

第64回試錐研究会

レッカ型帯水層の調査方法について

令和8年2月18日

俱知安町 水道課

株式会社アクアジオテクノ
技術部 資源開発グループ 高橋 昂甫

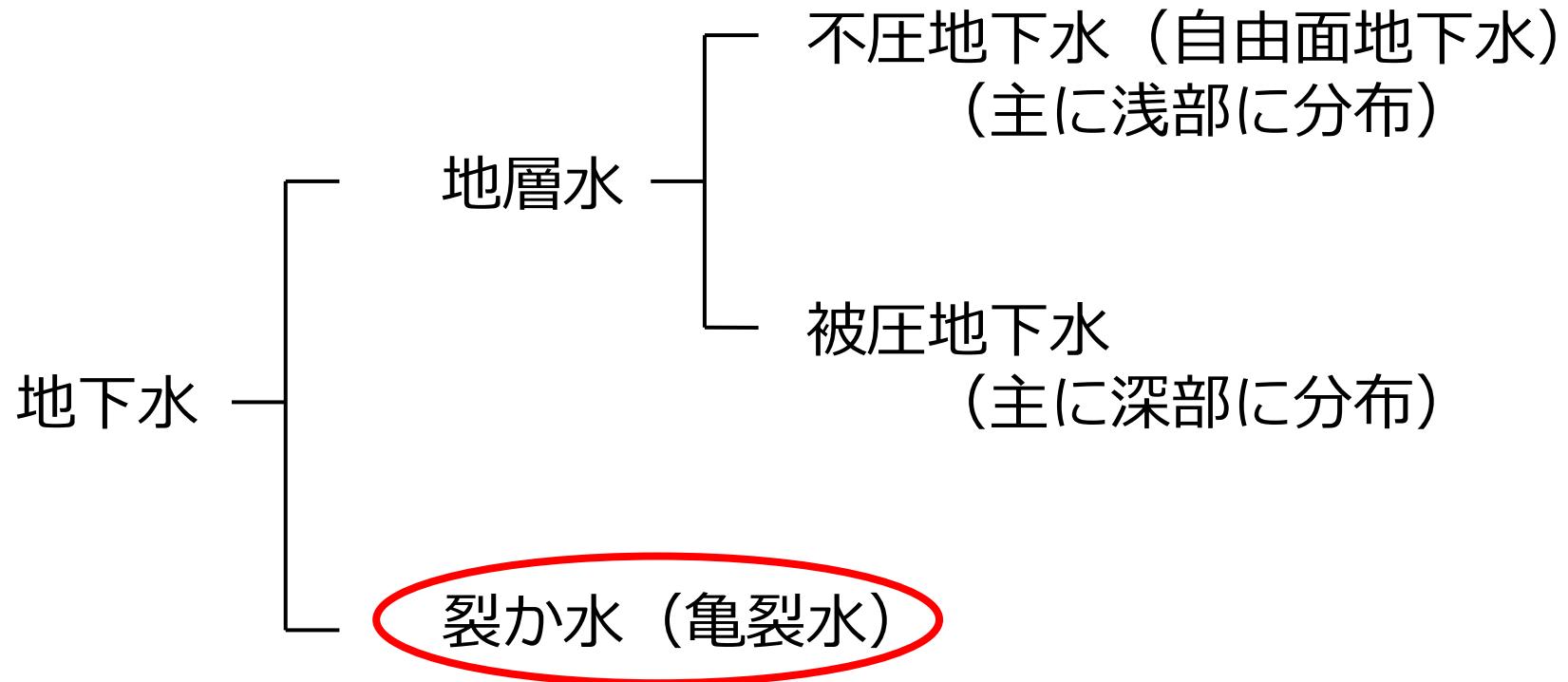
本日の話題

- 1.はじめに
- 2.調査地区の水理地質概要
- 3.調査内容及び結果
- 4.本井戸の掘削結果
- 5.まとめ

1.はじめに

- ・ 倶知安町では、近年の人口動向や観光需要の増加等を背景として、将来的な水需要の増加が見込まれており、安定的かつ持続可能な水道水源の確保が重要な課題となっている。
- ・ これまで町内の羊蹄山麓において水源開発が進められてきたが、十分な水量と良好な水質を兼ね備えた水源の確保が長年の課題であった。
- ・ 羊蹄山麓では、溶岩層中に発達した割れ目(キレツ)内に有望な帶水層が形成されていると考えられるものの、その分布や連續性の把握が難しいという地質的課題がある。
- ・ 本調査は、これらの課題を踏まえ、既往調査結果の再検討と段階的な調査手法により、キレツタイプの帶水層の評価を行ったものであり、羊蹄山麓の地質特性を踏まえた調査手法の有効性が確認された。

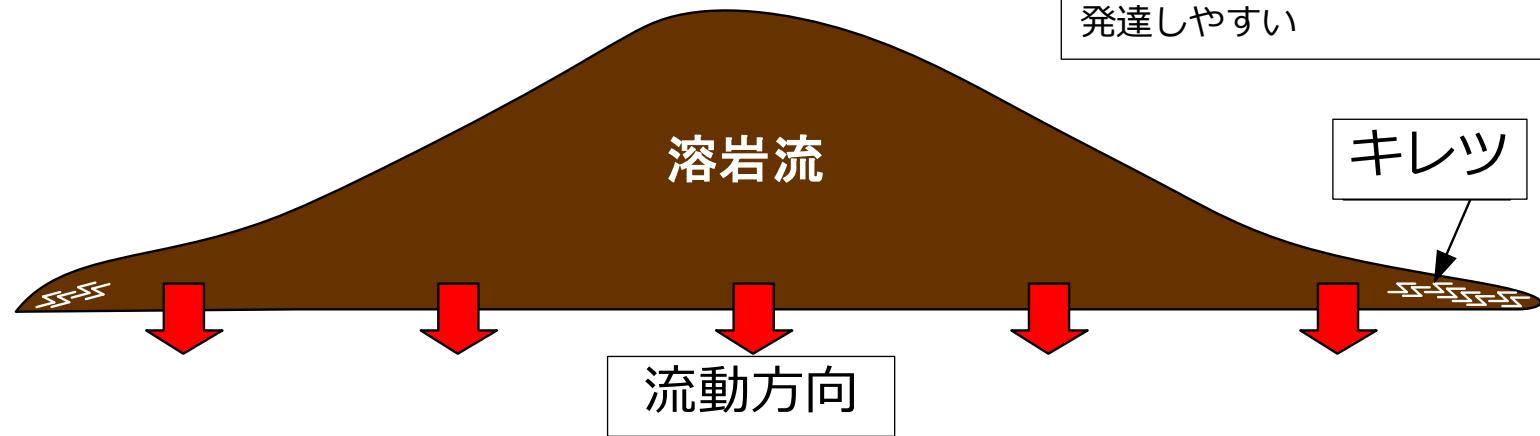
1.1.地下水の形態



1.2. レツカ型帯水層の特性

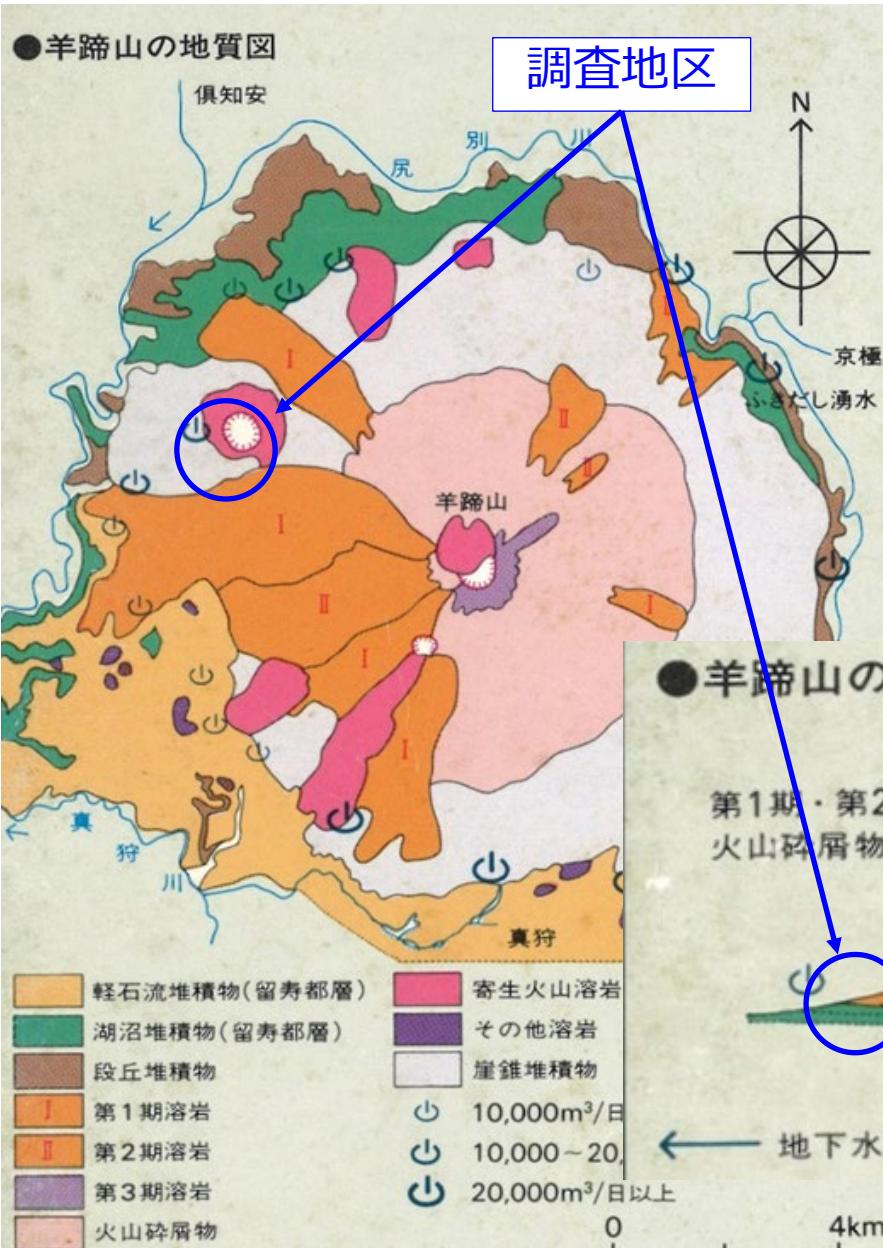
- 地層中に生じたキレツ中を流れる地下水。
- キレツは様々な要因で形成される。（水分や温度の変化による体積変化、引張、圧縮などの応力等）
- キレツがあっても、それが小さかったり、連続していない場合は大量の取水は期待できないが、連続したキレツが発達する帯水層は高い揚水能力を有している可能性が高い。
- 比抵抗垂直探査やボーリング調査等、点の調査では地層中の亀裂の連続性を把握することは難しい。

1.3. キレツの形成



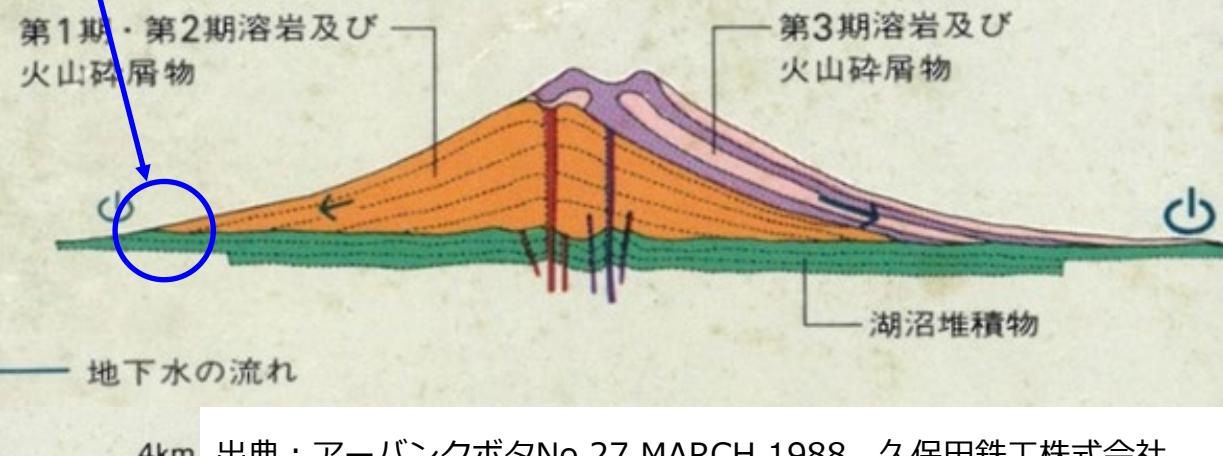
- 火山の噴出により噴出、流動、堆積した溶岩流が冷却され、体積の変化に伴い割れ目（キレツ）が発達する。
- 溶岩流の端部は冷却が早くキレツが発達しやすいため、孔隙率が多くなりやすい。

