

地下水等調査結果に対する主な質問について、地下水等調査会委員に確認の上、同調査会としての回答を取りまとめました。

1 地質調査

(問1) 福井水源地付近の地層や地質の解析結果が、地下水等調査会と米子市水道局の資料で違っているのは、なぜですか。

(答)

米子市水道局の地質の解釈(大山山麓西部域の水資源、平成23年3月、米子市水道局)は、今回の調査で新たに掘ったボーリングの情報がないときのものです(例えば、固結粘土層によって第2、第3帯水層が分かれています)。

今回の地下水等調査では、計画地周辺でボーリングを12地点、地層の入念な露頭確認(現地踏査)を約100箇所を実施するなど広域的な調査を行うとともに、過去に国、県、米子市などが実施したボーリング調査の結果も最大限に活用し、これまでの文献資料とも十分照らし合わせながら、統一的な視点で地質を再区分(図1)し、従前の水道局の地質区分を更新しました。

なお、水道局のボーリングは水源を開発するため、深度ごとの湧水量に着目して実施されたものであり、地質構造を解析するために実施した今回のボーリングとは目的、精度が異なるため、今回の解析にそのまま反映することは適切ではないため、参考情報(調査の方針・計画立案時の検討に活用等)としての利用に留めています。

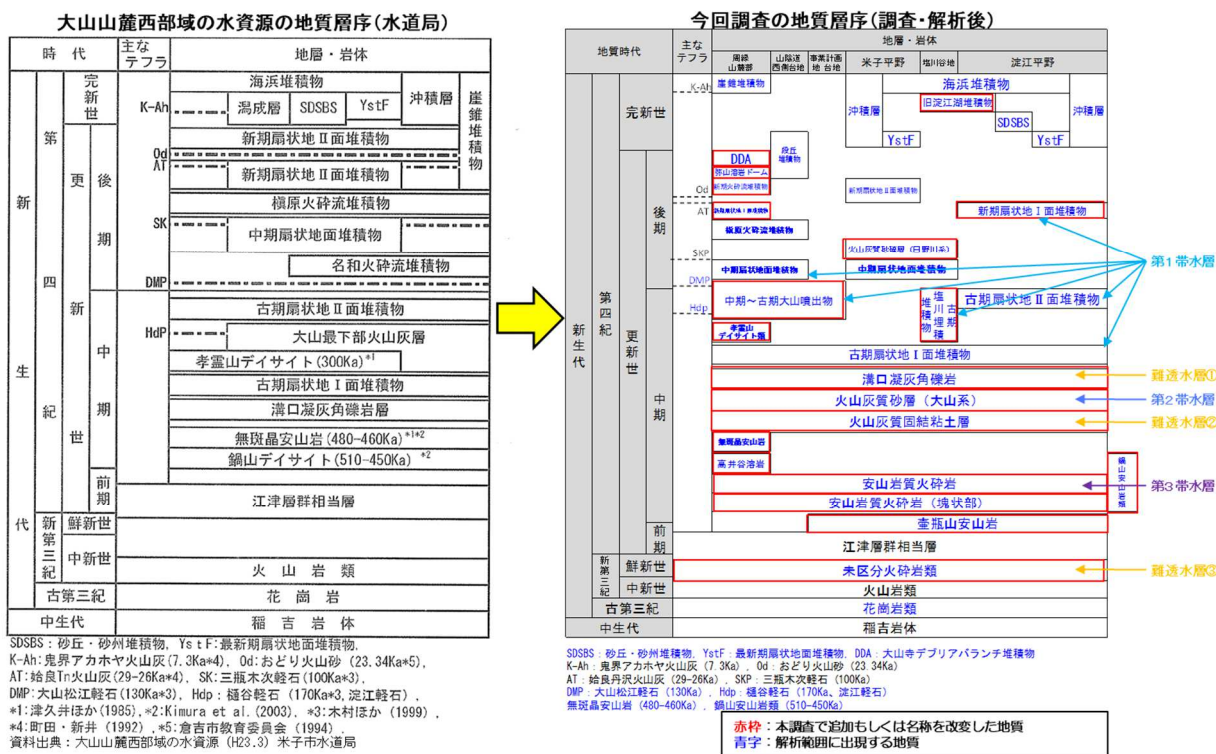


図1 解析範囲の地質層序(結果報告会資料3 9ページに加筆)

(問2) 第2と第3帯水層間を隔てる難透水層(火山灰質固結粘土層)が全域に張り付いているとの結果ですが、No.11のボーリング柱状図には固結粘土層の記載がありません。また、粘土層といっても、難透水層とは限らないのではないですか。

(答)

今回の地下水等調査では、ボーリングコアの現物を統一的な視点(層序、色、硬さ、深度など)と比較して固結粘土層の存在を把握したうえで、以下の根拠により、この固結粘土層は連続性がよいこと、極めて遮水性が高いことを確認しました。

- ①福井水源地での揚水に合わせ、第3帯水層の地下水位が大きく脈動（揚水時に水位が下がり、停止で水位が回復）したが、第2帯水層では顕著な脈動が確認されず、第2、第3帯水層の水位変化が異なること。

