3. 水質調査

©2020 FUKKEN Co., Ltd. All Rights Reserved

3.1　調査概要

【調査目的】水質の類似性・相違性などから、地下水流動状況の解析を行う。

実施時期	調査項目	考え方	調査数量
パイロット調査（先行調査）	－	後続の本調査時に一斉実施のため、パイロット調査時には実施しない。	－
本調査（地下水・湧水・河川水）	溶存成分分析	① 水温、pH、電気伝導度（EC） →水質の基礎データ ② 溶存酸素（DO）、酸化還元電位（ORP） →地下水環境の酸化還元状況 ③ 主要溶存イオン濃度（Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Cl^-、HCO_3^-、SO_4^{2-}、NO_3^-） →水質の特徴（ヘキサダイヤグラム、トリリニアダイヤグラムで解析） ④ 二酸化珪素（シリカ：SiO_2） →岩石からの溶存成分の特徴	【調査地点】 地下水： 新設観測井戸 計8地点程度（20～30孔程度） 既設観測井戸 計10地点程度 湧　水：本宮の泉、天の真名井、三輪山の清水、他数地点 水道水源：2地点（福井水源地、西尾原水源地） 河川水：10～20地点程度 【実施期間】 渇水期のR2.11頃に一斉採水（降水による影響の少ない時期における水質を把握）し、その後、分析・解析を行う。
	同位体分析	① 酸素（$\delta^{18}O$）・水素（δD）同位体比 →地下水の源となった降雨の特徴 ② トリチウム（^3H）濃度 →地下水の新しさ、古さの指標	地下水： 深層（5程度）＋浅層（5程度） ＝　合計10地点程度 湧　水：本宮の泉、天の真名井、三輪山の清水、福井水源地 【実施期間】同上

