

ウェルポイントによる揚水浄化の状況（区画⑪⑫⑬⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓）（その2）

1. 概要

第11回豊島処分地地下水・雨水等対策検討会における報告「ウェルポイントによる揚水浄化の状況（区画⑪⑫⑬⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓）」（水第12回Ⅱ/3-4）のとおり、令和2年2月25日から区画⑬⑯⑲においてウェルポイントによる揚水対策を開始し、現在は区画⑪⑫⑰において実施中である。今回、注水・揚水による地下水浄化対策の状況、対策開始後の水質モニタリング結果等を踏まえた現時点における評価及び今後の対応方針について報告する。

2. 実施状況

（1）実施方針の整理について

注水・揚水対策は、当初、対象エリアを3つのクールに区分して、一定期間経過後に次のクールへ移設する計画であったが、区画によって地下水中のベンゼン濃度や浄化進捗状況が大きく異なり、クール毎の移設では、地下水汚染拡散の可能性も懸念されたため、区画毎に汚染状況を評価し、対策区画を移設することとした。

ウェルポイントによる浄化対策終了の基本的な考え方は下記のとおりである。

【ウェルポイントによる浄化対策終了の基本的な考え方】

- ・観測井及びユニット回収地下水の双方で排水基準を満足する状態が継続している場合（浄化完了）
- ・ユニット回収地下水のベンゼン濃度の低下及び観測井のベンゼン濃度の高止まり等が見られ、短期での浄化の達成が困難と判断される場合（追加対策が必要）

なお、各区画の地下水の水質は最終的に観測井の水質で評価するため、浄化完了の判断には観測井の濃度がより重要である。

(2) 対象区画

注水・揚水による浄化対策の対象区画は、既往の深度別の地下水調査において、地下水面付近に高濃度のベンゼンが確認された区画①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓とし、各区画に対し浄化対策を実施する。対象とする区画及び実施状況を下図に示す。

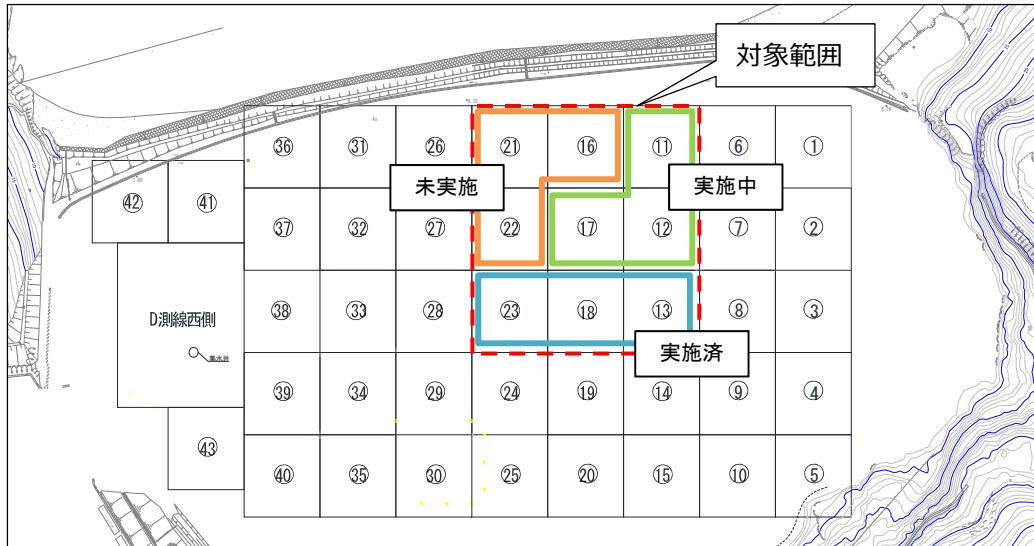


図1 対象区画及び実施状況 (R2. 7. 1 時点)

(3) ウェルポイント等の平面配置及び処理方式の概要

ウェルポイント、注水井及び既存観測井の平面配置は、基本的に各区画 (30mメッシュ) とも同様の考え方で設置した。各区画におけるウェルポイント等の配置計画を下図に示す。

- ・ウェルポイント (●) : 30mメッシュに対し、5m毎に均等に配置した。
- ・注水井 (●) : 30mメッシュに対し、10m毎に配置した (既存観測井と重ならないようにした)。
- ・既存観測井 (●) : 30mメッシュの中心に位置している。

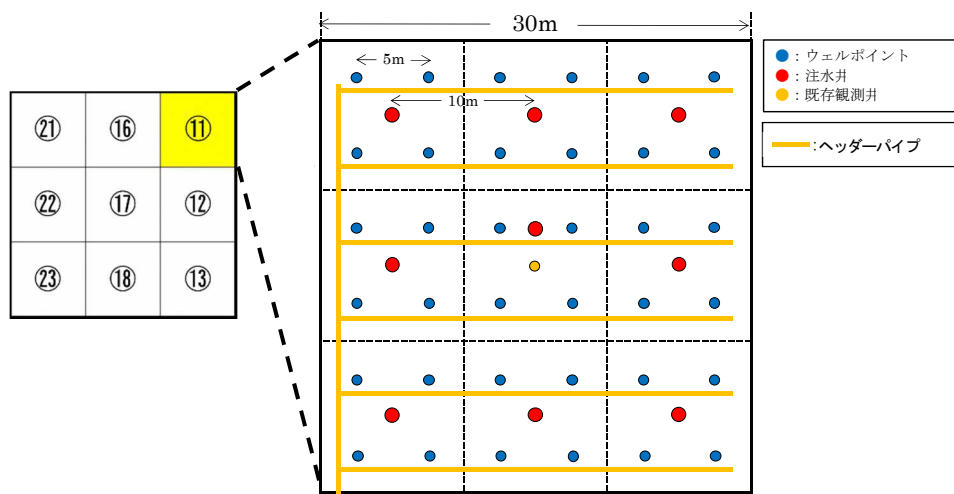


図2 各区画におけるウェルポイント等の平面配置

ウェルポイントによる揚水浄化方式は以下のとおりである（図3参照）。

- ①汚染地下水をウェルポイントから真空で吸引し、ヘッダーパイプを通じてウェルポイントユニットへ真空吸引により導水する。
- ②各ウェルポイントユニットへ導水された汚染地下水を 20 m³水槽へ集約し、ノッチタンクで沈砂させ、高度排水処理施設へ送水する。
- ③高度排水処理施設等にて汚染地下水を処理し、汚染物質を除去した後、処理水を処分地内へ返送し、各注水井から地中へ浸透させる。

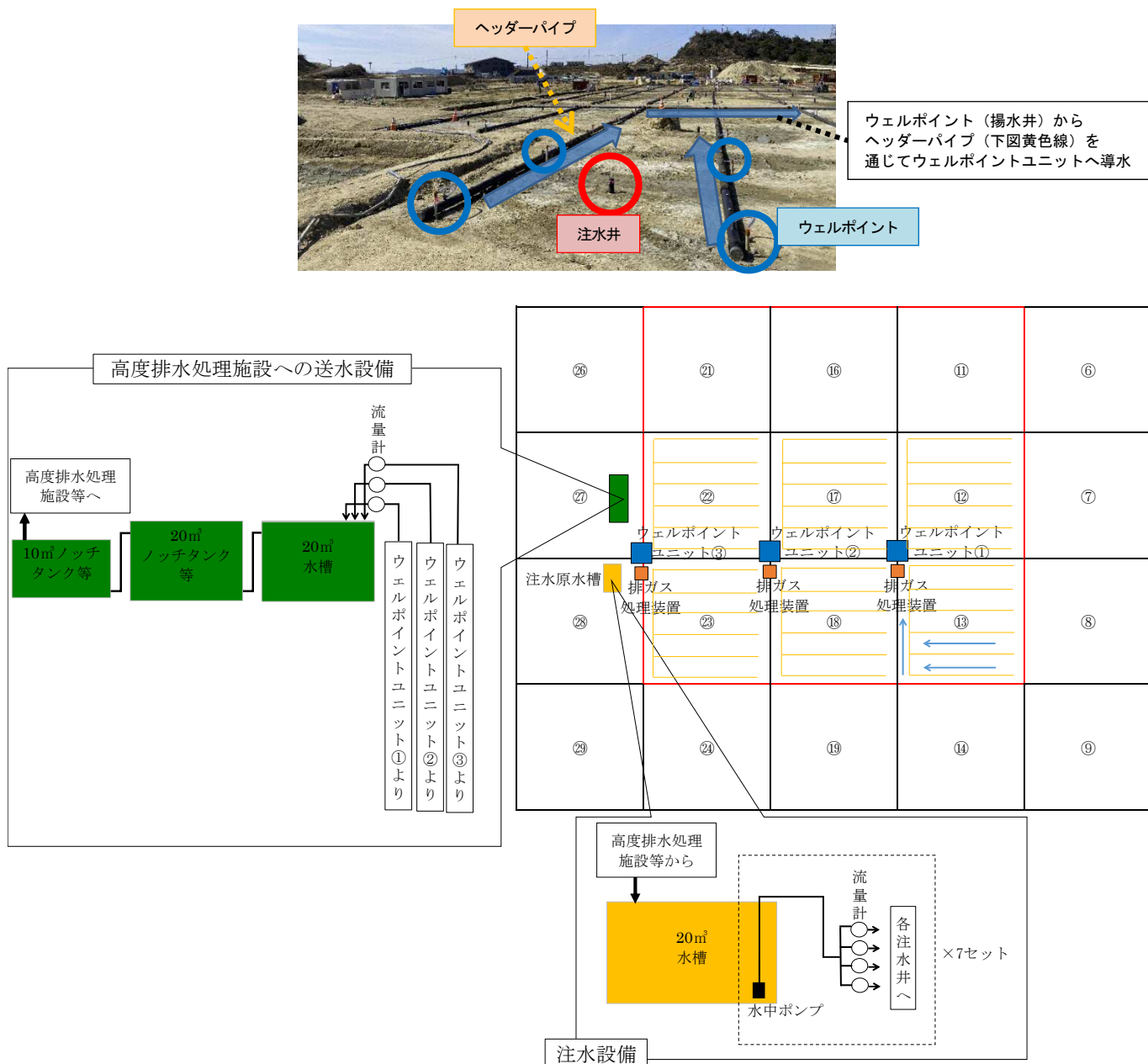


図3 ウェルポイントに関する設備配置イメージ（初期配置）

(4) 水質モニタリング

① 採水地点

既設の観測井（各区画の中央に1カ所）及びウェルポイントユニット（揚水実施区画に1台ずつ計3台）からの排出水（ユニット回収地下水）とした。

② 採水時期

揚水開始前、揚水期間中2回以上、揚水終了後（概ね1週間程度）1回とした。

③ 分析項目

分析項目は、既往の調査で排水基準の超過が確認されている物質とした。

なお、ベンゼンの測定については、簡易法分析（現地PID分析）において公定法分析との相関が確認できたことから、地下水浄化の状況を迅速に把握することを目的として、適宜、簡易法分析を実施している。

(5) 揚水量等の状況

揚水量の推移を図4、簡易法分析による観測井及びユニット回収地下水中のベンゼン濃度の推移を図5、簡易法分析結果を用いたベンゼン回収量の推移を図6に示す。

また、回収量等の一覧を表1に示す。

表1 回収量等の一覧（令和2年6月27日時点）

	対策実施期間	累積揚水量 (m ³)	累積注水量 (m ³)	累積ベンゼン 回収量(g)
区画⑪	4月4日～継続中	5,438	4,787	1,346
区画⑫	4月30日～継続中	5,645	3,799	792
区画⑬	2月25日～年4月29日	4,696	2,635	1,150
区画⑯	未実施	—	—	—
区画⑰	5月14日～継続中	4,155	2,164	767
区画⑱	2月25日～年5月13日	6,349	5,223	1,146
区画㉑	未実施	—	—	—
区画㉒	未実施	—	—	—
区画㉓	2月25日～年4月2日	2,791	907	444

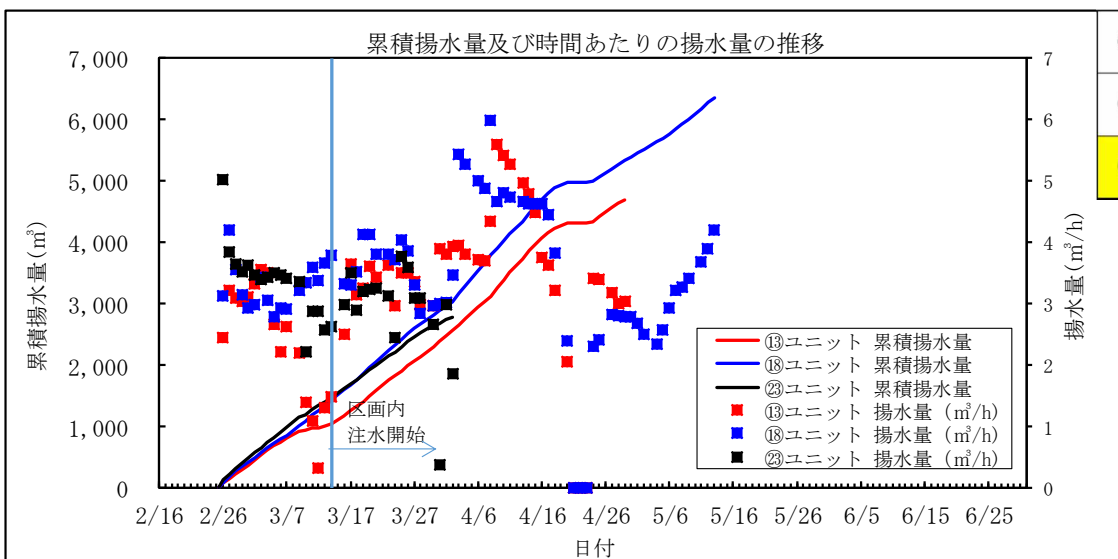
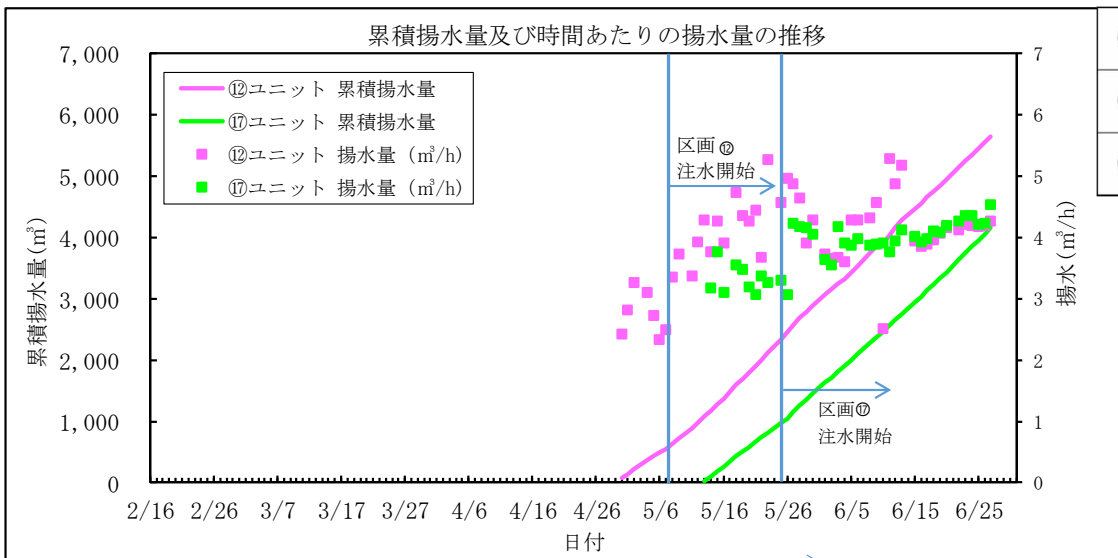
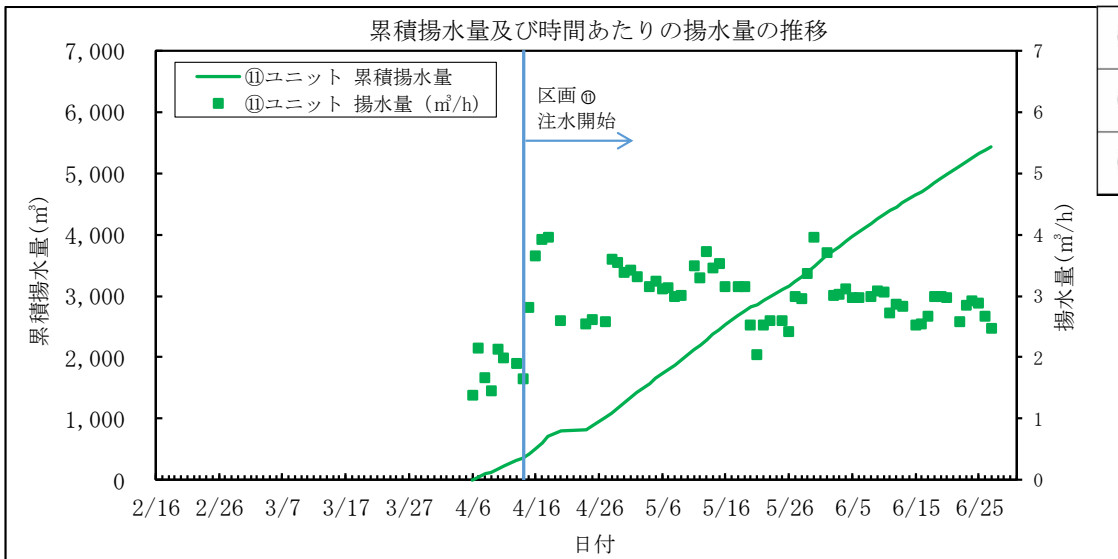
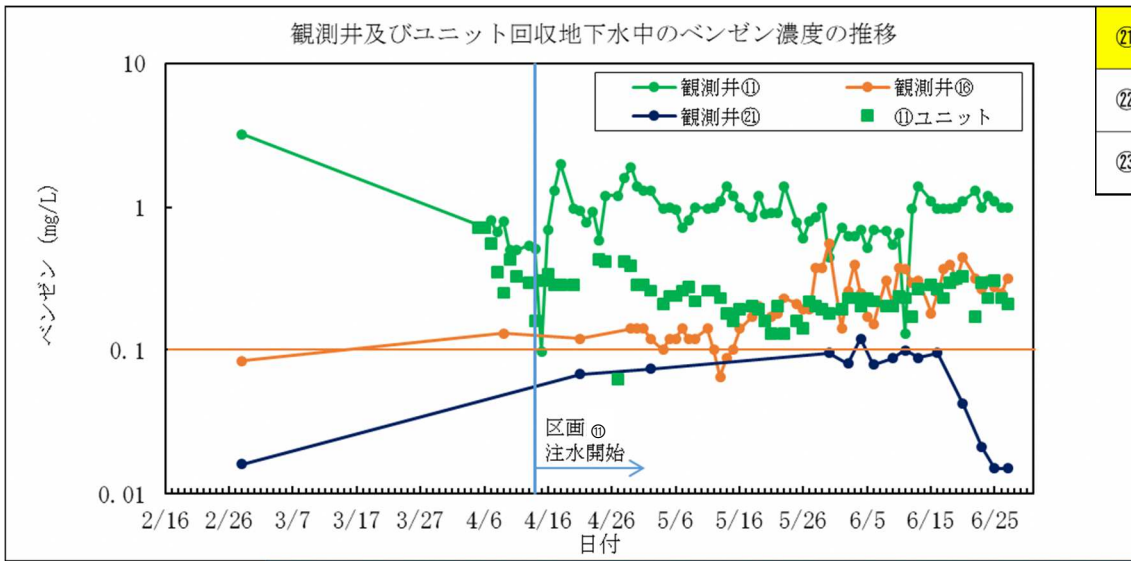
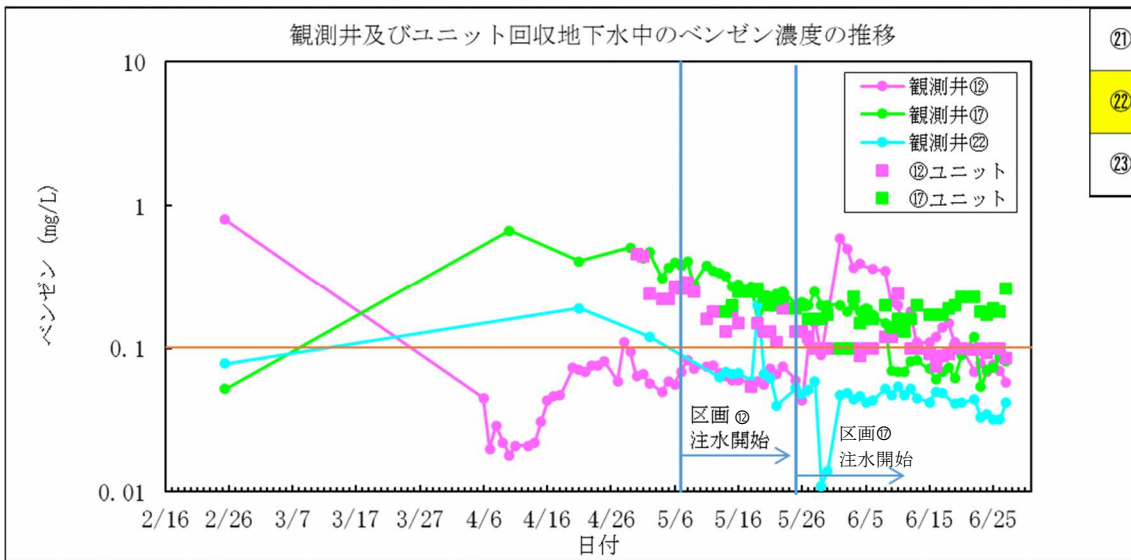