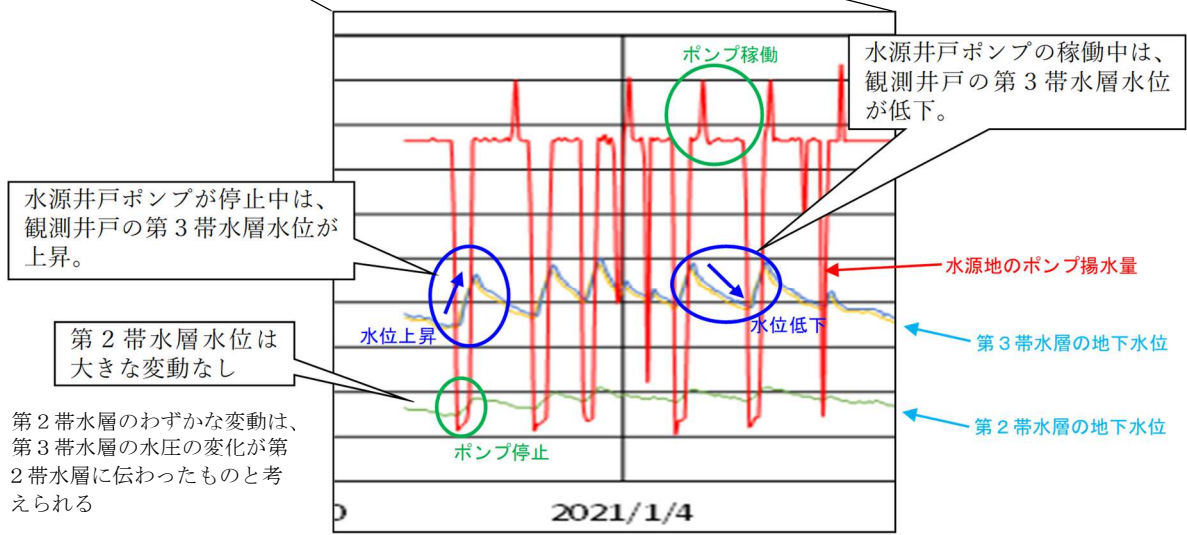
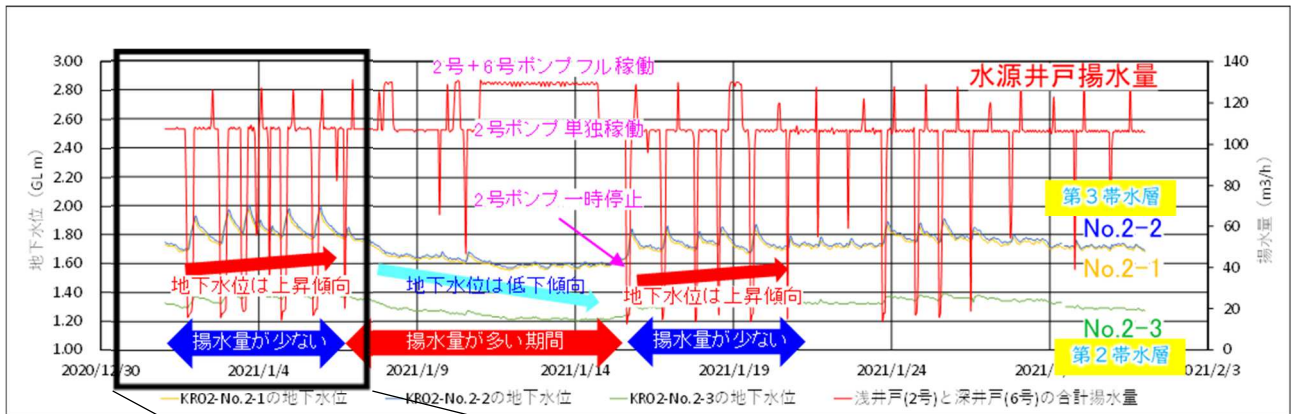


図2 観測井戸 (No. 2) 地下水位の脈動と福井水源地の揚水量 (結果報告会 資料3 63 ページに加筆)

- ②水質調査で、地表から供給される硝酸イオンは第2帯水層の地下水においても確認されるが、第3帯水層ではほとんど確認されないこと。

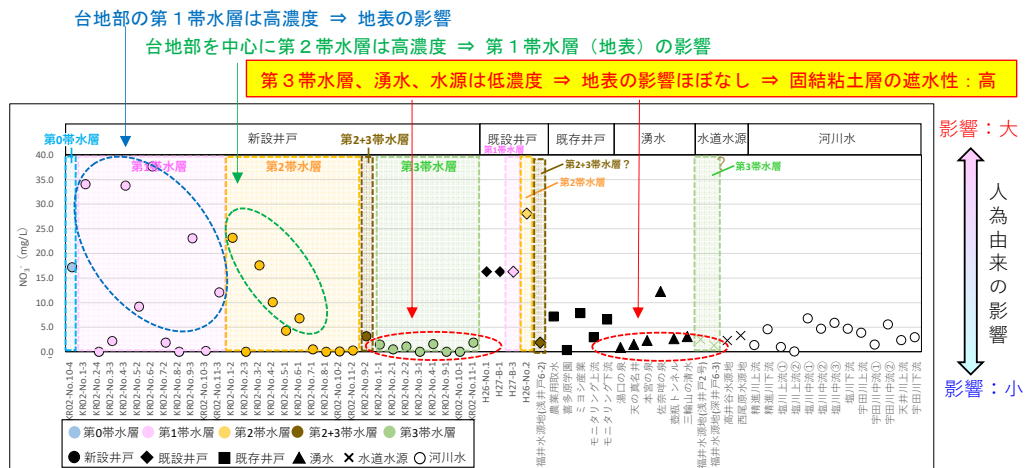
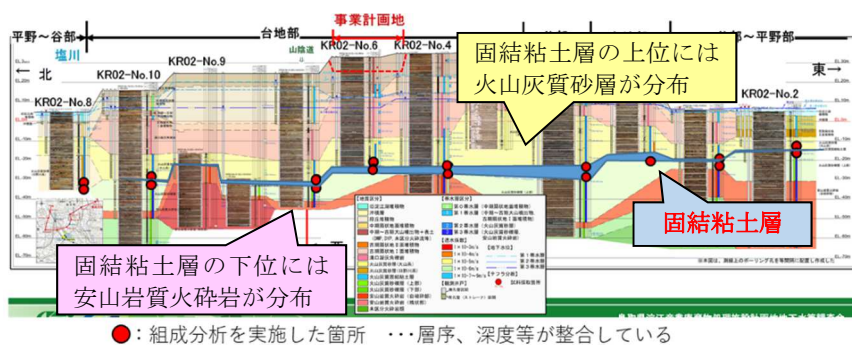