2. 調査地区的水理地質概要



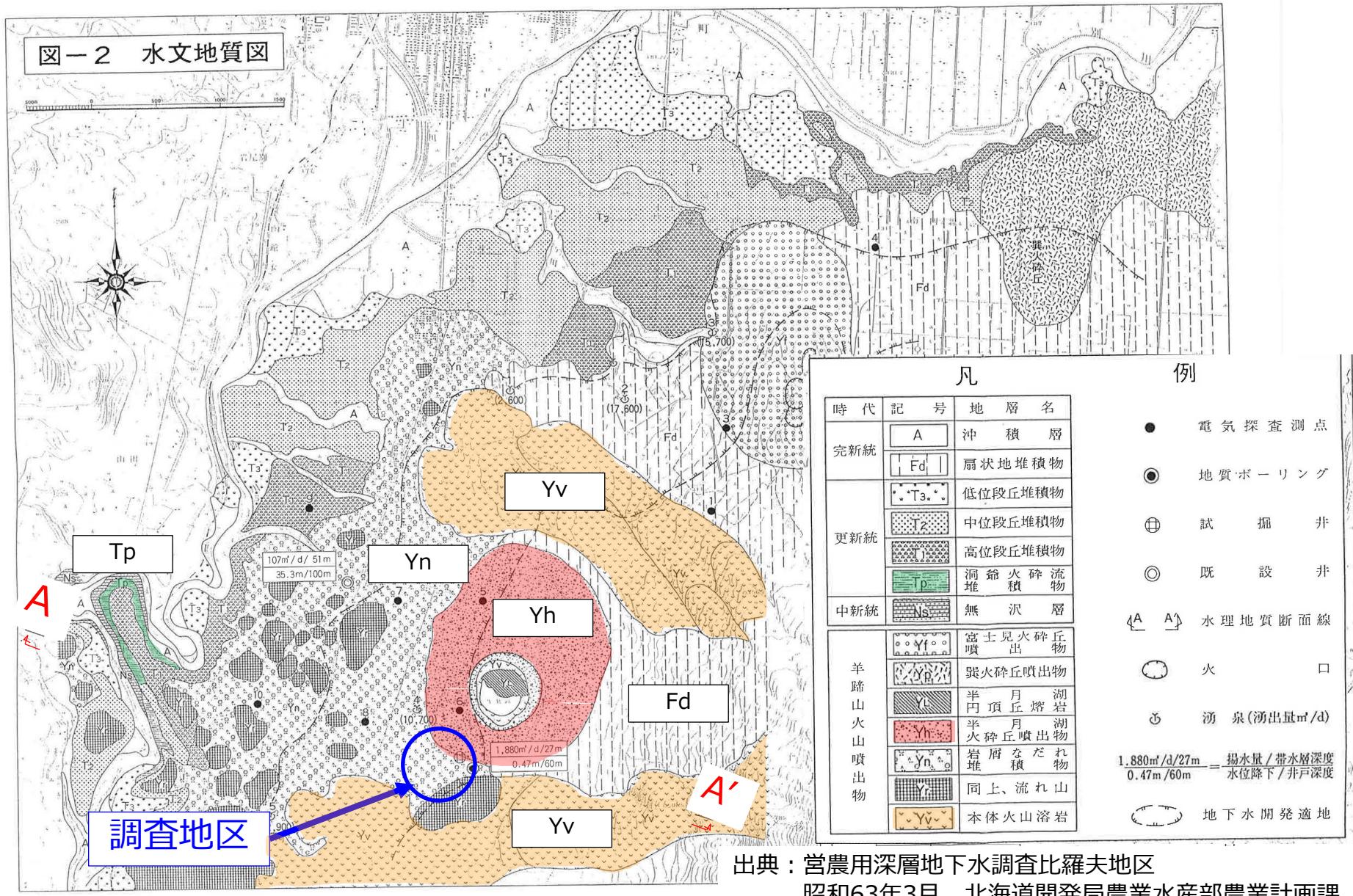
- 羊蹄山麓の標高220~270m付近で多くの湧水が見られる。
- 羊蹄火山噴出物の下位に基盤岩(留寿都層)が分布しており、標高220m付近にある境界部から湧水していると考えられる。

●羊蹄山の模式地質断面図

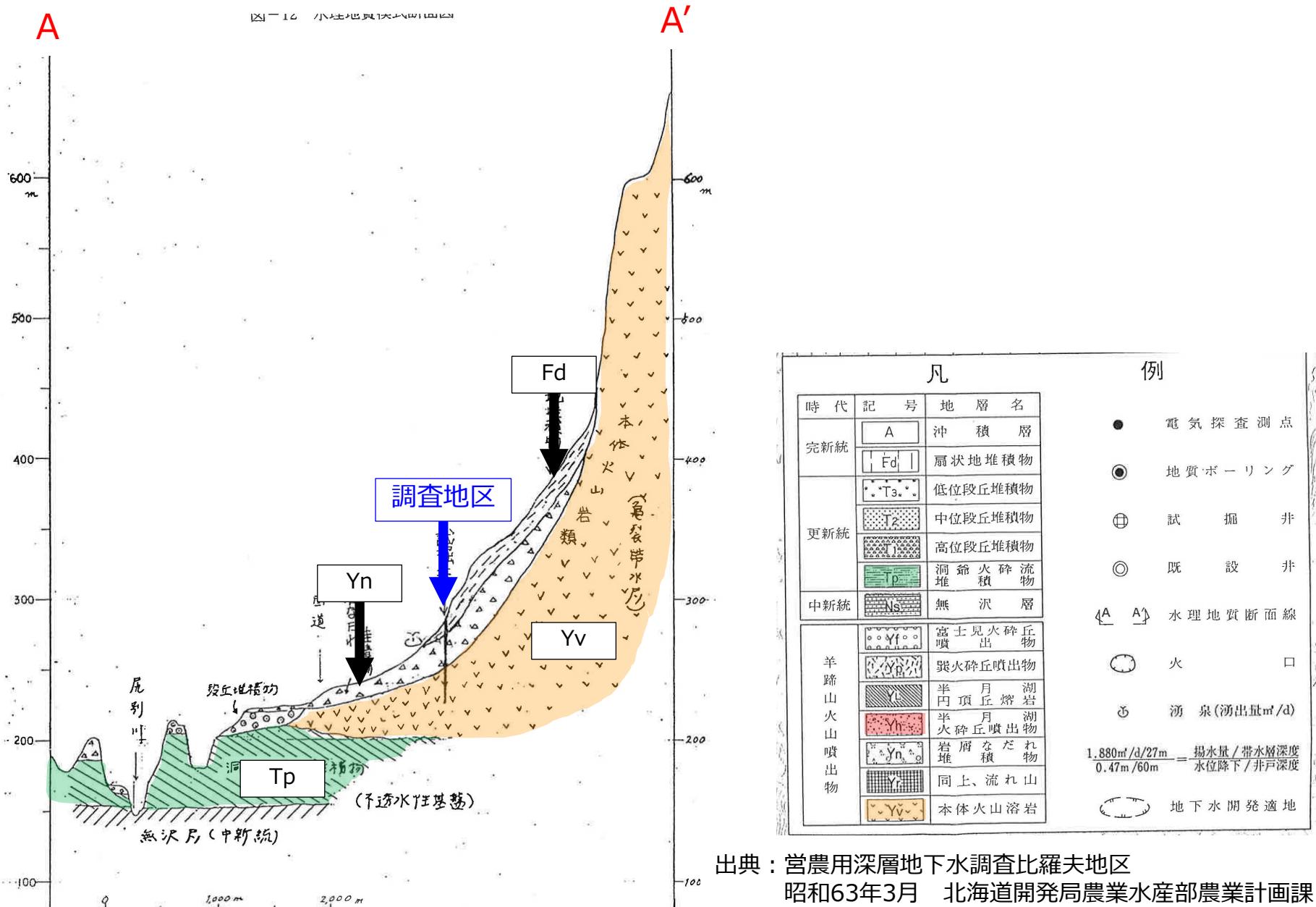


出典：アーバンクボタNo.27 MARCH 1988 久保田鉄工株式会社

2.2.調査地区の水理地質概要 (2)



2.3. 調査地区の水理地質概要 (3)



2.4.既設井戸の位置図

凡 例		
時 代	記 号	地 層 名
完新統	A	沖 積 層
	Fd	扇状地堆積物
更新統	T3	低位段丘堆積物
	T2	中位段丘堆積物
	T1	高位段丘堆積物
中新統	Tp	洞爺火碎流物 堆積物
	NS	無 沢 層
羊蹄山火山噴出物	Yf	竜士見火碎丘噴出物
	Yh	巽火碎丘噴出物
	YL	半月湖円頂丘熔岩
	Yn	半月湖火碎丘噴出物
	Yn	岩屑なだれ堆積物
	Yg	同上、流れ山
	Yv	本体火山溶岩

Yn : 岩屑なだれ堆積物※1

$$\frac{1.880 \text{m}^3/\text{d}}{0.47 \text{m}/60\text{m}} = \frac{\text{揚水量}}{\text{水位降下}} / \frac{\text{帶水層深度}}{\text{井戸深度}}$$

地下水開発適地

井戸位置図

Yh: 半月湖火碎丘噴出物※1

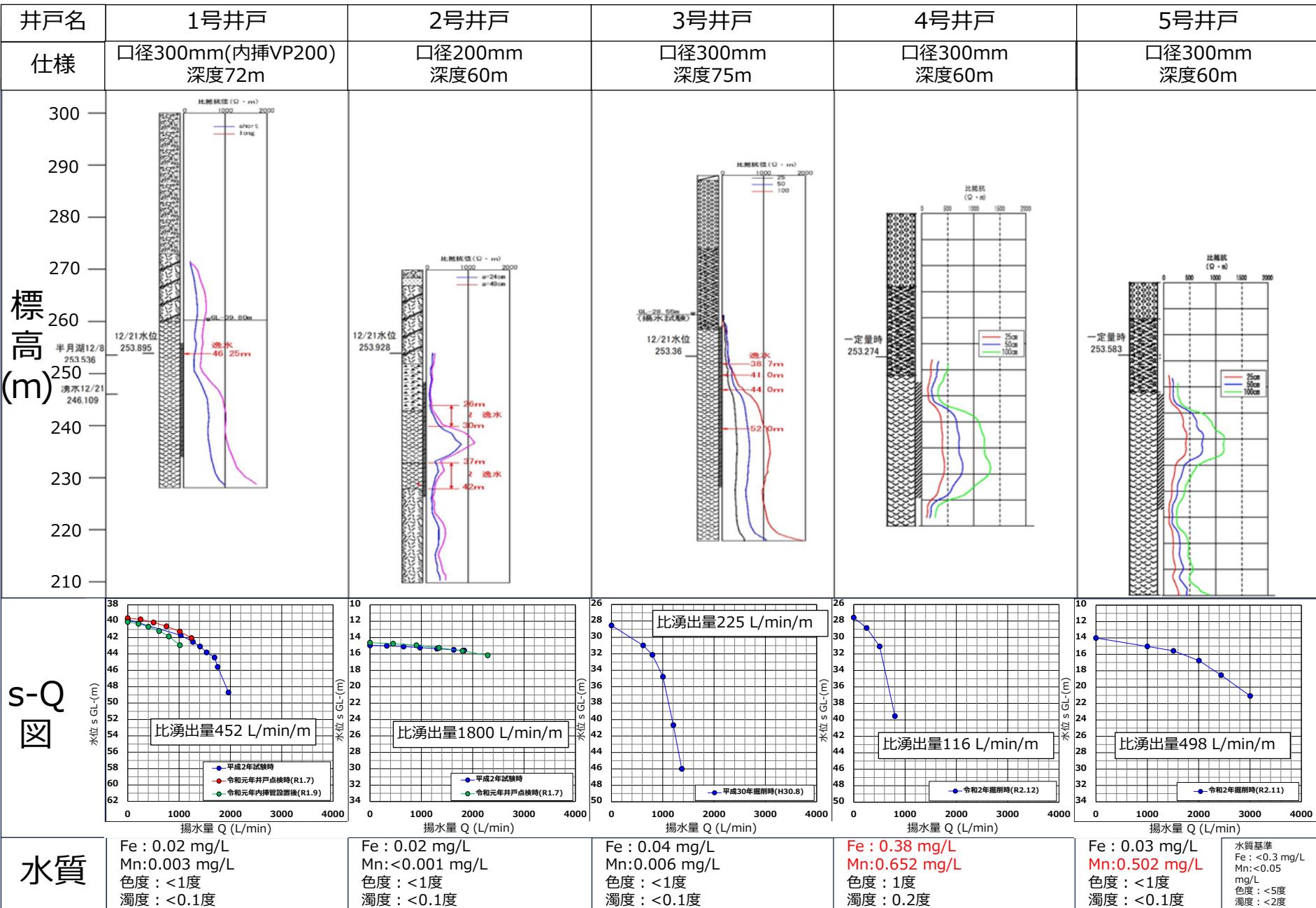
Fd : 扇状地堆積物※1

Yv : 本体火山熔岩※2

※1 不圧帶水層を形成する。半月湖湧水は本体溶岩と岩屑堆積物との境界から湧出している。地下水位が低いため井戸としては取水困難。

※2 溶岩中のキレツが地下水流动層となっている。キレツが発達しているところは、有望な帶水層となりえる。

2.4.既設井戸の構造



2.5.調査地区の現状（令和3年当時）

※俱知安町水道事業ビジョン（令和3年11月）より

- 各井戸の利用状況

1号井戸：1,210 m ³ /日	} 3本合計3,490 m ³ /日
2号井戸：1,320 m ³ /日	
3号井戸：960 m ³ /日	
4号井戸：未利用（水質不良Fe、Mn）	
5号井戸：未利用（水質不良Mn）	

