

淀江産業廃棄物処理施設計画地地下水等調査 結果概要

- 県では、公益財団法人鳥取県環境管理事業センターが産業廃棄物処理施設の設置を計画している米子市淀江町地内の土地（以下「計画地」という。）について、地下水の流向等を把握するための調査を実施しました。
- 調査は、鳥取県淀江産業廃棄物処理施設計画地地下水等調査会条例に基づき設置した鳥取県淀江産業廃棄物処理施設計画地地下水等調査会（以下「調査会」という。）において策定した調査計画に沿って実施し、調査会において結果を評価していただきました。
- この冊子は、調査会の監修のもと、結果概要を取りまとめたものです。

I 調査の流れ

- (1) 地質調査、水文調査、水質調査を行い、得られた結果を用いて地下水の3次元シミュレーションを行い、地下水の流れを解析しました。
- (2) 地下水の3次元シミュレーションの解析に加え、地質、水位、水質による解析などとも合わせ、地下水の流れを総合的に評価しました。

地質調査

- ・ボーリング調査で、地質や地下水の分布状況などを調査しました。
- ・現地踏査や過去のボーリングデータも合わせて解析し、地域一帯の地質の状況などを把握しました。



水文調査

- ・ボーリング調査の孔を活用した井戸などで、地下水位を連続観測し、地下水位の変動などを把握しました。
- ・河川流量を連続観測し、地下水位の観測結果とともに、シミュレーション解析の基礎データとしました。



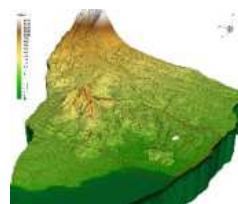
水質調査

- ・地下水、湧水、河川水を採水して、水に含まれる成分の濃度などを測定しました。
- ・水質の類似性・相違性などから、地下水のつながりや関係性を解析しました。



3次元シミュレーション

- ・各調査で得られたデータを基に地下水の3次元シミュレーション（※）で、地下水の流れを再現しました。
- （※）コンピュータを用いて地下水の流れを再現する解析方法（12ページ参照）



総合評価

- ・シミュレーションや水質による解析などから、地下水の流れを総合的に評価しました。

2 調査・解析範囲

(1) 計画地周辺の地下水の流向を詳細に解析するため、地形上、水の出入りが少ないと考えられる、東は孝霊山、西は佐陀川、南は精進川、北は日本海に囲まれたエリアを「詳細解析範囲」としました。

(2) 詳細解析範囲の周辺からの地下水の出入りをより厳密に設定するため、南側を清山川から大山山頂(弥山)までのエリアを「広域解析範囲」としました(図1)。



図1 解析範囲

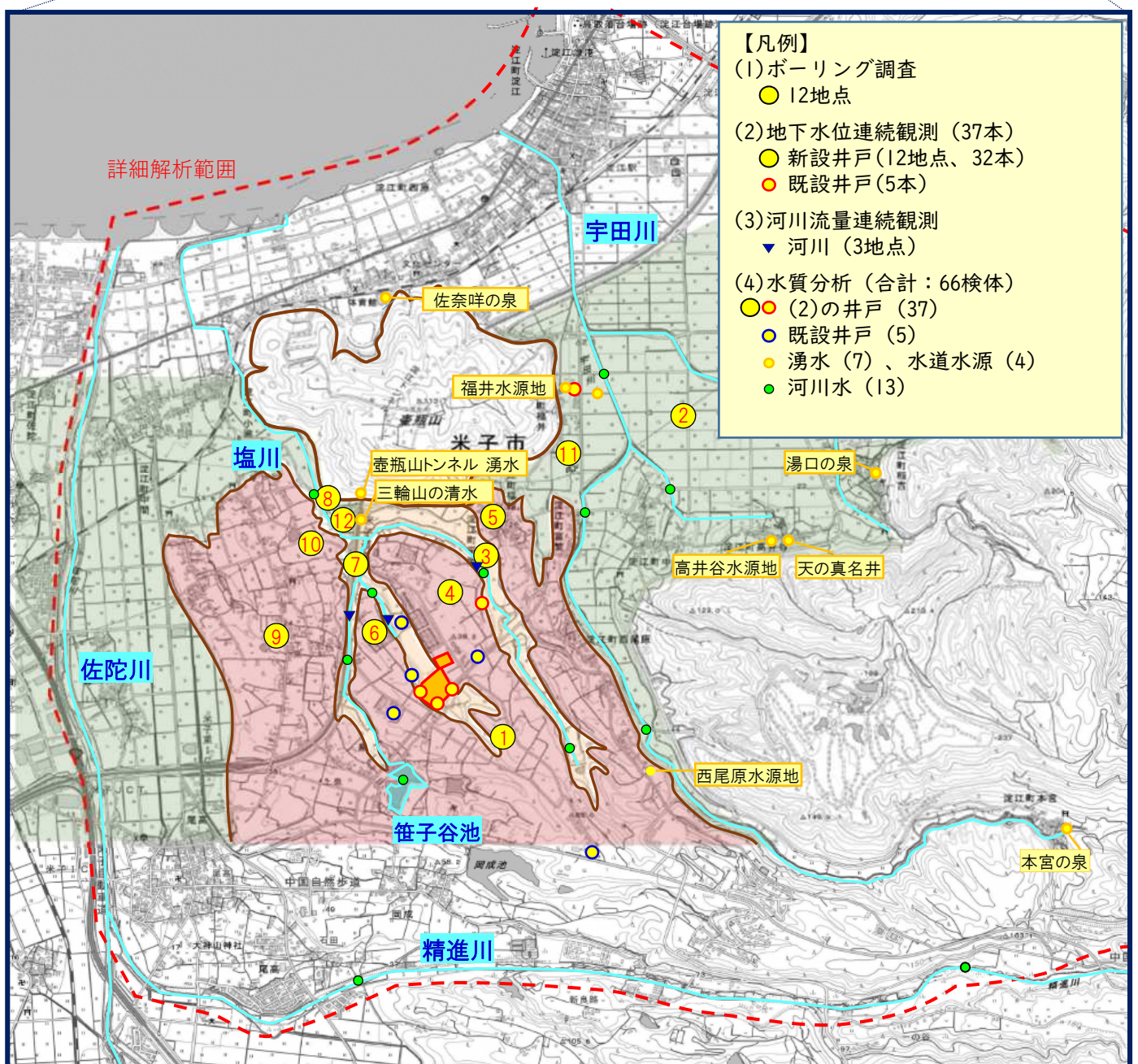


図2 調査地点図

3 調査内容及び調査地点

主な調査内容及び調査地点は、次のとおりです。

(1) 地質調査

○ボーリング調査（12地点、図2）

- ・12地点で、地質サンプルを採取するボーリング調査を実施し、地質や地下水の分布状況などを把握しました。
- ・①～③は、パイロット調査で先行実施し、地域の大まかな水理地質構造を把握した上で、その他の調査地点を決定しました。
- ・⑫は、「三輪山の清水」への追加調査として実施しました。

