

平成 25 年度「発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業(地下水の流入抑制のための凍土方式による遮水技術に関するフェージビリティ・スタディ事業)」のうち  
「遮水壁閉合区域内の地下水位をコントロールするための技術の成立性に関する検証等」

## リチャージ特性評価試験(実証試験④) 試験結果

### 目次

1. 試験計画.....	1	2.5 1孔注水試験(Case1).....	16
1.1 リチャージウェルと地下水位観測井の配置.....	1	2.6 2孔注水試験(Case2).....	19
1.2 揚水井・注水井および地下水位観測井の構造.....	2	2.7 3孔注水試験(Case3).....	22
1.3 試験方法.....	3	3. 試験結果の評価.....	27
1.4 リチャージウェルの目詰まり防止対策.....	4	3.1 透水係数等の評価.....	27
2. 試験結果.....	6	3.2 貯留係数(有効間隙率)の評価.....	37
2.1 事前土質調査.....	6	3.3 目詰まり特性(3孔注水試験結果).....	38
2.2 室内土質試験.....	10	3.4 逆洗浄の効果.....	39
2.3 全期間における計測データ.....	14	3.5 井戸損失と井戸効率.....	41
2.4 揚水試験(RW2孔).....	15	3.6 地下水(RW2)・原水(DW)及びろ過処理水の水質.....	42

2014年4月16日



# 1. 試験計画

## 1.1 リチャージウェルと地下水位観測井の配置



提供：日本スペースイメージング(株)、(C)DigitalGlobe

図-1.1 試験ヤード周辺航空写真

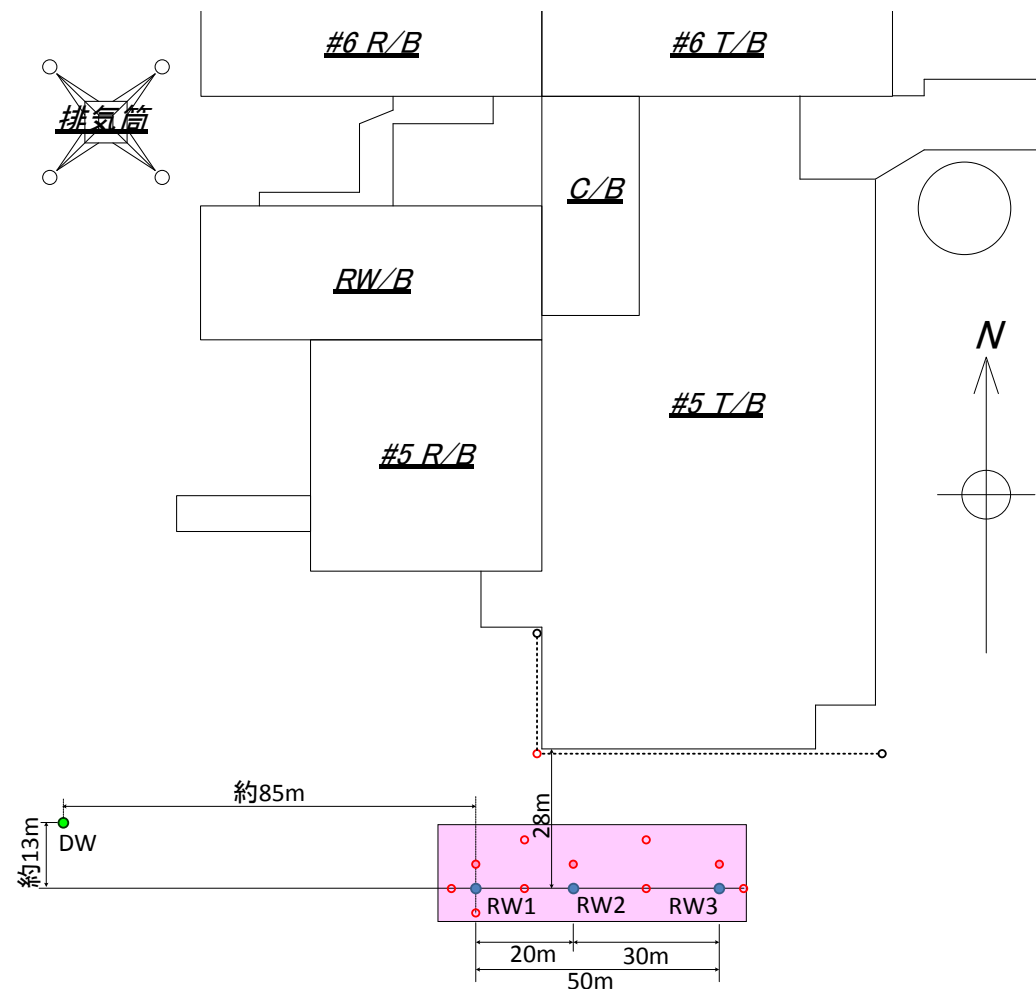
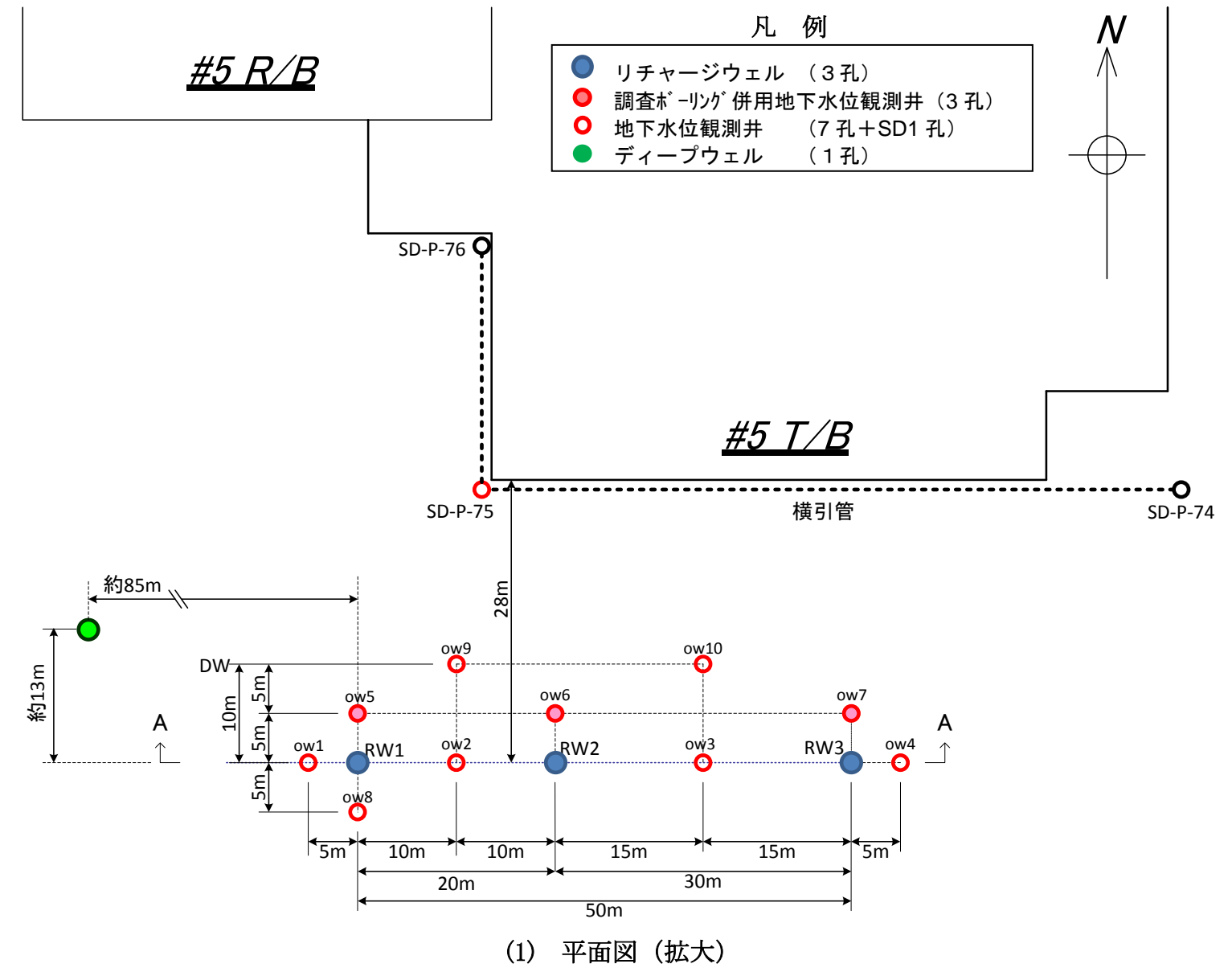
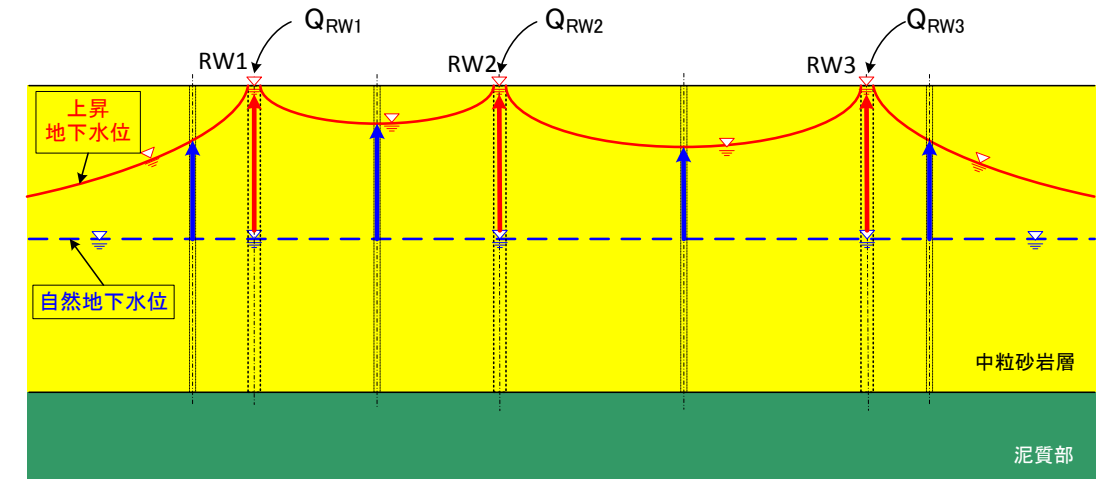


図-1.2 試験ヤード位置図 (広域)



(1) 平面図 (拡大)



(2) 断面図 (3孔注水の場合の水位上昇概念図)

図-1.3 リチャージウェルと地下水位観測井の配置 (平面図・断面図)

