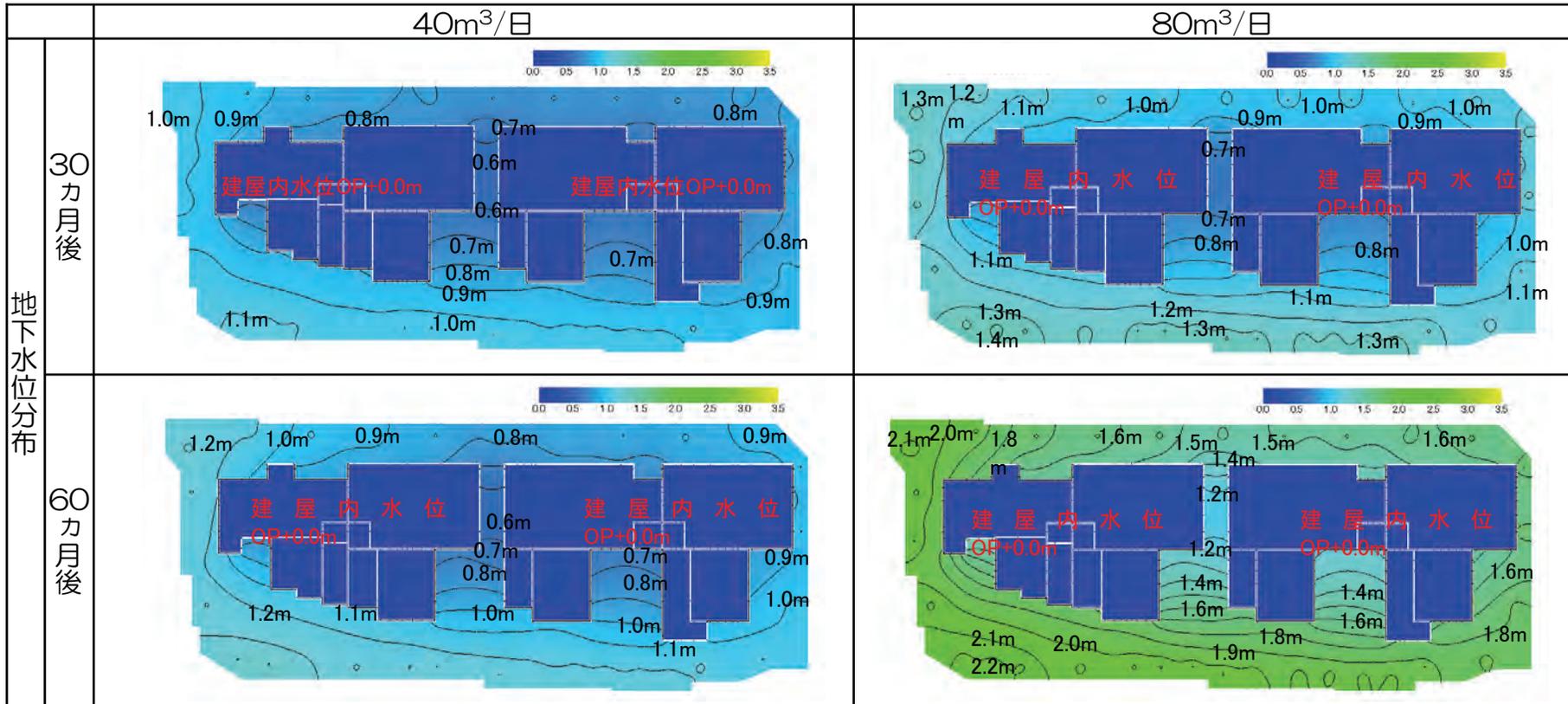


1 共通事項(1) (2) <参考> (1) リチャージによる流入分想定②

特定原子力施設 監視・評価検討会
(第20回) 資料 再掲



ケース	建屋滞留水水位	建屋周辺水位	サブドレン	注水量 (L/分/本)	注水量 (m ³ /日)	降雨浸透 mm/日
1	O.P. +3 m ⇒0 m	O.P. +3.5 m	非稼働	0.9	40	0
2	(0⇒30ヶ月)			1.8	80	



建屋水位に対して、高い状態に水位維持が出来ている

1 共通事項(1) (2) <参考> (2) 雨水浸透による水位維持の想定

特定原子力施設 監視・評価検討会
(第19回) 資料 再掲

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		(mm/日)	(m3/日)
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	0
5-2								0%	55%	80%	0.5	27
5-3								0%	55%	40%	1.4	82
5-4								0%	55%	0%	2.3	137

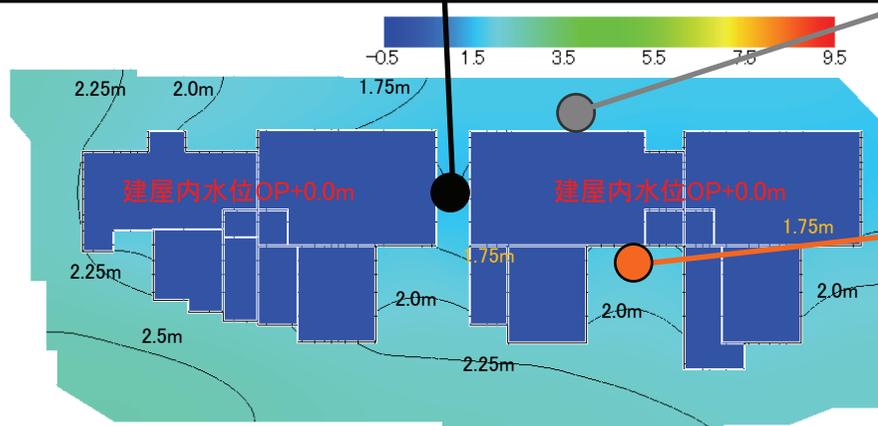
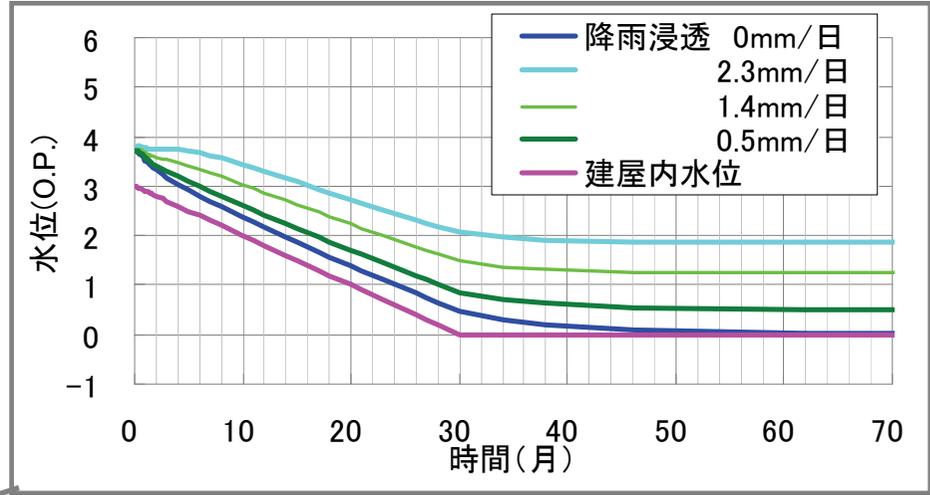
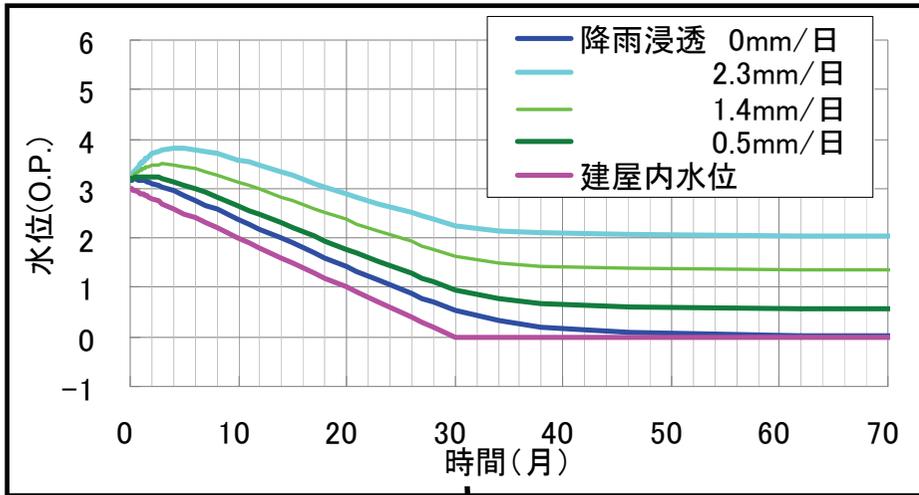
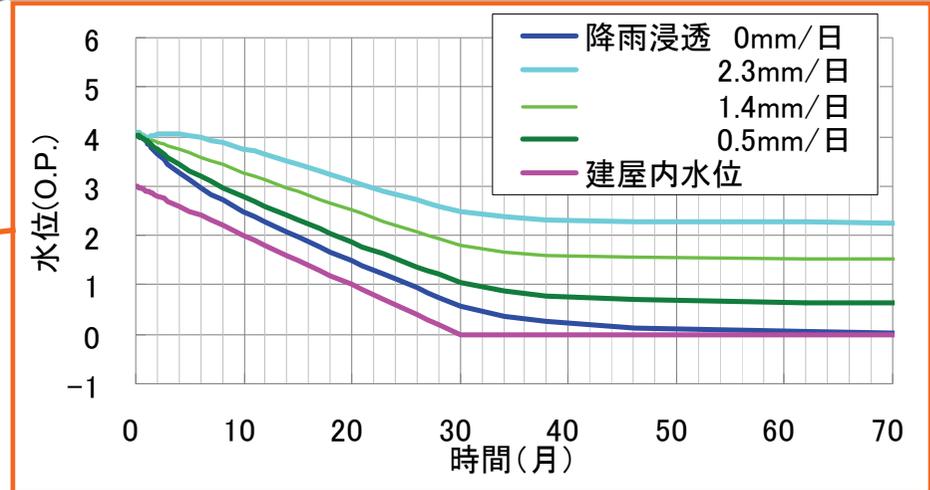


図 水位コンター (降雨浸透1.4mm/日 30ヶ月)



■年平均降水量1,545mm/年のうち約11% (降雨浸透率55%, フェーシング率80%)、0.5mm/日) の雨水浸透を仮定すると、約0.5m程度、建屋水位に対し地下水位が高いレベルで維持される。

1. 共通事項 (3) 建屋支持基盤への影響について

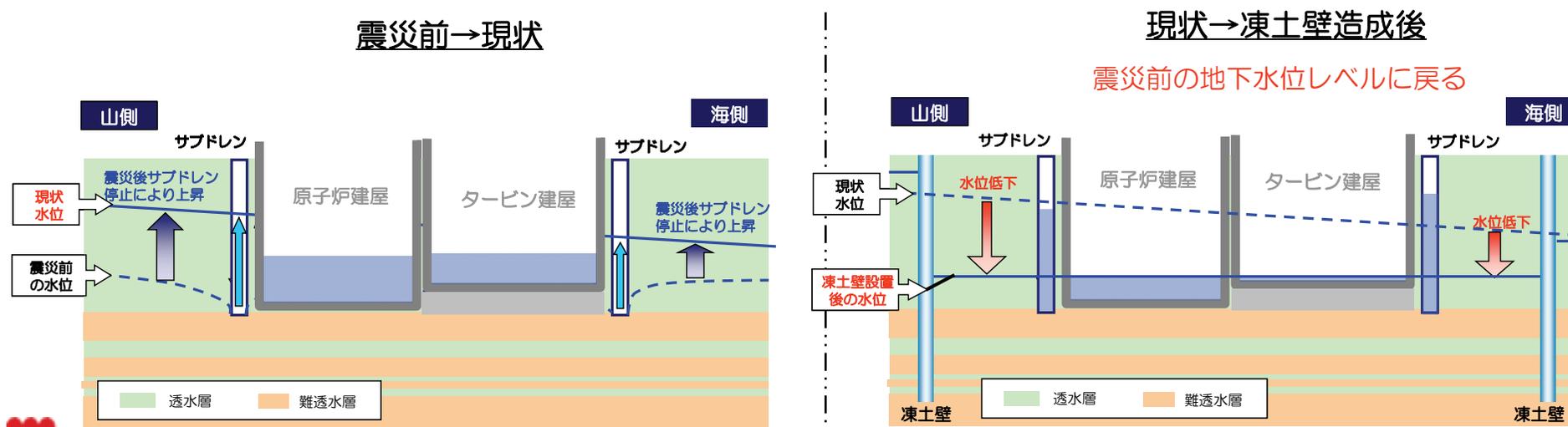
(3) 地盤沈下（不等沈下を含む。）が起きる可能性など、建屋の支持基盤等への影響をどのように評価したか、根拠となるデータとともに示すこと。

<回答>

- ・原子炉建屋、タービン建屋などの建屋は、新第三紀※1の堅固な支持地盤に直接設置されており、支持力は建屋の荷重に対し十分な安全性を有している。（参照P12）
- ・また、支持地盤は、これまで建屋基礎に加わる荷重で十分に圧密されていることや、建屋周辺の地下水位は震災前もサブドレンで建屋底部付近まで低下させていたことから、新たな圧密沈下は発生しない。
- ・なお、建屋周辺の地質構造は水平成層で、地層が一様に分布していることから、「地盤物性の場所的変化の程度は小さく、また、建屋は多くの構造壁を有する鉄筋コンクリートの一体構造で、地盤と比較して十分に剛である※2」ことから、不等沈下は発生しないものと考えられる。

※1；地質時代の区分で約2,500万年前から200万年前までを指す

※2；「福島第一原子力発電所 原子炉設置許可申請」より引用



1. 共通事項 (3) <参考> 建屋支持基盤への影響について (1/8)

<敷地内地質層序表>

地質時代		地層名		層相
第四紀			沖積層	暗緑灰岩～褐色の粘土及び砂 未固結
			段丘堆積層	黄褐色の砂礫及び砂 半固結
新第三紀	鮮新世	富岡層	T3部層	砂質泥岩～泥岩 軽石粒、凝灰岩類を狭在 上部に砂岩を狭在
			T2部層	泥質砂岩 軽石粒、凝灰岩類を狭在
			T1部層	砂質泥岩 軽石粒、凝灰岩類を多く狭在
	中新世	先富岡層	泥質砂岩～泥岩 軽石粒、スコリア粒、凝灰岩類等を狭在	
古第三紀	漸新世			

----- 不整合

※ 「『福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書』より抜粋

1. 共通事項 (3) <参考> 建屋支持基盤への影響について (2/8)

■ 基礎地盤の支持力に対する安全性

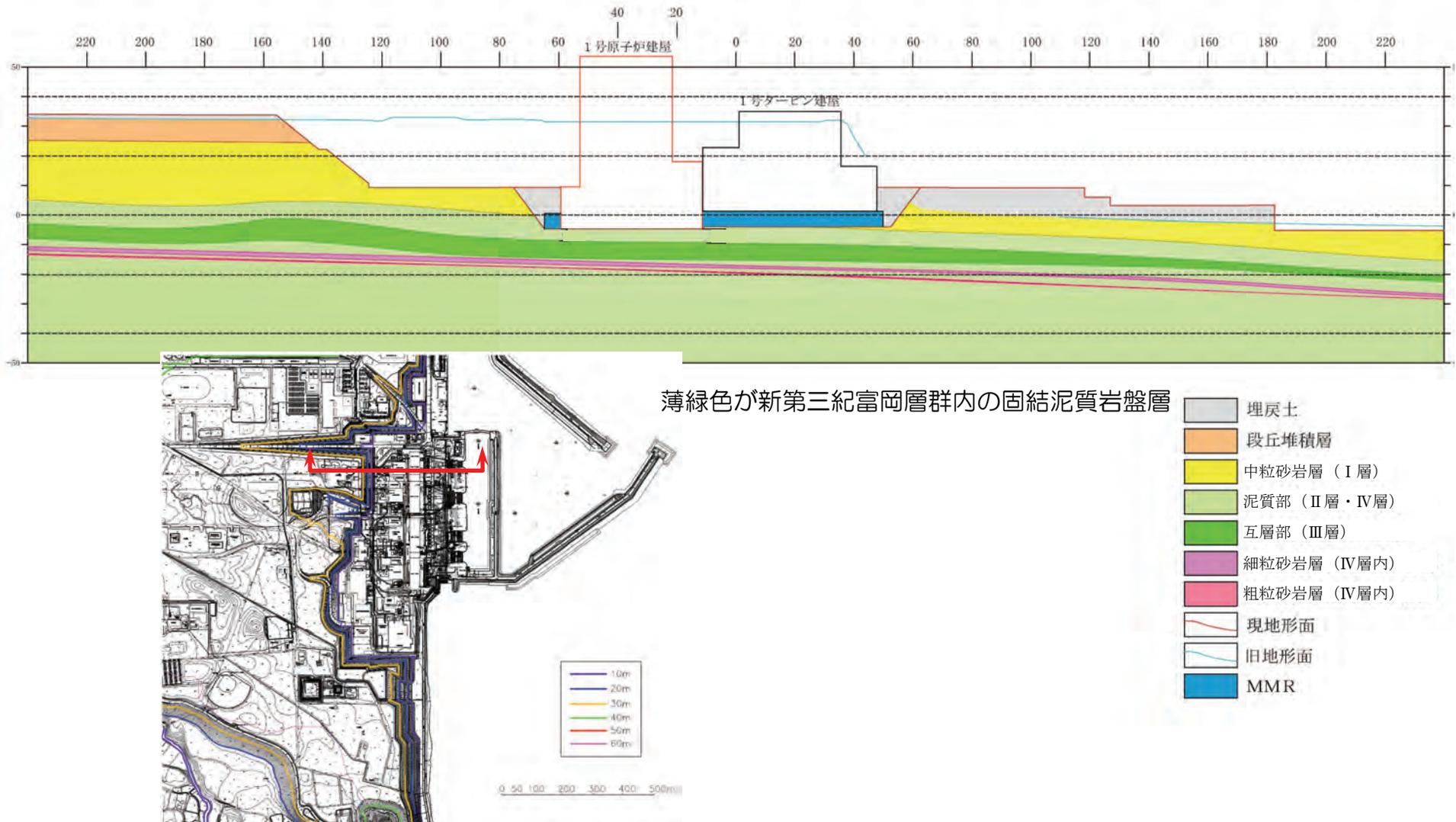
- ・ 建屋基礎地盤の支持力は、建屋に対し十分な安全性を有している。

	(a) 接地圧 (基礎にかかる荷重)	(b) 基礎地盤 の支持力	安全率 (b) ÷ (a)
常時 (クリープによる強度低下含む)	2.9kg/cm ²	75.7kg/cm ²	26.1
地震時	4.4kg/cm ²	100.7kg/cm ²	22.9

※「福島第一原子力発電所 原子炉設置変更許可申請書」より抜粋

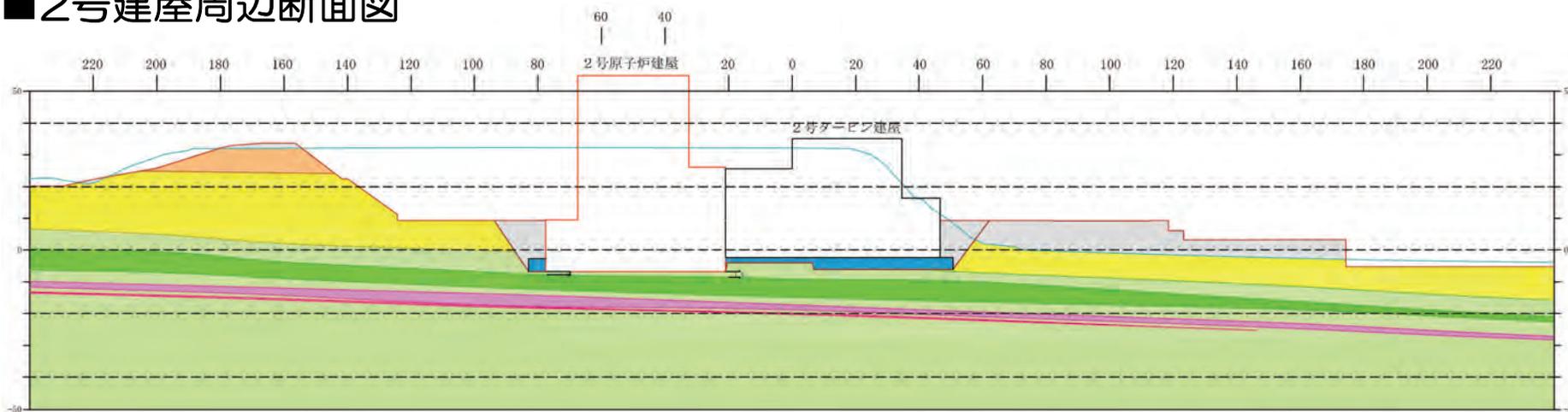
1. 共通事項 (3) <参考> 建屋支持基盤への影響について (3/8)

■ 1号建屋周辺断面図

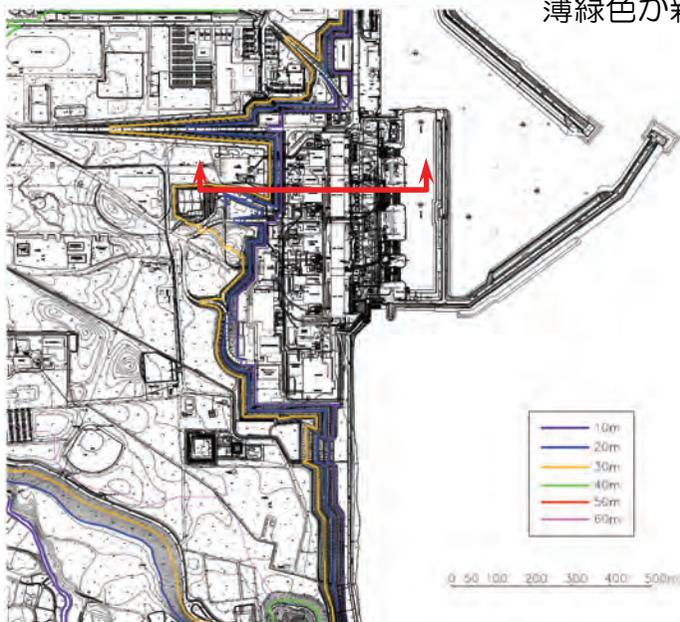


1. 共通事項 (3) <参考> 建屋支持基盤への影響について (4/8)

■ 2号建屋周辺断面図



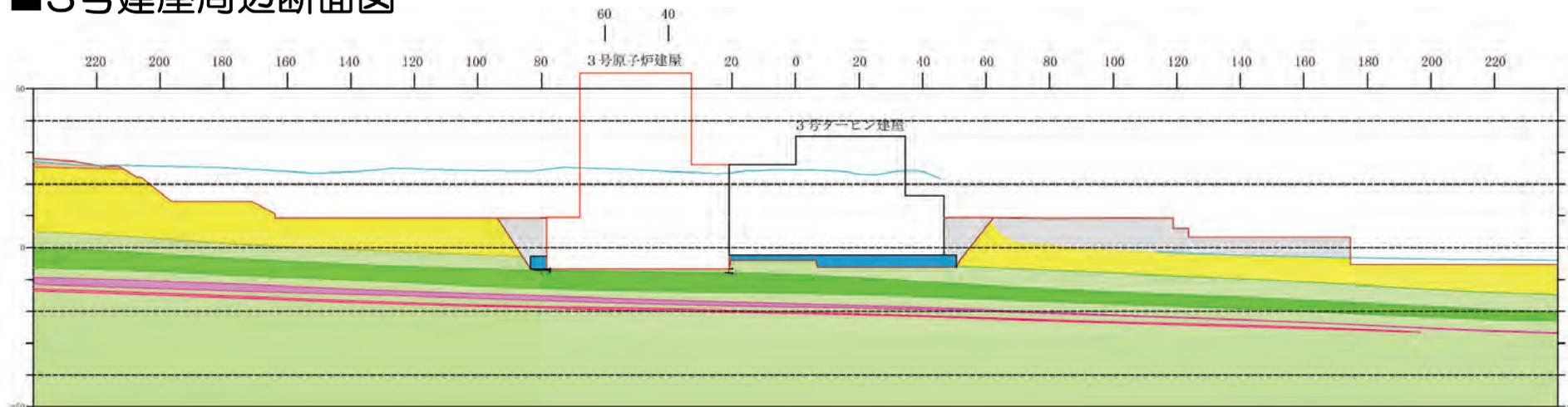
薄緑色が新第三紀富岡層群内の固結泥質岩盤層



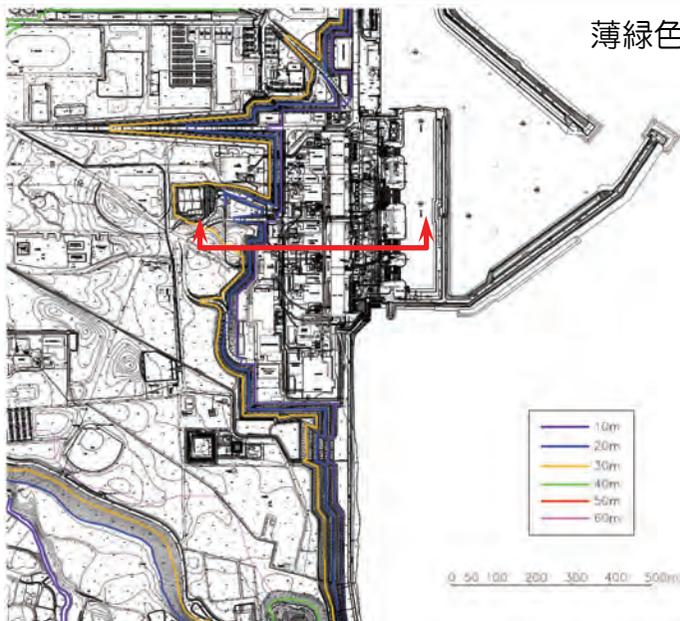
- 埋戻土
- 段丘堆積層
- 中粒砂岩層 (I層)
- 泥質部 (II層・IV層)
- 互層部 (III層)
- 細粒砂岩層 (IV層内)
- 粗粒砂岩層 (IV層内)
- 現地形面
- 旧地形面
- MMR

1. 共通事項 (3) <参考> 建屋支持基盤への影響について (5/8)

