

『建設予定地周辺の地下水調査結果』について

令和3年1月
高知県

(1) 建設予定地周辺での地下水調査の実施状況

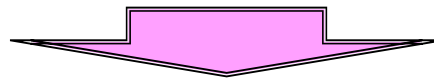
○ 昨年5月頃までに設置したボーリング孔等を利用して、**建設予定地周辺の地下水の流向を把握**するため、以下の調査を実施。

○ 実施した調査

- ① トレーサを利用した**地下水追跡調査**
- ② ヘキサダイアグラムを利用した**地下水・湧水の水質分析調査**
- ③ ボーリング孔内での**地下水（食塩）検層**（地下水の比抵抗値の時間変化を把握することによる流動層の確認）
- ④ 地下水観測孔での**地下水（温度）検層**（水深ごとの地下水温を把握することによる流動層の確認）
- ⑤ ボーリング孔を利用した**泥質岩、石灰岩の透水係数を確認するための試験**
- ⑥ 地下水観測孔内での**地下水流向・流速観測**
- ⑦ 地下水位観測結果を踏まえた**地下水位等高線の作成**



○ 地下水の流向を踏まえて、施設の基本設計において、**施設完成後の地下水モニタリング位置の検討を行う。**



(2) 調査結果

① トレーサを利用した地下水追跡調査

(実施期間：令和2年3月～8月)

- 建設予定地周辺の地下水がどの地点に湧水として湧出するか把握するため、ボーリング後に設置した地下水観測孔にトレーサーを投入して、所定の観測地点（現地調査によって確認した湧水地点）でトレーサーの到達を確認した。なお、使用したトレーサーには、生分解性のある材料を使用した。
- 調査開始当初は、どの地点からもトレーサーが検出されなかったため、観測時間やトレーサーの投入回数の見直しを行った結果、トレーサーの湧出が確認された。
- 建設予定地の中央部に位置するボーリング地点No.5にトレーサーを投入した結果、建設予定地から北側、東側の湧水地点（観測地点No.1～7）でトレーサーの湧出が確認された。（3ページ参照）
- 一方、北西側、西側の湧水地点（観測地点No.8、9）では、トレーサーの湧出は確認されなかった。
- また、同様に南西側のボーリング地点No.3にトレーサーを投入した結果、観測地点No.1～7で、唯一湧水が確認できた建設予定地から北側の湧水地点（観測地点No.1）でトレーサーの湧出が確認されたが、北西側、西側の湧水地点（観測地点No.8、9）では、トレーサーの湧出は確認されなかった。



トレーサー投入状況



調査地点での採水の状況

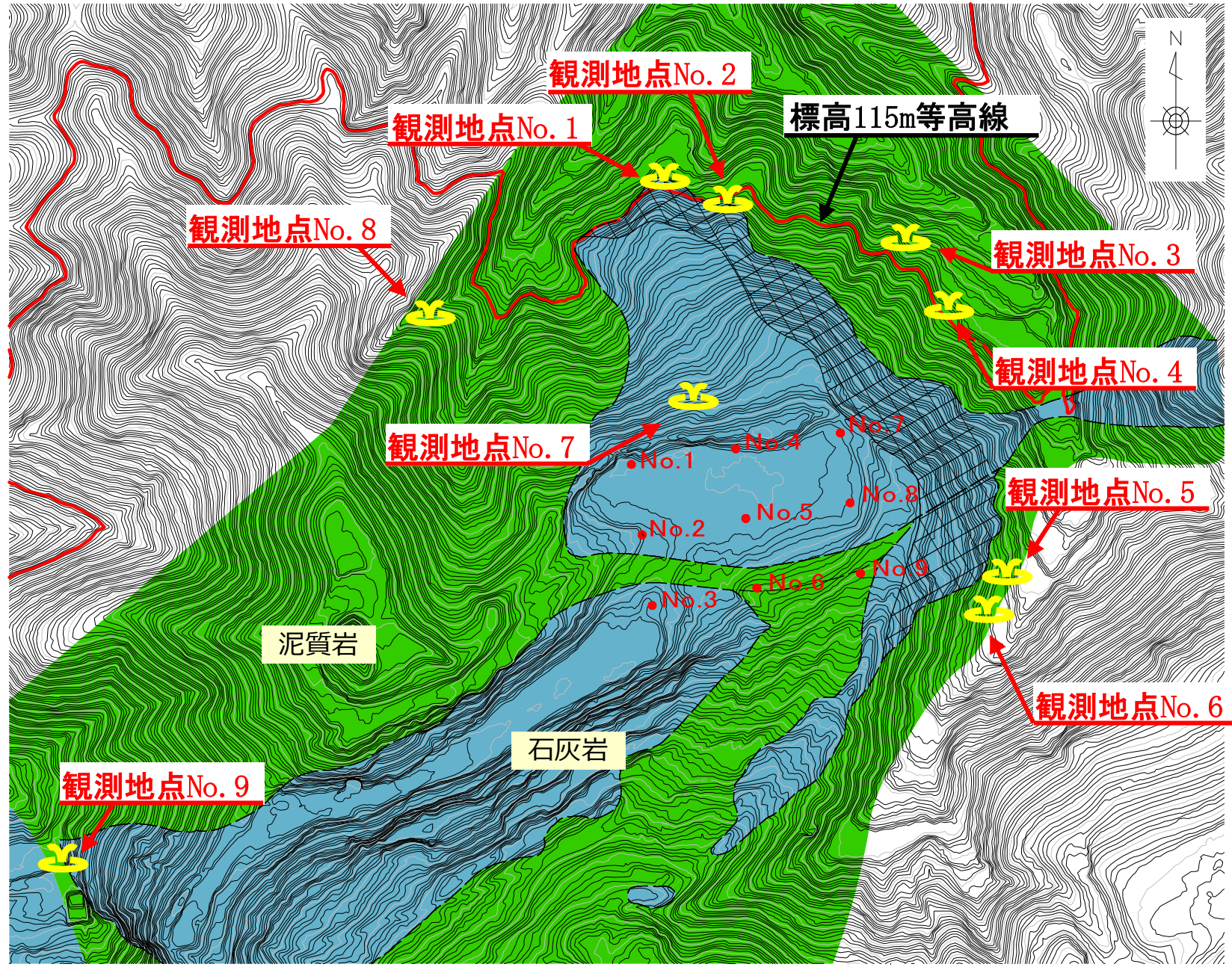
考察

- 建設予定地からの地下水は石灰岩と泥岩の境界を通過して北側、東側の湧水地点に湧出すると考えられる。
- なお、トレーサー投入から湧出が確認されるまでの時間と、北側の湧水地点と投入地点からの距離から、流速は $2.58 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ と推測できる。



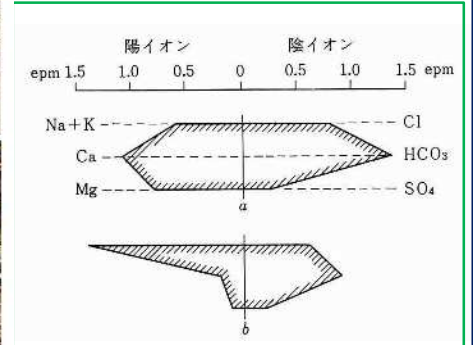
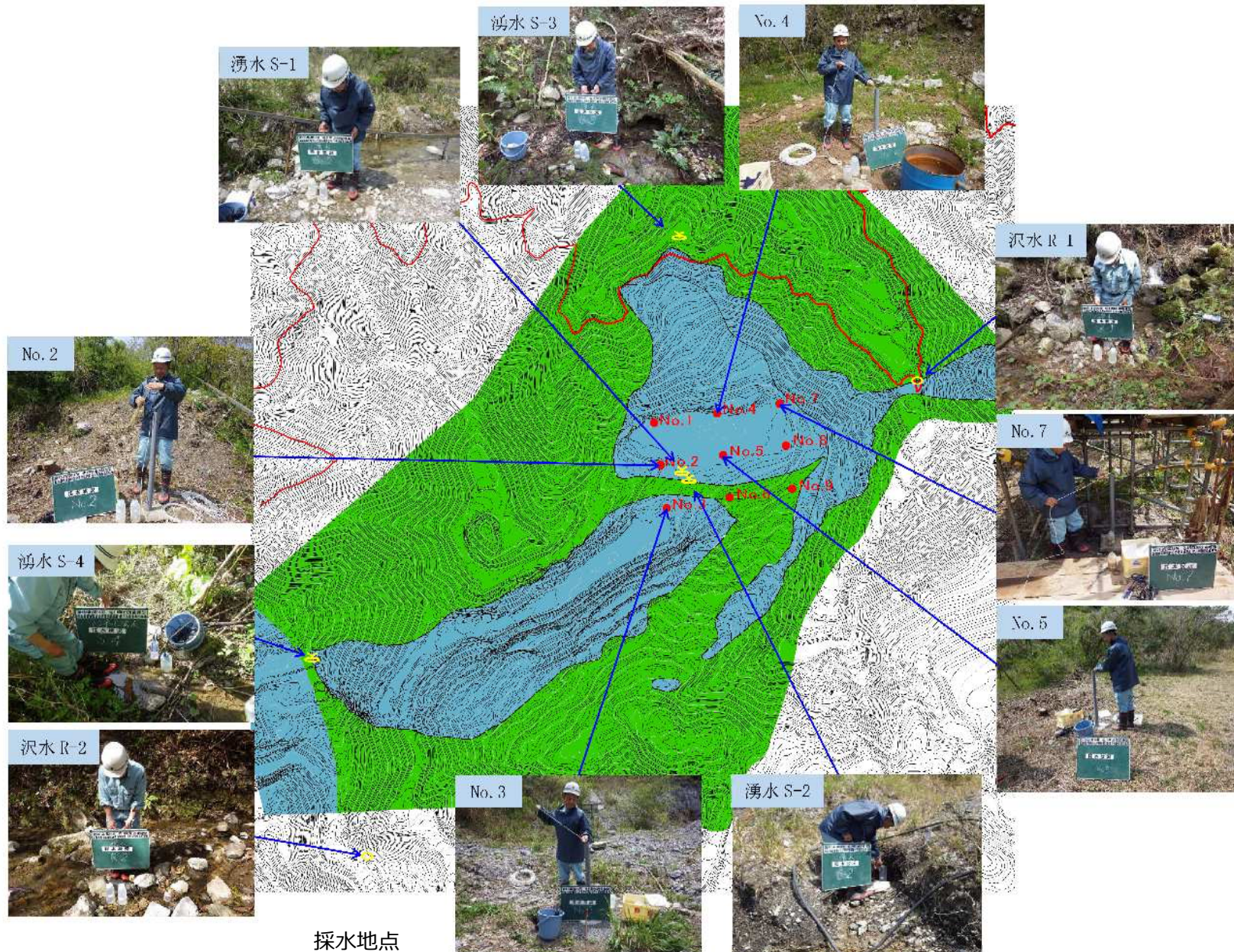
専用ライトによるトレーサー含有の確認

