

沖縄県宮古島の平良地下水流域における塩水くさび浸入状況

株式会社エイト日本技術開発 ○齋藤 晴紀, 渡辺 俊一

1. はじめに

宮古島は弓状に連なる琉球弧のほぼ中間にあって、沖縄本島の南西約300km に位置する。面積は約204km²、地形は全体に平坦で最高点は標高113m（島中央部）の直角三角形の島である。

地質は主に第四紀更新世の琉球層群琉球石灰岩とその下位の第三紀鮮新世～第四紀更新世の島尻層群泥岩からなる。宮古島西部では、一部で不透水性基盤である島尻層群泥岩が海水準以下に分布しているため、海岸沿いでは琉球石灰岩中に塩水くさびが浸入している。

宮古島では透水性の高い琉球石灰岩が地表付近に分布するために、河川が形成されにくく、生活水のすべてを地下水に依存している。調査対象範囲内で、海岸線より約1.5km 内陸に位置する水道水源地（井戸）では、塩水くさびの浸入を進行させないよう注意を払いながら地下水の取水が行われている。

本稿は、2020 年度調査¹⁾の追加調査として 2022～2023 年度に実施した「地下水保全調査業務（宮古島市発注）」における平良地下水流域の不透水性基盤上面形状、地下水面形状、塩水くさび浸入状況などに関する調査結果を報告するものである。

2. 方法

本調査では、不透水性基盤上面形状を把握するためのボーリング調査（24 地点）、地下水面形状を把握するための月 1 回の地下水位一斉観測（既存・新規ボーリング観測孔 47 地点）を行った。さらに、塩水くさびの浸入状況を把握するため、ボーリング観測孔において、ロープ式電気伝導率計を用いた地下水の深度別電気伝導率測定（18 地点）、及び日記水位・電気伝導率計を用いた連続水位・電気伝導率測定（7 地点）を行った。

3. 不透水性基盤上面形状及び地下水位

図-1は本調査及び既存ボーリング調査結果などから作成した不透水性基盤上面コンター図である。平良地下水流域の不透水性基盤上面形状は、大局的には、宮古空港のある南東部（最大標高約40m）から平良港のある北西部（標高-40m 程度）へ緩やかに傾斜している。今回の調査の結果、より詳細な不透水性基盤上面形状が明らかとなり、特に平良地下水流域の南西部に確認される北北西-南南東方向に延びる2条の正断層の東側に沿って、不透水性基盤上面が溝状に深くなっていることが新たに明らかになった（図-1）。

図-2は地下水位一斉観測結果（2024年1月16日）を基に作成した地下水位コンター図である。平良地下水流域の

地下水位標高は、隣接する東添道地下水流域から地下水の流入がある東部の一部範囲を除いて、ほとんどの範囲が標高1m 以下であった。地下水の流向は地下水面の傾斜から、主に平良地下水流域東部から北西側の平良港方向へ向かっていると考えられる（図-2）。

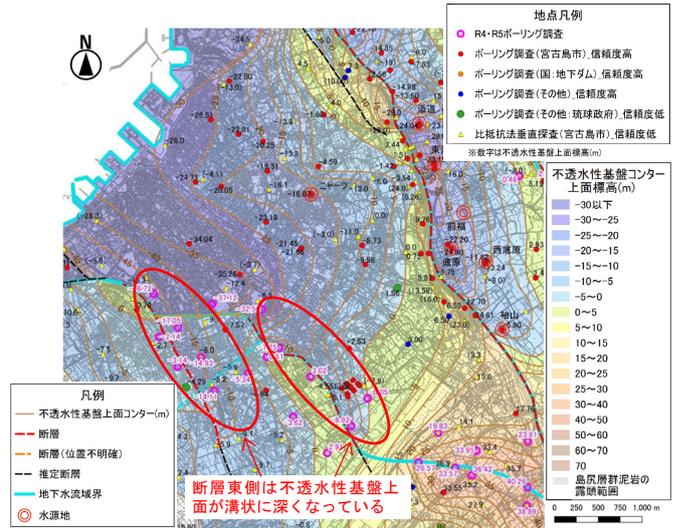


図-1 不透水性基盤上面コンター図

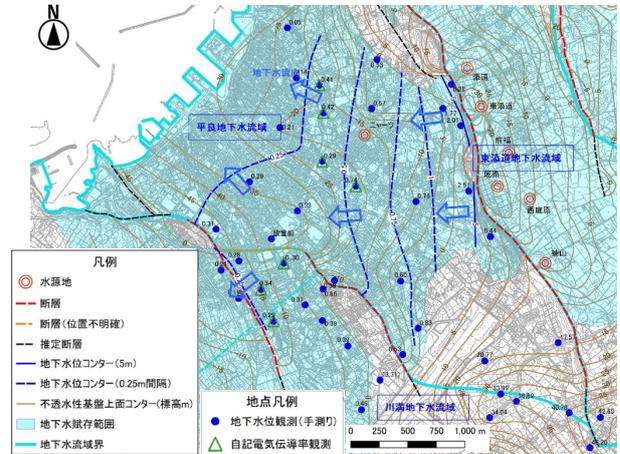


図-2 地下水位コンター図

4. 塩水くさび浸入状況

(1) 塩水浸入の判定基準

本調査では、現地で簡易的に測定できる電気伝導率を塩水浸入の判定基準とし、現地の地下水を用いて求めた塩化物イオン濃度と電気伝導率の相関式（図-3）を用いて、水道水質基準の塩化物イオン濃度200mg/L 以上に相当する電気伝導率110mS/m 以上を塩水浸入の判定基準とした。

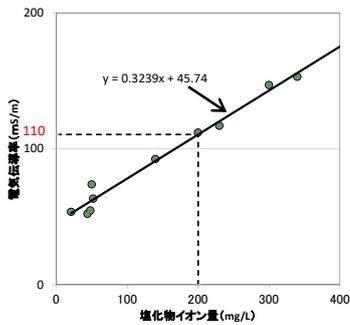


図-3 塩化物イオン量と電気伝導率の関係²⁾

(2) 塩水くさびの浸入範囲

図-4はC-C'断面の深度別電気伝導率測定結果及び推定される塩淡境界位置である。深度方向の塩淡境界位置(電気伝導率110mS/m)は内陸ほど標高が低く、塩水はくさび状に浸入していることが確認された。また、C-C'断面における塩水浸入範囲は海岸線から約1150mと推定された。

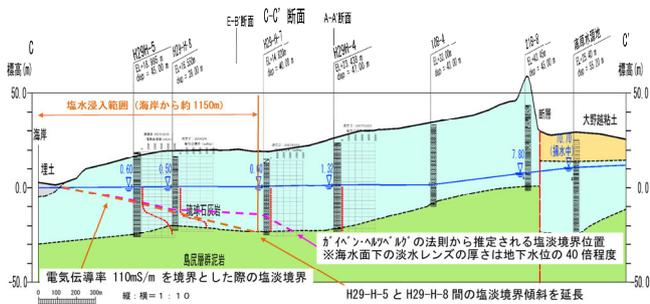


図-4 C-C'断面の深度別電気伝導率測定結果及び推定される塩淡境界位置(縦横比10:1)