図3 硝酸イオン濃度 (結果報告会 資料3 70 ページに加筆)

③各ボーリングの固結粘土層について組成分析（粒度組成・鉱物組成）を行ったところ、上方粗粒化（上部層ほど粒子径が大きいこと）や含まれる鉱物の種類・量の分布の傾向が一致しており、同一地質であると判断されたこと。



●：組成分析を実施した箇所 …層序、深度等が整合している



□：組成分析により固結粘土層を確認した地点
⇒固結粘土層が広く分布

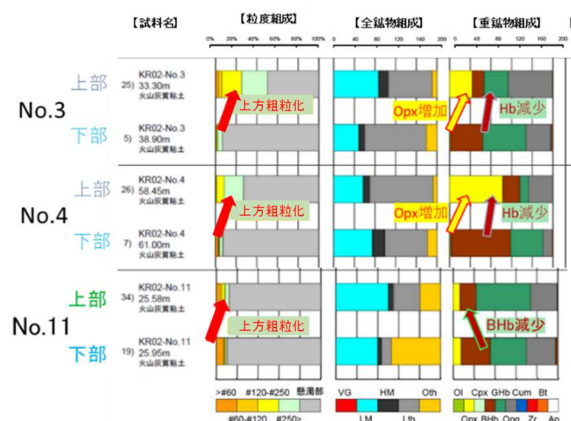


図4 組成分析結果等（第4回調査会 資料 61～64 ページに加筆修正・抜粋）

④No. 11 ボーリングコアを統一視の視点（層序、色、硬さ、深度など）で比較して固結粘土層の存在が確認できること。

- ・柱状図には火山灰によるものであることから「凝灰岩」と記述されているが、コアは記事のとおり風化して固結粘土状を呈していること。
- ・他の地点と同様に、上位の火山灰質砂層、下位の安山岩質火砕岩の間に分布していること。
- ・③のとおり組成分析で他地点の固結粘土層と同一地質であることを確認したこと。
⇒ 「固結粘土層」と評価した。