1.2 揚水井・注水井および地下水位観測井の構造

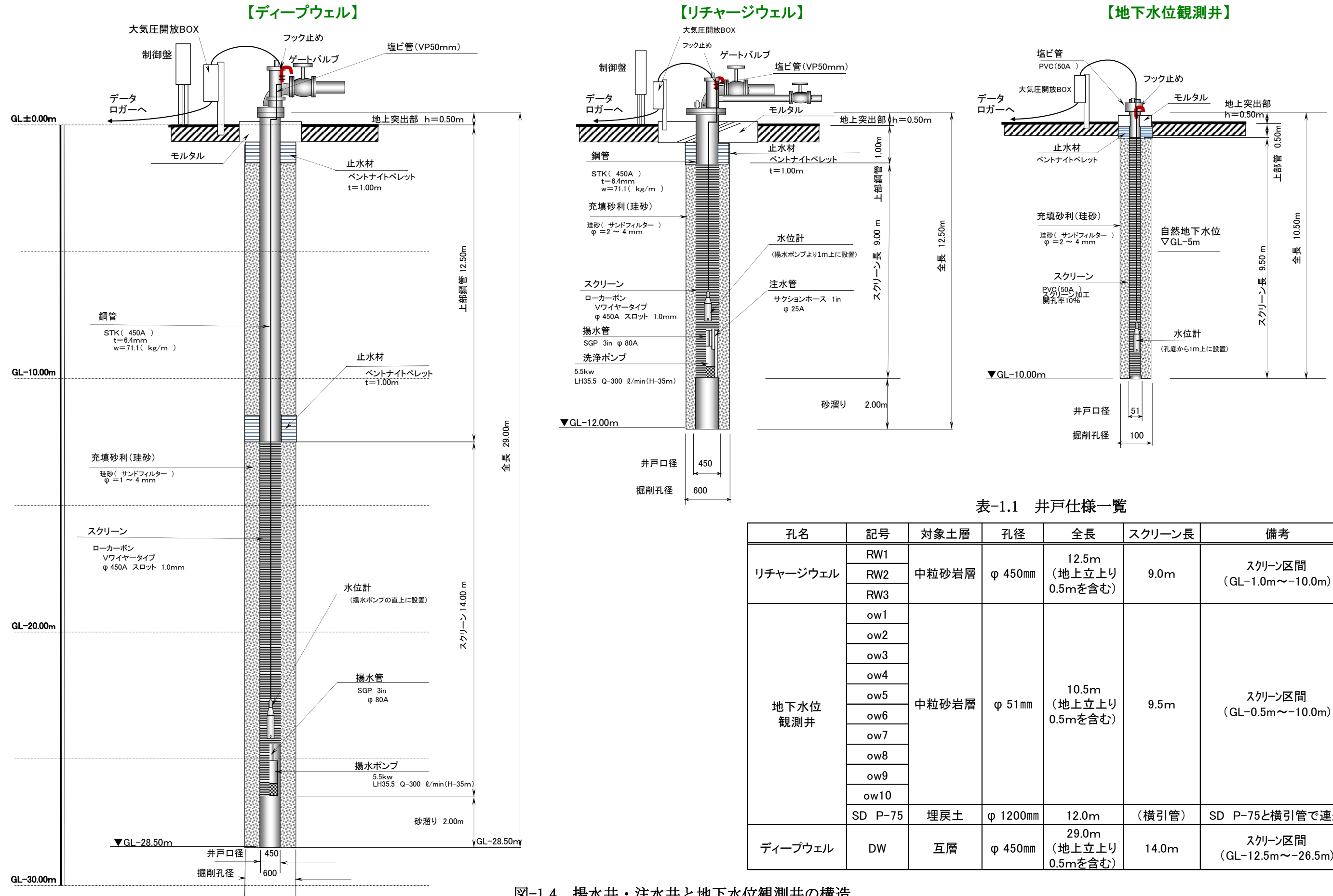


表-1.1 井戸仕様一覧

孔名	記号	対象土層	孔径	全長	スクリーン長	備考
リチャージウェル	RW1	中粒砂岩層	φ 450mm	12.5m (地上立上り0.5mを含む)	9.0m	スクリーン区間 (GL-1.0m~-10.0m)
	RW2					
	RW3					
地下水位観測井	ow1	中粒砂岩層	φ 51mm	10.5m (地上立上り0.5mを含む)	9.5m	スクリーン区間 (GL-0.5m~-10.0m)
	ow2					
	ow3					
	ow4					
	ow5					
	ow6					
	ow7					
	ow8					
	ow9					
	ow10					
SD P-75	埋戻土	φ 1200mm	12.0m	(横引管)	SD P-75と横引管で連通	
ディープウェル	DW	互層	φ 450mm	29.0m (地上立上り0.5mを含む)	14.0m	スクリーン区間 (GL-12.5m~-26.5m)

図-1.4 揚水井・注水井と地下水位観測井の構造

1.3 試験方法

凍土方式遮水壁閉合領域内の地下水位をコントロールするための地下水リチャージ技術の成否を検証することを目的にリチャージ特性評価試験を実施する。

表-1.2 注水試験ケース一覧

試験項目	Case	試験を行う井戸	井戸間隔	概要	実施内容	主な試験目的	試験パターン	試験概要図		
揚水試験	—	RW2	—	多孔式透水試験	段階揚水試験	限界揚水圧・限界揚水量の評価 ⇒適正揚水量の把握				
					連続揚水試験	地下水位低下量の確認				
注水試験	1-1	RW1	—	1孔での注水試験	段階注水試験	限界注水圧・限界注水量の評価 ⇒適正注水量の把握 ⇒注水能力(注水量/揚水量)				
	1-2	RW2	—		連続注水試験	地下水位上昇量の確認 揚水試験と注水試験の結果比較 ⇒注水能力(注水量/揚水量) ⇒水理定数(透水係数、貯留係数、影響圏半径)				
	1-3	RW3	—							
	2-1	RW1-RW2	20m	2孔での注水試験	連続注水試験	井戸間隔の違いによる、 地下水位上昇量の確認 影響圏半径の確認				
	2-2	RW2-RW3	30m							
	2-3	RW3-RW1	50m							
	3	RW1, RW2, RW3の全孔	20m, 30m	3孔での注水試験	連続注水試験	3孔から注水した場合の 地下水位上昇量の確認 長期的な目詰まり傾向の確認 (試験期間: 約20日間)				

1.4 リチャージウェルの目詰まり防止対策

表-1.3 リチャージウェルの目詰まり原因と対策

目詰まり原因*	実証試験で講じた対策	本施工での対策（案）
注入水中の細粒分 （懸濁物）	<ul style="list-style-type: none"> <li>ろ過処理による細粒分の除去（図-1.5及び図-1.6参照）</li> <li>試験中の揚水による井戸の逆洗浄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同 左</li> </ul>
注入水中の有機物、酸素で増殖した微生物	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験は短期間のため考慮せず</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>脱酸素装置を用いて注水中の溶存酸素を除去</li> </ul>
地盤中の化学反応生成物	<ul style="list-style-type: none"> <li>ろ過設備による鉄・マンガンの除去</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同 左</li> </ul>
注入水中の気泡	<ul style="list-style-type: none"> <li>注水管の先端を水面以下に設置</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同 左</li> <li>脱酸素装置を用いて注水中の溶存酸素を除去</li> </ul>
井戸の鋼製材料の腐食生成物 （水酸化鉄等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>実証試験は短期間のため考慮せず （STK（構造用炭素鋼鋼管）を使用）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐食性に優れたステンレス鋼管（SUS304）を利用</li> <li>脱酸素装置を用いて注水中の溶存酸素を除去</li> </ul>
地盤中の細粒分の再配列	<ul style="list-style-type: none"> <li>注水開始前の井戸周辺地盤の揚水洗浄</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同 左</li> <li>低流量・低動水勾配を基本とした注水方法</li> </ul>
井戸の施工品質	<ul style="list-style-type: none"> <li>泥水を用いない削孔方法の採用 （生分解性の孔壁安定剤を使用）</li> <li>開口率の高い（25%）巻線型スクリーンの採用と適切なサンドフィルターの選定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>同 左</li> </ul>

※ 日本地下水学会 2009 年秋季講演会要旨「リチャージ工法の現状と課題」（pp.184-189）を参照

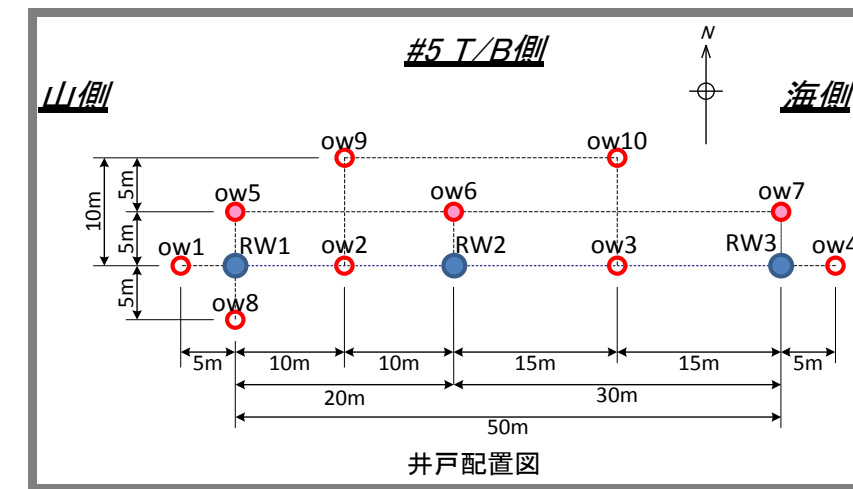
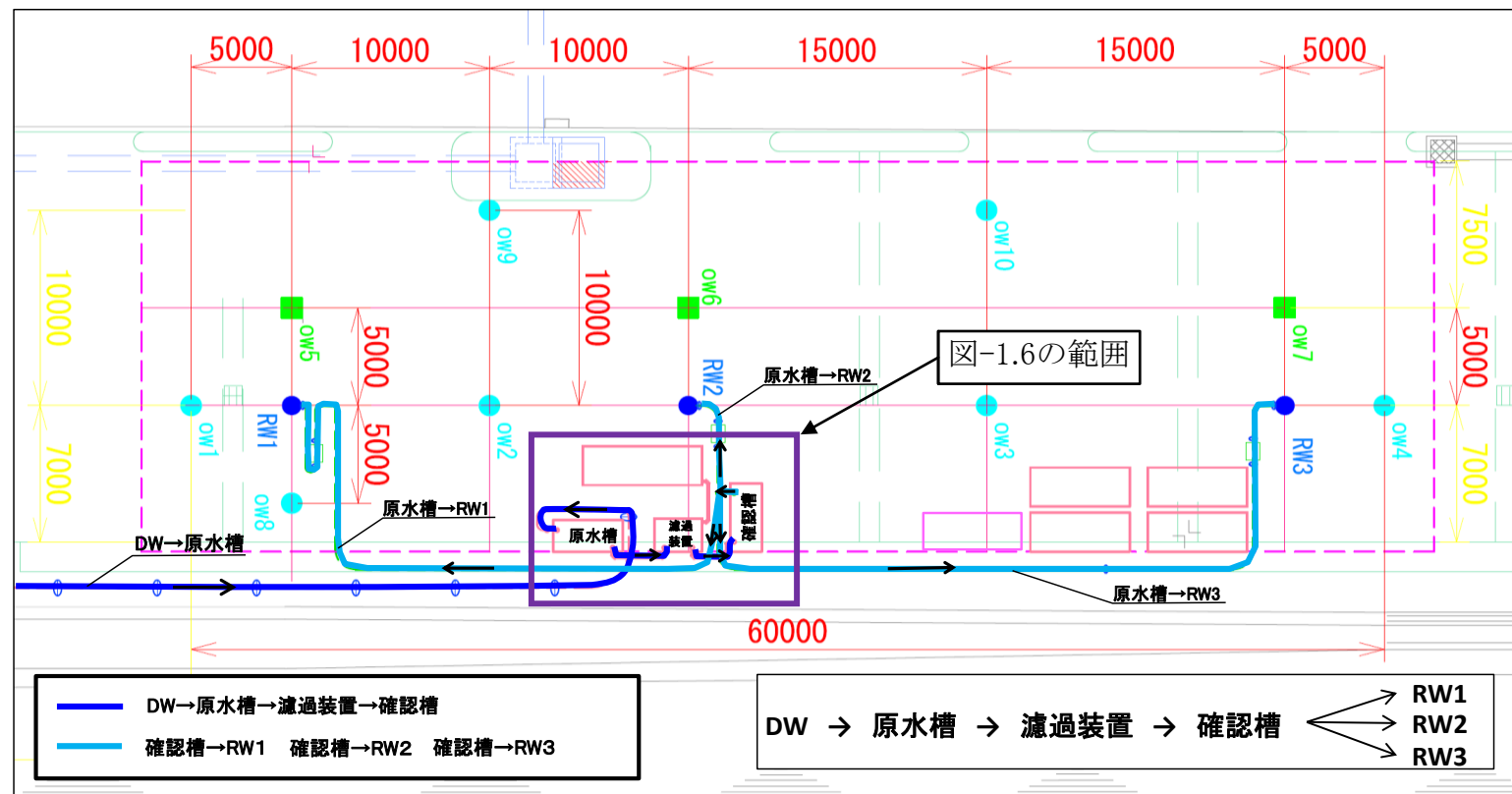


図-1.5 試験ヤード設備配置図 (注水試験時の配管及び水の流れ)