- 水需要の増加、それに伴う必要水量の増加

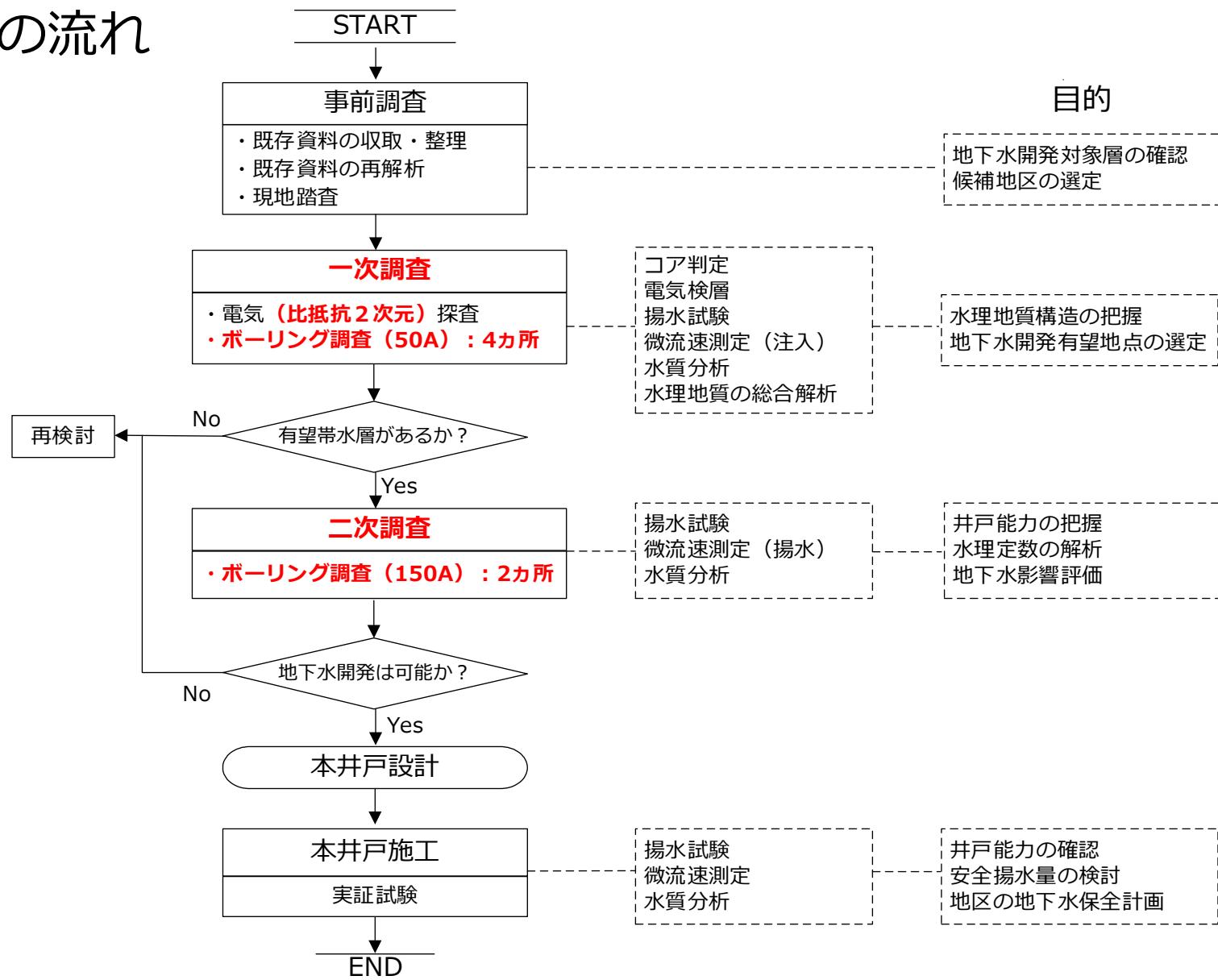
R5年度までに5,641 m³/日

R12年度までに6,310 m³/日を目標とする

→新規水源の開発の必要性

3. 調査内容及び結果

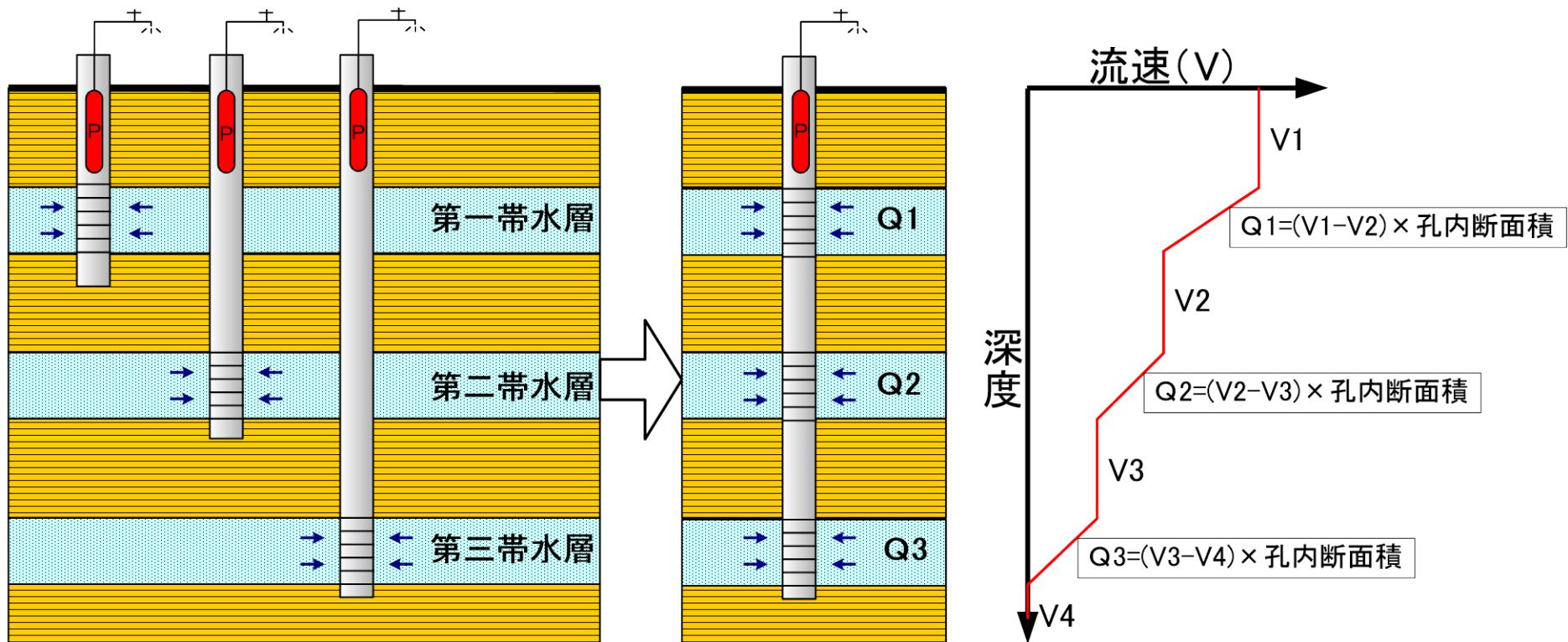
3.1. 調査の流れ



3.2.1.一次調査の方法

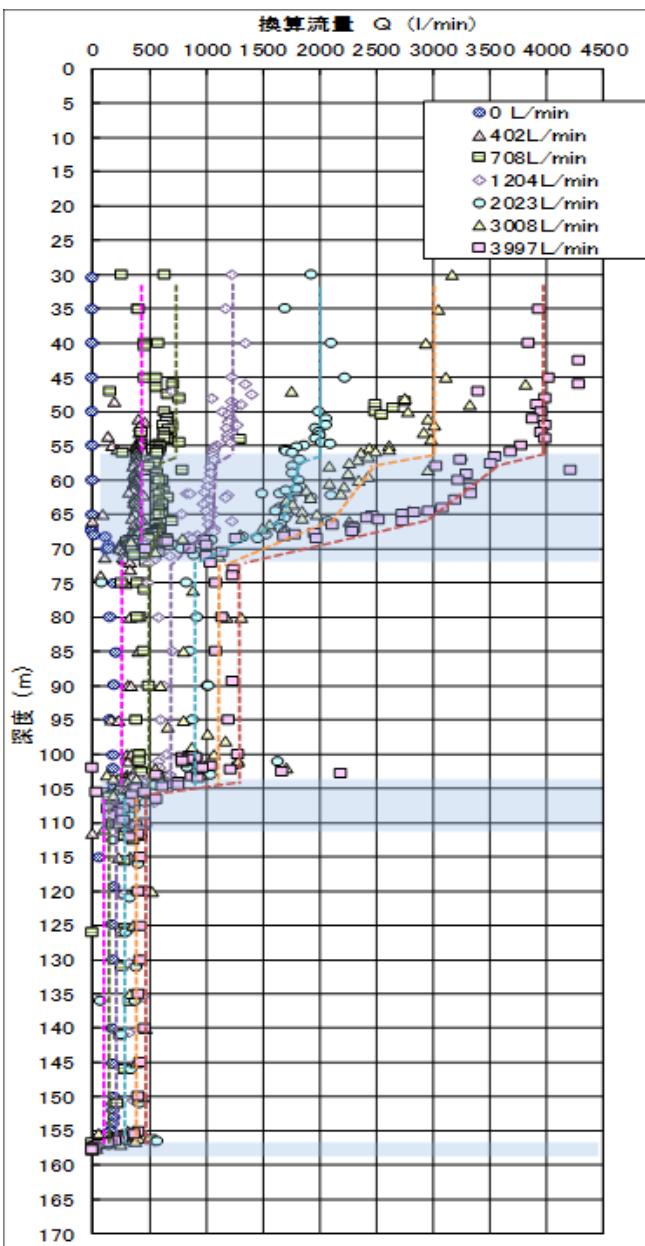
調査内容	概要
電気（比抵抗二次元）探査	<ul style="list-style-type: none">地盤の比抵抗分布を測定し、地層・透水性を把握する特に、本調査地のように水平方向の変化が激しい地層には非常に有効である細粒火山灰や無亀裂な基盤岩、溶岩などは不透水層であるが高比抵抗を示すため、注意が必要である
φ50調査ボーリング（ロータリー式）	<ul style="list-style-type: none">掘進状況や、採取したコアからボーリング地点における地質を把握する高開孔率のVP管で仕上げ、掘削後に各種試験を行う
電気検層	<ul style="list-style-type: none">ボーリング地点における垂直方向の地層の連続的变化を把握する電気探査結果と併せて評価することで、調査精度の向上が期待できる
注水試験	<ul style="list-style-type: none">φ50調査孔では多量の揚水が困難なため、注水した際の水位上昇量から帯水層の能力を把握する併せて微流速検層を実施することで、帯水層の位置も併せて把握する
孔内微流速測定	<ul style="list-style-type: none">孔内の鉛直方向の流速を測定し、地下水流入区間を把握するボーリング地点において、キレツ中からの地下水流入の有無を評価する手法として重要である

3.2.2. 微流速測定



- 孔内で鉛直方向の流速Vを測定し、次式より流量に換算する。
流量 $Q[\text{L}/\text{min}] = \text{測定孔断面積}[\text{cm}^2] \times V[\text{cm/sec}] \times 60 \div 10^3$
- 換算した流量の差分から、孔内の地下水流入区間、及び複数の帯水層の能力を1本の井戸で調べることができる。

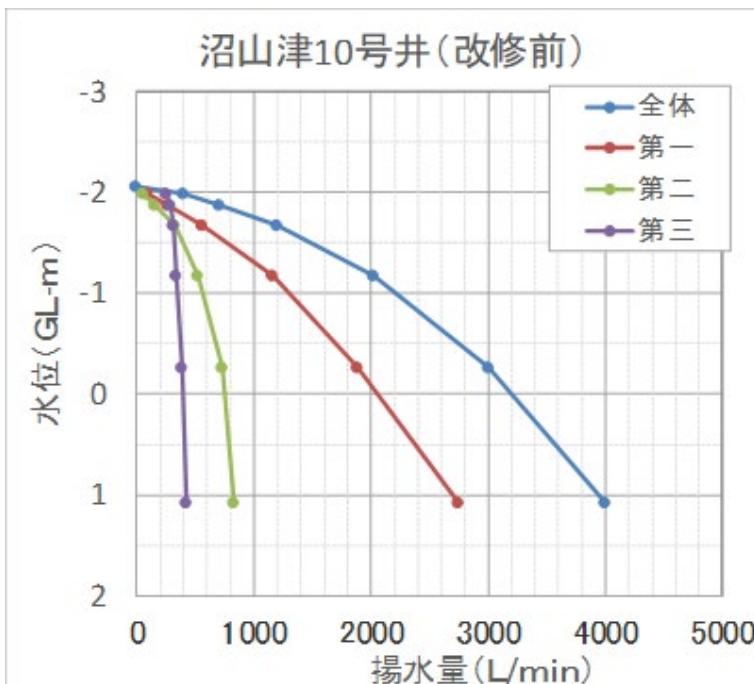
3.2.2.(2)微流速測定の解析例



微流速測定結果一覧

	試験名	水位 (GL-m)	揚水量 (l/min)			
			全体	第一	第二	第三
改修前	自然状態	-2.060	0	-200	0	200
	1段階目	-1.990	402	96	54	252
	2段階目	-1.880	708	262	153	292
	3段階目	-1.682	1204	556	330	318
	4段階目	-1.180	2024	1164	518	342
	5段階目	-0.260	3009	1889	730	389
	6段階目	1.070	3998	2749	831	418