図-5は深度別電気伝導率測定による平面的な塩水浸入の有無及び推定される塩淡境界位置である。深度別電気伝導率測定を実施した18地点のうち海側の9地点で、電気伝導率110mS/m(塩化物イオン200mg/L相当)以上が確認された。これらの地点は帯水層内に塩水が浸入していると考えられる。

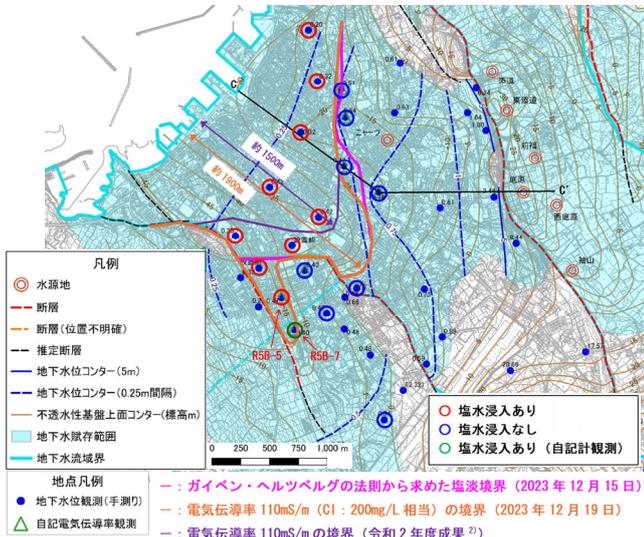


図-5 塩水浸入の有無及び推定される塩淡境界位置

最も内陸側で塩水浸入が確認された地点は、海岸線からの距離約1550mのR5B-5であった。※後述の自記電気伝導率観測結果で示すとおり、連続観測の結果では海岸線からの距離約1900mのR5B-7においても、時期によっては塩水浸入(電気伝導率110mS/m以上)が確認された。

(3) 塩水くさび浸入範囲の変動

図-6はR5B-7における連続水位・電気伝導率測定結果である。R5B-7は前述の深度別電気伝導率測定においては、電気伝導率110mS/m以下であったが、経時的に見ると時期によっては110mS/m以上となり、塩水浸入があることが判明した。このため塩水くさびの平面的な浸入範囲は、時期によって数100m程度、移動している可能性がある。

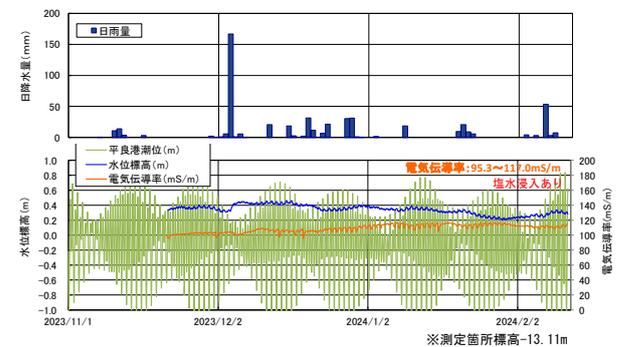


図-6 R5B-7の連続水位・電気伝導率測定結果³⁾

5. まとめ

- ① ボーリング調査の結果、断層の東側に沿って、不透水性基盤上面が溝状に深くなっている範囲があることが判明した。
- ② 深度別電気伝導率測定、及び連続水位・電気伝導率測定の結果、塩水(塩化物イオン濃度200mg/L相当以上)が琉球石灰岩内に浸入している範囲は、不透水性基盤上面の溝の存在を反映して、2020年調査時に推定された海岸線から最大約1500mに対し、より内陸側の海岸線から最大約1900mまで広がっていることが判明した。
- ③ 地下水中の電気伝導率には、地下水位の上下動に伴う変動が見られ、塩水くさびの平面的な浸入範囲は、時期によって移動していると考えられるため、範囲の把握においては、継続した観測が必要である。

《引用・参考文献》

- 1) 宮古島市：令和2年度地下水保全調査業務報告書, pp. 1-1~9-3, 2020. 3
- 2) 宮古島市：平成29年度地下水保全調査業務報告書, p. 10-7, 2018. 3
- 3) 気象庁アメダス：観測地点「宮古島」(最終閲覧日 2024. 3. 1),

簡易水質分析キットを用いた鉄の簡易水質分析方法について

株式会社 KGS ○小川 貴好、大野 克己

1. はじめに

道路事業における切土工やトンネル工は、その工事が周辺の地下水等に影響を与える場合がある。この影響の有無や程度の確認のため、周辺の井戸や河川等を対象とした水文観測業務が工事と並行して行われる。

水文観測において、対象となるのは、主に流量と水位、水質である。このうち、水質については、現地での採水の後、分析機関での分析を経て数値データが得られるため、現地調査日から数値データの提出までに数日程度のタイムラグが発生する。

今回、沖積層を対象とした盛土工・函渠基礎地盤改良が行われている地域において、工事現場から 50m 程度離れた地点にある畜産用水の井戸水に対し、水文観測を行った。

本井戸は、GL-55m の洪積層中の帯水層より揚水し、タンクに貯留して利用されており、過年度から継続的に調査が行われていた。近年、鉄の濃度が上昇傾向にあり、一時的に基準値の超過が見られたため、発注者の要望で井戸洗浄が行われたが、これを契機に鉄の濃度が急激に増加した(図-1)。

井戸洗浄後しばらくして、井戸所有者より、現地で簡便に鉄の濃度を知る方法の有無について相談を受けた。これに対し、簡易水質分析キットによる判定を用いて、現地で迅速に対応することができたため、この事例を紹介する。

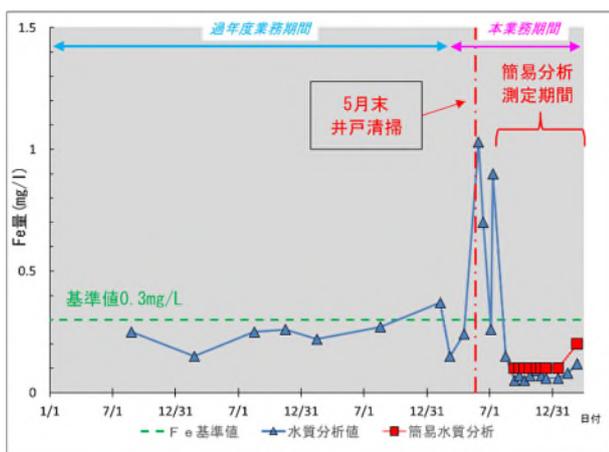


図-1 井戸水中の鉄の濃度の変遷

2. 水中の鉄分含有による問題点について

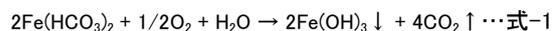
¹⁾水道法第1章第4条に基づき、環境省が定める「水質基準に関する省令」において、「水道により供給される水に含まれる鉄及びその化合物の基準値は、0.3mg/L 以下であること」と定められている。