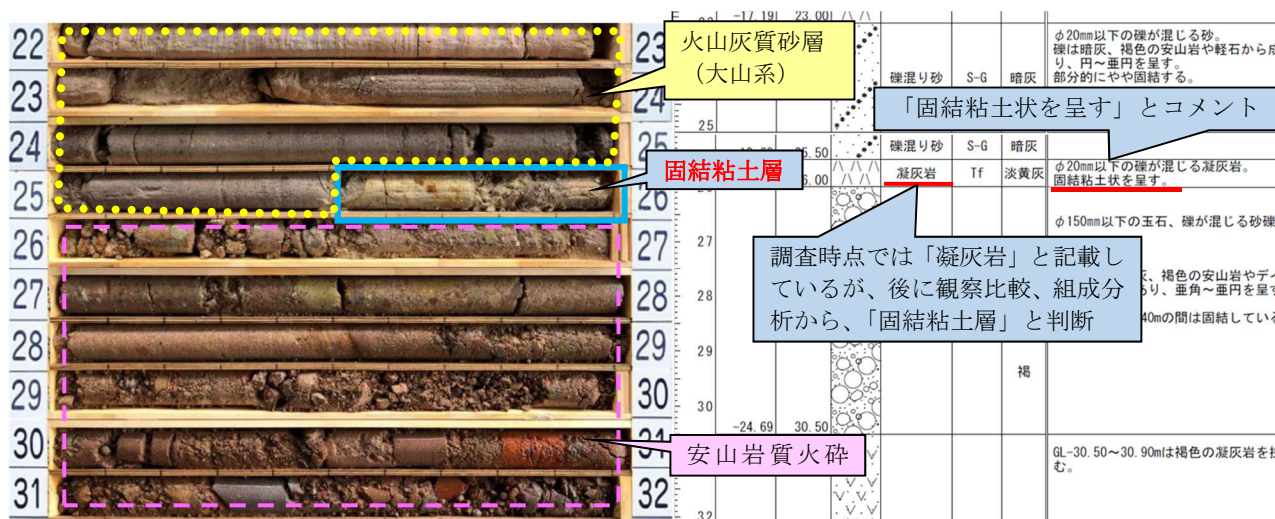


図5 左：No11 ボーリングコア（第4回調査会 参考資料 36 ページに加筆）、右：No. 11 柱状図

⑤各地層の透水係数にはバラツキがあるが、固結粘土層は今回確認した地層の中で最も低く、透水性は非常に低い（地点によっては実質上不透水）レベルにあること。

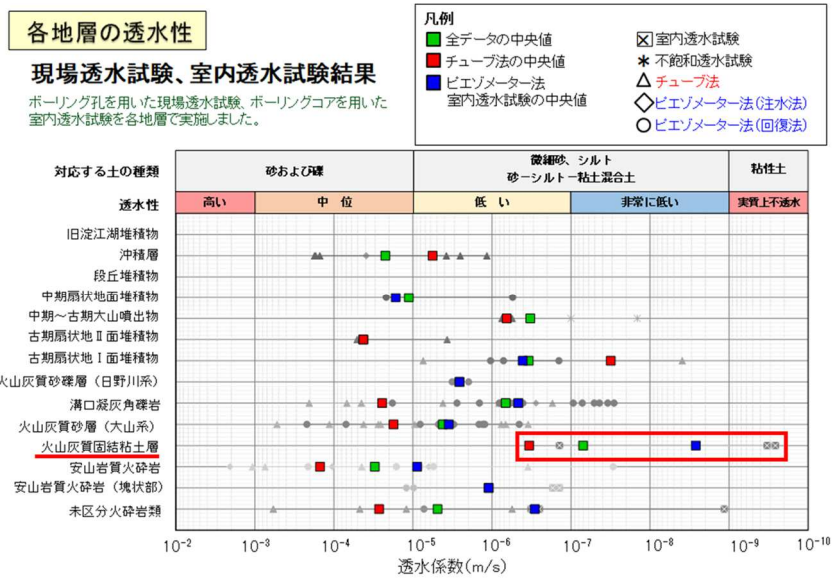


図6 各地層の透水係数（結果報告会 資料3 45ページに加筆）

（問3）第2・第3帯水層間の難透水層（火山灰質固結粘土層）が、米子市水道局の福井水源地のボーリング資料に記載されていないのは、なぜですか。

（答）

地質構造を正確に解析するためには、礫（石ころ）の隙間を充填している粘土や細かい砂もきちんと採取したコア試料の現物で、地層の成り立ちを含め判断する必要がありますが、水道局のボーリングは、水源を開発するため深度ごとの湧水量に着目して実施されたもので、目的、精度が異なります。

今回の地下水等調査では、地質構造を正確に解析するため、連続した地質試料を採取するオールコアボーリングで粘土や砂を流出させないように丁寧に地質試料を採取しました。一方、水道局の福井水源地敷地内のボーリングは、連続した地質試料を採取しないノンコアボーリングで作成されたもので、正確な地質構造を把握することはできません。

また、水道局の別の調査で採取されたオールボーリング（H20-No.1）のコア（地質試料）についても、地質構造を解析することを目的としていないため、コアの採取率が低く、礫の隙間を充填している粘土や細かい砂は流出しています。

このため、水道局のボーリングデータでは、地質構造を正確に解析することはできません。従って、地下水等調査では参考情報としての利用に留めました。なお、固結粘土層については、問2の回答のとおり、福井水源地を含む計画地周辺に広く連続して分布していることが確認できます。

項目	地下水等調査のボーリング 【No.2（福井水源地近傍）】	水道局のボーリング 【H20-No.2（福井水源地敷地内）】
調査時期	令和2年	平成20年
調査目的	地下水の流向調査のための地質構造解析	淀江で安定取水できる水源の開発
観察状況	掘り上がった新鮮な状態を観察	土質サンプルは所在不明
ボーリング グコア	<ul style="list-style-type: none"> ・棒状で欠落箇所がない ・石と石の隙間の粘土をすべて採取 <p>※赤枠部分は、第2・第3帯水層を分ける固結粘土層</p>	<p>ノンコアボーリングのためコア（連続した地質試料）は採取されていない。</p>

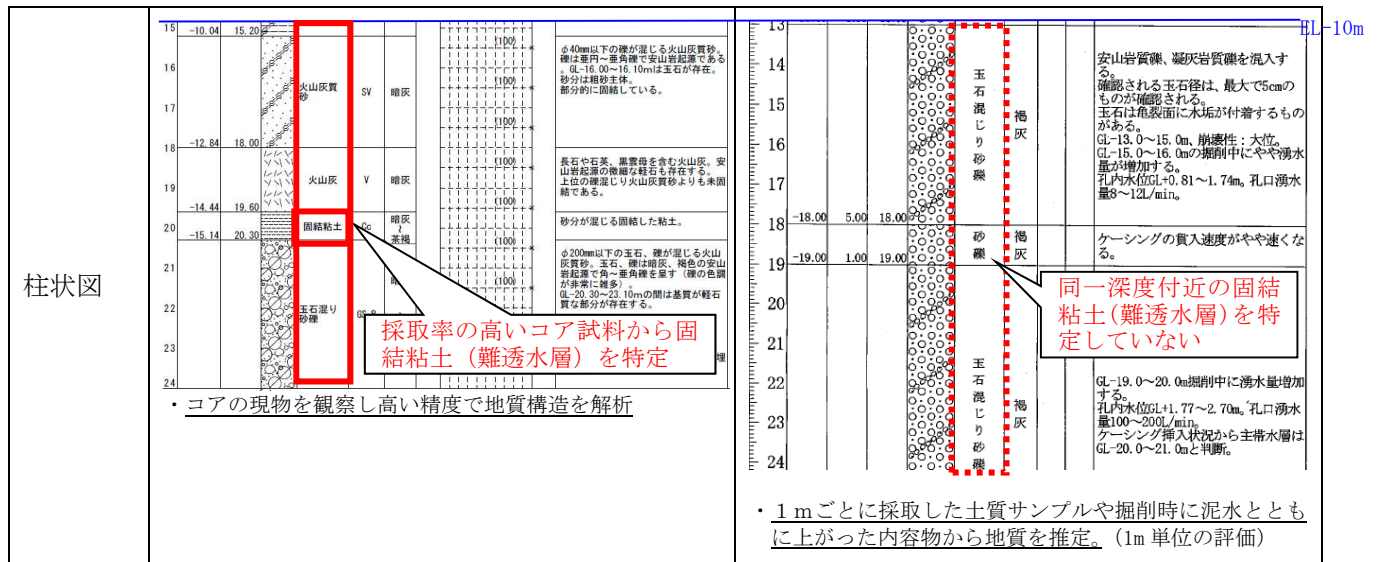


図7 地下水調査と水道局のボーリングの違い



図8 ボーリング地点図

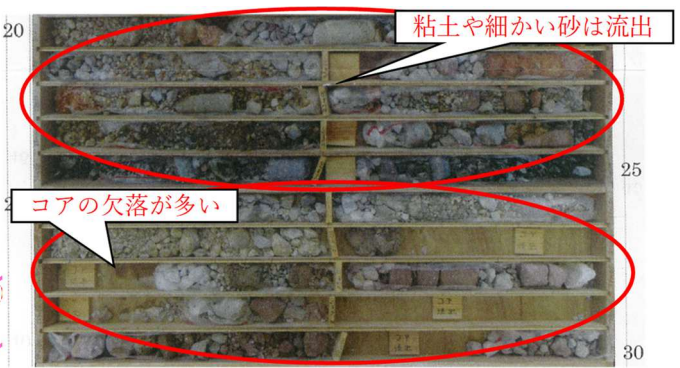


図9 水道局のボーリングコア（H20-No.1）

（問4）「計画地」及び「福井水源地」で、なぜボーリング調査が行われなかったのでしょうか。

（答）

これまでのボーリング情報を最大限活用した上で、更に情報を補完するため、周辺（計画地は上下流左右岸4地点、福井水源地は上流2地点）で新たにボーリング調査を実施し、必要十分な水理地質情報（地質、水質、水位変動等）を得ており、調査に支障はありませんでした。