水位s-揚水量Q特性分解図



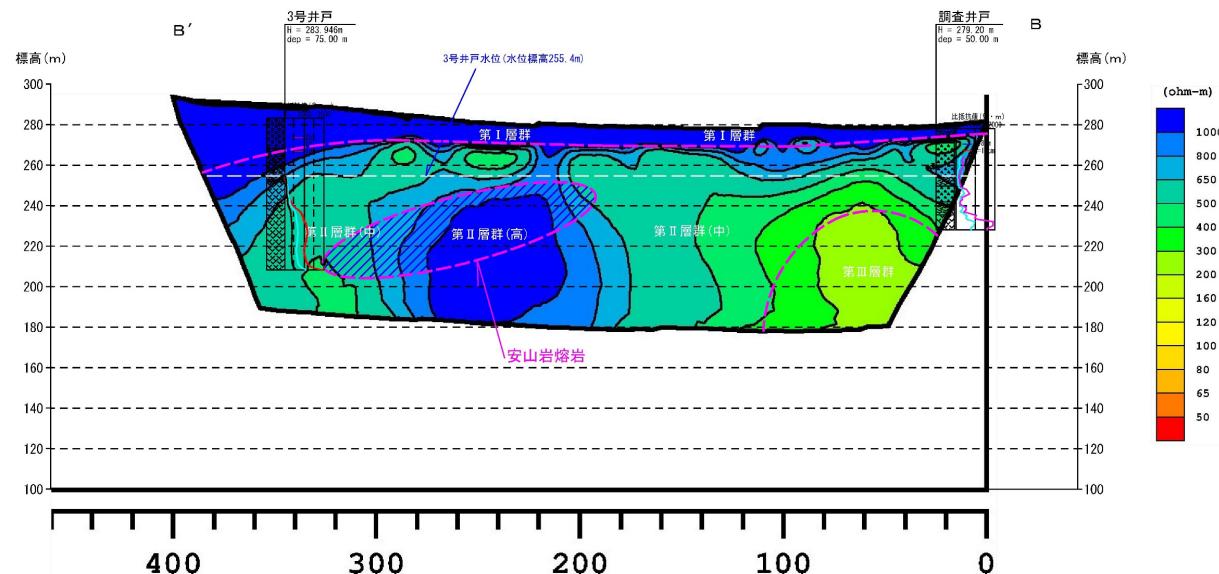
3.3.一次調査結果

3.3.1.一次調査位置図

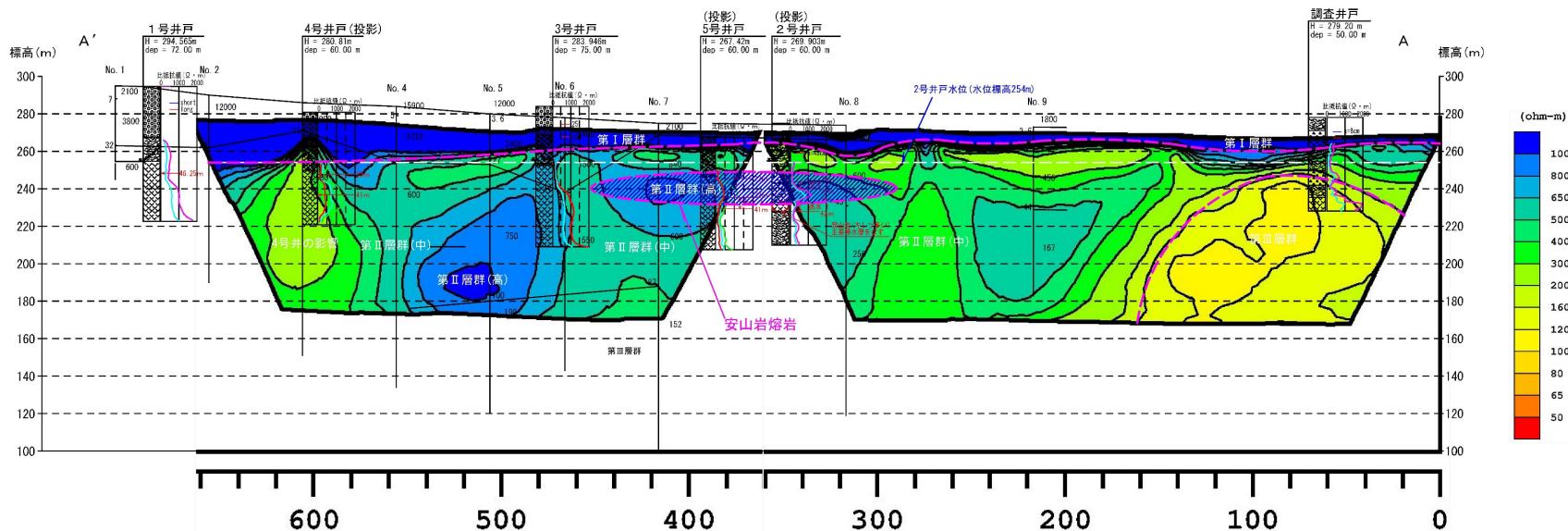
調査位置図

3.3.2. 電気探査の結果

B測線



A測線

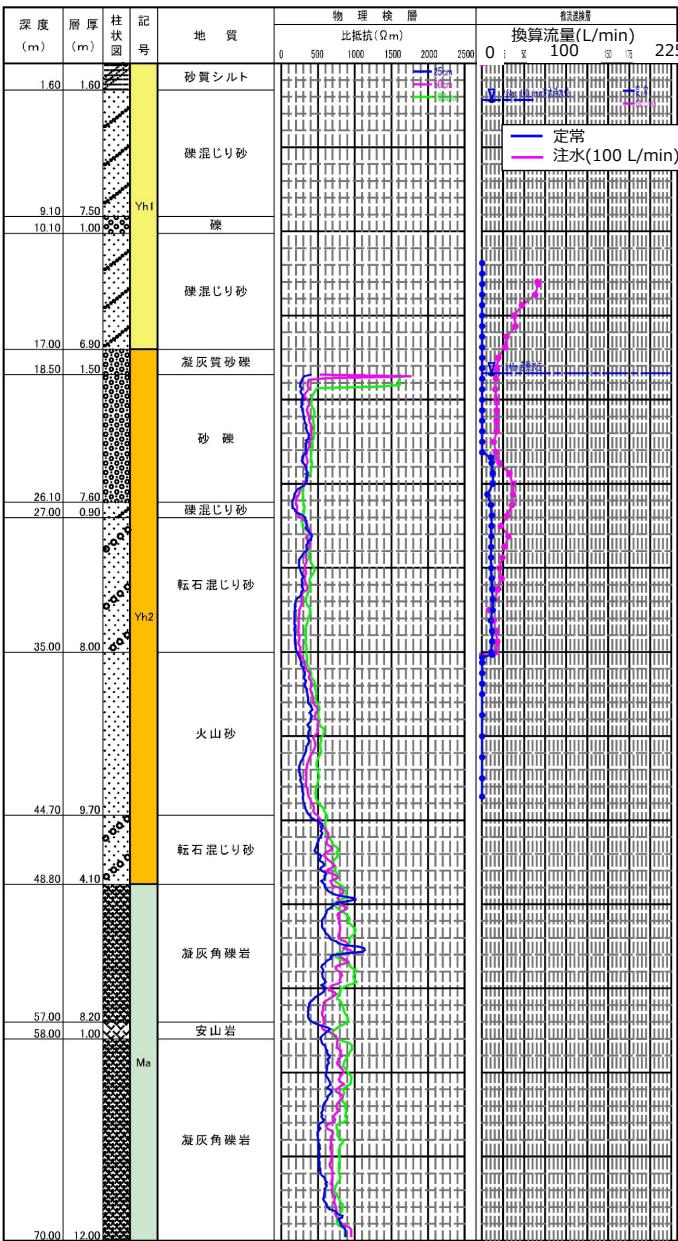


3.3.3.φ50調査ボーリング位置図

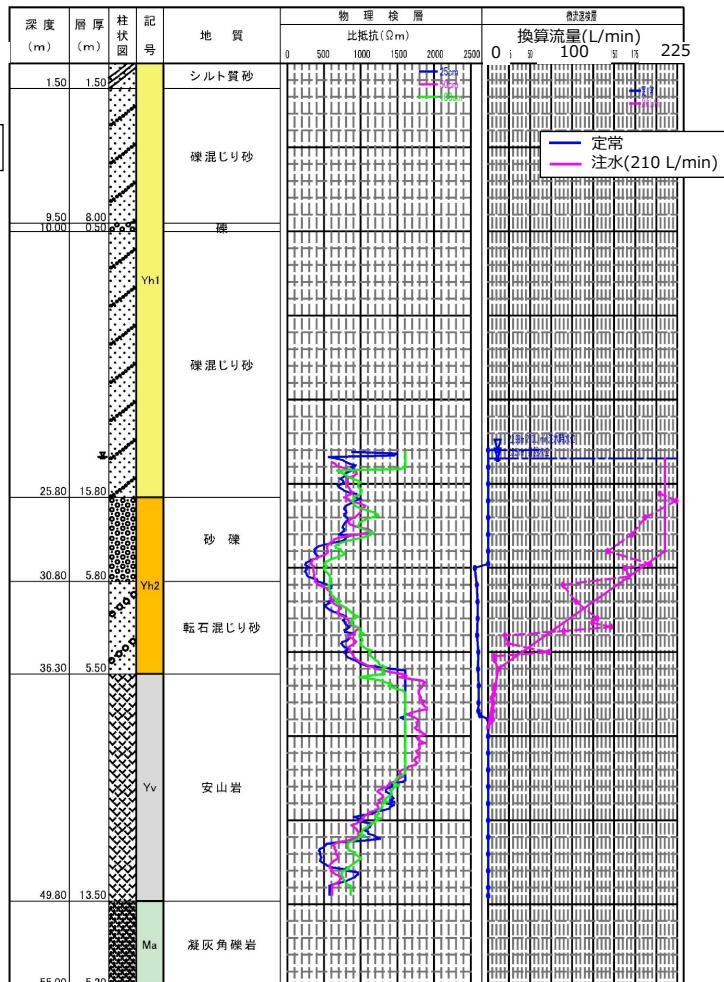
一次調査位置図

3.3.4.(1)φ50調査ボーリング・試験結果

R3-B1 GH=274.25m



R3-B2 GH=277.81m

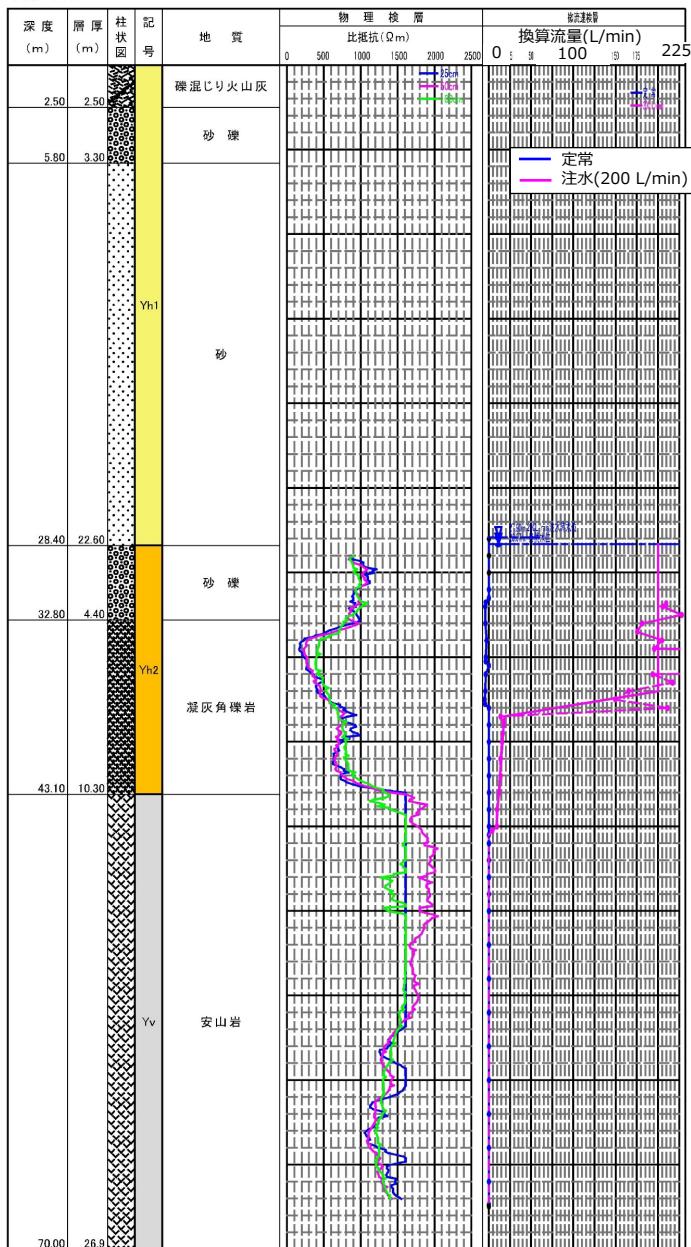


地質構成

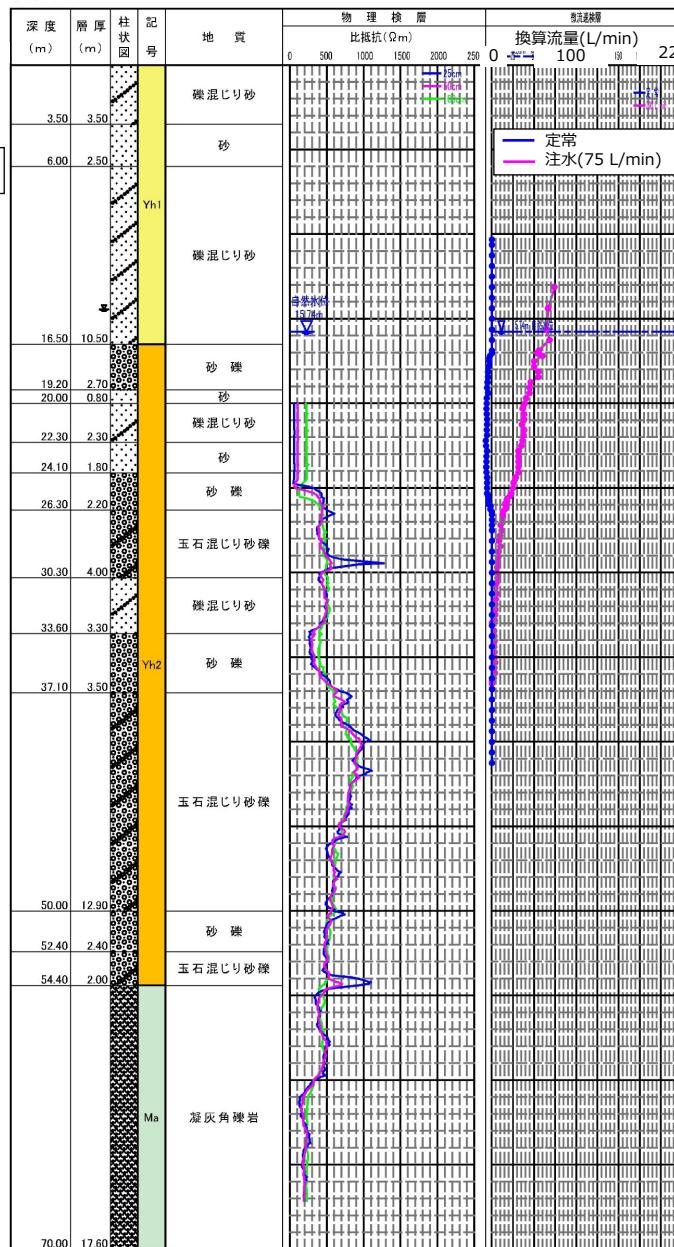
半月湖 火碎丘噴出物	Yh1	砂質土層
羊蹄山本体熔岩	Yv	溶岩
留寿都層・真狩層	Ma	堆積岩類

3.3.4.(2)φ50調査ボーリング・試験結果

R3-B3 GH=282.88m



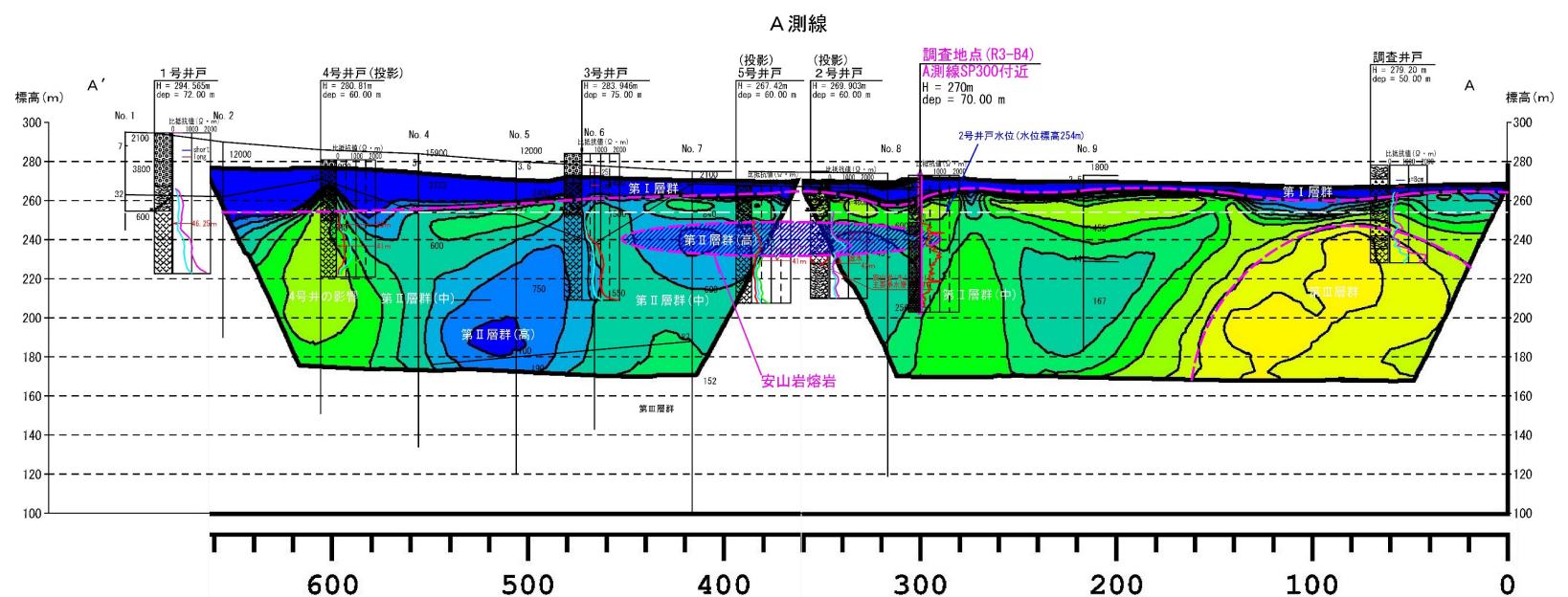