■ 3号建屋周辺断面図



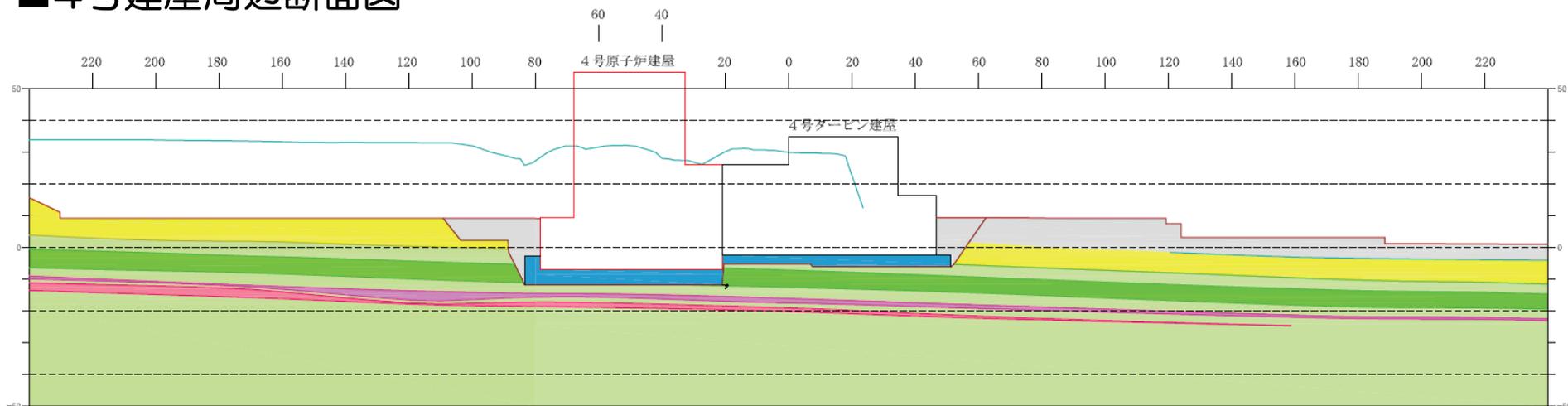
薄緑色が新第三紀富岡層群内の固結泥質岩盤層



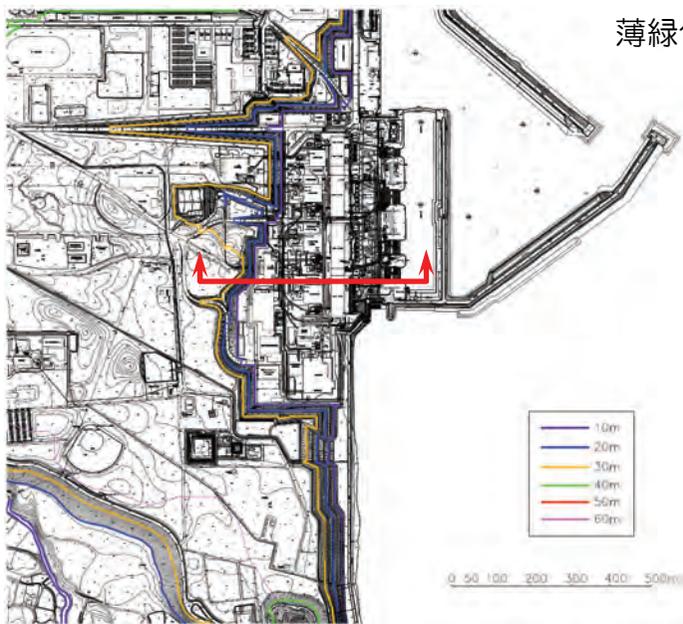
- 埋戻土
- 段丘堆積層
- 中粒砂岩層 (I層)
- 泥質部 (II層・IV層)
- 互層部 (III層)
- 細粒砂岩層 (IV層内)
- 粗粒砂岩層 (IV層内)
- 現地形面
- 旧地形面
- MMR

1. 共通事項 (3) <参考> 建屋支持基盤への影響について (6/8)

■ 4号建屋周辺断面図



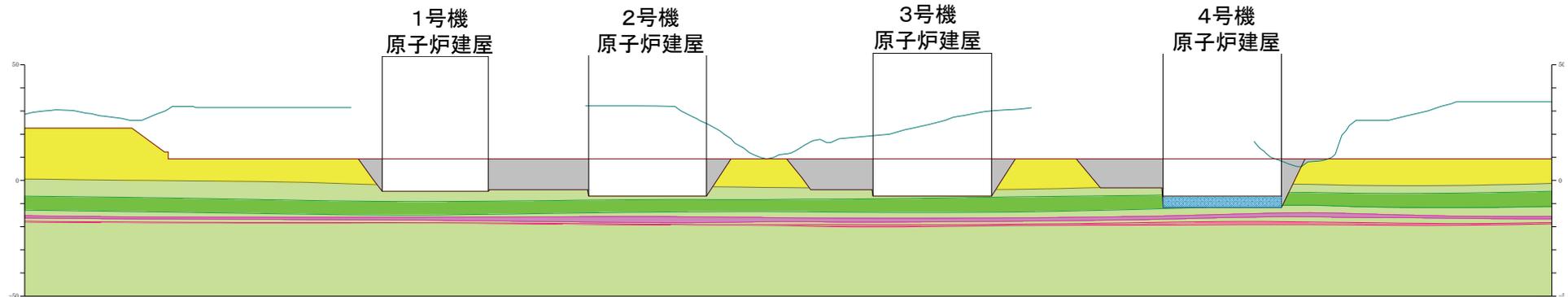
薄緑色が新第三紀富岡層群内の固結泥質岩盤層



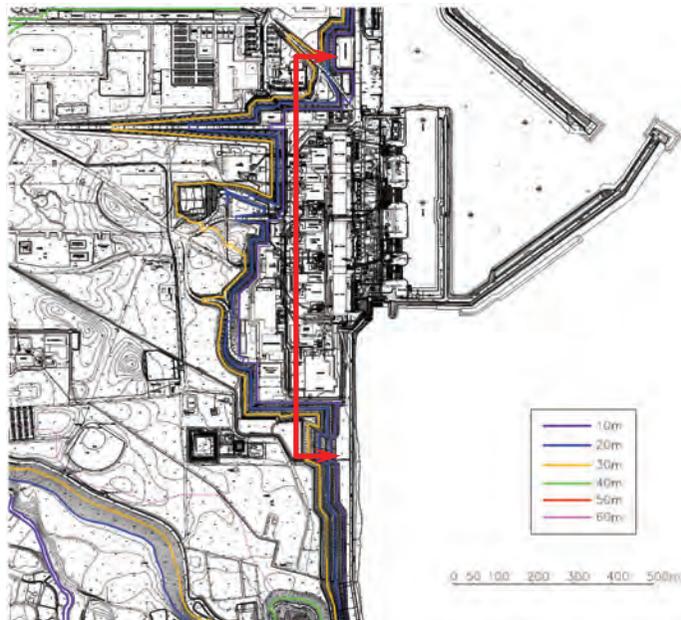
- 埋戻土
- 中粒砂岩層 (I層)
- 泥質部 (II層・IV層)
- 互層部 (III層)
- 細粒砂岩層 (IV層内)
- 粗粒砂岩層 (IV層内)
- 富岡層T3部層粗粒砂岩部
- 現地形面
- 旧地形面
- MMR

1. 共通事項 (3) <参考> 建屋支持基盤への影響について (7/8)

■ 1～4号建屋周辺断面図 (南北)



薄緑色が新第三紀富岡層群内の固結泥質岩盤層



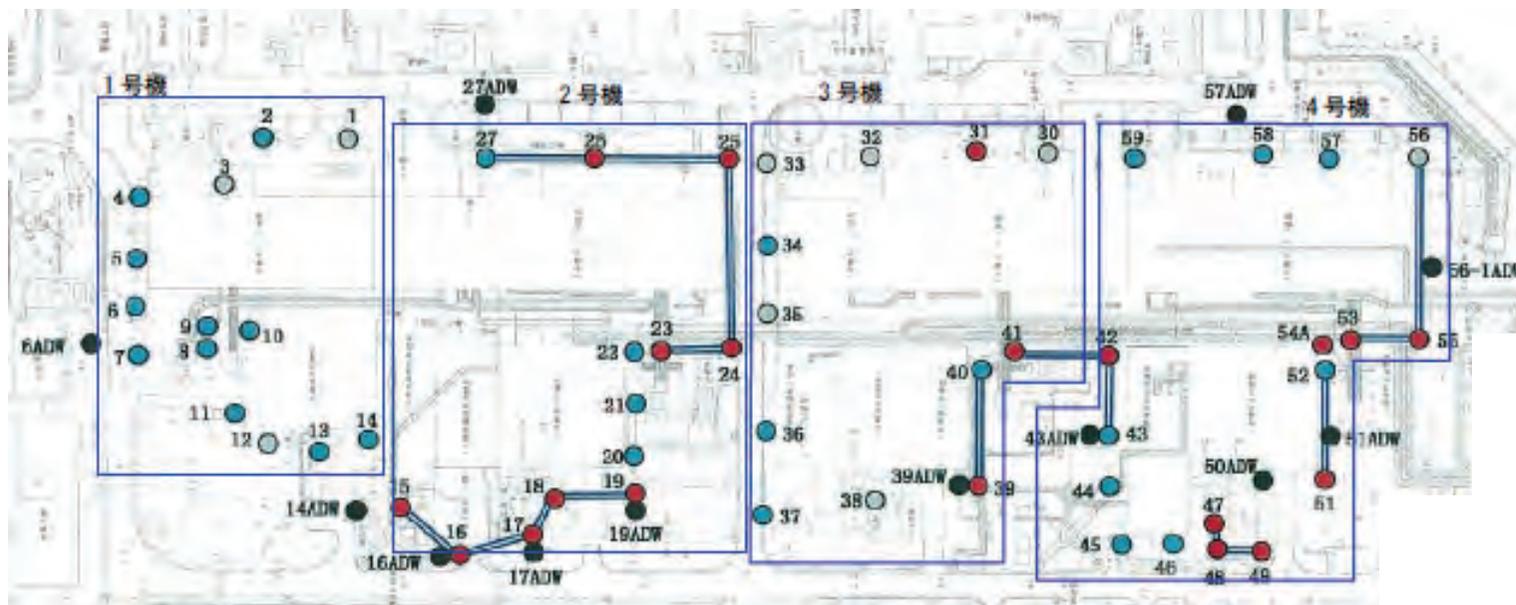
- 埋戻土
- 段丘堆積層
- 中粒砂岩層 (I層)
- 泥質部 (II層・IV層)
- 互層部 (III層)
- 細粒砂岩層 (IV層内)
- 粗粒砂岩層 (IV層内)
- 現地形面
- 旧地形面
- MMR

1. 共通事項 (3) <参考> 建屋支持基盤への影響について (8/8)

■ 震災前のサブドレンおよびディープウェルの稼働状況

- ・ サブドレンは、ポンプの起動水位と停止水位を設定して断続運転して上部透水層（中粒砂岩層、埋戻土）から流入する地下水を汲み上げていた。
- ・ ディープウェル（DW）は、ポンプのピット内の水位が一定となるように上部透水層および下部透水層（互層部）から流入する地下水を汲み上げる。

1～4号機建屋周りサブドレンおよびディープウェル設置箇所



サブドレンピット及びDWの集水構造タイプ

- タイプA (27カ所) ; サブドレンピット (有孔集水管有)
- タイプB (21カ所) ; サブドレンピット (有孔集水管無) + 有孔横引管
- タイプC (36カ所) ; サブドレンピット (有孔集水管無) + 建屋底面集水路
- タイプD (12カ所) ; ディープウェル (DW)
- タイプE (9カ所) ; サブドレンピット (有孔集水管有) + DW

2. 水位管理 (1)水位計測 a)建屋内の汚染水の水位

以下の水位計測について具体的な方策（計測頻度、計測ポイント、精度等）を示し、それが水位の常時監視（局所的な水位変動に対する監視を含む）を行う上で十分であることを示すこと【審査の視点1. ①、3. ①/②】

a) 建屋内の汚染水の水位

（雨水の流入、汚染水の移送停止等による局所的な水位上昇も含む）

■ 回答⇒次ページ

2. 水位管理 (1)水位計測 a)建屋内の汚染水の水位

	従来設備（現状）	新規設備（案）	備考
建屋内水位計測頻度	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））。	参考（2）参照 現状の設置箇所案は、
建屋内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（48箇所）に監視用水位計を設置。（合計59箇所）	<参考> （3）～（6）設置計画（案）参照
計測精度	計器単品精度：F.S. ※±0.1% （Webカメラで確認のためループ精度なし） 放射線影響等によるドリフトに対し、定期的に調整を実施（高線量作業）	ループ精度等を設計中 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。 誤差については建屋内水位と地下水位の水位差に見込む。	

※：フルスケール、即ち測定範囲を示す。

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。

2. (1) a) <参考> (1) 滞留水排水設備の設置計画

■ 目的

地下水位低下に伴う建屋内滞留水の水位制御のため、原子炉建屋等にポンプを新規設置

■ 設置目標

平成27年3月 運用開始（凍土壁造成開始に合わせて）

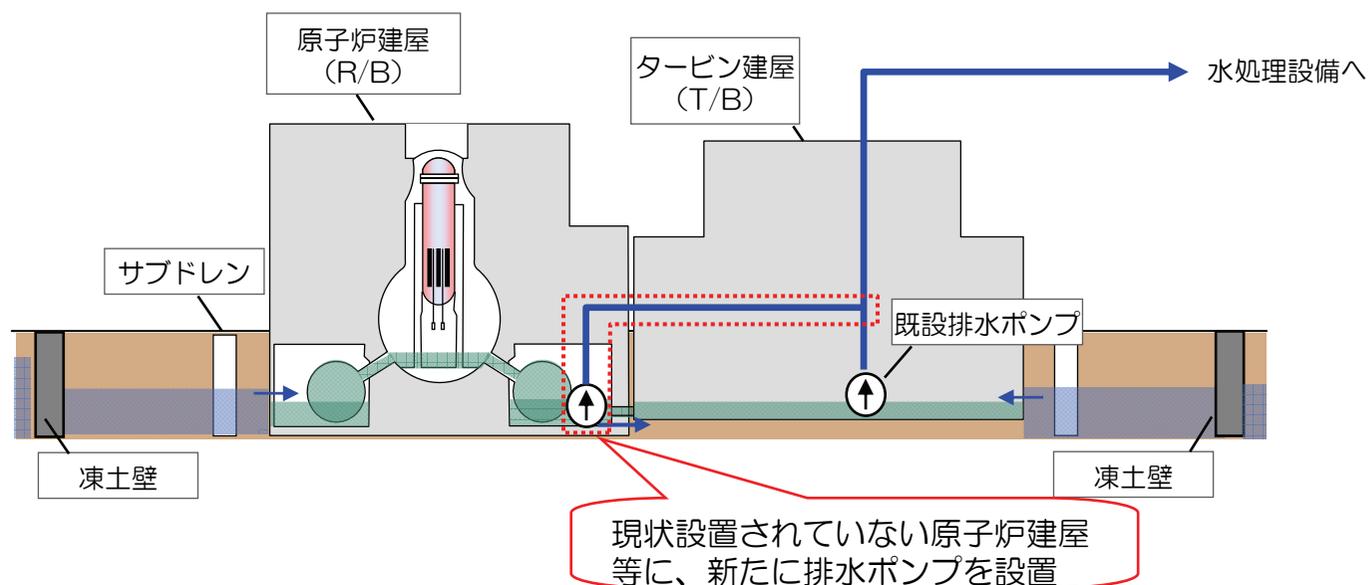
■ 進捗状況

排水設備に関わる以下項目を実施

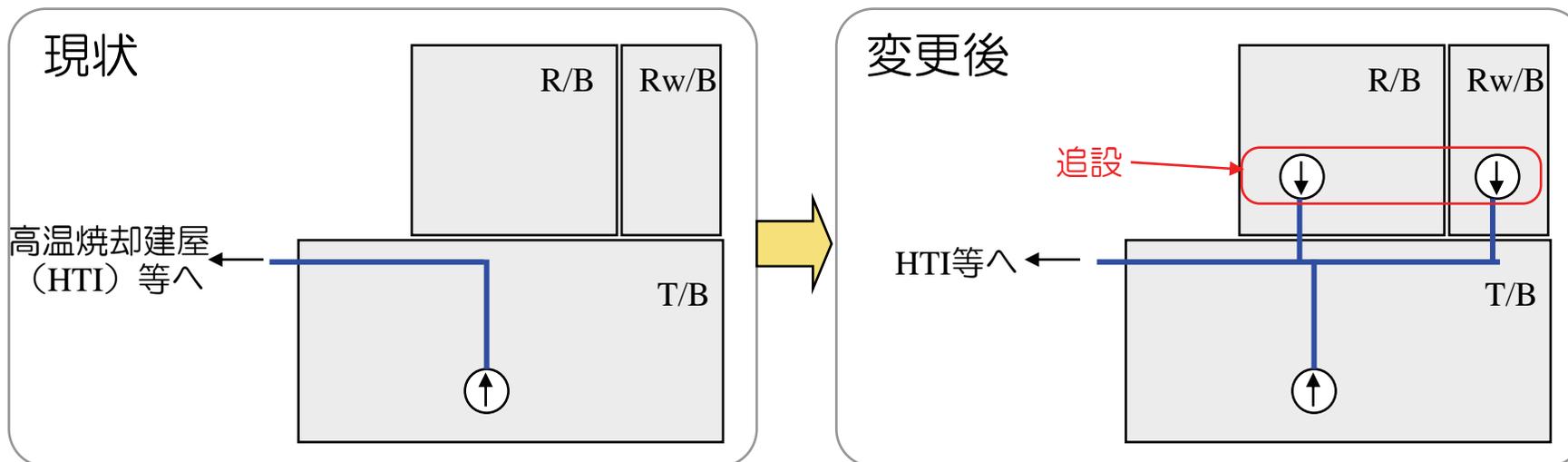
- ・ 排水設備の系統設計
- ・ ポンプ、電源盤、制御盤等の配置設計
- ・ 現場調査（5月から実施予定）

ポンプ設置等の工事（現地）は、9月頃着手予定

■ 詳細については実施計画補正申請時に説明予定



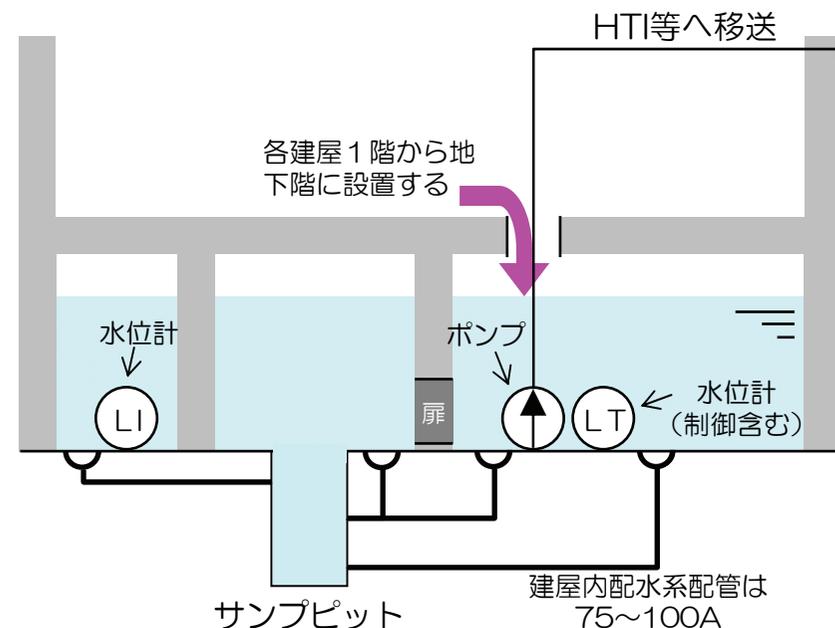
2. (1) a) <参考> (2) ポンプ、水位計の設置箇所について



ポンプ、水位計の設置は、局所的な水位差の発生を防止する観点から、以下の考えに基づいて対応する。

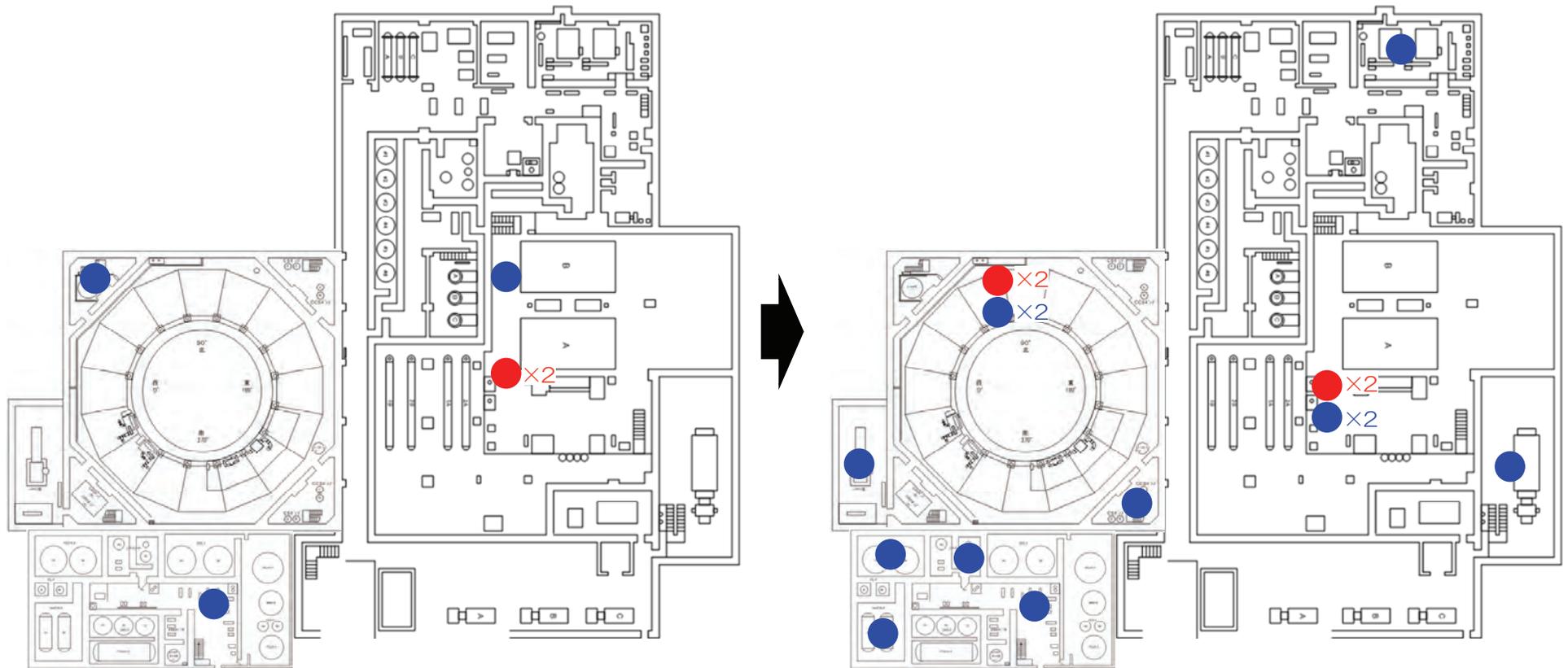
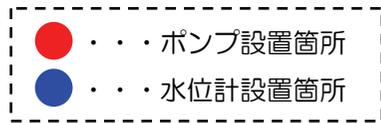
- ① 建屋内 (R/B、T/B、Rw/B) の各エリアは建屋内排水系、扉等を経由して連通していることから、原則として各建屋 1 箇所にはポンプを設置 (各建屋の最低床レベルのエリアに設置)。
- ② 放射線量を考慮し、扉の開放等の連通が明らかなエリアは同一エリアとみなす (1, 2号Rw/B)。
- ③ 水位計設置にあたっては、水位制御用の水位計をポンプ設置エリアに設置 (多重化) することに加え、想定外の局所的な水の滞留により屋外への流出が懸念される箇所 (エリア外壁が土壌に面し、かつ、系外放出リスクのある貫通部が存在する箇所) に、監視用の水位計を設置。

なお、上記については、今後の現場調査も踏まえて対応を行う予定。



ポンプ等設置位置イメージ

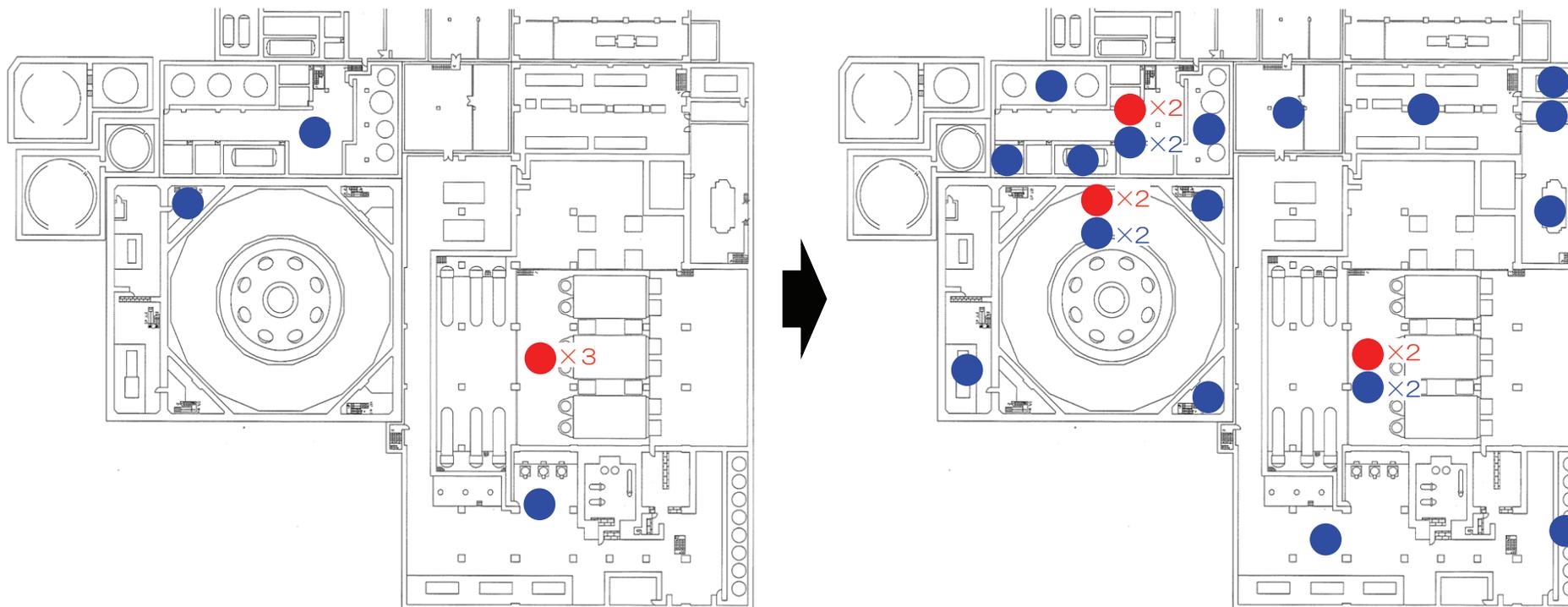
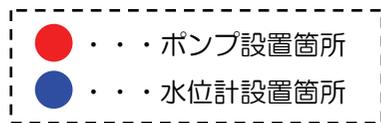
2. (1) a) <参考> (3) 1号機のポンプ及び水位計設置計画 (案)