一般に、地下水および表層水ともに自然状態の水中には、微量な鉄分が含有されているが、含有量が多くなるにつれて、洗濯物への着色や鉄器具のサビの原因、陶磁器への汚れ、飲料した際の視覚的・嗅覚的・味覚的影響を受ける。

畜産業における明確な基準値の規定はないが、²⁾農林水産省が提案する飼養衛生管理基準において、飼養する家畜への給水は、水道水等の飲用に適したものとされているため、鉄についても前述の基準値に準じるものと考えられる。なお、畜産物への影響として³⁾肉色の影響が示唆されているが、関連性については不明瞭である。

3. 地下水中の鉄の存在状態について

地下水中の鉄分は還元状態にあり、鉄イオン(Fe²⁺、Fe³⁺)や錯化合物等のような溶存鉄として存在する。地表まで地下水を汲み上げる場合、空気中の酸素が水中に取り込まれることで水酸化鉄として析出する(式-1)。



そのため、採水は極力空気に触れないよう迅速に行い、採水後は容器内に空気が入らないよう密閉し、空冷しつつ素早く試験機関へ運搬する必要がある。

4. 分析方法

簡易水質分析キットの測定法は、試薬入りチューブで分析対象の検水を吸水し、一定時間(今回使用した製品では2分)反応させた後のチューブ内の液色と標準色とを比較し、チューブ内の液色と最も近い標準色の値を測定値とする(図-2)。なお、液色が標準色の間の場合、両値の中間値を測定値とみなす。

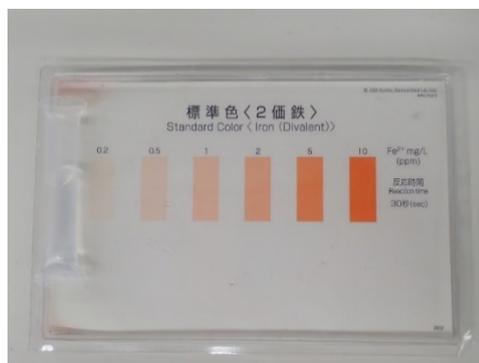


図-2 簡易水質分析キットおよび比色用標準色

鉄分を対象とした簡易水質分析キットには、二価鉄、三価鉄、全鉄(二価鉄+三価鉄)等があり、全鉄は、低濃度

用(測定範囲0.05～1mg/L)と標準濃度用(測定範囲0.2～10mg/L)がある。

既存調査結果において0.70～1.03mg/Lの鉄の濃度が確認されていたため、本事例では、二価鉄用(測定範囲0.2～10mg/L)を使用した。

5. 検討結果

今回、分析機関での鉄の分析に加え、現地で簡易水質分析キットを用いた鉄の簡易分析を行った。このうち、簡易分析は、分析希望があった9月以降から翌年3月迄の7ヶ月間に、1～2回/月の間隔で行った。

現地でのキットを用いた簡易分析結果と分析機関での試験結果とを図-1と表-1に示す。

分析機関での試験値(以降、水質分析値)における鉄の濃度は、9月以降は全て水質基準値(0.3mg/L)以下であった。水質分析値と簡易水質分析キットの値を比較すると、9月～翌年1月は、水質分析値0.05～0.09mg/Lに対して0.1mg/L(標準色0.2mg/Lよりやや薄い)、翌年3月は水質分析値0.12mg/Lに対して0.2mg/L(標準色0.2mg/Lと同程度)を示した。

分析機関に測定を依頼した場合、現地採水から結果判定まで日数を要したが、簡易水質分析キットでは、概略値ではあるが、現地で迅速に結果を出すことができた。

表-1 簡易水質分析キットおよび水質分析値の比較

井戸中の鉄の濃度		観測日					
		3月	4月	5月	6月	7月-1	7月-2
水質分析値	(mg/L)	0.15	0.24	1.03	0.70	0.26	0.90
簡易水質分析キット	(mg/L)	-	-	-	-	-	-
井戸揚水中の鉄分量		観測日					
		8月	9月-1	9月-2	10月-1	10月-2	11月-1
水質分析値	(mg/L)	0.15	0.05	0.07	0.05	0.07	0.09
簡易水質分析キット	(mg/L)	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
井戸揚水中の鉄分量		観測日					
		11月-2	12月	翌1月	翌2月	翌3月	
水質分析値	(mg/L)	0.07	0.06	0.06	0.08	0.12	
簡易水質分析キット	(mg/L)	0.1	0.1	0.1	-	0.2	

※**斜字**は基準値(0.3mg/L)を超過を示す。
 ※分析方法に則り、簡易水質分析の検出限界(0.2mg/L)以下は、0.1mg/Lと表示。

6. 鉄の濃度の上昇原因について

井戸洗浄前の鉄の濃度は、概ね基準値以下(0.15～0.27mg/L)を保っていた(図-1)。井戸洗浄後の約2ヶ月間は、基準値超過が続いたが、その後は減少し、井戸洗浄前の値(0.05～0.12mg/L)で安定した。この間、付近での施工は継続しており、工事期間に関わりなく鉄の濃度が上昇及び下降していることから、鉄の濃度の上昇と工事との関連性は見られないと言える。

今回は、鉄の濃度の上昇原因を探ることが目的ではな

いが、原因として、以下のことが考えられた。

経年使用により井戸配管が錆び、このサビが水中に溶け出すことにより、井戸水中の鉄の濃度が増加した可能性が考えられる。また、井戸洗浄後に鉄の濃度が大きく上昇した点については、洗浄に伴って配管部から剥落したサビの小片が井戸内に残留しており、これが井戸水に含まれて鉄の濃度が上昇した可能性が想定される。

7. まとめ

簡易水質分析キットを用いることにより、簡便かつ迅速に、井戸水中の鉄の濃度を現地にて測定することができた。また、井戸所有者の依頼に対して希望に沿った対応を行うことができ、顧客からの信頼感を得ることができた。

簡易水質分析キット使用時の問題点を以下に挙げる。

1つ目は、比色の判断が肉眼であるため、観測者によって値に誤差が出る点である。これについては、カラーチャートや色測定計の使用等によって対応が可能である。

2つ目は、標準色の詳細な数値が求められないことである。これについては、本件で実施したように分析機関での測定を並行して行い、簡易水質分析キット結果を速報値として今後の調査の指針とし、詳細値をもって判断を行う方式とするのが良いと考える。

本事例では、測定範囲が0.2～10mg/Lの二価鉄用キットの使用した。しかし、井戸洗浄からしばらく経過し、上昇した鉄の濃度が落ち着いてから簡易分析を行ったため、結果として、ほぼ全ての結果が検出限界値(0.2mg/L)以下となってしまった。このような場合、より低い値が対象の低濃度用(測定範囲0.05～1mg/L)を併用することで、詳細な測定が可能であった。なお、井戸洗浄後の鉄の濃度が上昇した直後に自主的に簡易分析を行っていれば、濃度上昇時の水質分析値と簡易分析値を比較できたため、今後、同様の事例があれば、自主的に簡易分析を活用していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) e-GOV 法令検索:「水質基準に関する省令」,
(最終閲覧日2025年6月2日),
<https://laws.e-gov.go.jp/law/415M60000100101/>.
- 2) 農林水産省:「飼養衛生管理基準について」,
(最終閲覧日2025年6月1日),
https://www.maff.go.jp/j/syouan/douei/katiku_yobo/k_shiyou/.
- 3) アグリサーチャー:「肥育牛における飲料水中の鉄分量が肉質とくに肉色に及ぼす影響」,
(最終閲覧日2025年6月1日),
<https://agresearcher.maff.go.jp/seika/show/214824>.