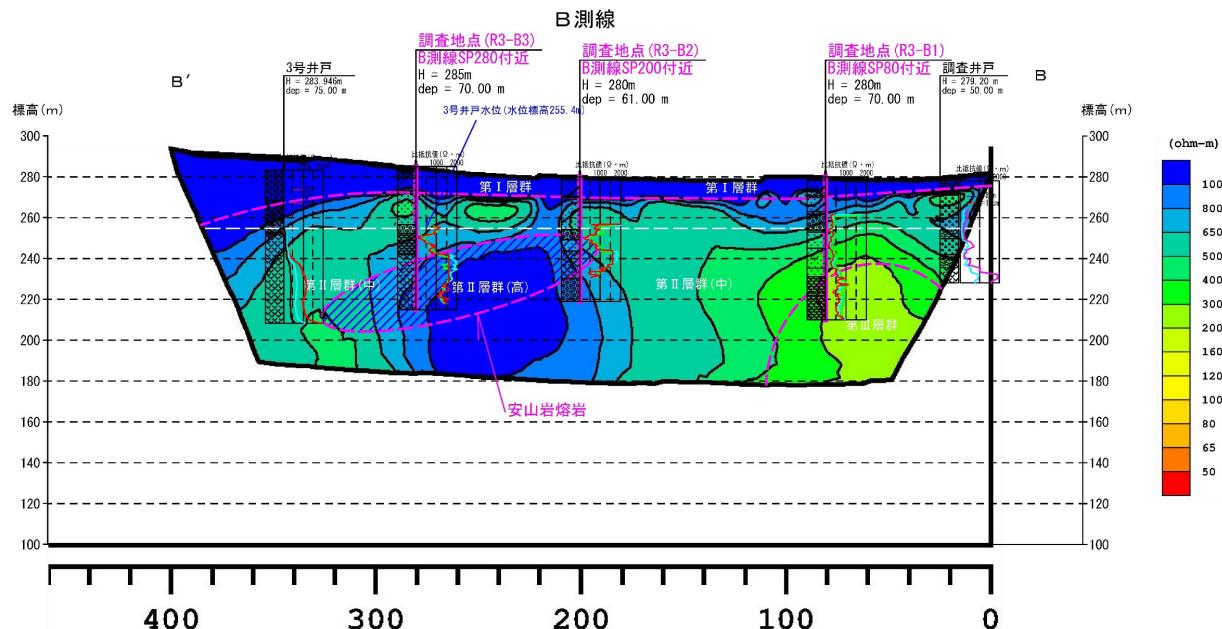
R3-B4 GH=270.02m



地質構成

半月湖	Yh1	砂質土層
火碎丘噴出物	Yh2	礫質土層
羊蹄山本体熔岩	Yv	溶岩
留寿都層・真狩層	Ma	堆積岩類

3.3.4.(3)φ50調査ボーリング・試験結果



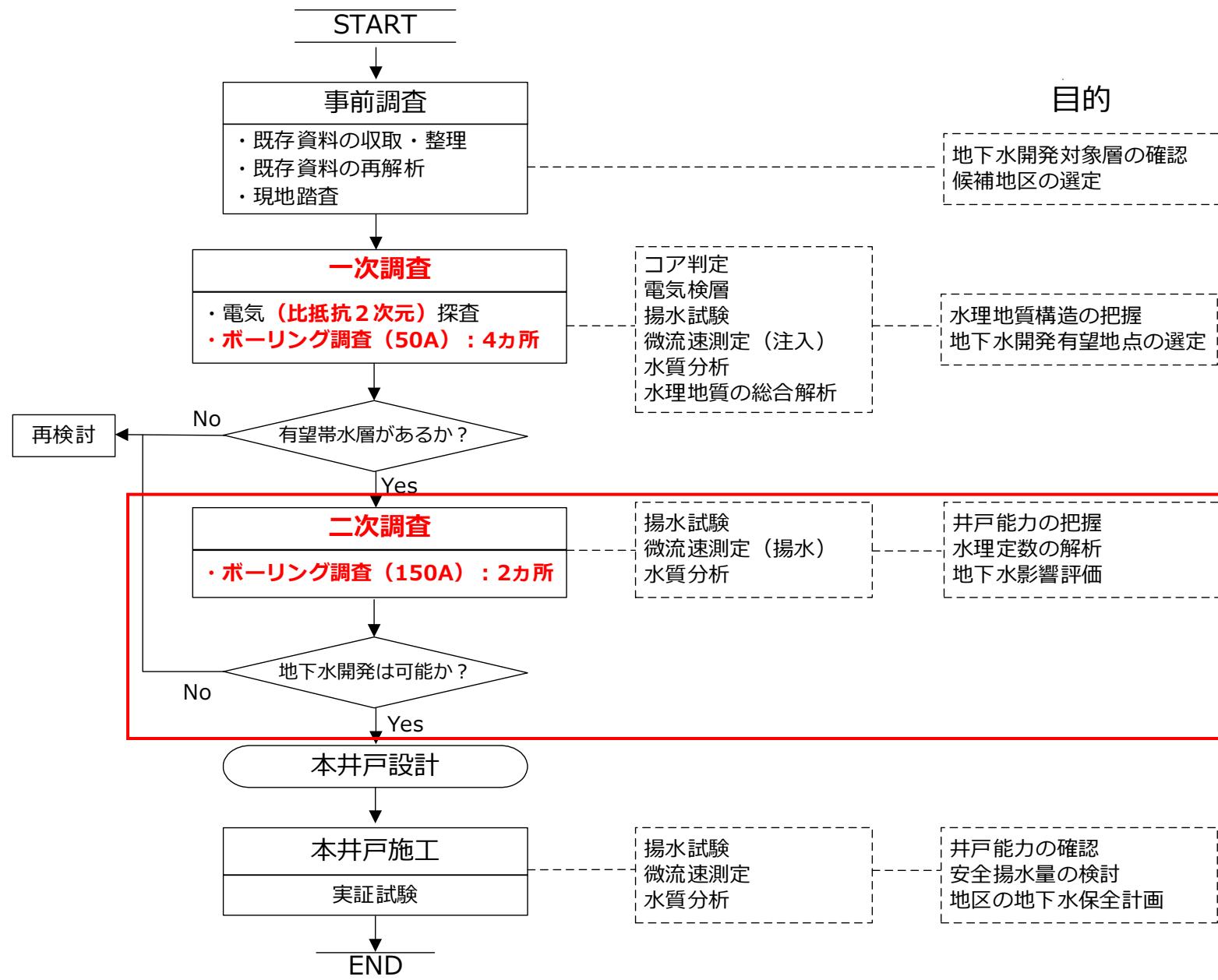
3.3.5.一次調査結果まとめ

地点番号	地下水位		帶水層		注水試験			水質(mg/L)		地下水開発の評価
	深度	標高	流動区間	層厚	注水量	水位上昇量	比注入量	鉄※1	マンガン※2	
	m	m	m	m	L/min	m	L/min/m	mg/L	mg/L	
R3-B1	18.46	255.79	18.4 ～57.0	37.3	100	16.22	6	0.30	0.016	×
R3-B2	23.51	254.30	23.5 ～40.0	16.5	210	0.53	396	0.23	0.025	○
R3-B3	28.37	254.51	28.9 ～45.0	24.9	200	0.48	417	0.14	0.015	○
R3-B4	15.76	254.26	20.0 ～58.0	48.0	75	16.00	5	9.10	0.100	×