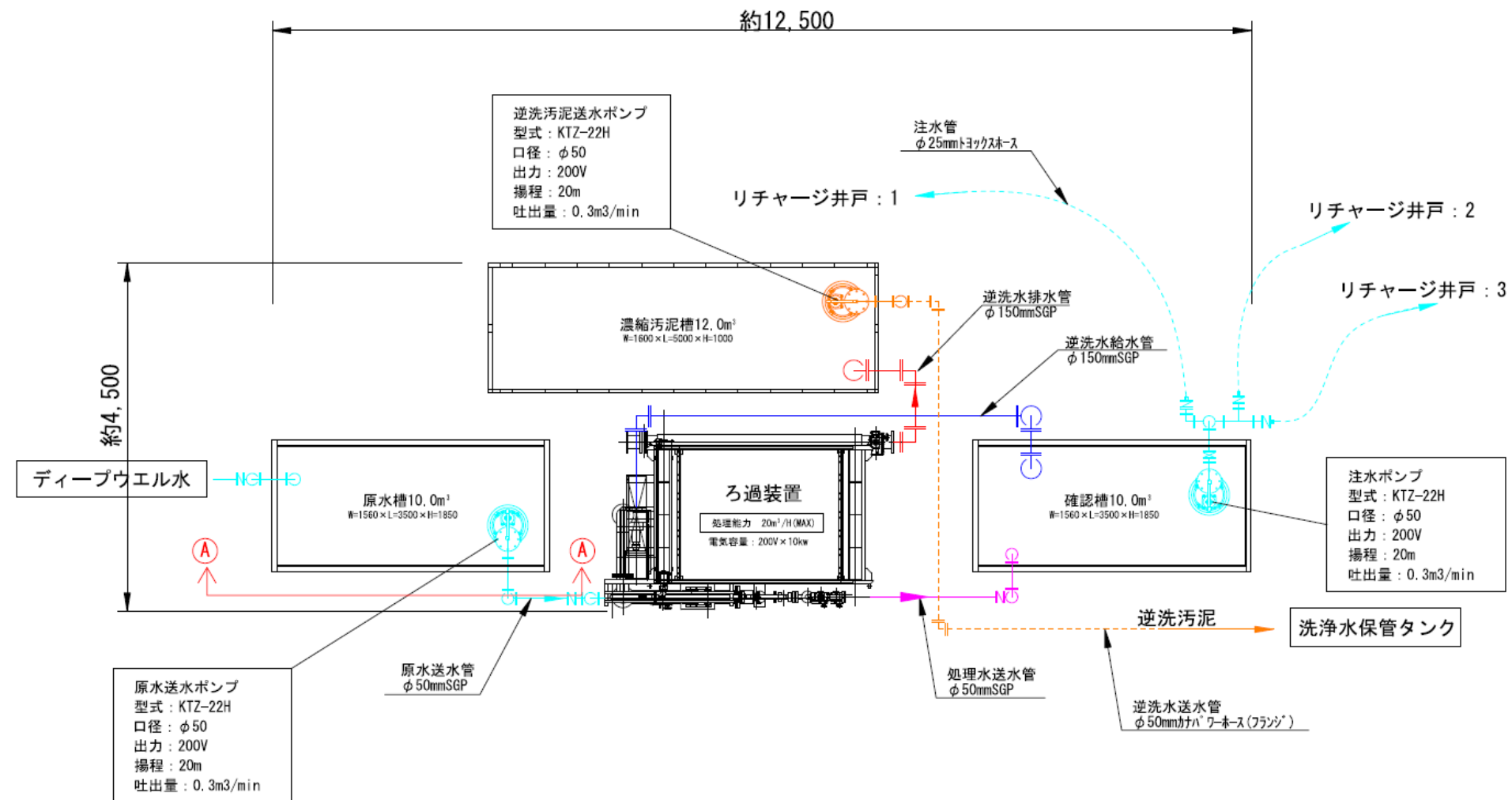
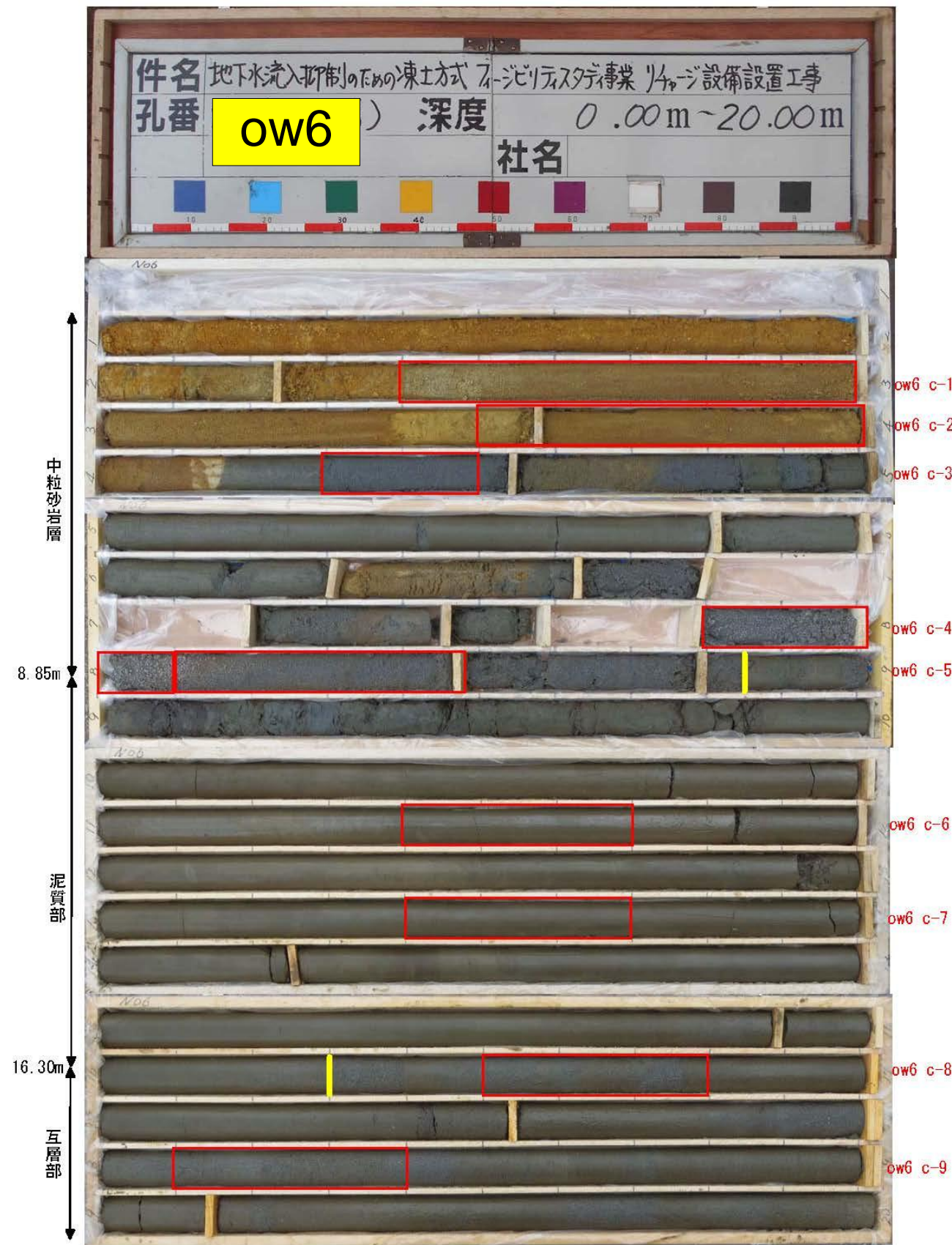


図-1.6 リチャージ用水処理設備計画図



ボーリング柱状図



調査名 「地下水流入抑制のための凍土方式による遮水技術に関する  
 フェージビリティスタディ事業」に伴うリチャージ設備設置工事

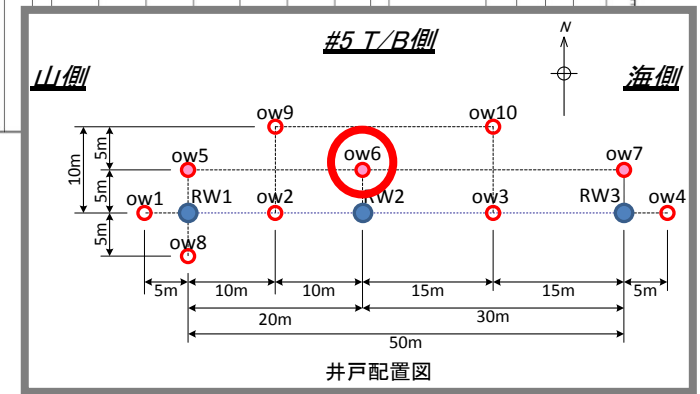
ボーリングNo. \_\_\_\_\_

事業・工事名

シートNo.

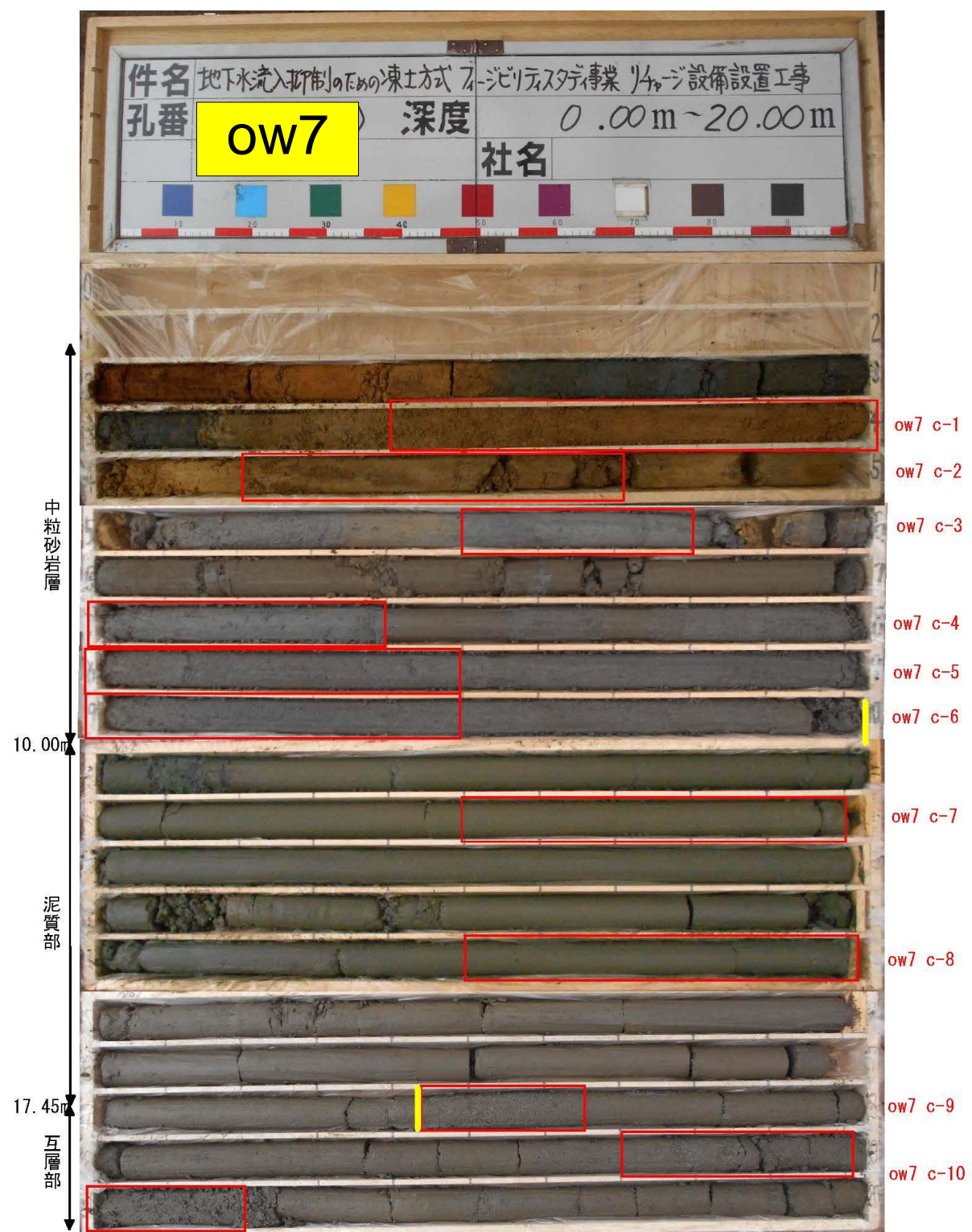
ボーリング名	ow6	調査位置	福島県双葉郡大熊町大字夫沢字北原			北緯	
発注機関		調査期間	平成 年 月 日 ~ 年 月 日			東経	
調査業者名	中央開発株式会社 東京支社 電話 (03-3208-3591)	主任技師	古田 芳彦	現場代理人	野口 伸吾	ボーリング責任者	吉田 信幸
孔口標高	op +12.400m	角	180° 上	方	北 270° 西	地盤勾配	水平 0° 鉛直 90°
総掘進長	20.00m	度	下 0°	向	180° 南	使用機種	東邦 D1
						エンジン	ヤンマーNF13
						ハンマー	落下用具
						ポンプ	東邦BG-3

標高	層厚	柱状	土質	色相	相対	相対	記	孔内水位 m / 測定月日	標準貫入試験				原位置試験 試験名 および結果	試料採取 深 度 m	採取方法	室内試験 ( )	掘進 月 日
									10cm毎の 打撃回数	N 値	打撃回数 / 貫入量	深 度 m					
12.02	0.35	12.02	アルト 補土	黒	灰												
1.00			砂	黄褐			中砂、黄褐色に風化。 3.30m~3.57m、細砂。										
2.00			泥岩	黄褐			強風化泥岩。指圧でへこむ軟質										
3.00			砂	黄褐			4.12m~4.16m、淡黄色の凝灰岩 接合。地質調査所シヤープ										
4.00			泥岩	青灰			4.16m~4.30m、固結した泥岩。青 灰色を呈し新鮮。										
5.00			砂	青灰			4.85m~5.80m、固結した泥岩、所 々厚さ数cmの中砂~細砂接合。										
6.00			泥岩	青灰			5.90m~6.30m、固結した泥岩、や や砂質。										
7.00			砂	青灰			中砂主体とするが、7.80m~8.10 mは粗砂。										
8.00			砂質 泥岩	青灰			8.35m~9.50m、所々中砂~細砂接 合。固結しているが、コア採取時 の乱れによりコア形状乱れやや軟 質。9.10m付近、斑状に黒色腐植質。 9.20m~9.30m、極細砂接合。										
9.00			泥岩	青灰			塊状泥岩。固結している。手で容 易に折れる程に軟質。										
10.00			泥岩	青灰			15.80m付近より、やや砂質。										
11.00			砂	青灰			16.30m~16.40m、中砂~細砂、極 小。										
12.00			砂質 泥岩	青灰			16.40m~16.75m、中~細砂と泥質 部が互層をなす。										
13.00			泥岩	青灰			17.45m付近、高単なレンズ状に黒 色腐植質接合。										
14.00			砂	青灰			中砂~細砂。										
15.00			泥岩	青灰			18.45m~19.60m、所々細砂挟みや や砂質。										
16.00			砂	青灰			19.00m~19.75m、中砂~細砂。										
17.00			泥岩	青灰			やや砂質。										





ボーリング柱状図



調査名 「地下水流入抑制のための凍土方式による遮水技術に関する  
ファイジブリスタディ事業」に伴うリチャージ設備設置工事

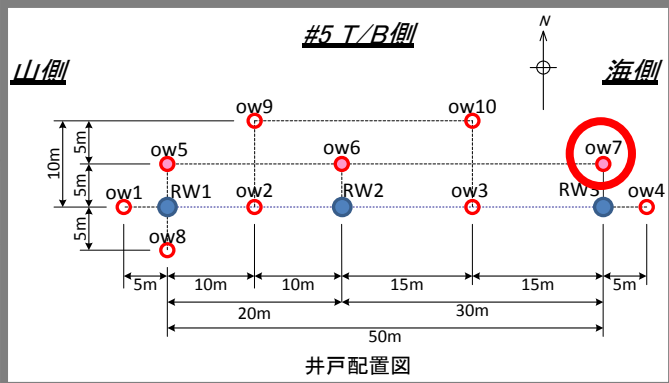
ボーリングNo. [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]

事業・工事名

シートNo.