地下水追跡調査結果平面図



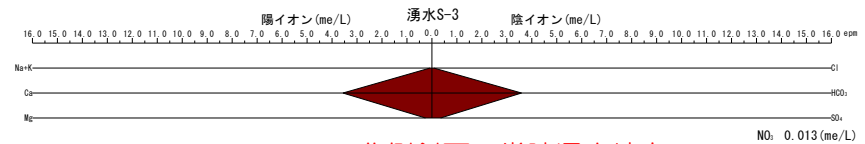
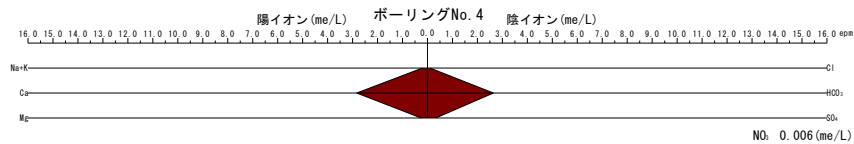
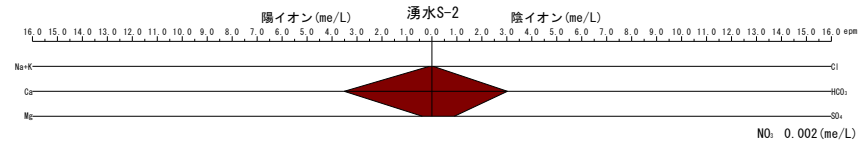
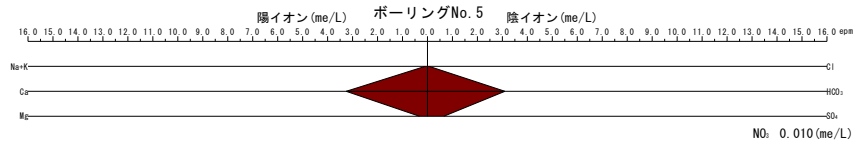
② ヘキサダイアグラムを利用した地下水・湧水の水質分析調査 (実施期間：令和2年4月、11月)

○ 建設予定地周辺の地下水及び湧水を採水し(令和2年4月、11月)、イオン(Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻)分析を行い、その結果からヘキサダイアグラムを作成し、水質の傾向を比較した。

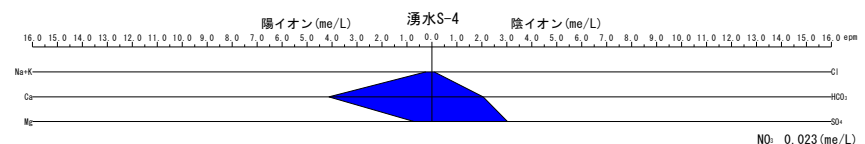
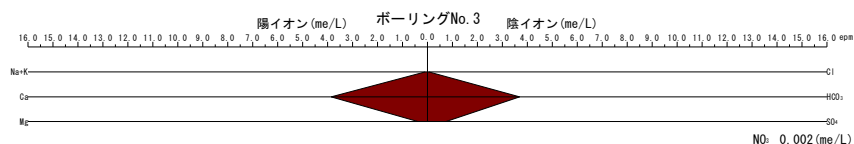
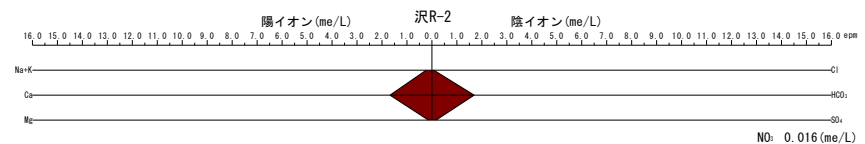
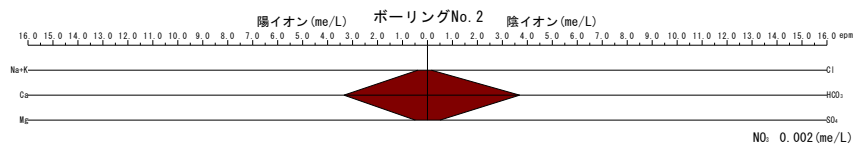
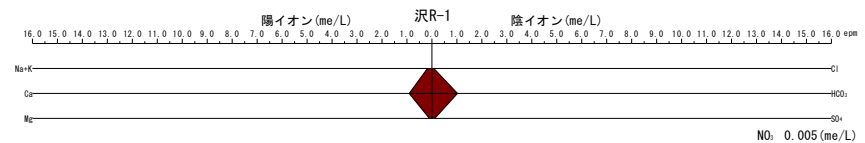
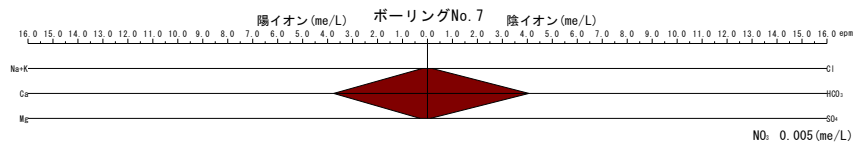


ヘキサダイアグラム (例)
 出典：新版 地下水調査法 (山本荘毅著 古今書院)

○ ヘキサダイアグラムを比較した結果、2回ともボーリングNo.2、3、4、5、7と湧水S-1、2、3の形は同様の形状（ Ca^{2+} 、 HCO_3^- が大きく卓越する傾向）を示した。