○地表地質踏査（93地点、図3）

- ・露頭（岩石や地層が地表に現れている所）などを調査し、ボーリング調査などで得られた地質情報と照らし合わせ、地域一帯の地質分布・地質構造を把握しました。

(2) 水文調査

○地下水位連続観測（37本、図2）

- ・全ボーリング地点において、帯水層ごとに観測井戸（32本）を設置し、地下水位を連続観測しました（既設井戸（5本）でも実施）。

○河川流量連続観測（3地点、図2）

- ・計画地周辺の河川で流量を連続観測しました。

(3) 水質調査

○水質測定（66検体、図2）

- ・地下水、湧水、水道水源、河川水の水質を測定し、水質の特性から地下水のつながりや関係性を解析しました。

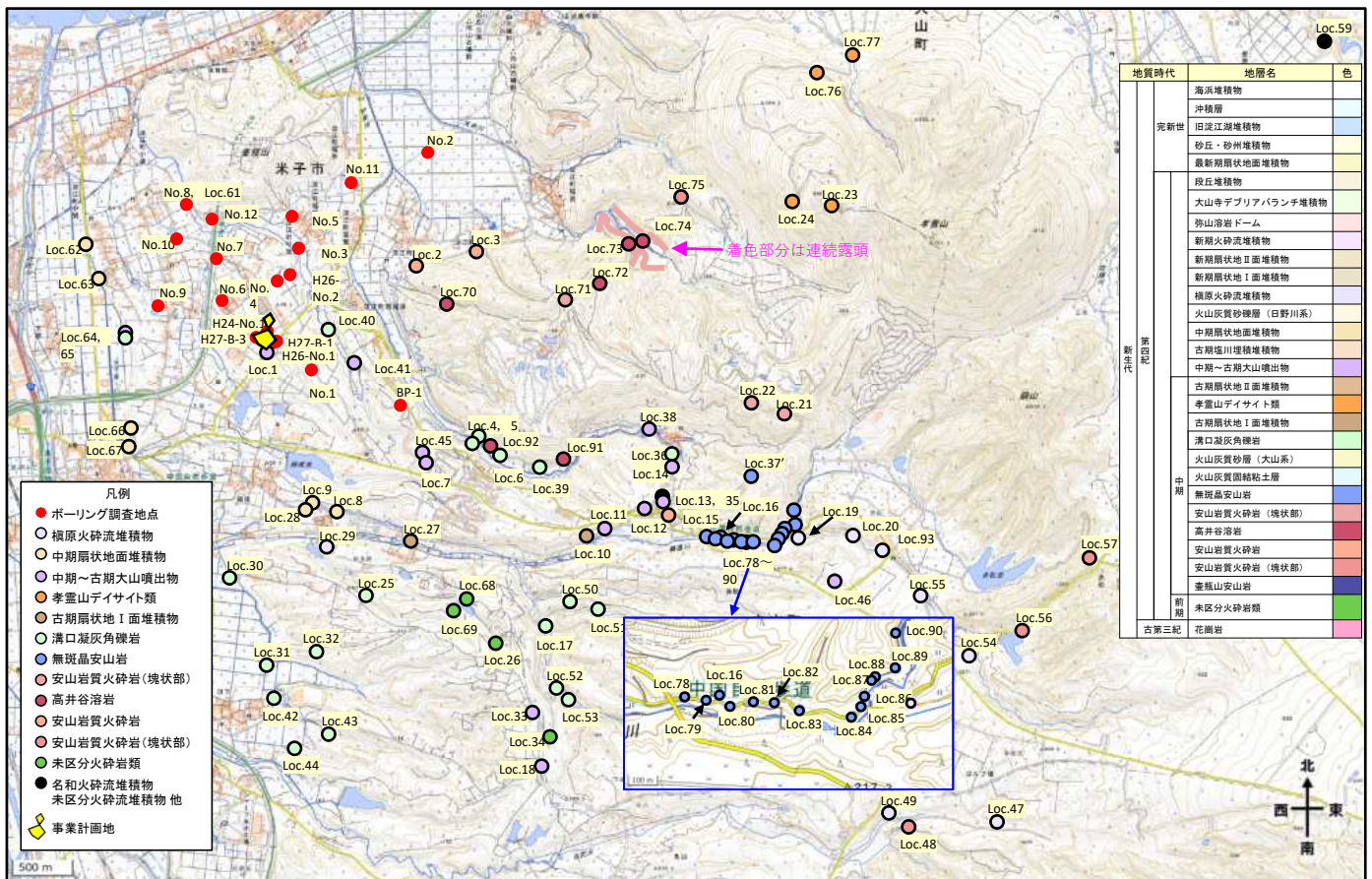


図3 地表地質踏査地点

4 調査結果

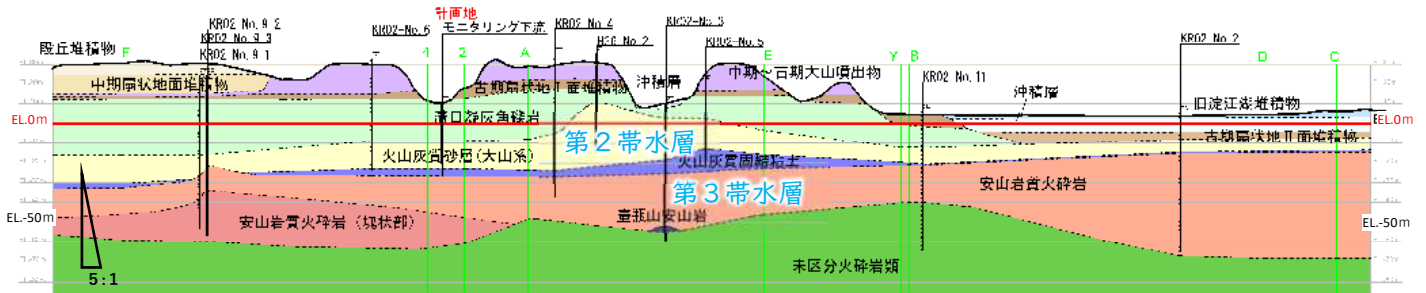
(1) 地層・地下水の分布状況（ボーリング調査の結果より）

- ①計画地周辺では、3つの帯水層が広く分布しており、特に第3帯水層を形成する安山岩質火砕岩は非常に透水性が高く、豊富な地下水を有していることがわかりました。
- ②各帯水層間には難透水層が広く分布しており、特に火山灰質固結粘土層は透水性が低く、水を通しにくいことがわかりました（表1、図4、5）。

表1 主な地層区分

	地層名	特徴	ボーリングコア写真
表層	中期～古期大山噴出物など	未固結、地表近くに帯水層（不圧地下水）を有する	
第1帯水層			
難透水層①	溝口凝灰角礫岩	全体に密実でよく固結	
第2帯水層	火山灰質砂層	未固結、被圧地下水を有する	
難透水層②	火山灰質固結粘土層	固結～半固結、薄く広く分布	
第3帯水層	安山岩質火砕岩	未固結、被圧地下水を有する	
難透水層③	未区分火砕岩類	固結～半固結	

断面1



※EL.：標高

断面2

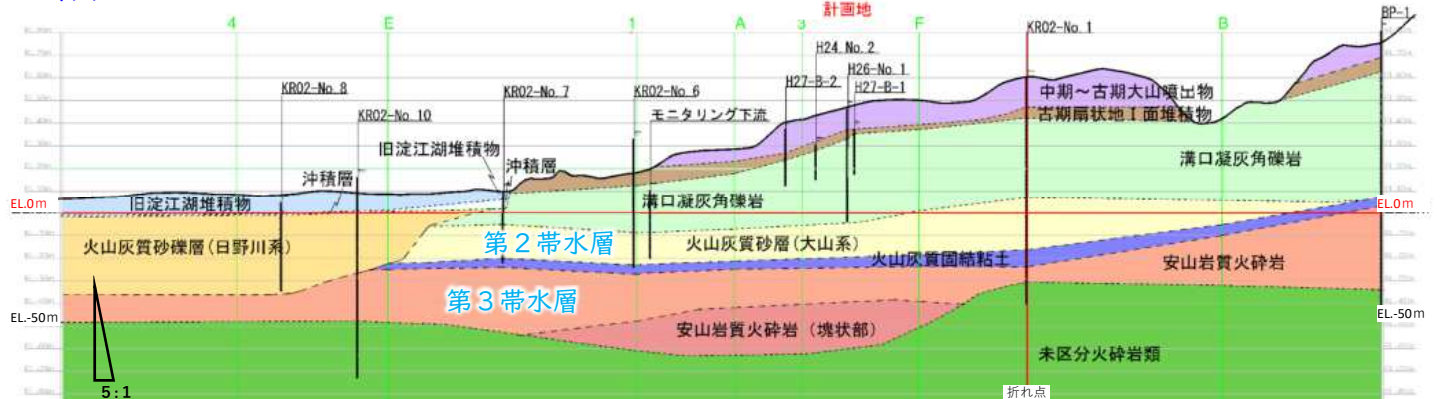


図4 地質断面図

【用語解説】

- ・帯水層：水の通しやすさ（透水性）と水をためる能力（貯留性）が高い地層。
- ・難透水層：透水性が非常に小さく、地下水が流れにくい地層。
- ・不圧地下水：大気圧以外の圧力を受けていない地下水。自由地下水とも言う。
- ・被圧地下水：上位の難透水層に蓋をされ、圧力を受けている地下水。



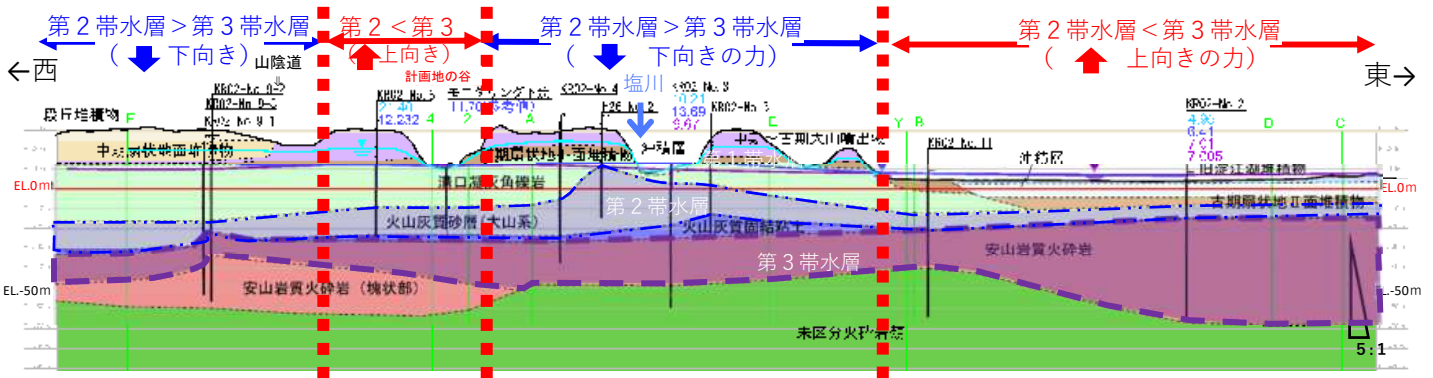
図5 断面位置図

(2) 地下水が流れようとする方向 (水位観測結果より)

- ①第1帯水層の地下水は、地形なりに分布しており、台地部と谷地・平野部の水位差が大きいと考えられます。
- ②平野部・計画地の谷下流部では、第3帯水層の地下水位が第2帯水層の地下水位より高く、上向きに力がかかっていると考えられます (図6 赤の範囲)。
- ③その他の場所 (台地部・谷地部) では、第2帯水層の地下水位が第3帯水層の地下水位より高く、下向きに力がかかっていると考えられます (図6 青の範囲)。



断面1



断面2

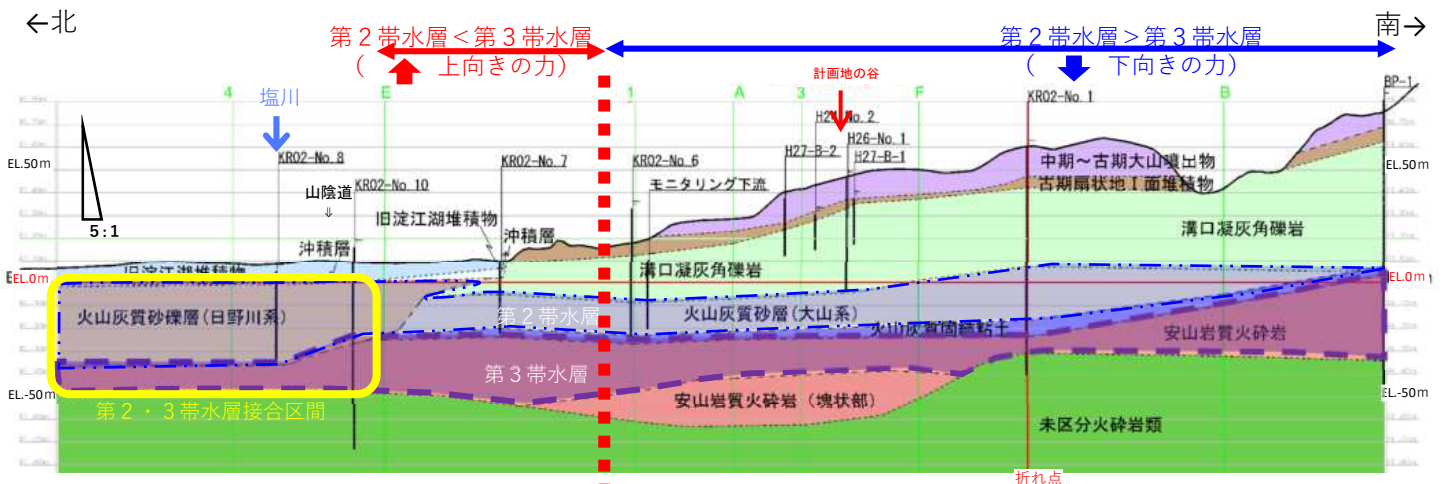



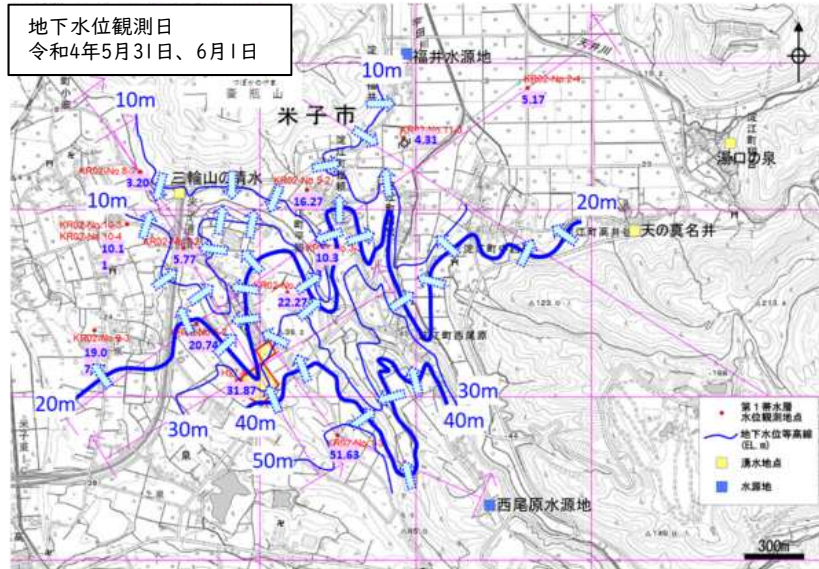
図6 水理地質断面図

④図7は、地下水位観測の結果から作成した地下水位の等高線（コンター）図です。地下水は、地下水位の等高線に直交する方向に流れると考えられることから、おおよその地下水の流れの向きは次のとおりとなりました。