ボーリング名	ow7	調査位置	福島県双葉郡大字夫沢字北原			北緯	
発注機関	中央開発株式会社 東京支社	主任技師	古田 芳彦		現場代理人	野口 伸吾	東経
調査業者名	電話 (03-3208-3591)	検査機	YBM-05		ハンマー	落下用具	
孔口標高	op +12.403m	度	270°		方角	北 0° 東 90° 南 180° 西 270°	
総掘進長	20.00m	地盤勾配	水平 0°		使用機種	エンジン ヤンマーTF90 ポンプ 扶桑V6	

層別	高さ	厚さ	深さ	柱状	土質	色	相対	対比	相対	密度	相対	記	孔内水位 / 測定月日		標準貫入試験				原位置試験	試験採取	室内試験			
													深	度	10cm毎の	打撃回数	N	値				深	度	採取
1	12.00	0.30	12.30	アスファルト	黒																			
2	10.40	1.60	2.90	砂	黄褐																			
3	9.20	0.30	3.10	砂質シルト	黄褐																			
4	8.40	0.80	4.20	粘土	暗																			
5	7.70	0.70	4.70	粘土混じり砂	暗																			
6	7.90	0.20	5.00	砂質シルト	黄																			
7	6.40	1.50	6.90	泥岩	黄																			
8	5.80	0.40	7.40	砂	黄																			
9	4.80	0.60	7.90	泥岩	黄																			
10	4.20	0.20	8.10	砂	青																			
11	3.60	0.30	8.40	砂	青																			
12	3.00	0.30	8.70	砂	青																			
13	2.40	0.30	9.00	砂	青																			
14	1.80	0.30	9.30	砂	青																			
15	1.20	0.30	9.60	砂	青																			
16	0.60	0.30	9.90	砂	青																			
17	0.00	0.30	10.20	砂	青																			



(2) 土質断面図

実証試験の試験ヤードの地盤は中粒砂岩層、泥質部、互層部に区分される。地層は、西側（山側）から東側（海側）に向かって（図-2.1の左側から右側へ）傾斜角度2°程度（表-2.1参照）で緩やかに傾斜しており、これまでの敷地内地質調査の結果と整合している。中粒砂岩層の中の泥岩薄層や互層部の中の砂岩薄層の連続性も良好であり、地層の乱れは認められない。掘削後の孔内水位の分布は、地質構造（地層の傾斜）と調和的であり、海側に向かって低くなっており、動水勾配は0.02程度である（表-2.1参照）。

各層の特徴について、以下に示す。

① 中粒砂岩層 上端分布標高：TP+12.4m（地表面）

本層は、最上部に分布する砂岩層であり、調査地全体に概ね層厚8~10m程度で分布する。所々にシーム状に泥岩を挟む。土質は、暗茶褐色、暗灰色を呈する細砂である。

② 泥質部 上端分布標高：TP+4.3~+2.4m

本層は、均質な固結した泥岩である。棒状にコア採取されるが、手で容易に折れる程度軟質である。所々シーム状に細砂または中砂を挟む。岩質は暗灰色を呈する泥岩層である。

③ 互層部 上端分布標高：TP-3.3~-5.05m以深

本層は、中砂、泥岩の互層である。中砂は粒子均一である。泥岩は固結した状況であるが、コアは指圧でへこむ程度軟質である。岩質は、中砂部が暗青灰色を呈する砂岩層、泥岩部が暗灰色を呈する泥岩層である。

表-2.1 地層境界深度と傾斜角及び地下水の動水勾配

地質境界面	境界深度(地下水位) GL(m)			ow5とow7の比高差(m)	傾斜角度(°)	動水勾配
	ow5	ow6	ow7			
① 中粒砂岩層/泥質部境界	-8.10	-8.85	-10.00	1.903	2.2	—
② 泥質部/互層部境界	-15.70	-16.30	-17.45	1.753	2.0	—
③ 地下水位(1/8測定)	-4.33	-4.82	-5.40	1.073	1.2	0.0215

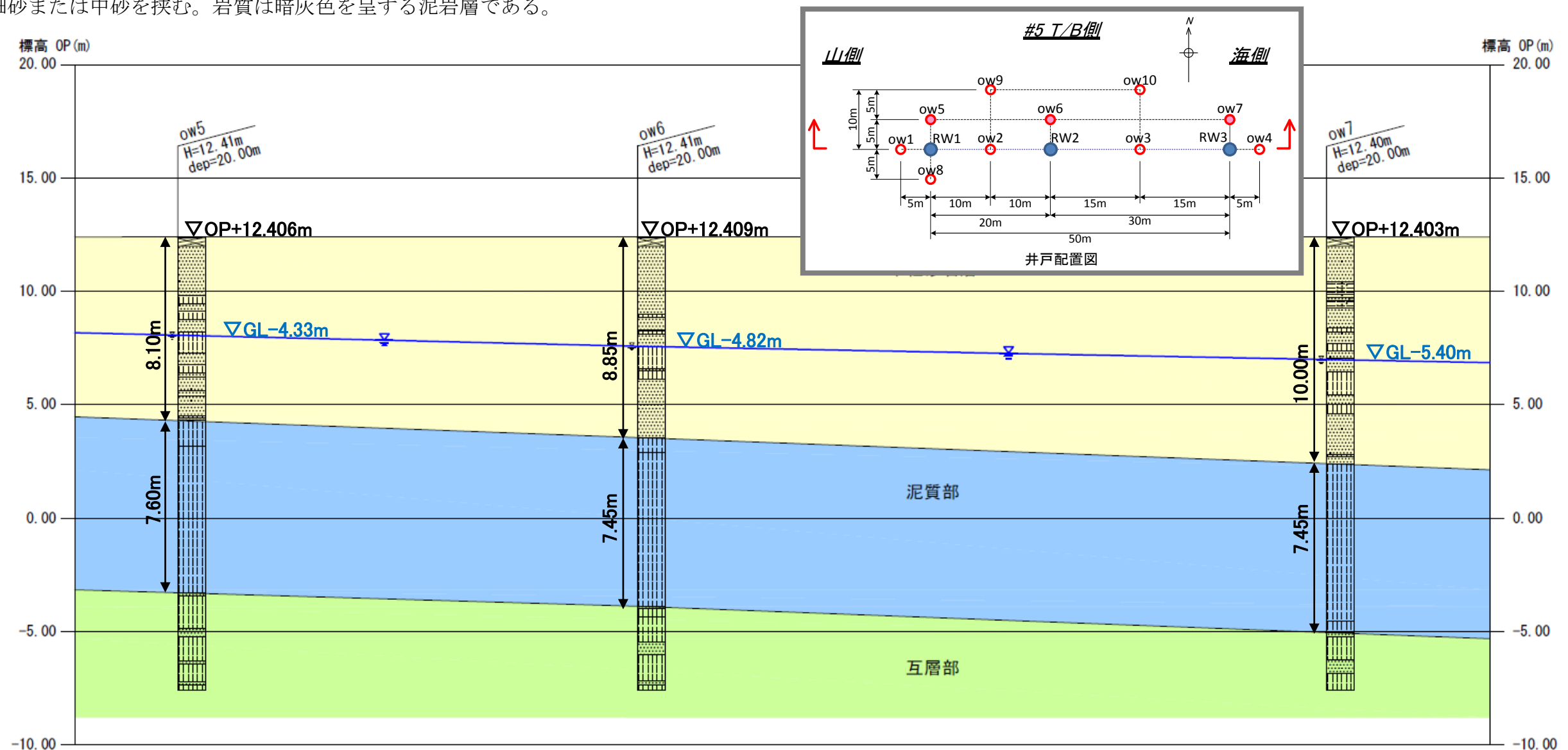


図-2.1 試験地点の地質断面図

2.2 室内土質試験

地層確認と地盤の透水性を把握する目的で、コア採取した試料を用いて室内土質試験（物理試験）を実施した（表-2.2）。室内土質試験の実施項目を表-2.2に、粒径加積曲線を図-2.2示す。

表-2.2 室内土質試験の実施項目

区分	試験項目	規格・基準等	数量
物理試験	土粒子の密度試験	JIS A 1202:2009	埋戻土（中粒砂岩層）： 深度 2m 毎（5 試料程度） 泥質部：深度 2m 毎（2 試料程度） 互層部：深度 2m 毎（3 試料程度）
	土の含水比試験	JIS A 1203:2009	同上
	土の粒度試験	JIS A 1204:2009	同上
	土の湿潤密度試験（現場）	サンプリングしたコア試料（L=1m）の重量及び体積を現地にて測定	埋戻土（中粒砂岩層）： 深度 2m 毎（5 コア程度） 泥質部：深度 2m 毎（2 コア程度） 互層部：深度 2m 毎（2 コア程度）