※1 鉄：基準値<0.3 mg/L

※2 マンガン：基準値<0.05 mg/L

3.4.二次調査



3.4.1.二次調査の方法

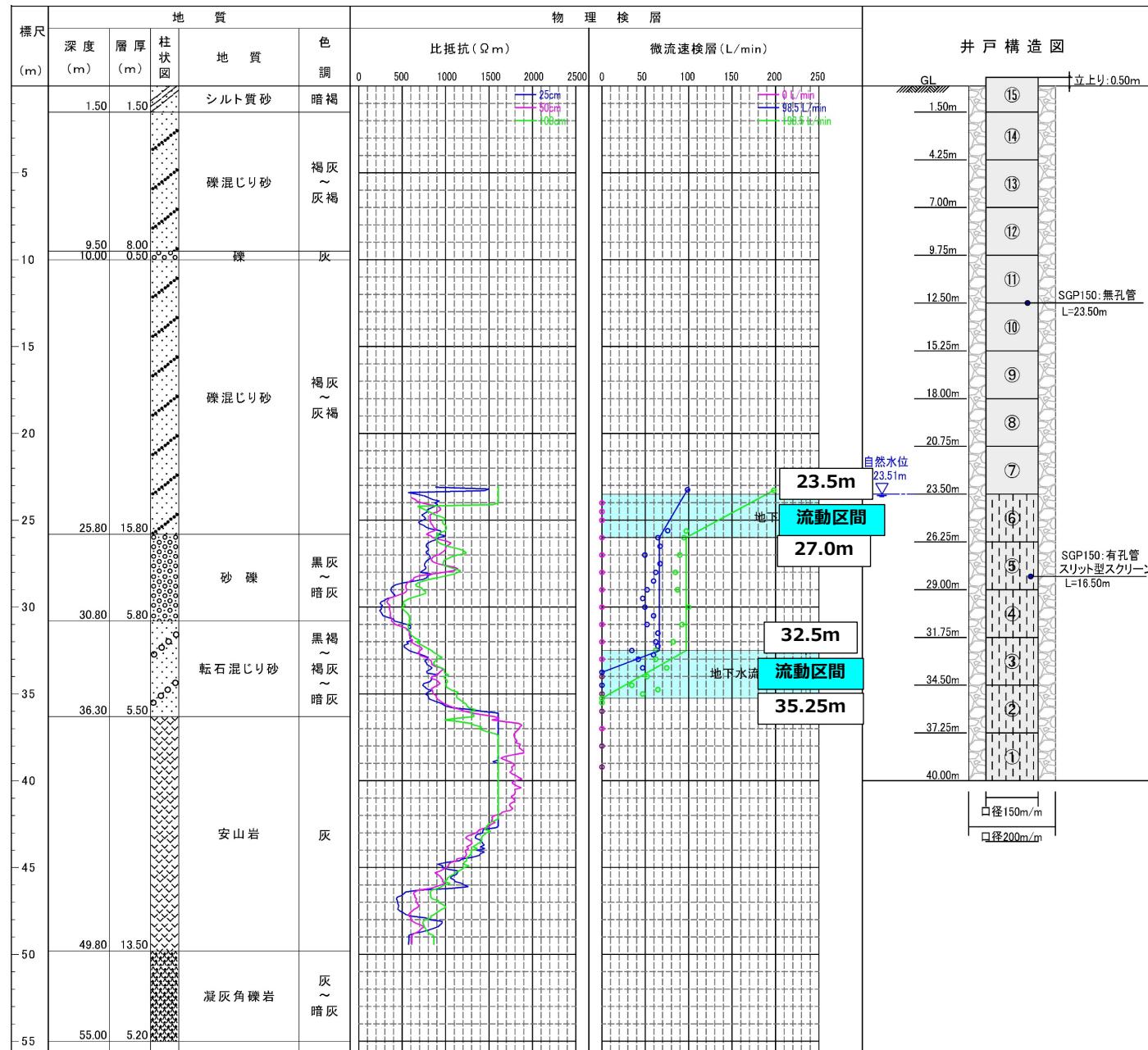
調査内容	概要
φ150調査ボーリング(ダウンザホールハンマー工法)	<ul style="list-style-type: none">取水対象層である本体火山熔岩は硬質であるため、ロータリー式と比較し掘進速度に優れるケーシングパイプを引き連れて掘削するため、崩壊性の地層も掘削可能である。
揚水試験	<ul style="list-style-type: none">井戸の限界揚水量及び適正揚水量の把握、及び水理定数の解析と影響評価を行うこちらでも併せて微流速測定を行う
孔内微流速測定	<ul style="list-style-type: none">孔内の鉛直方向の流速を測定し、地下水流入区間を把握するボーリング地点において、キレツ中からの地下水流入の有無を評価する手法として重要である