現状

新規設備 (案)

2. (1) a) <参考> (4) 2号機のポンプ及び水位計設置計画 (案)

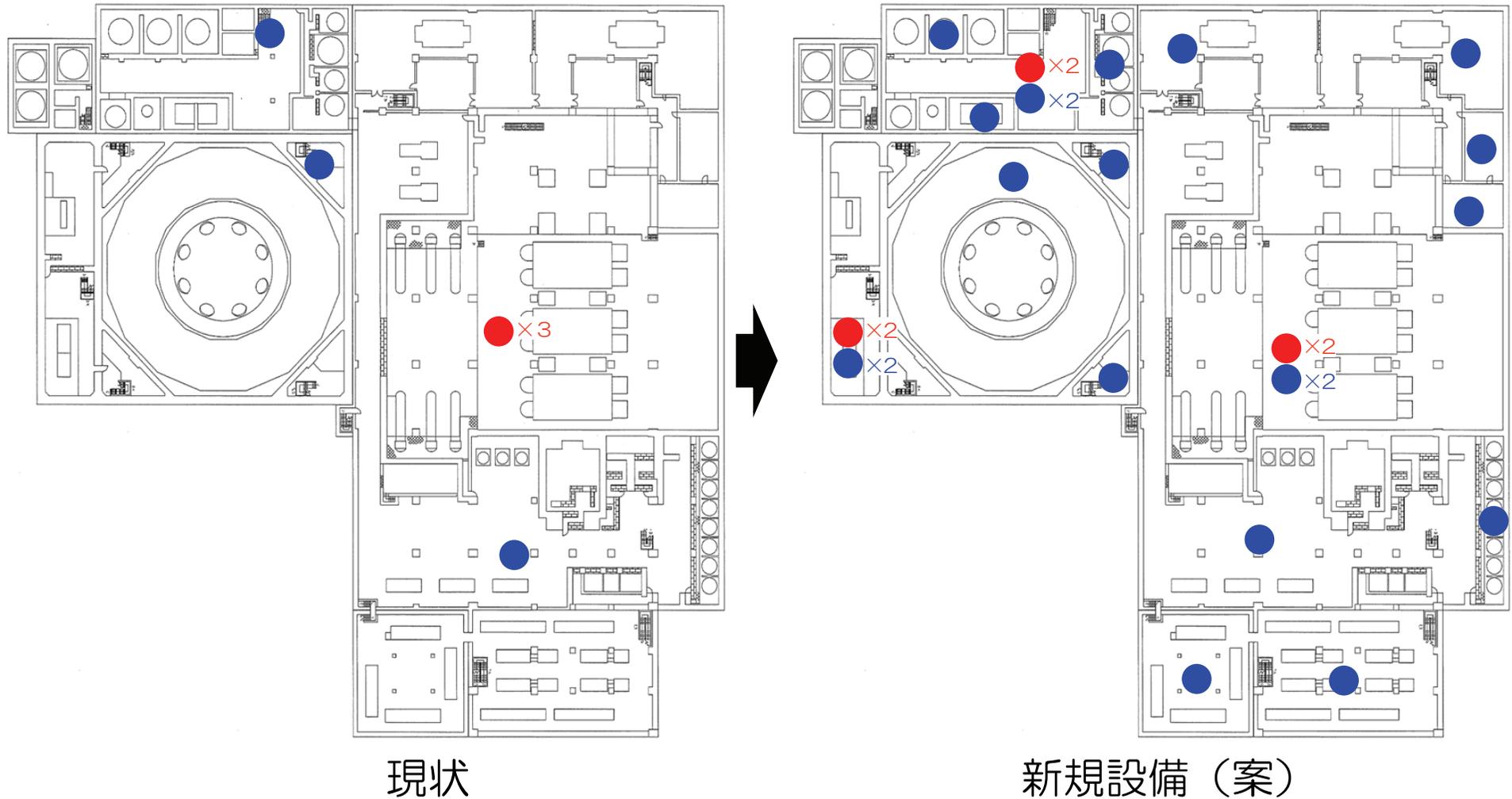


現状

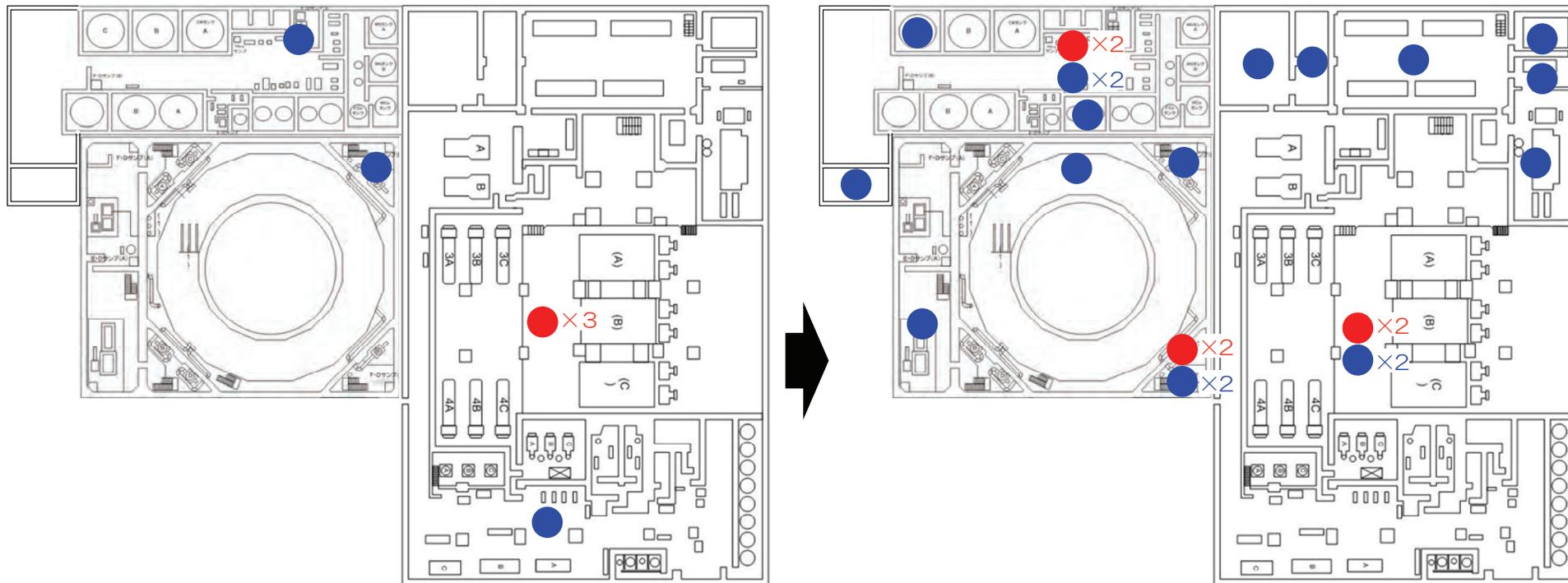
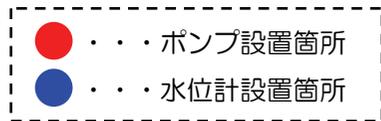
新規設備 (案)

2. (1) a) <参考> (5) 3号機のポンプ及び水位計設置計画 (案)

- . . . ポンプ設置箇所
- . . . 水位計設置箇所



2. (1) a) <参考> (6) 4号機のポンプ及び水位計設置計画 (案)



現状

新規設備 (案)

2. 水位管理 (1)水位計測 b)建屋周辺の地下水の水位(1/2)

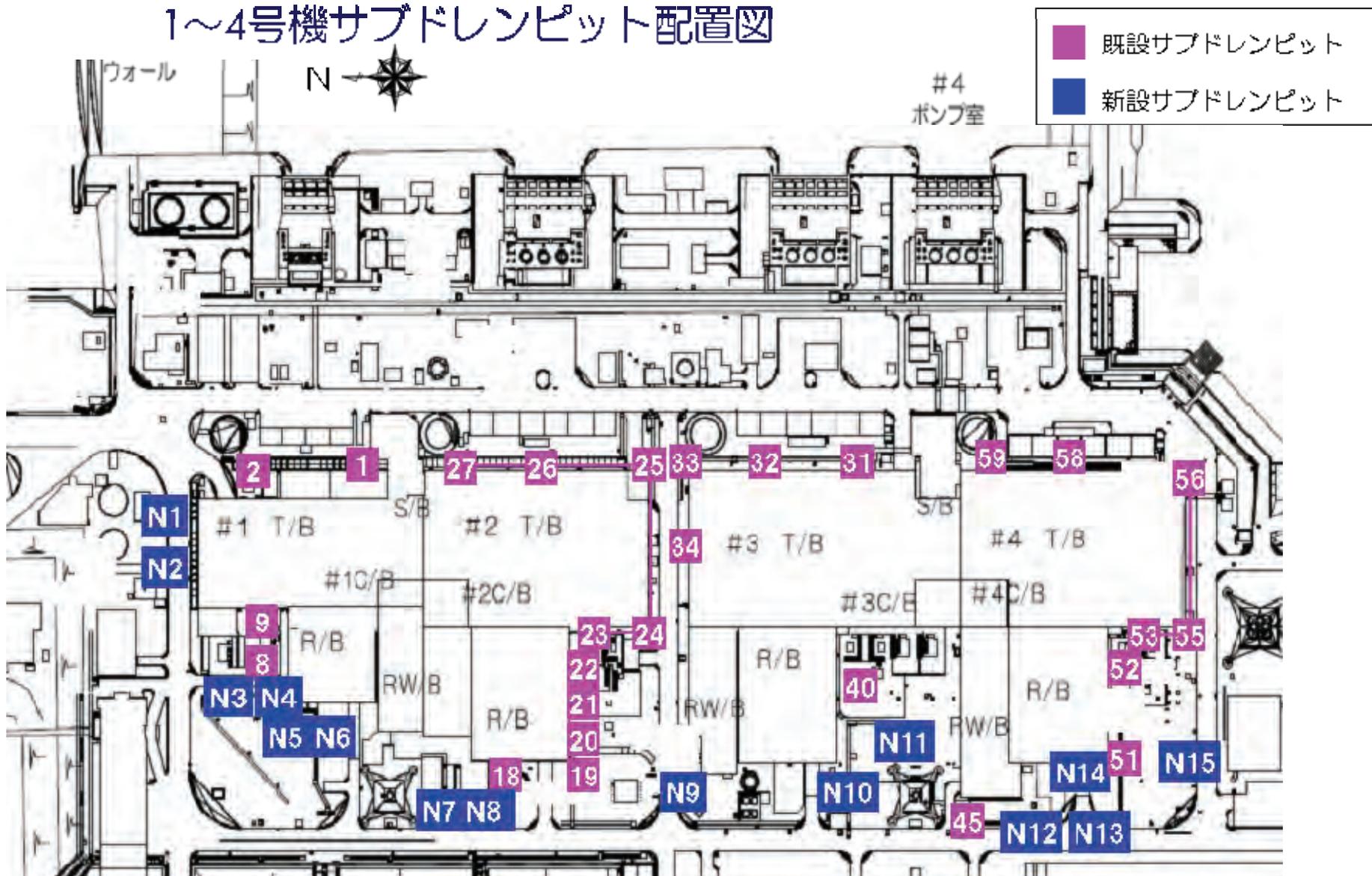
b)建屋周辺の地下水の水位

- ・計測頻度：常時計測
- ・計測器設置箇所（案）
：下記のサブドレンピット（配置は次ページ）
に設置した水位計で計測
- ・計測精度：ループ精度等を設計中

号機	建屋	現在測定箇所数 (測定No.)	水位測定箇所数案 (測定No.)
1号機	タービン建屋	2箇所 (1,9)	6箇所 (1,2,8,9,N1,N2)
	原子炉建屋		7箇所 (N3,N4,N5,N6,N7,8,9)
	廃棄物処理建屋		
2号機	タービン建屋	1箇所 (27)	6箇所 (22,23,24,25,26,27)
	原子炉建屋		8箇所 (N7,N8,18,19,20,21,22,23)
	廃棄物処理建屋		
3号機	タービン建屋	1箇所 (32)	5箇所 (31,32,33,34,40)
	原子炉建屋		5箇所 (N9,N10,N11,24,40)
	廃棄物処理建屋		
4号機	タービン建屋	1箇所 (56)	6箇所 (52,53,55,56,58,59)
	原子炉建屋		9箇所 (N11,N12,N13, N14,N15,45,51,52,53)
	廃棄物処理建屋		

2. 水位管理 (1)水位計測 b)建屋周辺の地下水の水位(2/2)

1～4号機サブドレンピット配置図



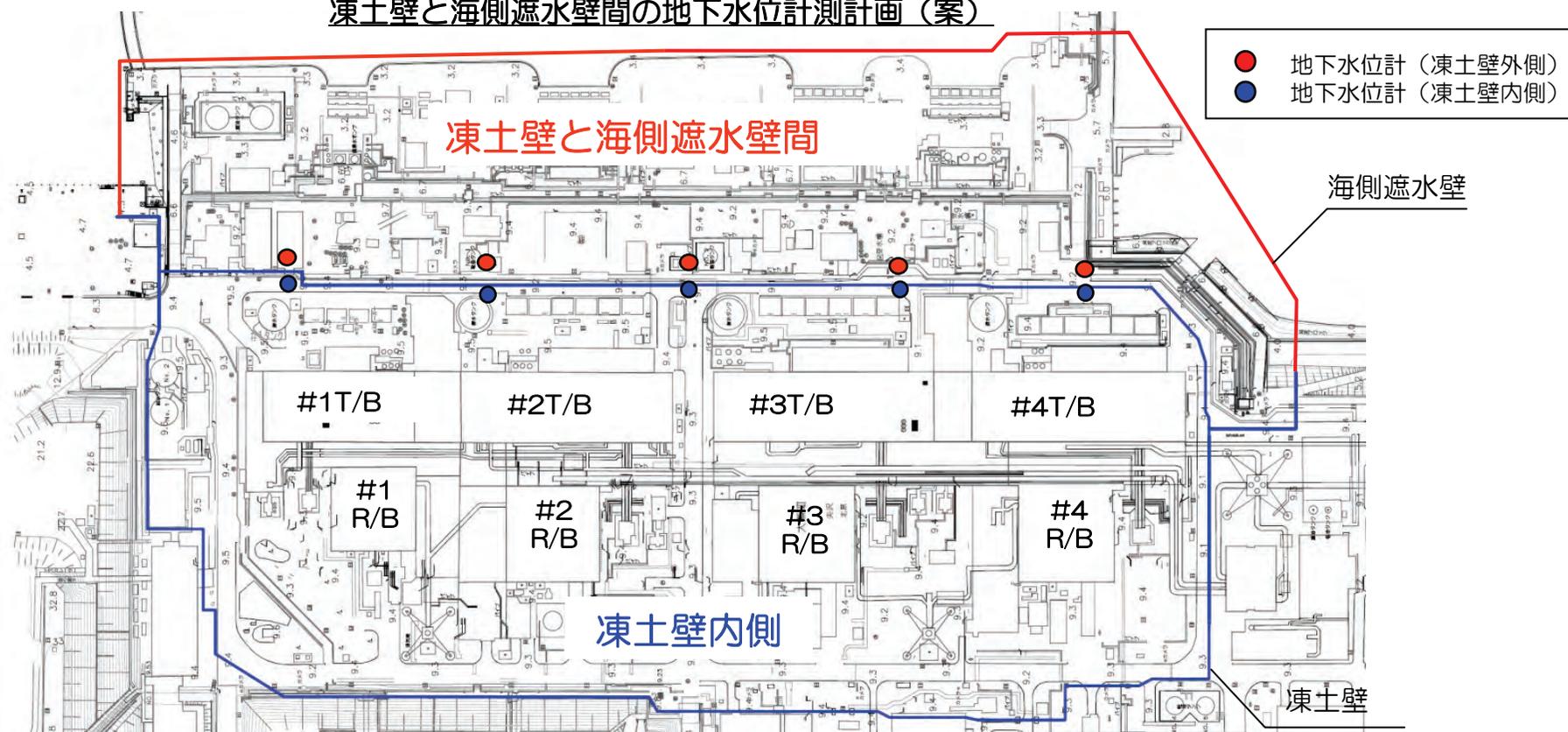
2. 水位管理 (1)水位計測 c)凍土壁と海側遮水壁間の地下水の水位

c) 凍土方式遮水壁と海側遮水壁間の地下水の水位

■ 凍土壁と海側遮水壁間の地下水位計測

- ・ 計測頻度：常時
- ・ 計測精度；計測器等選定中
- ・ 計測器設置箇所（案）
 - ・ 10m盤；10箇所程度（凍土壁内外に5箇所程度ずつ；下図）
 - ・ 4m盤、7m盤についても計画中

凍土壁と海側遮水壁間の地下水位計測計画（案）



2. 水位管理 (2)水位制御 a)建屋内の汚染水の水位

以下の水位制御について、設備の構成・容量、方法（局所的な水位変動に対する制御を含む）、水位制御の範囲（平面的な広がり含む。）水位制御の能力（制御しうる水位変化量等を含む。）、時間応答性（特に、凍土方式遮水壁内側の31孔の注水井による注水と汲み上げによる地下水位制御性）、設備の運用・管理体制及び水位制御を可能とする技術的根拠（シミュレーション又は実証試験）を示すこと。なお、現在実測されている建屋毎の汚染水の水位差や地下水の水位差を前提として示すこと。【審査の視点1. ③】

a) 建屋内の汚染水の水位

（雨水の流入、汚染水の移送停止等による局所的な水位上昇も含む）

<回答>

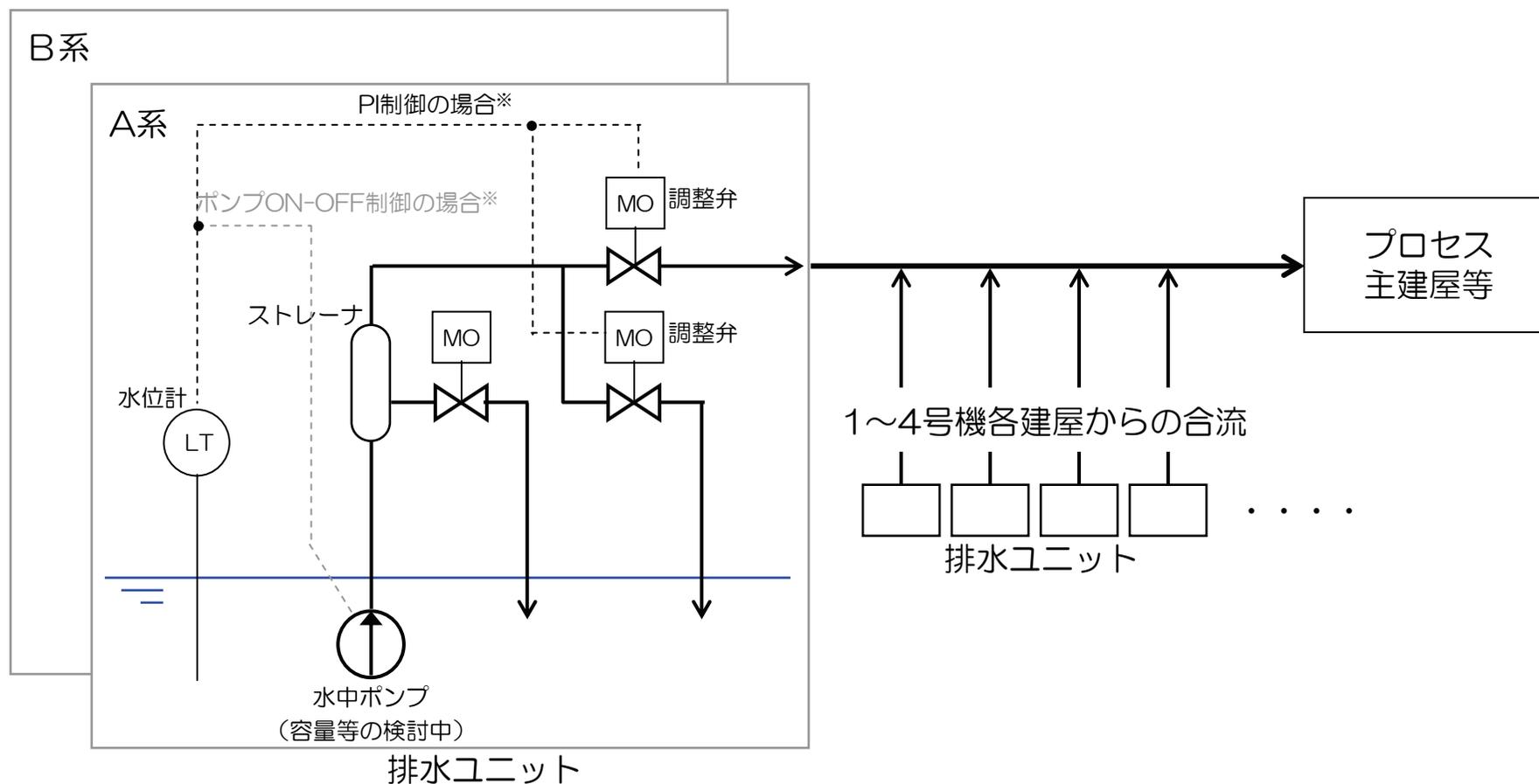
⇒次ページ

2. 水位管理 (2) 水位制御 a) 建屋内の汚染水の水位

項目	従来設備（現状）	新規設備（案）	備考
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）	参考（1）参照
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203mmと算定した。この値は、運用目安の水位差（建屋一周辺地下水）500mmを考慮しても余裕があると考えている。	参考（2）参照
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・操作性を向上させる。	設定水位への制御：自動 設定水位の変更：手動 参考（3）参照
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、地下水低下量は約15mm/日（リチャージ停止時の最大値より）となっており、余裕を有している。	参考（2）参照

2. (2) a) <参考> (1) 系統構成について

- 水位計、水位計からの信号により制御を行う調節弁、移送ライン等の詰まりを防止するストレーナ等で構成される排水ユニットを構築。
- 排水ユニットは、多重化（A系、B系）する。



※： PI制御およびポンプON-OFF制御のいずれにも対応するため、設備構成が多いPI制御をベースにした系統構成とする計画。

2. (2) a) <参考> (2) 降雨時の建屋水位応答について①

- これまでの浪江における24時間最大降雨実績（285mm：平成8年9月22日）に対し、以下の想定で建屋水位の変動を評価
 - 建屋からの排水量は、80m³/h
 - 炉注水量（320m³/日）および地下水流入量（400m³/日）は流入継続
 - 降雨による建屋水位上昇に時間遅れがない（降雨量の85%が流入※）

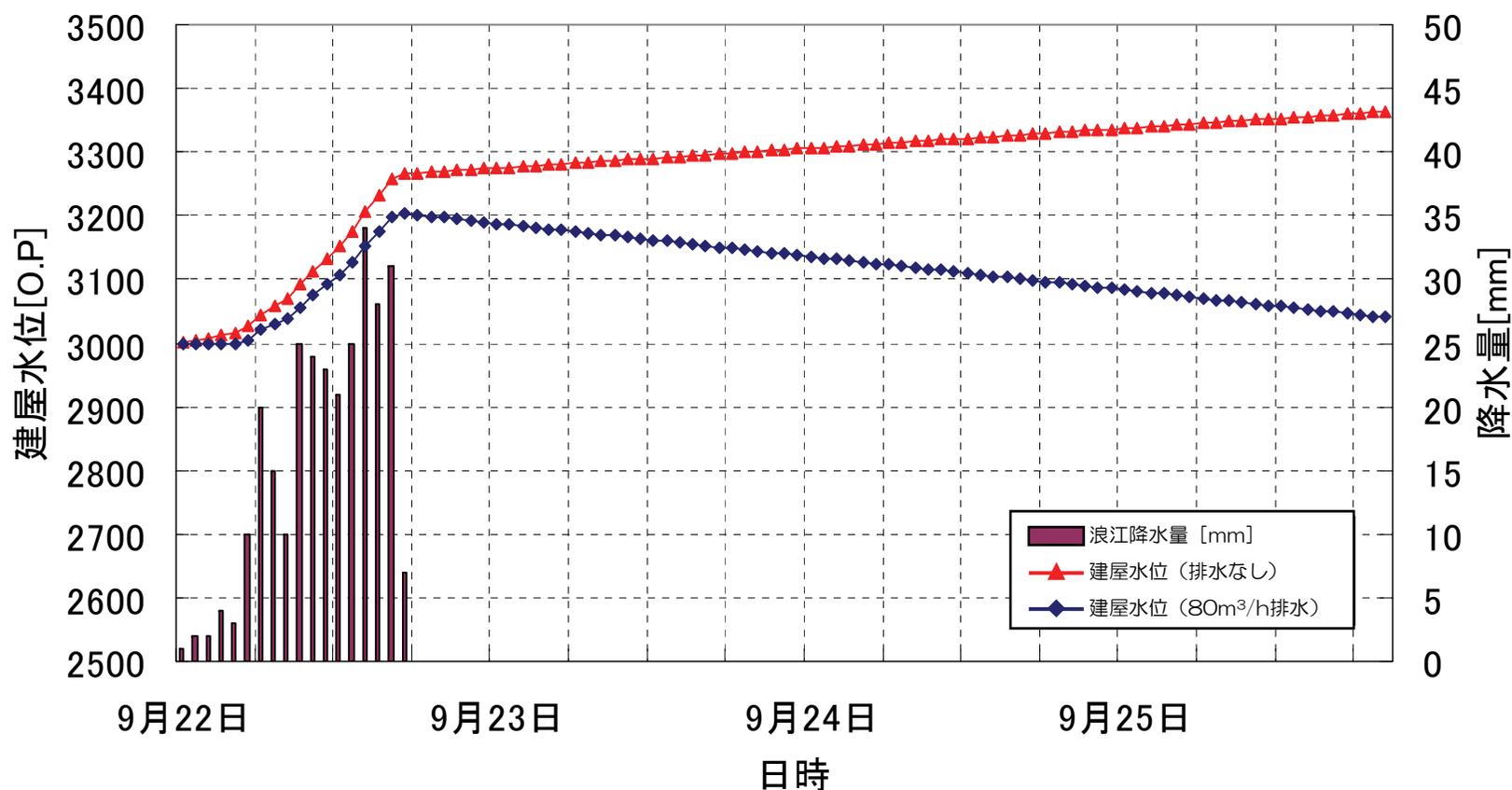
- 安全側に建屋水位上昇量を評価する観点から、以下を考慮
 - 凍土等の造成時の地下水水位低下に伴う流入量低減効果は見込まない
 - 現在実施中の建屋の止水工事等に伴う流入量低減効果は見込まない