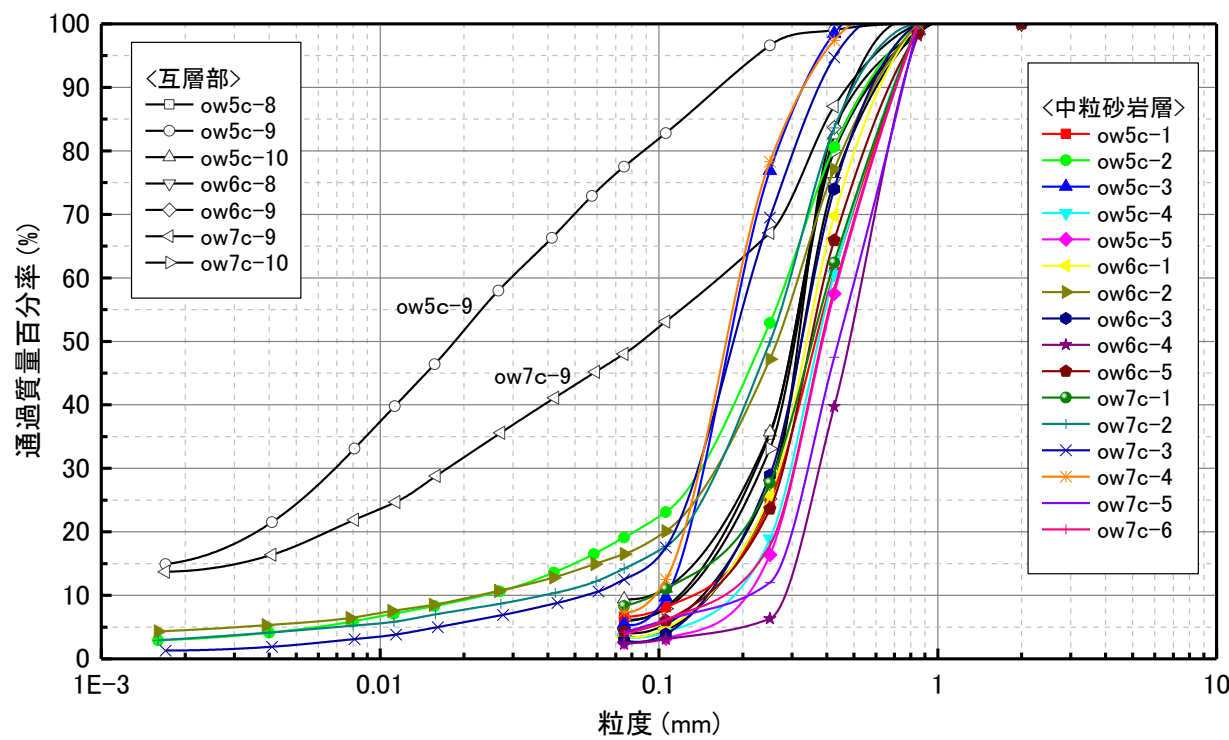


図-2.2 粒径加積曲線（中粒砂岩層、互層部）

表-2.3 土質試験結果

試料採取番号	ow5c-1	ow5c-2	ow5c-3	ow5c-4	ow5c-5	ow5c-6	ow5c-7	ow5c-8	ow5c-9	ow5c-10
採取深度上端(m)	2.00	3.00	5.10	6.20	7.00	11.30	13.20	15.70	16.37	17.18
採取深度下端(m)	2.45	3.30	5.60	6.65	7.80	11.70	13.70	15.85	16.70	17.60
土層名	中粒砂岩層	中粒砂岩層	中粒砂岩層	中粒砂岩層	中粒砂岩層	泥質部	泥質部	互層部	互層部	互層部
湿潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.782	1.91	1.919	1.868	2.005	1.663	1.618	1.809	1.81	1.848
乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.368	1.575	1.561	1.504	1.685	1.098	1.038	1.323	1.339	1.414
土粒子の密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.654	2.651	2.639	2.671	2.673	2.532	2.505	2.604	2.517	2.53
土の含水比(%)	30.4	21.3	23	24.2	19	51.5	55.9	36.8	35.6	30.9
間隙比	0.946	0.684	0.691	0.776	0.587	1.307	1.414	0.969	0.89	0.795
間隙率(%)	48.6	40.6	40.9	43.7	37.0	56.7	58.6	49.2	47.1	44.3
飽和度(%)	85.7	82.6	87.6	83.4	86.6	99.8	98.9	98.7	100	98.3
粒度組成(礫分)(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
粒度組成(砂分)(%)	93	81	95	97	97	5	4	94	23	91
粒度組成(シルト分)(%)	7	14	5	3	3	64	57	6	53	9
粒度組成(粘土分)(%)	0	5	0	0	0	31	39	0	24	0
均等係数	3.23	12.13	1.86	2.24	2.18			2.64		3.67
最大粒径(mm)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.25	0.25	2	0.85	0.85
20 $\mu$ -セト粒径(mm)	0.215	0.081	0.135	0.26	0.275			0.19	0.0035	0.18
平均粒径(mm)	0.375	0.24	0.19	0.385	0.395	0.0125	0.008	0.3	0.019	0.3

試料採取番号	ow6c-1	ow6c-2	ow6c-3	ow6c-4	ow6c-5	ow6c-6	ow6c-7	ow6c-8	ow6c-9
採取深度上端(m)	2.40	3.50	4.30	7.80	8.10	11.40	13.40	16.50	18.10
採取深度下端(m)	3.00	4.00	4.50	8.10	8.50	11.70	13.70	16.80	18.40
土層名	中粒砂岩層	中粒砂岩層	中粒砂岩層	中粒砂岩層	中粒砂岩層	泥質部	泥質部	互層部	互層部
湿潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.683	1.9	1.936	1.975	2.003	1.658	1.646	1.774	1.882
乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.482	1.462	1.519	1.634	1.656	1.092	1.059	1.322	1.457
土粒子の密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.66	2.654	2.658	2.675	2.672	2.54	2.543	2.632	2.634
土の含水比(%)	13.6	30	27.5	20.9	21	51.8	55.5	34.3	29.2
間隙比	0.795	0.816	0.75	0.637	0.614	1.326	1.403	0.995	0.809
間隙率(%)	44.3	44.9	42.9	38.9	38.0	57.0	58.4	49.9	44.7
飽和度(%)	45.5	97.5	97.3	87.7	91.4	99.3	100	90.7	95.3
粒度組成(礫分)(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
粒度組成(砂分)(%)	97	83	97	98	96	5	4	96	96
粒度組成(シルト分)(%)	3	11	3	2	4	71	62	4	4
粒度組成(粘土分)(%)	0	6	0	0	0	24	34	0	0
均等係数	2.41	14.22	2.28	1.81	2.67			2.19	1.78
最大粒径(mm)	0.85	0.85	0.85	2	2	0.25	0.25	2	2
20 $\mu$ -セト粒径(mm)	0.225	0.105	0.215	0.34	0.23	0.0034		0.22	0.235
平均粒径(mm)	0.35	0.265	0.33	0.47	0.36	0.016	0.0098	0.32	0.31

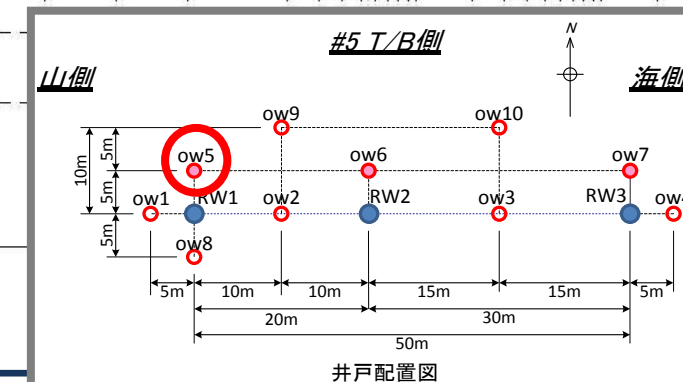
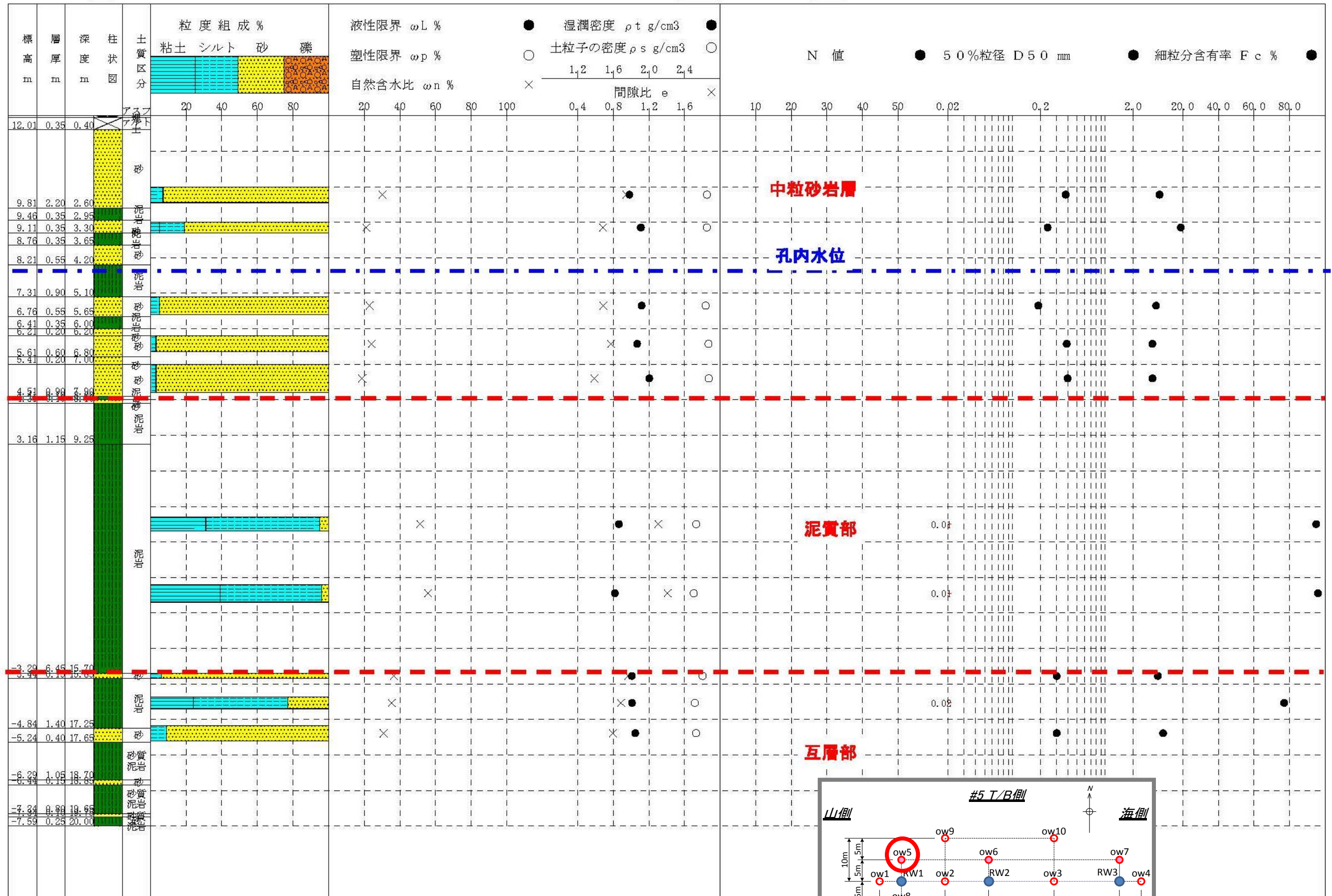
試料採取番号	ow7c-1	ow7c-2	ow7c-3	ow7c-4	ow7c-5	ow7c-6	ow7c-7	ow7c-8	ow7c-9	ow7c-10
採取深度上端(m)	3.40	4.20	5.50	7.00	8.00	9.00	11.50	14.50	17.45	18.70
採取深度下端(m)	4.00	4.70	5.80	7.40	8.50	9.50	12.00	15.00	17.65	19.20
土層名	中粒砂岩層	中粒砂岩層	中粒砂岩層	中粒砂岩層	中粒砂岩層	中粒砂岩層	泥質部	泥質部	互層部	互層部
湿潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.798	1.905	2.02	1.784	1.853	1.94	1.608	1.588	1.606	1.853
乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.492	1.544	1.673	1.314	1.49	1.558	1.03	1.022	1.061	1.433
土粒子の密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.663	2.662	2.651	2.609	2.664	2.673	2.508	2.535	2.548	2.608
土の含水比(%)	20.6	23.4	20.9	35.9	24.4	24.6	56.1	55.5	51.4	29.6
間隙比	0.787	0.725	0.59	0.987	0.79	0.716	1.437	1.481	1.401	0.83
間隙率(%)	44.0	42.0	37.1	49.7	44.1	41.7	59.0	59.7	58.4	45.4
飽和度(%)	69.7	85.9	94.5	94.8	82.3	91.7	98.1	94.9	93.4	93.1
粒度組成(礫分)(%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
粒度組成(砂分)(%)	92	86	87	93	96	96	11	9	52	94
粒度組成(シルト分)(%)	8	9	11	7	4	4	61	65	30	6
粒度組成(粘土分)(%)	0	5	2	0	0	0	28	26	18	0
均等係数	4.21	7.76	4.17	2.07	2.18	2.81				2.54
最大粒径(mm)	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.425	0.425	0.85	2
20 $\mu$ -セト粒径(mm)	0.19	0.125	0.12	0.125	0.305	0.265	0.0024	0.0029	0.0064	0.2
平均粒径(mm)	0.365	0.255	0.2	0.18	0.44	0.395	0.015	0.017	0.0865	0.3