2 シミュレーション

(問5) 計画地にある事業者の観測井戸 (H26No. 1、H27B-1) を、途中でシミュレーション解析から外したのは、なぜですか。

(答)

当該井戸についてはストレーナー (取水箇所) が第1帯水層から難透水層に渡って設置されており、第1帯水層の水位観測用に設けた他の井戸の水位変動とずれが生じていると判断されたことから、シミュレーションの解析には使わないこととしたものです。

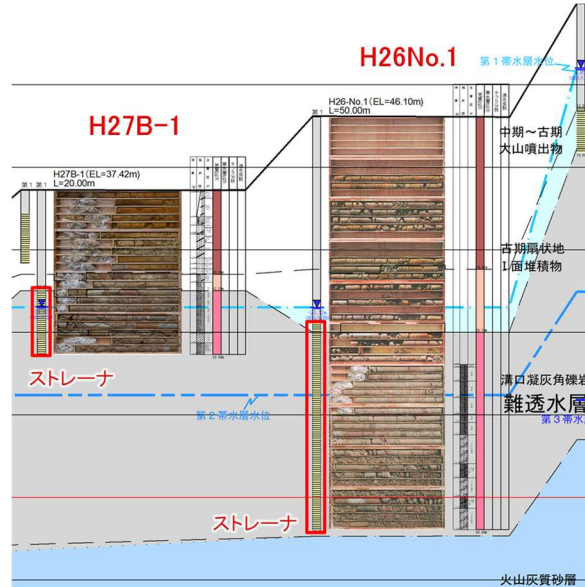


図 10 H26-No. 1 と H27-B-1 に関して (第7回調査会 資料2 18 ページ)

(問6) シミュレーションのモデルは、中身のわからないブラックボックスで、都合よく計算がされることはないでしょうか。

(答)

シミュレーションでは、地質調査、水文調査、水質調査等で得られたデータを整理し、客観データに基づく水理地質情報を組み込んだ3次元のシミュレーションモデルを構築した上で、解析結果 (計算値) と観測結果 (観測値) が整合するまで繰り返し修正作業を行い、再現性の高いシミュレーションモデルを得ました。

シミュレーションは、地下水調査の分野ではよく知られた物理法則 (ダルシーの法則、質量保存の法則など) に則り、コンピュータを用いて地下水の流れを解析したもので、その仕組みは明らかであり、ブラックボックスではありません。

※ ダルシーの法則 ($v=IP$): 地下水の流速 (v) は、透水係数 (P) と動水勾配 (I) による。

※ 質量保存の法則: 水の質量は、流動に伴い変化しない。

仮に流線図を恣意的に操作しようとした場合、シミュレーションモデルに手を加える必要があり、他のデータに影響を及ぼす (例えば、地下水位の再現状況を確認するグラフの整合性が悪くなる) こととなります。

今回の調査では、当然、恣意的な操作等を行っておらず、地下水位の再現状況を確認するグラフ (図 11) は、いずれの地点においても、地下水位の計算値と観測値の差が少なく、全体が良く整合していることを示しています。

※ 地下水位の再現性のグラフでは、計算値と観測値の差が少ないほど、45度の斜線に近づきます。

※ RMSE (二乗平均平方根誤差) は、観測と計算の誤差が少ないほど、値が小さくなります。

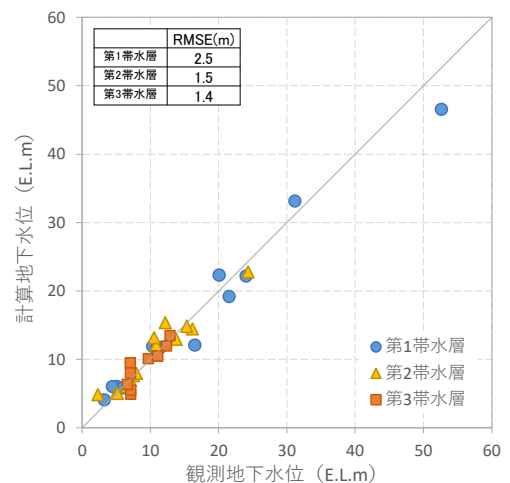


図 11 地下水位の再現性 (結果報告会 資料3 84 ページ)

(問7) 第2、第3帯水層間は、難透水層(火山灰質固結粘土層)で遮水されているとのことですが、「計画地周辺の水収支図」では、第2から第3帯水層にわずかに浸透する結果になっているので、計画地から浸透した地下水が第3帯水層に影響するのではないですか。

(答)

次の理由から、第2・第3帯水層間にある難透水層(火山灰質固結粘土層)は、極めて遮水性が高く、連続性が良いことを確認しています。(問2の回答を参照)