※実施計画において、建屋水位の上昇量を経験から「降水量の85%」としている

2. (2) a) <参考> (2) 降雨時の建屋水位応答について②

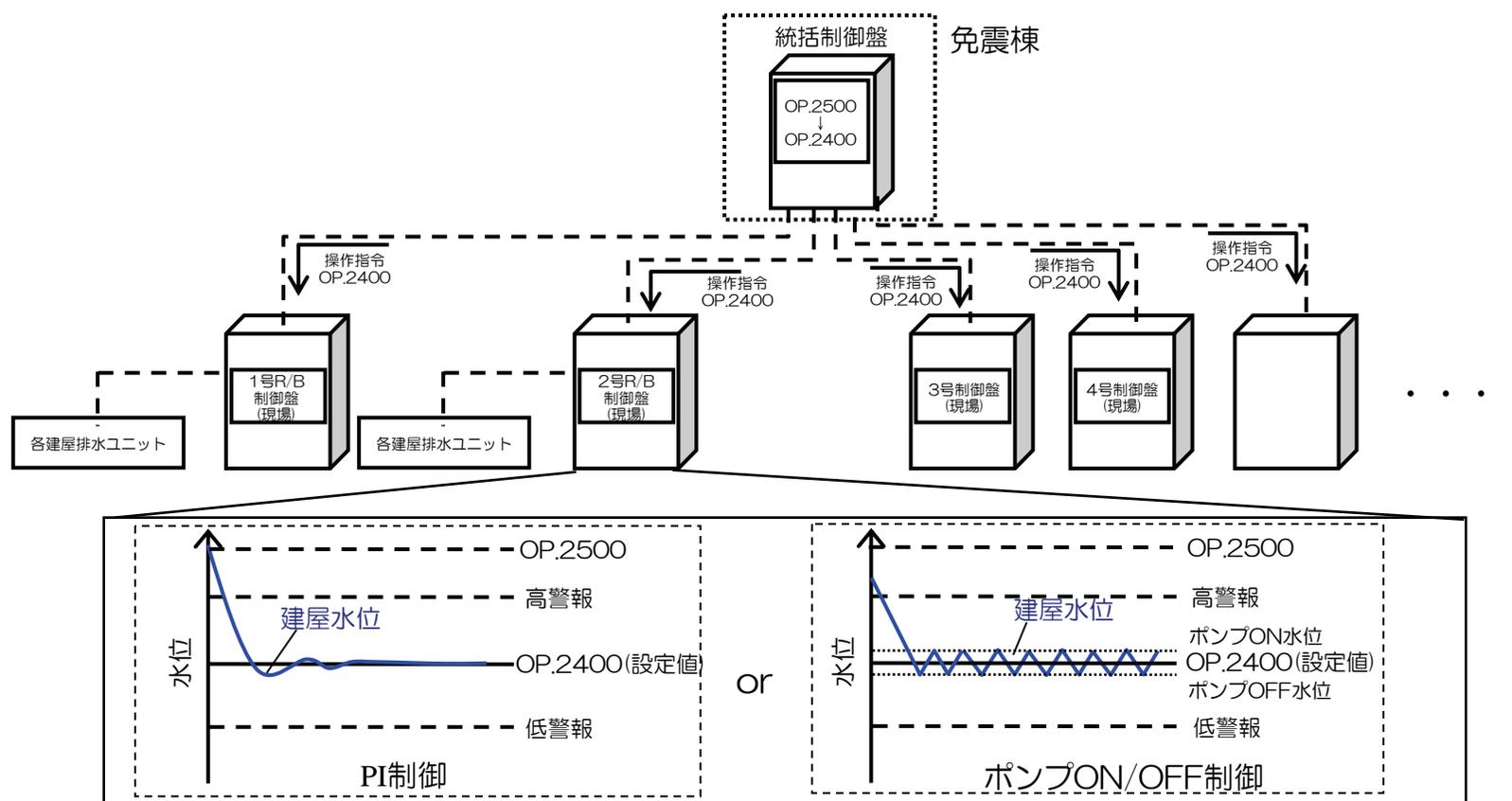
【評価結果】

- これまでの浪江における24時間最大降雨実績に対する評価の結果、建屋水位上昇量（最大）は約203mmであることを確認。
- 降雨の影響がない条件（炉注水量、地下水流入量は見込む）における、80m³/hの排水による建屋水位低下量は約50mm/日



2. (2) a) <参考> (3) 水位制御方法について①

- 水位については常時監視し、各建屋の滞留水水位が同一になるよう、総括制御盤からの指令で水位制御を行う計画。
- 各建屋の排水ユニットは、PI制御あるいはポンプのON-OFF制御により、一定水位制御※1を行う。

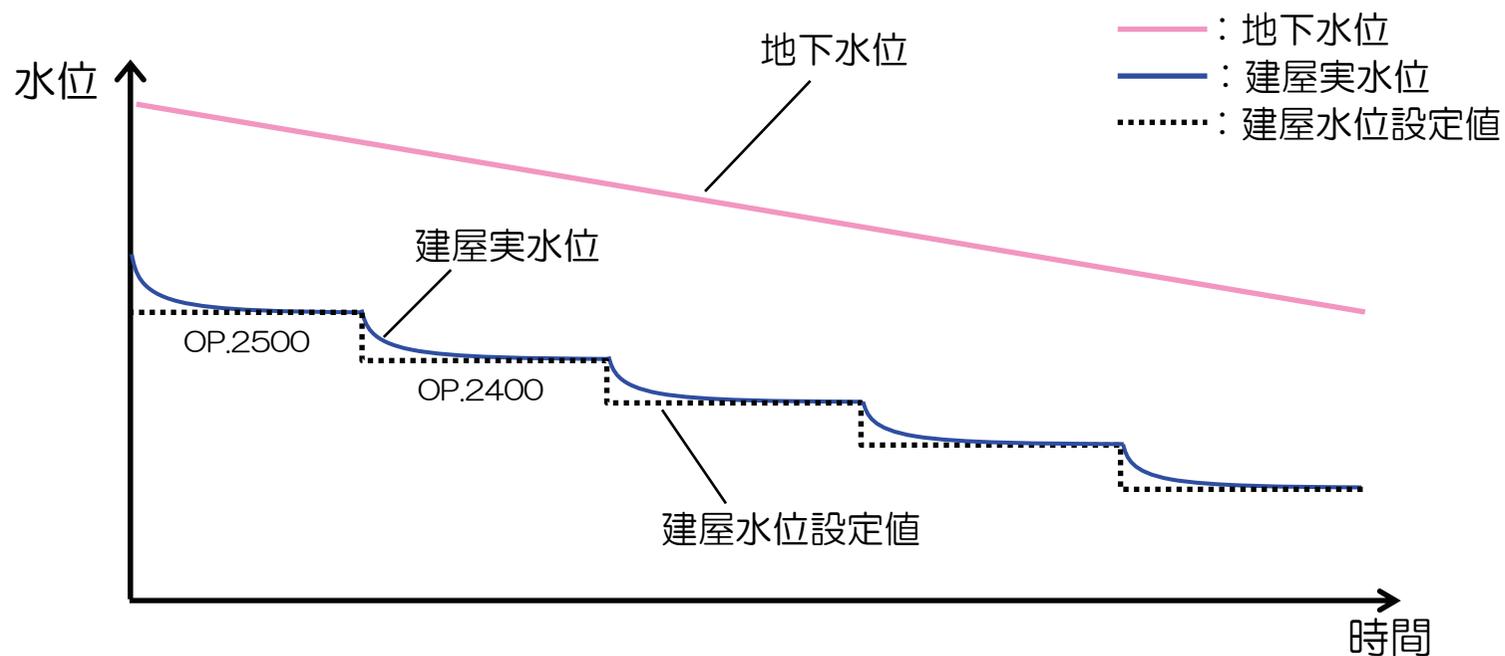


制御システム構成イメージ

※1：PI制御での水位制御を行うよう検討しているが、各建屋における地下水流入量等で不明確な点が多く、感度調整が困難となる可能性があるため、ポンプON/OFF制御になっても対応可能な様に系統設計等を行う。

2. (2) a) <参考> (3) 地下水位低下時の水位制御について②

- 建屋水位は、以下のように地下水位の低下に合わせて、統括制御盤から水位設定を変更し低下させる。

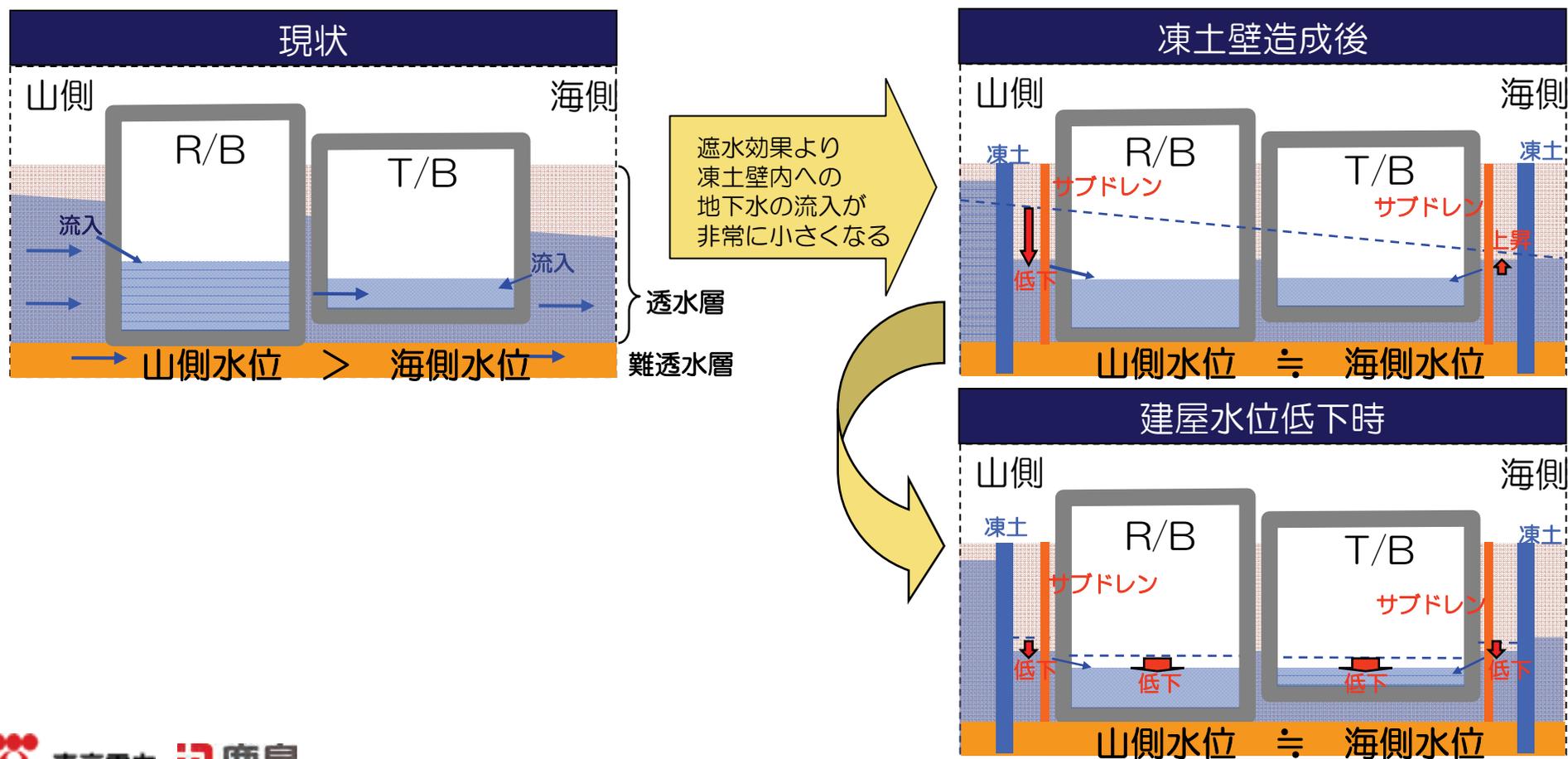


地下水位低下に伴う水位制御イメージ

※地下水位は実際には建屋水位の変動の影響を受けるものと想定しているが、地下水位低下のイメージとして直線で表記した。

2. (2) a) <参考> (4) 凍土壁造成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、凍土壁造成後は凍土壁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、凍土壁内の地下水は徐々に建屋内に流入していき、それに伴い建屋周辺の地下水位は全体的に低下していく。建屋周辺の地下水位低下状況に合わせ、所定の水位差を確保するように建屋水位を低下させていく。



2. (2) a) <参考> (6) 今後の予定

- 「滞留水処理設備等」の実施計画変更については、H26.5に申請し認可後現地工事を順次進めていく予定。
- 設置を計画しているエリアが高線量である箇所もあり、除染等の線量低減対策を実施していく予定。
- 「ポンプ等の設置箇所について（P23～26）」に記載の方針に従い各設備を設置を計画中だが、特に水位計については設置箇所が多数有り、箇所によっては設置目標時期であるH27.3までに十分な線量低減効果が得られず設置ができない可能性があるが、その際にも必要な対応を行っていく。
- 今後の除染等の進捗状況を踏まえながら設置可否について判断することとなるが、場合によっては実施計画変更の認可後に判明する可能性もあることから、実施計画の記載内容について今後協議・調整していく。

2. 水位管理 (2)水位制御 b)建屋周辺の地下水の水位 (1/2)

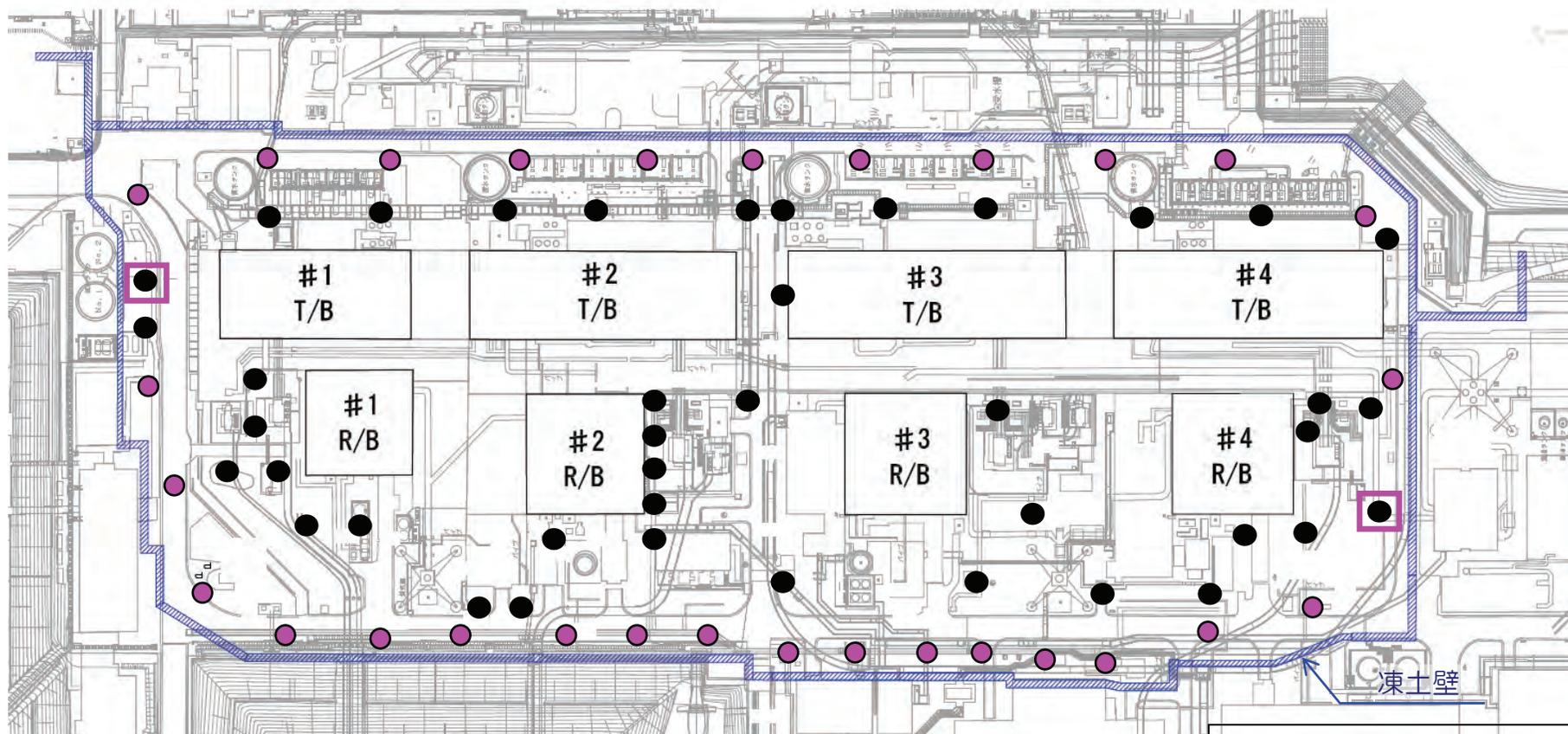
b) 建屋周辺の地下水の水位

項目	概要
設備構成・容量 (配置(案)は別紙参照)	<ul style="list-style-type: none"> ・サブドレンピット(建屋地下水位計測)：41箇所 <ul style="list-style-type: none"> ◎平成26年9月水位計測稼働予定 ◎各サブドレンピットに水位計を設置 ・注水井：31孔 <ul style="list-style-type: none"> ◎目標注水可能量：1孔当たり～15L/min程度 ◎各注水井に、流量計および水位計、注水弁、を設置。
方法(局所的な水位変動に対する制御)	<ul style="list-style-type: none"> ・現状、建屋周辺水位は山側>海側となっているが、凍土壁造成後は凍土壁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。 ・凍土壁内の地下水は徐々に建屋内に流入していき、それに伴い建屋周辺の地下水位は全体的に低下していく。 ・建屋と周辺地下水の水位差が大きいなどの際に地下水低下を促し、建屋内への地下水流入量を低減させるためサブドレンを稼働させる場合がある。 ・建屋周辺の地下水位低下状況に合わせ、水位差を確保するように建屋滞留水移送により建屋水位を低下させていく。 ・建屋内滞留水の水位が一定水位を保つ期間において、地下水位が建屋内滞留水の水位に近づいてきた場合、注水井へ注水することで地下水位を維持する。 ・局所的に地下水位低下傾向を示した箇所については、当該建屋の滞留水移送および周辺注水井への注水量増等で対応する。

2. 水位管理 (2)水位制御 b)建屋周辺の地下水の水位 (2/2)

項目	概要
水位制御の範囲（平面的な拡がりを含む）	<p><鉛直方向> O.P.-2程度～+10m程度（中粒砂岩層および埋戻し土の範囲）</p> <p><平面> 1～4号機建屋と凍土壁間の地下水位</p>
水位制御の能力（制御しうる水位変化量等を含む）	<ul style="list-style-type: none"> 注水井からの注水によって、建屋との水位差を維持する。
時間応答性	<ul style="list-style-type: none"> 建屋－地下水位差の裕度確保のために、建屋水位の制御を主体に、注水井への注水を行う。 約45cmの水位上昇は最大でも約50日で可能（一方で、地下水位の低下速度は遅い。）◎別紙シミュレーション結果（注水による水位制御の時間応答性）参照
設備の運用・管理体制	<ul style="list-style-type: none"> 建屋内水位、凍土壁内・外地下水位（サブドレン水位他）、注水量等について、免震重要棟にて計測・監視。◎別紙「設備の運用・管理体制（案）」
水位制御を可能とする技術的根拠	<ul style="list-style-type: none"> 注水井（31孔）からの40m³/日程度の注水により、建屋水位に対して0.5～1m程度高い水位で地下水位を維持することが可能。 ◎別紙「建屋周辺地下水位維持効果」（フィージビリティ・スタディ結果を基にしたシミュレーション解析結果）（第20回 監視評価検討会 再掲）参照

2. (2) b) <参考> (1) -サブドレンピット (水位計測) および注水井配置 (案) -



サブドレンピット

● 41孔

注水井

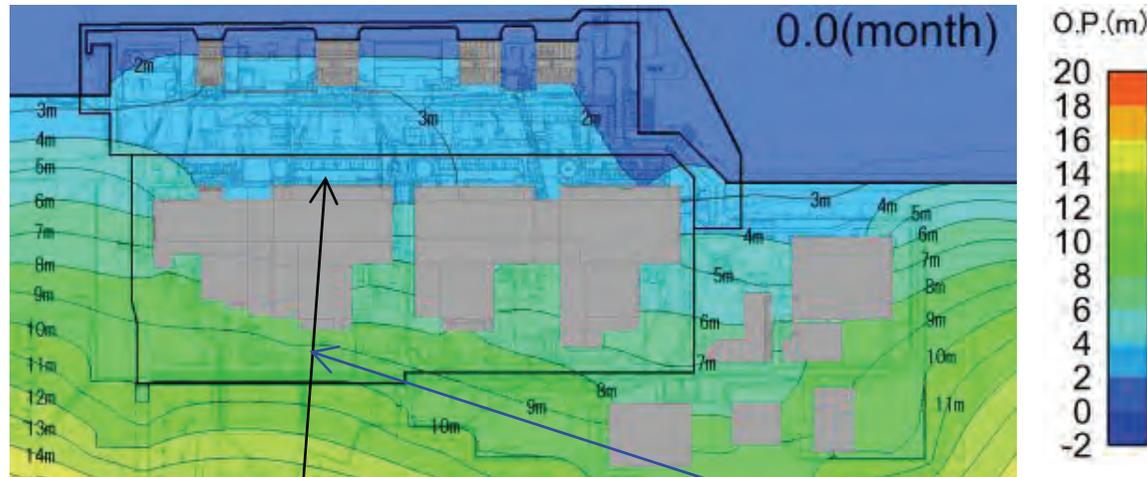
● 新設：29孔

■ サブドレン活用 2孔

合計 31孔

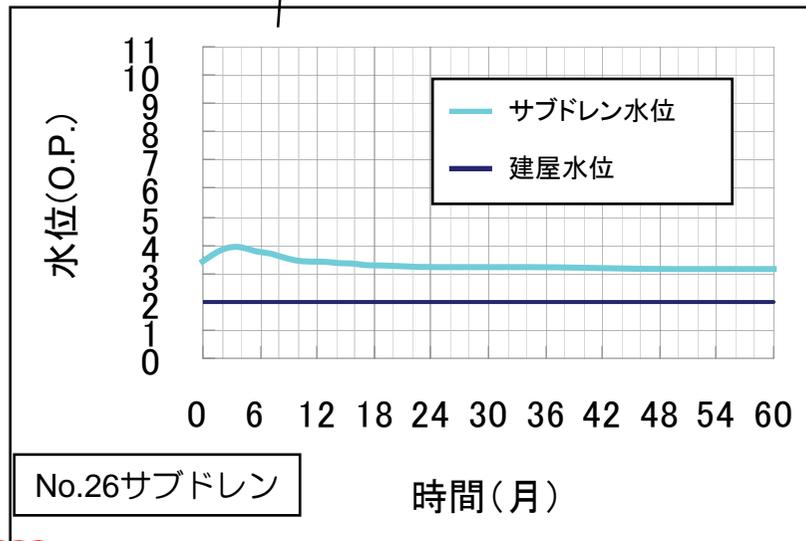
2. (2) b) <参考> (2) 凍土壁造成後の凍土壁内地下水挙動—解析結果—

非定常解析	建屋滞留水水位		建屋周辺地下水位（初期）	リチャージ注水	降雨浸透(mm/日)
	1~4号機	プロセス・HTI			
	O.P. +2 m	O.P. +3 m	サブドレン・ 地下水BP非稼働	非稼働	1.3



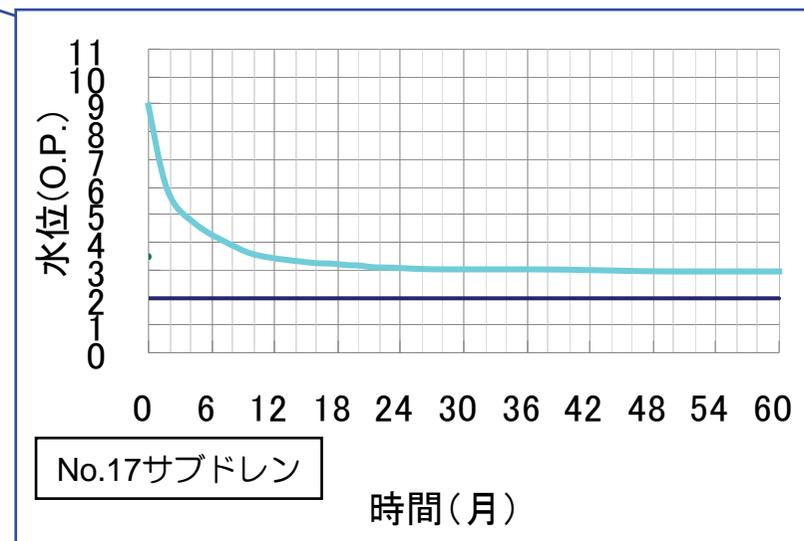
初期水位分布

凍土壁造成後は、低かった海側の地下水は一旦上昇した後、低下傾向を示し、定常水位に近づく。
一方、山側の地下水位は低下傾向を示し、定常水位に近づく。
No.1~59サブドレン全てについて上記と同様の傾向を示した。



No.26サブドレン

時間(月)



No.17サブドレン

時間(月)

2. (2) b) <参考> (3) -注水による水位制御の時間応答性-

ケース	建屋滞留水水位	建屋周辺地下水位（初期）	リチャージ注水	注水井（孔）	注水総量（m ³ /日）	降雨浸透（mm/日）
1	O.P. +3 m	O.P. +4 m	非稼働	31	0	0
2			非稼働⇒30日後稼働		400	