3.5.二次調査結果

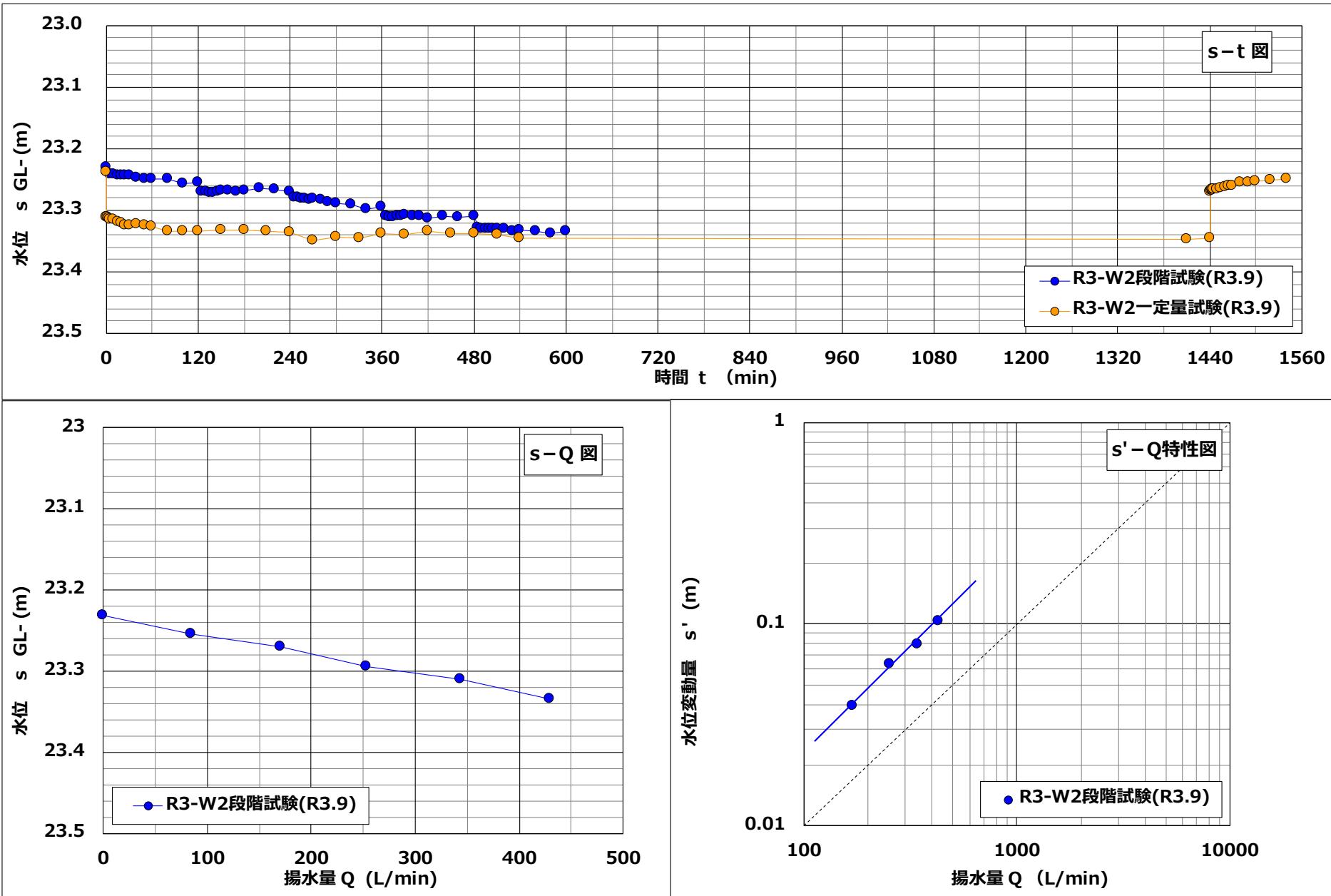
3.5.1二次調査位置図

二次調査位置図

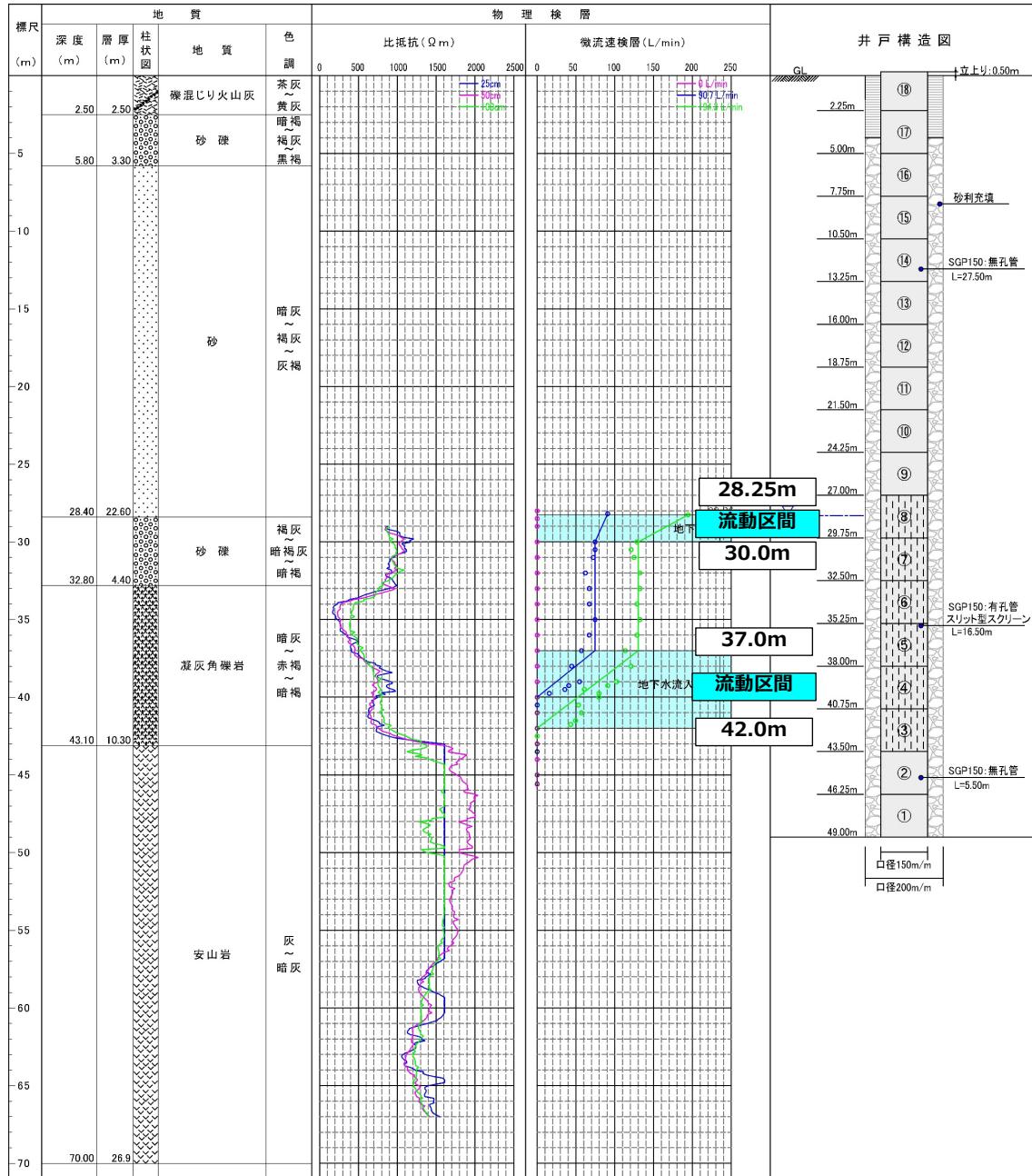
3.5.2.(1)φ150調査孔(R3-W2) 試験結果



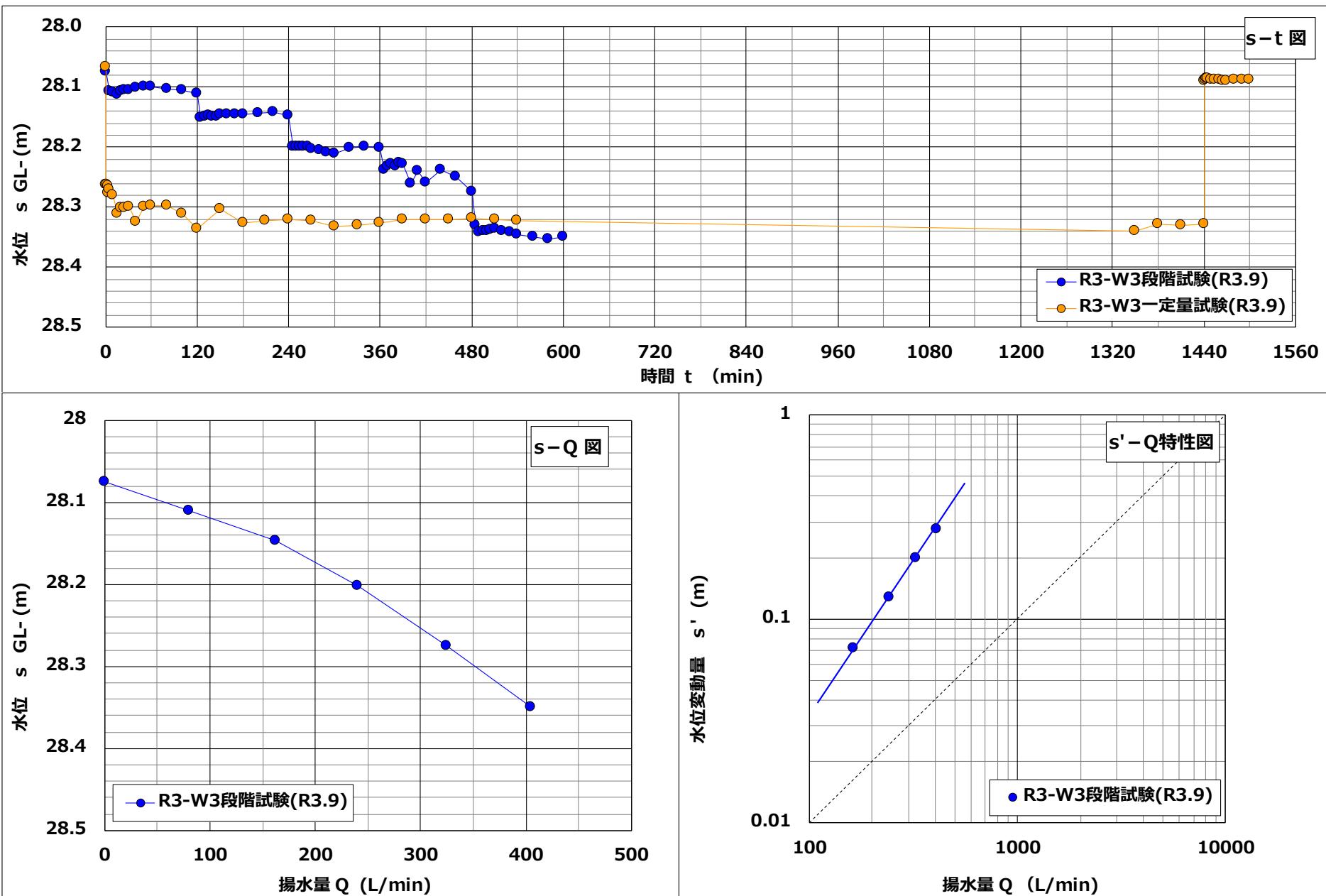
3.5.2.(2)φ150調査孔(R3-W2)試験結果



3.5.3.(1)φ150調査孔(R3-W3)試験結果



3.5.3.(2)φ150調査孔(R3-W3)試験結果



3.5.4.二次調査結果まとめ

地点番号	地下水位	帶水層		揚水試験			水質(mg/L)		地下水開発の評価	
	深度	流動区間	層厚※1	揚水量	水位低下量	比湧出量	鉄※2	マンガン※3		
	m	m	m	L/min	m	L/min/m	mg/L	mg/L		
調査孔	R3-W2	23.23	24.0 ～39.0	15.0	430	0.104	4,025	0.06	0.006	○
	R3-W3	28.07	29.0 ～44.0	15.0	400	0.262	1,519	0.05	0.013	○
既設井戸	1号井戸	39.70	36.9 ～58.4	20.0	1,017	3.208	336	0.04	0.003	-
	1号内挿後	39.30	38.0 ～58.0	20.0	1,242	2.750	452	0.02	0.003	-
	2号井戸	14.52	21.5 ～43.5	20.0	1,152	0.640	1,800	0.02	0.001	-
	3号井戸	28.55	30.0 ～64.0	30.0	708	3.151	225	0.04	0.006	-
	4号井戸	27.54	32.5 ～54.5	20.0	653	5.633	116	0.38	0.652	-
	5号井戸	13.84	21.5 ～43.5	20.0	1,600	3.214	498	0.03	0.502	-

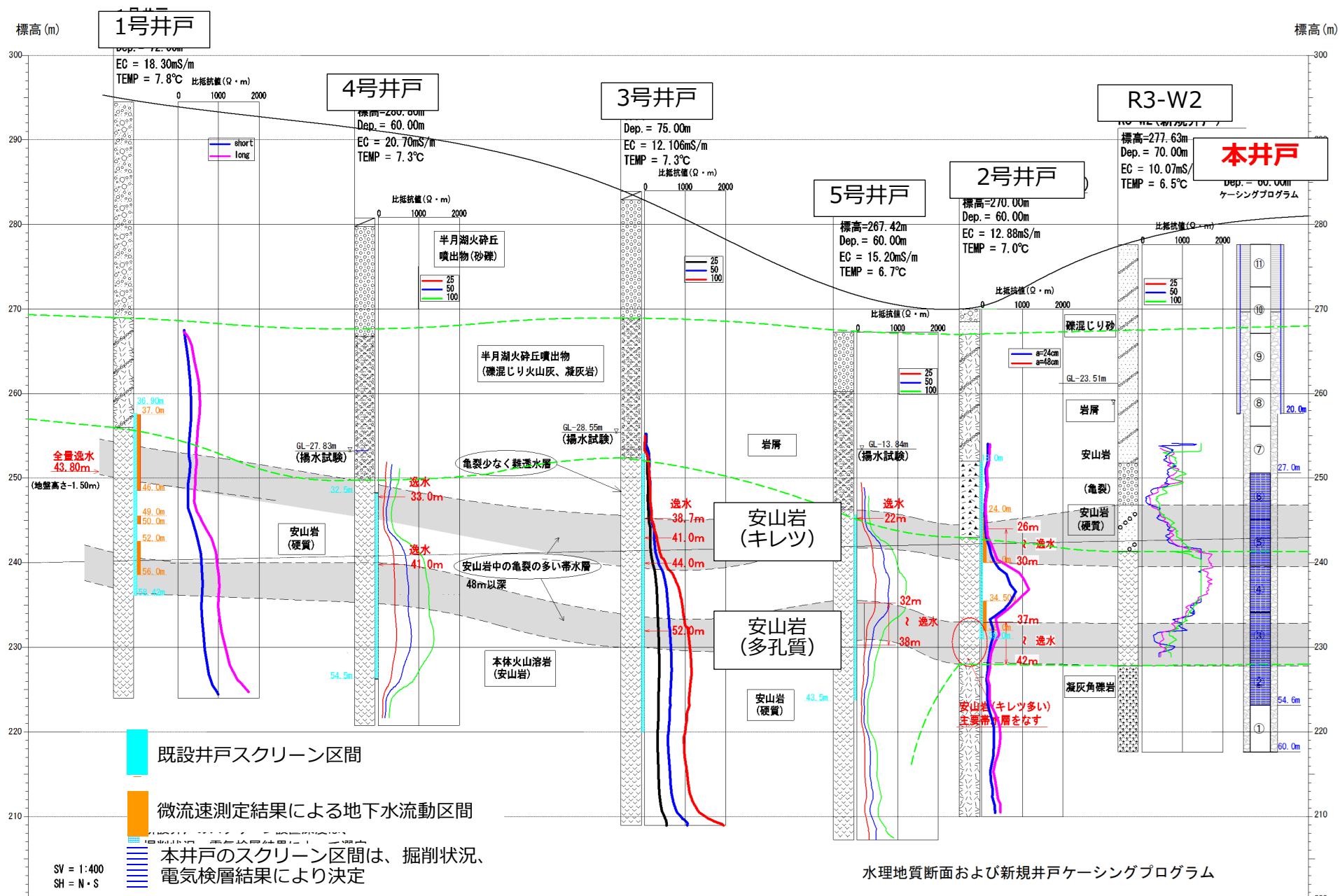
※1 既設井戸についてはスクリーンの有効長を記載
 ※2 鉄：基準値<0.3 mg/L
 ※3 マンガン：基準値<0.05 mg/L

4.本井戸の掘削結果

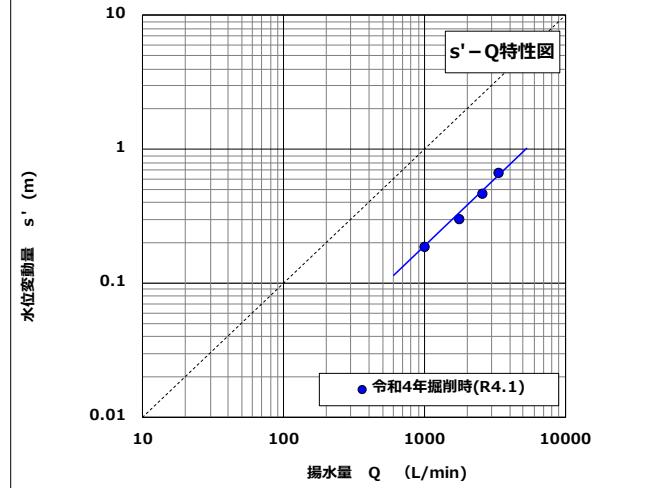
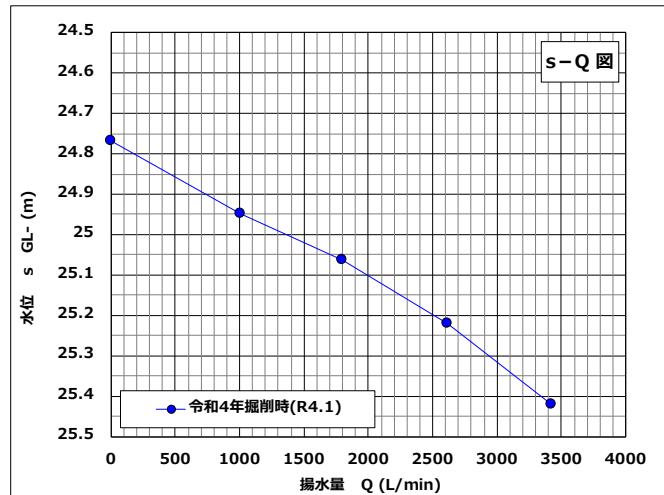
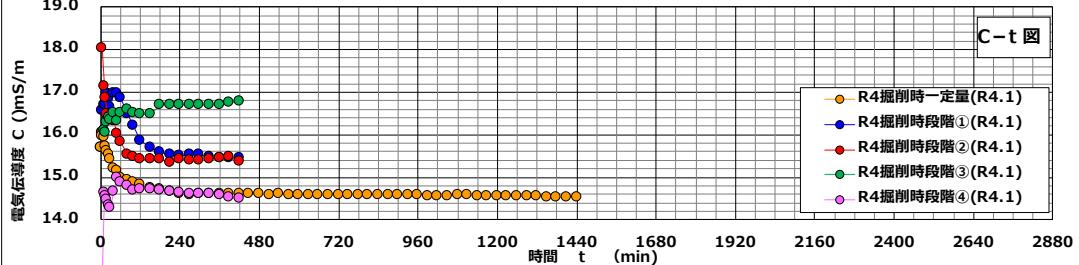
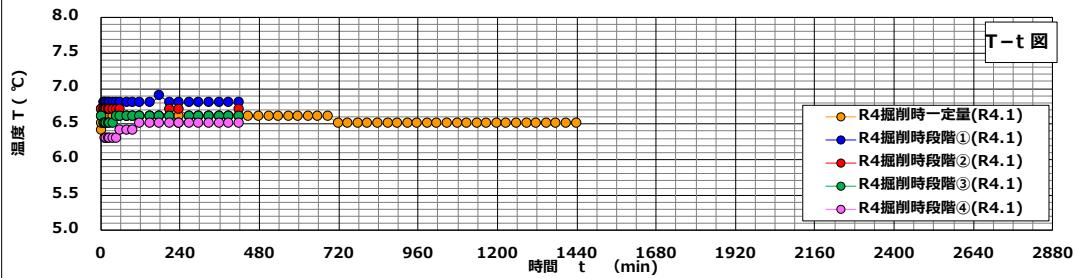
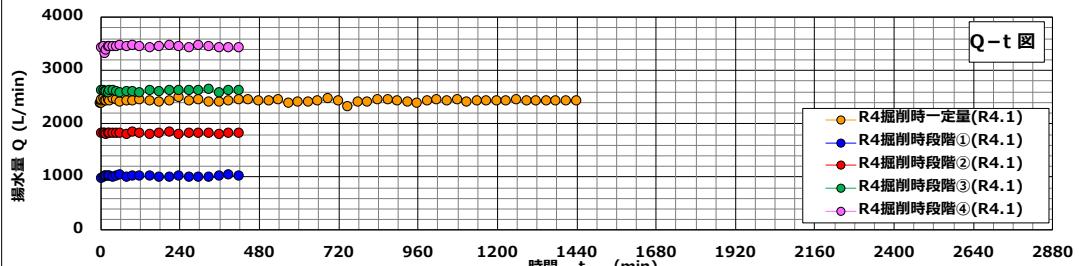
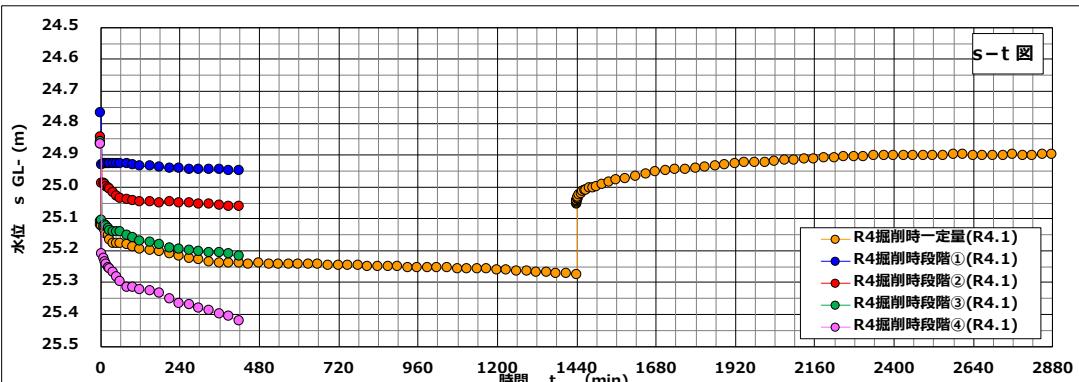
4.1.本井戸掘削位置図