今後の調査

第2回調査会資料より引用加筆

©2020　FUKKEN Co., Ltd. All Rights Reserved

【水質試験項目】

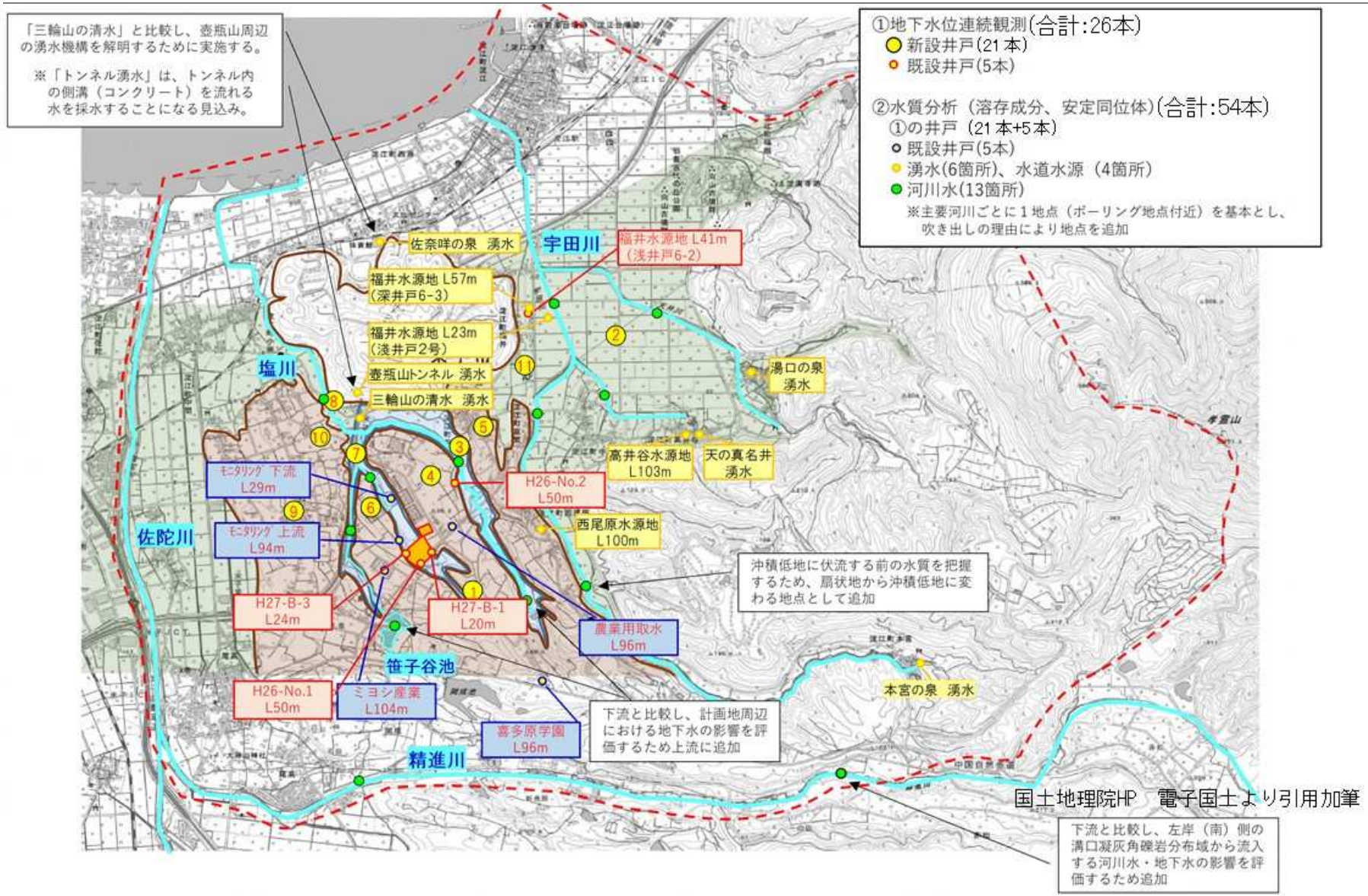
実施時期	調査内容				
			調査項目	目的	
パイロット調査 (先行調査)	後続の本調査時に一斉実施のため、パイロット調査時は実施しない。				
本調査	溶存成分分析	①	水温、pH、電気伝導度(EC)	水質の基礎データ	決定した試験項目
		②	溶存酸素(DO)、酸化還元電位(ORP)	地下水環境の酸化還元状態	
		③	主要溶存イオン濃度※	水質の特徴 (ヘキサダイヤグラム、トリリニアダイアグラムで解析)	
		④	二酸化ケイ素(シリカ:SiO_2)	岩石からの溶存成分の特徴	
	同位体分析	①	酸素($\delta^{18}O$)・水素(δD)同位体比	地下水の源となった降雨の特徴	
		②	トリチウム(^3H)濃度	地下水の新しさ、古さの指標	
		③	CFCs濃度(クロロフルオロカーボン類)	比較的新しい地下水における年代推定	追加項目