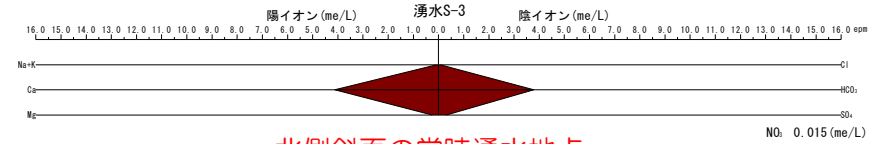
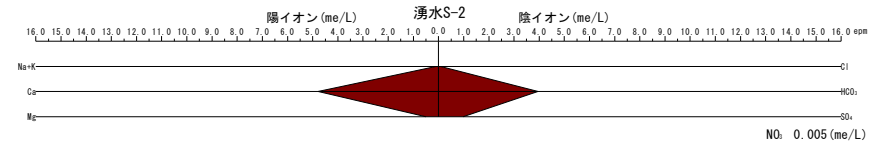
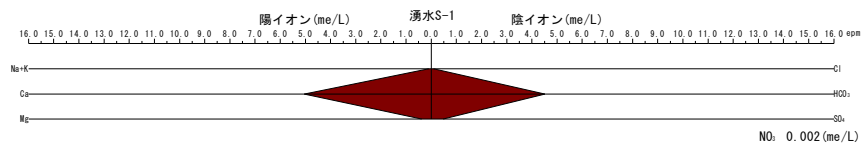
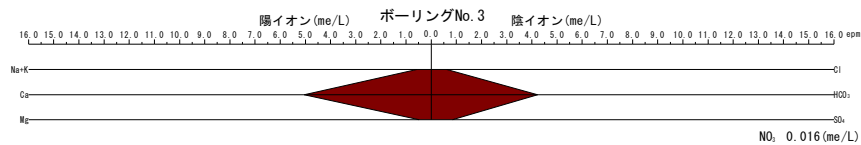
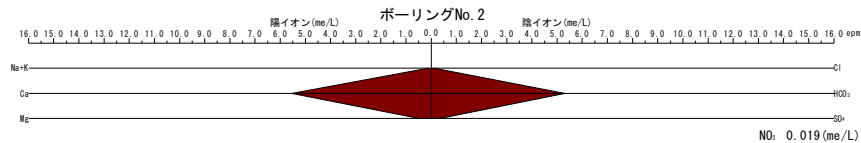
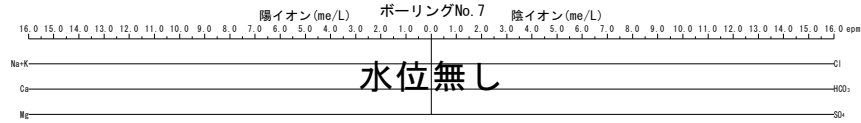
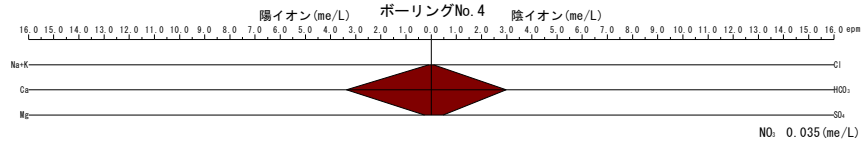
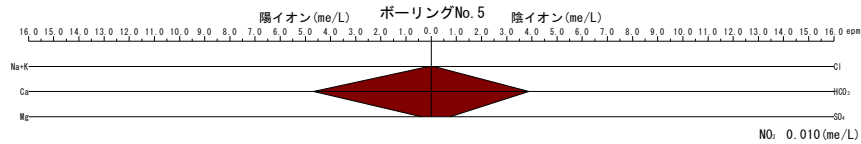


北側斜面の常時湧水地点

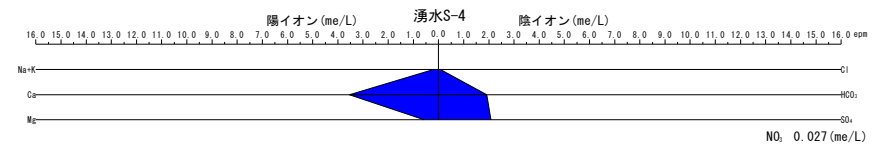
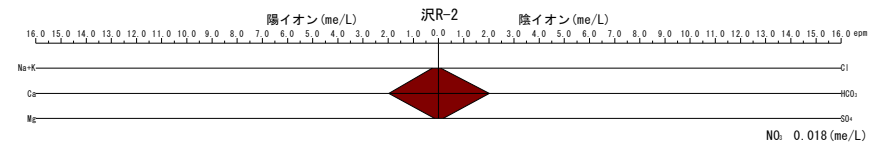
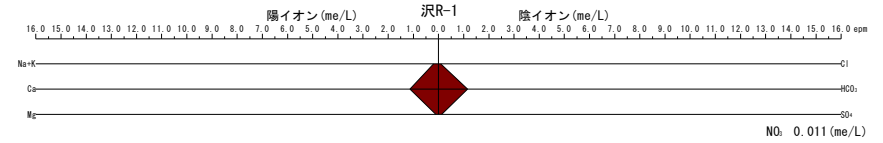


凡例

I 型	II 型	III 型	IV 型



北側斜面の常時湧水地点



令和2年11月5日採水

凡例

I型	II型	III型	IV型

考察

○ この結果と①地下水追跡調査結果から、建設予定地付近の地下水が湧水S-3（常時湧水地点）方向に流出しているものと考えられる。

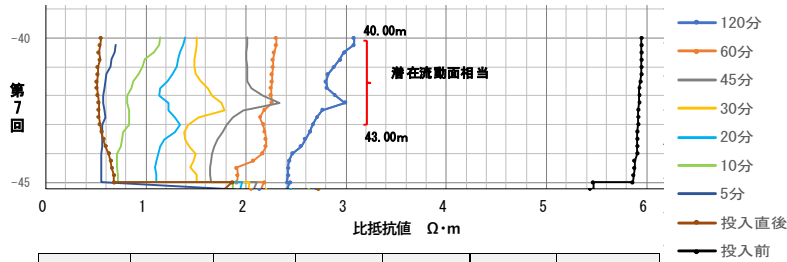
③ ボーリング孔内での地下水（食塩）検層

（実施期間：令和2年2月～5月）

○ 食塩検層は、ボーリング孔内に食塩を投入した後、孔内の各深度の地下水の比抵抗値を測定し、時間経過による比抵抗値（濃度）の変化から地下水流動位置を検出した。

○ 今回の調査にあたっては、右表に基づき、地下水流動層を抽出した。

※ 今回の観測孔は、亀裂等が多く存在する。その亀裂から少量の湧水が時間経過とともに流入して、孔内の塩分濃度の希釈が進むと考えられ、120分後の値では流入の多い層の特定が困難になると考えられる。このため、地下水の流入位置の判定は、30分以内の値をもとに判断した。



深度	直後	5分	10分	20分	30分	30分と直後の差
40.00	0.55	0.70	1.14	1.39	1.51	0.96
41.00	0.52	0.61	0.97	1.31	1.49	0.97
42.00	0.52	0.58	0.81	1.13	1.66	1.14
43.00	0.54	0.57	0.83	1.34	1.42	0.98

Bor. No. 4 での事例

種別	比抵抗値増大 (Ω・cm)				増大値の累積傾向	流動面存在の地質的可能性
	30分以内	60分	120分	240分		
確定流動面	10 ³ 以上	還元(真水)	—	—	顕著	有
準確定流動面	2×10 ² 以上	5×10 ² 以上	10 ³ 以上	—	やや顕著	有
潜在流動面	10 ² 以上	2×10 ² 以上	3×10 ²	5×10 ²	ややあり	有

（比抵抗値増大の程度によって流動面あるいは流動層を確定・準確定・潜在の3種に大別する。それぞれの流量は、経験知から200ℓ/min以上、100ℓ/min以上、透水係数は、10⁻²～10⁰cm/sec、10⁻⁴～10⁻²cm/sec以上と推定される。）

出典：地すべり調査と解析（藤原明敏著 理工図書）

○ 調査の結果、調査した8箇所のうち、4箇所のボーリング孔において、地下水の流動層が確認された。

○ 地下水流動箇所のボーリングコアを確認した結果、亀裂等が確認されており、石灰岩や砂岩・泥質岩が混在している箇所で亀裂等を地下水が流動していることが確認できた。

孔番	地下水検層測定深度	測定回数	流動面別深度	
			準確定流動面相当	潜在流動面相当
Bor. No. 1	GL-9.25m～50.00m	5.0m毎×8回	—	GL-35.00～36.00m
Bor. No. 2	GL-5.00m～52.00m	5.0m毎×8回	—	—
Bor. No. 3	逸水により全区間欠測			
Bor. No. 4	GL-5.00m～50.00m	5.0m毎×7回（欠測2回）	—	GL-40.00～43.00m
Bor. No. 5	GL-5.00m～50.00m	5.0m毎×7回（欠測1回）	—	ⒶGL-20.00～21.00m
				ⒷGL-25.50～28.00m
				ⒸGL-32.50～32.75m
Bor. No. 6	GL-5.00m～59.00m	5.0m毎×5回（欠測5回）	—	—
Bor. No. 7	GL-5.00m～51.00m	5.0m毎×8回（欠測1回）	—	—
Bor. No. 8	GL-5.00m～52.00m	5.0m毎×5回（欠測3回）	—	—
Bor. No. 9	GL-10.00m～64.00m	5.0m毎×9回（欠測2回）	GL-42.50～43.00m	GL-46.25～46.75m