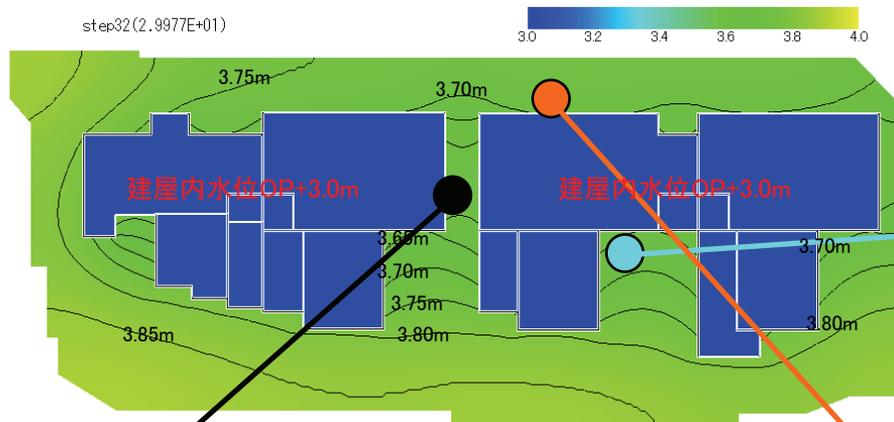
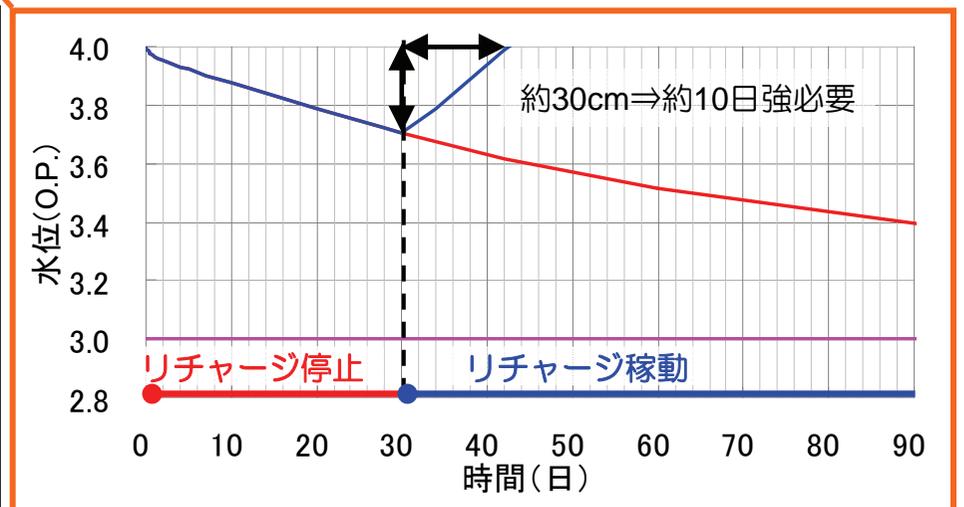
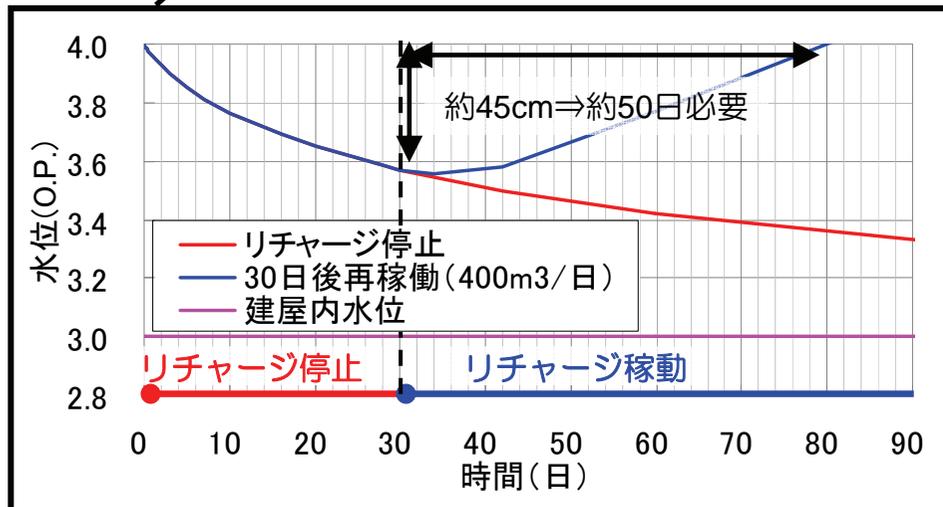
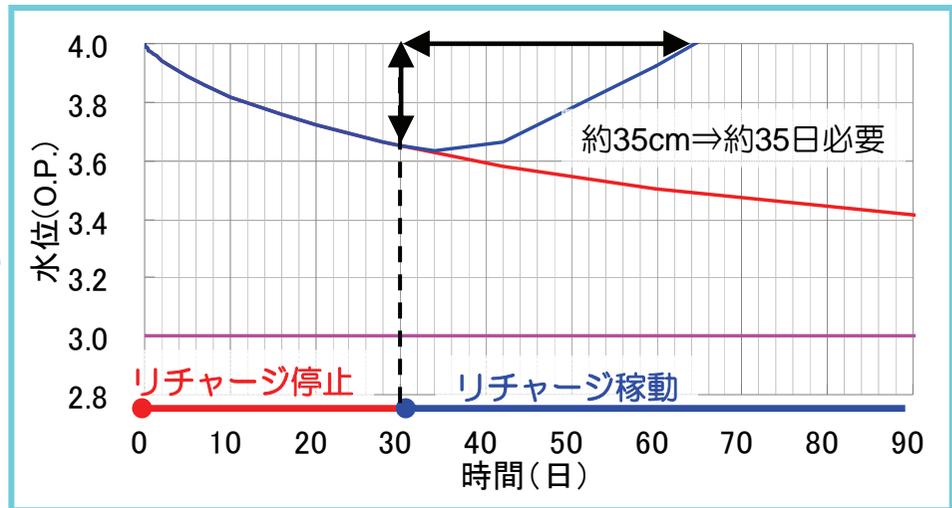
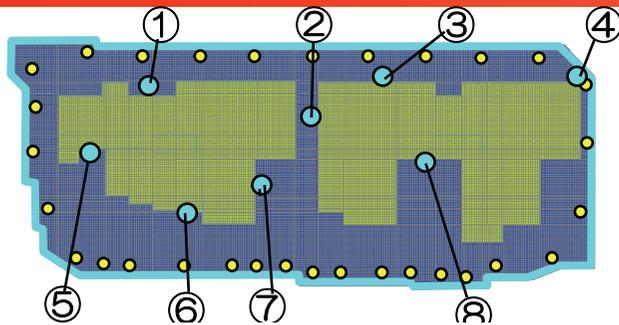


図 水位コンター（停止後30日）

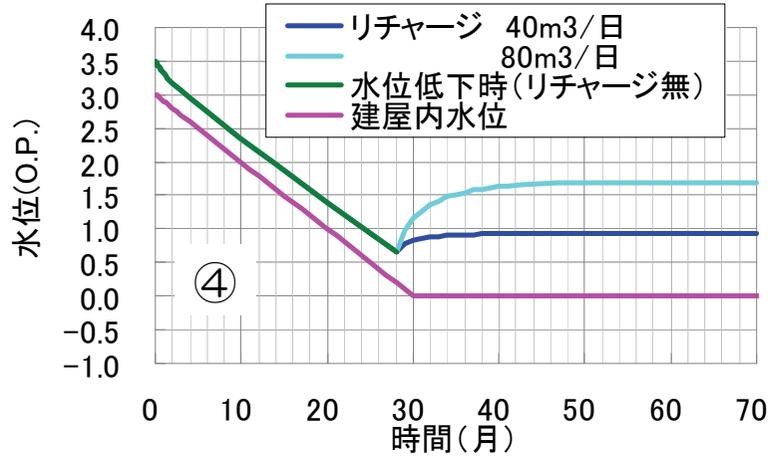
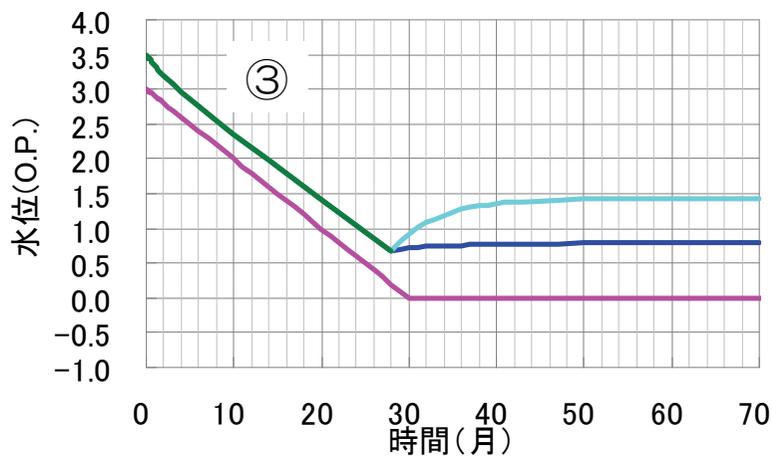
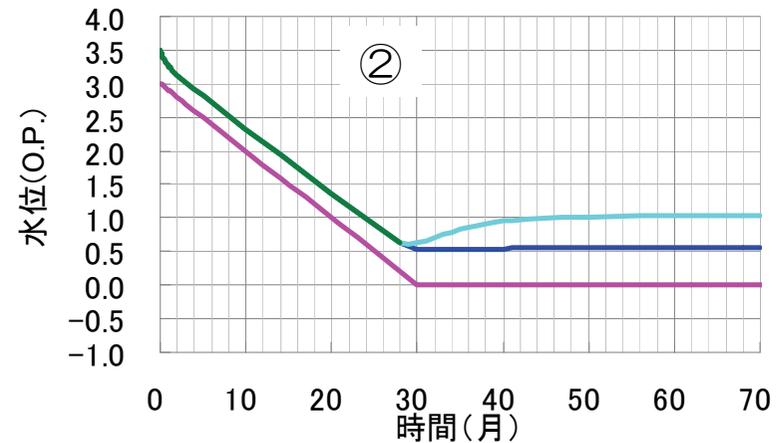
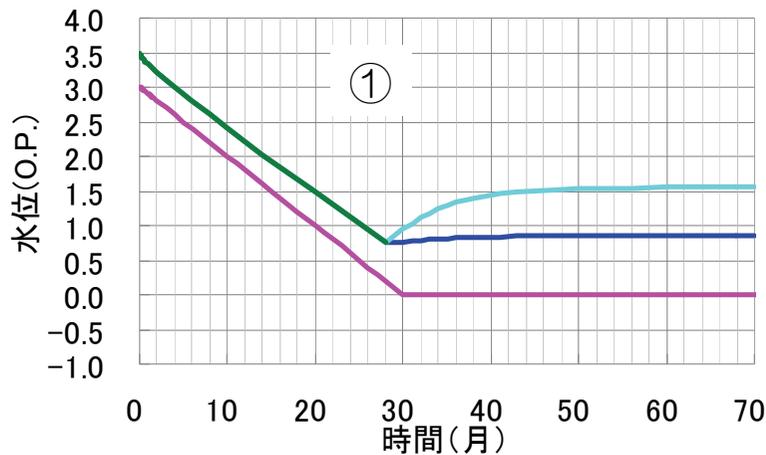


約45cmの水位上昇に最大で50日程度必要

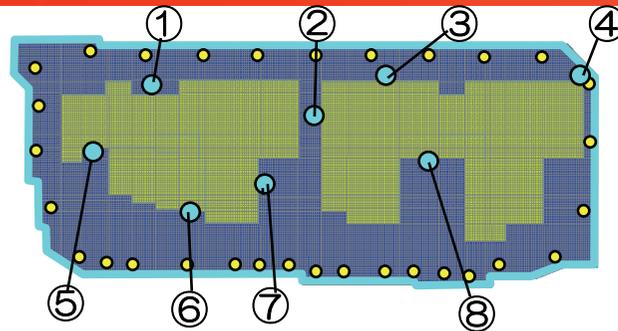
2. (2) b) <参考> (4) 建屋周辺地下水位維持効果 (第20回 監視評価検討会再掲)



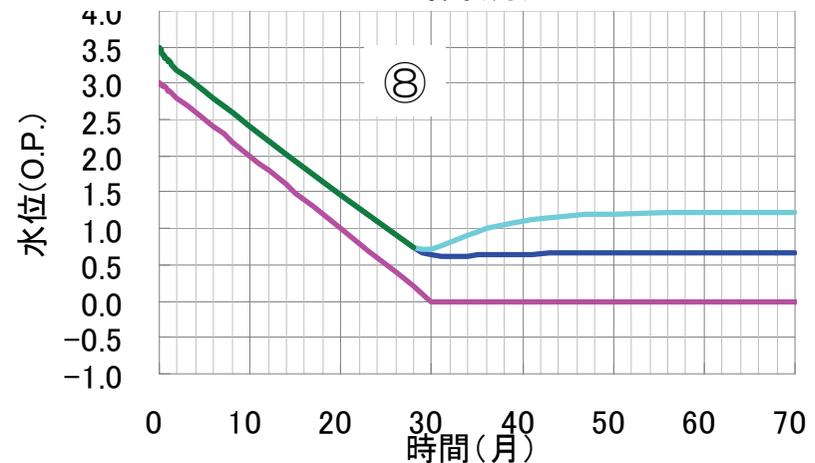
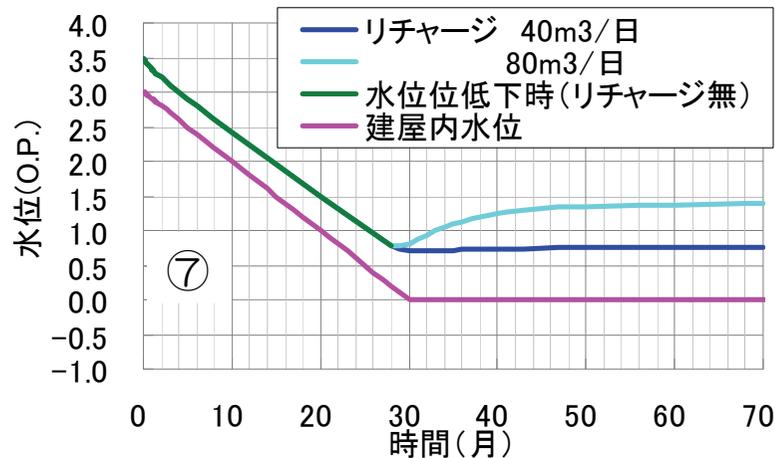
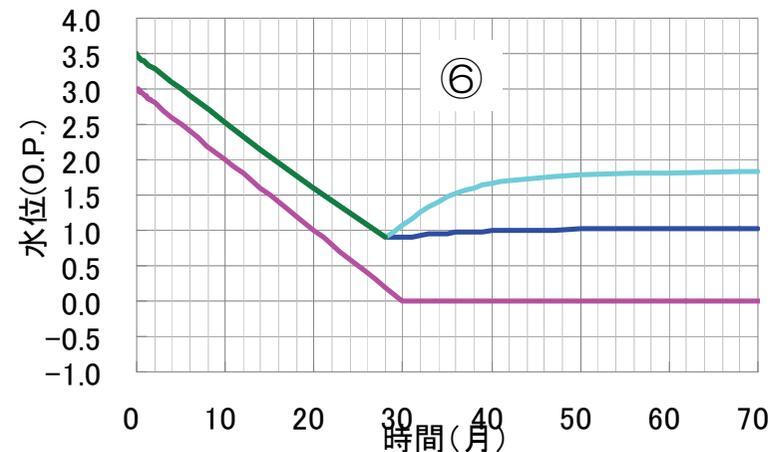
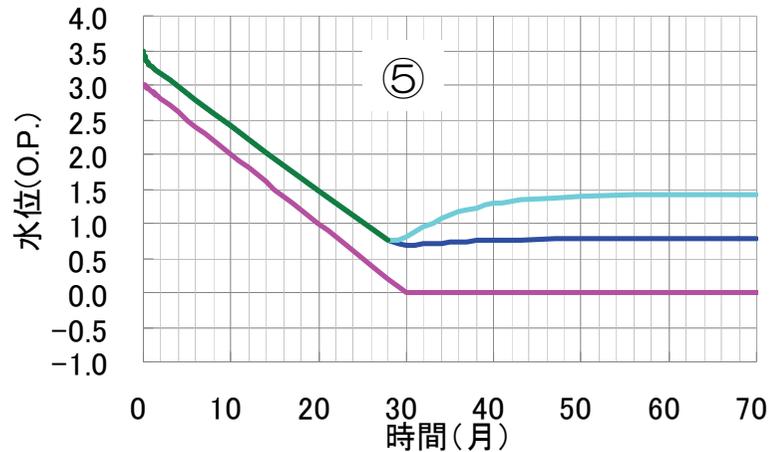
ケース	建屋滞留水水位	建屋周辺水位	サブドレン	注水量 (L/min/本)	注水量 (m ³ /日)	降雨浸透 mm/日
1	O.P. +3 m ⇒0 m	O.P. +3.5m	非稼働	0.9	40	0
2	(0⇒30ヶ月)			1.8	80	



2. (2) b) <参考> (5) 建屋周辺地下水位維持効果 (第20回 監視評価検討会再掲)



31孔の注水井配置に対し、水位低下時において40m³/日、80m³/日（1本の場合0.9、1.8L/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



2. (2) b) <参考> (6) 設備の運用・管理体制 (案) について

免震重要棟

○水位監視

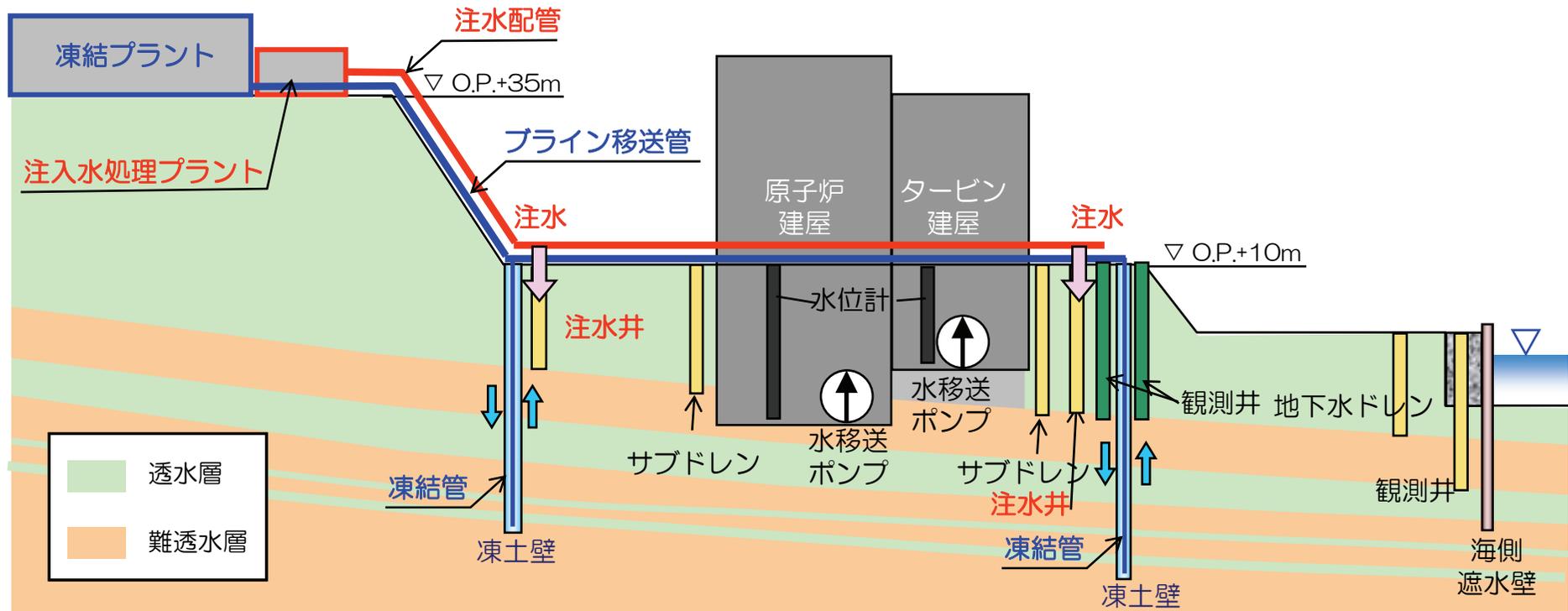
- ①建屋滞留水位
- ②凍土壁内地下水位 (サブドレン水位)
- ③凍土壁外地下水位

○水位制御

- ①建屋滞留水移送設備の運転
- ②サブドレン、リチャージ設備の運転
- ③地下水ドレン、地下水バイパスの運転

○凍土壁健全性監視

- ・ 温度計測
- ・ 凍結・注入水処理プラント稼働状況 (含; 冷媒 (フロン) 漏えい監視)



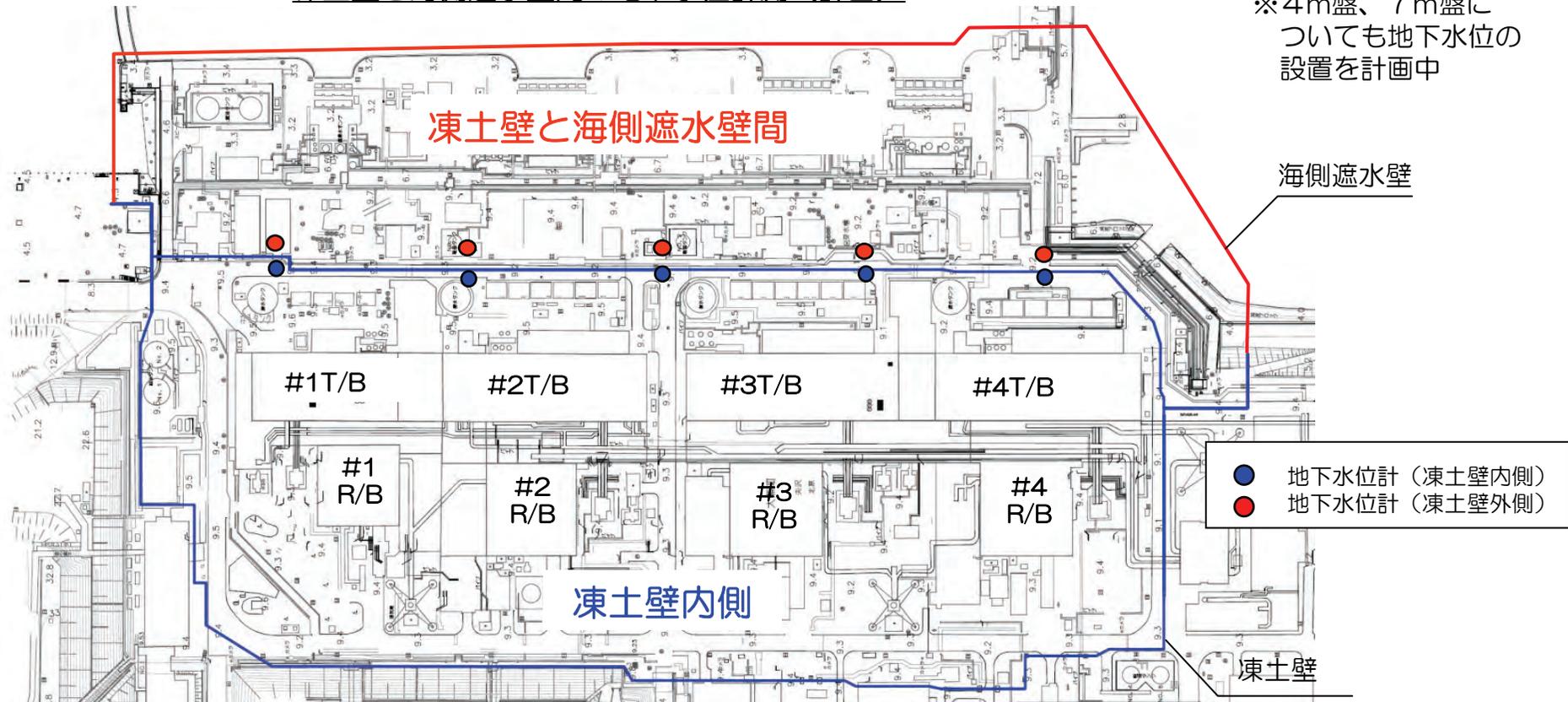
2. 水位管理 (2)水位制御 c)凍土方式遮水壁と海側遮水壁間の地下水位の水位

c)凍土方式遮水壁と海側遮水壁間の地下水位の水位

■凍土壁と海側遮水壁間の地下水位の制御

- ・地下水位の管理は、地下水位計を凍土壁（海側）の内側と外側に配置して、「凍土壁内側（建屋海側）の地下水位<凍土壁と海側遮水壁間の地下水位」であることを確認する。
- ・また、海側遮水壁における地下水越流防止のために凍土壁と海側遮水壁間の地下水ドレンを稼働させる。

凍土壁と海側遮水壁間の地下水位計測（計画）



2. 水位管理 (3)水位差設定（建屋一周辺地下水）（1/2）

上記を踏まえ、建屋内の汚染水の水位は建屋周辺の地下水の水位より低くすることおよび、建屋周辺の地下水の水位は、凍土方式遮水壁と海側遮水壁間の地下水の水位よりも低くすることについて、i) どの程度の水位差を設定し、ii) 降雨等の外的要因や機器の故障等の内的要因による水位変動をどの程度想定し、iii) それらの変動に対してどの程度の裕度を維持し制御できるのか、それぞれの値を根拠となるデータと共に示すこと。

■ 「建屋内の汚染水の水位 < 建屋周辺の地下水の水位」について

	概要と根拠
i) 水位差の設定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建屋滞留水を漏れいさせないために、50cm程度の水位差を想定（第20回 監視評価検討会 提示） ・ なお、凍土壁造成当初の水位差については、地下水バイパス稼働、海側遮水壁閉合、サブドレン稼働時、等の建屋水位・地下水水位データの分析結果を踏まえて、上記の水位差設定に対して余裕を持った設定とする。 ・ 凍土壁造成後、地下水水位・建屋水位挙動に関するデータを蓄積し精度を向上させる。
ii) 水位変動の想定	<p>【過去の運用実績】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 現状、地下水水位（海側）がO.P.+3.2～6m程度であるのに対し、建屋水位は滞留水移送ポンプ稼働により、O.P.+2.6～3.5m程度で制御・管理し、建屋水位が地下水水位を上回らないことを確認している。 ・ 建屋水位と地下水水位の水位差は0.5m程度以上確保している。 <p>（次頁つづく）</p>

2. 水位管理 (3) 水位差設定 (建屋一周辺地下水) (2/2)