第1帯水層

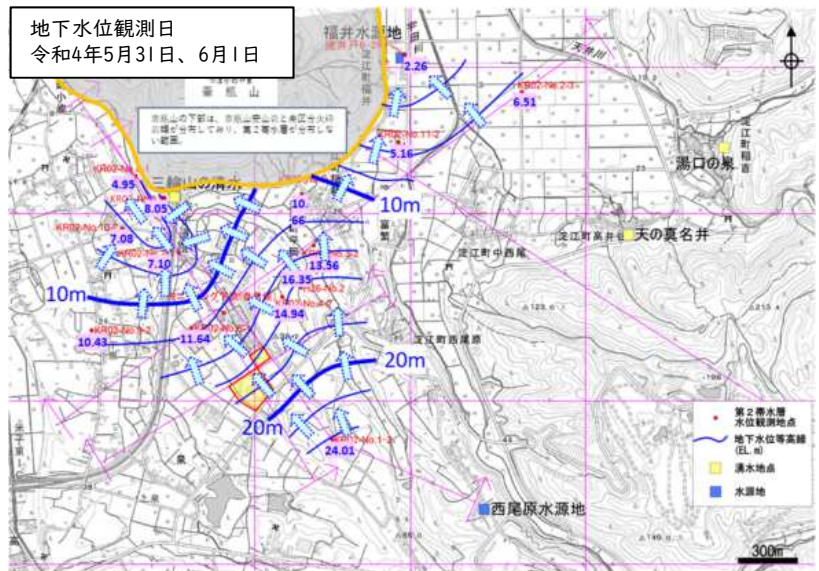
- ・台地や山の斜面から谷地や平野方向に流下する。
- ・谷地や平野では下流方向に流れる。

凡例
 地下水位等高線から求めた地下水流向



第2帯水層

- ・計画地の東側を通った地下水が壺瓶山南縁部で分流し、それぞれ回り込んで「福井水源地」「三輪山の清水」へ到達していると考えられる。



第3帯水層

- ・「福井水源地」への流れは、計画地の東側～宇田川～天の真名井方向からの地下水が主体と考えられる。
- ・「三輪山の清水」への流れは、計画地東側を通った地下水が壺瓶山南縁部で西に流れ、回り込んで到達していると考えられる。

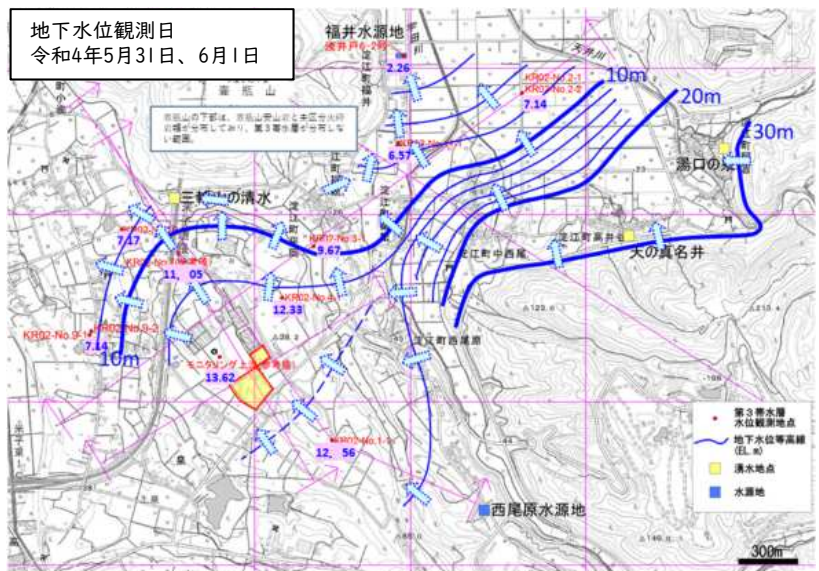


図7 各帯水層の地下水位の等高線（コンター）図

③図8及び図9は、地下水位等高線図（図7）上に、地下水の鉛直方向の力の向きを示したものです。赤で示した範囲は、上向きに力がかかっていると考えられる範囲です。

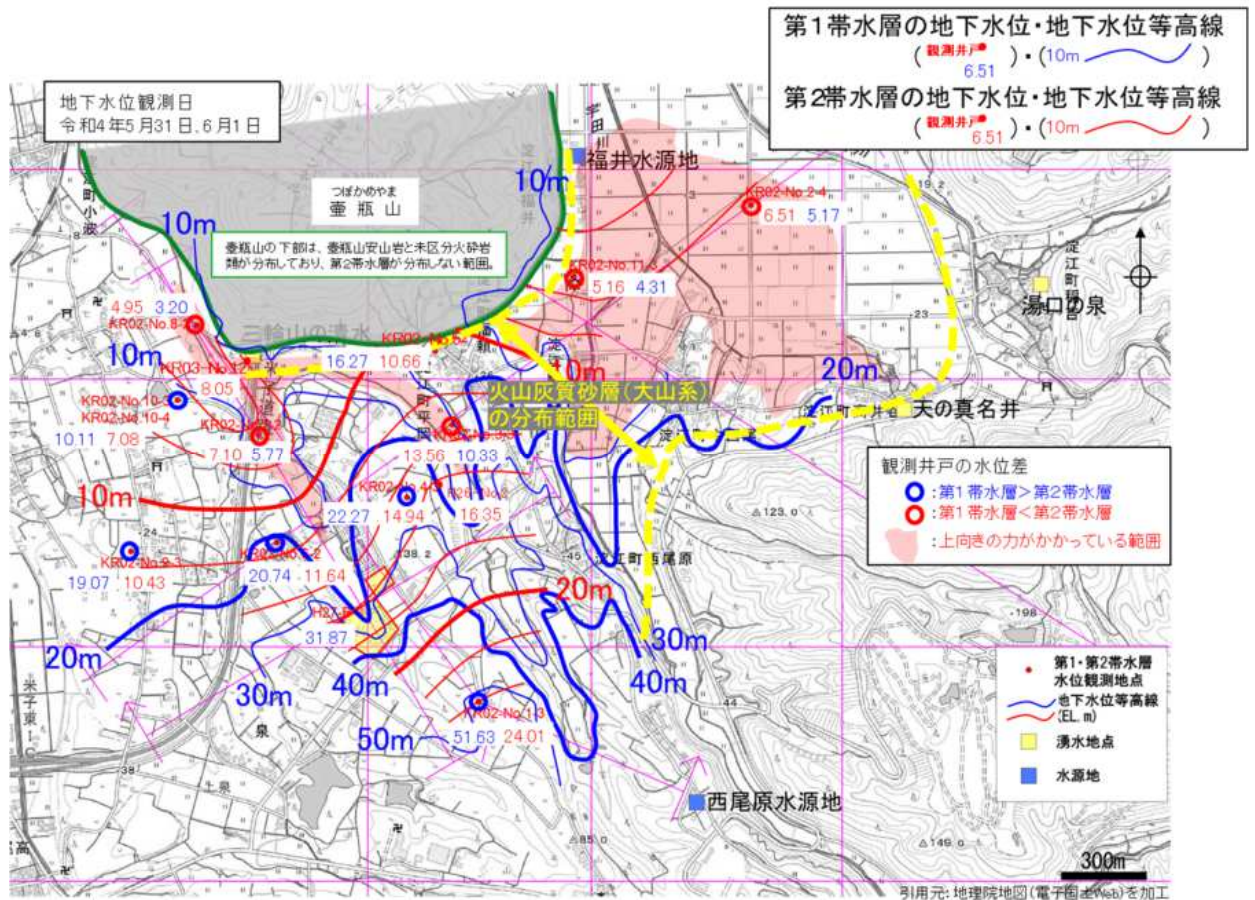


図8 地下水位等高線(コンター)図 第1・第2帯水層

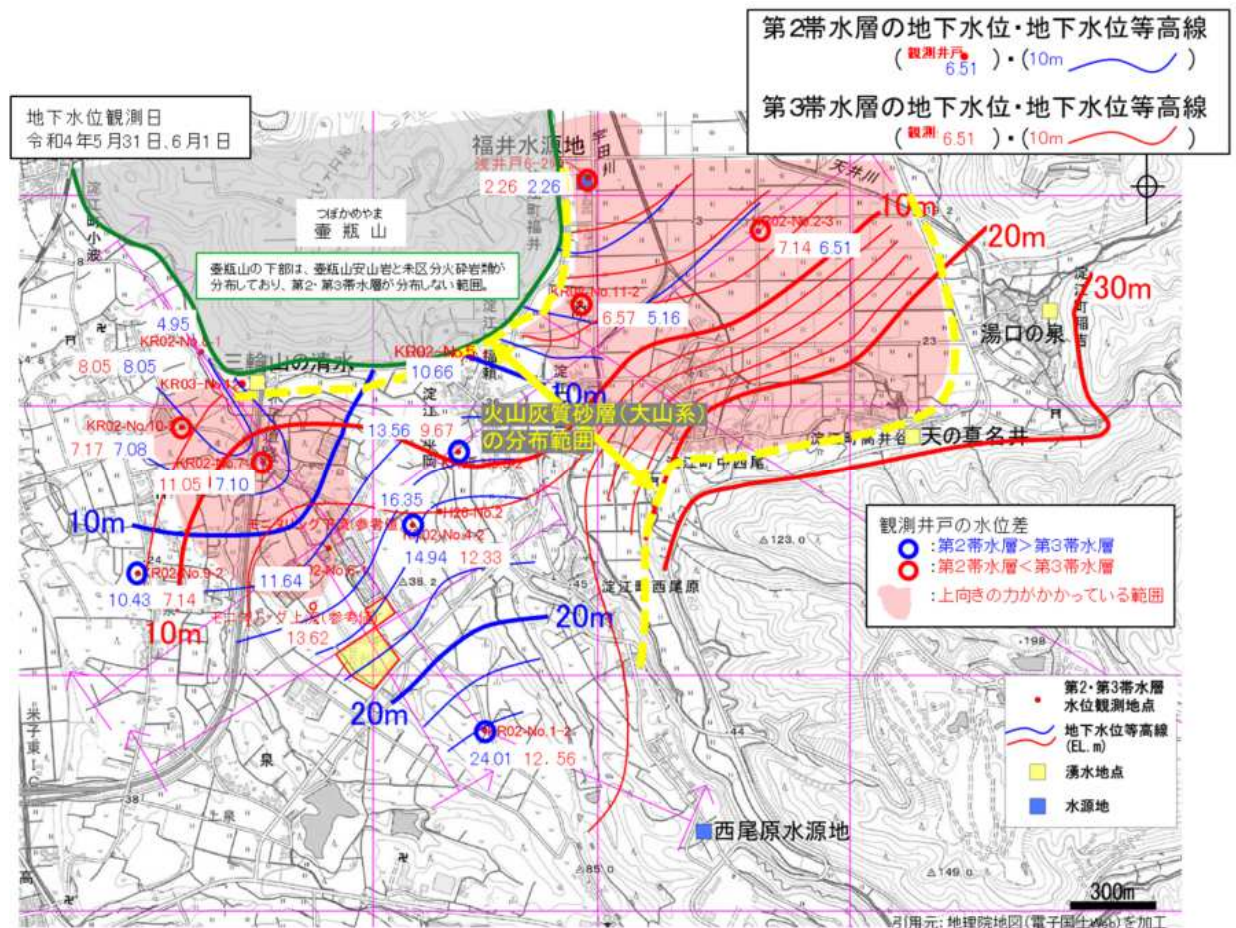


図9 地下水位等高線(コンター)図 第2・第3帯水層

(3) 地下水のつながり・関係性 (水質測定結果より)