Bor.No.4 40.00～45.00m



Bor.No.5 25.00～30.00m

考察

○ 地下水流動層確認のために使用した表で示されている『比抵抗値の変化』と透水係数の関係から、『潜在流動面』の透水係数は下表の値となる。

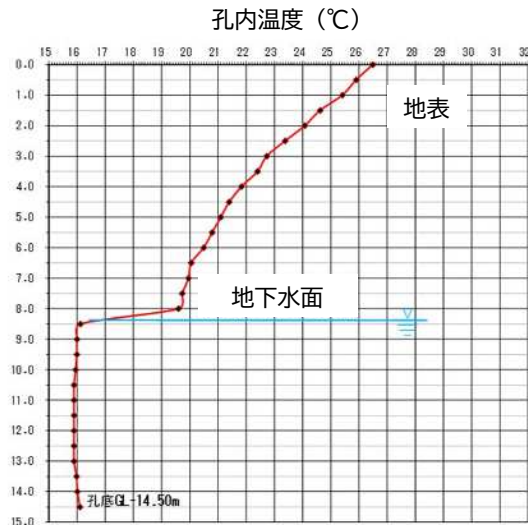
種別	30分比抵抗値の変化	確定流動面を1とした場合の30分比抵抗値変化の割合	透水係数(cm/sec)
確定流動面	10 ³ 以上	1	10 ⁻² ~10 ⁰
準確定流動面	2×10 ² 以上	0.2	10 ⁻⁴ ~10 ⁻²
潜在流動面	10 ² 以上	0.1	5×10 ⁻⁵ ~5×10 ⁻³

○ 上表から、本調査で確認された潜在流動面、準確定流動面の透水係数を比抵抗値の変化量から換算すると、5.05×10⁻⁴~1.60×10⁻³cm/sec（平均7.95×10⁻⁴cm/sec）と推察される。

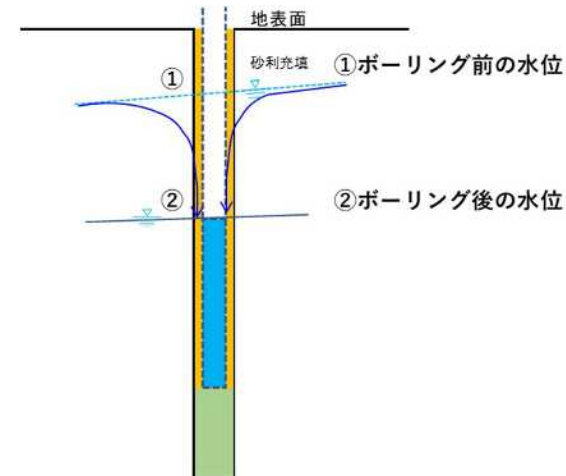
④ 地下水観測孔での地下水（温度）検層

（実施期間：令和2年7月）

- ボーリング孔を利用して設置した井戸の深度ごとの孔内温度を測定し、地下水位の低下の有無、あわせて地下水の流動層を確認した。
- 深度別の温度により作成する温度曲線は、地下水の影響を受けない場合、以下の傾向を示すと考えられる。
 - ・ 地下水位より上の区間では、地表の温度が高いため地表に向けて温度が上昇する。
 - ・ 地下水位より下の区間では、温度変化が少なく、ほぼ鉛直に近い形状となる。
- 地下水温は16～18℃であるため、夏季には地下水温によって孔内の温度が低下する。ボーリング掘削の影響※を受ける前の本来の地下水位や地下水の流入がある場合、その深度で温度変化が大きくなる。
- このため、温度曲線が上層、下層と比べ大きく変化する深度が、地下水の流動箇所、ボーリング掘削の影響※を受ける前の地下水位と考えられる。 ※帯水層下層の透水層までボーリング掘削することにより地下水位の低下



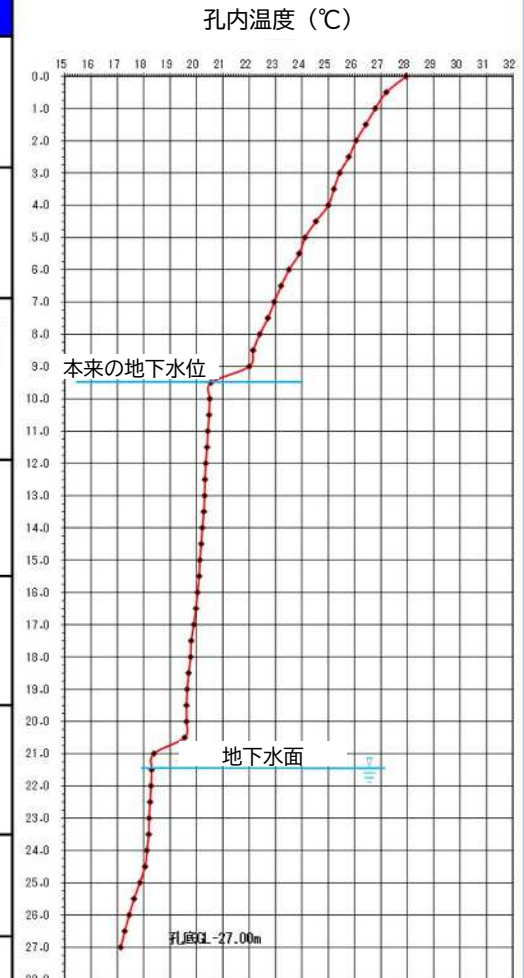
ボーリングNo.1 温度曲線



ボーリング掘削による地下水位低下イメージ

- 9箇所の温度検層の結果、**Bor.No.3**については、**GL-9.50m付近に、直前と直下の層と異なる温度低下（上昇）の傾向の急激な違いが認められた。**
- また、**地下水面以深では、GL-24.5mを境に温度変化がみられた。**
- **No.3以外の地点については、温度曲線の傾向に深度による大きな違いは確認されなかった。**

ボーリング 孔番	ボーリング 深度(m)	観測井戸		水位周辺の地質と水位及び温度との見解
		水位 (GL-m)	孔底 (GL-m)	
No.1	50.0	8.40	14.50	<ul style="list-style-type: none"> ○ 測定地下水位は正常な位置にあると考えられる。 ○ 地下水位より上層では、温度曲線の傾向に深度による大きな違いはなく、大きな地下水流入層はないと推察される。 ○ 地下水面以深では、ほぼ一定の水温を維持しており大きな流入層はないものと推察される。
No.2	52.0	10.00	35.50	<ul style="list-style-type: none"> ○ 測定地下水位は正常な位置にあると考えられる。 ○ 地下水位より上層では、温度曲線の傾向に深度による大きな違いはなく、大きな地下水流入層はないと推察される。 ○ 地下水面以深では、ほぼ一定の水温を維持しており大きな流入層はないものと推察される。
No.3	50.0	21.48	27.00	<ul style="list-style-type: none"> ○ GL-9.50m付近に、直前と直下の層と異なる温度低下(上昇)の傾向の急激な違いが認められる。 ○ 観測水位はボーリングの掘削により低下した地下水位であり、GL-9.5m付近が本来の地下水位と推察される。 ○ 地下水面以深では、GL-24.5mを境に温度変化がみられるので、地下水流入層の可能性があるかと推察される。
No.4	50.0	8.40	10.08	<ul style="list-style-type: none"> ○ 測定地下水位は正常な位置にあると考えられる。地下水位より上層では、温度曲線の傾向に深度による大きな違いはなく、大きな地下水流入層はないと推察される。 ○ 地下水面以深では、ほぼ一定の水温を維持しており大きな流入層はないものと推察される。
No.5	50.0	2.10	22.00	<ul style="list-style-type: none"> ○ 測定地下水位は正常な位置にあると考えられる。地下水位より上層では、温度曲線の傾向に深度による大きな違いはなく、大きな地下水流入層はないと推察される。 ○ 地下水面以深では、地表面の温度の影響を受けている深度以外は、ほぼ一定の水温を維持しており大きな流入層はないものと推察される。
No.6	59.0	5.70	12.50	<ul style="list-style-type: none"> ○ 測定地下水位は正常な位置にあると考えられる。 ○ 地下水位より上層では、温度曲線の傾向に深度による大きな違いはなく、大きな地下水流入層はないと推察される。 ○ 地下水面以深でも大きな温度変化がみられず、流入層はないと推察される。
No.7	51.0	20.20	20.60	<ul style="list-style-type: none"> ○ 測定地下水位は正常な位置にあると考えられる。 ○ 地下水位より上層では、温度曲線の傾向に深度による大きな違いはなく、大きな地下水流入層はないと推察される。
No.8	52.0	18.00	18.40	<ul style="list-style-type: none"> ○ 測定地下水位は正常な位置にあると考えられる。 ○ 地下水位より上層では、温度曲線の傾向に深度による大きな違いはなく、大きな地下水流入層はないと推察される。
No.9	64.0	16.00	19.50	<ul style="list-style-type: none"> ○ 測定地下水位は正常な位置にあると考えられる。 ○ 地下水位より上層では、温度曲線の傾向に深度による大きな違いはなく、大きな地下水流入層はないと推察される。 ○ 地下水面以深では、ほぼ一定の水温を維持しており流入層はないものと推察される。