アルカリ質トンネル湧水の放流条件の検討

株式会社エイト日本技術開発 ○屋比久 雄斗

1. はじめに

トンネル施工時に発生するアルカリ化の排水は、周辺河川の水質に影響を及ぼす可能性があるため、重要な環境課題となっている。この問題に対処するため、湧水を中和処理プラントに集め、炭酸ガスなどを用いて中和する中和処理方法が一般的に採用されている¹⁾。しかしながら、中和プラントの運転に伴う維持費が長期的に発生するため、コスト面における課題が指摘されている。

本事例では、中和処理を行わずにトンネル湧水を自然放流した場合の環境影響を評価することを目的とし、湧水の pH および電気伝導率 (EC) の変化を調査した。具体的には、トンネル湧水と周辺河川における流量を定期的に観測し、これらの流量比を求めたうえで、室内実験によりトンネル湧水と河川水を混合することによる水質の改善効果を検証した。

2. 定期観測

2024年1月から2025年2月まで、①トンネル湧水、②普通河川、③一級河川における定期観測を2ヵ月おきに1年間実施した。当該地域では、中和処理さ

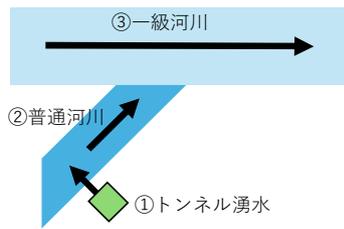


図-1 現地状況模式図

れたトンネル湧水が普通河川へ放流後、一級河川へ流入する経路を形成している。また、①トンネル湧水の pH は施工後、数年が経過し改善傾向にある。

簡易水質測定によって pH および電気伝導率を測定し、容器法で②普通河川の流量を、断面流速法で③一級河川の流量を観測した。各地点の pH、電気伝導率 (EC)、流量の定期観測結果を図-2～図-4に示す。

(1)pH

①トンネル湧水の pH は10.4～10.9となり、②普通河川および③一級河川は6.5～8.0となった。

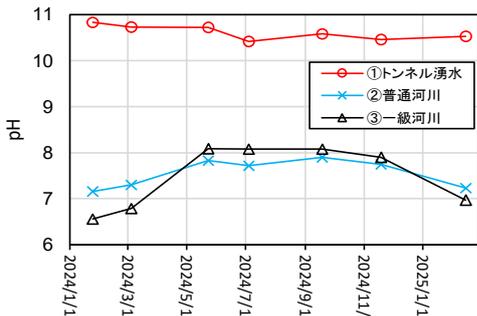


図-2 各地点の pH の定期観測結果

(2)EC

①トンネル湧水の EC は30～45mS/m で推移し、②普通河川は乾期になると15～20 mS/m まで上昇する傾向がある。③一級河川は10mS/m で推移している。

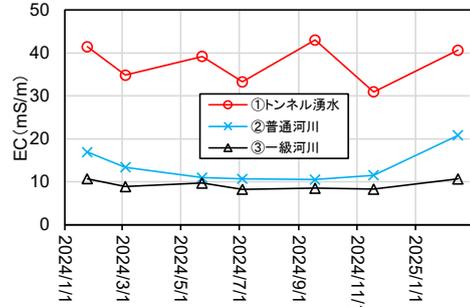


図-3 各地点の EC(mS/m)の定期観測結果

(3)流量

①トンネル湧水は0.12～0.53 l/sec、②普通河川は3.1～34.8 l/sec、③一級河川は771～4731 l/sec で推移している。

7月観測時の流量の増加は降雨影響によるものである。

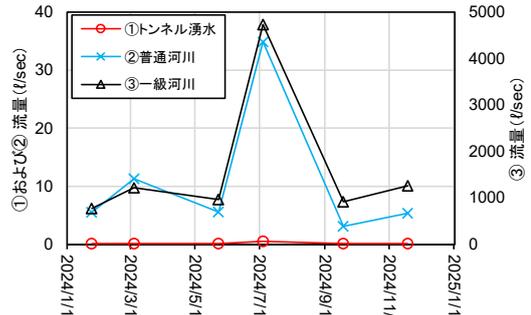


図-4 各地点の流量(l/sec)の定期観測結果

3. 試験条件の検討

定期観測の結果から、①トンネル湧水と②普通河川(試験条件α: 図-5) および①トンネル湧水と③一級河川(試験条件β: 図省略)の流量比を算出し、それぞれの回帰曲線及び標準誤差(±SE)を求めた。

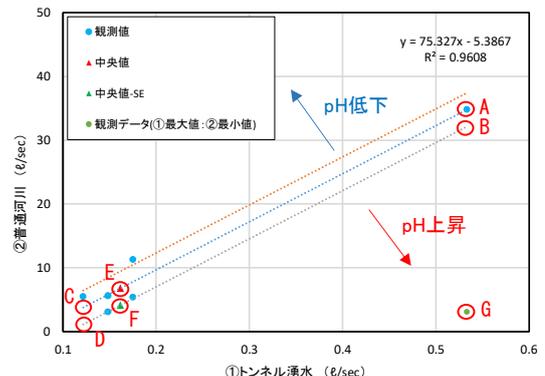


図-5 ①トンネル湧水と②普通河川の流量比および回帰曲線(試験条件α)

以降、①トンネル湧水の流量を1とした時の②普通河川および③一級河川の流量を倍率と称す。

図-5の回帰曲線を基に、各試験条件において設定可能な7つのパターンを検討した結果(表-1)、自然放流時の流量に近い「パターンE」、①トンネル湧水に対する②普通河川の倍率が最小となる「パターンF」、観測値から①トンネル湧水が最大、②普通河川が最小となる「パターンG」を、今回実施する室内実験の対象条件として選定した。

表-1 試験条件αにおけるパターン

パターン	①トンネル湧水	②普通河川	倍率	備考
A 回帰曲線	最大	最大	65.23	回帰曲線上で①に対して②の量が多い(危険側)
B 回帰曲線	中央値	中央値	42.01	回帰曲線上で中央値であり、自然放流する際の通常時の流量に実際に近いと考えられる
C 回帰曲線	最小	最小	31.05	回帰曲線上で①に対して②の量が少ない(実測流量比では最も安全側)
D 回帰曲線-SE	最大	最大	60.24	回帰曲線-SE上で①に対して②の量が多い(AIに対し標準偏差分安全側)
E 回帰曲線-SE	中央値	中央値	25.57	回帰曲線-SE上で中央値であり、自然放流する際の通常時の流量に実際に近いと考えられる(対し標準偏差分安全側)
F 回帰曲線-SE	最小	最小	9.21	回帰曲線-SE上で①に対して②の量が少ない(CIに対し標準偏差分安全側)
G 観測データ	最大値	最小値	5.81	観測データにおいて①:②の流量の比が最も安全側。(①と②に正の相関があるため、現実的にはありえない)