- ①福井水源地での揚水に合わせ、第3帯水層の地下水位が大きく脈動(揚水時に水位が下がり、停止で水位が回復)したが、第2帯水層では顕著な脈動が確認されず、第2、第3帯水層の水位変化が異なること。
- ②水質調査で、地表から供給される硝酸イオンは第2帯水層の地下水においても確認されるが、第3帯水層ではほとんど確認されないこと。
- ③各ボーリングの固結粘土層について組成分析(粒度組成・鉱物組成)を行ったところ、上部粗粒化(上部層ほど粒子径が大きいこと)や含まれる鉱物の種類・量の分布の傾向が一致しており、同一地質であると判断されたこと。
- ④No. 11 ボーリングコアを統一的な視点(層序、色、硬さ、深度など)で比較して固結粘土層の存在が確認できること。
- ⑤各地層の透水係数にはバラツキがあるが、固結粘土層は今回確認した地層の中で最も低く、透水性は非常に低い(地点によっては実質上不透水)レベルにあること。

「計画地周辺の水収支図」は、シミュレーションモデルを用いて計画地周辺での帯水層間の流動や鉛直方向の移動の大小を表した図で、これによれば、帯水層内で卓越している水平方向の流れに対し、鉛直方向の帯水層間のやりとりは極めて少ないことがわかります。このような状況下で仮に地表から浸透した地下水が第3帯水層へ降下浸透することを想定した場合、浸透する地下水は各帯水層で貯留されている地下水や帯水層を伝わって横方向から流入する多量の地下水により希釈されるため、その量的な影響は非常に少なく、計画地から涵養された地下水が第3帯水層の地下水に与える影響はほとんどないと考えられます。

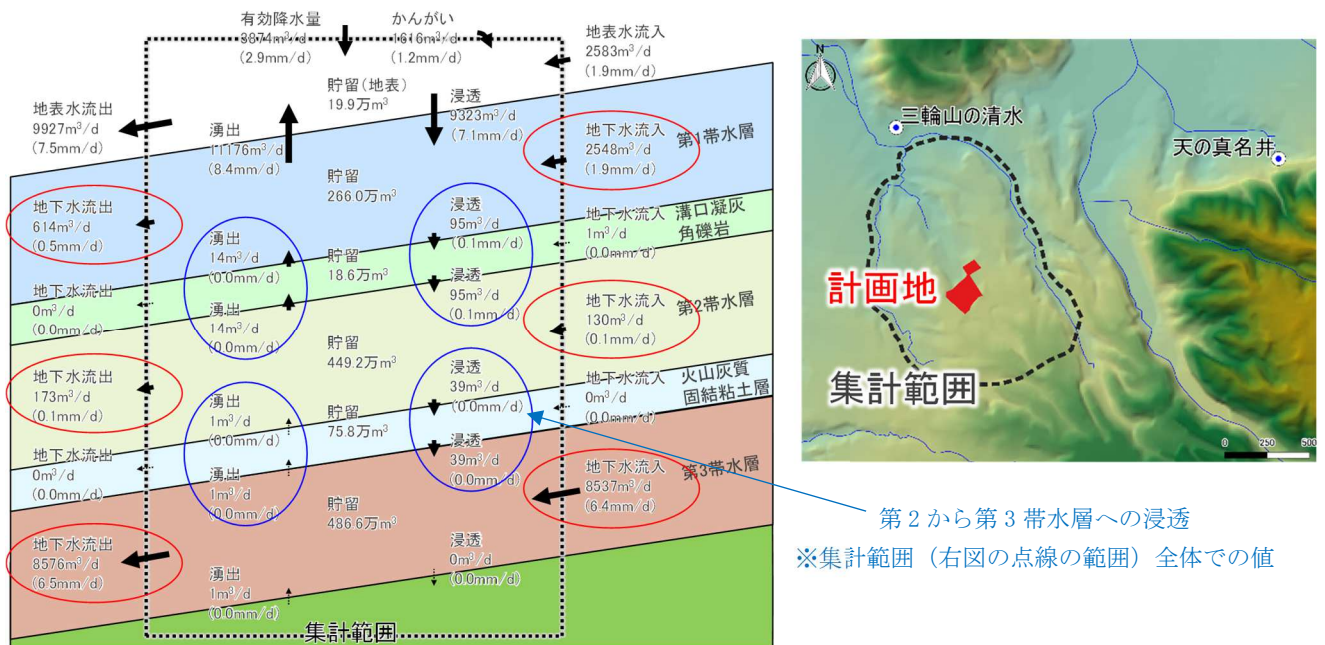


図12 計画地周辺の水収支(結果報告会 資料3_98ページに加筆)

3 地下水の流向

(問8) 第3帯水層の地下水位は、計画地付近の地点「モニタリング上流」では13.62m、福井水源地方向のNo.4-1では12.33mとなっています。水は水位が高い方から低い方に流れるので、計画地から福井水源地方向に流れるのではないのでしょうか。

(答)

今回の地下水等調査では、各帯水層の正確な地下水位を観測するため、各地点に帯水層ごとにストレーナー(取水箇所)を有する井戸を2本から4本設置し、各帯水層の地下水位の観測を行いました。

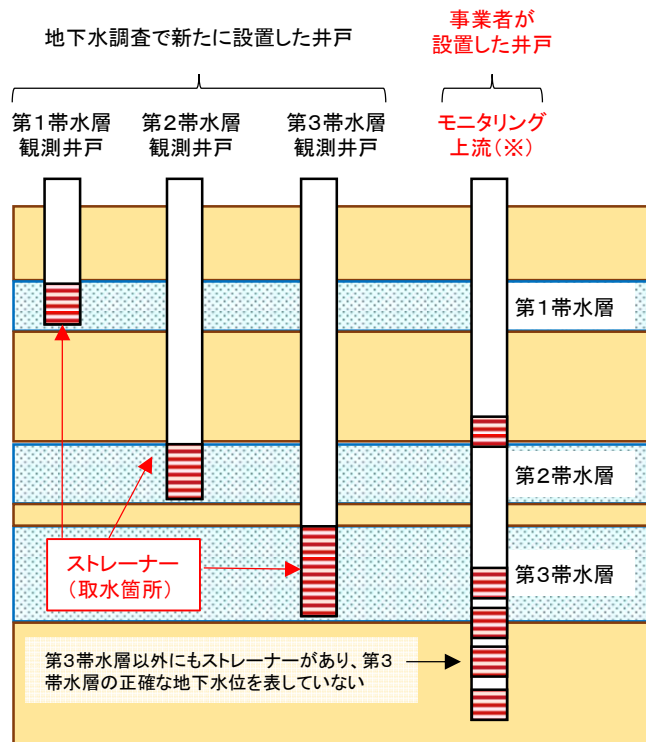
「モニタリング上流」は、一般廃棄物処分場の既存井戸ですが、この井戸には複数(5箇所)のストレーナーがあり、上位の帯水層の影響を受け、第3帯水層の正確な地下水位を反映していないと考えられます。また、13.62mは、今回の地下水等調査で観測した水位ではなく、井戸整備時(平成8年)に一度だけ観測された水位です。