- ①地下水に含まれるシリカ(ケイ素)は、地中で鉱物から溶け出したものであり、鉱物との接触時間が長い、より深部の帯水層で濃度が高くなる傾向があります。そのため、第1帯水層で濃度が高い地下水(主に谷地部)は、下位の第2帯水層の影響を受けていると考えられます(図10)。
- ②地下水に含まれる硝酸イオンは、農地で用いる肥料、家畜の糞尿、生活排水など、人為活動に由来するため、地表付近や第1帯水層で濃度が高くなる傾向があります。そのため、第2帯水層で硝酸イオン濃度が高い地下水(主に台地部)は、上位の第1帯水層の影響を受けていると考えられます(図11)。
- ③第3帯水層では、すべての地点で硝酸イオン濃度が低いため、地表や第1帯水層の影響を受けていないと考えられます(図11)

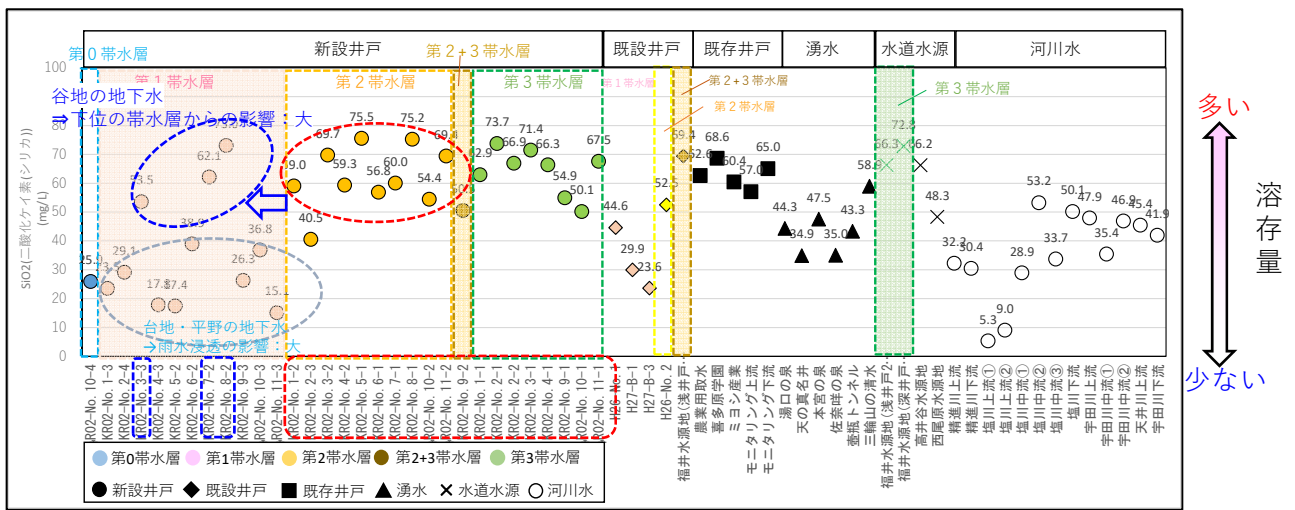


図10 二酸化ケイ素濃度

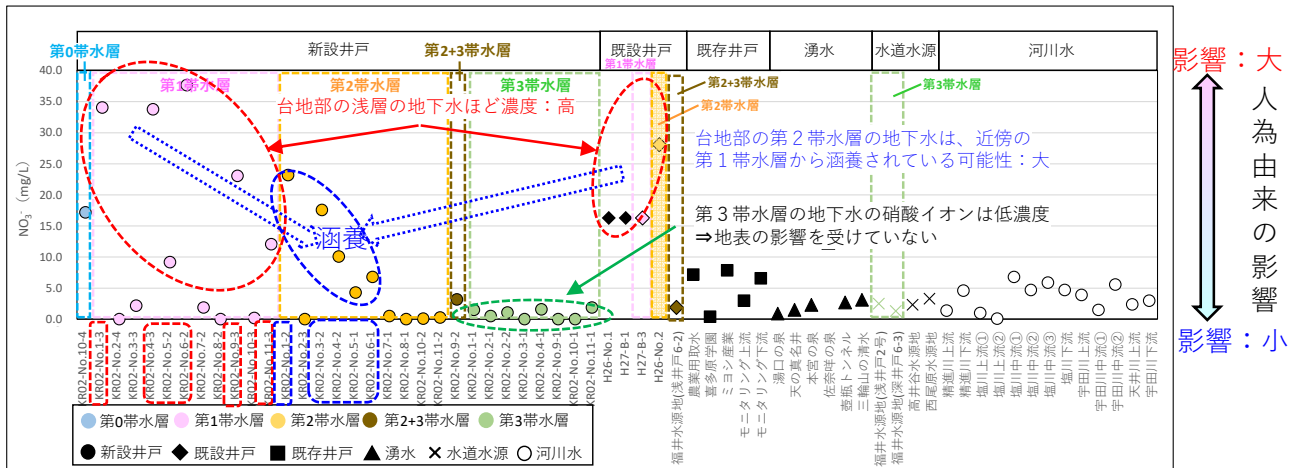
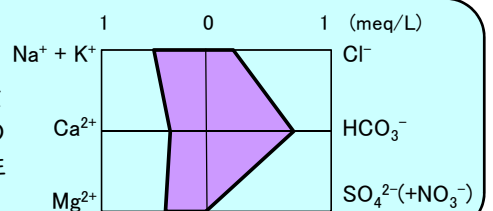


図11 硝酸イオン濃度

【用語解説】

・ヘキサダイアグラム:
水質組成を図示する方法の1つ。中央の縦線の左右に陰イオンと陽イオンを配置し、縦線から六角形の頂点までの長さが各成分の濃度を示す。六角形の形が水質の特徴を示すため、水質の類似性などを視覚的に把握し、比較することができる。



- ④本宮の泉、天の真名井などの湧水と、第3帯水層の地下水の水質は、ヘキサダイアグラムの形状(=水質の特徴)が似ており、マグネシウム(Mg)の濃度がカルシウム(Ca)の濃度より高いという同じ特徴を持っていることがわかりました(図12)。
- ⑤水質や帯水層の分布などから、大山(弥山)山腹や孝霊山・鍋山山腹付近の降雨が浸透して地下水となり、透水性の高い安山岩質火砕岩(第3帯水層を形成)の地層中を流れ、計画地周辺や淀江平野周辺の主な湧水を形成していると考えられます(図13)。

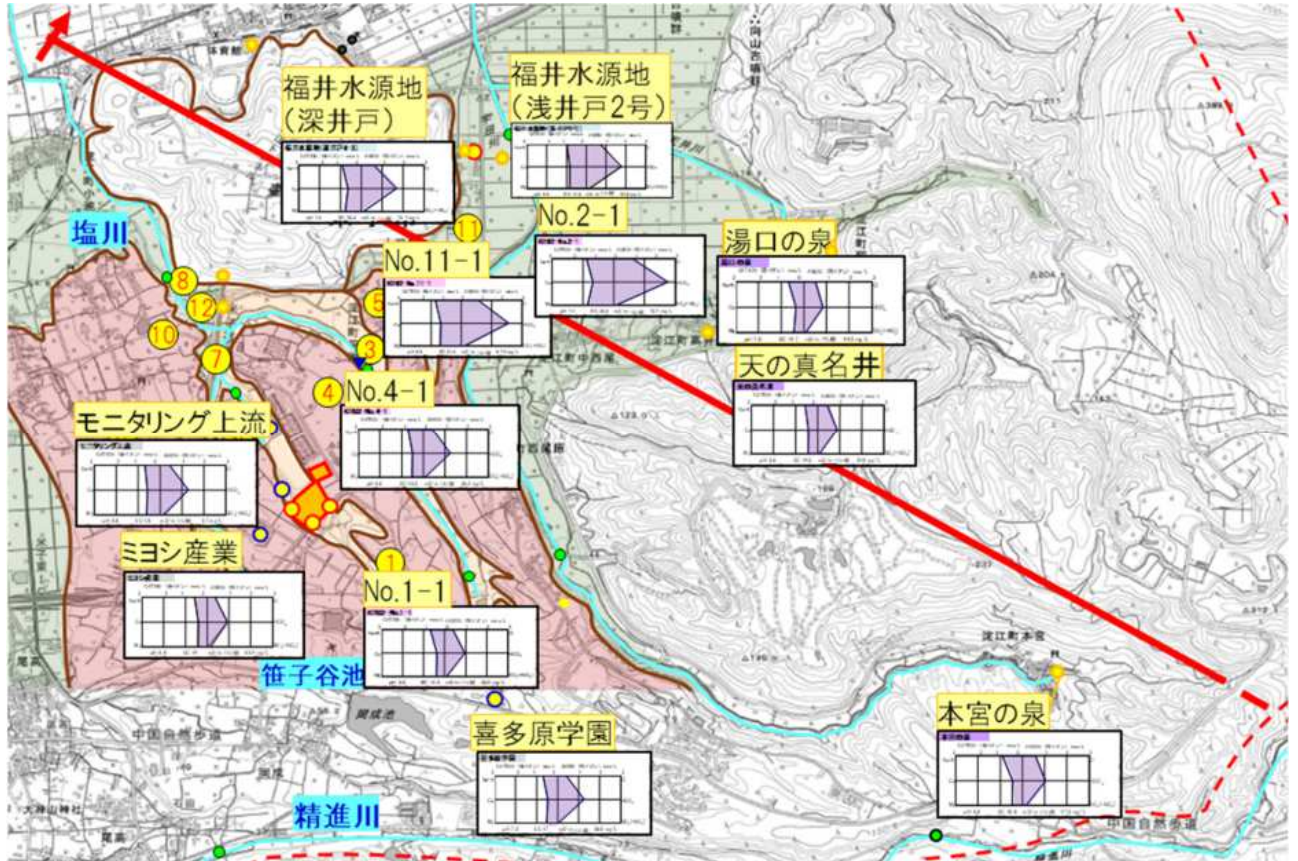


図12 第3帯水層及び湧水の水質分析結果(ヘキサダイアグラム)