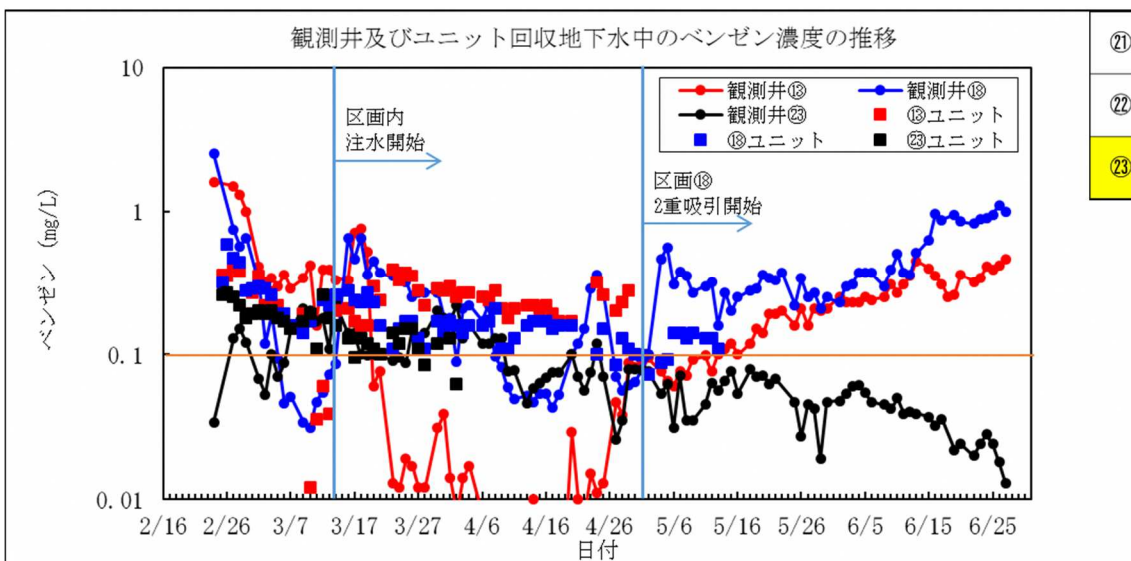
図4 揚水量の推移



⑪	⑯	⑬
⑫	⑰	⑭
⑬	⑱	⑮



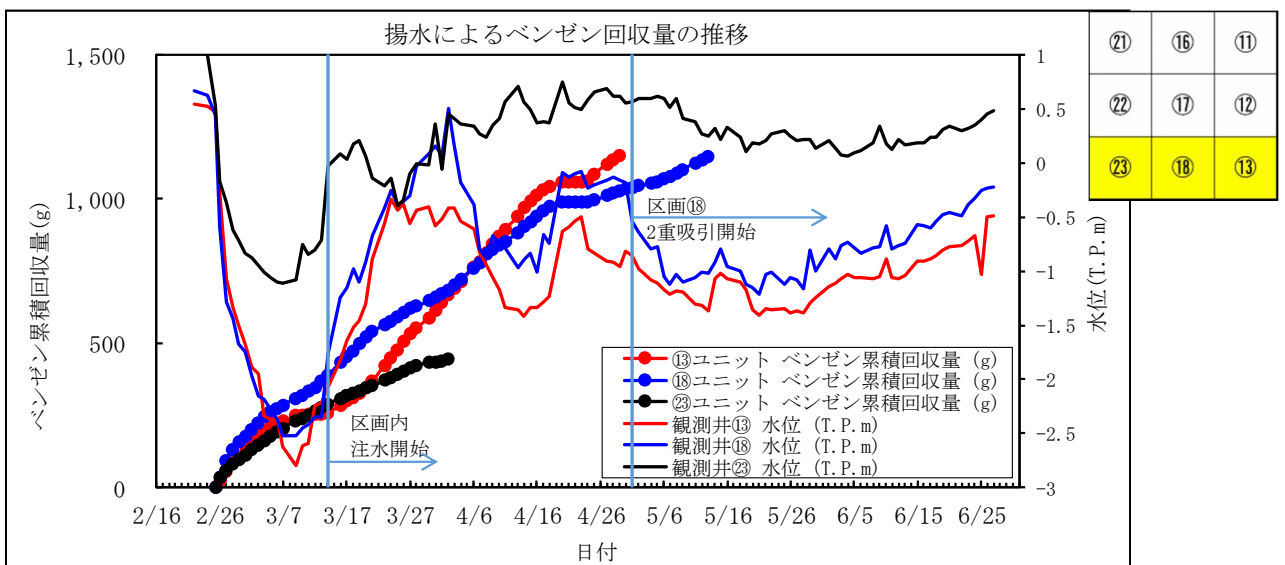
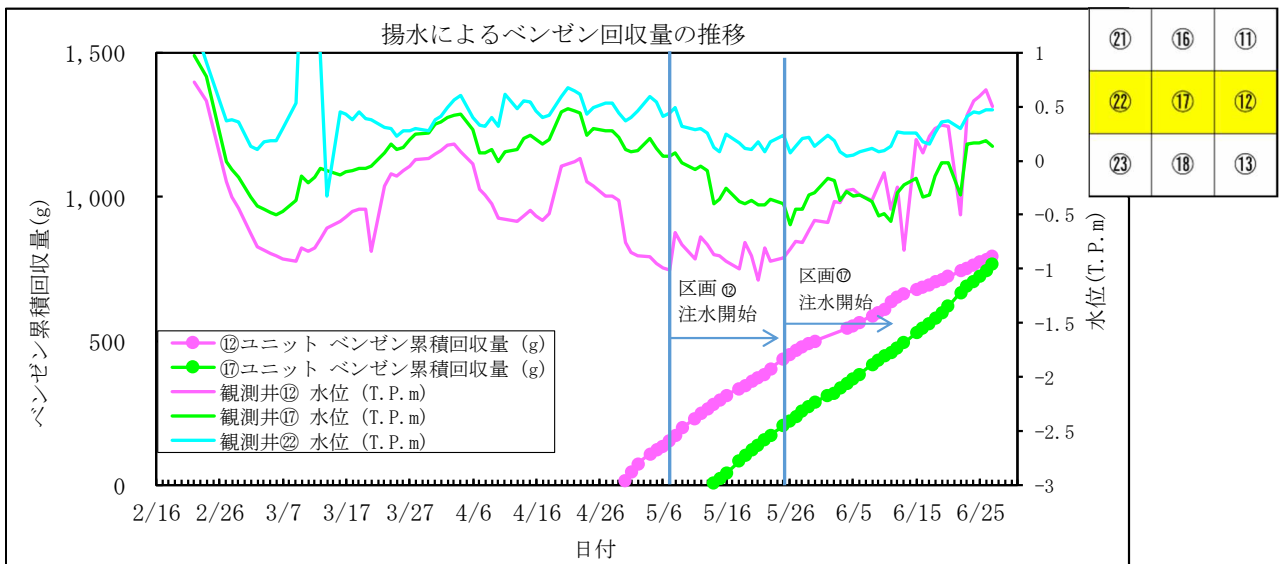
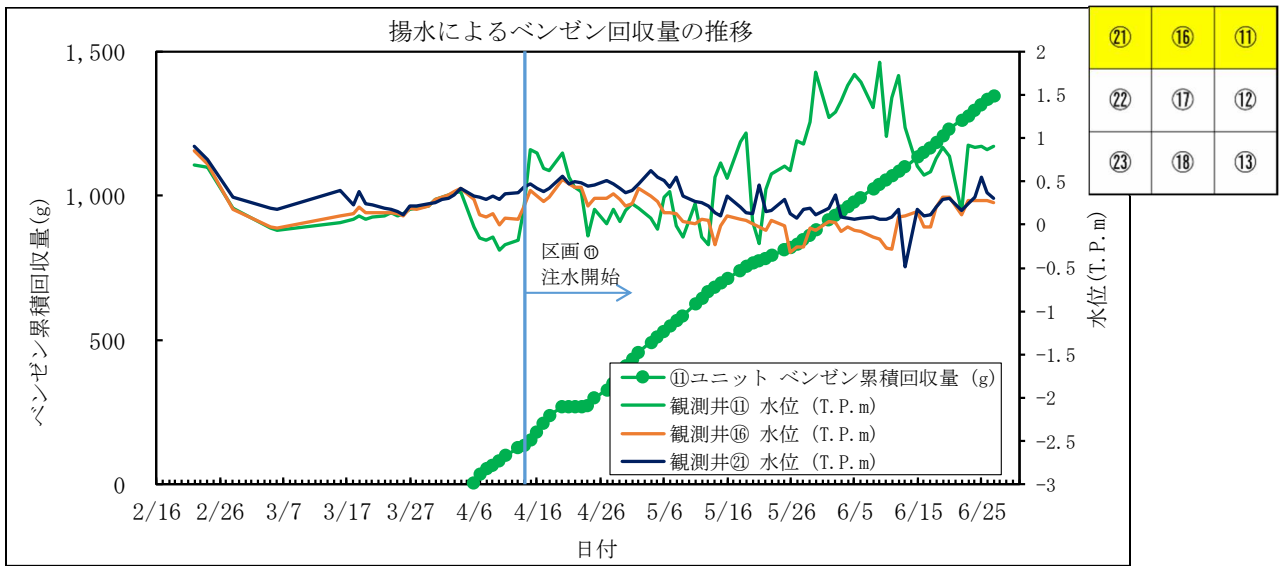
⑪	⑯	⑬
⑫	⑰	⑭
⑬	⑱	⑮



⑪	⑯	⑬
⑫	⑰	⑭
⑬	⑱	⑮

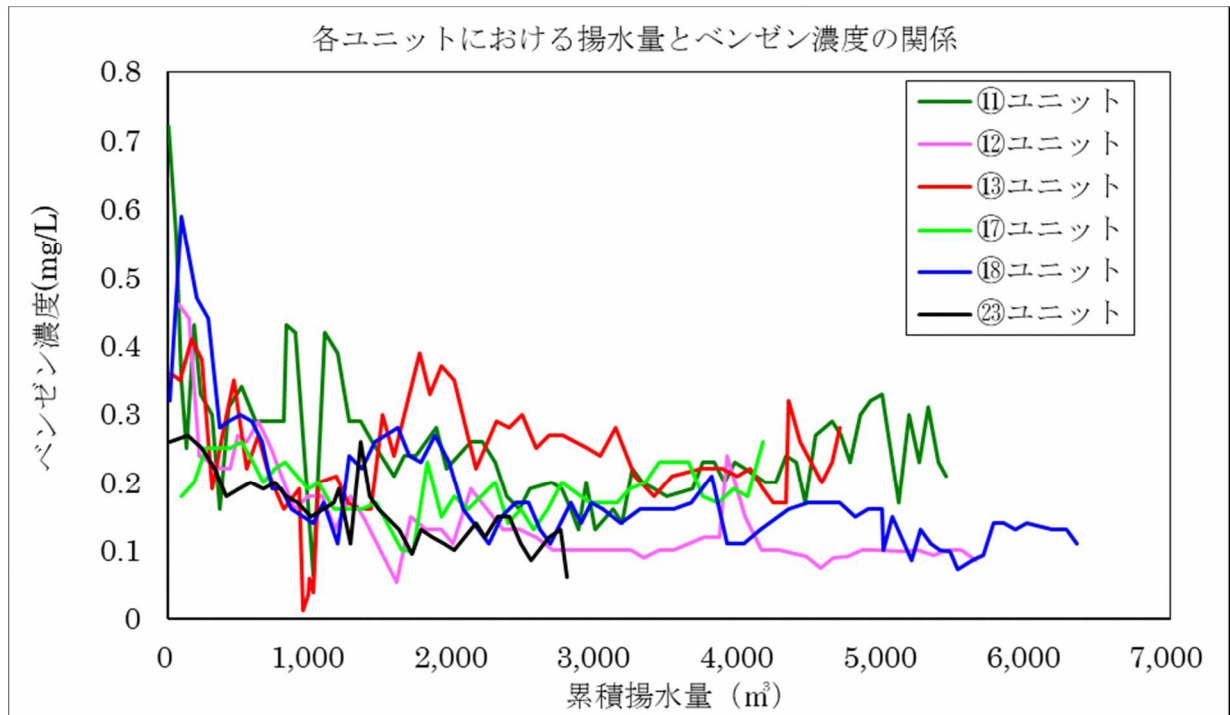
注. 図中のベンゼン濃度は簡易法分析結果による。

図5 ベンゼン濃度の推移



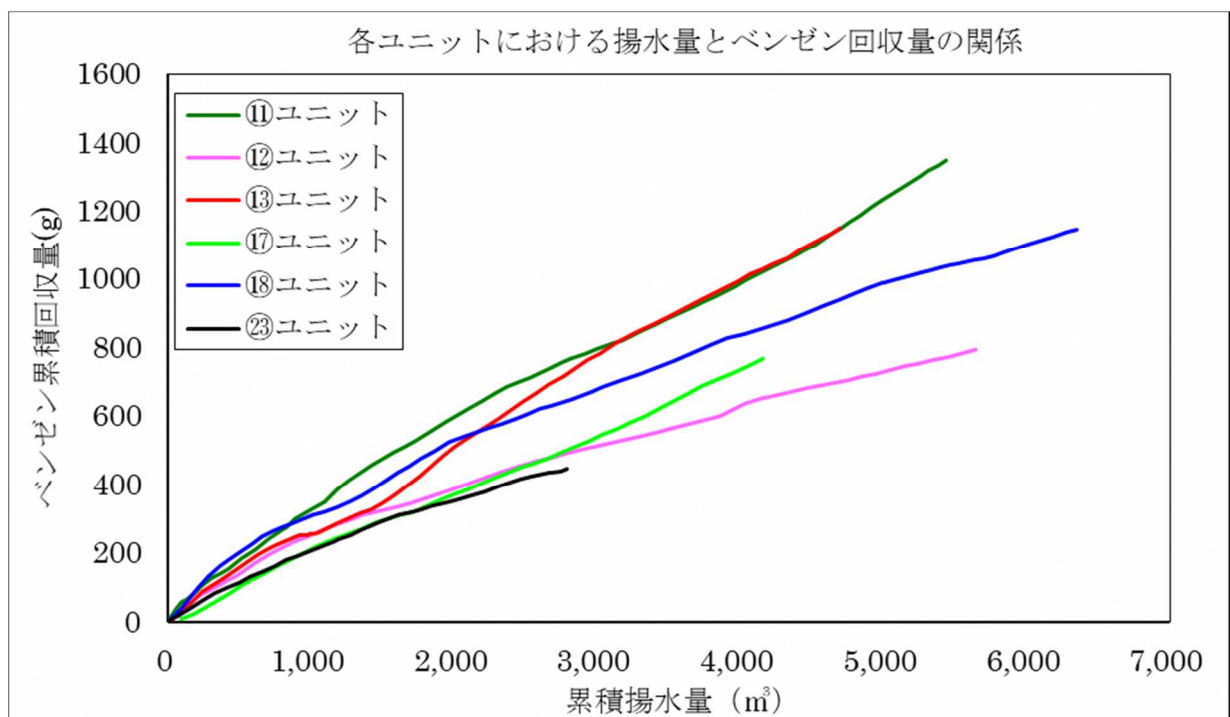
注. 累積回収量の算定に用いた回収地下水中のベンゼン濃度は簡易法分析結果による。

図6 ベンゼン回収量及び地下水位の推移



注. 図中のベンゼン濃度は簡易法分析結果による。

図7 ベンゼン濃度の推移 (ユニット累積揚水量ベース)



注. 累積回収量の算定に用いた回収地下水中のベンゼン濃度は簡易法分析結果による。

図8 ベンゼン累積回収量 (ユニット累積揚水量ベース)

(6) 公定法分析結果

観測井及びユニット回収地下水を対象とした公定法による分析結果を下表に示す。

表2 観測井及びユニットの分析結果 (公定法)

		mg/L											
		事前 R2.4.6	1週間後 R2.4.13	2週間後 R2.4.20	4週間後 R2.5.1	5週間後 R2.5.8	6週間後 R2.5.15	7週間後 R2.5.22	8週間後 R2.5.29	9週間後 R2.6.5	10週間後 R2.6.12	11週間後 R2.6.19	
区画⑪ 観測井	ベンゼン	0.89	0.52	0.58	1.7	0.40	1.6	0.43	0.80	0.035	0.28	1.1	
	1,4-ジオキサン	0.32	0.34	0.27	0.20	0.27	0.25	0.22	0.20	0.21	0.31	0.21	
	全有機炭素量	140	160	71	110	130	110	65	76	41	58	95	
		稼働直後 R2.4.30	1週間後 R2.5.7	2週間後 R2.5.14	3週間後 R2.5.21	4週間後 R2.5.28	5週間後 R2.6.4	6週間後 R2.6.11	7週間後 R2.6.18				
区画⑫ 観測井	ベンゼン	0.009	0.007	0.009	0.009	0.029	0.10	0.041	0.040				
	1,4-ジオキサン	0.28	0.29	0.26	0.35	0.28	0.29	0.22	0.22				
	全有機炭素量	84	91	82	85	82	86	59	21				
		事前	2週間後 R2.3.7	3週間後 R2.3.13	4週間後 R2.3.20	5週間後 R2.3.27	6週間後 R2.4.3	7週間後 R2.4.10	8週間後 2020/4/17	停止直後 R2.5.1	停止1週間後 R2.5.8		
区画⑬ 観測井	ベンゼン	0.43	0.23	0.18	0.13	0.13	0.11	0.13	0.12	0.11	0.093		
	1,4-ジオキサン	0.94	0.98	1.3	0.75	1.3	1.3	1.8	1.1	1.3	0.97		
	全有機炭素量	190	200	190	110	190	200	220	200	210	200		
		稼働直後 R2.5.14	1週間後 R2.5.21	2週間後 R2.5.28	3週間後 R2.6.4	4週間後 R2.6.11	5週間後 R2.6.18						
区画⑭ 観測井	ベンゼン	0.23	0.17	0.17	0.12	0.13	0.16						
	1,4-ジオキサン	0.70	0.82	0.69	0.82	0.77	0.66						
	全有機炭素量	120	110	110	110	110	110						
		事前	2週間後 R2.3.7	3週間後 R2.3.13	4週間後 R2.3.20	5週間後 R2.3.27	6週間後 R2.4.3	7週間後 R2.4.10	8週間後 2020/4/17	10週間後 R2.5.1	11週間後 R2.5.8	停止直後 R2.5.13	停止1週間後 R2.5.20
区画⑮ 観測井	ベンゼン	2.5	0.041	0.043	0.36	0.20	0.074	<0.001	0.066	0.13	0.020	0.16	0.24
	1,2-ジクロロエチレン	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.004	<0.004	0.004	0.045	0.014	0.006
	クロロエチレン	0.0013	0.0013	0.0010	0.0018	0.0005	<0.0002	0.0006	0.0007	0.0019	0.015	0.0087	0.0099
	1,4-ジオキサン	0.28	0.18	0.15	0.35	0.36	0.28	0.31	0.32	0.32	0.31	0.29	0.35
	全有機炭素量	91	63	60	83	70	31	44	65	65	88	74	80
		事前	2週間後 R2.3.7	3週間後 R2.3.13	4週間後 R2.3.20	5週間後 R2.3.27	停止直後 R2.4.3	停止1週間後 R2.4.10					
区画⑯ 観測井	ベンゼン	0.034	0.23	0.11	0.063	0.077	0.075	0.079					
	1,4-ジオキサン	0.79	0.77	0.64	0.37	0.68	0.32	0.41					
	全有機炭素量	41	100	69	46	64	42	46					

(7) 二重吸引井戸による浄化効果の検証

区画⑱については、先行浄化におけるボーリング結果や本対策における水質モニタリング結果から、浅い層に土壤汚染が存在する可能性が示唆されたため、注水・揚水対策実施後に確認ボーリングを実施した。その結果、簡易溶出試験で溶出基準の10倍を超えるベンゼンが確認された。

このため、今後の対策方法を検討するために、下図に示すとおり、二重吸引井戸による効果の評価を行った。その結果、約1か月間の稼働で土壤溶出量が減少することを確認した。

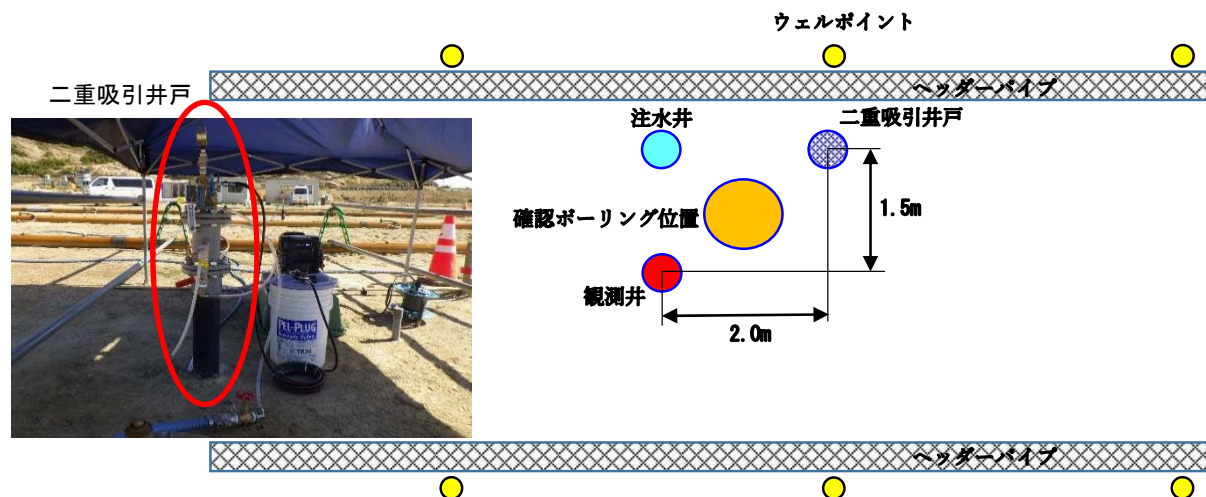


図9 二重吸引井戸の設置状況

表4 確認ボーリング結果（簡易溶出試験による）

T.P.m	ベンゼン溶出量(mg/L)	
	注水・揚水後	二重吸引後
3.05	<0.001	<0.001
2.55	<0.001	<0.001
2.05	<0.001	<0.001
1.55	<0.001	<0.001
1.05	0.006	0.028
0.65	0.14	<0.001
0.55	0.024	0.032
0.17	0.058	—
0.05	0.019	0.032
-0.45	0.013	<0.001
-0.95	<0.001	0.006
-1.45	0.009	0.005
-1.95	<0.001	<0.001
-2.45	<0.001	<0.001
-2.95	<0.001	<0.001
-3.45	<0.001	<0.001
-3.95	<0.001	<0.001

(8) 区画毎の評価

ベンゼン回収量や公定法分析、確認ボーリングの結果等から、区画毎の評価及び追加対策の必要性について下表に示す。

ウェルポイントによる揚水のみでは浄化が難しい可能性があるとは判断された場合は、確認ボーリングを実施し、追加対策を検討する。

表5 区画毎の評価及び追加対策の必要性について

	注水・揚水	簡易法分析の状況	追加対策
区画⑪	実施中	ベンゼン濃度は低減しているが濃度は高く、短期での浄化の達成は困難である。	要検討（確認ボーリング結果を確認する。）
区画⑫	実施中	観測井のベンゼン濃度が一時期リバウンドした。一部の小区画に土壤汚染が存在する可能性がある。	要検討（確認ボーリング結果を確認する。）
区画⑬	実施済	観測井のベンゼン濃度がリバウンドしている。区画⑨の掘削により区画⑬の汚染地下水の影響を受けている可能性がある。	要検討（確認ボーリング及び区画⑨の埋め戻し後の経過を確認する。）
区画⑯	未実施	ウェルポイントによる揚水浄化を未実施だが、一部の小区画に土壤汚染が存在する可能性がある。	要検討（確認ボーリング結果を確認する。）
区画⑰	実施中	観測井のベンゼン濃度が徐々に低下し、リバウンドもしていないことから、ウェルポイントによる対策を維持する。	要検討（確認ボーリング結果を確認する。）
区画⑱	実施済	ウェルポイントによる対策では排水基準に適合せず、浅い層に土壤汚染が存在する可能性がある。	要検討（確認ボーリング結果を確認する。）
区画㉑	未実施	現時点で観測井において排水基準に適合している。	モニタリングを継続
区画㉒	未実施	現時点で観測井において排水基準に適合している。	モニタリングを継続
区画㉓	実施済	ウェルポイントによる対策後、観測井で排水基準に適合している。	モニタリングを継続

3. 今後の予定

ウェルポイントによる浄化対策の対象区画において、ユニット移設後に観測井のベンゼン濃度が上昇傾向にある場合には、2度目のウェルポイントの実施を検討する。また、必要に応じて小区画での確認ボーリング等の詳細調査を実施し、追加対策を検討することとする。

また、対象区画でウェルポイントが未実施であり、観測井の水質が現状で排水基準を満足している区画②③等については、モニタリング結果を確認しながら、実施の時期を検討する。

なお、対象区画以外に、区画④⑤においてもベンゼン汚染が観測されているため、ウェルポイント等の対策を同様に進めていくことを検討する。

A3、B5及びF1における浄化対策の状況

1. 概要

岩盤のクラック部分の地下水汚染が原因と考えられ、A3及びB5については、平成26年4月から揚水浄化、令和元年7月から化学処理、同年12月から揚水浄化を実施し、令和2年2月より薬剤の注入による化学処理等を再開した。今回、薬剤の注入による化学処理等の実施状況及び水質モニタリングの状況について報告する。

2. 浄化対策の実施状況等

(1) A3における浄化対策の状況

A3については、平成26年4月から実施している揚水浄化対策により有機塩素系化合物等が排水基準に適合する一方で、引き続き砒素が排水基準値を超過している。このため、地下水に砒素が溶出しないよう、適用可能性試験で効果が確認された砒素を吸着除去する薬剤を用いて、再度、化学処理を実施した。

なお、今回は酸性域では溶解しているが中性域ではゲル化するように調整した薬剤（合計28L）を令和2年2月12日、13日、19日に既存の揚水井に直接注入した。

注入後の水質モニタリング結果を表1に示す。3か月経過した5月27日においても、環境基準値以下で推移している。

表1 A3揚水井戸における水質モニタリング結果

採取日	1/28	2/25	3/11	3/12	3/18	3/25		4/1		4/6		
採取深度(管頭-m)	—	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	5.5	3.5	5.5	3.0	5.0	7.0
砒素(mg/L)	0.28	0.066	0.022	0.025	0.002	0.004	0.002	0.001	0.002	0.001	<0.001	0.019
採取日	4/13			4/22			4/30					
採取深度(管頭-m)	3.0	5.0	7.0	3.0	5.0	7.0	3.0	5.0	7.0			
砒素(mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.002	<0.001	0.001	0.001			
採取日	5/6			5/13			5/27					
採取深度(管頭-m)	3.0	5.0	7.0	3.0	5.0	7.0	3.0	5.0	7.0			
砒素(mg/L)	0.001	0.002	0.004	0.002	0.003	0.003	0.001	0.002	0.003			