ow5

ボーリング名 : ow5

孔口標高 : 12.41m

孔内水位 : 4.33m

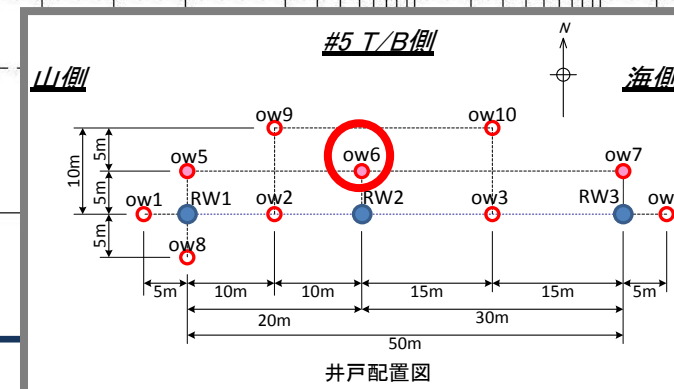
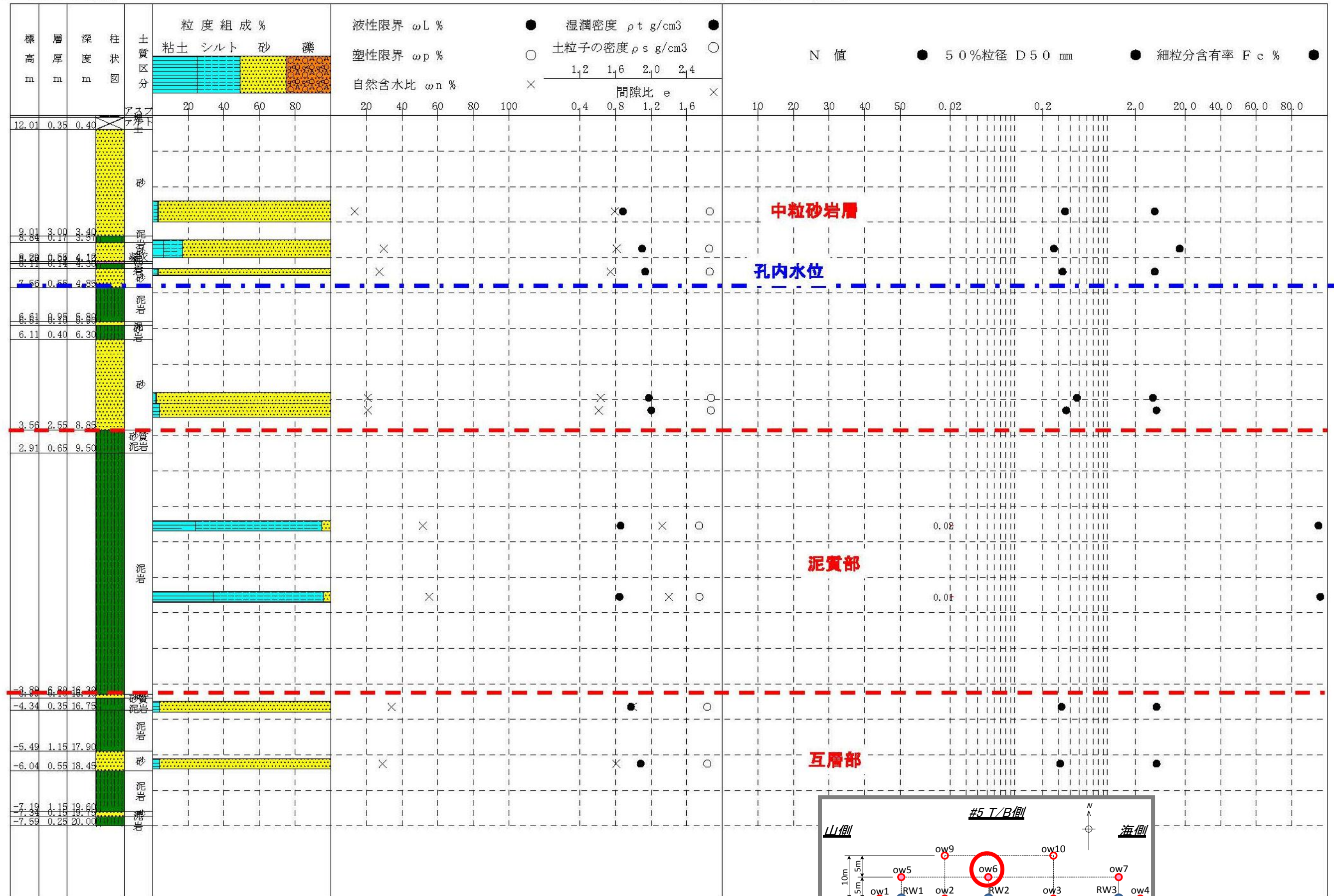


ow6

ボーリング名 : ow6

孔口標高 : 12.41m

孔内水位 : 4.82m

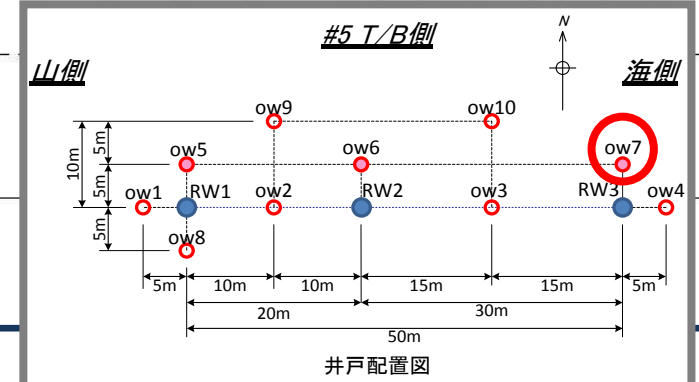
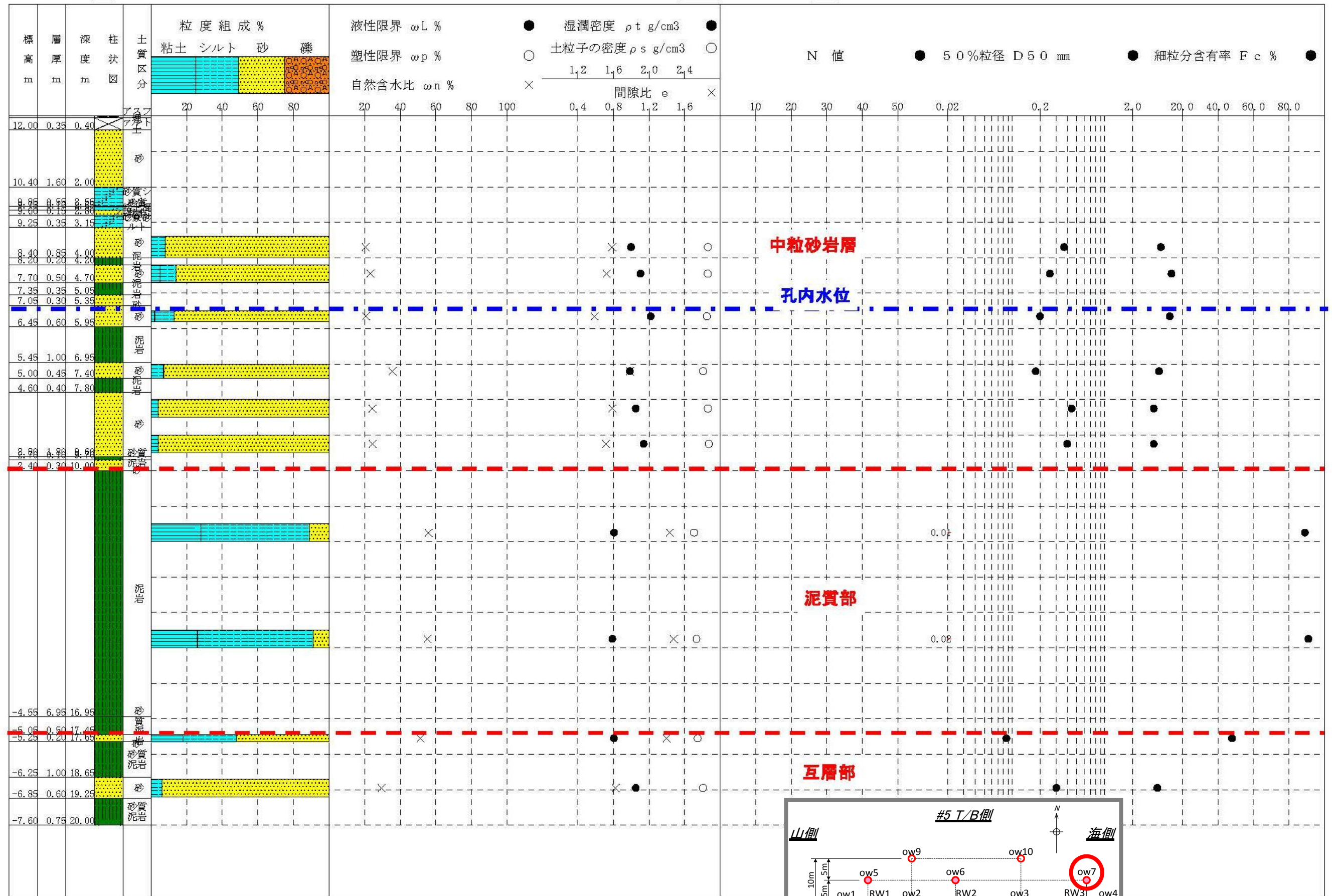


**ow7**

ボーリング名 : ow7

孔口標高 : 12.40m

孔内水位 : 5.4m



2.3 全期間における計測データ

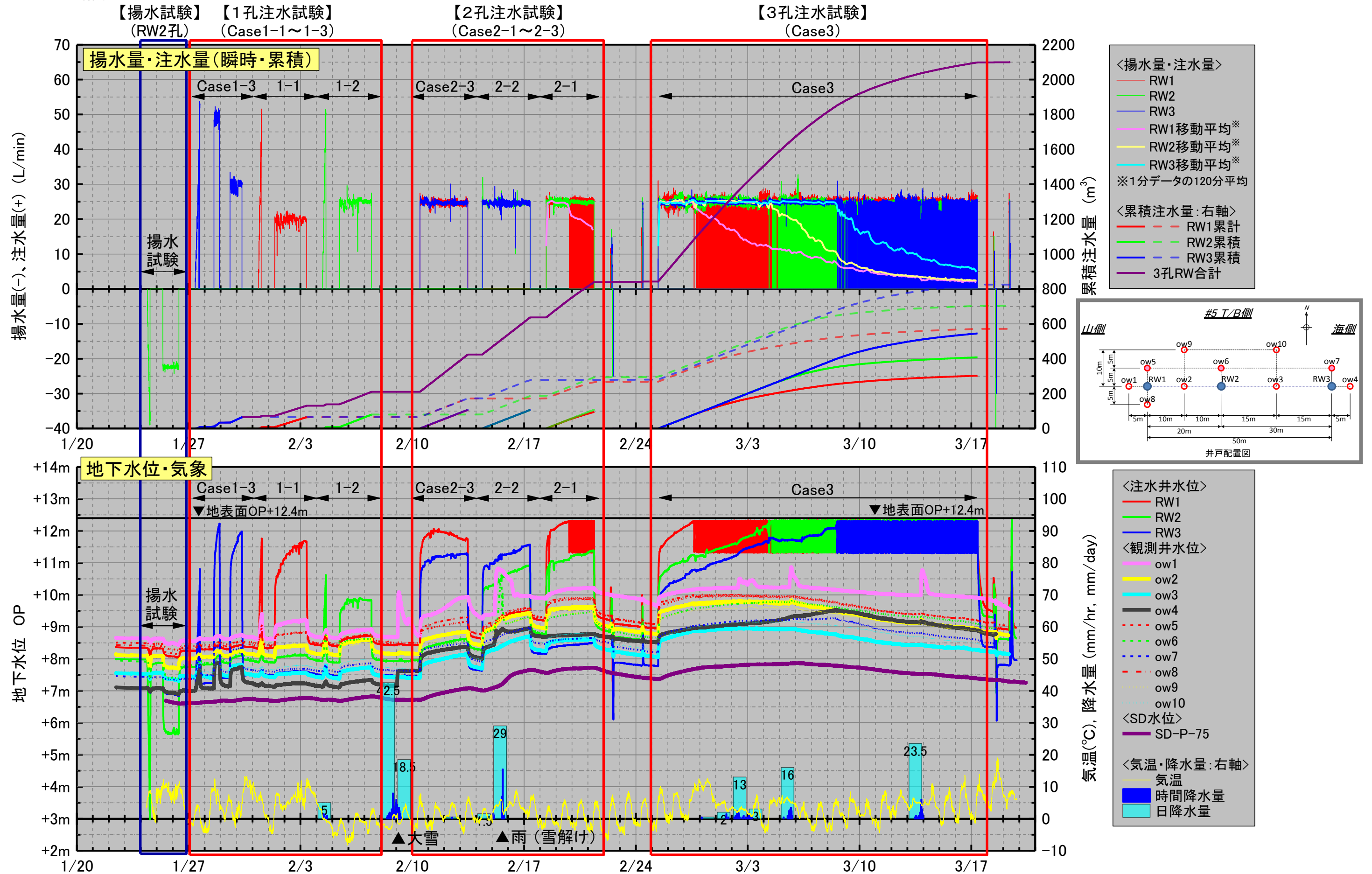


図-2.3 リチャージ特性評価試験 (実証試験④) 全期間の計測データ経時変化

2.4 揚水試験 (RW2 孔)