第２回委員会までに

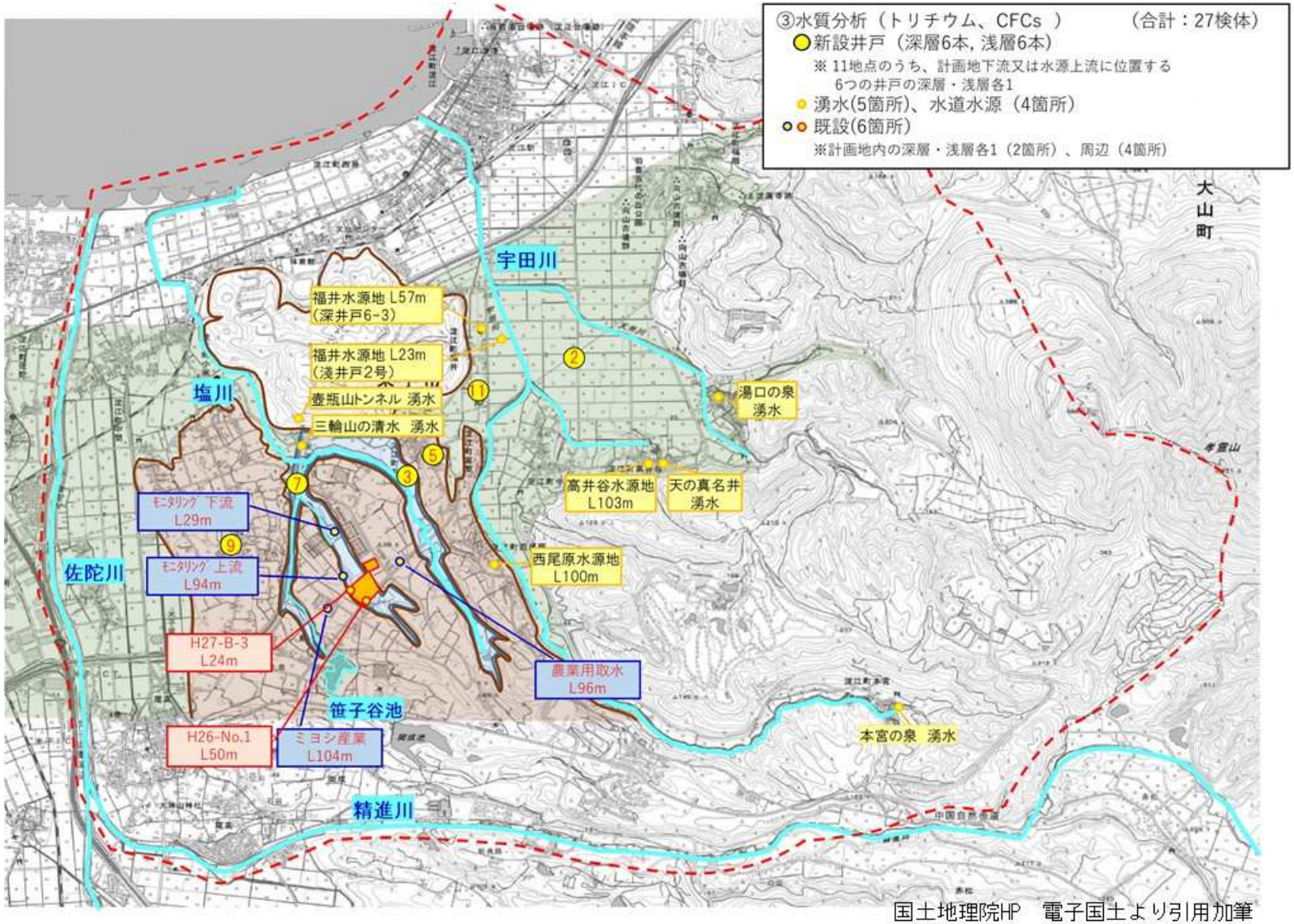
※Na^+、K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Cl^-、HCO^{3-}、SO_4^{2-}、NO_3^-