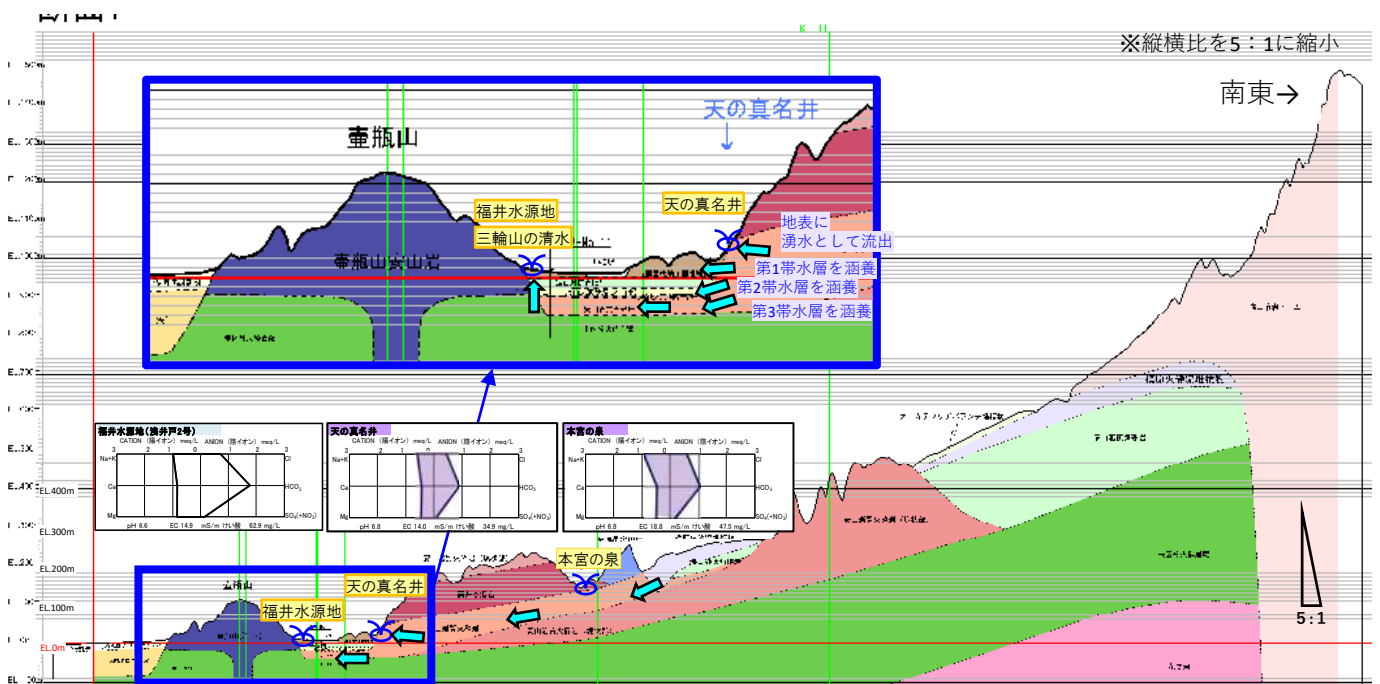


図13 湧水及び各帯水層の地下水の供給源

(4) 福井水源地の供給源

- ①福井水源地で現在使用中の浅井戸（2号）及び深井戸（6-3号）は、ストレーナー（地下水の取入口）の深度から第3帯水層から取水していることがわかりました（表2、図14）。
- ②福井水源地での揚水に合わせ、約500m離れたNo.2観測井戸の第3帯水層の地下水位が変動することが確認され、福井水源地が第3帯水層から取水していることを裏付けています（図15）。
- ③福井水源地の両井戸の水質も第3帯水層の特徴を示しています（図12）。

表2 福井水源地諸元

	計画取水量 ¹⁾	深さ ¹⁾	ストレーナー区間 ²⁾
浅井戸（2号）	2,264 m ³ /日	23.0 m	GL.-20.8 ~ GL.-22.8 m
深井戸（6-3号）	500 m ³ /日	57.4 m	GL.-49.9 ~ GL.-54.9 m

出典 1)：令和2年度版水道事業年報（米子市水道局）
2)：米子市提供資料

※GL.：地盤面を基準にした高さ

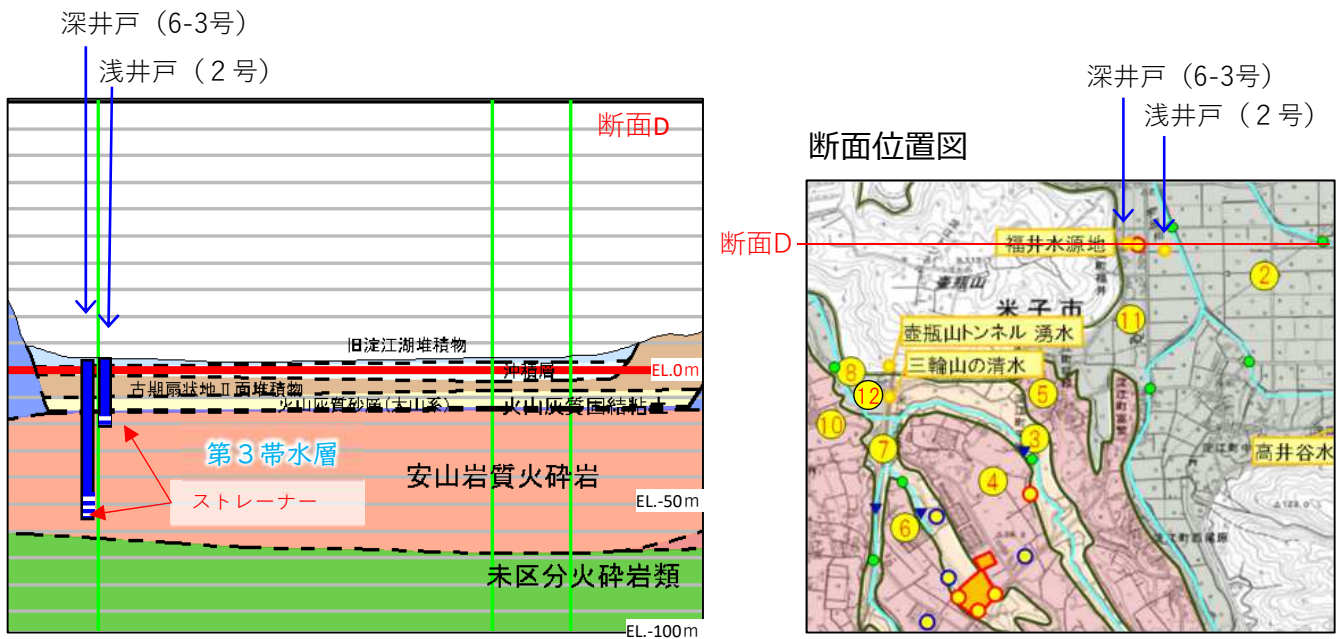


図14 福井水源地の供給源

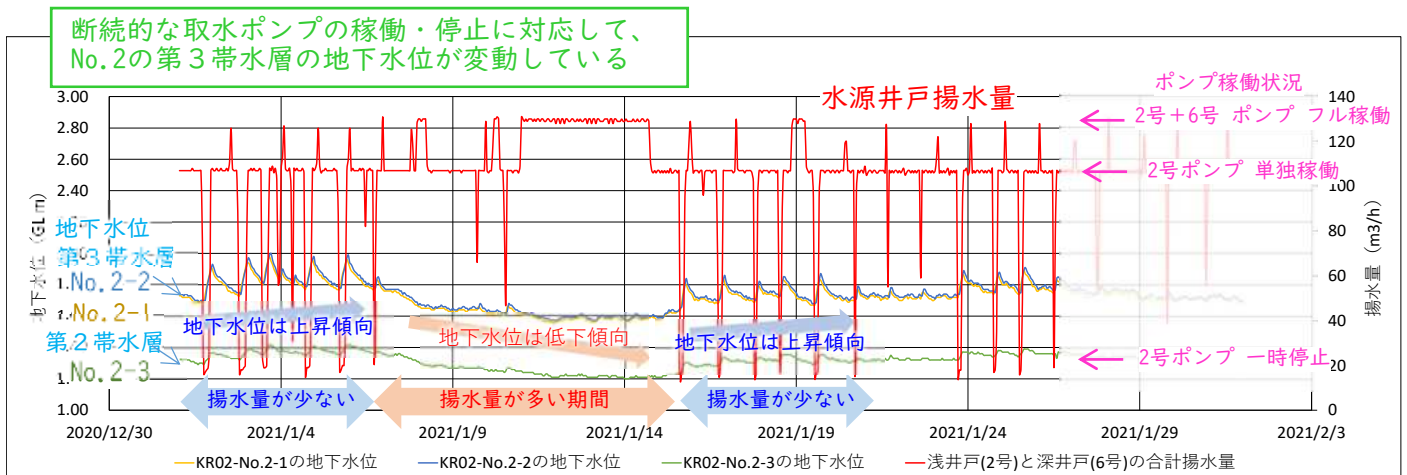


図15 福井水源地の揚水量と地下水位の変動

(5) 「三輪山の清水」の供給源

- ①No.12のボーリング調査から、「三輪山の清水」の地点には、溝口凝灰角礫岩（難透水層）、火山灰質砂層（大山系）（第2帯水層）、火山灰質固結粘土層（難透水層）、安山岩質火砕岩（第3帯水層）は存在せず、旧塩川の谷を埋積した土石流堆積物（古期塩川埋積堆積物）が分布していることがわかりました。
- ②No.12に観測井戸（古期塩川埋積堆積物から取水）を設置し、「三輪山の清水」との関連を調査したところ、「三輪山の清水」の湧出口の開閉によりNo.12観測井戸の地下水位が変動したこと（図17）、両地点の地下水の水質が類似していること（図18）から、「三輪山の水」は、古期塩川埋積堆積物から供給されていると考えられます。
- ③「三輪山の清水」は水質の特徴の他、水位変動も第3帯水層と同期（図22）していることから第3帯水層の地下水が主要な起源で、一部第2帯水層の地下水も含む混合状態にあると考えられます（表3）。

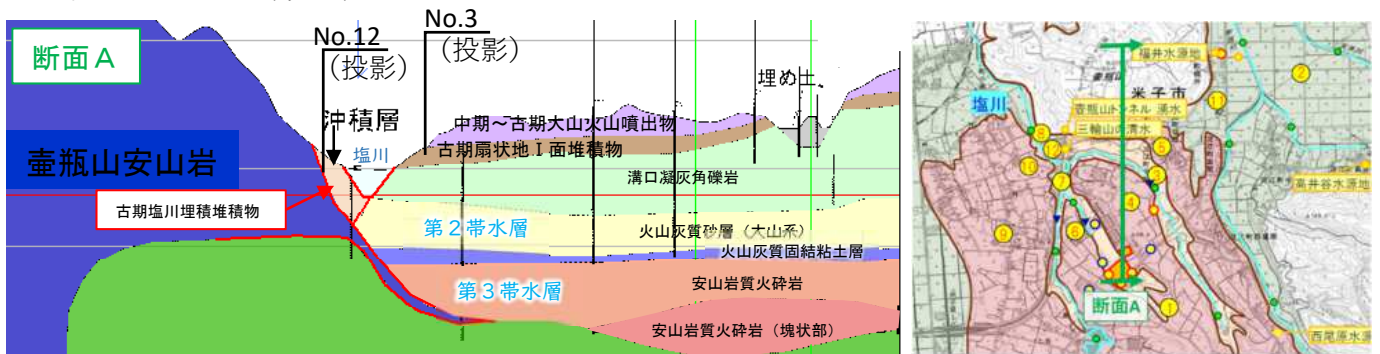


図16 「三輪山の清水」付近の地層

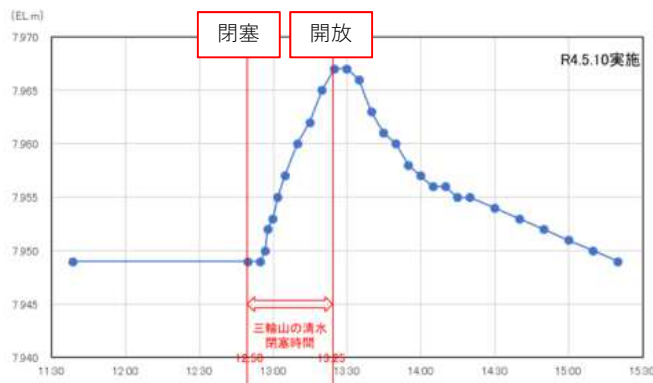


図17 「三輪山の清水」の閉塞時のNo.12の水位変化

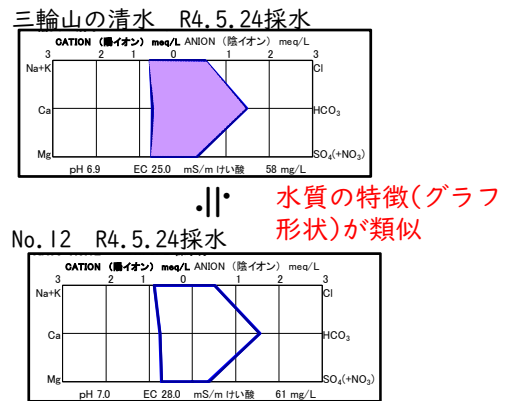


図18 「三輪山の清水」とNo12の水質の比較

表2 「三輪山の清水」の水質に近い混合パターンの検討

	パターン1	パターン2	パターン3	パターン4	混合比
第2帯水層	No. 3-2 (18%)	No. 4-2 (28%)	No. 3-2 (7%)	No. 4-2 (9%)	7~28%
第3帯水層	No. 3-1 (82%)	No. 3-1 (72%)	No. 4-1 (93%)	No. 4-1 (91%)	72~93%
混合後の水質	y = 1.95	y = 1.93	y = 1.67 (最小) 三輪山の清水と形状が類似	y = 1.78	-