本井戸掘削位置図

4.2.本井戸の構造

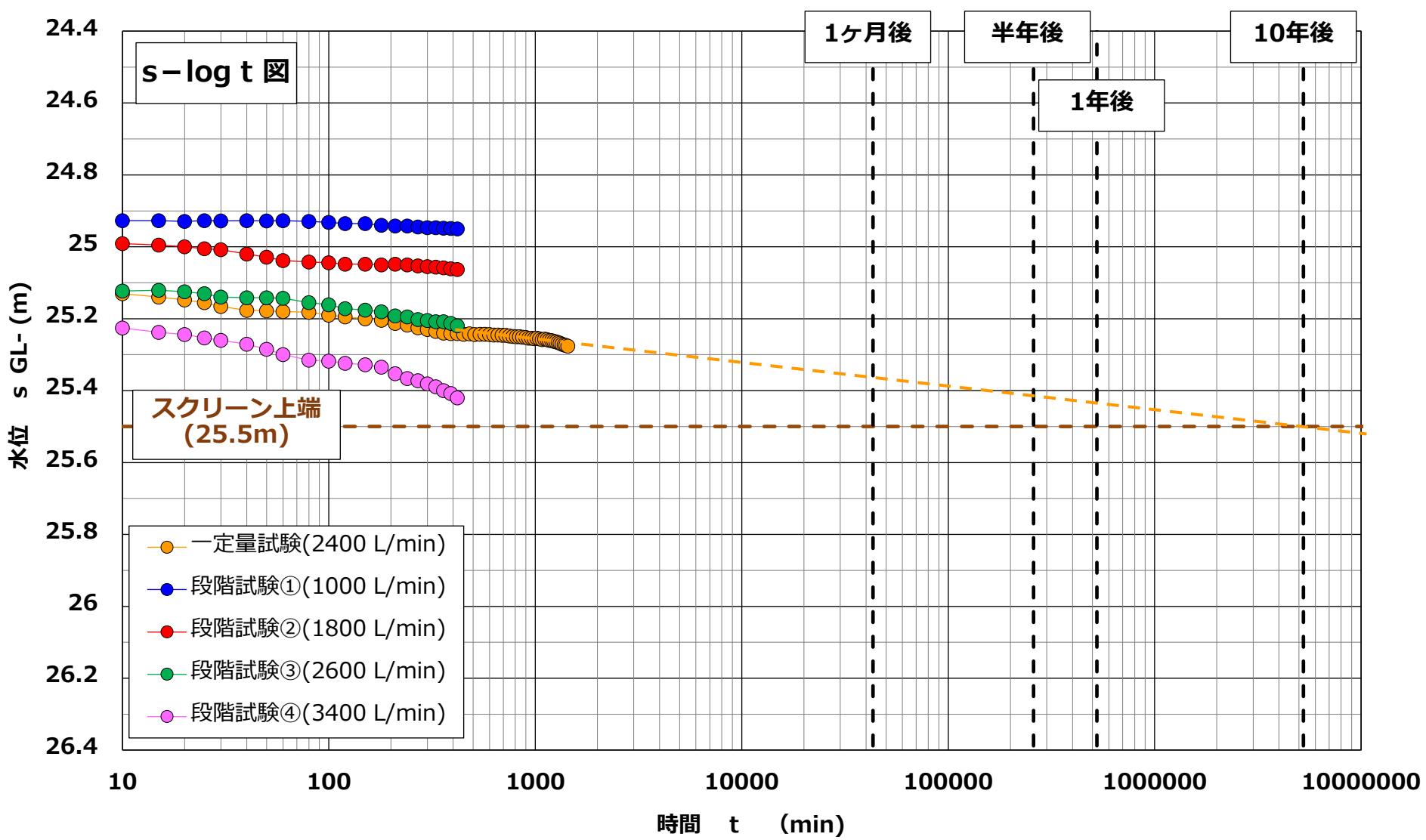


4.3.(1)本井戸揚水試験結果

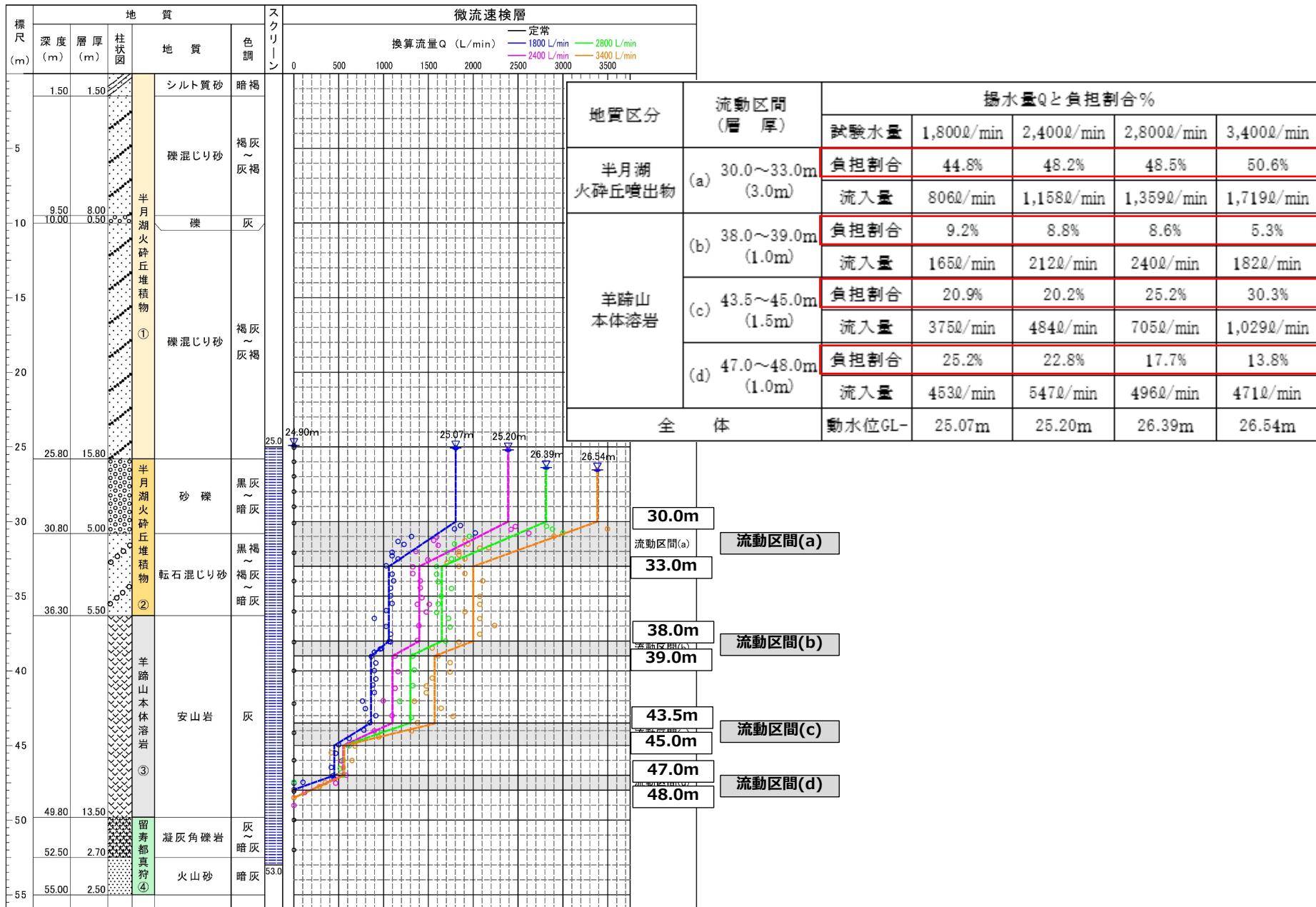


試験名	揚水量 (L/min)	動水位 GL-(m)	水位変動量 (m)	比湧出量 (L/min/m)	温度 (°C)	電気電導度 (mS/m)	時間 (min)
初期水位	0.0	24.769	0.000	-	-	-	-
掘削時 1段階目	1010.2	24.950	0.181	5581.2	6.8	15.46	420
段階試験 2段階目	1802.4	25.063	0.294	6130.6	6.7	15.38	420
R4.1 3段階目	2615.8	25.220	0.451	5800.0	6.6	16.78	420
4段階目	3425.3	25.420	0.651	5261.6	6.5	14.51	420
掘削時 初期水位	0.0	24.865	0.000	-	-	-	-
定量試験 揚水	2415.9	25.276	0.411	5878.1	6.5	14.53	1440
R4.1 回復	0.0	24.900	0.035	-	-	-	1440

4.3.(2)本井戸揚水試験結果



4.4.本井戸微流速測定結果



4.5.本井戸試験結果まとめ

地点番号		地下水位	帶水層		揚水試験			水質(mg/L)	
		深度	流動区間	層厚※1	揚水量	水位低下量	比湧出量	鉄※2	マンガン※3
		m	m	m	L/min	m	L/min/m	mg/L	mg/L
既設井戸	1号井戸	39.70	36.9 ～58.4	20.0	1,017	3.208	336	0.04	0.003
	1号内挿後	39.30	38.0 ～58.0	20.0	1,242	2.750	452	0.02	0.003
	2号井戸	14.52	21.5 ～43.5	20.0	1,152	0.640	1,800	0.02	0.001
	3号井戸	28.55	30.0 ～64.0	30.0	708	3.151	225	0.04	0.006
	4号井戸	27.54	32.5 ～54.5	20.0	653	5.633	116	0.38	0.652
	5号井戸	13.84	21.5 ～43.5	20.0	1,600	3.214	498	0.03	0.502
本井戸 (6号井戸)		24.769	30.0～33.0 38.0～39.0 43.5～45.0 47.0～48.0	3.0 1.0 1.5 1.0	2,416	0.411	5,878	0.02	0.008

- 適正揚水量2,400 L/min (3,450m³/日)を得られた。
- 微流速検層の結果、本井戸への地下水流入割合は、半月湖火碎丘噴出物、羊蹄山本体溶岩それぞれ約50%であった。
- 水質も原水40項目の基準値を満たし、良好であった。

※1 既設井戸についてはスクリーンの有効長を記載

※2 鉄：基準値<0.3 mg/L

※3 マンガン：基準値<0.05 mg/L

5.まとめ

- 有望な帯水層を見つけるのが難しいレッカ型帯水層においても、既存資料による候補地の選定、候補地での電気探査、調査ボーリング、揚水試験井の設置という段階を踏んだ調査が必要であると考えられる。
- 調査では、調査孔設置の段階で注水試験による帯水層の能力の把握、及び微流速測定による取水層の把握が非常に有効である。
- 本井戸の設置後の微流速測定によって、目標としていた溶岩中のレッカ型帯水層からの取水を確認した。

ご清聴ありがとうございました