*倍率は①トンネル湧水を1とした時の②普通河川および③一級河川

同様のプロセスを用いて、①トンネル湧水と③一級河川(試験条件β)に対しても7つの検討パターンを用い、室内実験を行う条件を選定した。今回選定した室内実験の条件については、表-2に示した通りである。

表-2 室内実験条件

ケース	試験条件	倍率	①トンネル湧水	②普通河川	③一級河川	計(mL)
1	条件α.G 観測データ (①最大値:②最小値)	5.81	146.84	853.16	1000.00	1000.00
2	条件α.F 回帰曲線-SE (①最小:②最小)	9.21	97.94	902.06	1000.00	1000.00
3	条件α.E 回帰曲線-SE (①中央:②中央)	25.57	37.64	962.36	1000.00	1000.00
4	条件β.G 観測データ (①最大値:③最小値)	1446.00	0.69	999.31	1000.00	1000.00
5	条件β.F 回帰曲線-SE (①最小:③最小)	5521.00	0.18	999.82	1000.00	1000.00
6	条件β.E 回帰曲線-SE (①中央:③中央)	6567.00	0.15	999.85	1000.00	1000.00

4. 室内実験方法

各箇所でのサンプリングを実施した後、室内実験条件に基づき混合し、その後水素イオン濃度(pH)、電気伝導率(EC)、および水温を測定した。

5. 室内実験結果

室内実験結果を表-3に示す。

ケース	試験結果	倍率	pH	EC	水温
1(α.G)	観測データ (①最大値:②最小値)	5.81	8.70	23.30	18.4
2(α.F)	回帰曲線-SE (①最小:②最小)	9.21	8.24	23.20	18.4
3(α.E)	回帰曲線-SE (①中央:②中央)	25.57	7.52	21.30	18.2
4(β.G)	観測データ (①最大値:③最小値)	1446.00	7.22	10.61	17.9
5(β.D)	回帰曲線-SE (①最小:③最小)	5521.00	7.14	10.98	17.8
6(β.F)	回帰曲線-SE (①中央:③中央)	6567.00	7.10	10.88	17.9
	環境基準	-	6.50~8.50	-	-

赤字:環境基準超過

表-3 室内実験結果

(1)①トンネル湧水:②普通河川(図-6)

トンネル湧水量の割合が大きくなるにつれ pH は高くなる。

「ケース1(α.G)」の観測データ(①最大値:②最小値)を混合させた際は pH が8.70となり、環境基準値を超過する結果となった。「ケース2(α.F)」「ケース3(α.E)」では pH 8.24、7.52と環境基準内の結果となった。

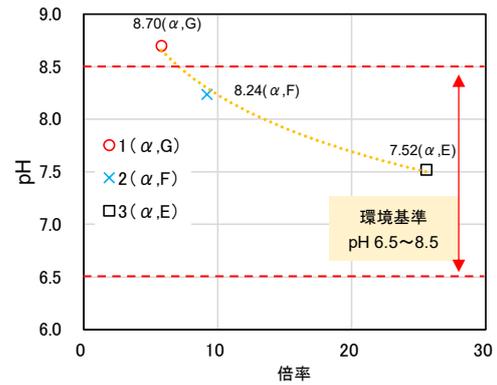


図-6 室内実験後の pH(①トンネル湧水と②普通河川)

(2)①トンネル湧水:③一級河川(図-7)

全ての試験条件において、pH は環境基準値内に収まる結果が得られた。「ケース4(β.G)」においても、pH は 7.22を示した。

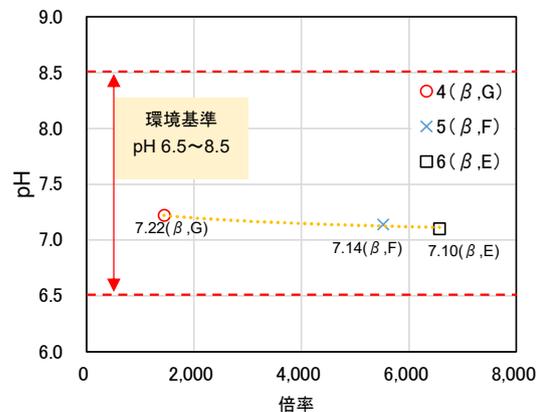


図-7 室内実験後の pH(①トンネル湧水と③一級河川)

6. まとめ

(1)①トンネル湧水:②普通河川

室内実験の結果に基づく、②普通河川において通常時にトンネル湧水を自然放流する場合でも、pH 値は環境基準(pH 6.5~8.5)の範囲内に収まることが予想される。

(2)①トンネル湧水:③一級河川

③一級河川においても、トンネル湧水を直接排水した場合、pH 値が環境基準(pH 6.5~8.5)の範囲内に収まることが予想される。

室内実験の結果を踏まえると、通常時においてトンネル湧水を自然放流する場合、環境基準値内に収まると推測される。今後、現場で実際に放流実験を行い、観測し、水質の確認することが望ましい。

《引用・参考文献》

- 1) 杉野 康博、伊藤千恵 (2013): 高 pH トンネル湧水の検討事例、全地連技術フォーラム2013論文集、論文 No. 55.

電気探査測点密度を変えた電気探査事例

株式会社エイト日本技術開発 風見健太郎

1.目的

地下水調査にはボーリング孔を利用して実施する電気検層、温度検層などの検層を利用する方法や空中電磁探査や電気探査などの探査手法を用いて行うことが多い。検層や探査の実施においては探査精度（分解能）が機材の性能や測定間隔に依存する可能性が考えられる。

北海道東部に計画されている最終処分場ではボーリング調査後に設置した観測孔での地下水位観測では山側と谷側で 10m の地下水位差が見られた。また、10m 程度の地山掘削を伴う工事であったため、施工中、施工後ののり面の不安定化が懸念され、山側地下水の流動メカニズムを明らかにし対策の有無を検討する必要があった。このため、地下水調査として電気探査を実施した。電気探査は電極間隔を 5m、2.5m に変えて行った。この結果、電極間隔を短くしたほうが、地山の低比抵抗値がより明確になり地下水検討精度が向上した事例を報告する。

2.地形地質

北海道東部のサロマ湖周辺には図-1 に示すように 10～30m の平坦地形がみられその背後には流域の狭い山地がみられることが多い。これは、氷河地形特有の繰り返される凍結融解作用（ソリフラクション）による基盤岩の軟質化により土砂化し堆積した地形が調査地に広がっている。調査地の基盤の地質は図-2 に示すように砂岩泥岩を主体とする安国層の砂岩泥岩互層を主体とし、地層の傾斜は北東南西方向で南東方向に 80 度程度で傾斜する地層となっている。