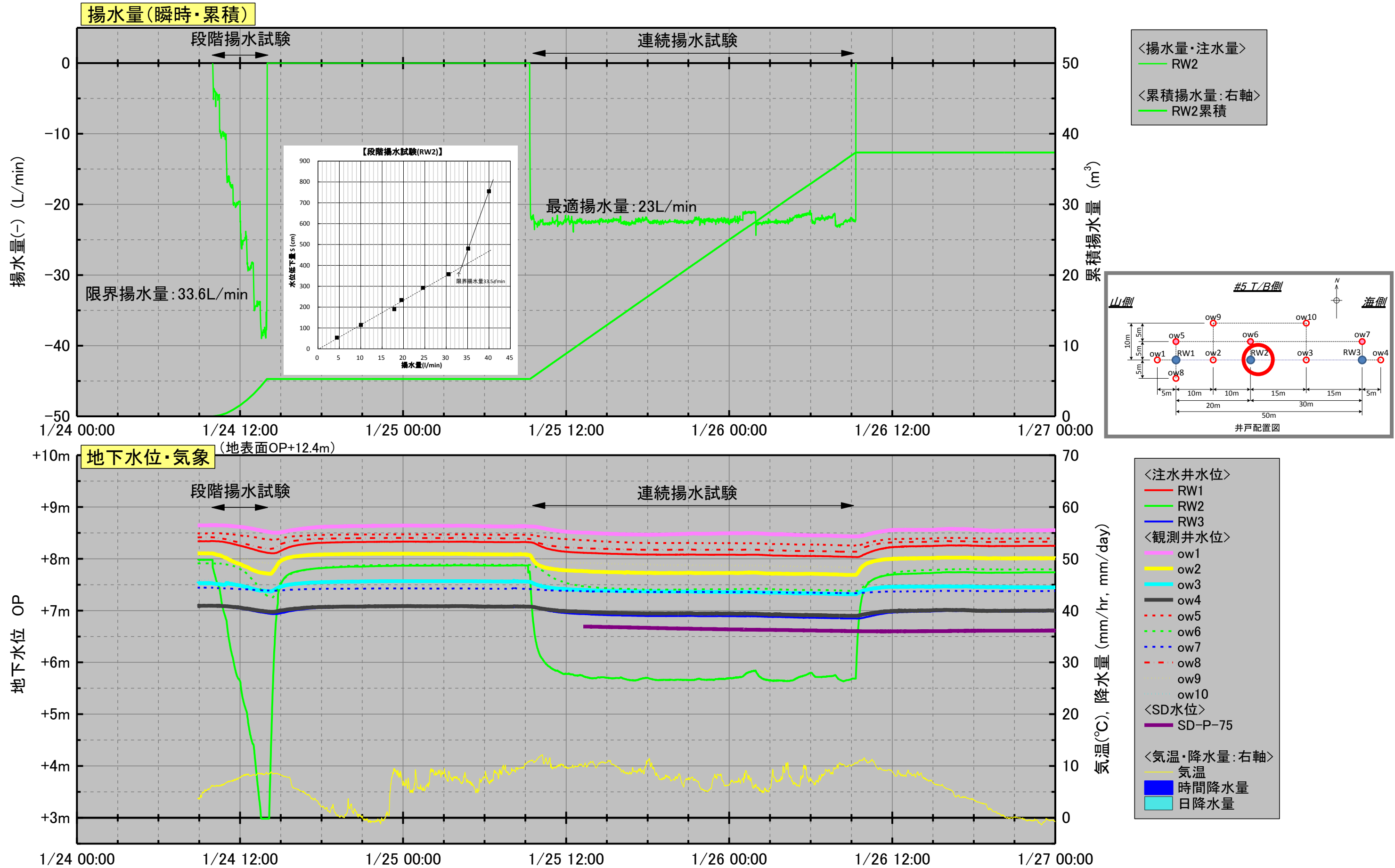


図-2.4 揚水試験 (RW2 孔) の経時変化図



2.5 1孔注水試験 (Case1)

(1) RW1孔 (Case1-1)

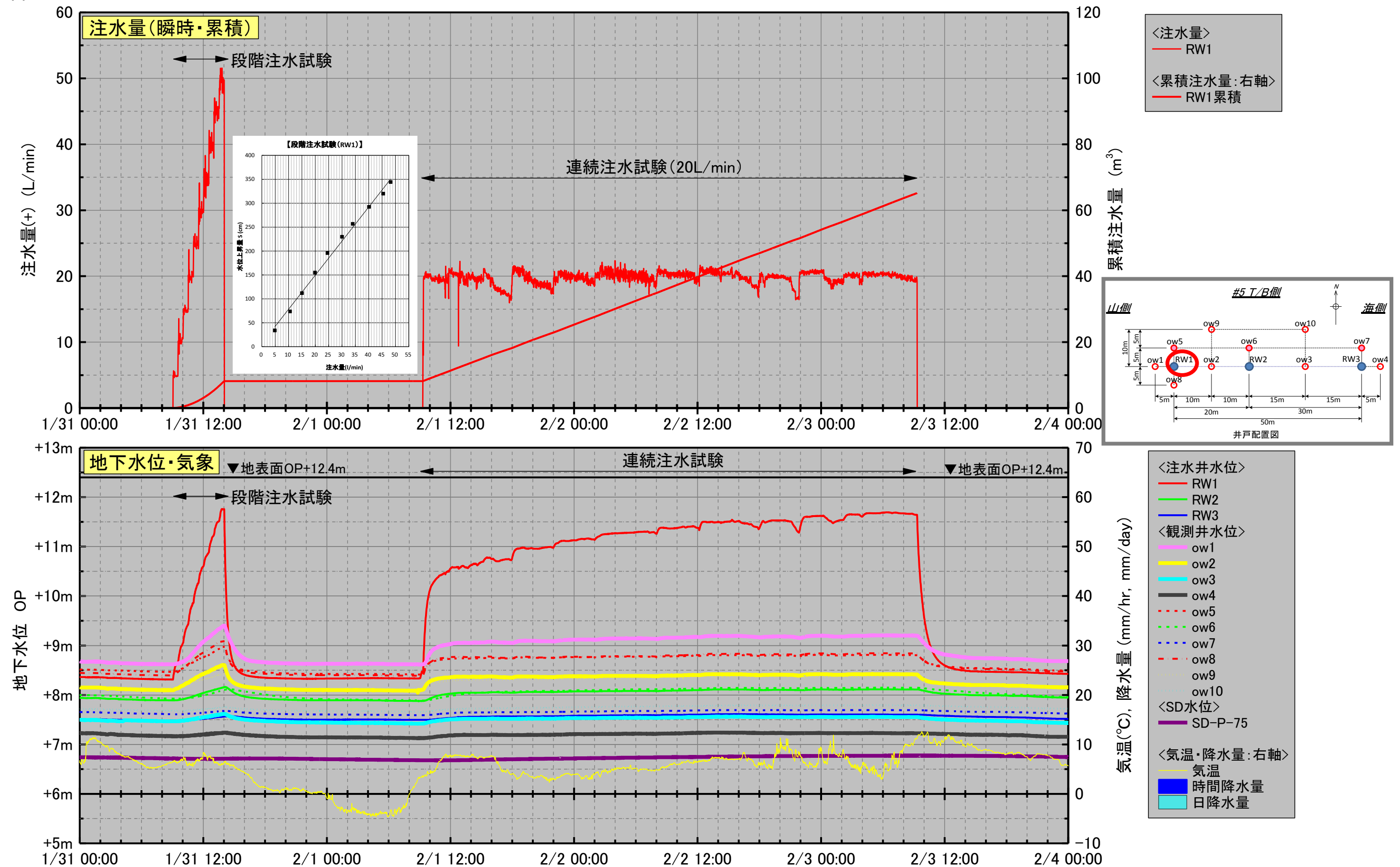


図-2.5 注水試験 Case1-1 (RW1孔) 経時変化図

(2) RW2 孔 (Case1-2)

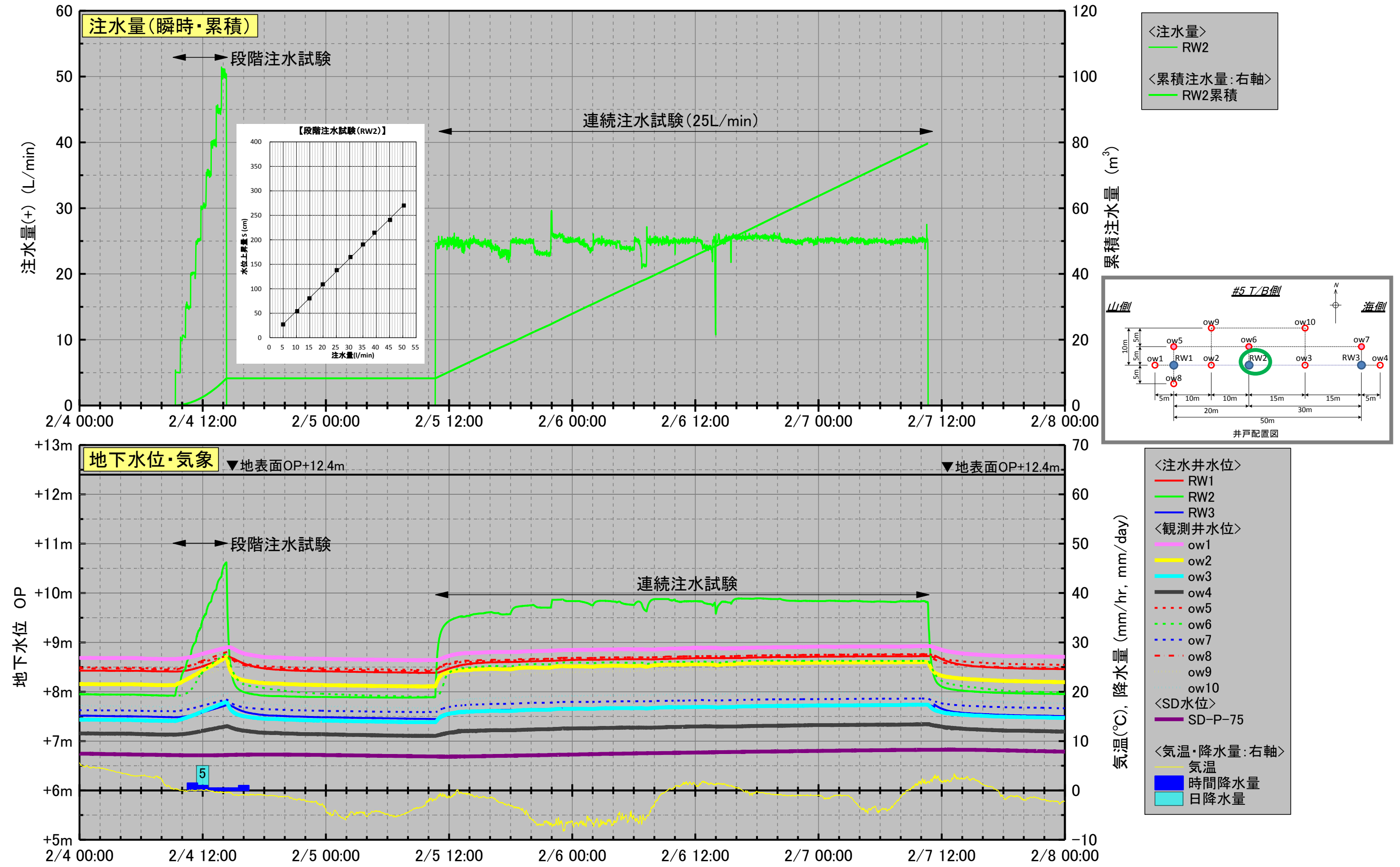


図-2.6 注水試験 Case1-2 (RW2 孔) 経時変化図

(3) RW3 孔 (Case1-3)

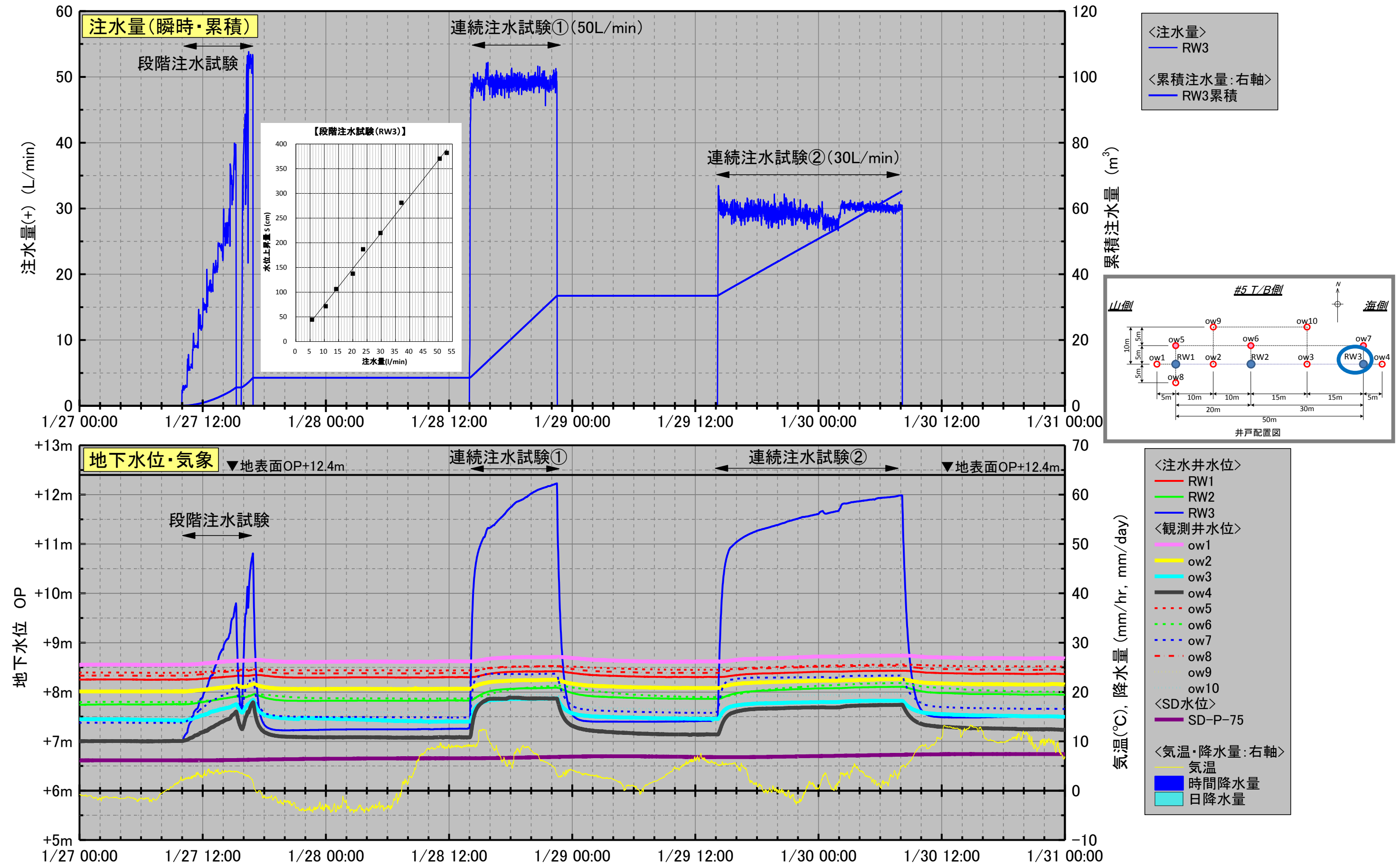


図-2.7 注水試験 Case1-3 (RW3 孔) 経時変化図

2.6 2孔注水試験 (Case2)  
 (1) RW1孔-RW2孔 (Case2-1)