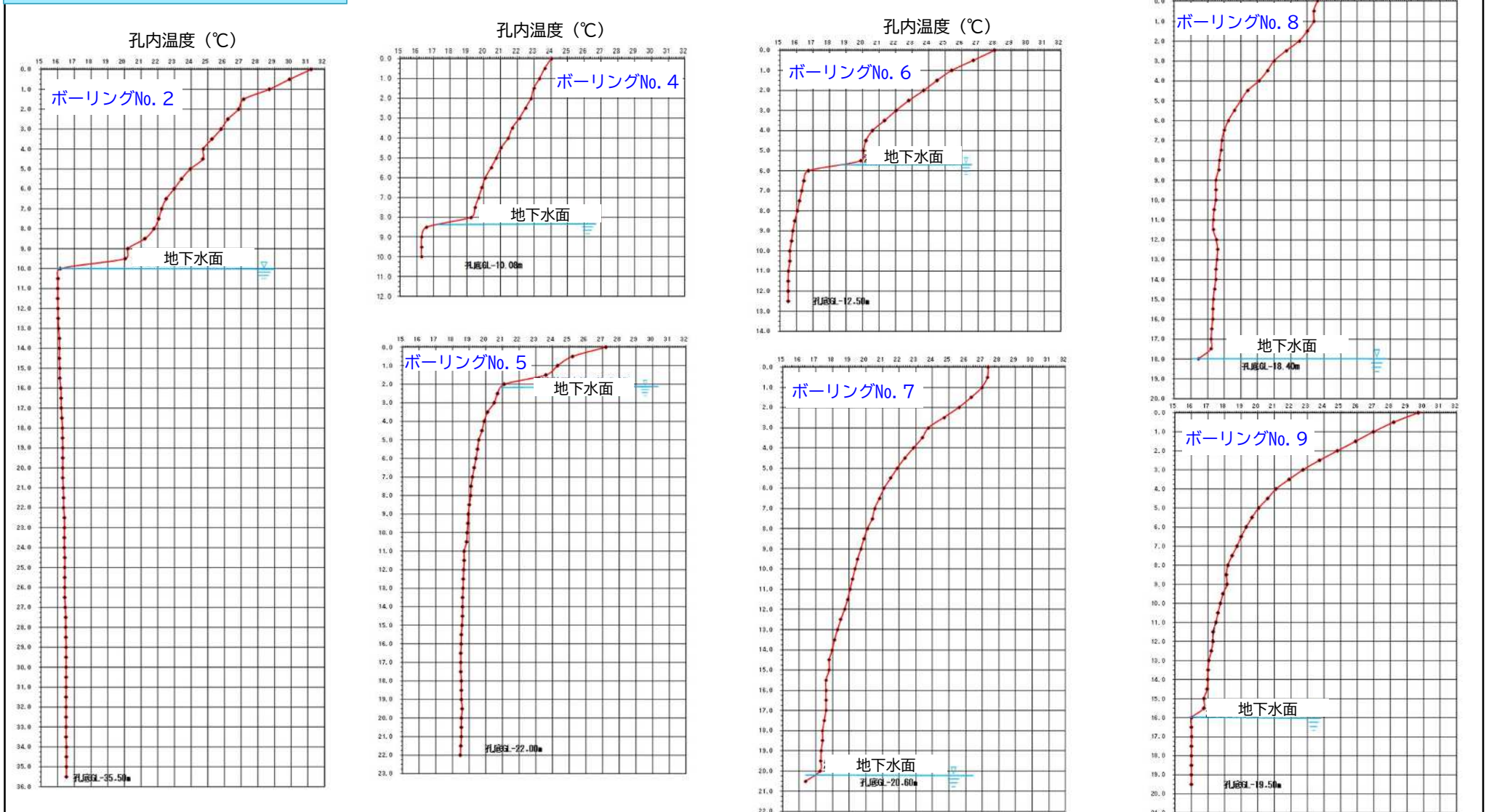


ボーリングNo. 3 温度曲線

考察

- Bor.No.3について、地下水調査で確認された水位はボーリングの掘削により低下した地下水位であり、GL-9.5m付近が本来の地下水位と考えられる。
- 同じく、Bor.No.3の地下水面以深では、GL-24.5mを境に温度変化があり、地下水流入層の可能性があると考えられる。
- Bor.No.3以外の地点については、大きな地下水流入層はないと推察される。

No 1、3以外の温度曲線



⑤ ボーリング孔を利用した泥質岩、石灰岩の透水係数を確認するための試験

(実施期間：令和2年6月、8月)

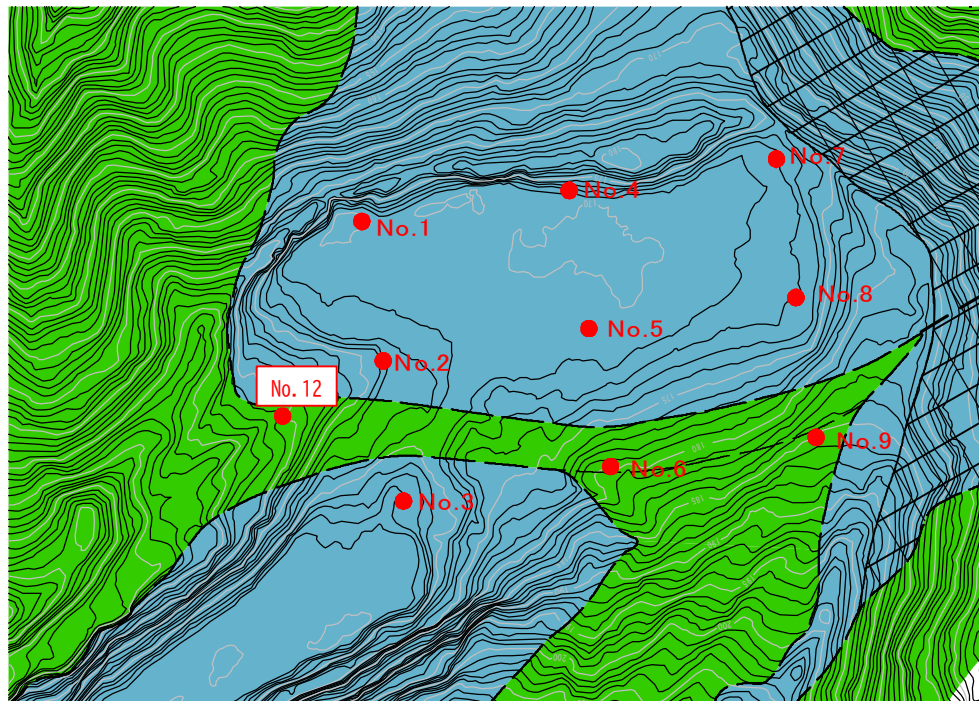
○ ボーリング孔を利用して、石灰岩内に一部泥質岩・砂岩を含む混在岩（以下「石灰岩等」という）が分布する区域であるボーリングNo.1～9の岩盤等の透水係数を確認するため、現場透水試験を実施した。

※ No.5を除く、8地点は『揚水法』（地下水を汲み上げ、水位が上昇し、通常の水位に戻る時間から透水係数を算出する手法）が困難であったため、『注水法』（水を注ぎ、水位が低下し、通常の水位に戻る時間から透水係数を算出する手法）を採用。No.5は、『注水法』及び『揚水法』を実施。

○ また、石灰岩等を取り囲んでいる泥質岩が分布する区域であるボーリングNo.12の孔を利用し、亀裂の少ない泥質岩の透水係数を確認するための試験（ルジオン試験）を実施した。

○ No.1～9では、透水係数は $1 \sim 10^{-2}$ (cm/sec) と概ね砂及び礫に相当するような高い透水係数が確認された。ボーリングコアには様々な亀裂が発達しており、全般的に高い透水性を有していると考えられる。

○ 一方、No.12の亀裂の少ない泥質岩では、透水係数は 0.90×10^{-8} (cm/sec) であり、不透水層（非帯水層）と考えられる。



No.12位置図

No.1～9 透水係数（注水法）

測点	測定区間(m) ※地表から地下水面まで	透水係数 (cm/sec)
No.1	8.4	5.35×10^{-2}
No.2	10.0	8.72×10^{-1}
No.3	21.48	6.10×10^{-1}
No.4	8.40	8.31×10^{-2}
No.5	2.10	2.68
No.6	5.70	5.23×10^{-1}
No.7	20.20	3.39×10^{-1}
No.8	18.00	7.58×10^{-2}
No.9	16.00	1.12×10^{-1}
平均		5.94×10^{-1}

No.5 透水係数（揚水法）

測点	測定区間(m)	透水係数 (cm/sec)
No.5	GL-3.57～-10.7	2.68×10^{-3}

No.12 透水係数

測点	測定区間(m)	透水係数 (cm/sec)
No.12	GL-20.0～-25.0	0.90×10^{-8}

透水係数と帯水層の関係

透水係数(K) cm/秒			
1.0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}
礫	砂または砂礫	細砂・シルト, シルトと砂の混合物	不透水土, 例えば風化帯
帯水層		難帯水層	(非帯水層)