©2020 FUKKEN Co., Ltd. All Rights Reserved

3.2　調査地点(案)【溶存成分分析、安定同位体分析】



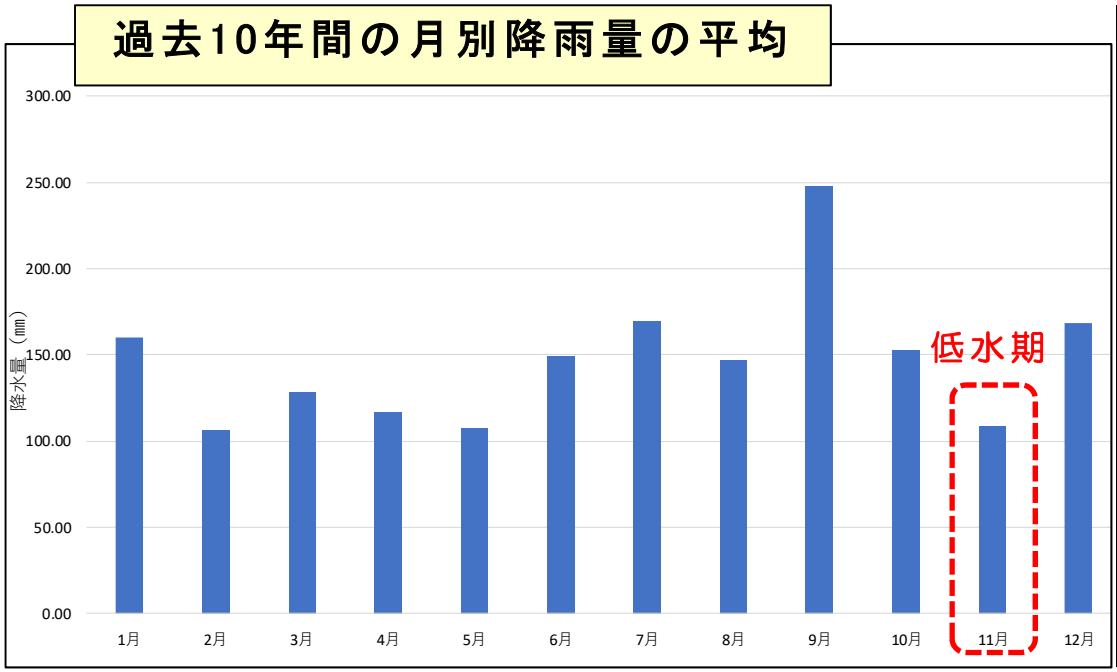
3.2　調査地点(案)【トリチウム、CFCｓ】



国土地理院HP　電子国土より引用加筆

3.3　調査時期

降雨による影響の少ない時期における水質を把握するため、本年度の11月に一斉に採水し、水質分析を行う予定である。



試験項目	調査地点		箇所数	小計
溶存成分、安定同位体	新設井戸【11地点】		21	54
	既設井戸		10	
	湧水		6	
	水源		4	
	河川		13	
トリチウム	新設井戸【5地点】	深層	6	27
		浅層	6	
	既設井戸【計画地】	深層	1	
		浅層	1	
	既設井戸【計画地周辺】		4	
	湧水		5	
	水源		4	
合　計			81	

©2020 FUKKEN Co., Ltd. All Rights Reserved

4. 三次元シミュレーション

©2020 FUKKEN Co., Ltd. All Rights Reserved

4.1　シミュレーションのフロー

水循環基本法の制定を踏まえ、水循環解析では「水循環解析の技術資料」に準拠して行ことを提案

目　的

対象領域において三次元モデルを作成し、計画地からの地下水の流動経路を把握する。流動経路では福井水源地への地下水の流れの有無や湧水地の地下水供給が浅層部を介したものか、深層部を介したものかその寄与度などを調べる。

■水循環解析の対象エリアの設定

後述スライドのとおり。

■水循環解析の解析期間の設定

解析目的・解析ケースに応じて適切に設定。一般的には、流域の通常の状態を対象とした解析目的・解析ケースの場合は平水年の 1 年程度が目安。

■水循環解析の解析ケースの設定

解析ケース：現況（現状における地下水の流動経路の把握）

■水循環解析解析モデルの選定

解析の目的、対象エリアの特性、入手できる資料等の状況を踏まえ、解析モデルの特徴を基に設定

■水循環解析に必要な資料の収集

- 【地形、地質関係】地形標高、地層構成、地層の透水性など
- 【気象関係】降水量、気温、融雪量など
- 【河川・河川水利関係】河川流量、河川水取水量
- 【地下水・地下水利用関係】地下水位、地下水取水量など
- 【土地利用関係】土地利用など

■水循環解析モデルの設定

- メッシュの設定、・境界条件の設定
- 各水文プロセスにおける入力データの設定

メッシュの設定：計画地から少なくとも半径 5km 以内の範囲は 50m 以下の水平解像度で設定、その周辺は 50～250m 程度で適宜設定
境界条件の設定：深さ方向での境界では、帯水層Ⅲ（古期砂礫層（上部））までを反映。

■水循環解析モデルの再現性確認

- パラメータのチューニング

・モデルの再現性確認

なし

あり

基本的なパラメータ：透水係数、有効間隙率、貯留係数、不飽和土の浸透特性（水分特性曲線、不飽和透水係数）
移流分散（物質輸送）に関するパラメータ：縦分散長、横分散長、分子拡散係数、屈曲率、減衰定数、遅延係数など

【再現解析】
① 定常解析では、年平均降水量や年平均地下水涵養量などを設定し、地下水位分布や湧水量の位置など大局的な分布傾向を比較。
② 非定常解析では、時系列の降水量等を入力し、地下水位・河川流量等の時間変化を求め、観測データ（地下水位、河川流量、水質の類似性からの流動経路など）と比較、水理パラメータ分布の調整。