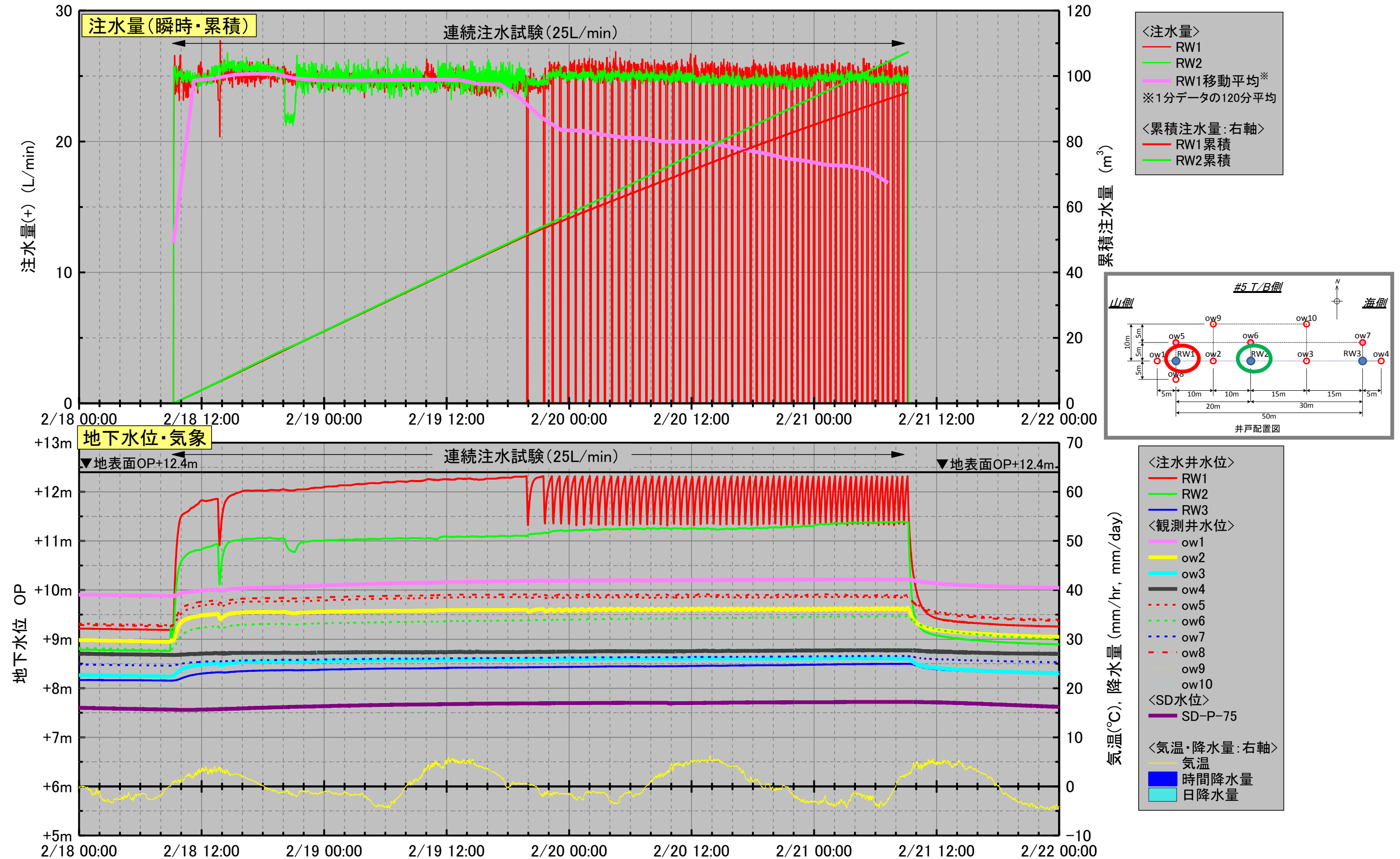


図-2.8 注水試験 Case2-1 (RW1孔-RW2孔) 経時変化図

(2) RW2孔-RW3孔 (Case2-2)

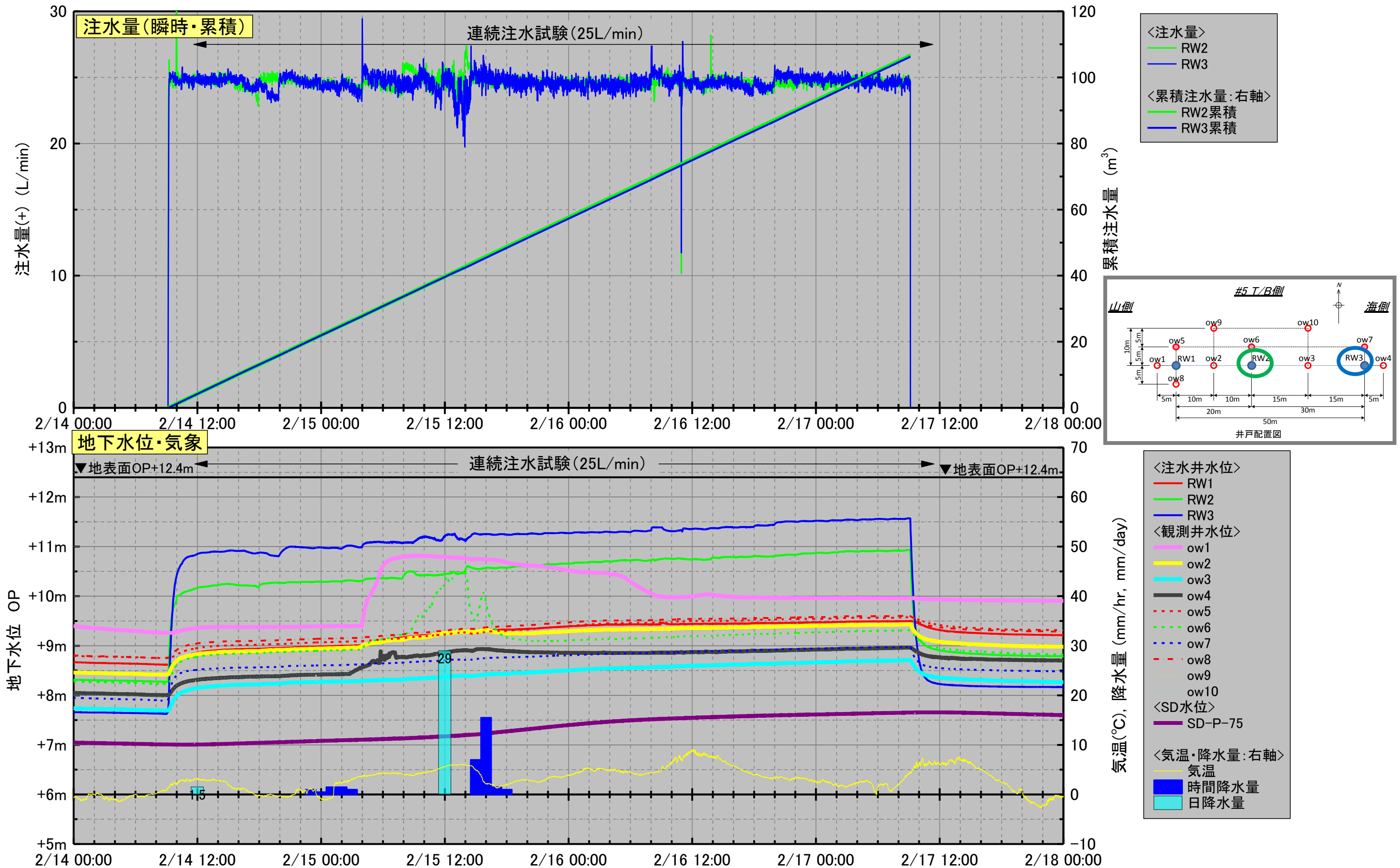


図-2.9 注水試験 Case2-2 (RW2孔-RW3孔) 経時変化図

(3) RW1孔-RW3孔 (Case2-3)

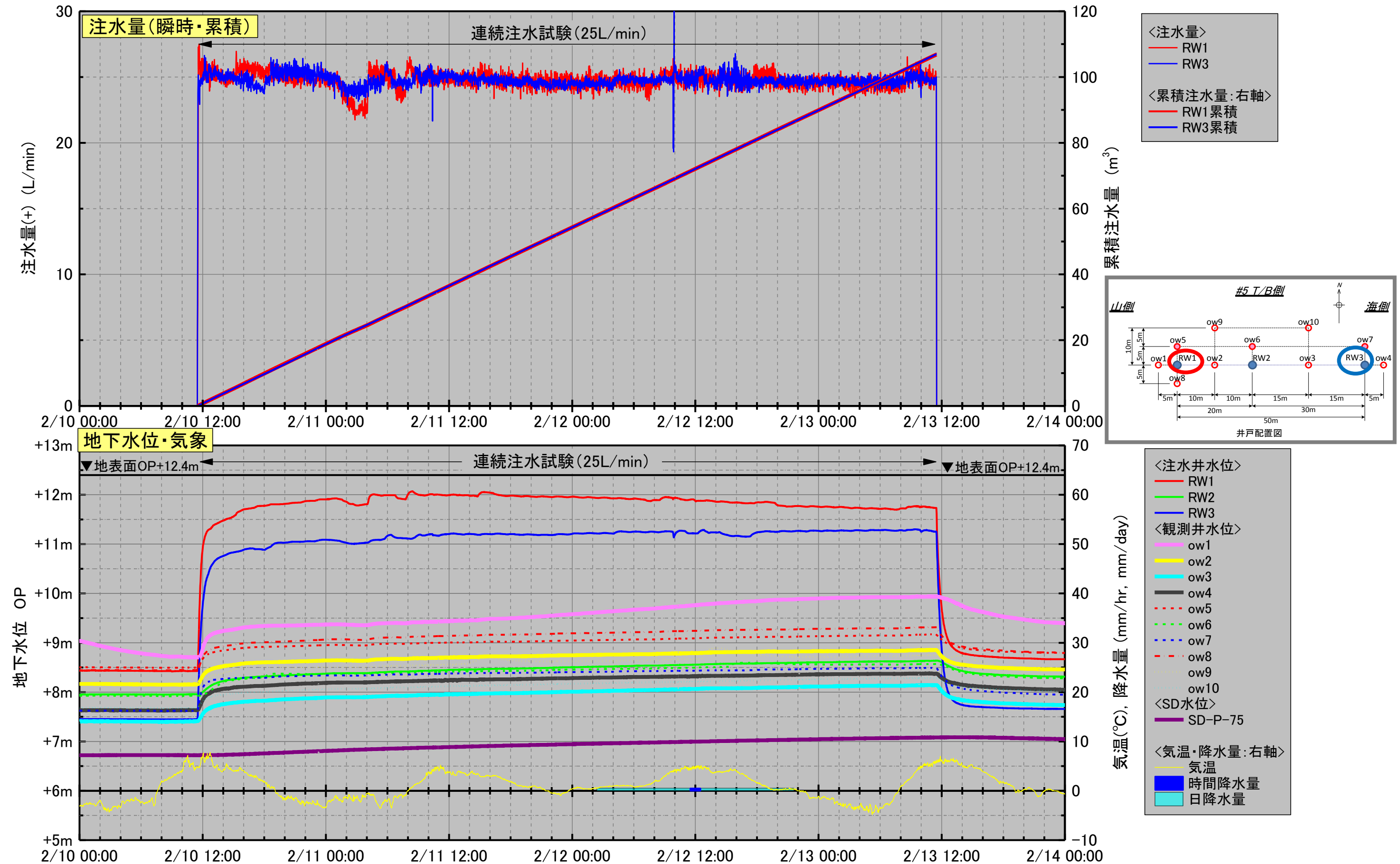


図-2.10 注水試験 Case2-3 (RW1孔-RW3孔) 経時変化図