■: 排水基準値超過、■: 排水基準値以下、■: 環境基準値以下

(2) B5

B5については、1,4-ジオキサンが排水基準値を超過しているため、過硫酸ナトリウム(20%硫酸溶液 1,250L)の注入による化学処理を再度実施した。

なお、適用可能性試験において、鉄触媒を用いなくても過硫酸ナトリウムによる浄化効果が確認されたため、今回は過硫酸ナトリウムのみを既存の揚水井に一定期間(令和2年3月20日～4月13日)低流量で継続的に注入した。

注入後の水質モニタリング結果を表2に示す。薬剤注入により1,4-ジオキサン濃度が排水基準値以下まで低下したが、4週間後には初期濃度までリバウンドが確認された。

現在は、過硫酸ナトリウムの注入による対策を継続中である。

表2 B5揚水井戸における水質モニタリング結果

採水日	R2.3.11	R2.3.18	R2.3.25	R2.4.1	R2.4.6	R2.4.13
1,4-ジオキサン(mg/L)	0.96	1.1	0.057	0.010	0.012	0.11
砒素(mg/L)		0.011	<0.001	<0.001	0.001	<0.001
鉛(mg/L)		0.001	0.021	0.002	0.004	0.001

採水日	R2.4.22	R2.4.30	R2.5.6	R2.5.13	R2.5.20
1,4-ジオキサン(mg/L)	0.62	0.79	0.81	0.97	1.0
砒素(mg/L)	0.001	0.002	0.003	0.002	0.006
鉛(mg/L)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001

■: 排水基準値超過、■: 排水基準値以下、■: 環境基準値以下

(3) F1

F1については、1,4-ジオキサンが排水基準値を超過していたため、適用可能性試験を実施して、フェントン試薬の注入による浄化効果を確認している。

平成30年以降のF1東における地下水調査結果を表3に示す。

表3 F1東における地下水調査結果

採水日	H30.2.13	H30.8.29	H31.3.13	R1.8.27	R2.2.5	R2.5.13	R2.6.10
1,4-ジオキサン(mg/L)	0.35	0.54	0.49	0.44	0.49	0.46	0.56

(注)H30.2.13～R2.2.5については、環境計測の結果である。

■: 排水基準値超過、■: 排水基準値以下

3. 今後の予定

水質モニタリングを実施するとともに、揚水浄化や化学処理の浄化対策等について検討するが、岩盤のクラック部分の地下水汚染等が原因と考えられるため、今後の浄化対策の方向性を別途検討する。

高度排水処理施設等における運転管理状況及び処理量アップ対策の状況

1. 概要

これまで、凝集膜ろ過装置の処理が高度排水処理施設における処理の制約になっていたため、「高度排水処理施設等における運転管理の状況」（⑩第11回 II / 2 - 2）において報告したとおり、高度排水処理施設の処理能力アップ等を目的として、凝集膜ろ過装置をバイパスする形で新たに砂ろ過装置を設置し、高度排水処理施設の処理量を増加させる検討を行った。この結果、130 m³/日まで処理能力を向上させることが可能であることが確認されたので報告する。

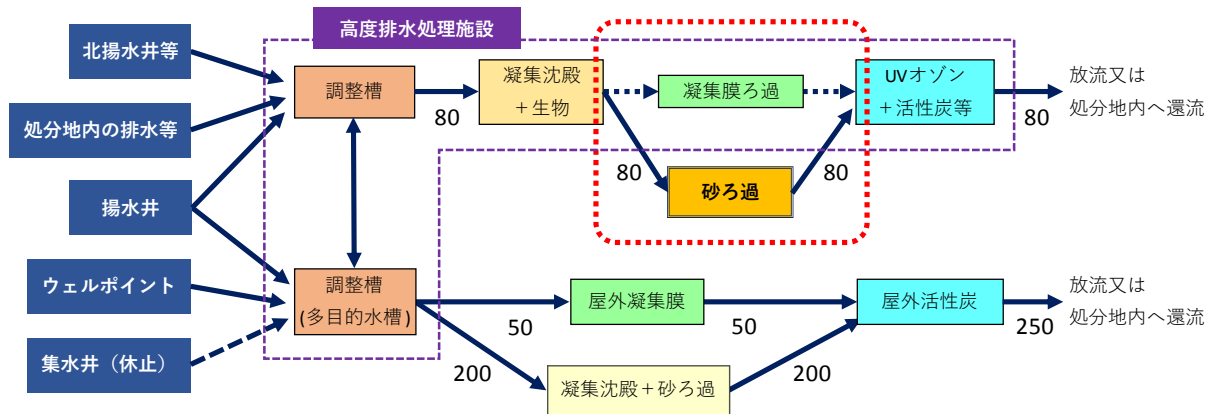


図1 検討時の高度排水処理施設等の処理フロー



外観及び接続状況



砂ろ過槽

写真1 砂ろ過装置の設置状況

2. 処理量アップ対策の検討結果

(1) 凝集剤使用の検討

砂ろ過装置において凝集剤（PAC：ポリ塩化アルミニウム）を使用することによる処理能力向上の検討を行った。結果を下表に示す。

令和2年4月7日にPACを添加しない状態で採水した後に、PACを40mg/L添加しながら同月10日まで水質を確認した。その結果、COD、SS、濁度（SSでは効果が見えにくいいため濁度の計測を併せて行った。）に変化は認められず、1,4-ジオキサン濃度の変動も見られなかった。

したがって、現在の処理状況においてはPAC添加による効果が確認されなかったため、砂ろ過装置でPACを添加せずに処理量アップの検討を行うこととした。

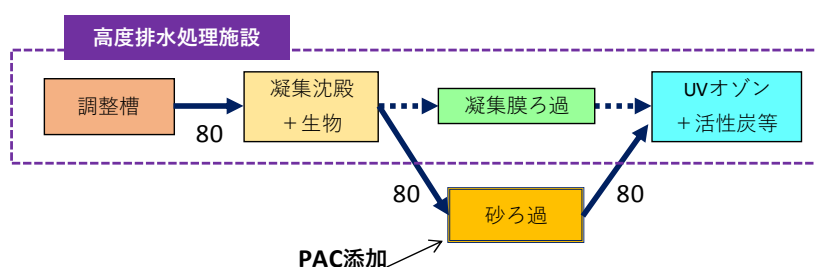


図2 砂ろ過装置におけるPAC添加の検討

表1 PAC添加の検討結果

測定項目	検体	検査結果 (mg/L)				管理基準
		R2.4.7	R2.4.8	R2.4.10		
化学的酸素 要求量 (COD)	砂ろ過原水	27	24	24	24	30
	砂ろ過処理水	26	26	24	24	
	UVオゾン処理水	11	-	7.7	8.0	
浮遊物質 量 (SS)	砂ろ過原水	1	1	1	1	50
	砂ろ過処理水	<1	<1	<1	<1	
	UVオゾン処理水	<1	-	1	<1	
濁度	砂ろ過原水	1.7	1.9	1.8	2.2	-
	砂ろ過処理水	1.1	1.1	1.0	1.2	
	UVオゾン処理水	2.0	-	2.0	2.1	
1,4-ジオキサン	砂ろ過処理水	0.30	-	0.31	0.28	0.5
	UVオゾン処理水	0.22	-	0.22	0.22	
PAC添加		なし	あり	あり	あり	-

(2) 処理量アップの検討 (80 m³/日 → 100 m³/日 → 130 m³/日)

次に、高度排水処理施設の処理量を 80 m³/日から 100 m³/日、さらに 130 m³/日に増加させた際の水質の状況を確認した。その結果、放流水の COD 及び 1,4-ジオキサン濃度に大幅な上昇は確認されず、良好な処理を確認できた。

なお、現状の設備では流量計やポンプ等が 130 m³/日の処理量に対応しておらず、130 m³/日の処理を長期間維持するためには改造工事が必要となるため、当該検討後に処理量を 100 m³/日へ戻している。

表 2 高度排水処理施設の処理量アップの検討結果

測定項目	検体	検査結果 (mg/L)							管理基準
		R2.4.14	R2.4.15	R2.4.17	R2.4.28	R2.4.29	R2.4.30	R2.5.7	
化学的酸素 要求量 (COD)	砂ろ過原水	25	25	24	26	24	26	26	30
	砂ろ過処理水	21	25	26	26	26	25	26	
	UVオゾン処理水	8.3	9.0	9.0	9.8	11	11	11	
	放流水	5.6	6.5	6.7	2.7	3.6	4.6	6.4	
1,4-ジオキサン	砂ろ過処理水	0.30	0.31	0.28	0.28	0.23	0.28	0.29	0.5
	UVオゾン処理水	0.22	0.24	0.21	0.26	0.25	0.25	0.27	
	放流水	0.21	0.25	0.22	0.27	欠測	0.27	0.25	
処理量 (m ³ /日)		80	100	100	100	130	130	130	-

3. 今後の運転管理方法

今回の検討の結果、高度排水処理施設において 130 m³/日の処理が可能であることを確認できた。しかしながら、現状の設備では流量計やポンプ等が 130 m³/日の処理量に対応していないため、今後、130 m³/日の処理を長期間維持することが可能となるよう 7月上旬から改造工事を実施する。

処分地の水収支モデルの構築の状況（その2）

1. 概要

処分地の水収支モデルの構築については、第9回豊島処分地地下水・雨水等対策検討会において、地下水浄化対策を実施している地点別及び処分地全体の水収支や地下水の流向及び流量を把握することで、揚水の優先順位を決める際のデータとするなど、より一層迅速かつ効果的な地下水浄化対策を実施するとともに、併せて遮水機能の解除に関するデータも収集することを目的とし、水収支モデルを構築してシミュレーション解析を行うことで審議・了承を得ている。

第11回豊島処分地地下水・雨水等対策検討会「処分地の水収支モデルの構築の状況」（水第11回Ⅱ/4）の審議結果を踏まえ、解析手法や解析条件等を整理した上で、水収支モデルによる現況の再現を行ったのでその結果について報告する。

2. 処分地のデータの整理

①使用データ

以下の資料を収集した。

表2-1 収集資料一覧表
(水第11回Ⅱ/4 表2-1の再掲 一部追加)

概要	資料名
事業全体	豊島廃棄物等対策調査「暫定的な環境保全措置に関する事項」報告書（1998年） （香川県豊島廃棄物等処理技術検討委員会）
	豊島廃棄物等技術委員会報告書第I編（施設整備編）（豊島廃棄物等処理技術委員会）（2003年）
地表面情報	H27年度レーザー測量業務
	H28年度豊島処分地内整地測量設計業務委託
地質情報、 井戸情報	豊島産業廃棄物水質汚濁被害等に係る実態調査（1994年）
	豊島廃棄物等処理事業 豊島処分地地下水揚水井戸掘削等工事（2013年、2019年）
	豊島廃棄物等処理事業 地下水概況及び詳細調査業務委託（2015年～2017年）
	豊島廃棄物等処理事業 地下水詳細調査業務委託（その2）（2017年）、＃（その4）（2017年）
	豊島廃棄物等処理施設撤去等事業 地下水集水井掘削等工事（2018年）
地下水汚染 情報	地下水汚染領域の把握のための調査結果（2018年～2019年）
	D測線西側における地下水調査結果（2014年～2019年）
	観測孔の水質調査結果（2019年）
地下水位	観測井戸における調査結果（2015年4月12日～2016年3月26日の内の24回）【追加】
	観測井戸における一斉調査結果（2019年4月19日、5月9日、6月28日、7月8日）
	豊島廃棄物等処理施設撤去等事業情報 自動測定情報 地下水位：時間単位（2019年）、日単位（2009年～2019年） 処分地内自記計：時間単位（2019年6月19日～7月8日）
気象	高松（気象庁）：時間単位、日単位（2010年～2019年）
雨量	豊島（香川県）：時間単位（2010年～2019年）
潮位	土庄東港（小豆島）：時間単位（2010年～2019年）

②整理結果

整理したデータを水収支モデルの構築に用いた。整理結果の一部として、地下水位観測井の位置図※を図 2-1、図 2-2 に、その観測データ※を図 2-3 に、地下水位の変動状況及び分布※を図 2-4～7 に示す。

※水収支モデルの検証時期とした 2015 年及び 2019 年について表記

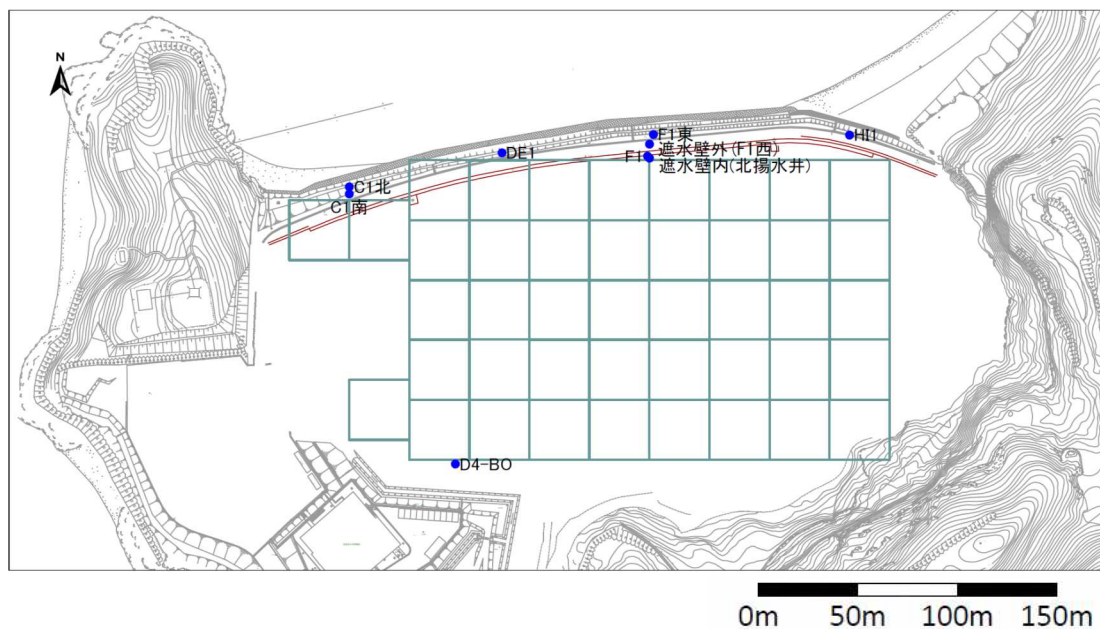
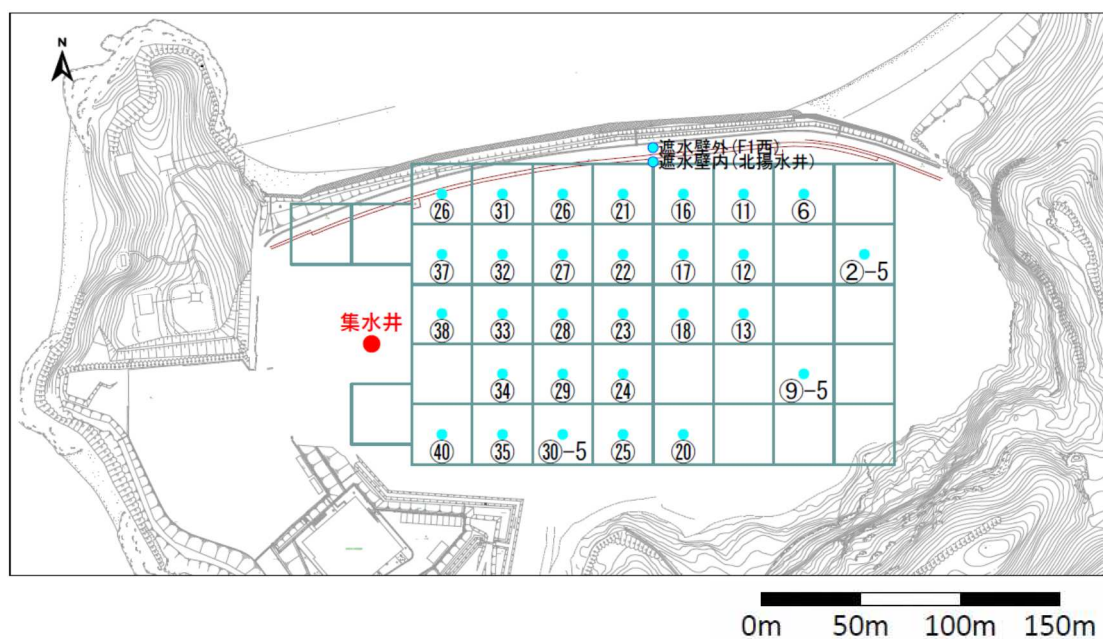


図 2-1 観測施設位置 (2015 年)



※煩雑を避けるため区画内に複数の観測井がある場合は区画中心のもののみ表記した。

図 2-2 観測施設位置 (2019 年)

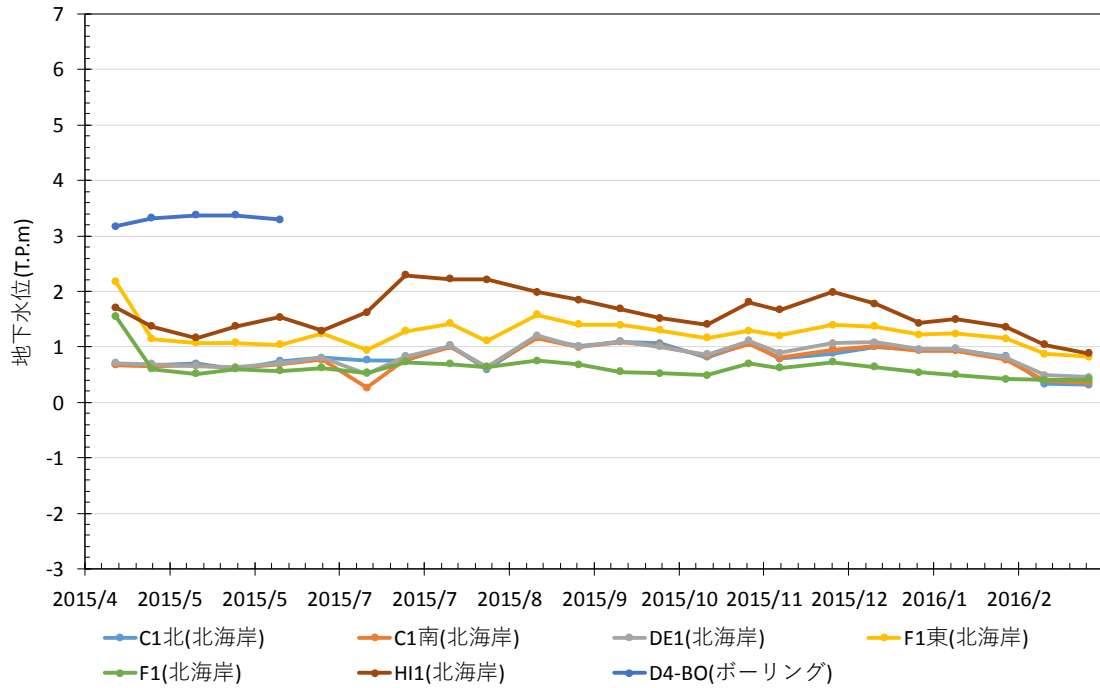


図 2-3 地下水位の変化 (2015 年)

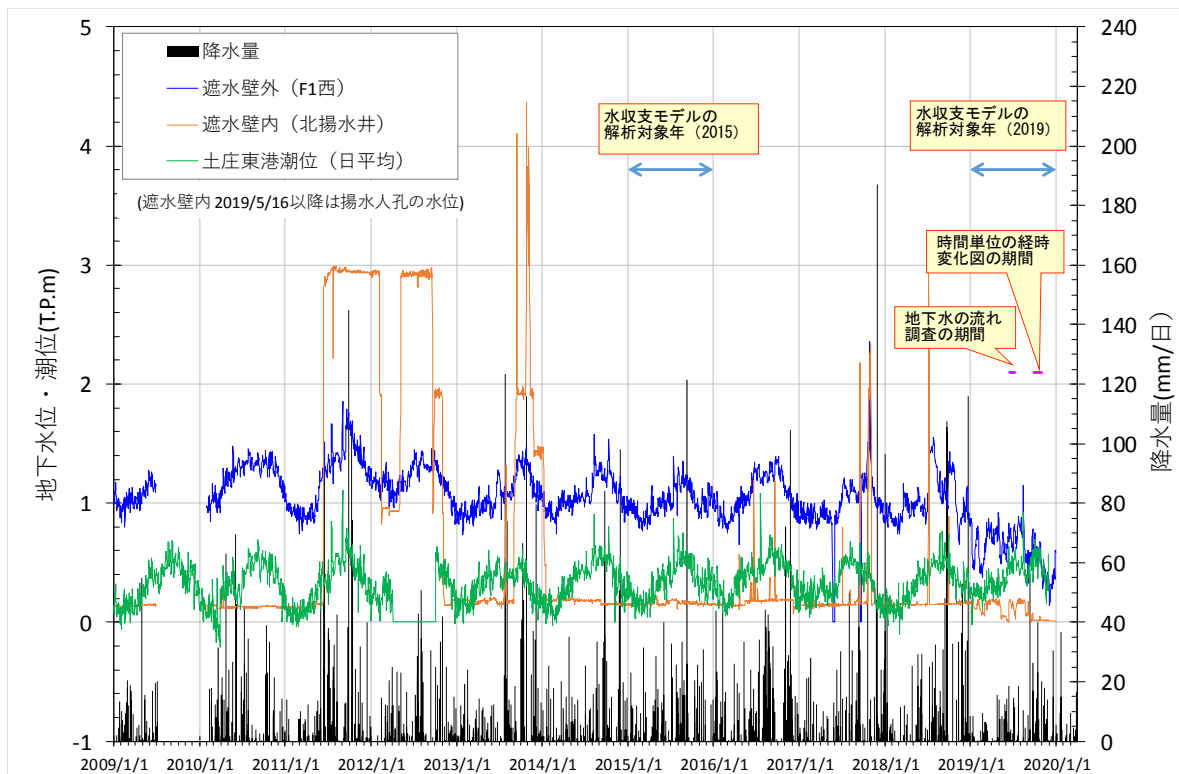


図 2-4 地下水位及び潮位の経時変化図 (日平均)

(水第 11 回 II / 4 図 2-1 の再掲)