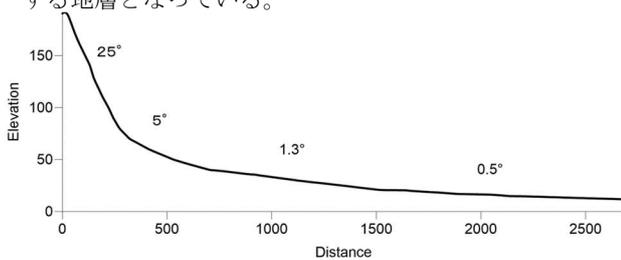


図-1 寒冷地形の地形勾配



図-2 調査地周辺の地質図¹⁾

3.調査経緯

調査位置図を図-3 に示す。1 次調査、2 次調査を合わせて 10 本のボーリング調査、サウンディングを行い、観測孔を 7 本設置した。図-4 に示す 1 次調査の調査結果に基づく断面位置での地層断面図から土砂中の浅層地下水と岩盤中の深層地下水の存在する可能性が考えられた。特に深層地下水は山側では確認されるものの、下流側では確認されず被圧水頭が掘削箇所山側にのみ存在することが考えられた。最も水頭の高い No.6 の浅層地下水と深層地下水の水頭はほぼ同一であった。岩盤中の水位は透水試験時の平衡水位および観測孔水位測定により水位の有無を判断した。

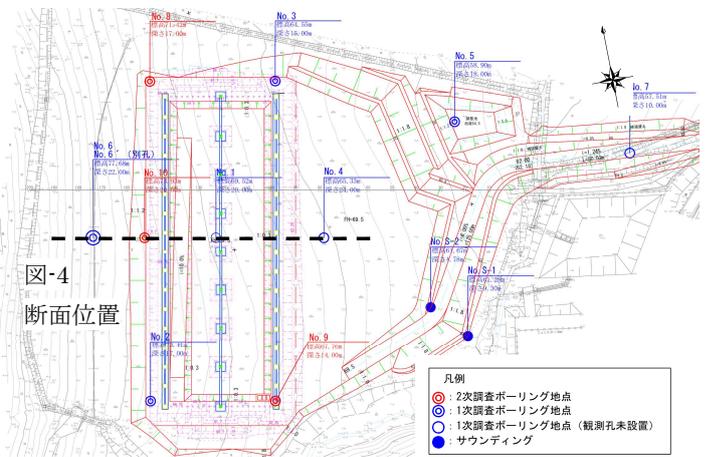
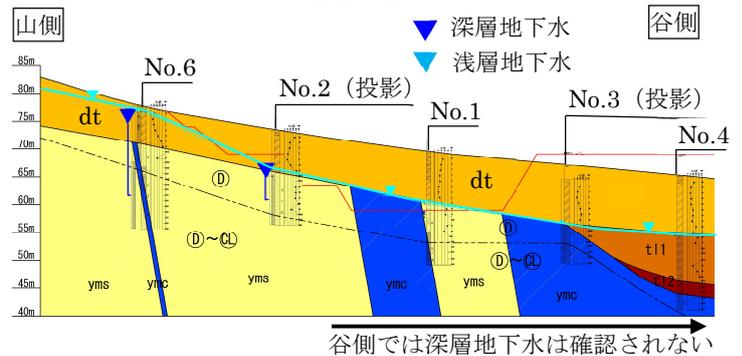


図-4 断面位置

図-3 調査位置図



※yms(砂岩)、ymc(泥岩)、dt(崩積土)、t11・t12(崖錐)

図-4 1 次調査での地層断面図と水位状況

4.高密度電気探査

(1) 方法

電気探査は図-5 に示す探査測線で 3 測線（1 測線当たり 100m）を実施した。電極間隔は①5m ピッチ、②2.5m ピッチの 2 種類の電極間隔で測定を行った。なお、赤丸の箇所が電極間隔 2.5m ピッチで探査を実施した位置である。現地にて得られたデータをもとに有限要素差分法による FEM 解析により解析を実施した。

(2) 結果

測線 No.2 の結果を示す。図-6 に①5m ピッチ、図-7 に②2.5m ピッチ (測点 70~170m 間) の電気探査結果を示す。図-6 に示すように 5m ピッチでの測定の結果からは調査地の地質である yms (砂岩)、ymc (泥岩) の境界が距離程 120m 付近で確認されたものの、地下水の流れが分かる明瞭な低比抵抗帯は確認されなかった。一方で図-7 に示す②2.5m ピッチで実施した電気探査結果においては①5m ピッチで確認された地山の比抵抗値の違いのほか、測点 140~170m 間で表層付近に 40Ωm 以下の低比抵抗帯が確認され、岩盤中からの地下水が湧水している可能性が考えられた。