No.12 ボーリングコア（20～25m）

⑥ 地下水観測孔内での地下水流向・流速観測

- ボーリング孔を利用して設置した地下水観測孔において、流向・流速計を挿入して0.5m毎に流向・流速測定を実施した。
- 流向・流速計では、追跡調査の結果と異なり様々な流向が得られた。

Bor.No. 1

深度(m)	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	
流速(cm/min)	0.000	0.040	0.006	0.006	0.007	0.005	0.005	0.007	0.006	0.003
流向(N+)	南南東	西南西	北北東	西南西	西南西	西北西	西南西	西北西	西北西	西南西
流速(cm/min)	0.019	0.020	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	-
流向(N+)	南南西	東北東	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	-

Bor.No. 4

深度(m)	9.5	10.0	
流速(cm/min)	0.003	0.002	0.006
流向(N+)	東南東	西南西	西南西
流速(cm/min)	0.001	0.002	-
流向(N+)	西南西	北北西	-

Bor.No. 2

深度(m)	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5
流速(cm/min)	0.003	0.005	0.003	0.002	0.006	0.009	0.009	0.012	0.002	0.004	0.012	0.008	0.004	0.005	0.005	0.006	0.010	0.005	0.003	0.003	0.005	0.008
流向(N+)	北北西	西南西	南南東	南南東	西北西	西北西	西北西	西北西	南南西	西南西	西北西	西北西	北北西	西南西	西北西	西南西	南南西	南南東	南南東	南南西	南南西	南南西
流速(cm/min)	0.008	0.003	0.009	0.011	0.015	0.016	0.014	0.001	0.005	0.011	0.005	0.003	0.003	0.004	0.007	0.010	0.008	0.004	0.003	0.004	0.007	0.005
流向(N+)	南南西	南南西	東南東	西北西	西北西	西南西	西北西	東南東	東南東	北北西	西北西	北北東	西南西	西南西	西南西	南南西	南南東	西南西	南南西	西南西	南南西	西南西

Bor.No. 5

深度(m)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0
流速(cm/min)	0.023	0.014	0.023	0.017	0.022	0.020	0.019	0.013	0.010	0.004	0.014	0.007	0.011	0.009	0.012	0.017	0.017	0.012	0.074
流向(N+)	南南西	南南西	南南西	西南西	西南西	西南西	南南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西
流速(cm/min)	0.044	0.011	0.025	0.022	0.023	0.021	0.028	0.022	0.010	0.005	0.005	0.023	0.007	0.016	0.013	0.020	0.022	0.020	0.011
流向(N+)	南南西	西南西	南南西	西南西	西南西	南南西	西南西	南南西	西南西	南南西	南南西	南南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西	南南西
深度(m)	11.5	12.0	12.5	13.0	13.5	14.0	14.5	15.0	15.5	16.0	16.5	17.0	17.5	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5
流速(cm/min)	0.144	0.061	0.008	0.005	0.040	0.068	欠測	0.075	0.064	0.066	0.019	0.011	0.009	0.010	0.043	0.063	0.088	0.080	0.078
流向(N+)	南南西	西南西	西南西	西北西	西南西	西南西	欠測	西南西	西南西	西南西	西南西	西北西	西北西	西北西	西南西	西南西	西南西	西南西	南南西
流速(cm/min)	0.164	0.160	0.158	0.009	0.007	0.171	欠測	0.148	0.157	0.174	0.164	0.016	0.014	0.006	0.022	0.132	0.089	0.090	0.081
流向(N+)	南南西	西南西	西南西	西北西	西南西	西南西	欠測	西南西	西南西	西南西	西南西	西北西	西北西	北北西	西北西	西南西	西南西	西南西	南南西

Bor.No. 6

深度(m)	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	12.5	13.0	13.3
流速(cm/min)	0.003	0.062	0.052	0.031	欠測	0.025	0.048	0.049	0.010	0.007
流向(N+)	東南東	西北西	西北西	西南西	欠測	西南西	西南西	西南西	西南西	西南西
流速(cm/min)	0.020	0.066	0.038	0.037	欠測	0.075	0.065	0.013	0.001	-
流向(N+)	西南西	西北西	西南西	西南西	欠測	西南西	西南西	西南西	東北東	東北東

Bor.No. 9

深度(m)	18.0	18.5	19.0	19.5	20.0
流速(cm/min)	0.001	0.005	0.020	0.004	0.016
流向(N+)	北北西	西南西	西南西	西南西	南南東
流速(cm/min)	0.004	-	0.007	0.022	0.057
流向(N+)	西南西	-	南南西	南南東	南南東

○ ボーリング各孔で確認した平均流速は $4.67 \times 10^{-5} \sim 1.08 \times 10^{-4}$ cm/sec であった。（6孔全ての平均流速 4.58×10^{-4} cm/sec）

測点	平均流速 (cm/sec)
No.1	1.31×10^{-4}
No.2	1.08×10^{-4}
No.3	-
No.4	4.67×10^{-5}
No.5	7.61×10^{-4}
No.6	5.36×10^{-4}
No.7	-
No.8	-
No.9	4.38×10^{-4}
平均流速	4.58×10^{-4}

考察

○ 孔内流向流速測定は「局所的な地下水の動きは捉えられるが、それが平均的なあるいは広域的な地下水流動の実態を反映しているかどうかは分からない」という特徴を持つ。

調査名称	方法・原理	長 所	短 所	適 用
孔内流向流速測定	ボーリング孔内に流向流速計を挿入し、試験区間の地下水の流向と流速を測定する。原理は、水中の微粒子を直接カメラで追跡する方法と、温度・塩水等のトレーサーの濃度変化を捉える方法がある。	単孔で地下水の流向流速を捉えることができ経済的。資材も少なく簡単に測定できる。	局所的な地下水の動きは捉えられるが、それが平均的なあるいは広域的な地下水流動の実態を反映しているかどうかは分からない。広域的な地下水の流れはトレーサー試験の方が有利。	多点温度検層との併用で三次元的な地下水の流れを捉えることができる。

(出典：地盤調査の方法と解説 公益社団法人地盤工学会 P.479)

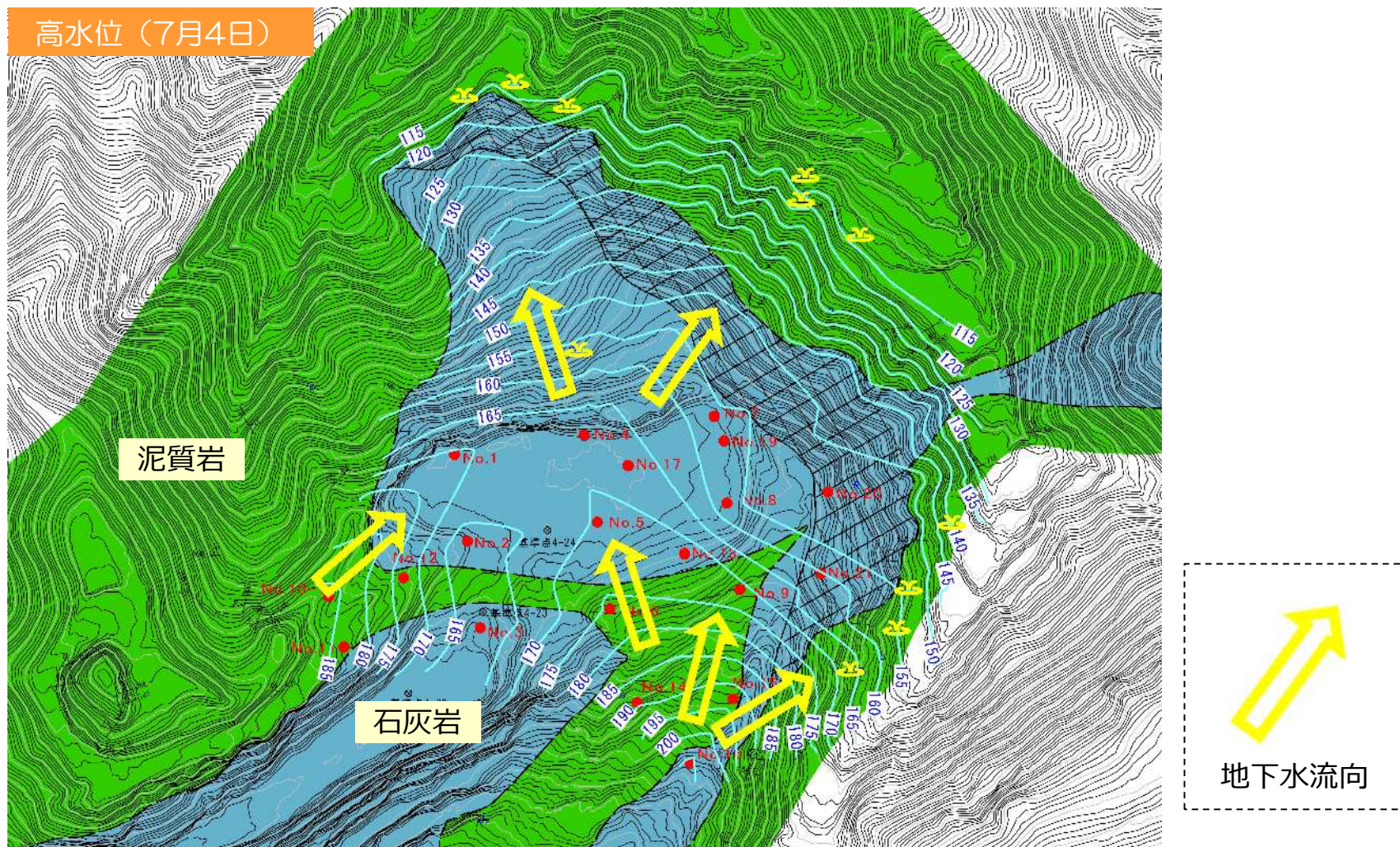
○ 今回の流向・流速計による調査では、様々な流向が確認された。一方で、①の追跡調査の結果では、地下水湧出地点は北及び東方向であることが確認されている。