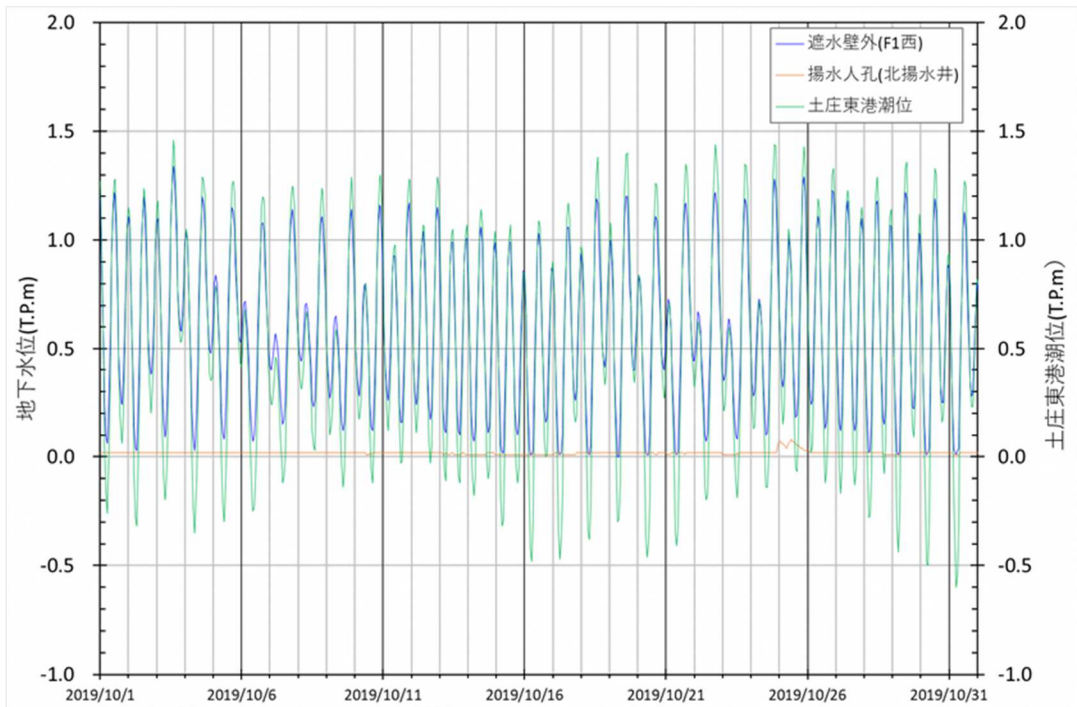


図 2-5 地下水位及び潮位の経時変化図（時間単位）
 （水第11回Ⅱ/4 図2-2の再掲）

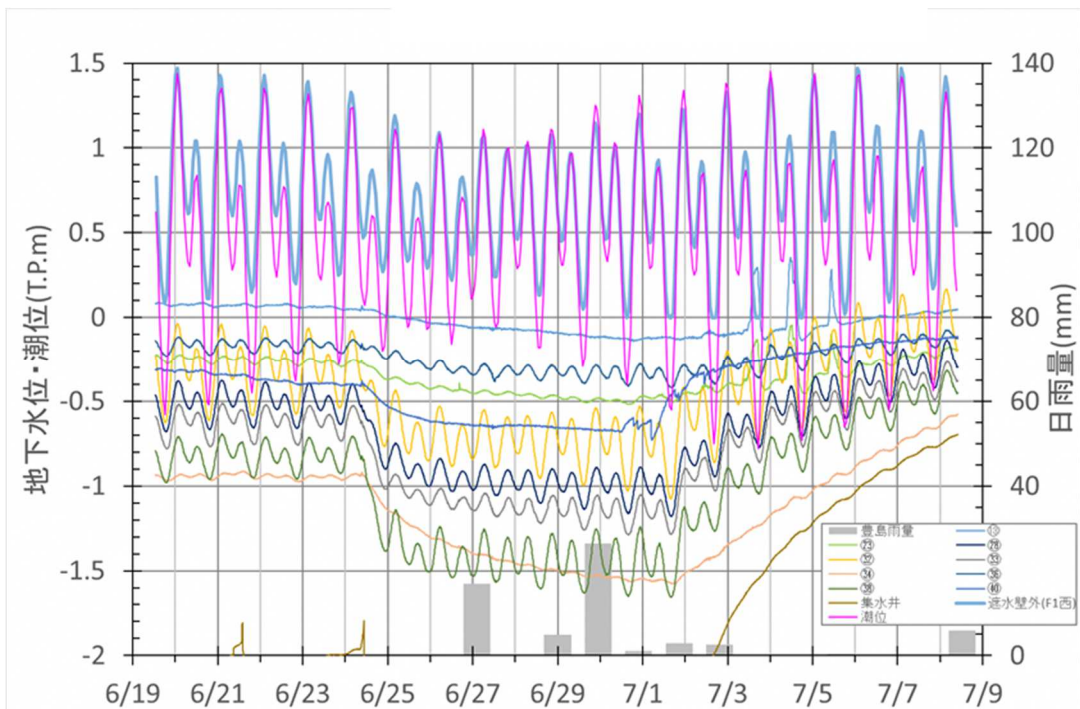
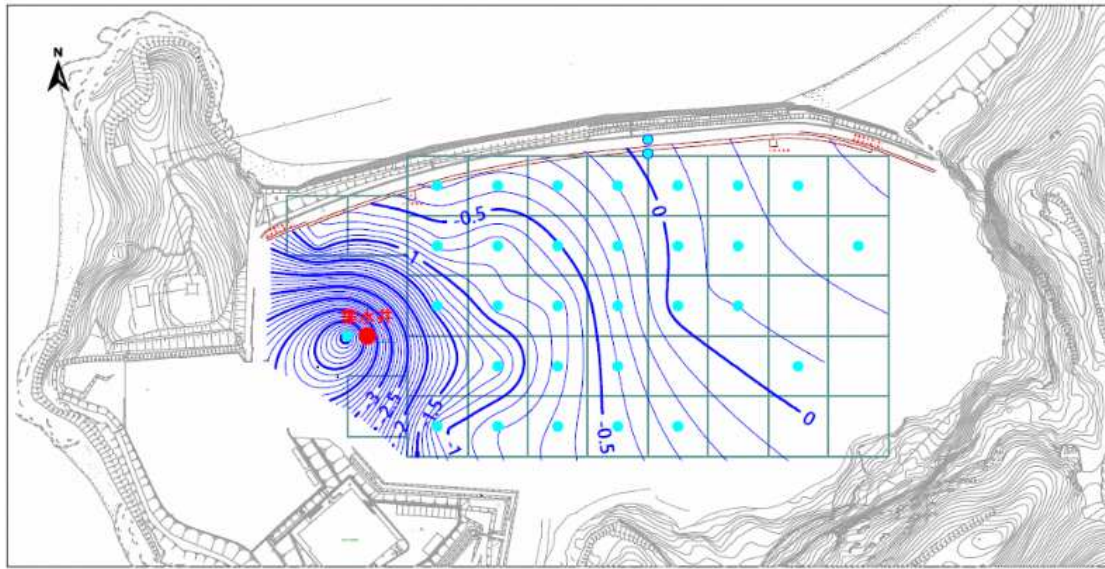


図 2-6 地下水の流れ調査（2019年6月19日～7月8日）時の
 地下水位及び潮位の経時変化図（時間単位）
 （令和元年8月3日検討会資料にデータを追加）
 （水第11回Ⅱ/4 図2-3の再掲）



[単位：T.P.m]

0m 50m 100m 150m

図 2-7 地下水位等高線図 (2019年5月9日)
(水第11回Ⅱ/4 図2-4の再掲)

3. 水収支モデルの解析手法や解析条件等

3-1. モデル構築方針

処分地の地下水の解析にあたっての主な課題として、以下の事項が挙げられる。

- ・ 精度の高い地下水解析には、**水理特性等を詳細に把握**することが必要である。処分地において、地下水が流動する地層は、人為的に改変された沖積層や花崗岩であり、**場所や深度方向によってその性状は複雑**となっている。
- ・ 地下水中の濃度変化には、地下水の流速が大きく関わり、**精度の高い濃度の解析では地盤に関わる多くの情報が必要***である。また、情報が無ければ、精度は期待できない。
- ・ 海側から塩水クサビが処分地の内陸側に侵入していることが想定され、**塩水クサビの挙動を扱うには密度を考慮**した解析手法を用いる必要がある。密度を考慮した解析では計算が不安定化することを避けるため、非常に短い時間間隔（通常、秒単位以下）での計算が必要となり、**解析結果が得られるまで多くの時間***を要する。

地盤の詳細な調査や長時間を要する計算は、事業スケジュールに支障を招くおそれがあることから、高い解析精度に重点を置くのではなく、処分地の地下水の挙動を概略的に把握することを目的とし、様々なケースでの地下水の挙動の検討に重点を置くことをモデルの構築方針とした。

解析手法及び解析条件の考え方について、表 3-1 に示す。また、解析手法や解析条件等を表 3-2 にまとめた。

※作業量について：

- ・ 掘削等により人為的に改変された地盤状況を把握するためには、少なくとも単位区画（10m 四方）に 1 本以上のボーリング調査が必要である。処分地を包含する範囲として東西方向 300m、南北方向 150m とすると、ボーリング本数は計 450 本となる。1 本の深度を 20m、所要日数を 6 日とし、仮に 10 班体制で行ったとしても所要日数は 270 日となる。また、ボーリングに加えて、地下水位観測や水質分析も必要であり、ボーリング調査と合わせて一連の調査には 550 日程度が見込まれる。
- ・ 水収支モデルのためのデータ取得の後に、水収支モデルの計算に係る作業を行うことになる。濃度分布等を加味したモデルを構築した場合、1 ケース・1 年間の計算に約 5 日を見込む。解析では通常、5 年間以上について 10 ケース程度の計算を行うため、解析作業には単純計算で 250 日を要する。
- ・ 詳細な地盤状況を調査と、濃度の解析に係る作業日数の合計は 800 日である。さらに、準備作業や結果のとりまとめを勘案すると、3 年以上を要することが想定される。

表 3-1 解析手法及び解析条件の考え方

項目	留意点	対応案
解析手法	過年度調査では断面二次元地下水流動モデルを用いている。断面二次元モデルでは断面を斜交する地下水の流れは無いものと仮定するが、遮水壁の有無によって地下水流動方向が変化する可能性がある。	サイトの地下水流動状況を踏まえ、 三次元地下水流動モデル を適用する。
解析対象	地下水位・地下水流動に比べて、濃度に関わるパラメータは多く、濃度の解析精度の向上には多くの作業量が必要である。	遮水壁の有無による 地下水位・地下水流動への影響解析に主眼 を置く。 濃度は解析しない 。
解析範囲	当該地の地下水は、地表からの浸透と、背後地からの浸透・流動によるものと考えられる。	地形を踏まえ、 背後地を含めた範囲を解析対象範囲 とする。
地質構造	地質は沖積層（粘性土層、砂質土層、礫混り砂質土層、礫質土層）と風化花崗岩層、（強風化花崗岩、風化花崗岩）に区分される。さらに沖積層は各所で掘削され、その中に廃棄物等が投棄されていた。現在、廃棄物は除去され健全土で埋め戻されているが、投棄跡も考慮すると沖積層の地盤構成は非常に複雑となる。	人工地盤が多く含まれる沖積層中で、地下水は複雑に挙動すると考えられるが、一括して1つの地層として扱う。したがって、当該地は盛土層・埋立土層以下の層を、沖積層、強風化花崗岩、風化花崗岩の3層とした。
不飽和部の扱い	地下水面よりも上の不飽和部での地下水の挙動の解析には不飽和特性に関わるデータが必要。また、不飽和の解析に関わる作業量が大い。	地下水位が浅い（不飽和部が薄い）ことから、 飽和部のみを解析対象 とする。
塩水クサビ	地下水（淡水）が海方向に流動する範囲（深度方向の幅）は塩水クサビに制約される。一方、塩水クサビの解析に関わる作業量が非常に大きい。	塩水クサビの範囲を仮定の難透水層 とし、淡水は塩水クサビの上の深度で流動しやすいものとする。 今後、必要に応じて、現地調査により塩淡境界の位置を把握し、解析に反映する。
密度	地下水中に溶解している物質が多いと、淡水よりも密度が大きくなり、地下水流動に影響する可能性がある。ただし、密度を考慮する解析に関わる作業が大い。	浄化対策が進んでおり、高い濃度の範囲はないことから、 密度を考慮せず 、淡水（密度 1.0g/cm ³ ）として解析する。今後、必要に応じて、現地調査等により密度を把握し、例えば 淡水密度と実測密度の比で換算した地下水位でモデルを検証 する等の方策を講じる。
時間変化	地下水位の時間変化（気象や潮汐等による影響）を解析するためには非定常解析が必要であるが、解析に関わる作業量が大い。	遮水壁の有無による地下水状況の解析が主であることから、外的要因は平年値あるいは平均値とし、 定常計算（気象や潮汐の時間変化を考慮しない） により解析を行う。水収支は、潮位、降水量など、地下水流動に大きく影響する複数ケースの外部要件を与えて、遮水壁の有無による地下水位及び流動量を解析する。

表 3-2 解析の概要
(水第 11 回 II / 4 P4 表の再掲)

項目		内容
解析手法	解析手法	三次元地下水流動モデル
	時間の取り扱い	定常計算
	解析対象	水収支、地下水位
	解析コード	MODFLOW
解析条件	解析範囲	陸域（処分地、背後地：約 151,000m ² ） 海域（約 171,000m ² ）
	計算格子	縦・横・高さ 5m の立方体を基本とした。遮水壁周辺では横を 1m に、地下水の主要な流動深度では高さ方向を 0.2m～2m とした。計算格子数は約 254 万個。
入力条件	地形	レーザー測量成果（陸上地形）及び海底地形図を接合した。
	地質	既往の地質調査結果をもとに、盛土層・埋立土層、沖積層、花崗岩層（強風化花崗岩、風化花崗岩、新鮮花崗岩）に区分。各地層の境界の等高線図を作成。
	地表水・涵養	豊島降水量及び高松地方気象台のデータより涵養量を算定。蒸発散量は Penman 法による。
	塩水侵入	地下水位に対し、塩淡境界の深度は 1:33 とし、塩水は難透水領域と仮定。塩分濃度は既往文献による。
	地下構造物	遮水壁、集水井、揚水井、トレンチドレーン、山側排水路を考慮。
	水理定数	透水係数は既往地質調査時の原位置透水試験及び文献資料に、有効間隙率は文献資料による。

3-2. 解析手法及び解析コード

(水第11回Ⅱ/4 3-1. 解析手法及び解析コードの再掲)

①解析手法

処分地の地下水流動状況を踏まえ、三次元地下水流動モデルを適用する。

②時間の取り扱い

定常計算とし時間変化は取り扱わない。満潮・干潮、降水量の平年・豊水など、地下水流動に大きく影響する複数ケースの外部要件のもとでの水収支を解析する。

③解析対象

地下水流動（水収支）及び地下水位とする。新たなデータ取得が必要となる濃度や密度は解析対象外とし、海水（塩水）と地下水（淡水）の境界を入力条件の中で取り扱うことで簡易的に塩水クサビを表現する（3-6. 節にて説明）。

④解析コード（プログラム）

水収支モデルの目的及び処分地の地盤状況を踏まえ、複数の解析コードの比較よりMODFLOWを使用する。

表 3-3 解析コードの比較
(水第11回Ⅱ/4 表3-1の再掲)

	MODFLOW	UNSAF	GETFLOWS
開発者	アメリカ地質調査所(USGS)	岡山地下水研究会（岡山大学）	(株)地圏環境テクノロジー
ソースコード	公開	公開	非公開
空間次元	3次元	3次元	3次元
数値解法	有限差分法 解析対象の地盤を直方体の格子で表現する。	有限要素法 解析対象の地盤を三角柱（五面体）格子で表現する。	有限差分法 解析対象の地盤を六面体の格子で表現する。
不飽和部の扱い	飽和のみ（疑似的に不飽和） 処分地の不飽和部が薄いため、飽和部のみを扱うことでも本検討の目的の達成は可能。	飽和・不飽和 不飽和部の水理定数等の詳細な情報がなく、不飽和部を扱う意義は大きくない。	飽和・不飽和 同左
その他留意点	作業量が比較的小さい。	作業量が多い。	作業量が多い。
本検討での適否	◎	○	△

3-3. 解析範囲及び計算格子

(水第11回Ⅱ/4 3-2. 解析範囲及び計算骨子の再掲)

解析範囲は、地形や地下水流動を考慮し背後地と海域を含めた範囲とした。海域については、水理基盤である新鮮花崗岩の上面について見ると、谷状の地形が海域から処分地方向に延びており、遮水壁付近で最も深い深度はT.P. -33mであった（図 3-1）。地下水はT.P. -33mよりも浅い深度で流動すると考えられることから、T.P. -33mを下回るT.P. -38mの新鮮花崗岩上面の範囲を解析範囲とする。

水収支モデルでは、解析範囲を三次元の格子に細分し、格子単位で地下水位や地下水の流動を計算する。図 3-1に解析格子を示す。

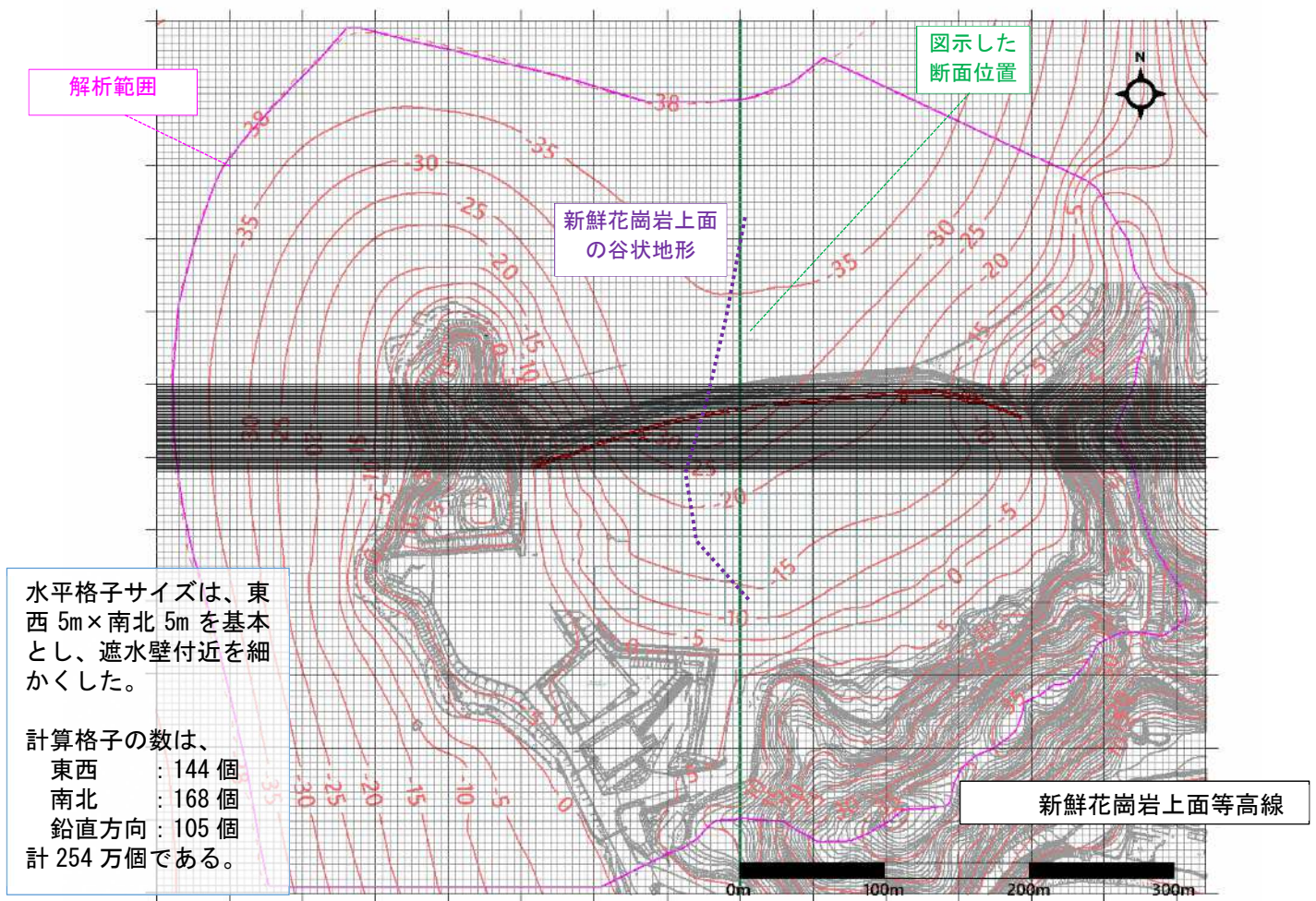
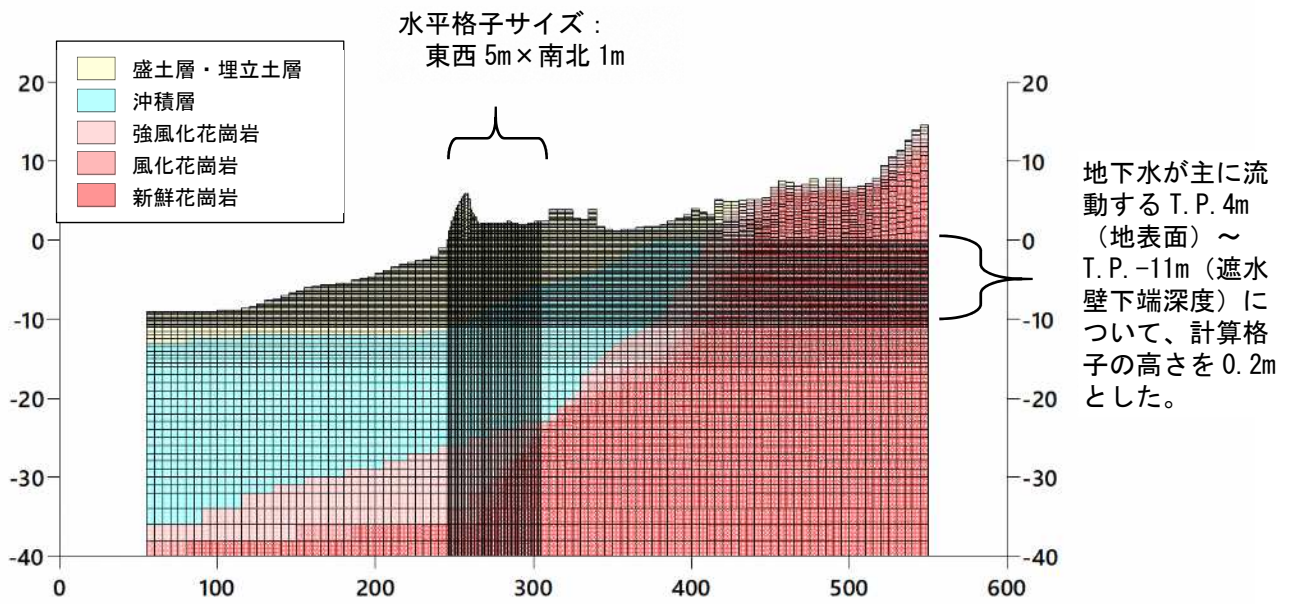


図 3-1 (1) 解析範囲・解析格子と地形・地質
(水第 11 回 II / 4 図 3-1 の再掲)

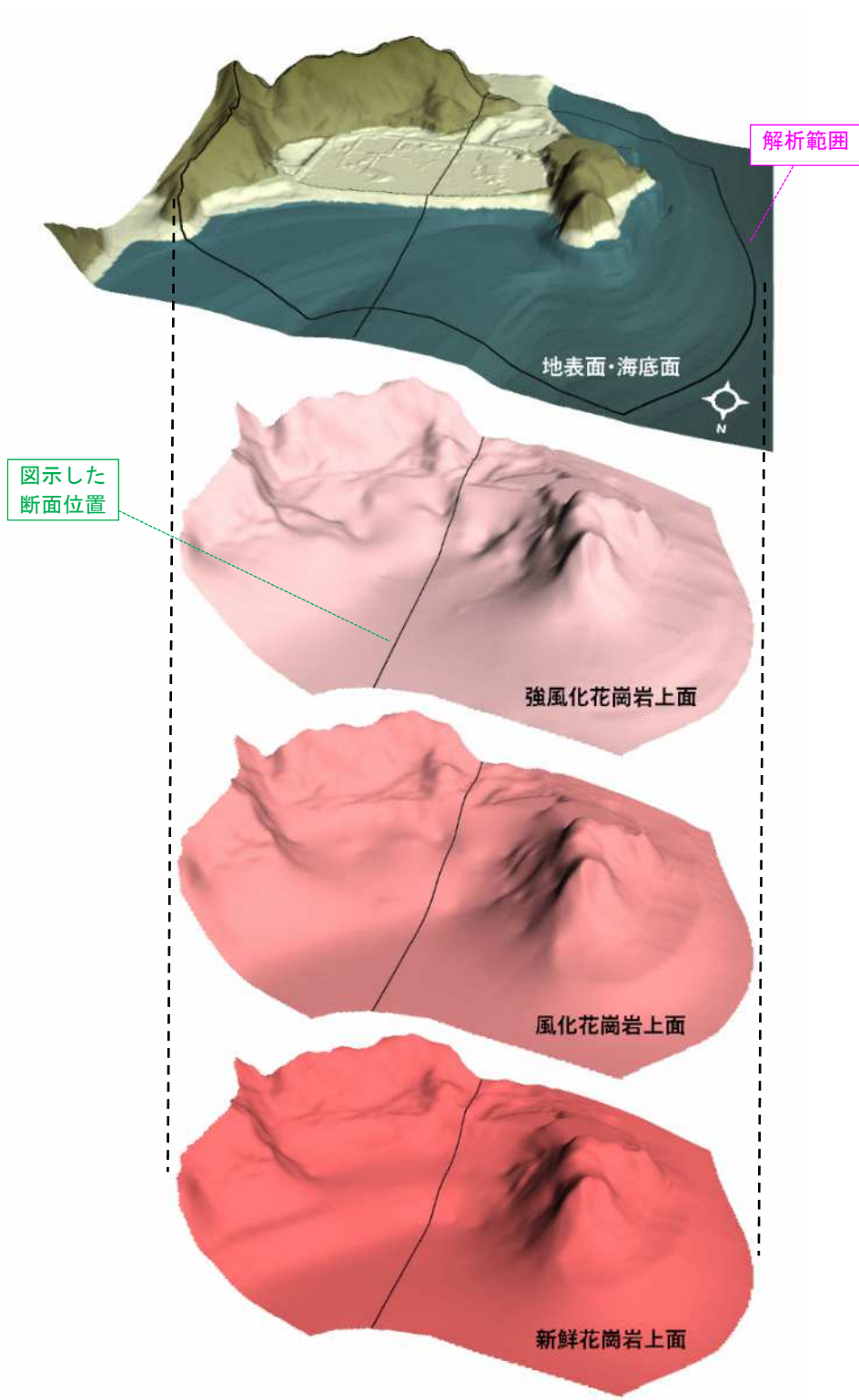


図 3-1 (2) 解析範囲・解析格子と地形・地質
 (水第 11 回Ⅱ/4 図3-1の再掲)