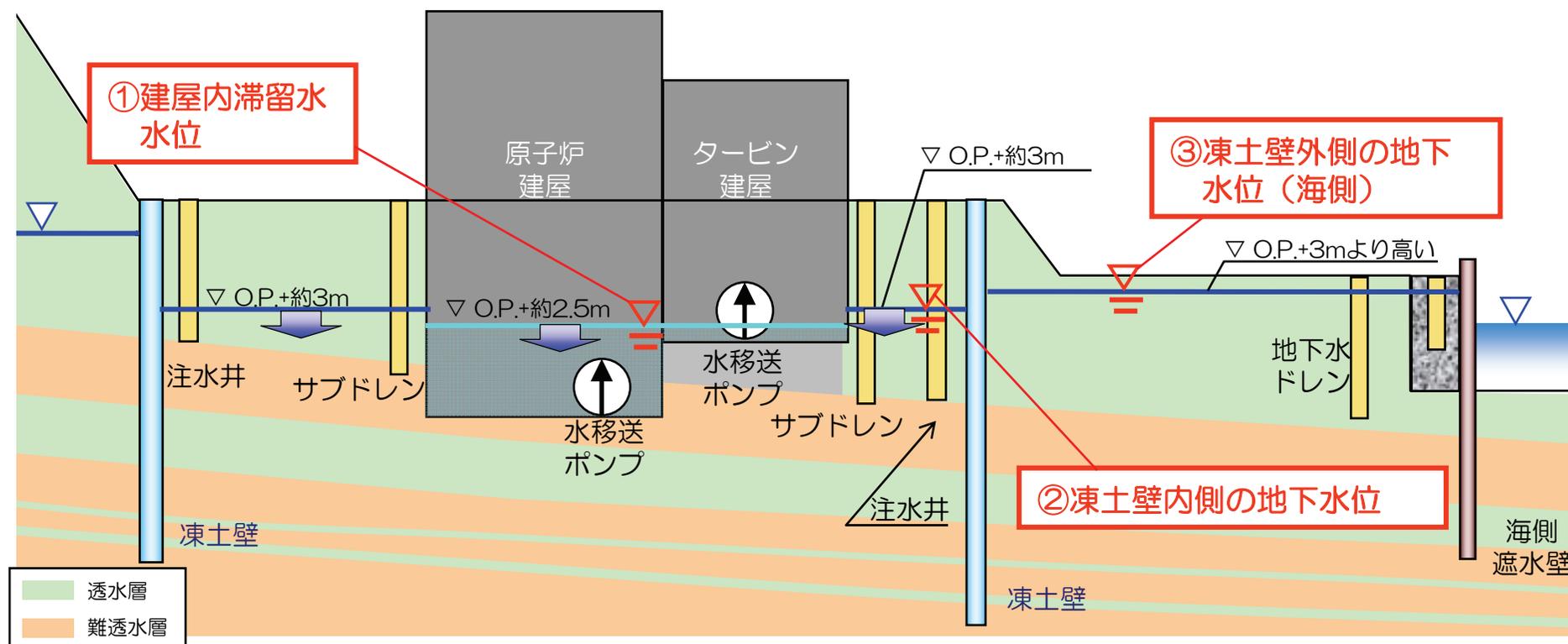
■ 「建屋内の汚染水の水位 < 建屋周辺の地下水の水位」について

	概要と根拠
ii) 水位変動の想定	<p><降雨等の外的要因></p> <ul style="list-style-type: none"> ・前頁の実績を踏まえつつ、原子炉建屋等に追加設置する建屋滞留水移送ポンプの設計に当たっては、当該地点の過去の降雨実績等を考慮した設計とする。 ・凍土壁造成後は、山側（西側）からの地下水流入が大きく抑制されるため、建屋への流入量も、周辺地下水位との水位差の低減に従って減少していく。 ・また、凍土壁内の水位は全体的に均一となる方向で推移していくため、海側－山側の地下水位差および建屋間での周辺地下水位の差異は小さくなる。 <p><機器故障等の内的要因></p> <ul style="list-style-type: none"> ・建屋滞留水ポンプについては2台以上設置しており、外部電源喪失時にも非常用電源等で稼働できる、 ・リチャージ停止時には、手動でのバルブ操作・注水など機動的対応が可能。 (低下速度は15mm/日程度以下と想定)
iii) 裕度の維持と制御	<ul style="list-style-type: none"> ・ ii) の降雨時の建屋内水位の制御性を考慮した上で、建屋内・外の水位計精度を踏まえて水位差を設定する。

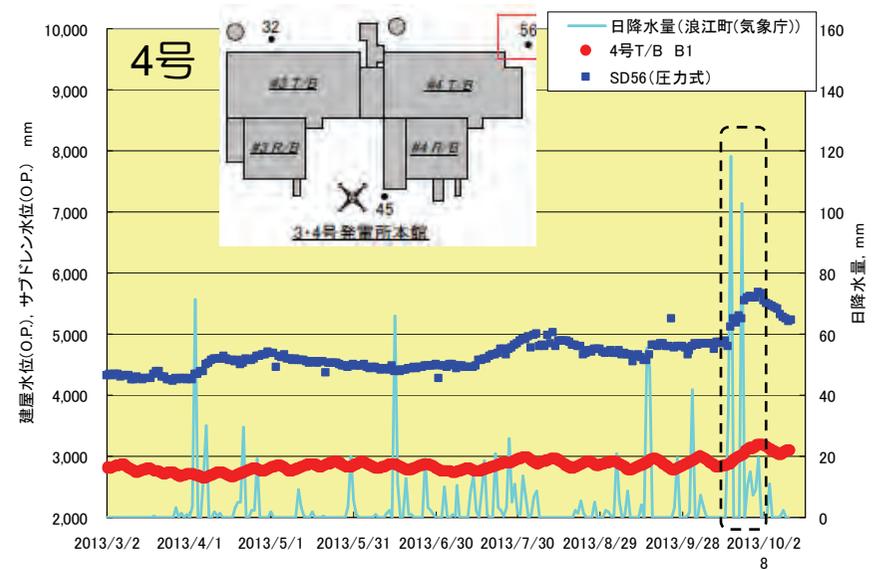
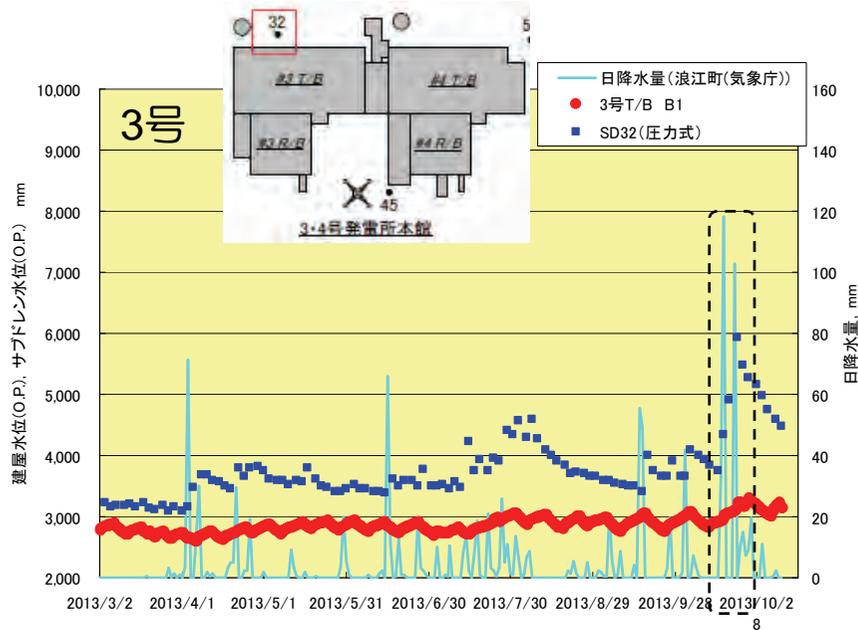
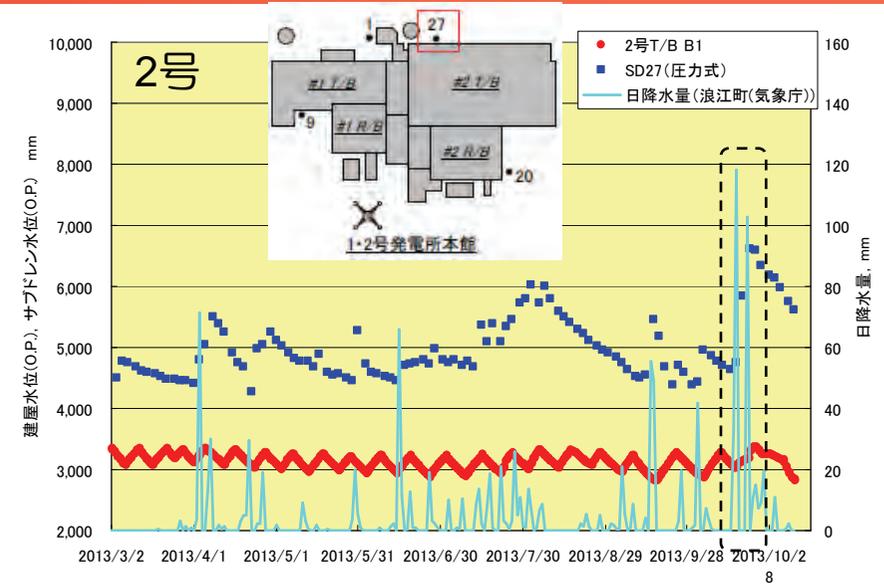
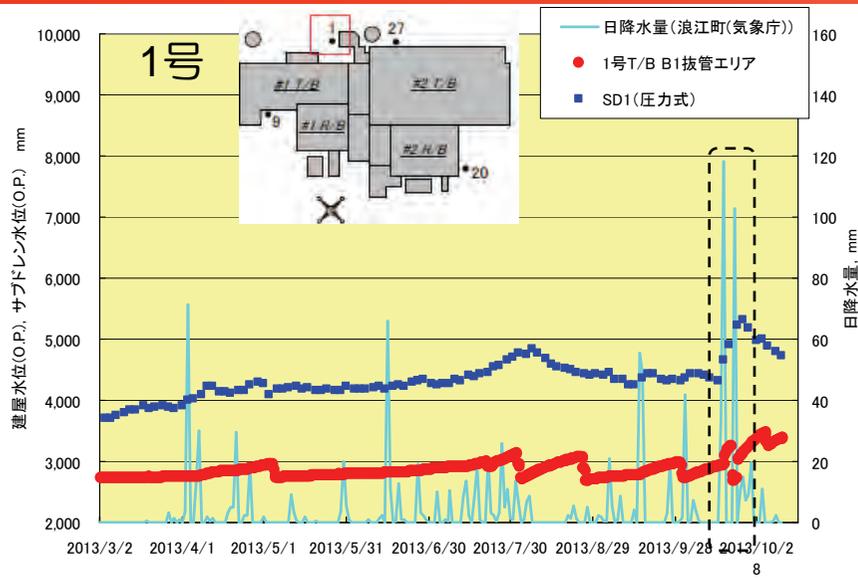
2. 水位管理 (3) <参考> 水位差の設定

凍土壁造成後の水位管理

- 建屋内滞留水水位 (①) < 凍土壁内側の地下水位 (建屋周辺) (②)
 凍土壁内側の地下水位 (②) < 凍土壁外側の地下水位 (海側) (③)



2. (3) <参考>タービン建屋水位と地下水位（実績）（第19回 監視評価検討会再掲）



〔 〕: H25年10月の台風等による降雨

2. 水位管理 (3) 水位差の設定 (周辺地下水－凍土壁・海側遮水壁間)

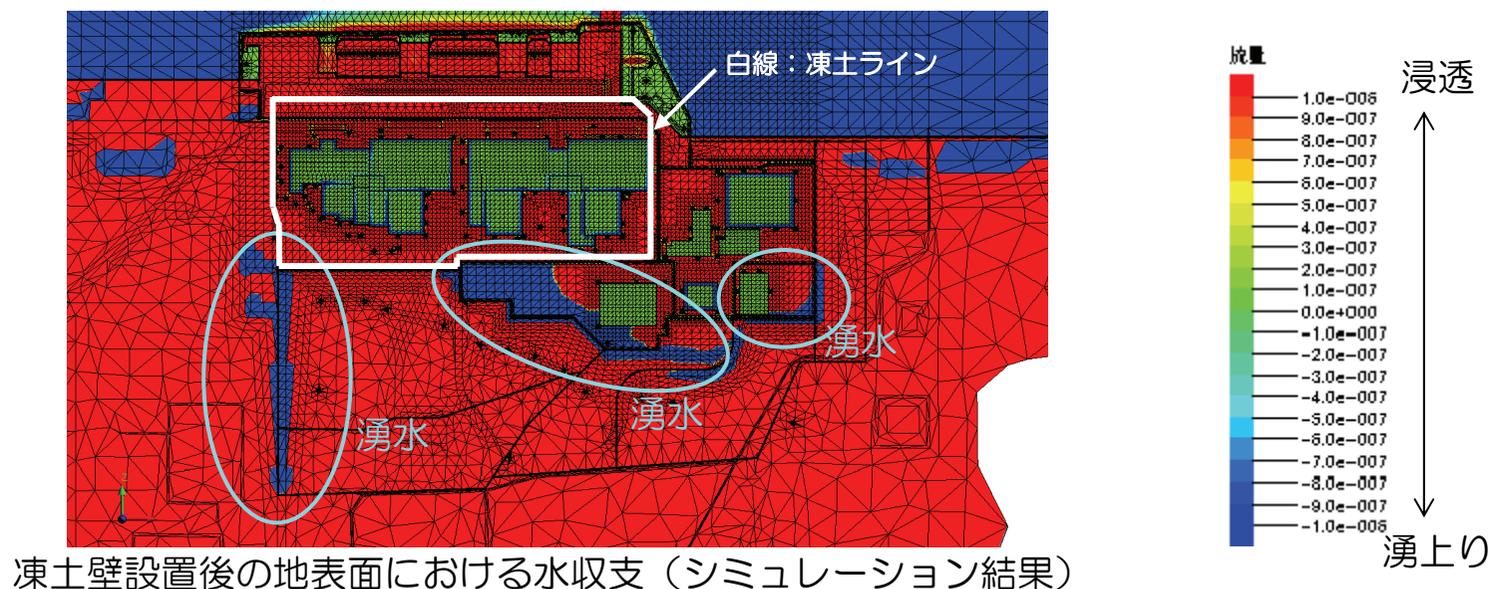
■ 「建屋周辺の地下水の水位 < 凍土壁・海側遮水壁間の水位」について

	概要と根拠
i) 水位差の設定	<ul style="list-style-type: none">・ 万一、凍土壁の海側が損傷した場合の「凍土壁内側の地下水位」の低下を防止するために、凍土壁と海側遮水壁間の水位を建屋周辺の地下水位よりも高めに維持する。
ii) 水位変動の想定	<p>< 降雨等の外的要因 ></p> <ul style="list-style-type: none">・ 降雨によって凍土壁内外とも水位が上昇するため、水位差を考慮する必要がない。 <p>< 機器故障等の内的要因 ></p> <ul style="list-style-type: none">・ 地下水ドレンのポンプについては故障しても水位上昇するだけなので問題はない。 (数日内での修理・交換は可能)
iii) 裕度の維持と制御	<ul style="list-style-type: none">・ 上記理由により、水位差および裕度については、凍土壁近傍の水位計にて確認する。

2. (4) 地下水の越流量評価

山側の凍土方式遮水壁において、地下水の越流に関する評価・検討結果を根拠となるデータとともに示すこと。

- 凍土壁設置に伴い凍土壁山側では地下水位上昇に伴う湧水量の増加が想定され、その増加量については、地下水シミュレーション結果から、凍土壁西側の法面付近で計 $0.003\text{m}^3/\text{s}$ 程度と想定される。
- 一方、当該エリアには湧水が発生し易いことから現状でも構内排水路が設置されており、凍土壁設置に伴う湧水が流入するK排水路の排水処理流量は $2\text{m}^3/\text{s}$ （最小断面）以上あることから、同排水路で処理可能であり、凍土壁において地下水の越流は発生しない。



※解析条件：地下水バイパスは稼働していない。

※解析対象範囲については、「汚染水処理対策委員会報告」のものとは異なる。

3. 運用 (1)各汚染水対策の運用方策 (1 / 3)

(1) 凍土方式遮水壁、海側遮水壁、地下水ドレン（地下水の汲み上げ）、サブドレン（地下水の汲み上げ）、リチャージ（地下への注水）、建屋内汚染水及びフェーシングを組み合わせた運用方策について、その運用開始時期を踏まえ、経時的に示すこと（それぞれの設備でどの順に運用を開始し、その間の水位管理を具体的にどう担保するのか。）。その際、安全確保上不可欠な設備は何があるのか。

<回答>

■主なスケジュール（凍土壁造成開始まで）

時期		項目
凍土壁造成前	平成26年6月	・凍土壁本格施工開始
	平成26年度 上期末頃	・海側遮水壁閉合 ・地下水ドレン稼働開始 ・サブドレン復旧
	平成26年度 下期	・リチャージ現地試験
	平成26年度 下期末頃	・建屋内水位計 追加設置完了 ・移送ポンプ 追加設置完了 ・凍土壁造成開始
凍土壁造成後	平成27年度 上期中	・凍土壁造成完了 ・地下水位低下
	平成27年度 上期以降	・凍土壁内の地下水位一定

※フェーシングについては、ガレキ撤去、地表面線量低減、干渉物撤去、他プロジェクトとの工事調整の状況を踏まえて順次設置

3. 運用 (1)各汚染水対策の運用方策 (2/3)

■凍土壁造成前

【サブドレン】サブドレン復旧後、建屋内への地下水流入低減のため稼働する。

【地下水ドレン】海側遮水壁における地下水越流防止のため稼働する。

■凍土壁造成後

【サブドレン】地下水位低下中は、建屋内外の水位差を小さくして建屋内への地下水流入低減のため、必要に応じて稼働する。

【リチャージ】地下水位を一定水位に維持する場合、建屋内外の水位差を確保するために、必要に応じて稼働する。

【地下水ドレン】稼働にあたっては、凍土壁外側の地下水位（海側）が凍土壁内側（建屋周辺）より低くなる可能性がある場合は、予め停止して水位差を保つ。

■フェーシング

- ・フェーシングは作業環境の改善や地下水流入抑制を目的として、ガレキ撤去、地表面線量低減、干渉物撤去、他プロジェクトの工程との調整等の状況を踏まえて順次実施する予定。

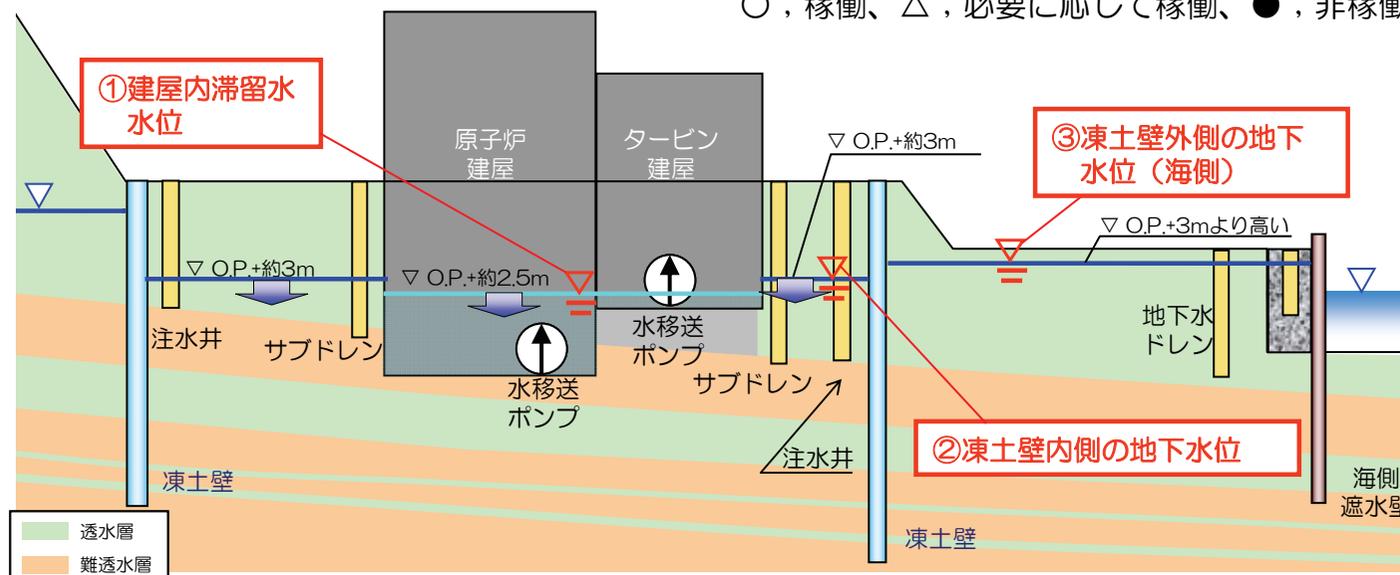
■安全上不可欠な設備

- ・凍土壁は建屋内への地下水流入抑制を目的としており、安全上不可欠な設備ではないが、地下水流入を抑制する上で、比較的重要な設備としては、建屋内滞留水の移送ポンプおよび建屋内、建屋周辺の水位計があり、機能維持のために以下の対策をしている。
 - 建屋内のポンプおよび制御用の水位計、建屋周辺の水位計（サブドレン）はいずれも二重化しており、交換も可能、かつ外部電源停止時には非常用所内電源より供給可能。
 - さらに、建屋内滞留水の水位を一定に維持する期間においては、リスク低減のためにリチャージの機能も備えている。

3. 運用 (1)各汚染水対策の運用方策 (3/3)

			海側遮水壁閉合 サブドレン復旧			凍土壁造成		
	設備	効果	凍土壁造成前	凍土壁維持運用中				
				地下水位低下中	一定水位維持			
建屋内滞留水 水位	移送ポンプ	水位低下	○	○	○			
建屋周り	サブドレン	水位低下	○	△	●			
	リチャージ	水位上昇	—	●	△			
凍土壁外（海側）	地下水ドレン*	水位低下	△	△	△			
水位管理			建屋周り地下水位 > 建屋内滞留水水位	①建屋内滞留水水位 < ②凍土壁内側の地下水水位（建屋周辺） ②凍土壁内側の地下水水位（建屋周辺） < ③凍土壁外の地下水水位（海側）				

○；稼働、△；必要に応じて稼働、●；非稼働、—；設備なし



3. 運用 (2)地下水ドレン・サブドレンの汲上げ地下水の処理

(2) 地下水ドレン及びサブドレンにより汲み上げた地下水の処理方法、処理済水の扱いを具体的に示すこと。【審査の視点1. ⑥】

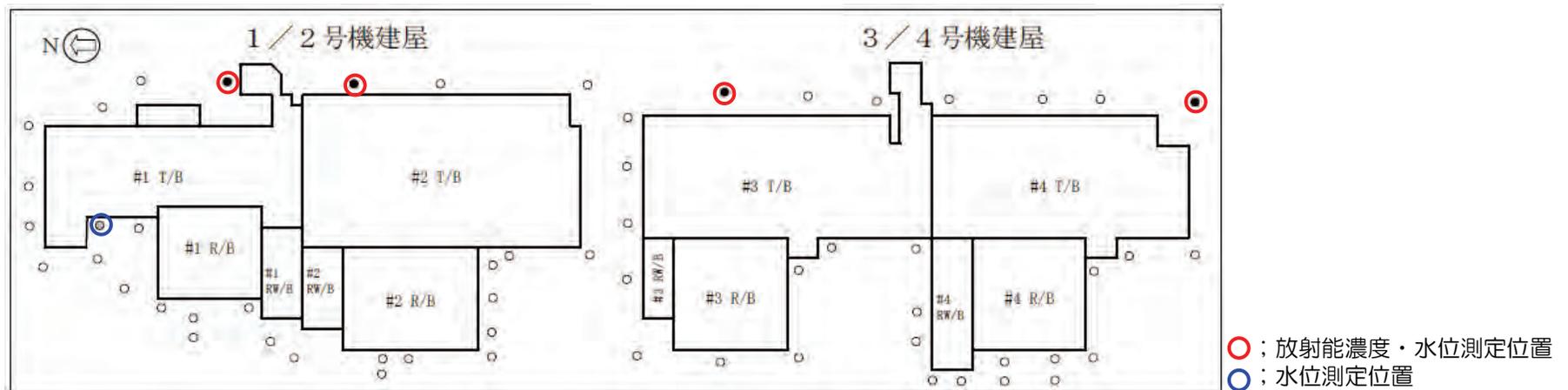
<回答>

- 地下水ドレン及びサブドレンにより汲み上げた地下水は、現在実施計画申請中の「サブドレン他水処理施設」で処理する予定。

3. 運用 (3) 建屋周辺の地下水の監視について

■ 建屋周辺の地下水に含まれる放射性物質の計測について具体的な方策（計測頻度、サンプリングポイント等）を示し、それが監視（局所的な漏えいに対する監視を含む。）を行う上で十分であることを示すこと。【審査の視点1. ②】

- 建屋滞留水の漏えいについては、建屋滞留水水位が建屋周辺地下水位（サブドレン水位）より低いことを確認することで、監視することとしている。
- 局所的な漏えいに対しては、今後、建屋内滞留水位及び建屋周辺地下水位（サブドレン水位）の測定位置及び頻度の増加により監視精度を高める。
- 建屋周辺の地下水の放射性物質濃度は、現状、建屋海側の地下水位が低いことから、建屋海側でサブドレン水の放射性物質濃度を1週間に1回測定している（実施計画（H25.8.14認可）より抜粋）。
- 今後、凍土壁造成に伴い、凍土壁内の地下水位が均一化していくことから、建屋海側と同様に建屋山側においても放射性物質濃度の測定を実施する（詳細は今後検討）。