○ この結果から、石灰岩等内では亀裂の状態などによって様々な方向に局所的な流れが発生していると捉えることができるが、小さな流れを検知する流向・流速計では、地下水全体の大きな流れの方向（北又は東）は捉えることができていないと考えられる。

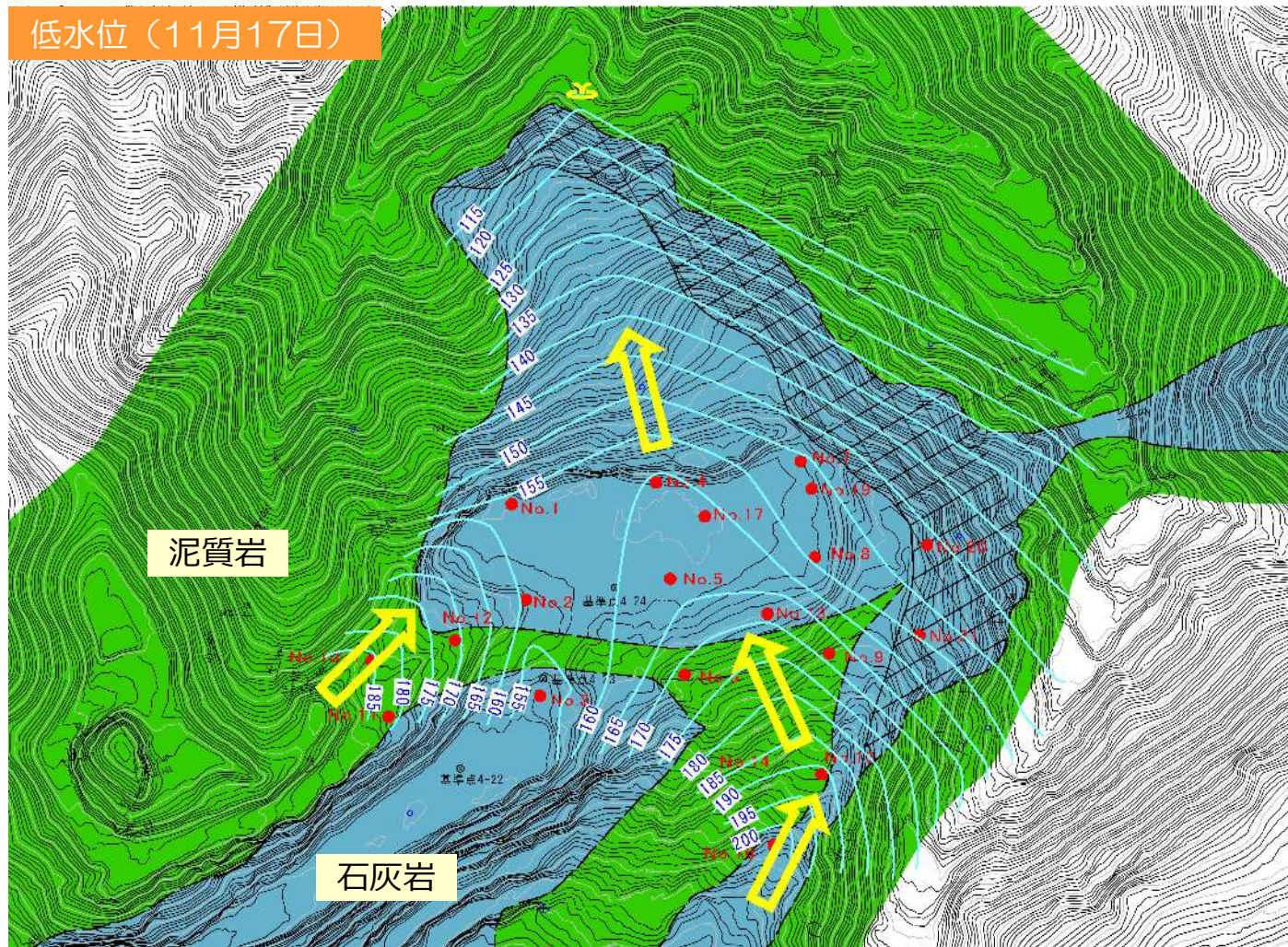
⑦ 地下水位観測結果を踏まえた地下水位等高線の作成

(地下水位観測期間：令和2年2月～11月)

- 各ボーリング孔の自記水位計観測結果及び湧水箇所の標高等をふまえて、高水位（7月4日）と低水位（11月17日）の地下水位等高線を作成した。



低水位（11月17日）



地下水流向

考察

- 地下水は、南側斜面から平坦地及び沢に向けて表土と泥質岩の間を流下してさらに石灰岩内の亀裂を流下するものと、西側斜面から表土と泥質岩の間を流下して石灰岩内の亀裂を流下するもの及び直接石灰岩の亀裂を流下するものに分類される。
- 石灰岩領域と泥質岩領域の等高線間隔を比較すると、透水性の高い石灰岩領域では石灰岩の亀裂を飽和しながら地下水が流下するので比較的緩やかな傾斜の流れとなるため等高線間隔が広がっており、透水性の低い泥質岩の領域を流れる地下水は、泥質岩の表面を流下するので比較的急勾配な流れとなり等高線が狭くなっていることが解かる。
- 高水位時と低水位時を比較すると、低水位時は水位が2.01m～14.53m低下している。高水位時の等高線は、北側、東側で確認された複数の湧水地点に向けて凸状になる。一方、低水位時の等高線は、北側で確認された湧水地点に向けて凸状になる。

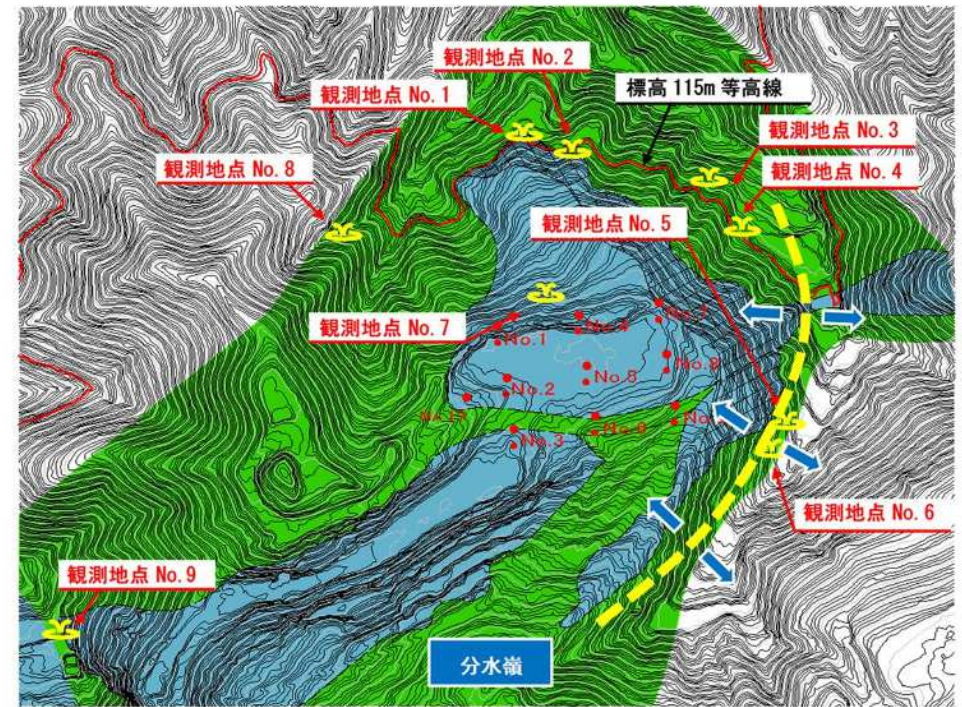
(3) まとめ

① 地下水流向

- トレーサーをボーリング孔に投入して湧水地点で観測する追跡調査と水質分析調査から、建設予定地の地下水は北と東の斜面下方に流出すると考えられる。
- 地下水標高から作成した地下水位等高線図では、地下水位等高線が尾根状に延びる方向が地下水の流れる方向を示すが、地下水は南及び西の斜面から流入して水位が高い時は北及び東の斜面に流れ、水位が低い時は北の常時湧水地点に向かって流れる形状となっていることが解かった。