3-4. 地形・地質条件

(水第11回Ⅱ/4 3-3. 地形・地質条件の再掲)

(1) 地形

地形図及び海底地形図(表3-4)より、解析範囲の地形図を編集した結果を図3-2に示す。図より計算格子(図3-1)地点の標高値を求め、モデルに入力する。

表 3-4 地形及び海底地形に関する資料

(水第11回Ⅱ/4 表3-2の再掲)

項目	資料名	縮尺	調査・刊行者	刊行年月	備考
陸上地形	レーザー測量成果	-	香川県	(H28.4)	処分地内の現状に合わせて凹凸を平坦化
海底地形	1:25,000 沿岸海域地形図高松	1/25,000	国土地理院	1979/10	
	備讃瀬戸東部(海底地形図)	1/50,000	海上保安庁	1989/2	
	備讃瀬戸東部(航海用海図)	1/45,000	海上保安庁	2013/8	

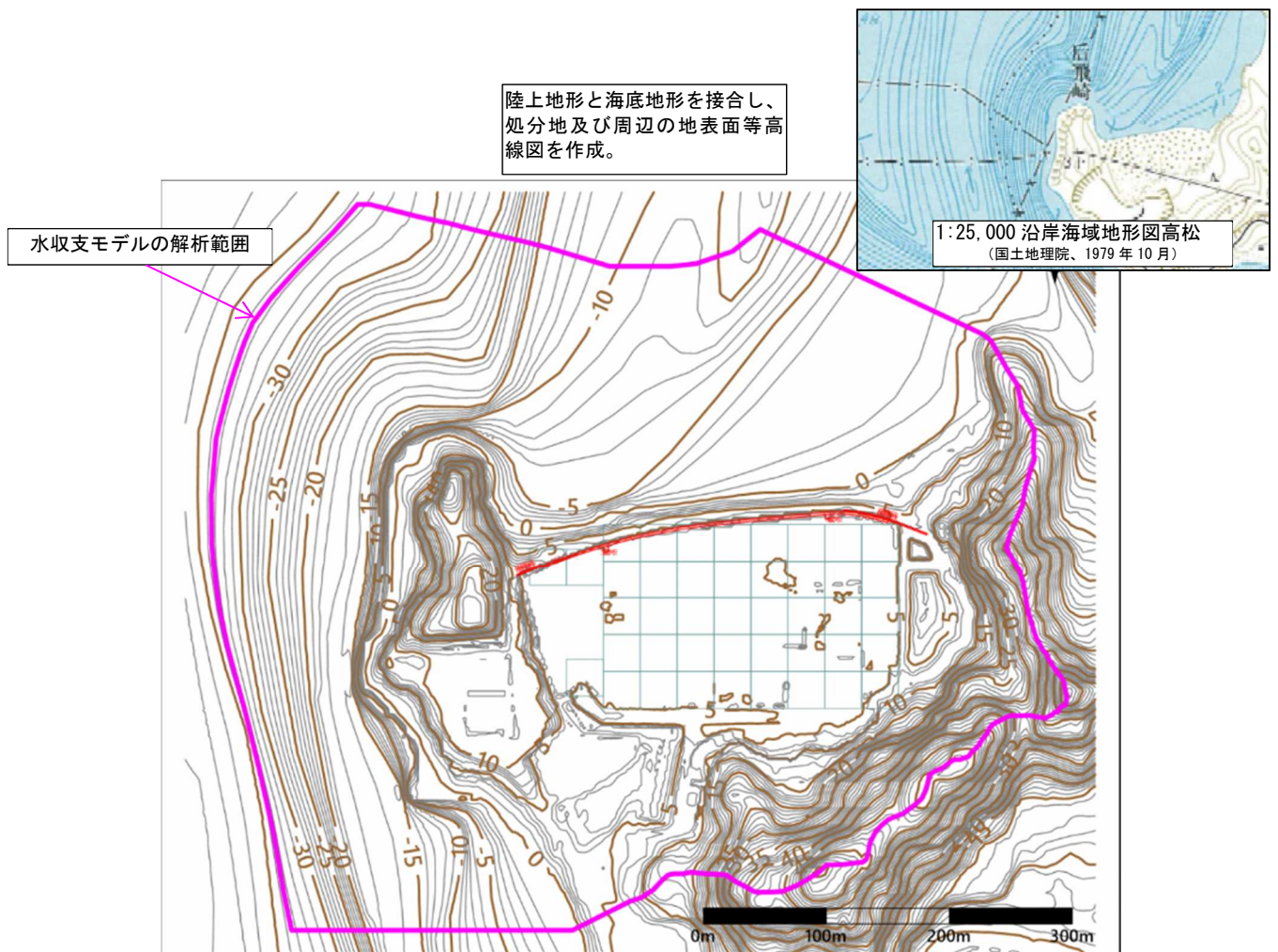


図 3-2 地表面等高線 (T. P. m)

(水第11回Ⅱ/4 図3-2の再掲)

(2) 地質

処分地及びその周辺の本来の地質は、沖積層と花崗岩よりなる。このうち、沖積層の上部は処分地内の各所で掘削され、盛土層・埋立土層となり、その上部に廃棄物等が投棄されていた。現在、盛土層・埋立土層は廃棄物等を撤去し健全土で埋め戻されており、地質は、盛土層・埋立土層、沖積層及び花崗岩層（強風化花崗岩、風化花崗岩、新鮮花崗岩）に区分される（表 3-5、図 3-3）。なお、遮水壁は、盛土層・埋立土層の地下水流動を遮蔽し、下位の沖積層（場所によっては花崗岩）に貫入する深度まで設置されている（「豊廃棄物等技術委員会報告書第 I 編（施設整備編）」）。

水収支モデルの構築でも、既往調査で区分された各地層の上面等高線図を作成した（図 3-4～図 3-8）。図より計算格子（図 3-1）地点の地層の標高値を求め、モデルに入力する。

表 3-5 処分地の地層区分
(水第 11 回 II/4 表 3-3 の再掲)

地層	地質	水理特性等
盛土層・埋立土層	粘性土・砂質土・砂礫	帯水層、人為的改変が著しい
沖積層	粘性土・砂質土	帯水層だが比較的難透水とみられる
花崗岩層	強風化花崗岩	風化部に地下水を胚胎する
	風化花崗岩	同上
	新鮮花崗岩	当該地の水理基盤をなす

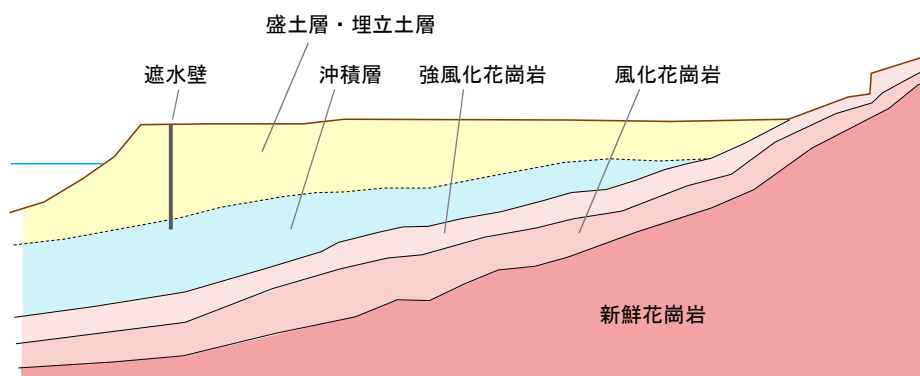


図 3-3 地層区分の模式図
(水第 11 回 II/4 図 3-3 の再掲)

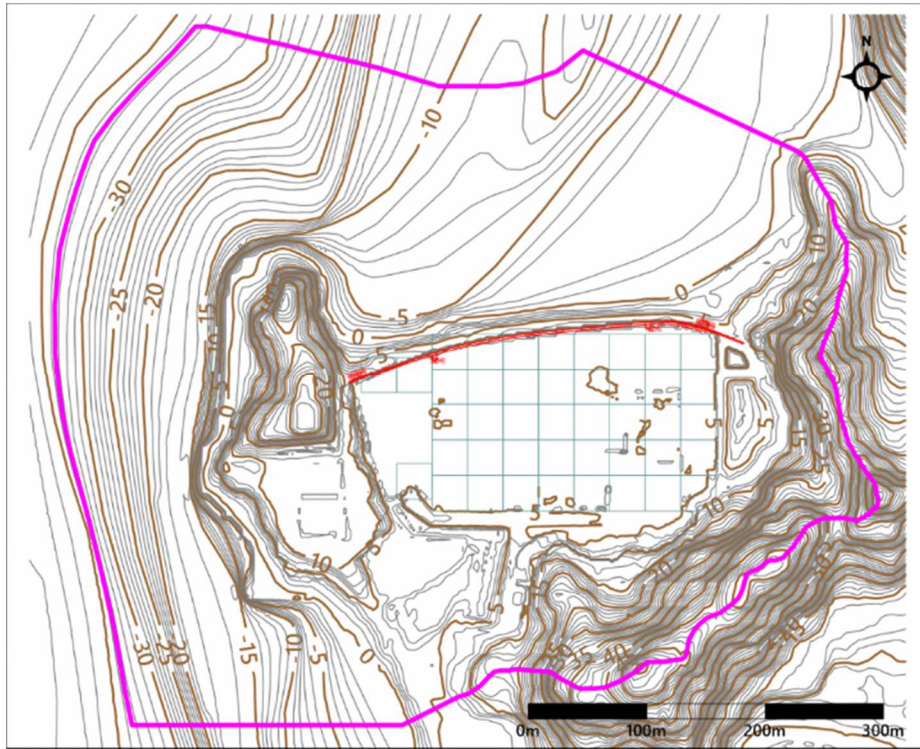


図 3-4 地表面（盛土層・埋立土層上面）等高線
 (水第11回Ⅱ/4 図3-4の再掲)

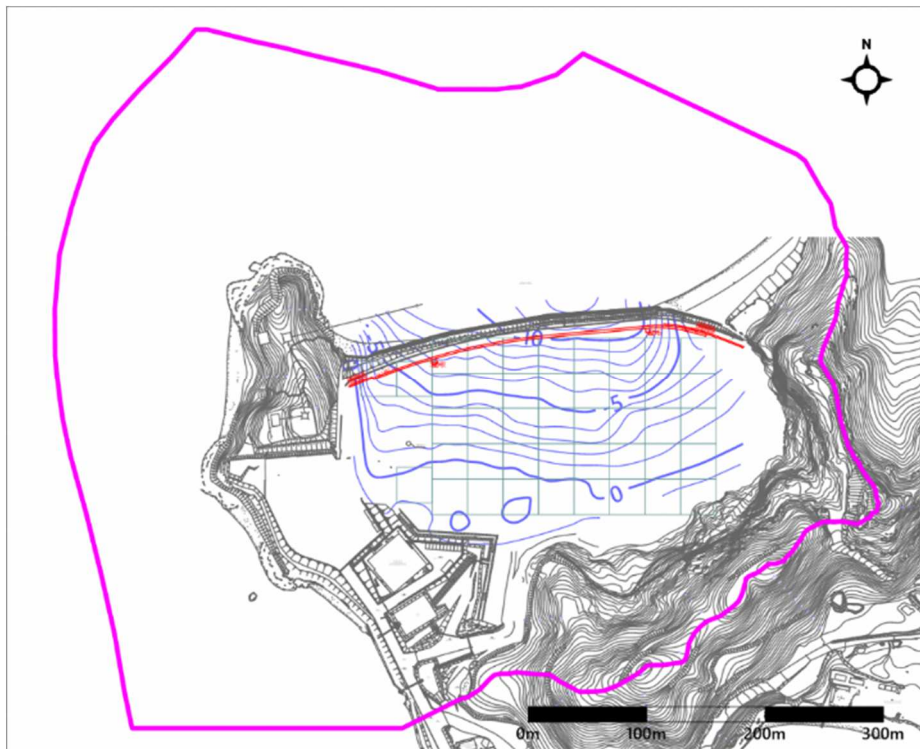


図 3-5 沖積層上面等高線
 (水第11回Ⅱ/4 図3-5の再掲)

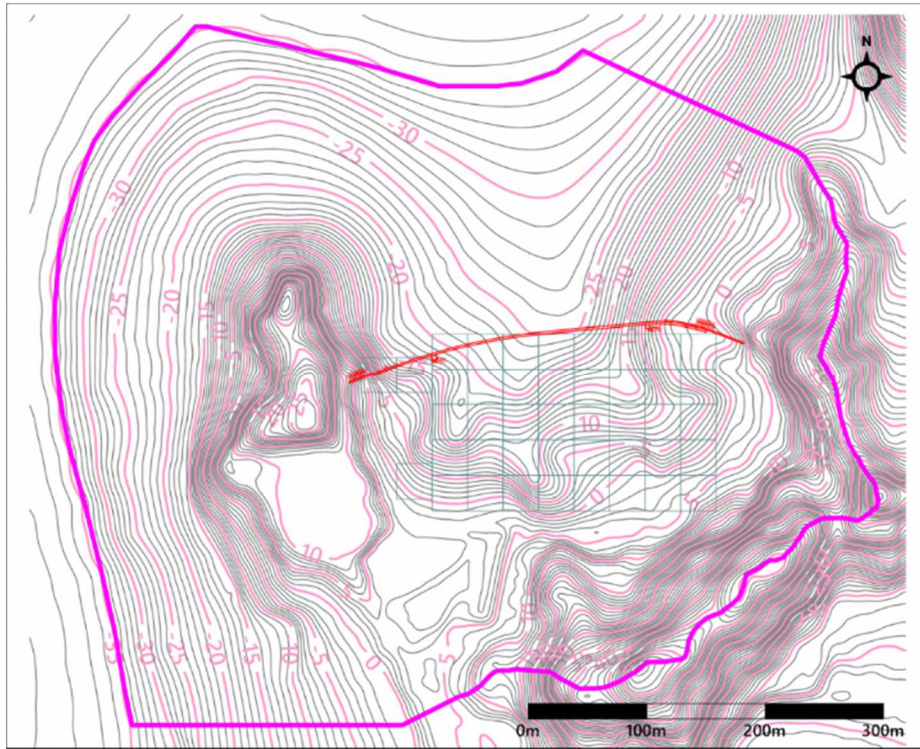


図 3-6 強風化花崗岩上面等高線
 (水第11回Ⅱ/4 図3-6の再掲)

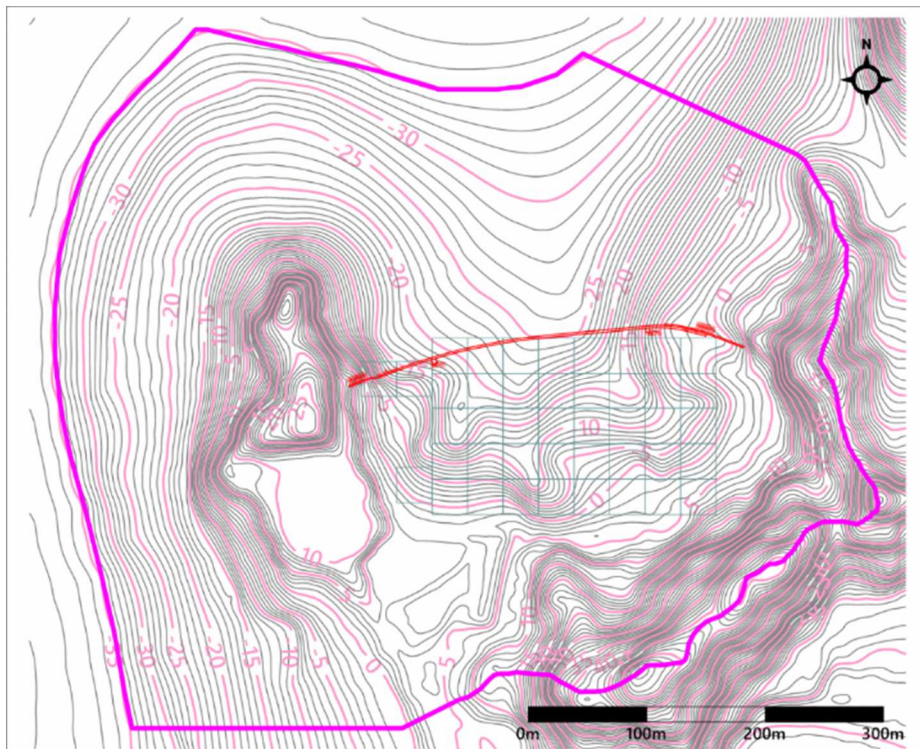


図 3-7 風化花崗岩上面等高線
 (水第11回Ⅱ/4 図3-7の再掲)

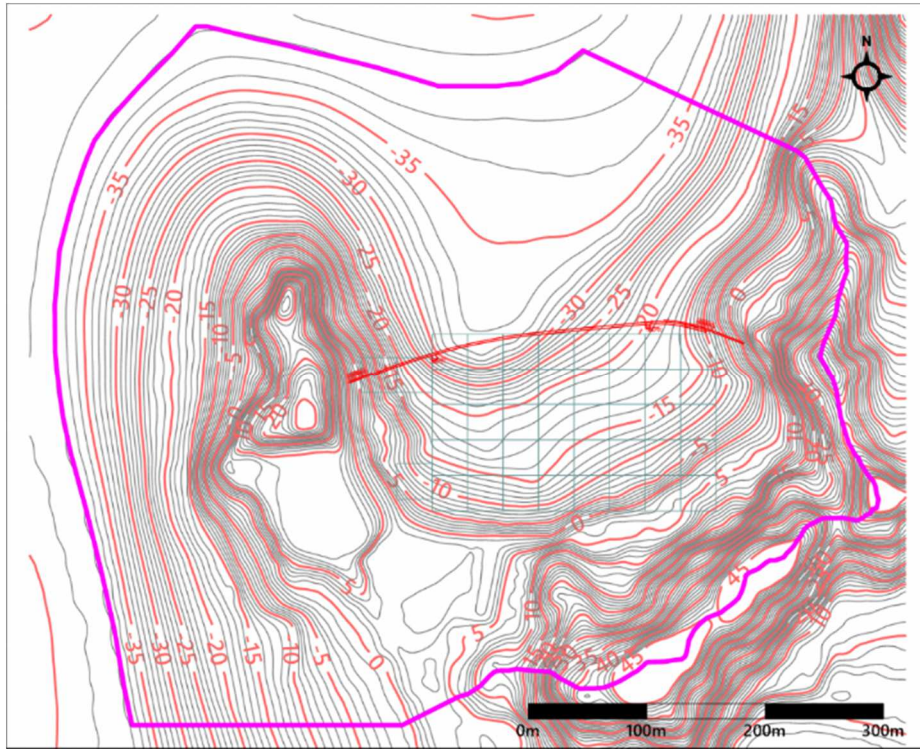


図 3-8 新鮮花崗岩上面等高線
 (水第11回Ⅱ/4 図3-8の再掲)

3-5. 気象条件

過年度の検討と同様の推定方法を基本とし、最新の気象観測資料を用いて涵養量を推定した(表 3-6、図 3-9、10)。2010 年～2019 年の最近 10 年間の平均降水量(1,279.2mm)に近い値である 2015 年と、データの揃っている直近の 2019 年を、水収支モデルの検証対象年とした(なお、水収支モデルを用いた予測解析に用いる気象条件は、渇水年など、予測が必要と考えられる条件を検討し、別途設定する)。

2015 年について見ると、調査地域における涵養量(地下浸透量)は年間 422mm、1 日あたり 1.2mm と推計された。一方、2019 年は少雨を反映し、涵養量(地下浸透量)は年間 268mm、1 日あたり 0.7mm と、2019 年の約 60%であった。地下水位は 2019 年に低下しており、揚水量の増加に加え、涵養量の減少も影響したものと考えられる。

なお、地下水位が地表面よりも高くなる場合は、地表流出するものとした。

表 3-6 涵養量の推定方法及び推定結果

項目	考え方等	本調査での推定		既往調査での推定
		2015 年 1 月～ 12 月	2019 年 1 月～ 12 月	1989 年 4 月～ 1995 年 12 月
気象データ	高松地方気象台資料	2015 年 1 月～ 12 月	2019 年 1 月～ 12 月	1989 年 4 月～ 1995 年 12 月
降水量	年平均値	1,210mm/年	1,040mm/年	1,200mm/年
可能蒸発散量	Penman 法	910mm/年	940mm/年	1,000mm/年
実蒸発散量	可能蒸発散量の 0.6 倍	546mm/年	564mm/年	600mm/年
表面流出量	降水量に対する流出率 0.2	242mm/年	208mm/年	240mm/年
涵養量(地下 浸透量)	降水量－実蒸発散量－ 表面流出量	422mm/年 (1.2mm/日)	268mm/年 (0.7mm/日)	360mm/年 (1mm/日)