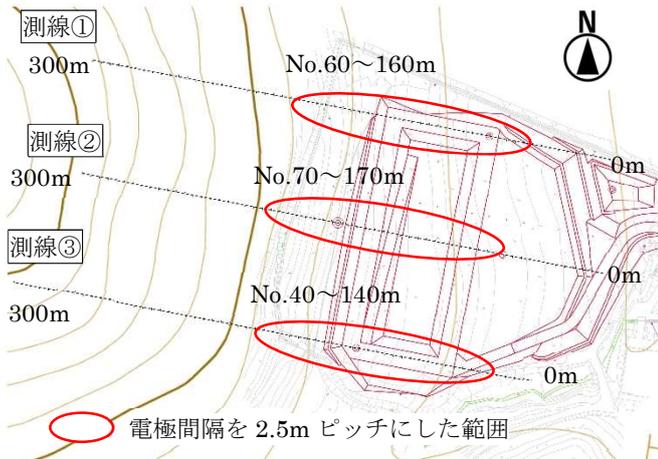


図-5 電気探査測線位置

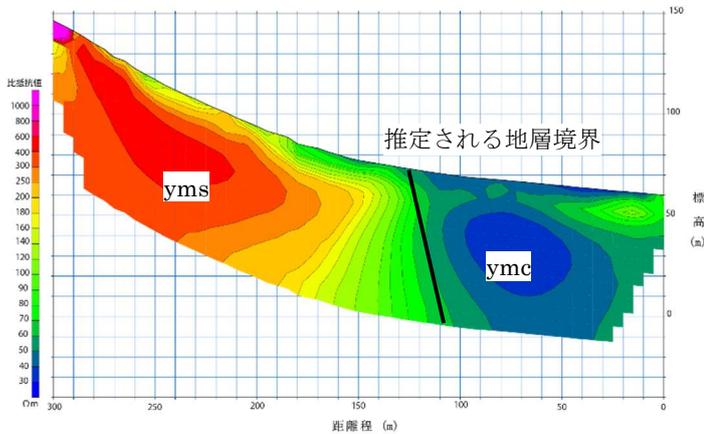


図-6 電極間隔 5m ピッチ

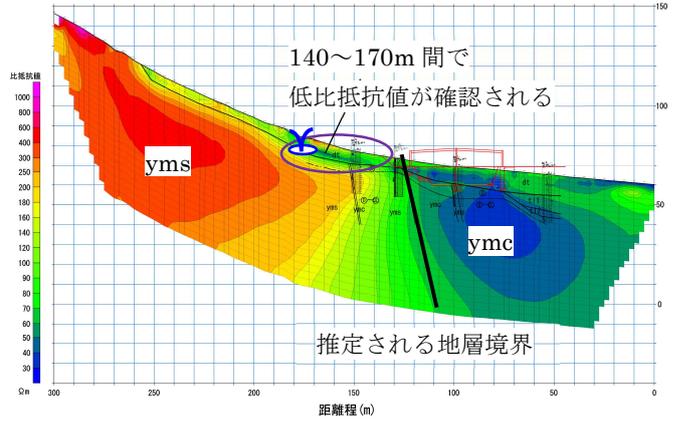


図-7 電極間隔 2.5m ピッチ

5. 考察

(1) 地下水流動メカニズムの推定

ボーリング調査、電気探査結果に基づき地下水流動メカニズムを推定した。模式図を図-8 に示す。調査地の地質は yms (砂岩) と ymc (泥岩) からなり、掘削箇所山側のり面付近で山側が yms、谷側が ymc 層の地層境界となる。ボーリング調査時には掘削底面付近の深度までは、yms に地下水が確認され、ymc には地下水は確認されなかった。このことから、山側の砂岩層を流動する地下水が谷側に分布する泥岩層や地層境界であるため、不均質な砂岩層が難透水層を形成し、山側地下水が湧昇水となり、地形変換点付近で湧水として湧出し土砂中の水面を形成していると考えられた。

(2) 掘削のり面に対する対応

掘削切土の山側では脆弱な砂岩が分布し、背面には岩盤中に高い地下水位がみられるため、山側の地下水位を低下させる横ボーリングによる水抜き対策を提案した。

6. おわりに

最終処分場の掘削工事はほぼ終了している。山側のり面は調査で確認された脆弱な砂岩層が出現した。横ボーリングによる対策後、横ボーリング孔からは地下水が写真-1 に示すように排水していることが確認され、斜面も現時点では安定している。



写真-1 横ボーリング孔の排水状況

今回の調査では寒冷地特有の地形地質を把握し、探査密度を上げた電気探査により精度よく地下水状況を事前把握することで安全に工事が行えたものと考えられる。

《引用・参考文献》

- 1) 産業総合研究所：図幅中湧別（1962）、遠軽（1991）

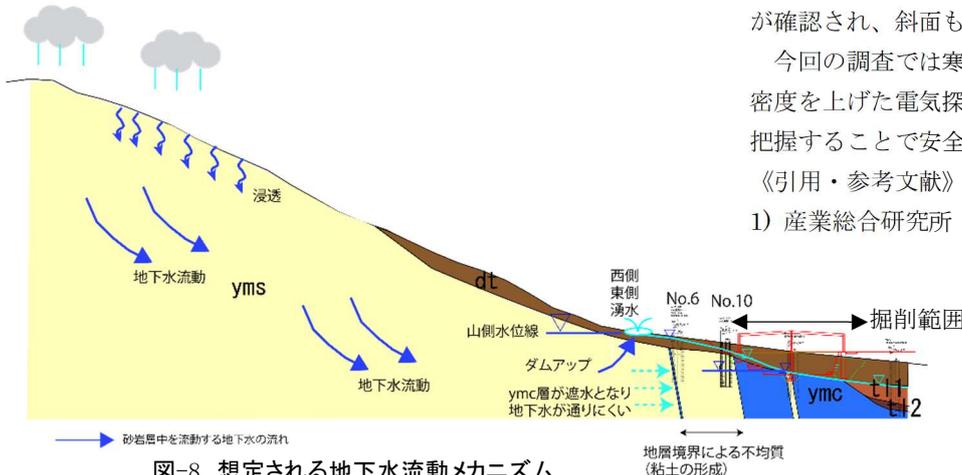


図-8 想定される地下水流動メカニズム

比抵抗二次元探査を用いた地下水系区分による水源開発事例

日本地下水開発株式会社 ○高橋 健太, 大沼 隆

1. はじめに

山形県西置賜郡飯豊町にて新規水道水源開発計画があり、計画地は水質が良好と期待される野川水系と、鉄分が多く水源としては不適切と推定される福田川水系との合流域のため、地下水の供給源を区分する水理地質構造を把握する必要があった。本報告では地下水賦存量や水質により変化する地盤の比抵抗値に着目して比抵抗二次元探査を適用して水理地質構造を把握し、水源井掘削地点を決定、掘削したところ、水量・水質共に良好な水源が得られた地下水源調査事例を報告する。

2. 調査地の概要

調査地は山形県南西部の長井・飯豊盆地の西縁に位置し、西方の朝日山地から流入する野川、福田川により形成された複合扇状地上に位置する。周辺には多数の深井戸、浅井戸が存在し、既存井戸の水質は、福田川水系は鉄分を含有し、野川水系は鉄分を含まない良好な水質の傾向にある。

図-1既往地質図によると、野川の後背地質は白亜紀花崗岩類、福田川の後背地質は新第三系凝灰岩・泥岩で異なる。このため、扇状地堆積物の礫種、マトリックスも後背地質を反映してそれぞれ異なることとなる。両水系の集水面積は野川水系の方が広い。

「宍戸ほか、2001³⁾」によると、一般に水道水質基準に不適合となる項目の頻度は鉄分が最も多く、色度・濁度・マンガンがこれに続く。鉄分は堆積岩類で出現頻度が高く、火山岩類で出現頻度が低い傾向にあるとされる。

したがって、地層の比抵抗値が地質のみならず、地下

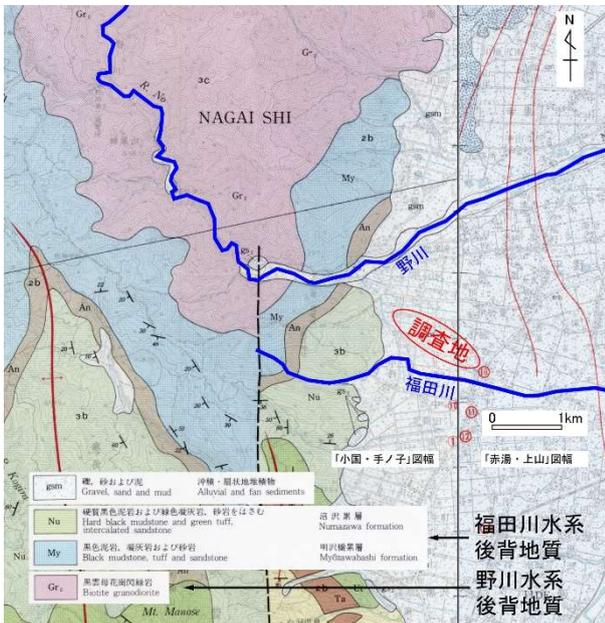


図-1 既往地質図¹⁾²⁾

水中の鉄分含有量の違いも反映すると考え、比抵抗二次元探査の適用を考えた。

3. 調査結果

(1)比抵抗二次元探査

対象地域の水理地質構造を詳細かつ連続的に把握するために、推定される地下水流動方向にほぼ直交する形で計6測線、延べ3.9kmの測線を設定し、比抵抗二次元探査を実施した。周辺井戸の揚水実績より、新水源井の深度は30~40m と想定されたため、電極間隔は5m、探査深度は50mとした。