② 透水係数、地下水流速

- 透水性を検討する試験として、石灰岩等の周囲を取り囲む泥質岩ではルジオン試験を実施し、石灰岩等では地下水観測孔を利用して現場透水試験(揚水法及び注水法)を実施している。
- また、その他に透水性を考察する目安として、地下水観測孔を利用した流向・流速計調査、食塩検層等を実施している。
- これらの調査結果及び追跡調査から算出した流速、透水係数を整理した。



■ 石灰岩等内部の透水係数・流速

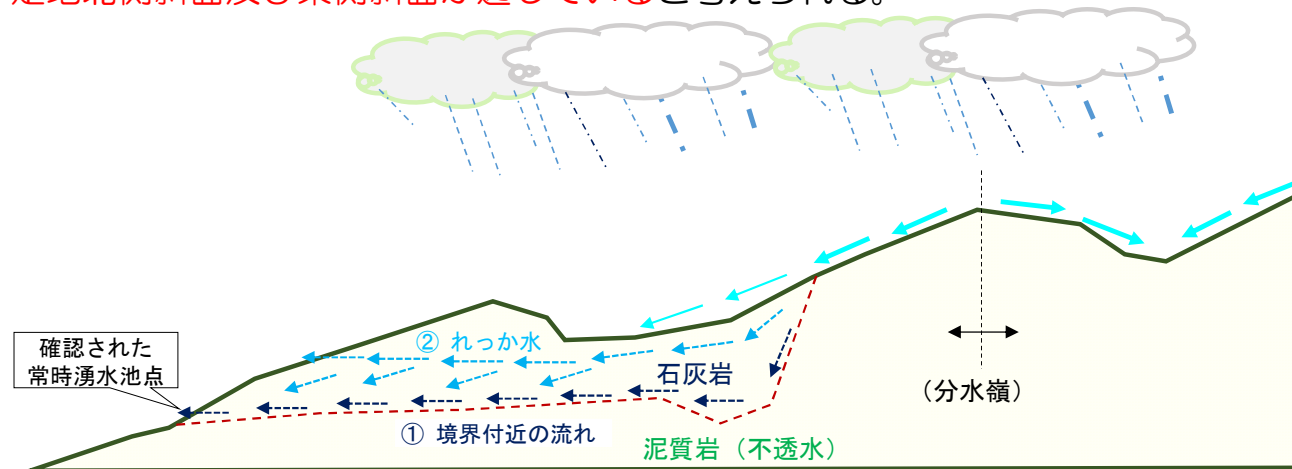
試験・調査	透水係数(cm/sec)	地下水流速(cm/sec)
食塩検層 (P8)	7.95×10^{-4}	—
簡易揚水による透水試験 (P12)	2.68×10^{-3}	—
注水による透水試験 (P12)	5.94×10^{-1}	—
流向・流速計 (P14)	—	4.58×10^{-4}

■ 石灰岩と泥質岩境界部、泥質岩内部の透水係数・流速

試験・調査	透水係数(cm/sec)	地下水流速(cm/sec)
トレーサー調査 (P2)	—	2.58×10^{-1}
ルジオン試験 (P12)	0.90×10^{-8}	—

③ ①、②をふまえての全体的なまとめ

- 地質構造（ボーリング及び地表踏査結果から、調査地の地質構造は、石灰岩等の周囲を泥質岩が取り囲む構造）から地下水の流れを見ると、石灰岩等の周囲を取り囲む泥質岩はルジオン試験で確認したように不透水性なので地下水は浸透することができず、石灰岩と泥質岩の境界を流下することになると考えられる（下図① **濃い青色**→の流れ）。
 - 次に、石灰岩は礫質土並みの透水性を持った亀裂の発達がみられ、地下水は石灰岩の亀裂を通過して流下する流れが考えられる（下図② **水色**→の流れ）。
 - 地下水は、上記①②の流れをしながら、石灰岩等を通り泥質岩との境界に到達し、**降雨が少なく水位が低い時は石灰岩の標高が最も低くなっている常時湧水地点に湧出し、降雨が多く水位が高い時は常時湧水地点の他、東側の石灰岩と泥質岩境界の標高が高い位置でも湧出する形態である**と考えられる。
 - なお、透水係数、地下水流速の推定結果から
 - ① **石灰岩等と泥質岩の境界付近を流れる流速**はトレーサー調査から $2.58 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 程度と考えられる。
 - ② **石灰岩等内の亀裂を流れる流速**は、流向・流速計の流速、簡易揚水試験、食塩検層の結果から $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/sec}$ 程度と考えられる。 ※なお、注水法により求められた透水係数は、地下水面より上層の表層土を含んだ値であり、地下水面下の石灰岩等の透水性を正しく評価できないと考えられる。
 - ③ ボーリング調査、電気探査等によって大きな亀裂または空洞の存在は認められなかったが、地下水調査の透水性の点からも評価すると、**空洞等大きな水の流れがある場合、流速は地表水並（ $1 \text{cm/sec} \sim \text{数}10 \text{cm/sec}^*$ ）になると考えられるが、本調査ではそのような大きな流れは認められず、ボーリングコアで確認された**亀裂内部を地下水が流動しているもの**と考えられる。**
- *地下水マネジメントの手順書 技術資料編P98（内閣官房 水循環政策本部事務局）より引用
- 施設供用後の地下水モニタリング位置は、**施設に向けて地下水が流下する南側斜面と西側斜面、施設直下を通過した後の地下水が流下する建設予定地北側斜面及び東側斜面が適している**と考えられる。



建設予定地周辺の地下水の流れ

(4) 施設整備専門委員会の委員への個別意見聴取結果 概要

施設整備専門委員会委員 高知大学 笹原 克夫教授

《第1回：令和2年12月21日》

① 地下水追跡調査について

○ 紫外線照射によってトレーサーを検出できる限界の濃度を記載しておくこと。

② 地下水、湧水の水質分析調査について

○ 調査結果の考察については、この内容で基本的に問題ないとする。なお、降水量の多い夏季の調査結果もあれば、この結果をより裏付けることができたと思う。

③ 地下水流動（食塩）検層について

○ ボーリング孔No.7の第7、8回の比抵抗値のグラフが他のグラフと異なるので、その原因について整理すること。

○ 結果を見ると、40m付近等の亀裂がある箇所地下水が流動している孔がある一方で、一部のボーリング孔では流動層が確認されていない。空洞がある場合などに見られる大きな流動層はなく、亀裂のような箇所を地下水が流動しているという考察について了解した。

④ 地下水流動（温度）検層について

○ 細かい温度変化の違いで判断しない方が良い。このため、No.3を除く、各孔の地下水面より上層は、大きな地下水の流入層はないとした方が良い。なお、念のため温度計の分解能等のスペックを調べておくこと。

○ ボーリング孔No.3については、温度検層の結果地下水の落とし込みが生じている。あわせて、地下水がなく食塩検層ができていない。このことから、亀裂が発達している可能性があるため、施工時の掘削等に留意すること。

⑤ 地下水流向流速観測について

○ 考察のとおり、微細な動きを捉えているものだと考えられる。

⑥ 地下水位等高線について

○ 低水時の水位等高線についても作成し、高水時と傾向が異なることがないか確認した方が良い。

⑦ とりまとめについて

○ 食塩検層の結果と、地下水流向流速観測での石灰岩中の亀裂中の流速、石灰岩中の亀裂の透水試験結果を総合的に検討し、石灰岩の亀裂中の地下水の流速を推定しておくこと。

○ トレーサーによる地下水追跡調査から、不透水層である泥岩と石灰岩の間を流れる地下水の流速を大まかに推定すること。

○ 上記2点を付け加えて、整理すれば、より定量的な評価ができると考えられる。

《第2回：令和3年1月18日》

① 地下水、湧水の水質分析調査について

- 地下水の流向は地下水位等高線に直交するようにし、大まかな流向のみを表すこと。
- 等高線を推定した考え方は、成果品に記載しておくこと。

② 地下水調査結果のまとめについて

- 実施した試験から整理した透水係数、流速は、石灰岩等の内部とそれ以外のものでも表を分けた方が良い。
- 地下水調査結果の取りまとめ内容は妥当だと考えられる。