※降水量及び蒸発散量は既往調査に倣い 10mm 単位とした。

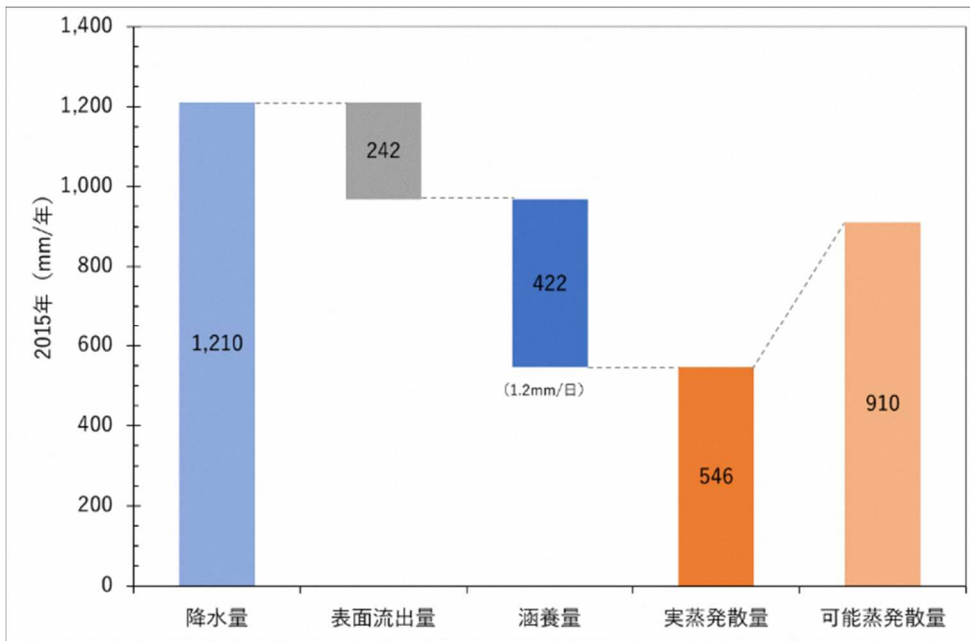


図 3-9 地下浸透量（涵養量）と蒸発散量、表面流出量の関係（2015年）

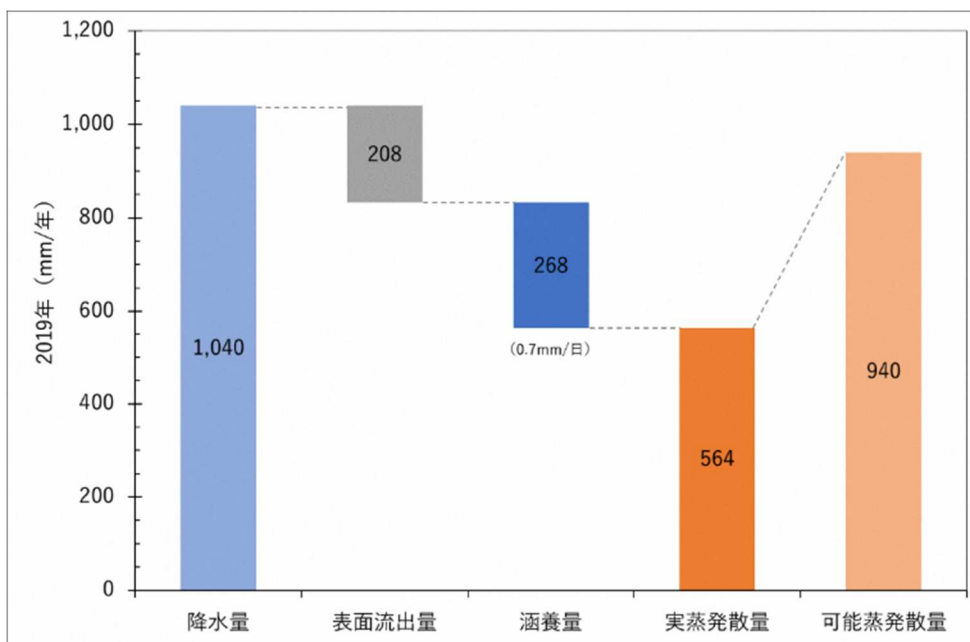


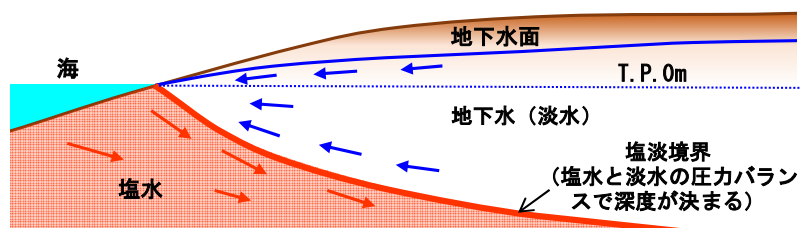
図 3-10 地下浸透量（涵養量）と蒸発散量、表面流出量の関係（2019年）

3-6. 塩水侵入条件

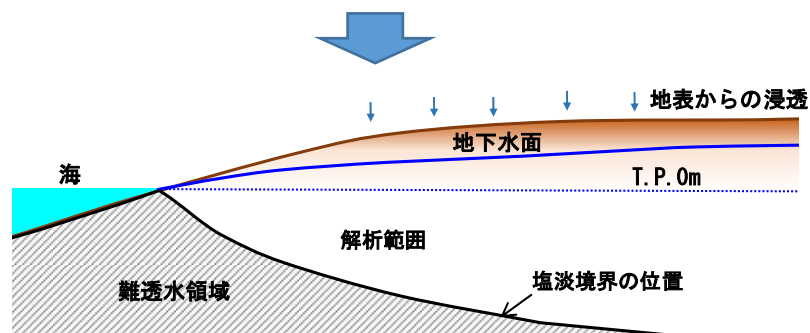
(1) 考え方

(水第11回Ⅱ/4 3-6.(1) 考え方の再掲)

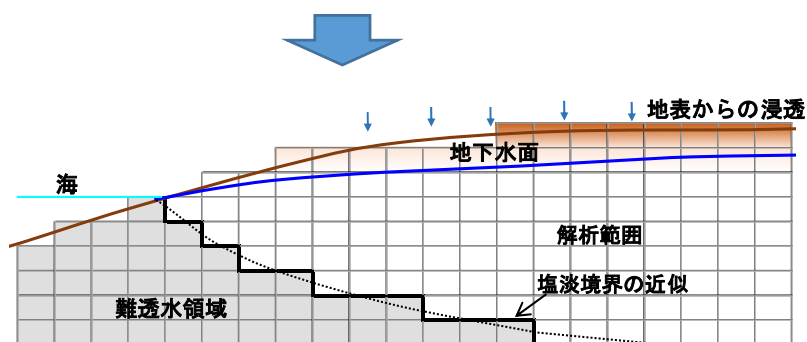
当該地では塩淡境界の解析に必要なデータが少なく、また、解析に係る作業量が非常に大きい。そこで、本検討では、塩水クサビの範囲を難透水層として扱い、淡水は主に塩水クサビより上の深度で海側に流動するものとする。すなわち、本解析では淡水の流動のみを扱うことし、海からの塩水の供給については考慮していない。



(海岸部における地下水流動の模式図)



(塩水クサビを難透水とし海岸部の淡水流動範囲を狭くすることで近似的に表現)



(水収支モデルでは解析格子単位で難透水領域を設定)

図 3-11 モデルにおける塩水侵入 (塩水クサビ) の扱い
(水第11回Ⅱ/4 図3-10の再掲)

(2) 遮水壁設置前の塩淡水境界

(水第 11 回 II/4 3-6. (2) 遮水壁設置前の塩淡水境界の再掲)

海岸付近の塩水と淡水の分布の模式図を図 3-1 2 に示す。

淡水の密度よりも塩水（海水）の密度は重いいため、クサビ状に塩水が内陸側に侵入し、その上に淡水（地下水）が載るように分布する。塩水と淡水の境界（塩淡水境界）の深度は、地下水位とのバランスで決まり、ガイベン・ヘルツベルグの法則（次式）で表される。

$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f$$

式で、 z ：海面高を基準とした場合の塩淡水境界の深度

ρ_f ：淡水（地下水）の密度 (=1,000kg/m³)

ρ_s ：塩水（海水）の密度

h_f ：海面高を基準とした場合の地下水位

瀬戸内海の塩分濃度は 30‰とすると（図 3-1 3）、地下水位と塩淡水境界の関係は、 $z = 33h_f$ となる。例えば、地下水位が 1m とすると、塩淡水境界の位置は T.P. -33m と推定される。

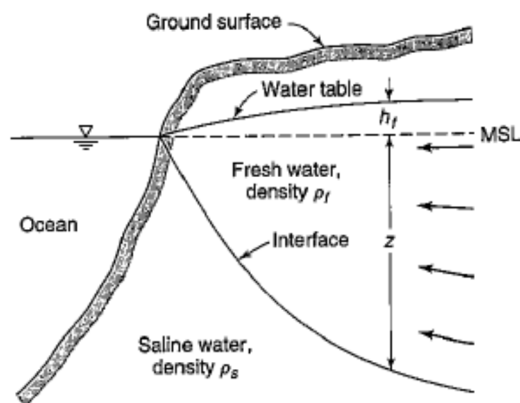


図 3-1 2 海岸付近の塩水と淡水の分布の模式図 (D. K. Todd, et al (2005) Groundwater Hydrology)

(水第 11 回 II/4 図 3-1 1 の再掲)

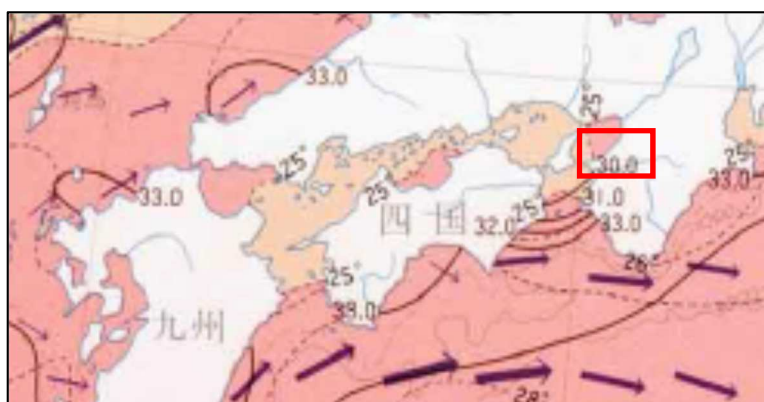


図 3-1 3 塩分濃度（夏期）(国土地理院 (1990) 新版日本国勢地図)

(水第 11 回 II/4 図 3-1 2 の再掲)

遮水壁設置前の塩淡水境界に関わるデータは無いが、ガイベン・ヘルツベルグの法則にしたがって塩淡水境界が形成されていたと考える（図 3-1 4）。

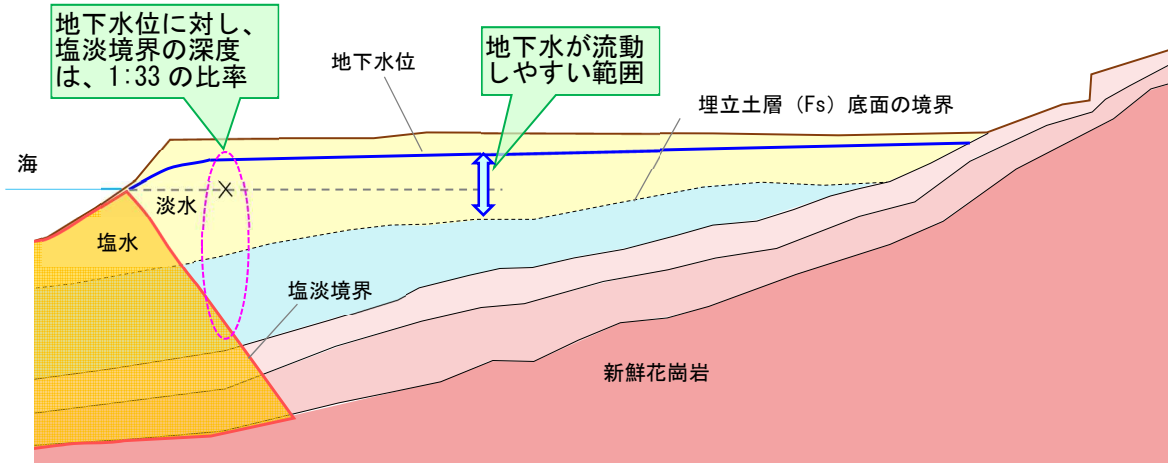


図 3-1 4 遮水壁設置前の塩淡水境界（想定）
（水第 11 回Ⅱ/4 図 3-1 3 の再掲）

(3) 地下水の状況

(水第 11 回Ⅱ/4 3-6. (3) 地下水の状況の再掲)

① 地下水の流動

過年度の調査で地層別の流量が算定されている（図 3-1 5）。それによれば、主に地下水は盛土層 (Bg) 及び埋立層 (Fs) より流出するとし、遮水壁の設置深度を設定する理由となっている。すなわち、埋立層 (Fs) よりも下位の地層では、全般的に透水性が小さく、地下水の流動量は少ないことが前提となっている。

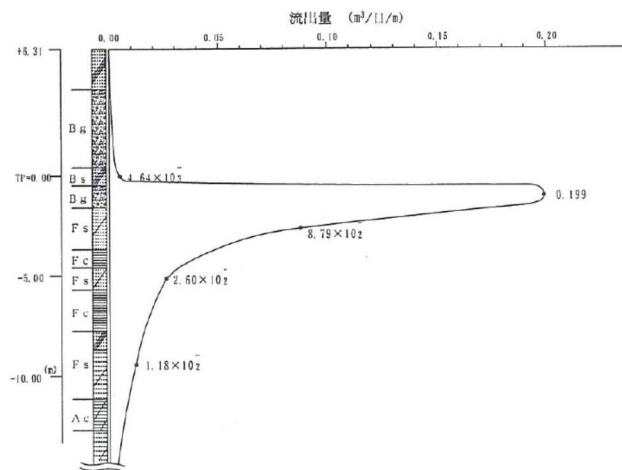


図 3-1 5 地層別の海域方向への流量（豊島廃棄物等対策調査「暫定的な環境保全措置に関する事項」報告書、平成 10 年 8 月）
（水第 11 回Ⅱ/4 図 3-1 4 の再掲）

地下水流動量の算定は、遮水壁設置前の、処分地から海域に向かう地下水流動について検討したものであるが、遮水壁設置後の現状においても、埋立層 (Fs) よりも下位の地層は、遮水壁設置前と同様、上位の地層よりも透水性が小さく、処分地内の地下水を保持しているものと思われる。

②観測孔の水質

現在、処分地内の地下水位は、地下水の揚水により概ね T.P. 0m 以下に維持されている (図 2-7)。ガイベン・ヘルツベルグの法則に従えば、地下水位が T.P. 0m 以下では淡水から塩水に置き換わることになる。しかしながら、処分地内の地下水観測孔や揚水施設では、これまで高濃度の塩水は確認されておらず、深部での塩水侵入の有無は不明であるが、少なくとも観測孔や揚水施設の設置深度までは淡水が保持されていると考えられる。

(4) 現状 (遮水壁設置後) の塩淡境界

(水第 11 回 II/4 3-6. (4) 現状 (遮水壁設置後) の塩淡境界の再掲)

地下水位が T.P. 0m 以下の現状で、観測孔等の設置深度まで塩水化していないことは、遮水壁と、透水性の小さな地層 (埋立層 (Fs) よりも下位の地層) で、海側からの塩水の侵入が遮られていることを示すものとする。地層による地下水流動の差異と、観測孔等で塩水が確認されていない状況を踏まえ、図 3-16 には、想定した遮水壁設置後の現状の塩淡境界を示す。

図で、埋立層 (Fs) 以上の地層中の地下水には、遮水壁と埋立層 (Fs) 底面より下位の透水性の小さい地層により塩水は浸入しないと考えた。また、透水性の小さな地層 (埋立層 (Fs) よりも下位の地層) では、遮水壁設置前の塩淡境界が残存しているものと仮定した。

なお、処分地内の地下水位は潮位の影響を受けていることから、埋立層 (Fs) よりも下位の地層を伝って潮位変化が伝播していると考えられる。そこで、塩水クサビは、淡水に対しては難透水層の役割を成すものとし、若干の地下水の流動があるものとした。

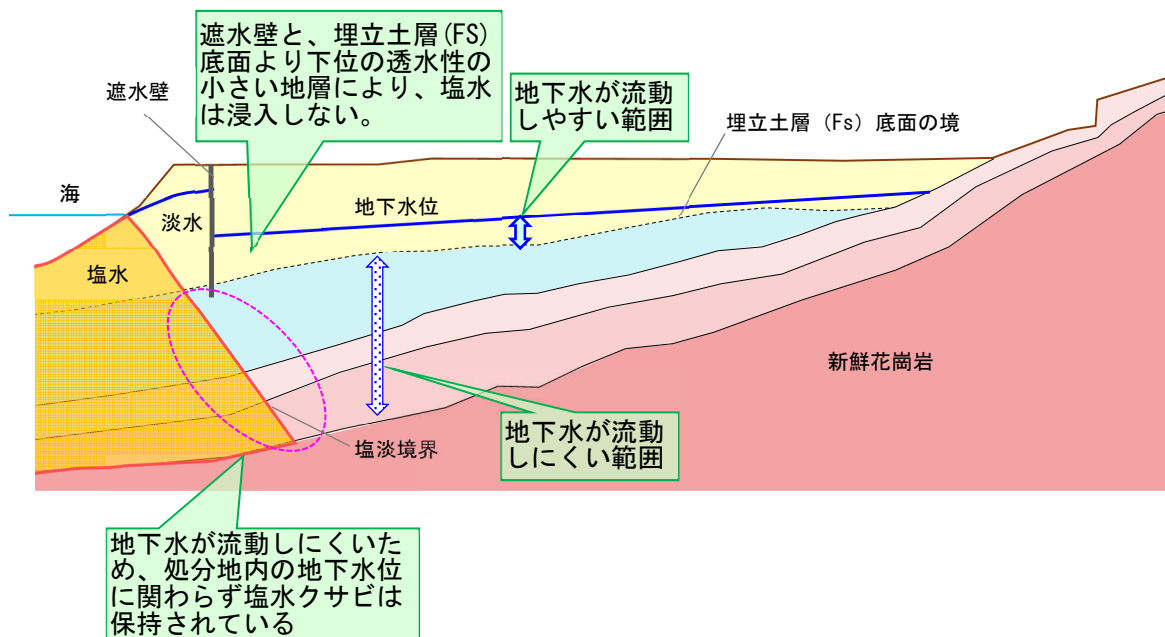
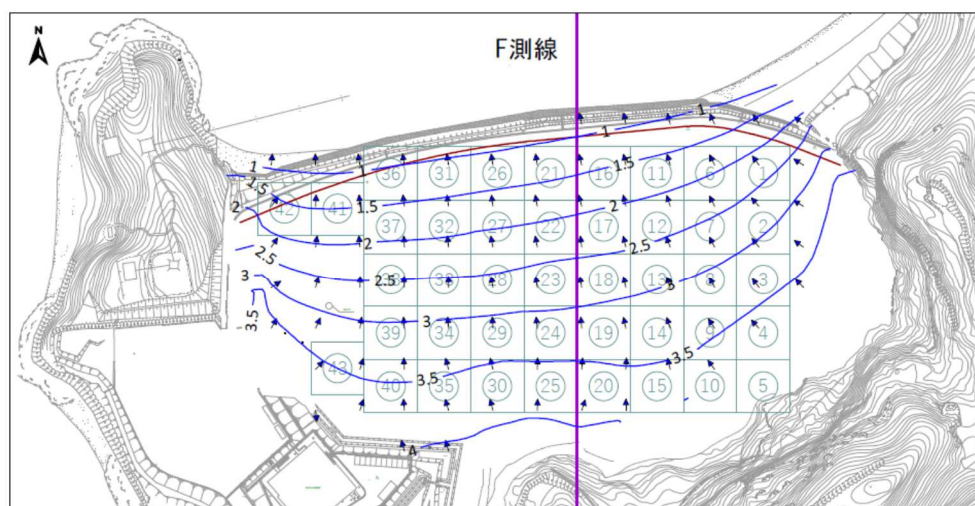


図 3-16 遮水壁設置後の塩淡境界
(水第 11 回 II/4 図 3-15 の再掲)

(5) 入力条件

塩水クサビの上面（淡水の範囲）を流動する地下水の挙動を検討するために、遮水壁設置前の地下水位を水収支モデルで算出し、ガイベン・ヘルツベルグ式により塩淡境界の位置を推定した。なお、水収支モデルは海側からの塩水の供給を解析するものではなく、塩水クサビの形状は気象や処分地内の地下水位に関わらず保持されるものと仮定している。

図 3-17 には、水収支モデルで得た地下水位分布を示す。図中に示した断面位置の地下水位及び塩淡境界を図 3-18 に示す。陸側で地下水位は地形に沿って高くなるため、塩水クサビの位置は陸側ほど深くなる。水収支モデルでは、塩水クサビの範囲は難透水層として扱うため、塩水クサビは陸側からの地下水流動に対し流動を抑える壁のような役割をしていると考えられる。



[単位：T.P.m]

0m 50m 100m 150m

図 3-17 遮水壁無しの地下水位（気象条件は 2015 年時）

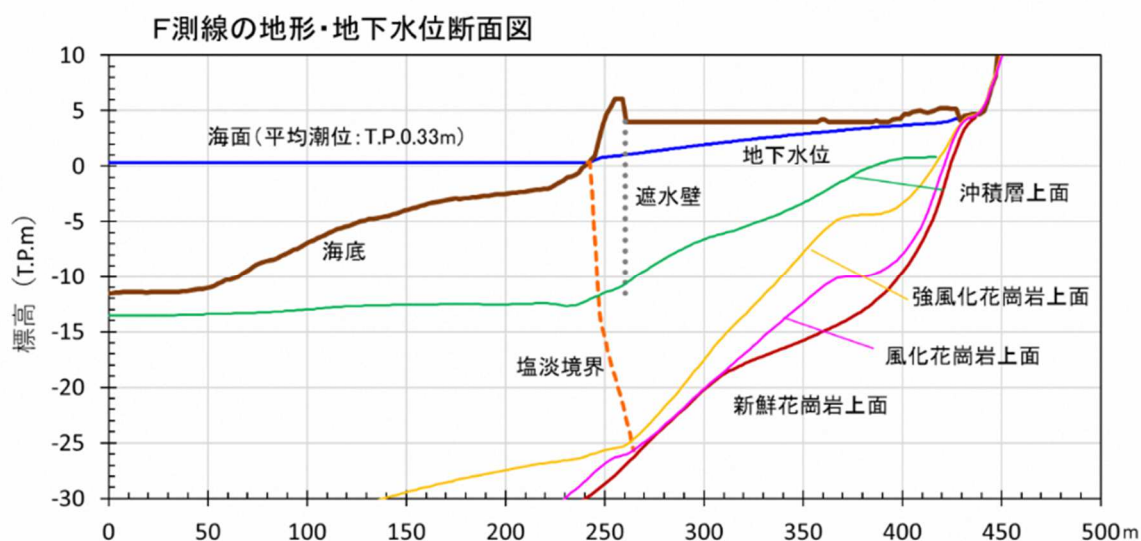


図 3-18 地下水位及び塩淡境界（気象条件は 2015 年時、潮位は 2015 年の平均）

3-7. 地下構造物条件

(1) 水収支に関わる地下構造物

地下水位や地下水の流動に影響する地下構造物として表 3-7 及び図 3-19 が挙げられる。これらの諸元を整理し水収支モデルに反映した。

表 3-7 地下構造物と水収支解析での取り扱い

地下構造物	概要	水収支解析	
		2015年時点	2019年時点
遮水壁 (図 3-20、図 3-21)	海域への地下水流動が大きい盛土層・埋立土層に貫入するように設置	○	○
集水井、7層計45本の集水横ボーリングにより集水	揚水能力は 200m ³ /日	—	○
揚水井 (22 23 25 27 28 29 32 33 の8本)	揚水能力は計 280m ³ /日	—	○
トレンチドレーン (図 3-22)	φ500 有孔ポリエチレン管、底面高 T.P. 0.0m	○	○
山側排水路	山側からの地表流出を処分地外に配水	○	○