図-2に比抵抗二次元探査の解析結果を示す。

図-3に地下水系区分図を示す。

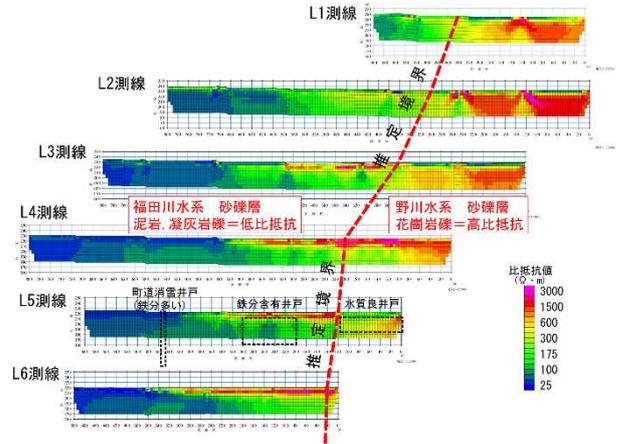


図-2 比抵抗二次元探査結果



図-3 地下水系区分図⁴⁾

全測線において終点側(野川側)に高比抵抗領域、始点側(福田川側)に低比抵抗領域の分布がみられた。

比抵抗値の違いは砂礫層の礫種およびマトリックスと含有水分の水質の違いによるものと推察され、野川水系

の礫種が花崗岩かつ水質良好＝高比抵抗，福田川水系の礫種が凝灰岩・泥岩かつ溶存成分（鉄分）過多＝低比抵抗であるためと考えた。

なお，周辺井戸の深井戸の電気検層データも上記区分と調和的であり，野川水系の井戸は高比抵抗，福田川水系の井戸は低比抵抗の傾向にあった。

周辺井戸の電気検層データでは福田川水系の砂礫層の比抵抗値は200Ωm以下となっていた。孔内にて電極間隔：0.25～1mの小スパンで測定する電気検層と地表計測にて電極間隔：5mで計測する比抵抗二次元探査では同じ地層であっても得られる見掛け比抵抗値は必ずしも同じではない。

このため，水道水源として利用することを考慮した安全側への配慮から，野川水系砂礫層（鉄少なく水質良好）と福田川水系砂礫層（鉄分が多い領域）との閾値を比抵抗値300Ωmと想定し，2系統の地下水系を区分した。

(2)水源開発適地の選定

水道水源を開発するにあたり，開発地の選定条件としては以下の4点が挙げられた。

- ① 水量が豊富である
- ② 水質が良好である（鉄分を含まない）
- ③ 周辺既存井戸への影響が最小限となる地点
- ④ 配水計画および用地取得などの設計・施工条件

以上を考慮して水源適地を選定した。（図-4参照）

地下水系区分より，野川水系が浅井戸・深井戸ともに鉄分を含まず水質良好と見込まれたが，周辺井戸への影響を考慮すると可能な限り既存井戸からの離隔を確保することが望まれた。図中では隣接する既存井戸より半径150m以上離れた区域を有望域として示した。

水量の条件としては東側（扇状地下流側）の方が優位と推定されるが，下流域には既存の井戸が多数分布するため揚水による影響は避けられないと推測された。また，周辺井戸には深度10m以下の浅井戸が多数を占めるため，これらに影響を及ぼさないためにも深井戸タイプの水源井が適当と考えた。

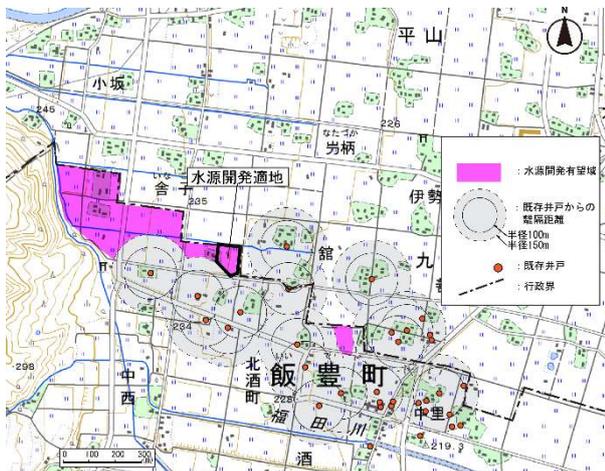


図-4 水源開発適地選定図⁴⁾

4. 試掘井、本設井の掘削結果

深度40mの試掘井と観測井を掘削し，揚水試験を実施し，合わせて観測井において地下水位の観測を行った。揚水試験時の観測井の水位データを用いて非定常式のCooper-Jacobの方法 ($s = \log(t/r^2)$)プロットによる直線勾配法)により水理定数を求め，以下の通り算定された。

- ・透水量係数T (m²/s) T : 1.02×10^{-2} (m²/s)
- ・透水係数k (m/s) k : 3.62×10^{-4} (m/s)
- ・貯留係数S : 8.00×10^{-6}

水理解析により求めた透水係数kより調査地での取水可能量を試算したところ，本設井として井戸口径350mm，深度40mの水源井を掘削した場合，井戸内水位低下s=5mで取水可能な量は $Q = 130\text{m}^3/\text{h}$ (=2.17m³/min)と試算された。

また，試掘井における水道水質基準（原水39項目）の水質分析結果は，全39項目とも基準値に適合する良好な水質であった。

以上の調査結果，検討結果より，本設水源井を掘削し，想定通り運用に十分な水量，良好な水質の地下水源を得ることができた。

5. まとめ

今回は比抵抗二次元探査が実際の地下水開発に適用された事例を紹介した。今回の調査により，水源開発箇所選定のための水理地質構造の把握方法として有効であることが再確認出来た。地下水は古来より利用され，我が国においても高度成長期には工業地域での水源確保を目的に数多くの利用がなされ，現在でも水道水源，農業用水，冷暖房の熱源など多方面で利用され，資源としての地下水の価値は近年世界的に高まっている。

比抵抗二次元探査は環境への悪影響に対する懸念が少ない非破壊的調査方法であり，ボーリングに比べて広範囲に短期間で実施可能な探査手法である。今後さらにフィールドでの経験を積み重ね，知識と実績を蓄積していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 5万分の1土地分類基本調査「小国・手ノ子」(1990) : 山形県
- 2) 5万分の1土地分類基本調査「赤湯・上山」(1983) : 山形県
- 3) 宍戸 政仁, 疋田 貞良, 伊東 佳彦, 鈴木 哲也, 二平 聡 (2001) : 北海道における農業用地下水開発, 北海道開発土木研究所月報No. 577, p12-20
- 4) 国土地理院地形図 (に加筆), (最終閲覧日2023年1月20日)