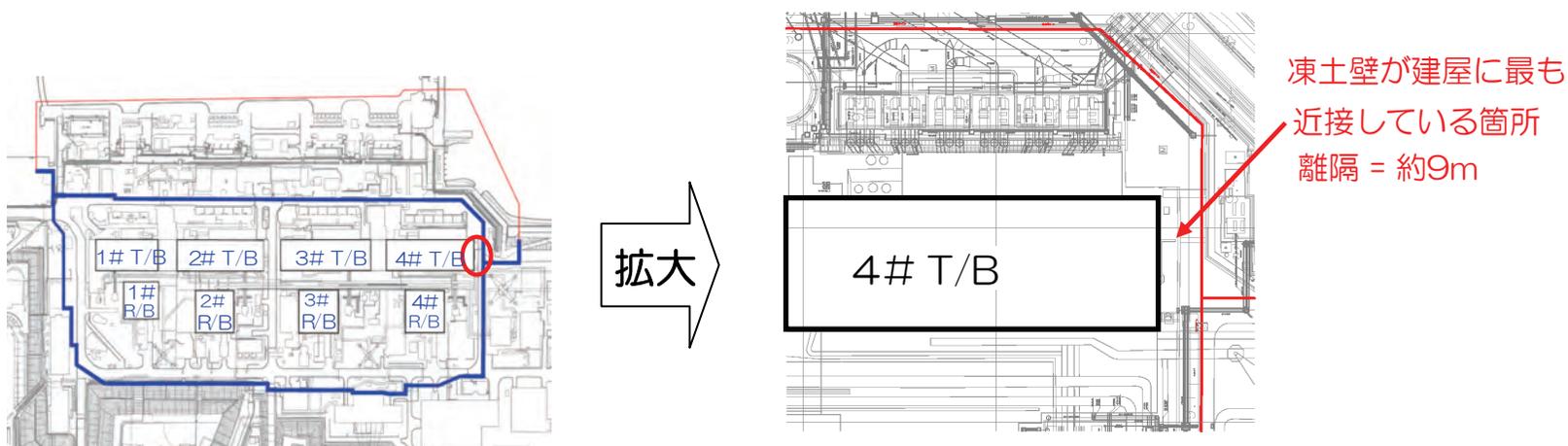


現状の放射能濃度・水位測定位置図

3. 運用 (4)凍上の影響

凍上の発生により他の設備へ悪影響を及ぼすことがないことを根拠となるデータとともに示すこと。

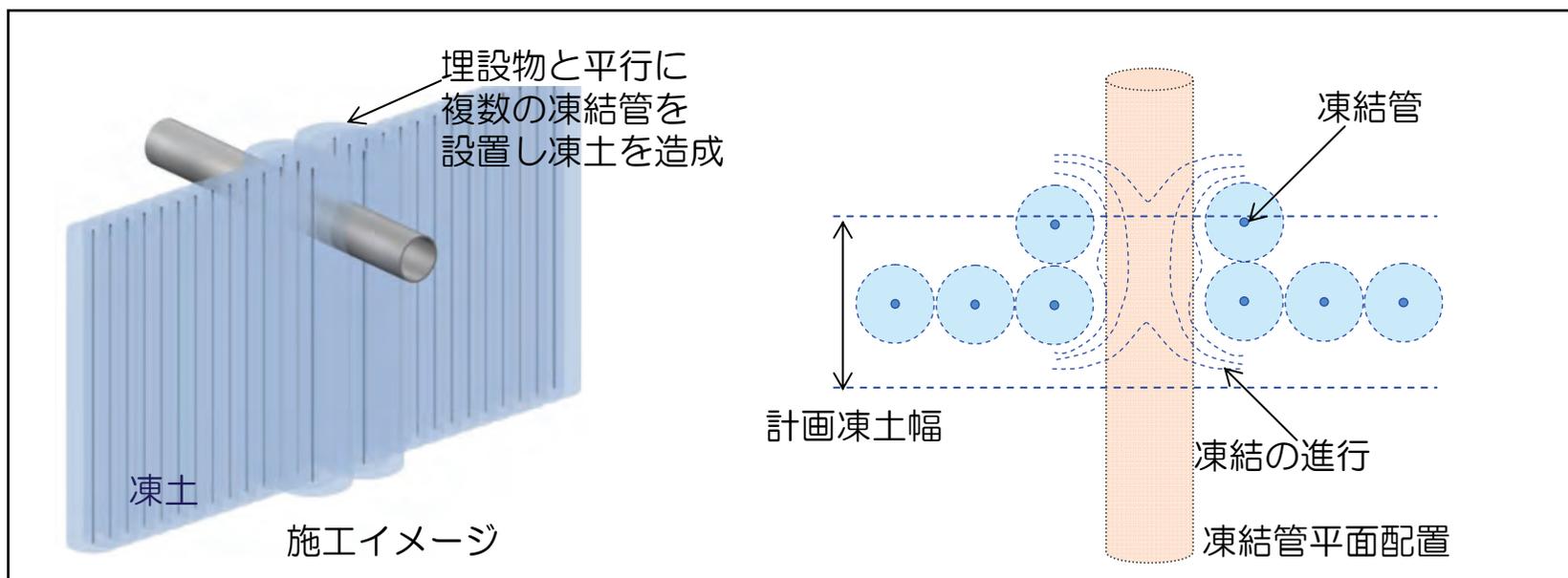
- ・ 建屋と凍土ラインとの離隔は最小約9m(4号機南側)で、建屋への凍結膨張による影響は小さいと考えられる。
ただし、当該箇所においては、変形等をモニタリングし、有意な変形の有無を確認し、必要に応じ対策を実施する。



建屋と凍土ラインの最短離隔

3. 運用 (5) 汚染水を内包している埋設物等への対応①

- 凍土方式遮水壁の設置工事に際し、タービン建屋等に接続または近接している構造物（1号及び4号の海側トレンチを含む。）であって汚染水を内包しているもの、他の目的に使用されているものに対して掘削や凍結膨張等による影響をどう評価したか、データとともに示すこと。【審査の視点4.】
- 現在、埋設物や他目的に使用されているライン（電源ケーブル、通信ケーブル、水移送配管等）については、試掘を含め現地状況を確認している状況であり、凍結管設置に際して干渉する場合には当該設備の移動や凍結管設置位置の微調整等を実施することとしている。
- 埋設物に汚染物が内包されている場合には、以下の対応で削孔並びに凍結膨張による汚染水の漏えいを防止する計画としている。
 - ・ 複列施工
 - ・ マルチステップボーリング（実証試験にて成立性を確認済み）及び埋設物内部の間詰め充填



複列施工の概要

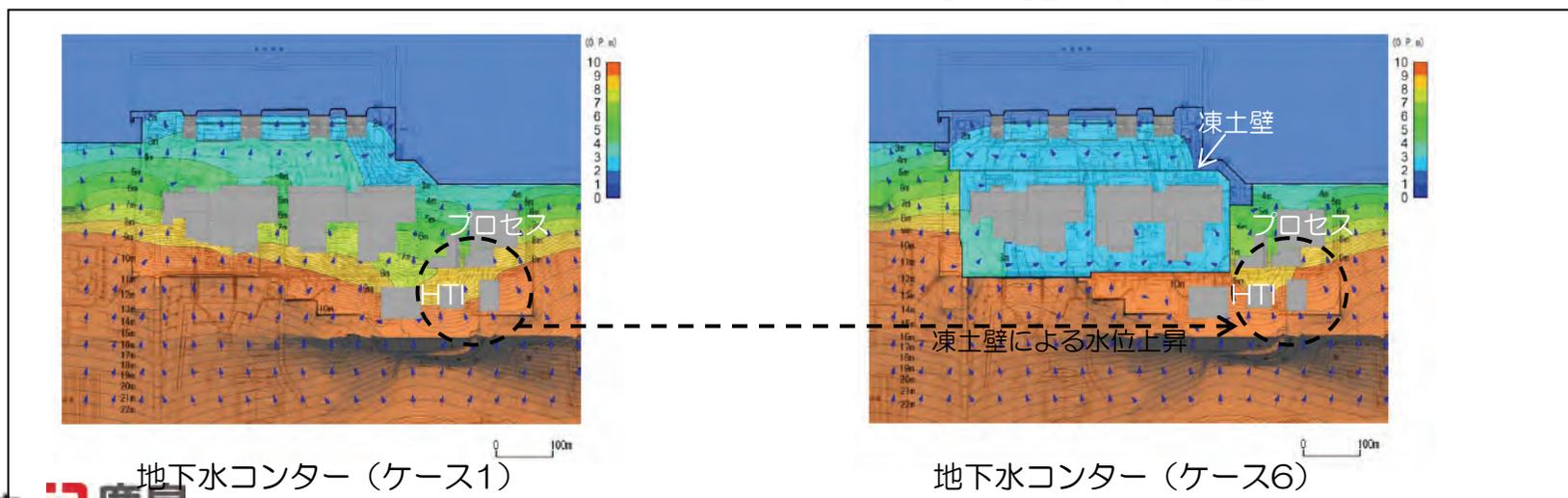
3. 運用 (6) 凍土壁外にある建屋の滞留水への影響

凍土方式遮水壁外にある建屋（特に、プロセス主建屋、サイドバンカー建屋、焼却工作建屋、高温焼却炉建屋）への影響（特に内包する滞留水への影響）について、根拠となるデータとともに示すこと。

- 凍土壁を考慮した場合には、プロセス主建屋・高温焼却炉建屋への地下水流入量が10トン/日程度増加する可能性があるものの、合計量は低減しており、全体としての地下水流入抑制効果大きい。
（凍土壁造成後のプロセス主建屋・高温焼却炉建屋周辺の水位上昇は概ね0.5～1m程度）
- 高温焼却炉建屋については、建屋止水対策を実施中。

ケース	対策工					建屋流入量（トン/日）		
	4m盤対策 （ガラス固化壁、ウエルポイント）	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 （凍土壁）	合計	1～4号機建屋	プロセス主建屋、高温焼却炉建屋
1	●					410	320	90
6	●				●	130	30	100

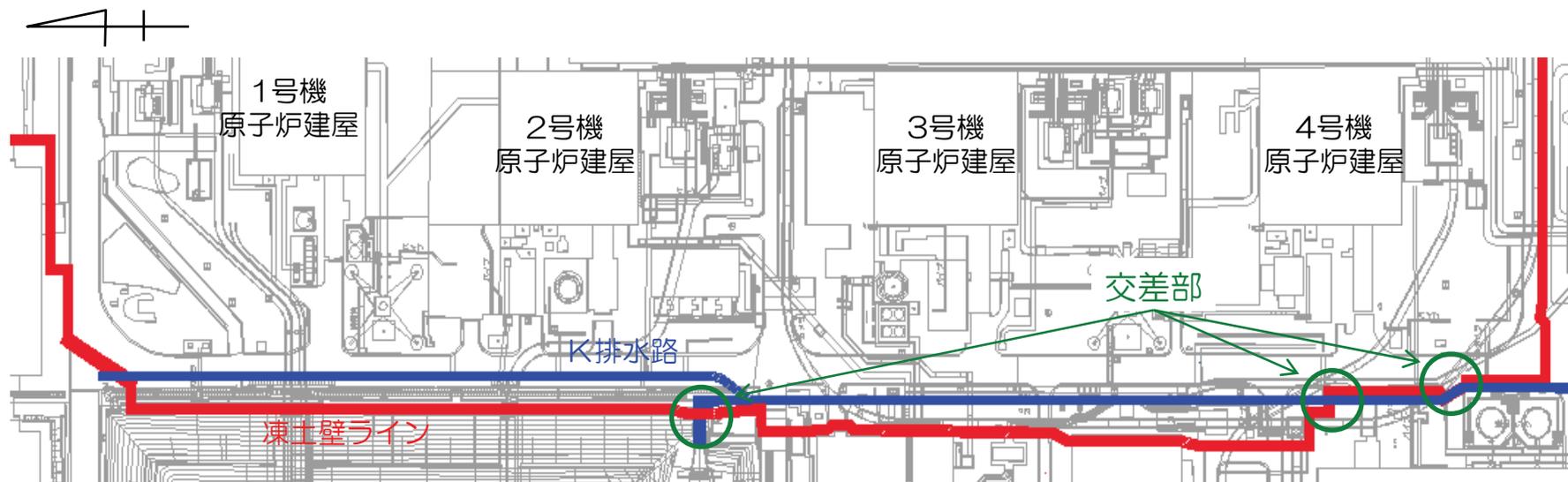
※ 汚染水処理対策委員会報告書（H25.12）より抜粋、一部、加筆



3. 運用 (7)凍土の設置による排水路への影響

凍土の設置による排水路（特に、K排水路）への影響に関する評価・検討結果を根拠となるデータとともに示すこと。

K排水路と凍土壁との交差部においては、K排水路の排水処理流量を確保し、凍結防止対策を実施することで影響を与えないよう対策を実施する。



K排水路・凍土壁ラインの交差位置図

3. 運用 (8)凍土壁の完了要件と解凍した場合の影響評価

凍土方式遮水壁を完了させるにあたっての要件は何か。
凍土方式遮水壁を解凍した場合の影響評価について根拠となるデータとともに示すこと。

■ 完了要件

- 凍土壁の完了要件は、建屋内止水処理の完了である。

■ 完了要件に至る前に凍土壁を解凍した場合の影響

- 凍土壁を解凍した場合、建屋周辺の地下水位は上昇傾向を示すことが想定され、建屋滞留水の漏えい等、安全機能を損なう事象は発生しない。
- 但し、建屋への地下水抑制効果が無くなることが懸念されるが、重層的な対策として「地下水バイパス」「サブドレン復旧・稼働」を行う。

3. 運用 (9)凍土壁融解時の地盤の性状変化等

凍土方式遮水壁が終了した場合、凍土方式遮水壁の融解により地盤の性状変化等により不具合は生じないか、評価・検討結果を根拠となるデータとともに示すこと。

- 地層は、砂岩と泥岩で構成されている
- 砂岩（中粒砂岩、互層部砂岩、細粒砂岩、粗粒砂岩）は、透水係数が高く、凍結過程で間隙水が抜けていくため、地質構造の変化が起こりにくく、凍結前と融解後では、地盤性状は変化しない
「砂質土や砂礫では単純凍結が卓越し、また透水係数が高いため土構造の変化が起こり難い」（地盤工学会：土の凍結-その理論と実際、1994、pp.152-153）
- 泥岩は、アイスレンズ※の発生は否定できないが、アイスレンズが発生しても巨視的には連続性がほぼないため、透水性などの地盤性状の変化による不具合は生じない。
「トンネル掘削防護では、このような水みちから掘削面への湧水は観察されていない。この理由としてアイスレンズは連続しないことなどが挙げられる」
（日本雪氷学会凍土分科会：凍土の知識-人工凍土壁の技術-、雪氷、Vol.76-2、pp.179-192、2014）

※土が凍るときに間隙水が凍結面に移動してできたとびとびのレンズ状の氷の層をいう
（日本建設機械化協会：地盤凍結工法 - 計画・設計から施工まで -）

4.異常時 (1)異常時の影響評価 (1/2)

以下の異常が発生した場合の影響評価（時間的余裕の評価を含む。）およびその対応策について、具体的に示すこと【審査の視点1. ④/⑤、2. ②】

異常事象	影響評価（時間的余裕の評価を含む）	具体的な対応策
a)凍土方式遮水壁の機能が喪失	<ul style="list-style-type: none"> ・凍土壁が融解した場合においても、建屋周辺の水位は上昇傾向を示し、建屋滞留水漏えいリスクは生じない。（凍土造成前の状態に戻る。但し、凍土壁融解には2ヶ月程度かかる。） ・建屋内地下水流入量が増加する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚染水増加を抑えるために、凍土壁の遮水機能を復旧する。
b)-1 冷媒（冷凍機冷媒）の漏洩	<ul style="list-style-type: none"> ・冷媒は代替フロンで不燃性、化学的に安定。 ・漏えいを起こした冷凍機の機能低下あるいは機能停止。（維持運転においては冷凍機は30台のうち15台程度の稼働となる想定であり1台の機能停止しても代替機の稼働が可能。） 	<ul style="list-style-type: none"> ・漏えいを起こした場合には自動で停止する制御となっている。（高圧ガス保安法上の冷媒漏えい対策） ・漏えいを起こした冷凍機の修理あるいは使用停止措置（冷媒抜き取り含む）等の必要な措置を行う。
b)-2 冷媒（ブライン）の漏洩	<ul style="list-style-type: none"> ・ブラインは“塩化カルシウム水溶液”であり、環境影響等は生じない。 ・凍土造成後は凍結管が破損しても、ブラインは地中に漏えいせず管内に留まる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブライン漏えいを検知し、ブライン送液の停止。 ・速やかに漏えい箇所を修理し、凍結運転を再開。
c)リチャージ設備の故障・停止	<ul style="list-style-type: none"> ・建屋周辺の地下水位の低下が生じ、建屋との水位差が小さくなる。 ・想定される水位低下速度15mm/日程度以下。 	<ul style="list-style-type: none"> ・電源異常による停止⇒電源の復旧および注水井バルブの手動操作。 ・注水処理（ろ過）プラント故障⇒故障中は1系統で運用、故障機は修理等で復旧。プラントは冗長化のため2系統設置。） ・配管破損等⇒各井戸への手動注水 等の機動的対応を実施。

4.異常時 (1)異常時の影響評価 (2/2)

異常事象	影響評価（時間的余裕の評価を含む）	具体的な対応策
d) 建屋内汚染水の移送停止	<p>【現状と同様】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 建屋内滞留水の水位上昇が生じ、建屋周辺水位との水位差が小さくなる。（凍土造成後は地下水流入の抑制に伴い水位上昇リスクが減少する。） 	<p>【現状と同様】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 速やかに移送停止の原因（停電・ポンプ故障等）を取り除き復旧する。 ・ 原因が『処理設備の停止』あるいは『タンク建設上のトラブル』等の場合、“緊急時滞留水移送先”（バッファ容量）で対応する。（数十日分の移送量は確保している。）
e) 電源供給の停止	<p>電源が停止した場合、凍結プラントの停止により、凍土壁の融解が始まる。（但し、遮水機能喪失までの時間は2ヶ月程度かかる。）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 速やかに原因箇所を特定・対処し、電源供給を再開する。（凍結プラントの電源は冗長化（冷凍機15台毎に別系統より受電）されており、電源設備の受電状況については、免震重要棟で監視出来る。）
f) 建屋周辺、凍土方式遮水壁と海側遮水壁間の地下水位が想定を上回る変動	<p><地下水位上昇></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 建屋滞留水漏えいリスクは生じない。 <p><地下水位低下></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 建屋との水位差が小さくなり、逆転のリスクが高まる。（ただし、水位低下は緩慢である。） 	<p><地下水位上昇>—</p> <p><地下水位低下></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ “建屋水位がサブドレン水位を上回っていないこと”を確認する。（実施計画 Ⅲ.1.4 第26条記載） ・ 建屋の滞留水の移送量を増やす。

4. (1) <参考>リチャージ設備の故障・停止時の地下水位低下速度

ケース	建屋滞留水水位	建屋周辺地下水位 (初期)	リチャージ注水	注水量 (L/分/本)	注水総量 (m ³ /日)	降雨浸透 (mm/日)
1	O.P. +3 m	O.P. +3.5 m	非稼働	0	0	0
2						0.5

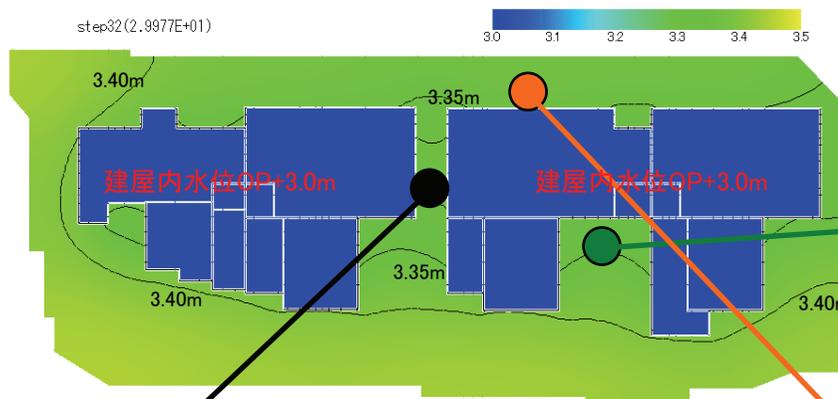
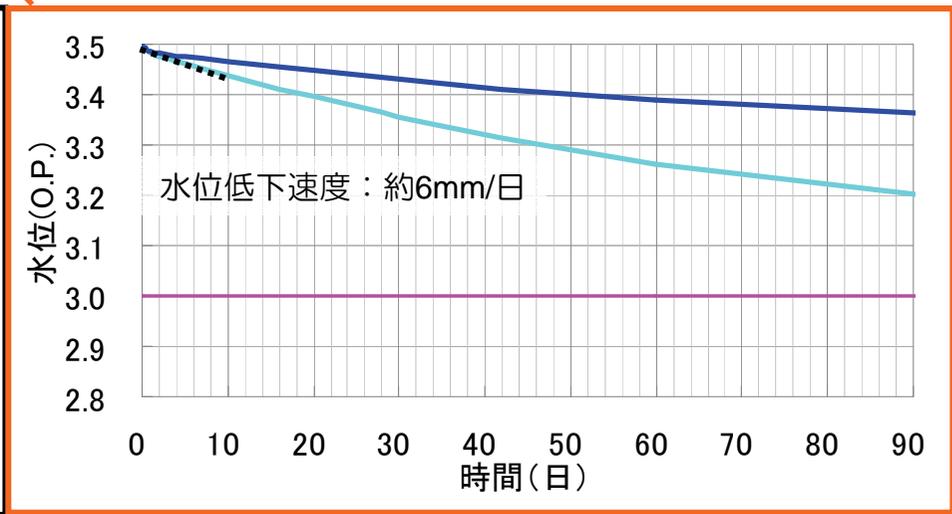
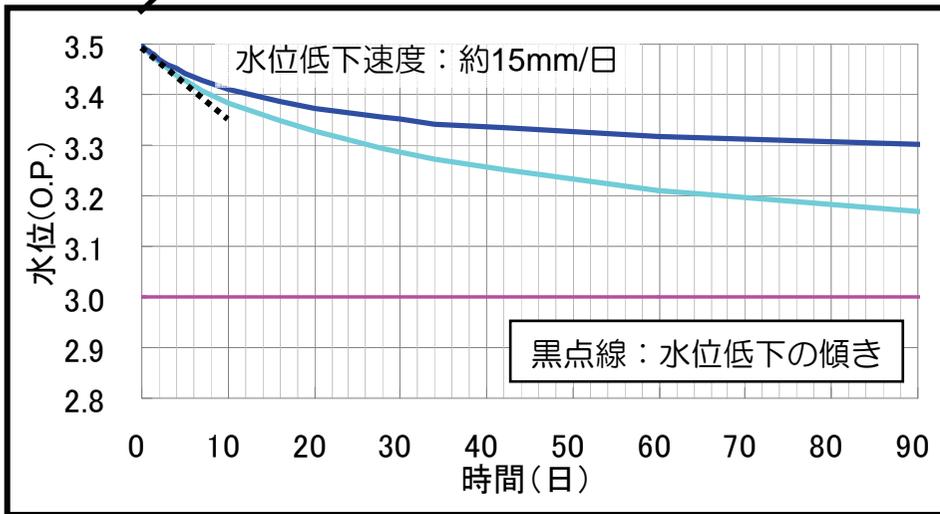
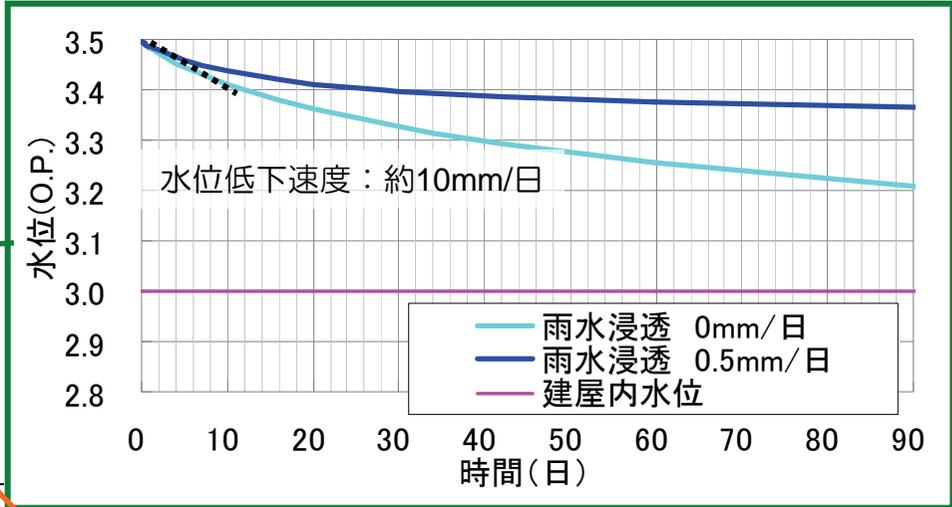


図 水位コンター（初期O.P.+3.5m、停止後30日）



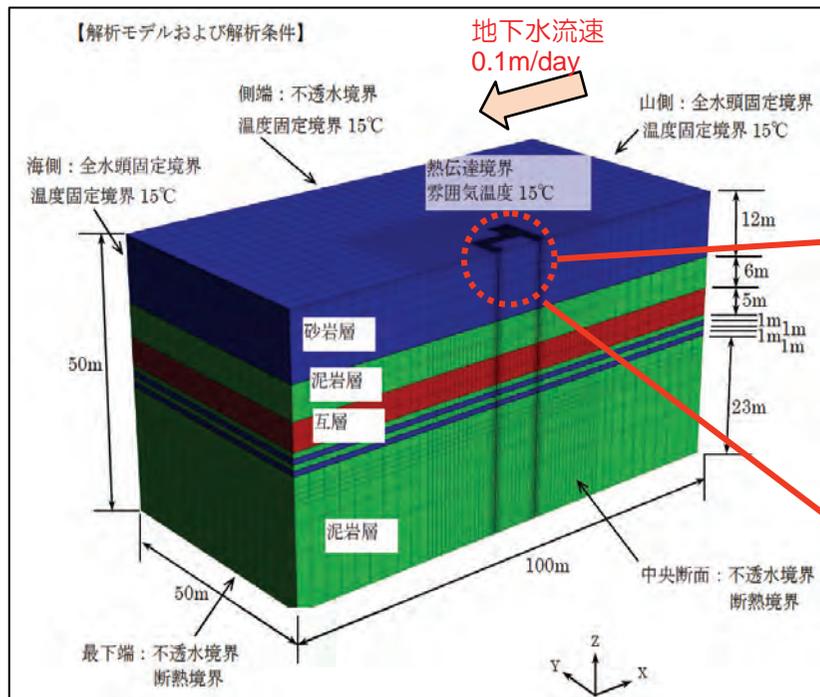
水位差0.5m確保した状態から、リチャージが停止した場合、初期の水位低下速度は約15mm/日以下。建屋との水位差が小さくなるに従って、水位低下速度は低下する。

4. (1) <参考> 凍土壁融解までの時間 —解析による評価—

解析内容：

冷凍機のライン温度を -30°C に設定して凍土壁を造成し、30日後に冷凍機を停止して、造成した凍土が融解する時間を想定した。

解析モデル

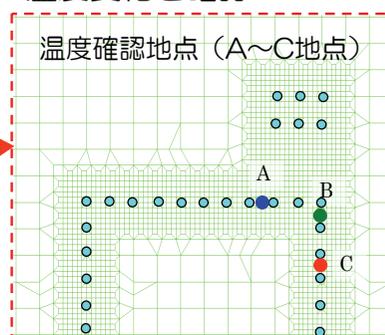


解析用 地盤物性

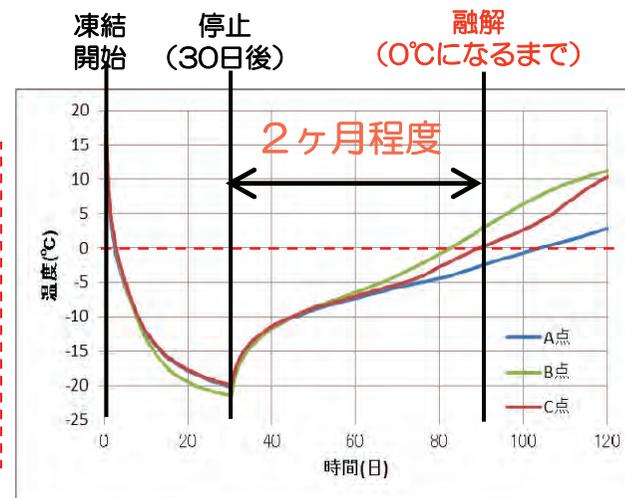
地層	透水係数(cm/s)	比貯留係数(cm^{-1})
砂岩	3.0×10^{-3}	2.9×10^{-6}
泥岩	1.1×10^{-6}	4.5×10^{-7}
互層	(水平) 1.0×10^{-3} , (鉛直) 1.1×10^{-6}	5.8×10^{-7}