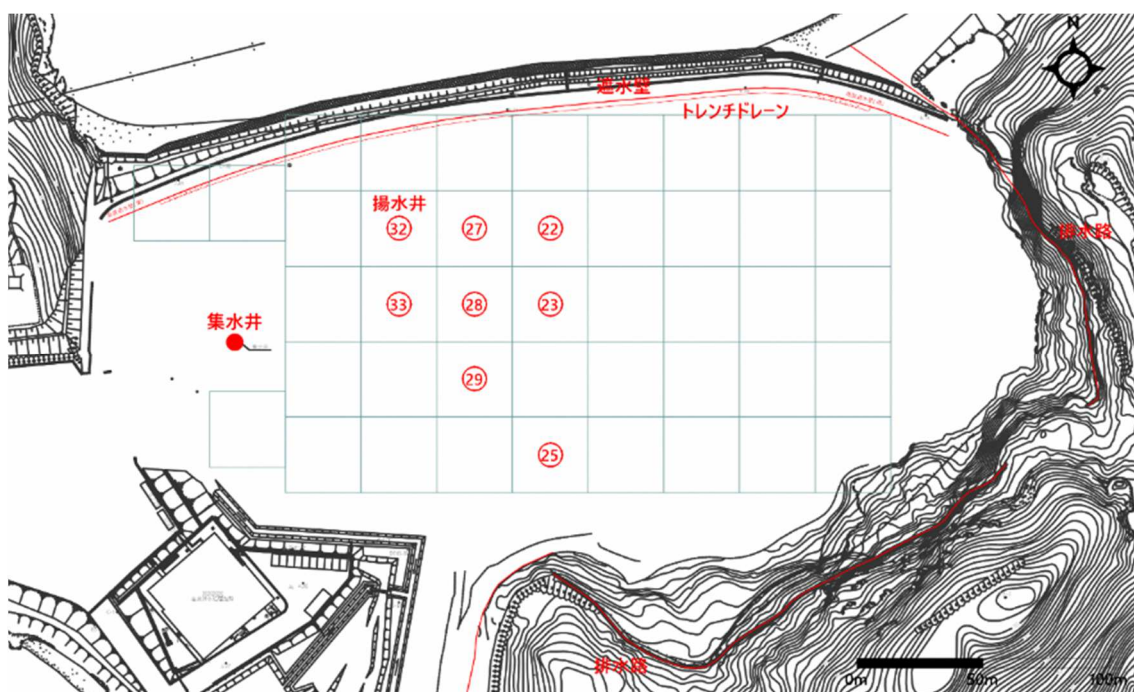
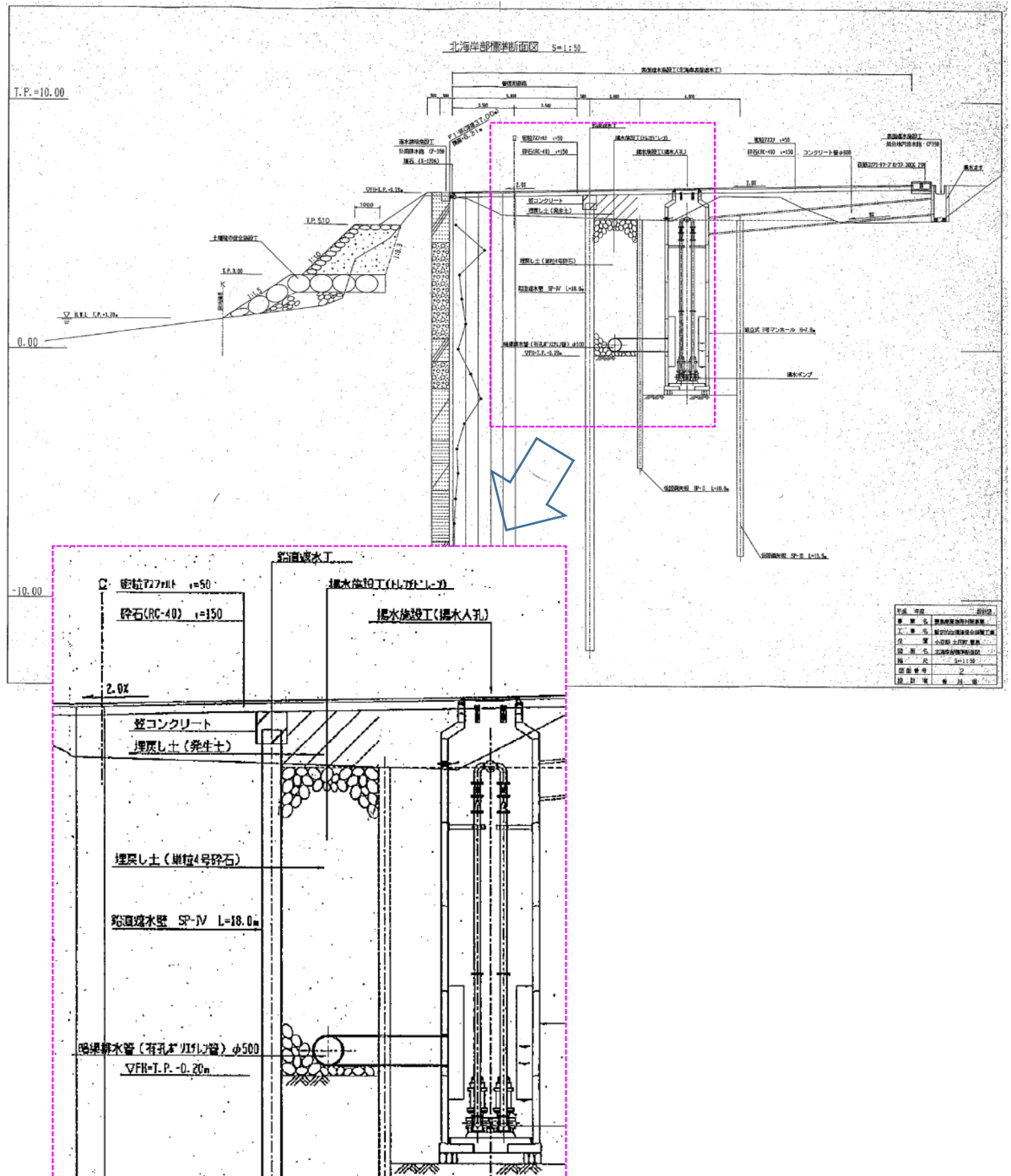


図 3-19 主な地下構造部



(工事図書 (村上組) による)

図 3-22 標準断面図

(2) 地下水揚水量

集水井及び揚水井の 2019 年 (H31 及び R1) の稼働状況は表 3-8 に示すとおりである。さらに、揚水した水は処理され、最終的には高度排水放流量として処分地外に排出される (図 3-23、表 3-9)。水収支モデルには実績値を入力した。

(3) トレンチドレーンによる排水量

遮水壁沿いには T.P. -0.2m にトレンチドレーンが設置されており、集水した地下水は北揚水井で処分地外に排水している。北揚水井の水量を図 3-24 及び表 3-10 に示す。水収支モデルでトレンチドレーンから排水される水量を算出し、実績値と比較することで再現性を確認した。

表 3-8 集水井及び揚水井の稼働状況

	集水井 ^{※1}	揚水井 ^{※2} (R1.10月から揚水を開始)								合計
		揚水井 ⑳	揚水井 ㉑	揚水井 ㉒	揚水井 ㉓	揚水井 ㉔	揚水井 ㉕	揚水井 ㉖	揚水井 ㉗	
H31.1月	4,346	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H31.2月	5,147	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H31.3月	3,359	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H31.4月	3,256	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R1.5月	4,017	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R1.6月	4,548	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R1.7月	3,174	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R1.8月	5,354	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R1.9月	4,566	-	-	-	-	-	-	-	-	-
R1.10月	4,810	27	176	78	-	-	-	-	-	281
R1.11月	3,907	301	745	182	138	135	218	145	141	2,005
R1.12月(18日まで)	-	574	675	272	422	601	754	0	0	3,298
年間累計	46,484	902	1,596	532	560	736	972	145	141	5,584
日平均 ^{※3}	139	33	38	13	39	38	31	41	40	273
高度排水量 (73.5m ³)を案分 (処分地外に排水される量)	24.8									48.7
日平均量-高度 排水量 (処分地 内に戻る量)	114.4									224.3

※1 : 「水第10回Ⅱ / 3-1」資料による

※2 : 「水第10回Ⅱ / 3-3」資料による

※3 : 集水井は年間累計を334日(12月を除く日数)、揚水井は「水第10回Ⅱ / 3-3」資料による

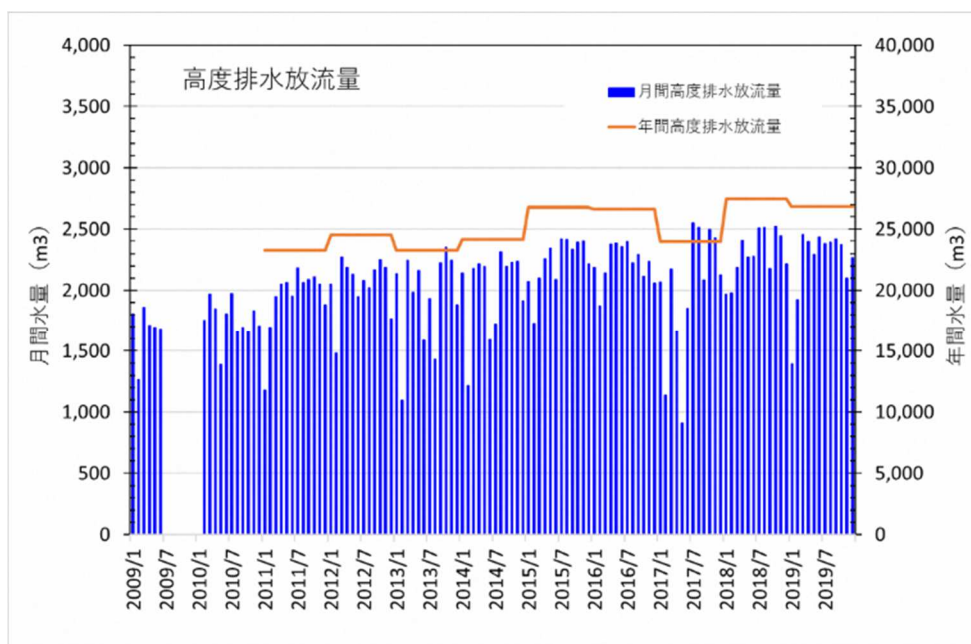


図 3-23 高度排水放流量の変化

表 3-9 高度排水放流量（実績値）

年	月	月間高度排水放流量 m3	年間高度排水放流量 m3	年	月	月間高度排水放流量 m3	年間高度排水放流量 m3	年	月	月間高度排水放流量 m3	年間高度排水放流量 m3	年	月	月間高度排水放流量 m3	年間高度排水放流量 m3
2009	1	1,805	24,534	2012	1	2,051	26,753	2015	1	2,072	27,464	2018	1	1,966	27,464
2009	2	1,268		2012	2	1,480		2015	2	1,725		2018	2	1,977	
2009	3	1,856		2012	3	2,272		2015	3	2,099		2018	3	2,187	
2009	4	1,714		2012	4	2,188		2015	4	2,255		2018	4	2,410	
2009	5	1,697		2012	5	2,129		2015	5	2,344		2018	5	2,271	
2009	6	1,682		2012	6	1,946		2015	6	2,087		2018	6	2,279	
2009	7	0		2012	7	2,080		2015	7	2,417		2018	7	2,508	
2009	8	0		2012	8	2,022		2015	8	2,413		2018	8	2,511	
2009	9	0		2012	9	2,166		2015	9	2,336		2018	9	2,176	
2009	10	0		2012	10	2,249		2015	10	2,390		2018	10	2,521	
2009	11	0		2012	11	2,188		2015	11	2,400		2018	11	2,442	
2009	12	0		2012	12	1,763		2015	12	2,215		2018	12	2,216	
2010	1	0	23,262	2013	1	2,135	26,640	2016	1	2,187	26,823	2019	1	1,393	26,823
2010	2	1,751		2013	2	1,092		2016	2	1,875		2019	2	1,919	
2010	3	1,966		2013	3	2,247		2016	3	2,140		2019	3	2,455	
2010	4	1,848		2013	4	1,986		2016	4	2,375		2019	4	2,397	
2010	5	1,385		2013	5	2,163		2016	5	2,389		2019	5	2,291	
2010	6	1,805		2013	6	1,584		2016	6	2,355		2019	6	2,436	
2010	7	1,972		2013	7	1,931		2016	7	2,399		2019	7	2,384	
2010	8	1,658		2013	8	1,430		2016	8	2,223		2019	8	2,391	
2010	9	1,696		2013	9	2,223		2016	9	2,291		2019	9	2,419	
2010	10	1,659		2013	10	2,348		2016	10	2,115		2019	10	2,371	
2010	11	1,832		2013	11	2,244		2016	11	2,234		2019	11	2,101	
2010	12	1,706		2013	12	1,879		2016	12	2,057		2019	12	2,266	
2011	1	1,178	23,268	2014	1	2,142	24,142	2017	1	2,065	23,992				
2011	2	1,698		2014	2	1,216		2017	2	1,134					
2011	3	1,949		2014	3	2,176		2017	3	2,170					
2011	4	2,051		2014	4	2,216		2017	4	1,666					
2011	5	2,063		2014	5	2,195		2017	5	911					
2011	6	1,950		2014	6	1,591		2017	6	1,853					
2011	7	2,185		2014	7	1,723		2017	7	2,550					
2011	8	2,061		2014	8	2,312		2017	8	2,511					
2011	9	2,087		2014	9	2,195		2017	9	2,084					
2011	10	2,112		2014	10	2,228		2017	10	2,495					
2011	11	2,053		2014	11	2,233		2017	11	2,428					
2011	12	1,881		2014	12	1,915		2017	12	2,125					

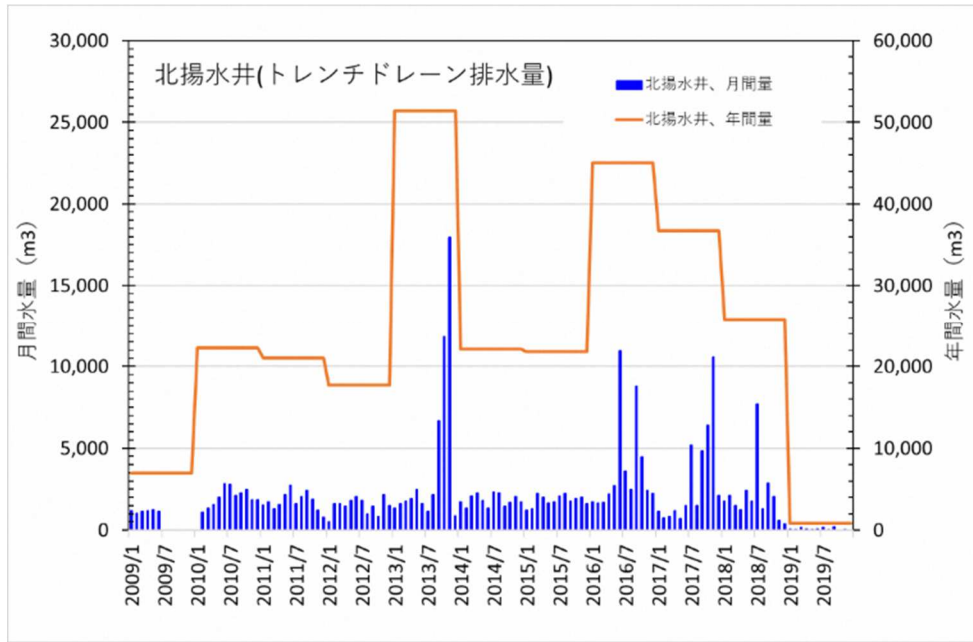


図 3-24 北揚水井の水量の変化

表 3-10 北揚水井の水量（実績値）

年	月	北揚水井、月間量	北揚水井、年間量	年	月	北揚水井、月間量	北揚水井、年間量	年	月	北揚水井、月間量	北揚水井、年間量	年	月	北揚水井、月間量	北揚水井、年間量					
		m3	m3			m3	m3			m3	m3			m3	m3					
2009	1	1,184	17,748	2012	1	520	21,801	2018	1	1,782	25,765	2015	1	1,221	45,017	2019	1	84		
2009	2	1,031		2012	2	1,596		2015	2	1,281		2018	2	2,141		2019	2	19		
2009	3	1,144		2012	3	1,602		2015	3	2,231		2018	3	1,506		2019	3	158		
2009	4	1,171		2012	4	1,450		2015	4	2,021		2018	4	1,256		2019	4	65		
2009	5	1,246		2012	5	1,814		2015	5	1,666		2018	5	2,427		2019	5	35		
2009	6	1,159		2012	6	2,036		2015	6	1,732		2018	6	1,775		2019	6	89		
2009	7	0		2012	7	1,801		2015	7	2,068		2018	7	7,699		2019	7	149		
2009	8	0		2012	8	991		2015	8	2,259		2018	8	1,303		2019	8	50		
2009	9	0		2012	9	1,445		2015	9	1,772		2018	9	2,851		2019	9	212		
2009	10	0		2012	10	821		2015	10	1,918		2018	10	2,050		2019	10	0		
2009	11	0		2012	11	2,169		2015	11	2,021		2018	11	575		2019	11	1		
2009	12	0		2012	12	1,503		2015	12	1,612		2018	12	400		2019	12	0		
2010	1	0	2013	1	1,324	51,371	2016	1	1,721	36,750	2011	1	1,522	21,024	2017	1	1,151			
2010	2	1,104	2013	2	1,619		2016	2	1,650		2017	2	768		2011	2	1,713	2017	2	768
2010	3	1,355	2013	3	1,783		2016	3	1,674		2017	3	823		2011	3	1,289	2017	3	823
2010	4	1,564	2013	4	1,922		2016	4	2,222		2017	4	1,180		2011	4	1,576	2017	4	1,180
2010	5	2,018	2013	5	2,475		2016	5	2,727		2017	5	713		2011	5	2,152	2017	5	713
2010	6	2,819	2013	6	1,608		2016	6	10,959		2017	6	1,491		2011	6	2,771	2017	6	1,491
2010	7	2,795	2013	7	1,126		2016	7	3,629		2017	7	5,195		2011	7	1,623	2017	7	5,195
2010	8	2,134	2013	8	2,178		2016	8	2,474		2017	8	1,510		2011	8	2,041	2017	8	1,510
2010	9	2,281	2013	9	6,685		2016	9	8,803		2017	9	4,846		2011	9	2,427	2017	9	4,846
2010	10	2,497	2013	10	11,824		2016	10	4,481		2017	10	6,387		2011	10	1,895	2017	10	6,387
2010	11	1,831	2013	11	17,964		2016	11	2,448		2017	11	10,552		2011	11	1,241	2017	11	10,552
2010	12	1,863	2013	12	863		2016	12	2,229		2017	12	2,135		2011	12	774	2017	12	2,135
2011	1	1,522	2014	1	1,718	22,151	2017	1	1,151	36,750										
2011	2	1,713	2014	2	1,351		2017	2	768											
2011	3	1,289	2014	3	2,093		2017	3	823											
2011	4	1,576	2014	4	2,284		2017	4	1,180											
2011	5	2,152	2014	5	1,808		2017	5	713											
2011	6	2,771	2014	6	1,358		2017	6	1,491											
2011	7	1,623	2014	7	2,329		2017	7	5,195											
2011	8	2,041	2014	8	2,278		2017	8	1,510											
2011	9	2,427	2014	9	1,460		2017	9	4,846											
2011	10	1,895	2014	10	1,700		2017	10	6,387											
2011	11	1,241	2014	11	2,033		2017	11	10,552											
2011	12	774	2014	12	1,739		2017	12	2,135											

3-8. 水理定数等

(1) 透水係数

モデルに設定する透水係数は、処分地内での既往調査結果（原位置試験）及び文献値を参考に設定する。

表 3-11 処分地の透水係数（原位置試験値）

地層	地質	透水係数の範囲 (m/sec)	過年度解析での採用値 (m/sec)
盛土層・埋立土層	-	$7.18 \times 10^{-9} \sim 5.71 \times 10^{-5}$	$1.00 \times 10^{-8} \sim 5.71 \times 10^{-5}$
沖積層	-	$4.54 \times 10^{-9} \sim 4.24 \times 10^{-5}$	$1.00 \times 10^{-8} \sim 2.17 \times 10^{-5}$
花崗岩層	強風化花崗岩	$1.94 \times 10^{-8} \sim 6.09 \times 10^{-5}$	2.23×10^{-5}
	風化花崗岩	$1.19 \times 10^{-6} \sim 2.45 \times 10^{-6}$	1.82×10^{-6}
	新鮮花崗岩	$2.10 \times 10^{-8} \sim 2.56 \times 10^{-6}$	-

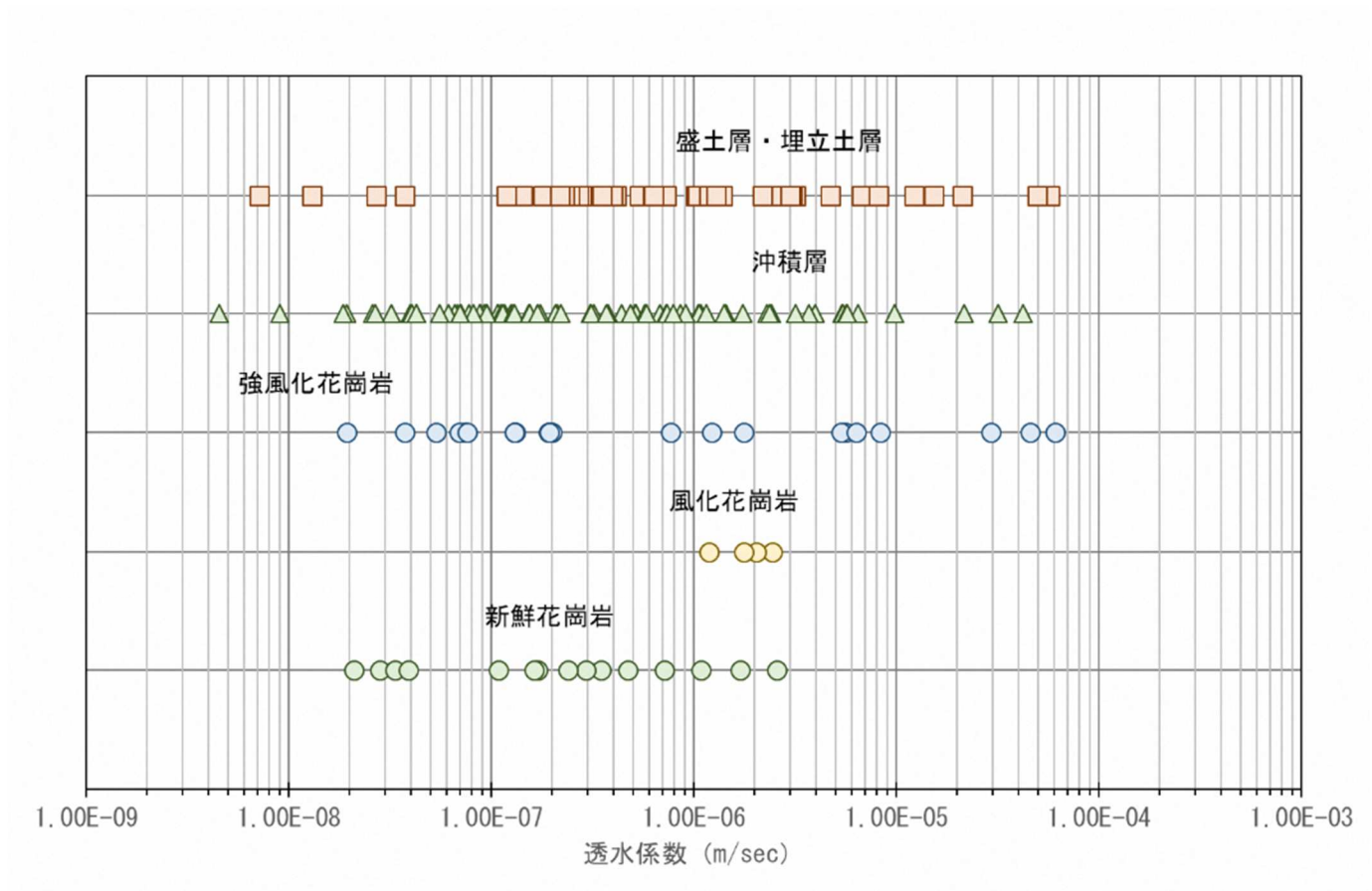


図 3-25 透水係数の範囲

表 3-12 文献資料による透水係数

対象	透水係数	出典
礫及び砂	10^{-5} m/sec 以上	地盤環境工学ハンドブック、表 3.4.1
微細砂、シルト、砂・シルト、粘土混合土	$10^{-9} \sim 10^{-5}$ m/sec	
粘性土	$10^{-11} \sim 10^{-9}$ m/sec	
細礫	1.80m/sec	地盤環境工学ハンドブック、表 3.4.2 (クルーガー法による推定) を地盤材料別に集約
砂	$4.60 \times 10^{-6} \sim 3.6 \times 10^{-3}$ m/sec	
シルト	$1.05 \times 10^{-7} \sim 2.80 \times 10^{-6}$ m/sec	
粗粒粘土	3.00×10^{-8} m/sec	
粘土	5.0×10^{-7} m/sec	地下水シミュレーション、表 3.15
砂	4.0×10^{-4} m/sec	
礫	2.5×10^{-3} m/sec	
砂礫	1.0×10^{-3} m/sec	
砂岩	3.5×10^{-4} m/sec	
石灰岩・頁岩	5.0×10^{-7} m/sec	
チャート・花崗岩	5.0×10^{-8} m/sec	