※「三輪山の清水」近傍の2地点（No. 3、4）の第2帯水層と第3帯水層の地下水を混合（2×2=4通り）し、水質が最も近くなるパターンを検討したもの。y値が小さいほど水質が近似していることを示す。
 ※パターン3が最も三輪山の清水の水質に近く、第3帯水層の比率が9割超となっている

5 3次元シミュレーション

(1) モデルの構築

- ① 図19に示す流れに沿って、地下水の3次元シミュレーション解析を実施しました。
- ② 地質調査、水文調査、水質調査で得られたデータを整理し、3次元シミュレーションのモデルの構築を行いました（図20）。
 - ・ 平面格子の水平方向の大きさは約30～150m、地下方向はマイナス1,000mまでと設定
 - ・ 総格子数は約4百万
- ③ モデルで計算を行い、計算値が観測値と整合しているか検証し、観測値に整合するようモデルを修正する作業を繰り返して、モデルの再現性を高めていきました。
- ④ その結果、各地点の地下水位の計算値と観測値が概ね一致し、特に平野部の第2、第3帯水層で高い再現性が得られました（図21）。
- ⑤ 地下水位の変動（図22）や河川流量の変動（図23）も、計算値と観測値が整合し、再現性の高いモデルが得られました。以下、このモデルによる解析結果を示します。

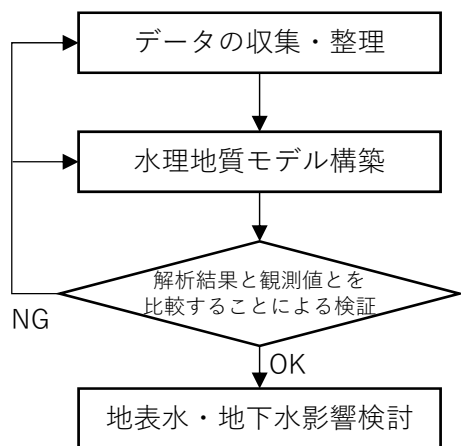


図19 3次元シミュレーションの
主な流れ

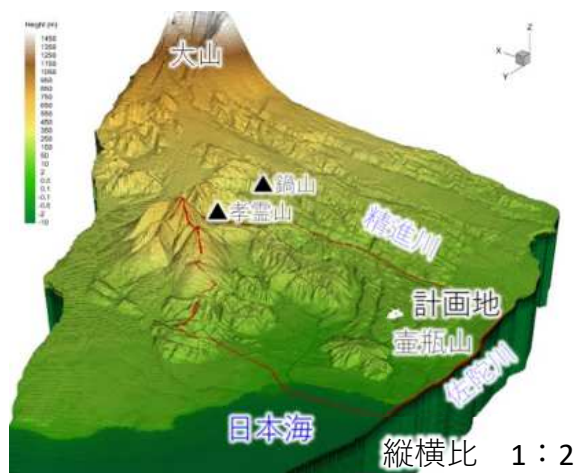


図20 3次元格子モデル

- ・ 地下水位の計算値と観測値が一致すると、斜線上に位置します。
- ・ 各井戸の計算値と観測値が概ね一致し、再現性の高いモデルであることを確認しました。

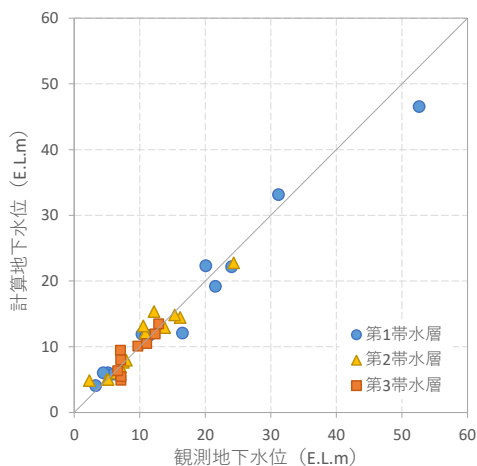
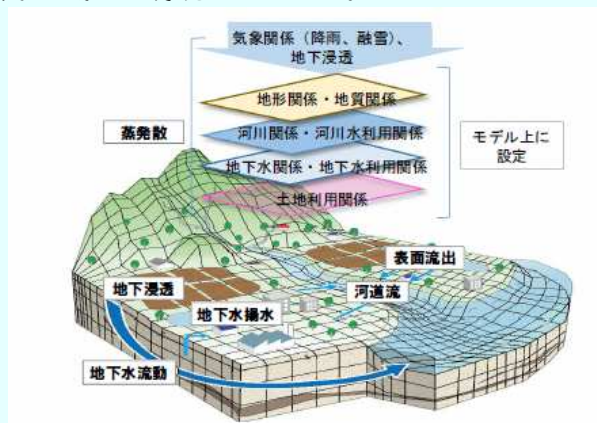


図21 地下水位の再現性

【用語解説】

3次元シミュレーション：

調査地域の地下部を3次元の格子（メッシュ）に分割し、地質調査、水文調査で得られた地形、地質、河川、地下水などの情報を各格子に組み込んだモデルを作り、モデル領域内の地表面に雨を降らせて地下水や河川水の動きを再現させるもの。

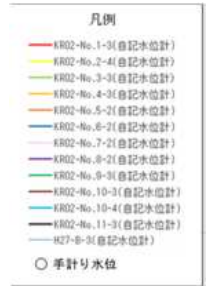
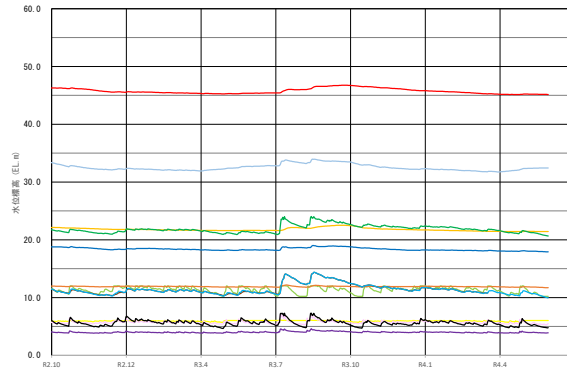
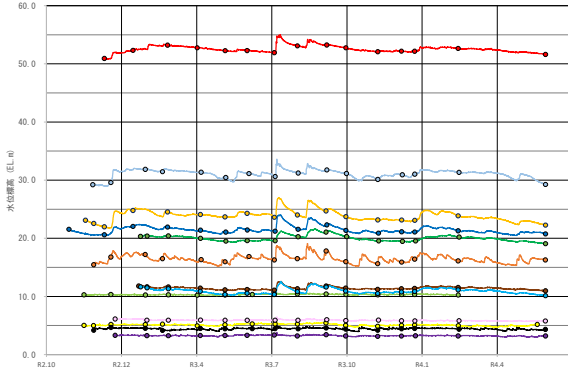


図の出典 「水循環解析に関する技術資料」
(国土技術政策総合研究所資料、第883号、H28.3)

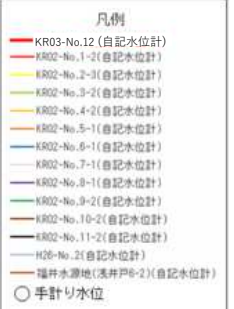
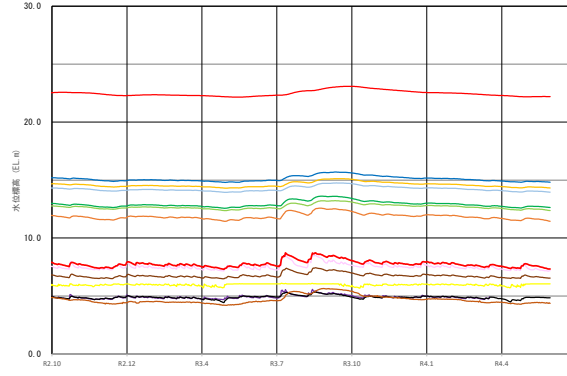
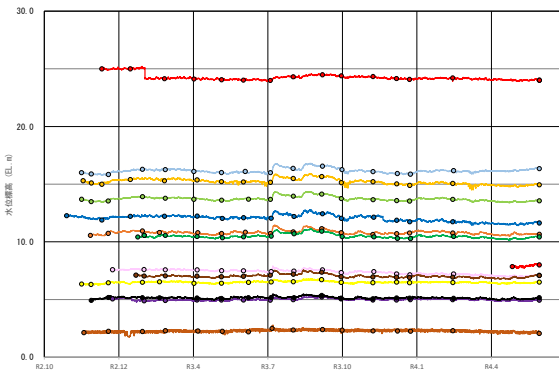
観測値