仮に「モニタリング上流」の地点に、第2、第3帯水層それぞれに個別の観測井戸を設けた場合、マルチスクリーン(複数のストレーナー)状態の現在の井戸とは水位が異なると考えられます。周辺の帯水層水位特性から類推すると、第2帯水層観測井戸の水位の方が第3帯水層観測井戸の水位よりも高い値が示され、さらに第3帯水層井戸の水位は、第2帯水層の影響が加味されている現在のマルチスクリーン井戸の水位よりも低い値になると考えられます。

以上の理由から、他の観測井戸の地下水位と同等の観測情報として、この値で地下水の流向を評価することは適切ではないため、参考値としての利用に留めました。

※参考値:数値の測定方法や時期・期間等を勘案した上で、解析結果の概ねの整合状況を把握するために参考にした値

なお、地下水等調査では、計画地を挟み込む形で配置したボーリングによる水理地質情報及び観測データを用いて詳細なシミュレーション解析を行いました。その解析結果は、観測結果に基づく各種分析(水位等高線図、水質調査等)の結果とも整合した科学的に信頼性が高い結果であり、シミュレーション解析で示された流線図では、問9の回答のとおり、計画地と福井水源地の間に地下水の分水界があり、計画地から涵養された地下水は福井水源地には向かっていません。



※ モニタリング上流井戸は、一般廃棄物処分場の水質モニタリングのための井戸であり、地下水位を観測するための井戸ではない。

図13 ストレーナーのイメージ図

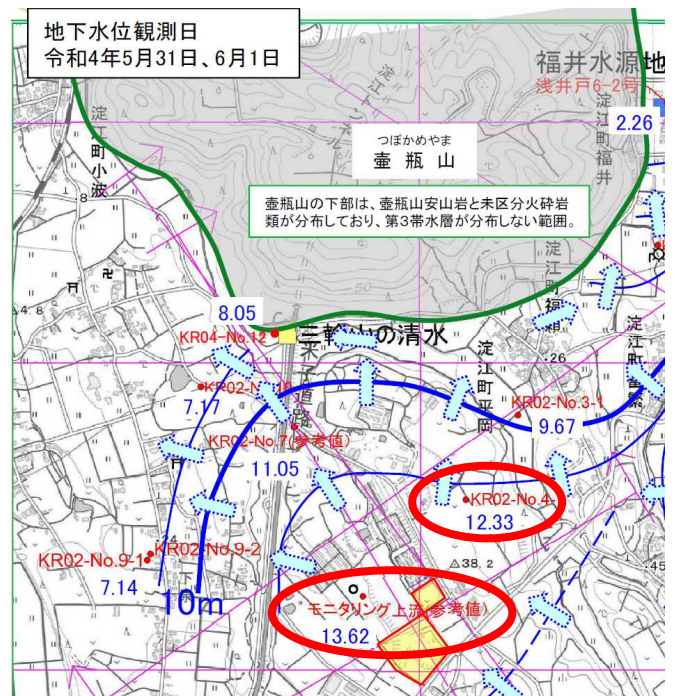


図14 観測井戸の位置図
(結果報告会 資料3 54ページに加筆)

(問9) 計画地で涵養された地下水は、計画地の東側に地下水の流れの境界である「分水界」があって、福井水源地や三輪山の清水に流れないとのことですが、「分水界」はどのように設定されたものなのでしょうか。

(答)

異なる水系の境界を「分水界」と言い、地下水にも地表同様に流れの境界である「分水界」が存在しています。今回の地下水等調査では、観測地下水位より作成した「地下水位等高線図(コンター図)」から読み取れる定性的な地下水の流れの向きと、シミュレーションで解析されたコンターを重ねた「流線図」から地下水の分水界を確認することができます。(地表面上の分水界は、地形図(地表面等高線図)を描くことで確認することができ、その実態は降雨に伴う地表水の流れで把握することができます。地下に存在する地下水の流れは直接見ることはできませんが、地下水の分水界については、地下水位の等高線図を描くことで確認することができるという点では同じ考え方に基づいています。)

地下水等調査会では、両者から読み取れる分水界(壺瓶山にぶつかって東側に流れる流域と西側に流れる流域の境目)が概ね整合しており、計画地より東側に第3帯水層の分水界が存在すると結論付けました。