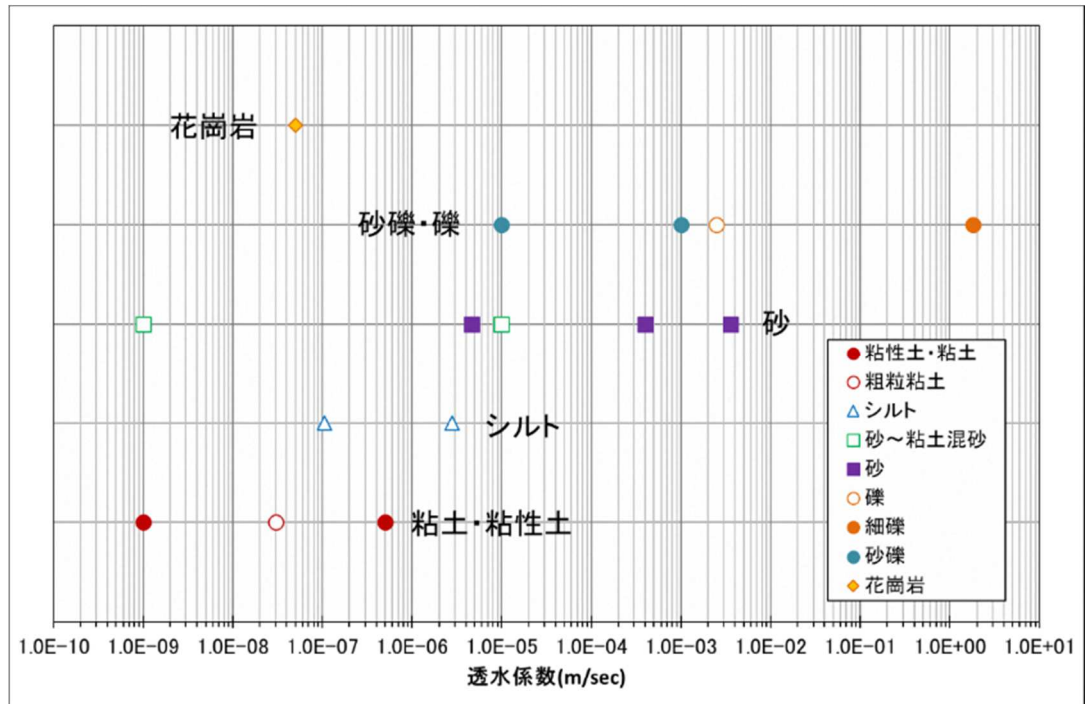


図 3-26 文献資料による透水係数の範囲

(2) 有効間隙率

文献資料より有効間隙率を設定する。

表 3-13 文献資料による有効間隙率

対象	有効間隙率※1	出典
粘性土	0.01~0.18	地盤環境工学ハンドブック、表 3.4.3 を地盤材料別に集約
シルト	0.01~0.39	
礫	0.13~0.43	
砂	0.01~0.43	
砂岩	0.02~0.41	
片岩	0.06~0.33	
凝灰岩	0.02~0.47	
砂礫層、礫層	15~20%	地下水シミュレーション、表 3.12 を地層別に抜粋・集約
砂層	15~30%	
粘土層	5~20%	
花崗岩 (新鮮)	0.3~5%※2	
花崗岩 (風化)	10~25%※2	地下水シミュレーション、表 3.13 を抜粋
花崗岩	1.11%	

※1：単位無しの場合は、比率

※2：間隙率

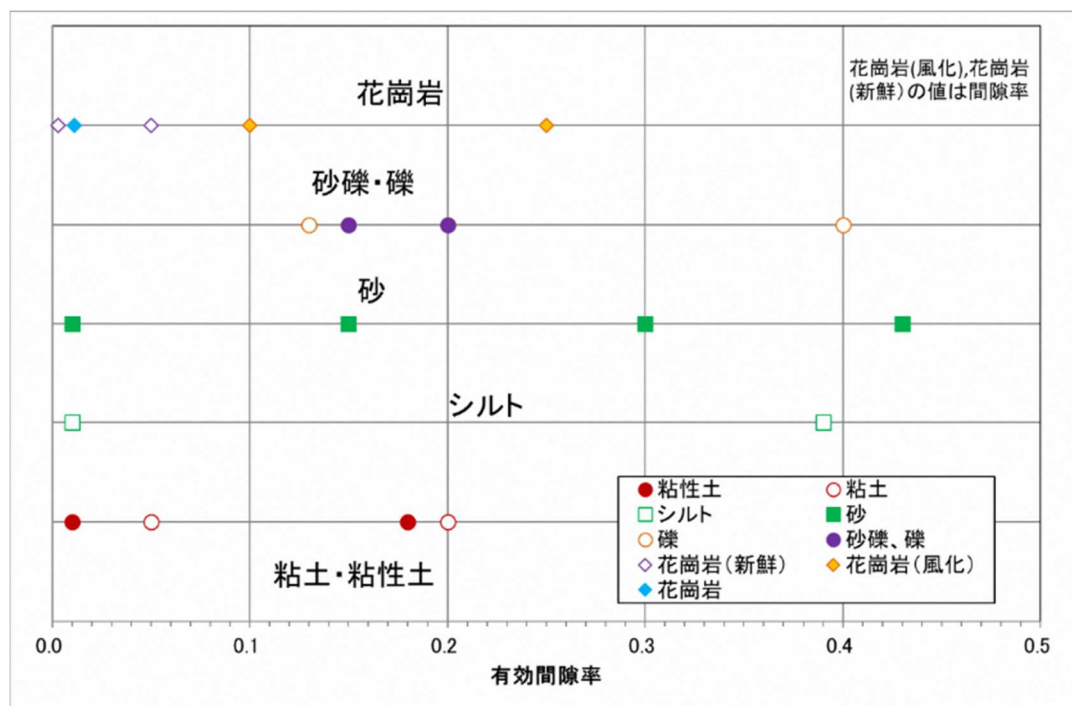


図 3-27 文献資料による有効間隙率の範囲

(3) モデル入力値

実測値と計算値との比較検証し、最終的な透水係数については、既往調査最大値と最小値の間で、且つ、最大値にやや近い値とした（表 3-14、図 3-28）。なお、一般に堆積物では、土粒子が横方向に向くために垂直方向の透水係数が小さくなる場合が多く、その比率は 1:10 程度とされている。そこで、沖積層の鉛直方向の透水係数は水平方向の 1/10 とした。人工的な改変のある表土層及び埋立土層、堆積物ではない花崗岩の透水係数は、水平方向、鉛直方向とも同じ値とした。

「3-1. モデルの構築方針」で示したとおり、塩水クサビは内陸側から海側に向かう地下水の流動を抑える役割を果たしているとし透水係数を小さくした。試行錯誤的に透水係数を設定したところ、各地層の 1/10 とすると、地下水位やトレンチドレーン排水量の再現性が良い結果となった。そこで、本解析では塩水クサビの範囲について透水係数を各地層の 1/10 とした。また、有効空隙率は、文献調査を踏まえ、平均的な値とした（表 3-14）。

表 3-14 モデルに設定した透水係数・有効空隙率

地層	地質	透水係数 (m/sec)		有効空隙率 (-)
		水平方向	鉛直方向	
盛土層	砂質土	6.56×10^{-6}	6.56×10^{-6}	0.25
埋立土層	砂質土	6.56×10^{-6}	6.56×10^{-6}	0.25
沖積層	砂質土	3.71×10^{-6}	3.71×10^{-7}	0.25
花崗岩	強風化花崗岩	6.24×10^{-6}	6.24×10^{-6}	0.15
	風化花崗岩	2.10×10^{-6}	2.10×10^{-6}	0.08
	花崗岩	7.40×10^{-7}	7.40×10^{-7}	0.02
遮水壁	人工構造物	1.00×10^{-8}	-	-

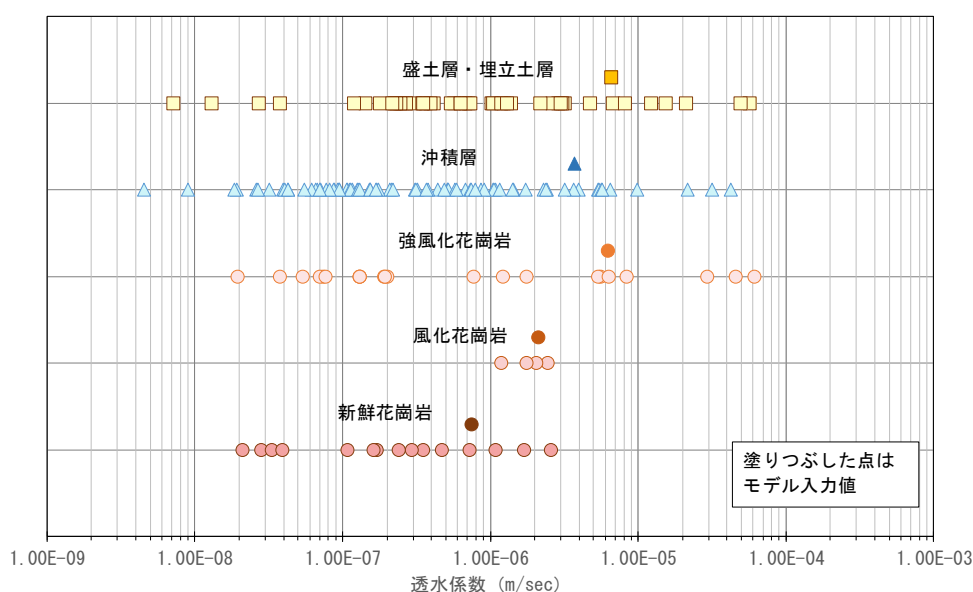


図 3-28 透水係数の範囲とモデルに設定した値

4. 水収支モデルを用いたシミュレーション解析による試算

水収支モデルを用いてシミュレーション解析を実施し、地下水位等を試算した。

4-1. 解析ケース

以下の条件とし、表 4-1 に示すケースについて解析を行った。

- ・対象年：2015 年及び 2019 年
- ・潮位：土庄東港の観測データを用いた（表 4-2）。
- ・塩水クサビ：2010 年～2019 年の平均降水量（1,280mm）に近い 2015 年（1,210mm）の地下水位（遮水壁無し、揚水・排水無し）を水収支モデルで算出し、ガイベン・ヘルツベルグの法則により塩淡境界の深度を算出した。

表 4-1 解析ケース一覧

ケース名	対象年	考え方	条件				
			塩水クサビ	潮位	遮水壁	集水井・揚水井	トレンチドレーン
2015 年検証	2015	モデル検証	有	2015 平均	全面締切	無	有
2019 年検証	2019	モデル検証	有	2019 平均	全面締切	有	有

表 4-2 潮位条件

土庄東港		2015	2019
最大	T.P.m	1.77	1.77
	日時	2015/7/17 1:00	2019/8/16 0:00
最小	T.P.m	-1.02	-0.98
	日時	2015/1/21 5:00	2019/1/21 4:00
平均	T.P.m	0.33	0.38

4-2. 地下水位の試算

解析ケースに基づき試算した地下水位の平面分布について、図4-1に2015年検証ケースを、図4-2に2019年検証ケースを示す。

また、表4-3に集水井及び観測井の実測地下水位と試算値を、表4-4にトレンチドレーンの排水量について実績値と試算値を対比して示す。

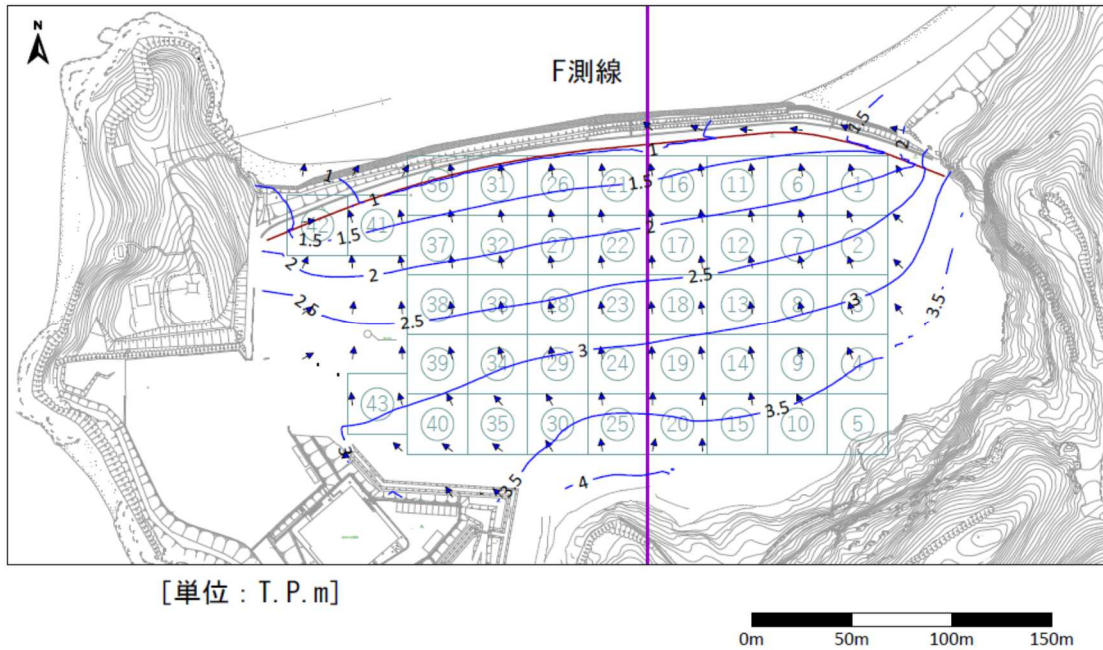


図 4-1 試算した地下水位分布 (2015年)

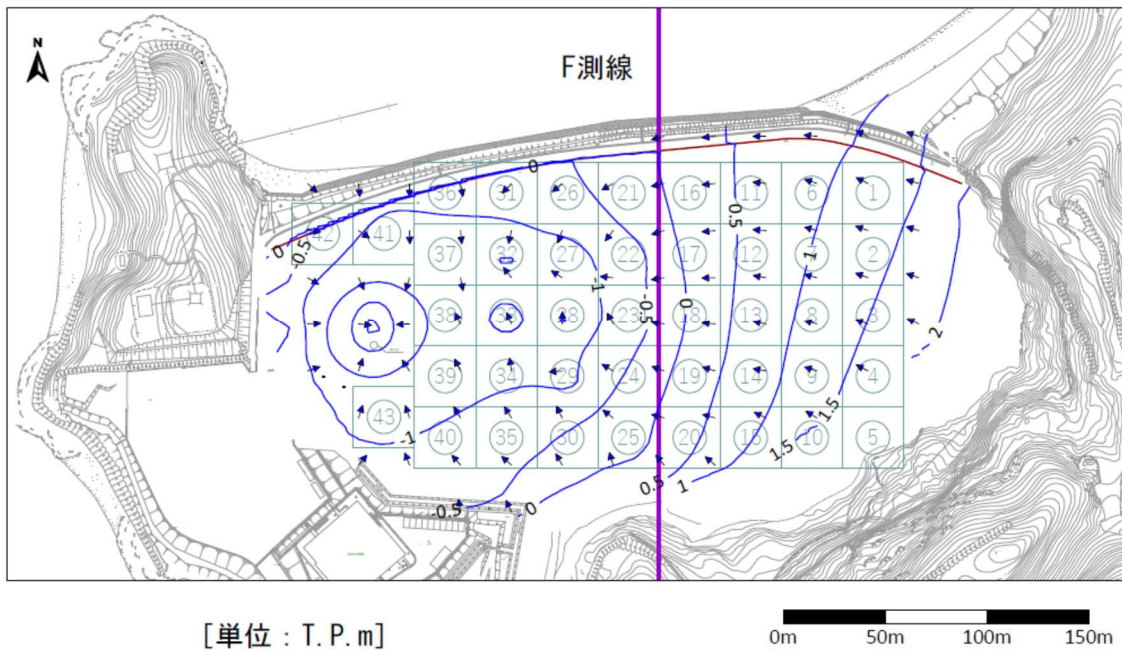


図 4-2 試算した地下水位分布 (2019年)

表 4-3 実測地下水位と試算地下水位の比較

集水井・観測井	2015年				
	観測値				計算値
	平均	最低	最高	手計り	
遮水壁外	1.00	0.77	1.39	-	0.91
遮水壁内	0.16	0.11	0.22	-	0.69
C1北	0.84	0.59	1.18	-	0.99
C1南	0.81	0.26	1.16	-	1.02
DE1	0.86	0.51	1.20	-	0.76
F1東	1.29	0.94	2.18	-	0.91
F1	0.67	0.49	1.55	-	0.68
HI1	1.70	1.16	2.29	-	1.49
D4-B0	3.30	3.17	3.37	-	3.20

集水井・観測井	2019年				
	観測値				計算値
	平均	最低	最高	手計り	
遮水壁外	0.61	0.14	1.15	-	0.32
遮水壁内	0.10	0.00	0.20	-	-0.01
⑨-5	-	-	-	1.52	1.25
②-5	-	-	-	0.83	1.38
⑩-5	-	-	-	0.23	-0.46
⑥	-	-	-	0.47	0.92
⑪	-	-	-	-0.06	0.59
⑫	-	-	-	0.24	0.60
⑬	-	-	-	0.05	0.68
⑬	-	-	-	0.15	0.19
⑬	-	-	-	-0.13	0.10
⑬	-	-	-	0.07	0.05
⑬	-	-	-	1.11	0.40
⑬	-	-	-	-0.02	-0.26
⑬	-	-	-	0.07	-0.79
⑬	-	-	-	-0.25	-0.85
⑬	-	-	-	-0.74	-0.45
⑬	-	-	-	0.39	-0.26
⑬	-	-	-	-0.08	-0.63
⑬	-	-	-	-0.23	-1.24
⑬	-	-	-	-0.48	-1.43
⑬	-	-	-	-0.51	-1.11
⑬	-	-	-	-0.29	-0.85
⑬	-	-	-	-0.34	-1.42
⑬	-	-	-	-0.61	-1.62
⑬	-	-	-	-0.91	-1.10
⑬	-	-	-	-0.60	-0.73
⑬	-	-	-	-0.16	-0.94
⑬	-	-	-	-0.44	-1.18
⑬	-	-	-	-0.83	-1.41
⑬	-	-	-	-0.47	-0.93

表 4-4 トレンチドレーンの実績値と試算値との比較

年	北揚水井の水量（実績）	水収支モデルでの試算
2015	59.7m ³ /日 (21,801 m ³ /年)	59.0m ³ /日
2019	2.4m ³ /日 (864 m ³ /年)	1.5m ³ /日

4-3. 構築した水収支モデルの評価

(1) 2015年検証ケース

観測井地点の地下水位を対比すると、相関係数は0.96であった（図4-2）。また、トレンチドレーンの実績値59.7m³/日に対し試算値は59.0m³/日であった。地下水位及びトレンチドレーンの排水量とも、概ね実際に近い値が算出されていると考える。

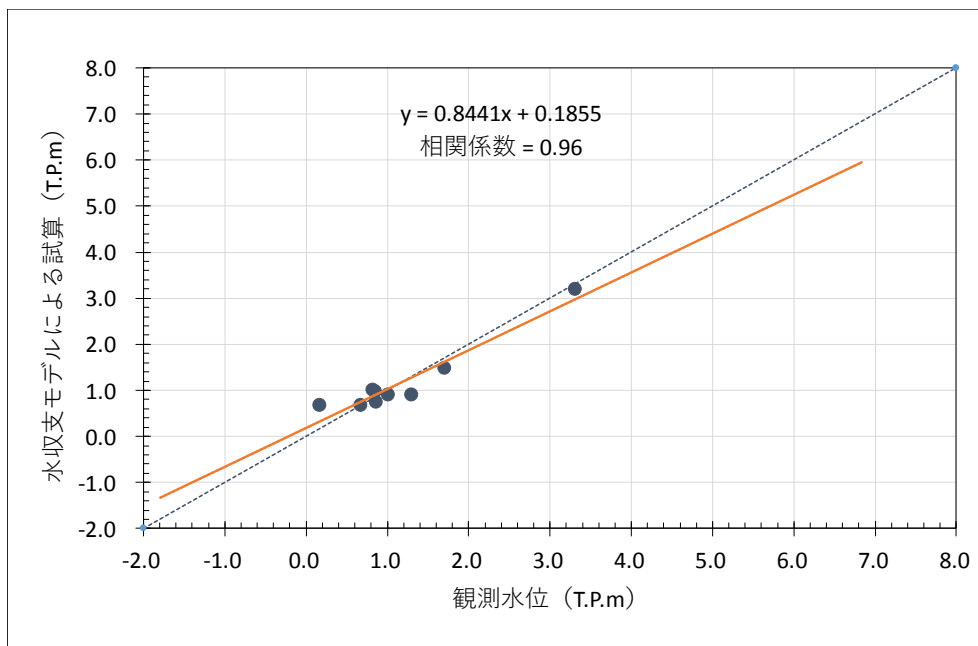


図 4-2 観測水位と試算水位との相関（2015年）

(2) 2019年検証ケース

観測井地点の地下水位を対比すると、相関係数は0.80であった(図4-3)。また、トレンチドレーンの実績値 2.4m³/日に対し試算値は 1.5m³/日であった。地下水位及びトレンチドレーンの排水量とも、概ね実際に近い値が算出されていると考える。

以上の結果より、構築した水収支モデルを用いることにより、概ね実際に近い値が算出できると考える。

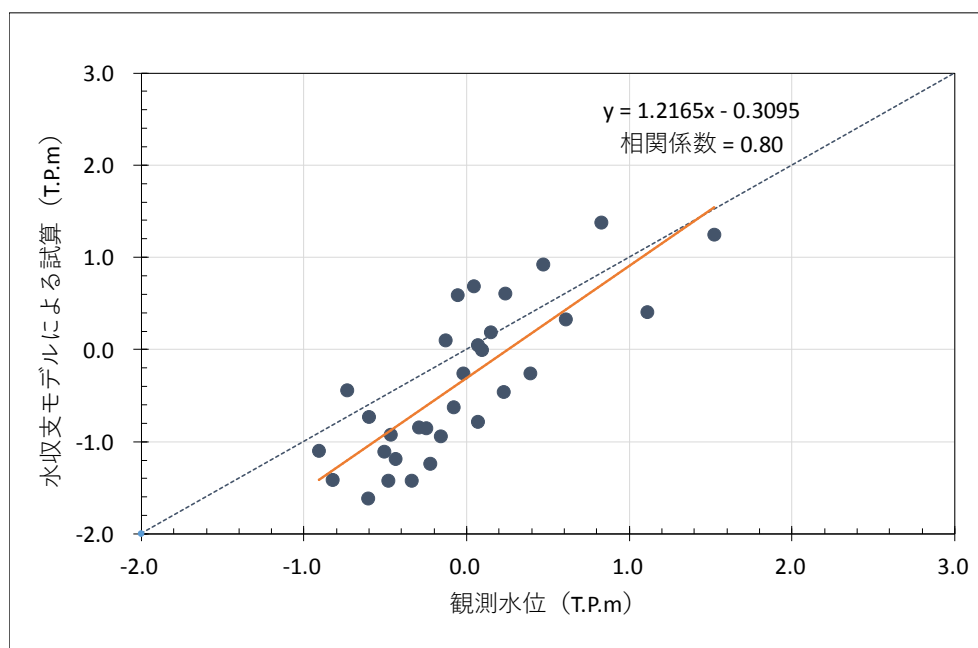


図 4-3 観測水位と試算水位との相関 (2019年)

5. 今後の予定

今後、構築した水収支モデルについては、注水・揚水対策による地下水の変動をシミュレーション解析により分析し、揚水の優先順位を決める際のデータとするなど、地下水浄化対策で活用する。

また、シミュレーション解析を行うことにより、遮水機能の解除に関するデータ収集を進め、遮水機能の解除の方法や効果等について検討を行う。