計算値

第0帯水層・第1帯水層



第2帯水層



第3帯水層

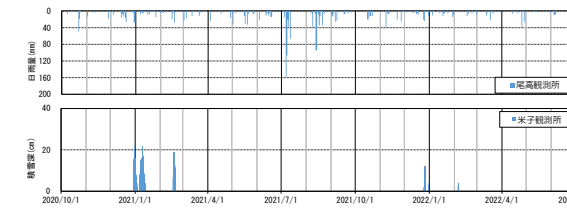
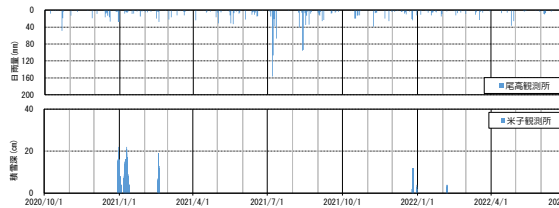
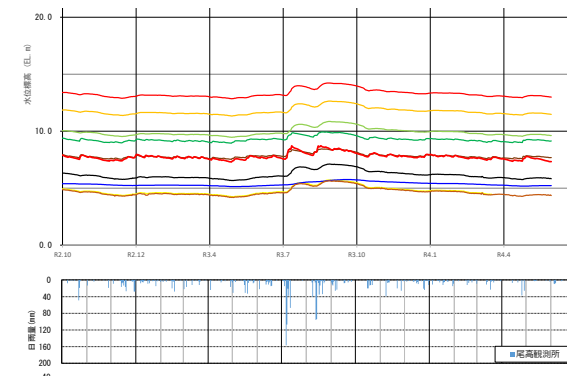
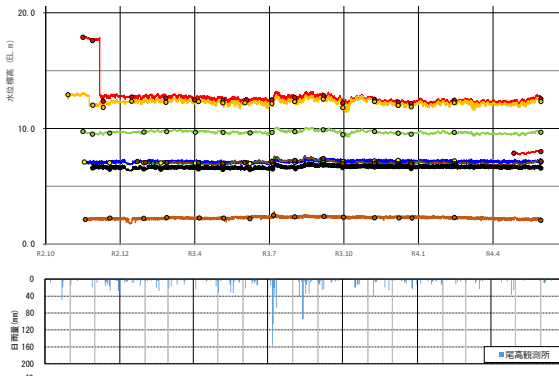
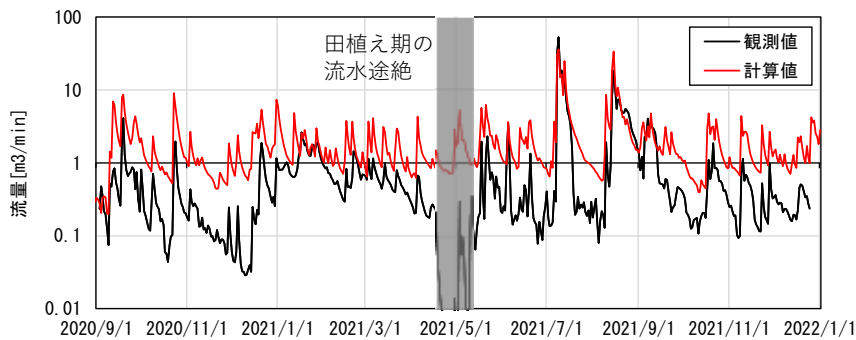


図22 地下水位（変動）の再現性



・地下水位、河川流量ともに、計算値と観測値が整合し再現性の高いモデルであることを確認しました。

注：他の2地点は、農業の利水や放流等の人為的な影響が強いことから、シミュレーションには用いませんでした。

図23 河川流量（変動）の再現性

(2) 地表水・地下水影響検討

①地表面直下に粒子（水）を配置し、どのように流れて行くかを平面的に示した「流線図」（図24～26）から、次のことがわかりました。

- i) 地域全体の地下水の流れは、孝霊山・鍋山付近から西方向に第3帯水層を經由し、計画地や福井水源地へ向かう地下水の流れが主要と考えられます。
- ii) 第1帯水層（赤線）は、地表からの降雨等により涵養された地下水が中心で、地形に従ってに流れています。
- iii) 第2帯水層（黄線）は、精進川より北側付近までの範囲で第1帯水層から涵養された地下水が流れています。
- iv) 第3帯水層（青線）は、淀江平野、計画地周辺では、孝霊山、鍋山方面からの流れ（南東から北西方向）が卓越しています。
- v) 計画地付近の地下水は、第1、第2、第3帯水層いずれも、「福井水源地」及び「三輪山の清水」に向かっていません。