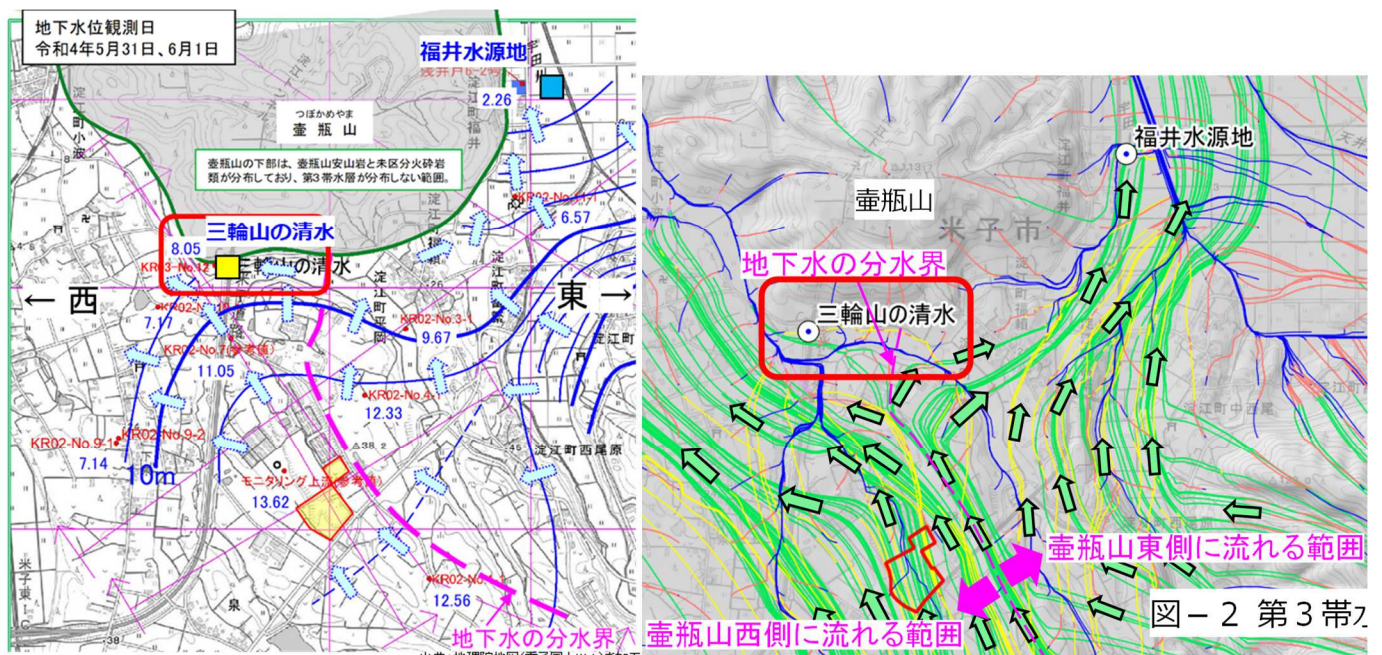


図15 左：地下水位等高線図、右：流線図（いずれも第3帯水層）（結果報告会 資料3_119~120 ページに加筆等）

4 結果のまとめ

(問 10) 「福井水源地には懸念材料はない」、「三輪山の清水は影響を及ぼす可能性は極めて低い」との結果ですが、福井水源地には本当に懸念がないのでしょうか。三輪山の清水は何が懸念材料だったのでしょうか。

(答)

福井水源地は、計画地の地下水が向かっていないことに加え、遮水効果の高い固結粘土層が効いており懸念はないとの結果です。

一方、三輪山の清水は、計画地の地下水は向かっていませんが、遮水効果の高い固結粘土層を確認していないため、可能性は極めて低いという結果になったものです。

(問 11) 大地震が起きれば、前提条件がすべて崩れてしまい、調査結果が永久的に正しいと言えないのではないのでしょうか。

(答)

地下水等調査は、現在の地下水の流れを調査したのですが、地層が形成されて以降、大地震が数十回以上あったと考えられますが、計画地周辺には活断層による地形の変形もなく、地層のずれも認められません。地震により一時的な水位変化は起こり得ますが、揺れただけでは地下水の流れは変わらないと考えています。

(問 12) 調査エリア全域にボーリング調査されれば、より信頼できる結果が得られるのではないですか。

(答)

地下水等調査では、地下水学の技術を駆使し、これまでのボーリング等の情報を最大限活用し、更にそれを補完する追加のボーリングを行いました。このボーリングの分布密度は、通常の地下水調査研究での調査観測ボーリングの分布密度をはるかにしのぐ高い密度（水平及び深度方向の双方について）であり、必要十分な情報を得ています。

その上で、シミュレーションを行い、その結果は観測した水文・水質情報と整合していることから、ボーリングで得られた点と点の間を含む三次元の地下の実現象を再現（解析）しており、科学的に十分信頼できる結果です。

5 その他

(問 13) 結果報告会で「計画地の第1帯水層の地下水は、計画地の谷を流れて塩川に合流する」ということでしたが、塩川を利用する農業に影響があるのではないのでしょうか。

(答)

地下水等調査は、計画地の地下水の流向等を把握することを目的とし、計画地の地下水が福井水源地へ影響しないか確認するために調査会の議論を経て、その手法として計画地周辺を含む広域の地下水の流れを解析し、科学的に信頼性の高い結果を得たことから、調査の目的を達成しました。

調査結果から、計画地から涵養された地下水は、主に計画地下流の谷部へ流出し、塩川で混合流下しつつ海に至ると想定されますが、前述の理由からこれ以上の調査を実施する予定はありません。

なお、施設の塩川への影響については、事業者において対応を検討されるものと承知しています。（廃棄物処理法に基づく設置許可申請書の提出があれば、当室が厳正に審査することとしています。）

(問 14) 第3帯水層が「貯水盆」とのことですが、お盆のような形は断面図からは読み取れません。どのような形状をしているか、全体のイメージを示してもらえませんか。

(答)

「地下水盆」という用語は、水理地質学的な用語で、水文地質学の分野では「地下水域」という言い方をしています。学問の成り立ちが地質構造を重視する地質学からのスタートか、水文循環を重視する水文学からのスタートかの違いによるもので、本調査地域のように盆地構造を示さない帯水層が多く存在することから、現在も論争の種となっている用語です。本調査地域のようなケースでは、第三帯水層を構成している安山岩質火砕岩の分布域そのものが地下水域となっていると解釈しています。