解析結果

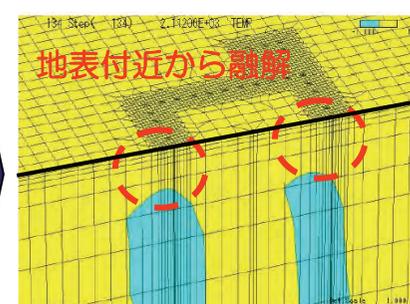
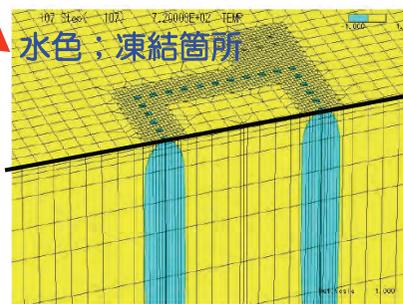
凍結管の間の地点で
温度変化を確認



解析コード・解析対象範囲は、「汚染水処理対策委員会報告」のものとは異なる。



(地表面から2mの深さの温度変化)

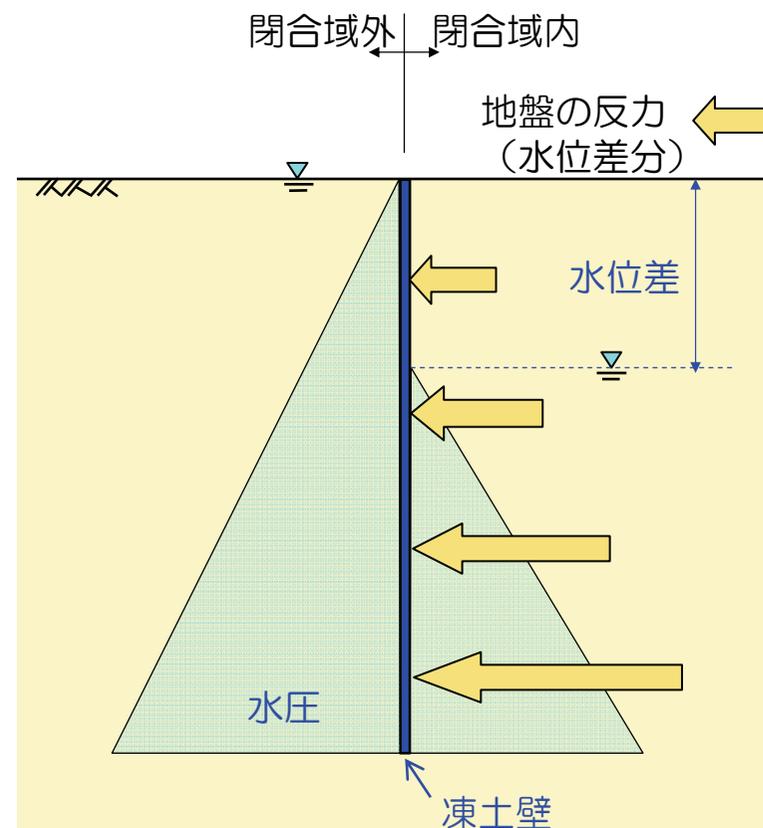


電源喪失等で冷凍機が停止した場合は、地表面温度に関わらず2ヶ月程度かけて序々に凍土壁が融解していくものと想定される

5. 設備の信頼性 (1)水位差による凍土の安定性

水圧や凍結による地盤の膨張圧による長期の荷重等に対しての流動、特に地下水の圧力が大きくなると思われる深部の凍土方式遮水壁のクリープ変形による凍結管等への影響はないか、評価・検討結果を根拠となるデータとともに示すこと。また、運用開始後は、凍土方式遮水壁の絶対変形量や凍土方式遮水壁の形成領域のモニタリング等が必要と考えるが行う予定はあるか。

- クリープとは、以下のとおり
「一定応力のもとで、時間と共に歪みが徐々に増大する現象」
(資源・素材学会誌：岩石のクリープ 大久保誠介)
- 本計画では、凍土内外で水位差が生じ
そのために凍土の外側から内側に
力が生じるが、その力分を地盤が反力と
して負担するため、有意な応力差が生じず、
クリープは発生しにくい。
したがって凍結管への影響はない。(右図)
- 凍土壁と建屋の距離が最も近接する
箇所(4号機南側で約9m)では、
地表面の変形の状況を確認していく。

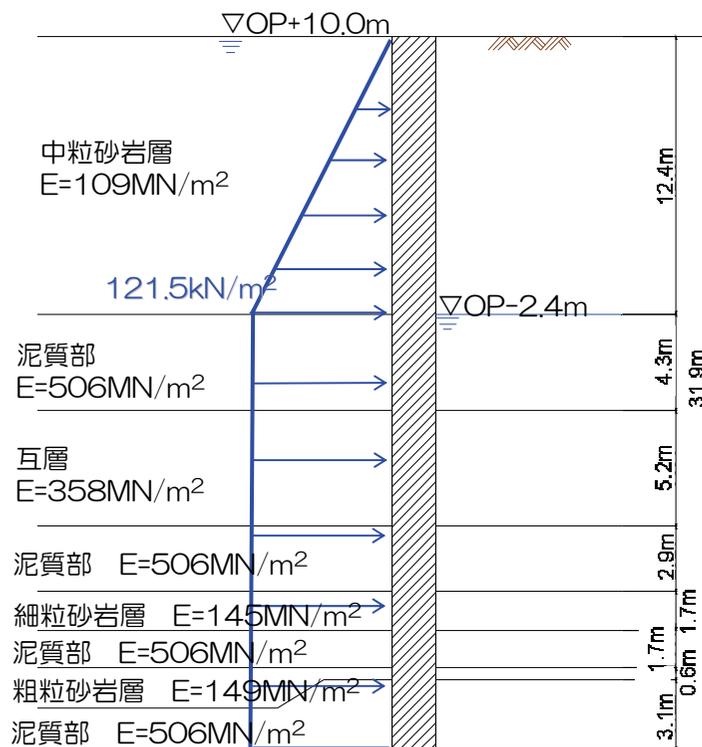


5. 設備の信頼性 (1) <参考> 水圧差による凍土壁の安定性

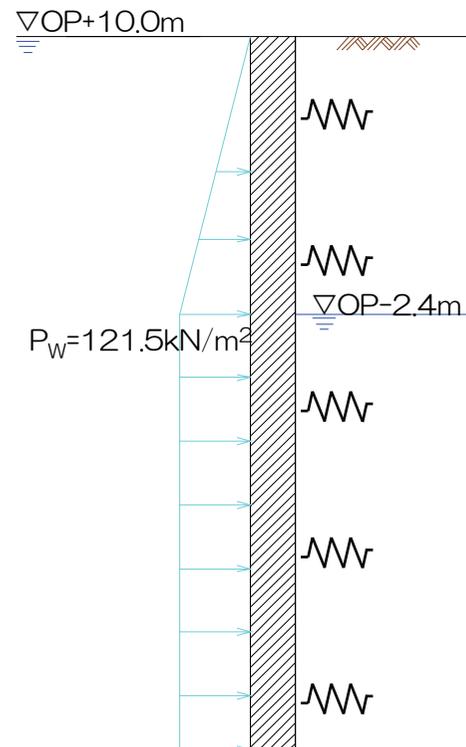
凍土壁内外の水位差が凍土壁に作用するとして、凍土壁の安定性を確認する。

【検討条件】

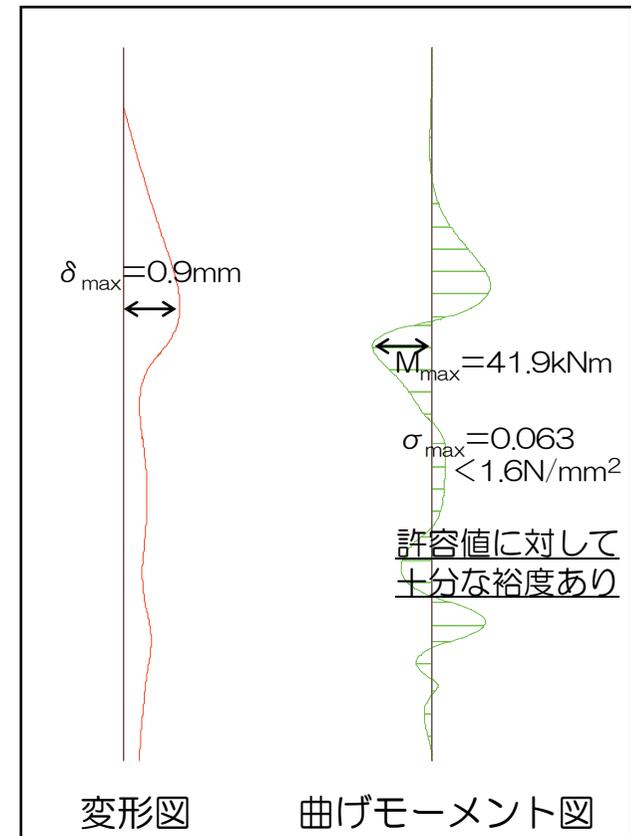
- ・ 検討断面；山側凍土壁（中粒砂岩層厚が比較的大きい断面を選定）
- ・ 荷重条件；凍土壁外側水位（地表面）と凍土壁内側（中粒砂岩層下端）の水位差
- ・ 物性値；「福島第一原子力発電所 設置許可申請書」及び「地盤凍結工法における設計・施工及び新技術」（株精研、H17）より設定



土層構成（凍土厚：2.0m）



解析モデル（荷重条件）



解析結果

5. 設備の信頼性 (2)監視機能およびその信頼性の維持について

水位を計測監視する機器の単一故障の発生時や外部電源の停止時における監視機能および信頼性の維持について、建物内の汚染水水位および建屋周辺の地下水位の常時監視を維持するための具体的な方策を示すこと。【審査の視点 2. ①】

■ 建屋内水位について

- 単一故障発生に対する対応

：水位制御用の水位計は多重化を行う。

- 外部電源の停止時における監視機能および信頼性の維持

：水位制御用の水位計は、外部電源停止時には非常用所内電源より供給可能

■ 建屋周辺の地下水位について

- 単一故障発生に対する対応

：サブドレンピット内水位計は多重化を行う。

- 外部電源の停止時における監視機能および信頼性の維持

：水位制御用の水位計は、外部電源停止時には非常用所内電源より供給可能

5. 設備の信頼性 (3)システム全体の経年劣化に対する検査・保守管理の方策(1/2)

(3) 水位計、凍土方式遮水壁（冷凍管を含む。）、冷凍機、リチャージ装置、制御系、電源系等凍土方式遮水壁を構成するシステム全体の経年劣化に対する検査及び保守管理の方策について、具体的に示すこと。【審査の視点1. ⑧】

- ・点検頻度・項目等は冷凍保安規定、日本産業機械工業会規定等に基づく。

機能	設備		長期運用の影響	維持活動	
				点検・メンテナンス	事後対応
凍土壁造成・維持	ブライン配管	凍結管（地下部）	・腐食 ・劣化による損傷	・モニタリング（日常） ・凍結管頭部外観点検（定期）	漏えいの有無 温度 ・交換、新設
		移送配管	・腐食 ・劣化による損傷	・モニタリング（日常） ・外観点検（定期）	漏えいの有無 温度 ・補修、交換
	冷凍機・冷却塔・ブラインポンプ		・故障・機能低下	[圧縮機・電動機等] ・動作状況の確認 ・日常点検 ・定期点検	温度・圧力等 ・補修、交換
リチャージ機能	注水井	井戸本体	・目詰まりによる性能低下	・モニタリング（稼働時） ・井戸内の逆洗浄（定期）	注水量 ・井戸の新設
		逆洗浄ポンプ	・故障、機能低下	・モニタリング（逆洗浄時） ・日常点検 ・定期点検	揚水量 ・補修、交換

5. 設備の信頼性 (3) システム全体の経年劣化に対する検査・保守管理の方策(2/2)

機能	設備		長期運用の影響	維持活動	
				点検・メンテナンス	事後対応
給水設備	冷凍機 リチャージ 共通	注水処理設備 (ろ過等)	<ul style="list-style-type: none"> 目詰まりによる性能低下 腐食 劣化による損傷 	[ポンプ] ・日常点検 ・定期点検	<ul style="list-style-type: none"> 補修、交換
				[ろ過材] ・ろ過材の洗浄・交換等 (目詰まり程度により実施)	
		給水ポンプ、 配管	<ul style="list-style-type: none"> 故障、機能低下 	<ul style="list-style-type: none"> 日常点検 定期点検 	<ul style="list-style-type: none"> 補修、交換
	リチャージ	脱酸素装置	<ul style="list-style-type: none"> 故障、機能低下 	<ul style="list-style-type: none"> 日常点検 定期点検 	<ul style="list-style-type: none"> 補修、交換
監視機能	水位計、温度計、流量計、 傾斜計		<ul style="list-style-type: none"> 故障、機能低下 	・定期点検 ……測定値ドリフト確認など	<ul style="list-style-type: none"> 補修、交換
制御系	監視モニタ、制御盤、等		<ul style="list-style-type: none"> 故障、機能低下 	<ul style="list-style-type: none"> 定期点検 	<ul style="list-style-type: none"> 補修、交換
電気系	電源盤、電動機等		<ul style="list-style-type: none"> 故障、機能低下 	<ul style="list-style-type: none"> 定期点検 	<ul style="list-style-type: none"> 補修、交換

<参考>5. 設備の信頼性 (3) 凍結管の交換性能

■凍結管の交換性能

- ・凍結管は容易に抜き差しが可能な三重構造（左下図は基本仕様のイメージ）。
- ・万が一、凍結管に不具合が生じた場合においても、二重管を交換することで使用可能。

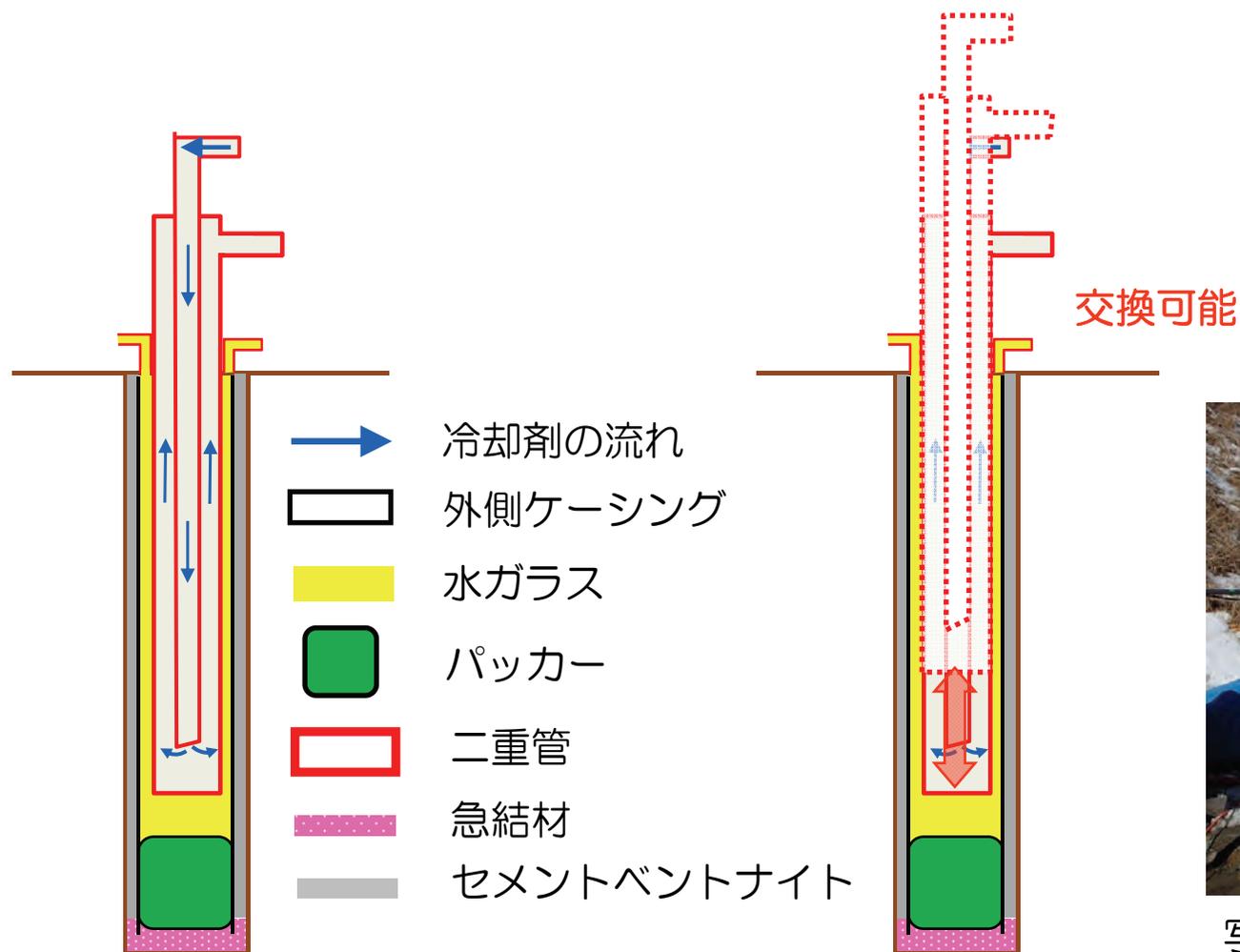
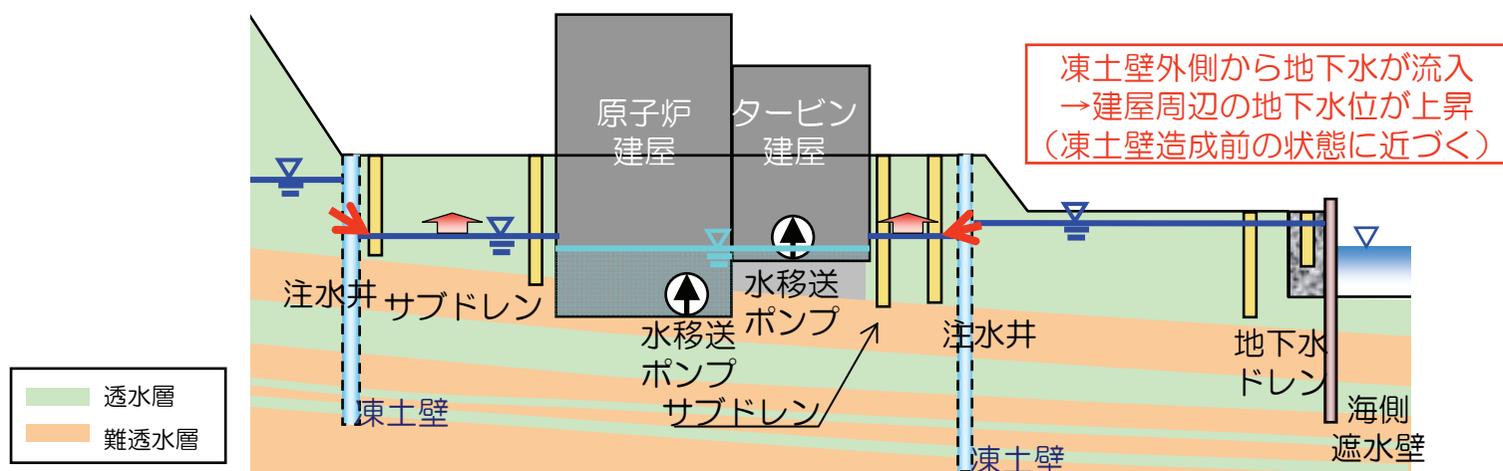


写真 凍結管交換作業イメージ

6. (1) 自然現象（降雨、竜巻、地震、津波等）に対する設計上の考慮について①

- a) 自然現象による地下水の変動等、凍土方式遮水壁の安定性を脅かす外的な要因に対しての具体的な方策及びその安定性が損なわれた場合の対処方法（その際の冷凍設備の機能障害を含む。）について具体的に示すこと。
また、原子炉建屋の凍土方式遮水壁外側で湧水が生じることで、周辺施設や地盤等に支障を生じることはないかを示すこと（→後段は次頁参照）。
 - b) 想定する自然現象（地震動及び津波）に対しても建屋内の汚染水の漏えいを防止するための方策を示し、漏えいの防止をどのように維持するのか、具体的に示すこと。【審査の視点1. ⑦】
- 冷凍設備や電源供給設備等主要設備は、35m盤の屋内に設置する。
 - 屋外に設置する配管等は、仮に自然現象に起因する外的な影響により損傷を受けた場合であっても、凍土壁が自然解凍するまでの期間（2ヶ月程度以上）に復旧可能。
 - なお、仮に各種設備の復旧に上記以上の期間を必要とし、凍土が融解した場合においても、建屋周辺の水位は上昇傾向を示すものと想定され、建屋滞留水漏えいリスクは生じない（凍土造成前の状態に近づく）。
 - 滞留水が滞留する建屋については、別途、本震津波（3.11津波相当）に対する建屋滞留水流出防止対策（外壁開口部の閉止、床開口部の閉塞）を実施中。



6. (1) 自然現象（降雨、竜巻、地震、津波等）に対する設計上の考慮について②

- また、原子炉建屋の凍土方式遮水壁外側で湧水が生じることで、周辺施設や地盤等に支障を生じることはないかを示すこと。
- 凍土壁設置に伴い凍土壁山側では地下水位上昇に伴う湧水量の増加が想定され、その増加量については、地下水シミュレーション結果から、凍土壁西側の法面付近で計 $0.003\text{m}^3/\text{s}$ 程度と想定される。
- 一方、当該エリアには湧水が発生し易いことから現状でも構内排水路が設置されており、凍土壁設置に伴う湧水が流入するK排水路の排水処理流量は $2\text{m}^3/\text{s}$ （最小断面）以上あることから、同排水路で処理可能であり、周辺施設や地盤等に影響を与えない。

6. 自然現象等に対する考慮 (2) 外部人為事象への対応

■ 「外部人為事象に対する設計上の考慮」について、どのような検討がなされたか示すこと。

■ 外部人為事象に対する設計上の考慮については、発電所全体の対応に従う。（実施計画Ⅱ-1-14（3））

凍土壁関連の個別対応として考えられるのは以下の通り。

- 必要に応じ、建屋・制御盤等の施錠を行うことで、関係者以外の立ち入り・操作を制限する。
- 凍結プラント稼働状況やブラインポンプの稼働状況等について、遠隔監視することで、不正操作の有無を速やかに検知する。

6. 自然現象等に対する考慮 (3)火災に対する設計上の考慮

「火災に対する設計上の考慮」について、どのような検討がなされたかを示すこと。また冷媒の化学的特性を踏まえた性質を示すこと。

■ 火災に対する設計上の考慮について

- 火災に対する設計上の考慮については、発電所全体の対応に従う。（実施計画 Ⅲ.3.1.2参照）
- なお、個別対象毎の対応については下記の通り

対象	対応	関連準拠法令
凍結プラント建屋	大型消火器・自動火災報知器設置 主要構造物不燃材料 等	消防法（およびその関連法令） 建築基準法
冷凍機（潤滑油）	冷凍保安規則上の「火災」に関する記載（火気からの離隔・消火器設置 等）に従う。	高圧ガス保安法 冷凍保安規則
冷凍機（冷媒）	冷媒は不燃性。火災時の高温で冷媒圧力が上がった場合には安全弁が作動（爆発はしない。）	高圧ガス保安法 冷凍保安規則
ケーブル・電源盤・配管等の材料	不燃性・難燃性の材料の使用を基本 初期消火のため近傍に消化器を設置	—

■ 冷媒の化学的特性を踏まえた性質

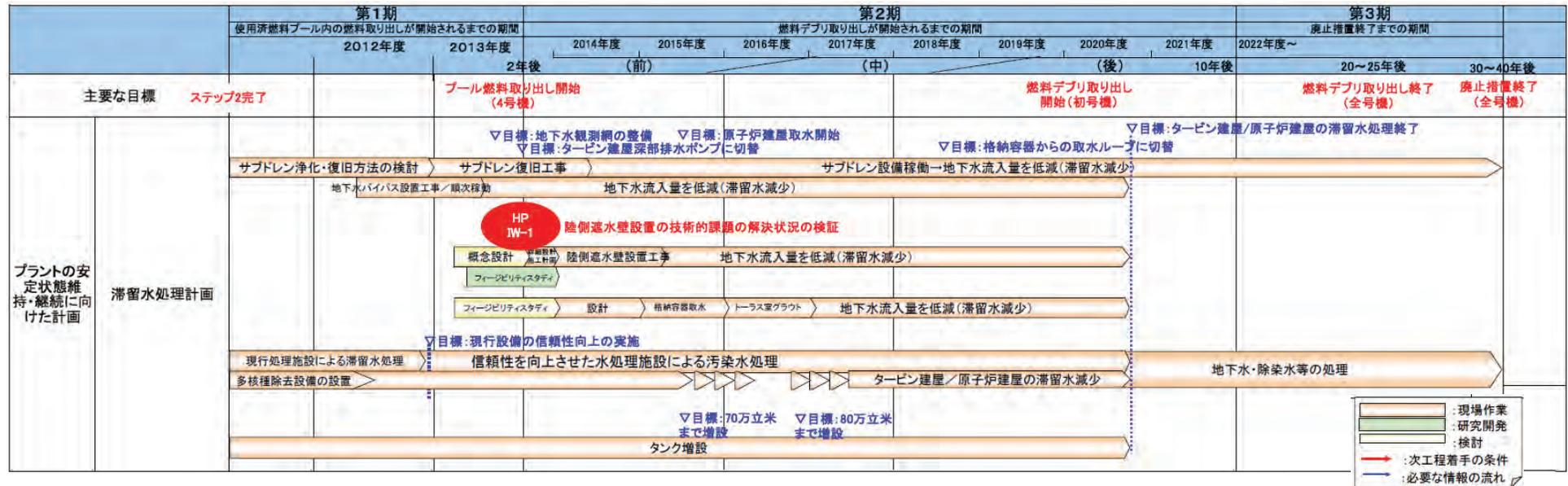
- 冷媒名称：R-404A（フルオロカーボン404A）〔代替フロン〕
- 化学名：下記の混合物（擬似共沸混合冷媒）
 ペンタフルオロエタン（HFC-125）〔44%〕
 ／1,1,1-トリフルオロエタン（HFC-143a）〔52%〕
 ／1,1,1,2-テトラフルオロエタン（HFC-134a）〔4%〕
- 物理化学的危険性：高圧ガス（液化ガス）
- 準拠法令：高圧ガス保安法 冷凍保安規則
- 不燃性（但し、炎・高温により分解生成したガスには有毒性有）



7. その他

止水スケジュール（建物のドライアップ）の見通しを示すこと。

- 2020年度内の滞留水処理完了を目標としている。



※東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ(H25.6.27)より抜粋