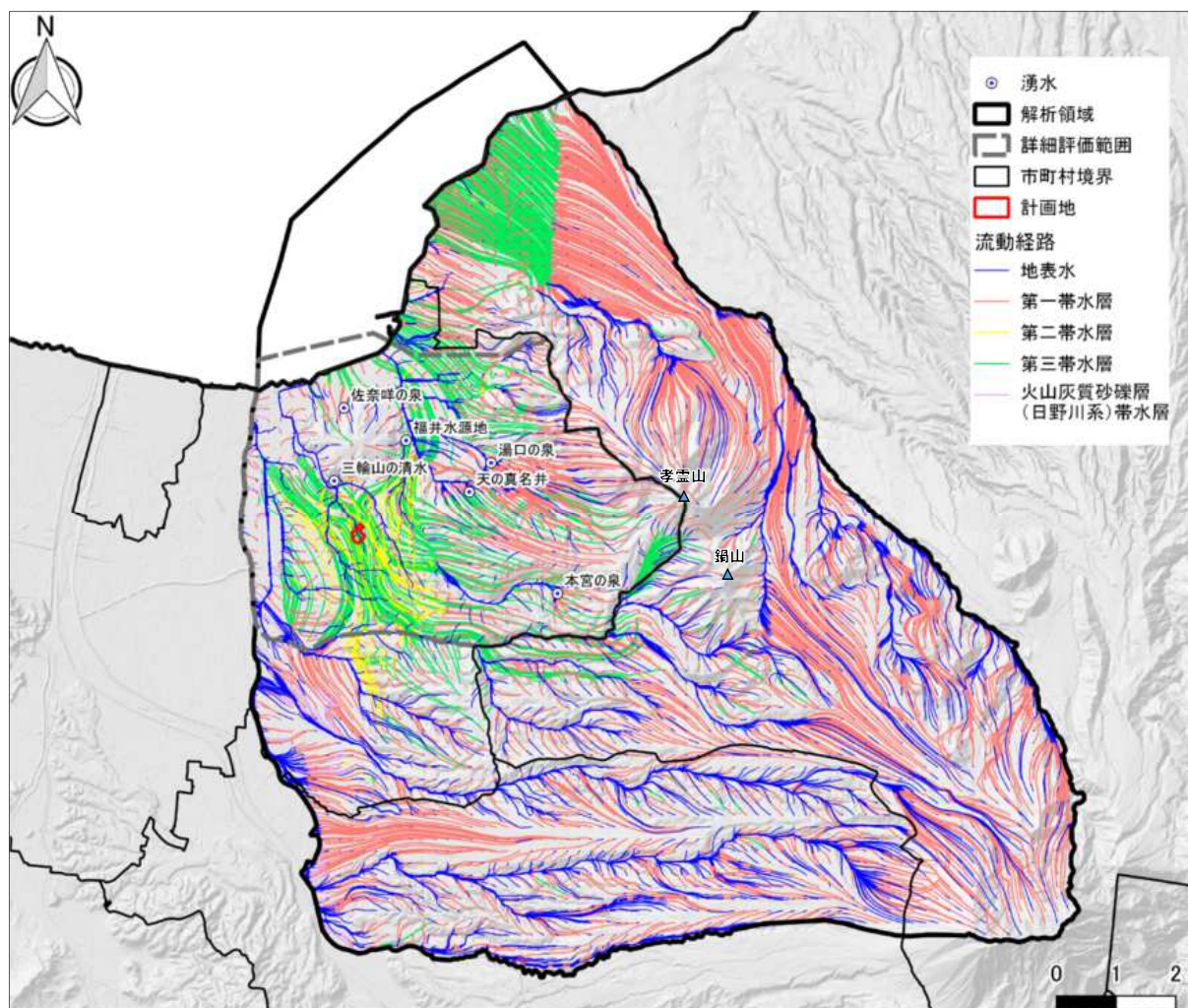


図24 流線図（広域）

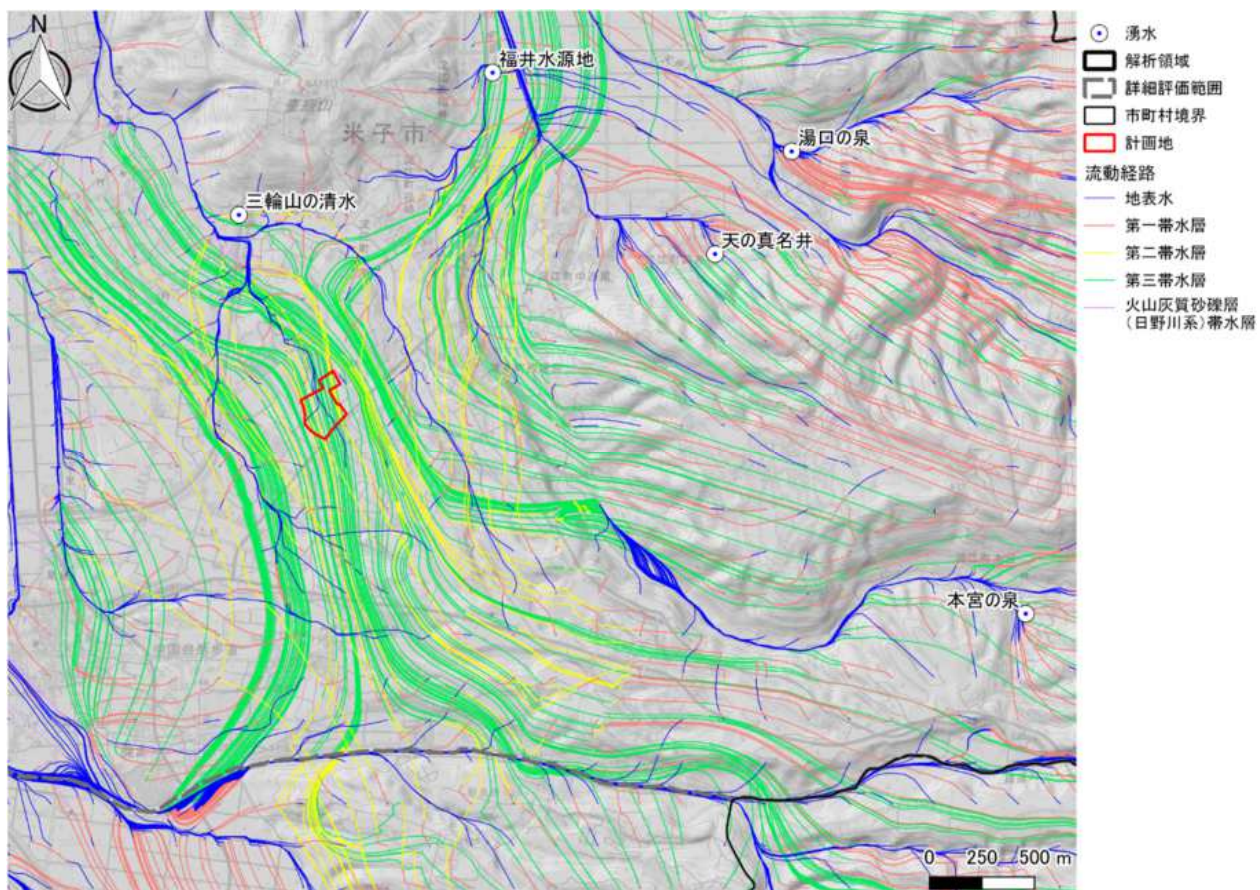


図25 流線図（計画地周辺）

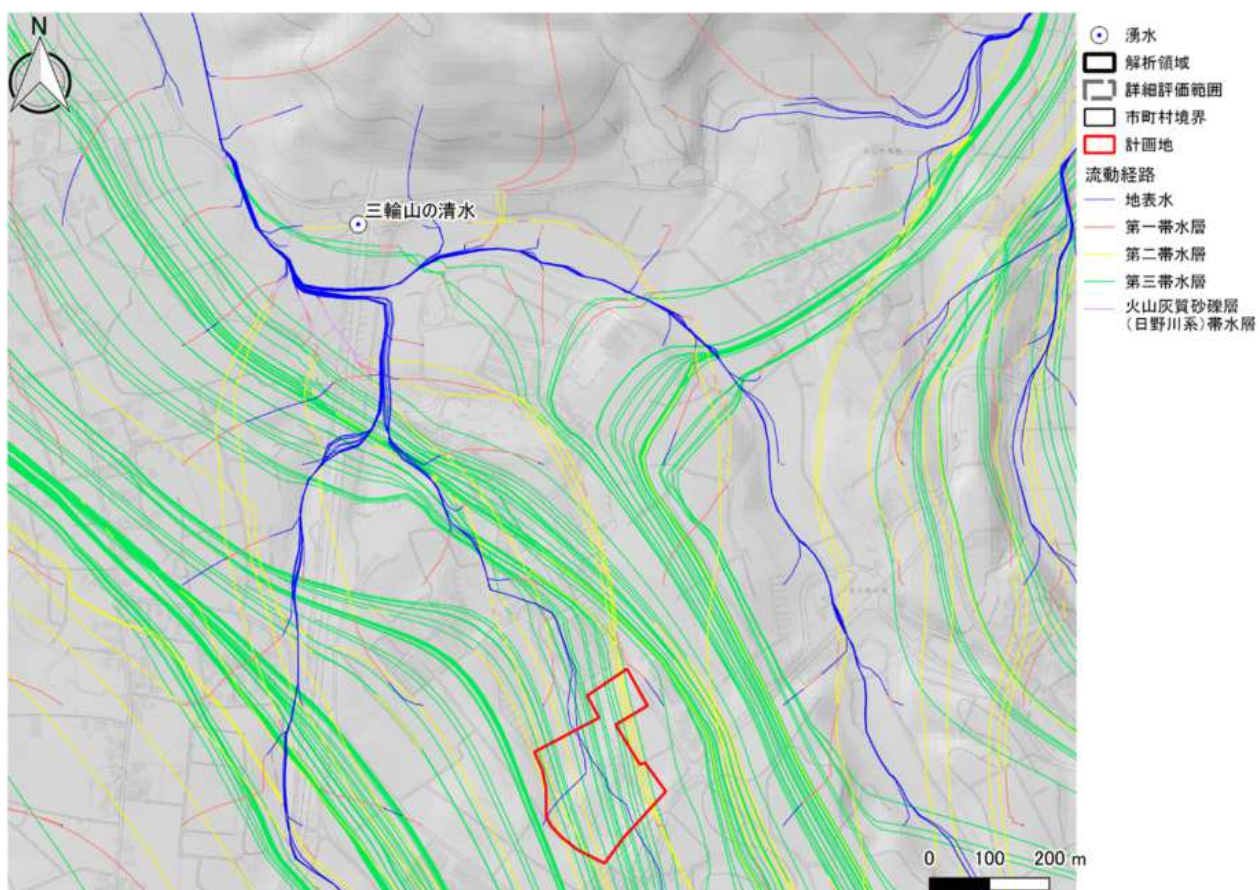


図26 流線図（三輪山の清水周辺）

②計画地周辺での帯水層の流動の大小や鉛直方向の移動の大小を示した水収支図（図27）から、計画地周辺では、水平方向の流動が卓越しており、鉛直方向のやりとりは水平方向に比べて極めて少ないことが示されました。

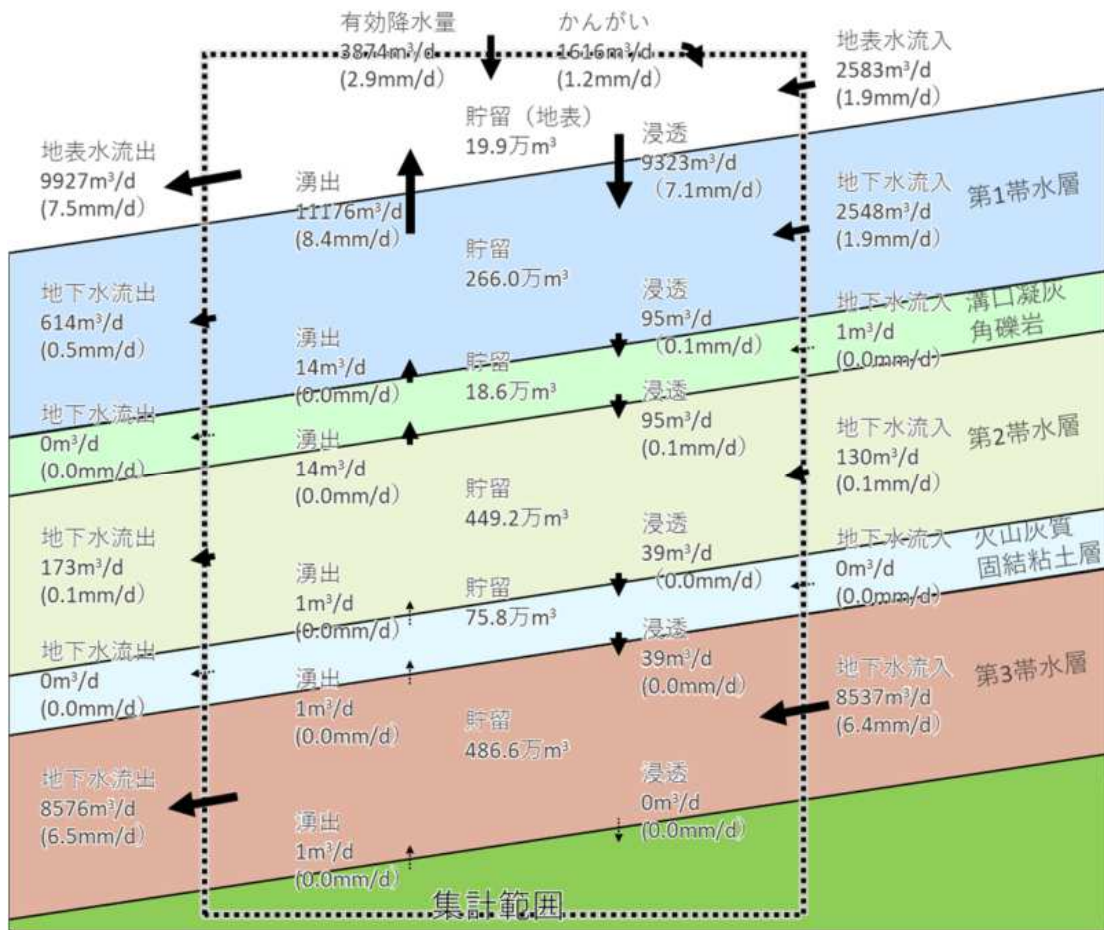


図27 水収支図

6 総合評価（結果のまとめ）

調査・解析の結果、次のことがわかりました。

- ① ボーリング調査などの結果から、計画地周辺には、3つの帯水層と、それを隔てる難透水層が広く分布しています。
- ② 地下水位の観測結果から、台地部や谷地部では、第1・第2帯水層間及び第2・第3帯水層間で下向きの力がかかっており、淀江平野部や塩川下流低地部では上向きの力がかかっています。
- ③ 水質調査の結果（硝酸イオン濃度）から、台地部の第2帯水層の地下水には、その上位の第1帯水層からの涵養も加わっていることを示しています。一方、第3帯水層では硝酸イオンはほとんど確認されないことから、第2・第3帯水層間にある難透水層（火山灰質固結粘土層）の遮水性及び連続性は良いことを示しています。
- ④ 3次元シミュレーション解析で示された流線図では、計画地から涵養された地下水は、第1、第2、第3帯水層とも、「福井水源地」及び「三輪山の清水」に向かっています。
- ⑤ 「福井水源地」は、第3帯水層の地下水を取水しており、計画地を含む台地から涵養された地下水は第2・第3帯水層間にある連続性の良い火山灰質固結粘土層（難透水層）によって第2帯水層から第3帯水層への地下水の流入が遮水されているため、水源への影響となるような懸念材料はありません。
- ⑥ 「三輪山の清水」は、その水質特性等から大部分は第3帯水層由来の地下水であると考えられますが、一部、計画地より東側を流れる第2帯水層の地下水も含んでいます。

さらに、地下水流線図（地下水3次元シミュレーション解析結果）では計画地から涵養された地下水は、第1帯水層・第2帯水層・第3帯水層のいずれの帯水層を経由しても「三輪山の清水」に向かう流れがないこと、No.12の地下水位が高く計画地下流の地下水は「三輪山の清水」へは到達しないことなどから、計画地から涵養された地下水が「三輪山の清水」に影響を及ぼす可能性は極めて低いものと推察されます。
- ⑦ これらの結果は、ボーリング調査、水文調査、水質調査、地下水3次元シミュレーションの各結果・解析と整合しており、信頼性は高いと考えられます。

5 地下水調査の経過

R1. 12.24 鳥取県淀江産業廃棄物処理施設計画地下水等調査会条例施行

R2. 2.16 第1回調査会 … 調査方針決定

5.17 第2回調査会 … 調査計画決定

7.6 パイロット調査開始

9.22 第3回調査会 … パイロット調査結果を踏まえ
調査計画を見直し



コア観察（第3回調査会）

9月 本格調査着手

→ 残りのボーリング(28本)、地下水位連続観測、水質調査、シミュレーション解析等

11月 各種通年観測スタート

R3. 2.23 第4回調査会 … 地質構造、地層及び地下水（帯水層）の分布を概ね推定

5.22 第5回調査会 … 地質構造、地層及び地下水（帯水層）の解析を進めるとともに、3次元シミュレーションのモデル設定を検討

9.25 第6回調査会 … 地質構造、地層及び地下水（帯水層）の解析を進めるとともに、3次元シミュレーションのモデルの検証

12.25 第7回調査会 … 水理地質構造の見直しとシミュレーションの現況再現解析（途中段階）

R4. 3.26 第8回調査会 … これまでの調査等に基づく各種解析の結果から、地下水の流動状況を確認し、三輪山の清水の追加調査を決定

4月 三輪山の清水の追加調査開始

R4. 7.2 第9回調査会 … 調査結果のとりまとめ

【調査会委員】

氏名	所属・職	担当分野
嶋田 純（会長）	熊本大学 名誉教授 大学院先端科学研究部 特任教授	水文学分野
杉田 文	千葉商科大学 商経学部 教授	水文学分野
伊藤 浩子	一般財団法人地域地盤環境研究所 地形地質グループ 主任研究員	水理地質分野
勝見 武	京都大学 大学院地球環境学堂 教授	地盤工学分野
小玉 芳敬	鳥取大学 農学部生命環境農学科 教授	地形・地質分野

<参考：委員の専門分野>

○水文学分野…地下水の広域流動特性を地下水位分析や溶存成分、表流水系分布等から調査・解析

○水理地質分野…帯水層水理特性及び水頭ポテンシャル分布等から地下水流動を調査・解析

○地盤工学分野…施設が周辺地下水に与える影響の工学的評価を調査・解析

○地形・地質分野…周辺の地形・地質と地下水賦存状況について調査・解析

問合せ先

鳥取県 総務部兼県土整備部 淀江産業廃棄物処理施設計画審査室

住所 〒680-8570 鳥取県鳥取市東町1丁目220番地

電話 0857-26-7498 ファクシミリ 0857-26-8189

E-mail sanpaikeikakushinsa@pref.tottori.lg.jp

ホームページ <https://www.pref.tottori.lg.jp/sanpai/>

※ ホームページで会議の資料及び議事録を御覧いただけます。



令和4年7月



鳥取県