■水循環解析計算の実施

■水循環解析計算の出力結果の整理・評価

「水循環解析に関する技術資料～地表水と地下水の一体的な解析に向けて～」国土交通省 国土技術政策総合研究所資料より引用・加筆

©2020 FUKKEN Co., Ltd. All Rights Reserved

4.2　シミュレーションの対象範囲の設定

(1)平面範囲

（三次元地下水シミュレーションの実施範囲は、赤の点線で囲われた範囲で実施する計画となっている（第1回調査会で決定）。

第１回調査会資料より引用加筆

地形図

資料出典：2万5千分の1地形図（H27.10）国土地理院
地理院地図（電子国土WEB）HP
（https://maps.gsi.go.jp/）に加筆

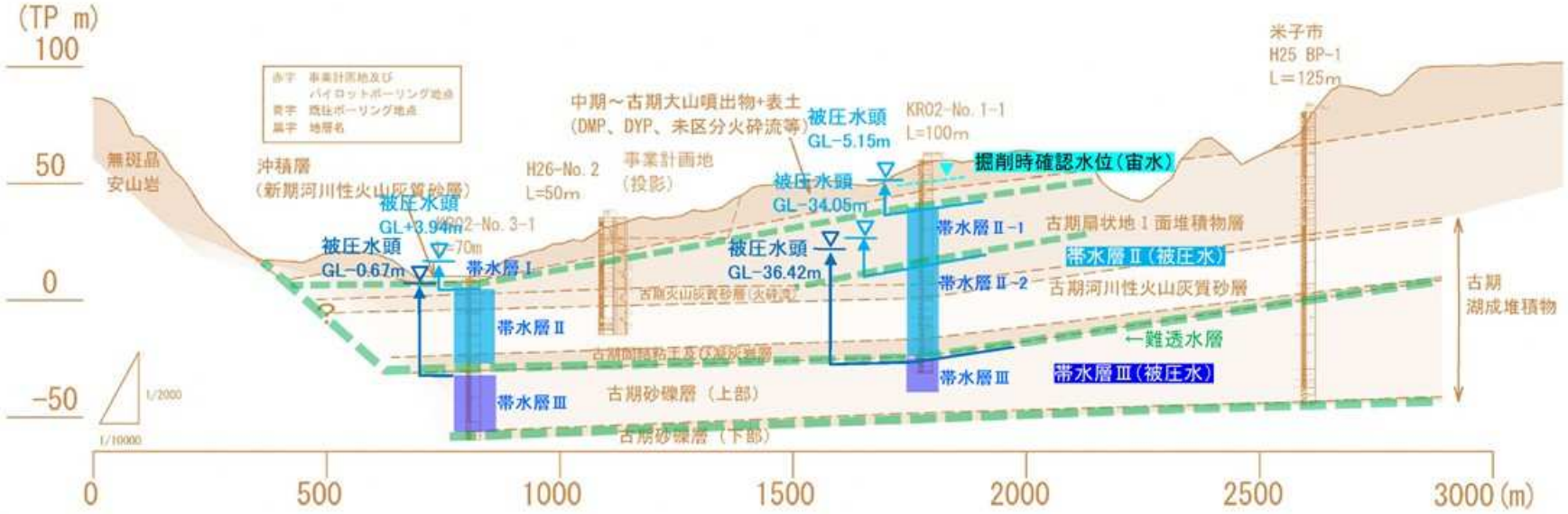
4.2　シミュレーションの対象範囲の設定

(2)深度範囲

深度方向における境界条件の設定では、一般的には基盤層と見なせる深さまでを設定するのが望ましい。

しかし、対象地の基盤層は相当に深く、調査でこれを確認することは困難である。その様な状況のなか、調査で確認された最深部の地層となる古期砂礫層は標高-50m前後で固結度が異なる様子も確認された。

これより、深度方向における水理境界は、古期砂礫層（下部）の透水性を確認した上で、帯水層Ⅲ（古期砂礫層（上部））までをモデル化する。



地下水流動モデル断面図

©2020 FUKKEN Co., Ltd. All Rights Reserved

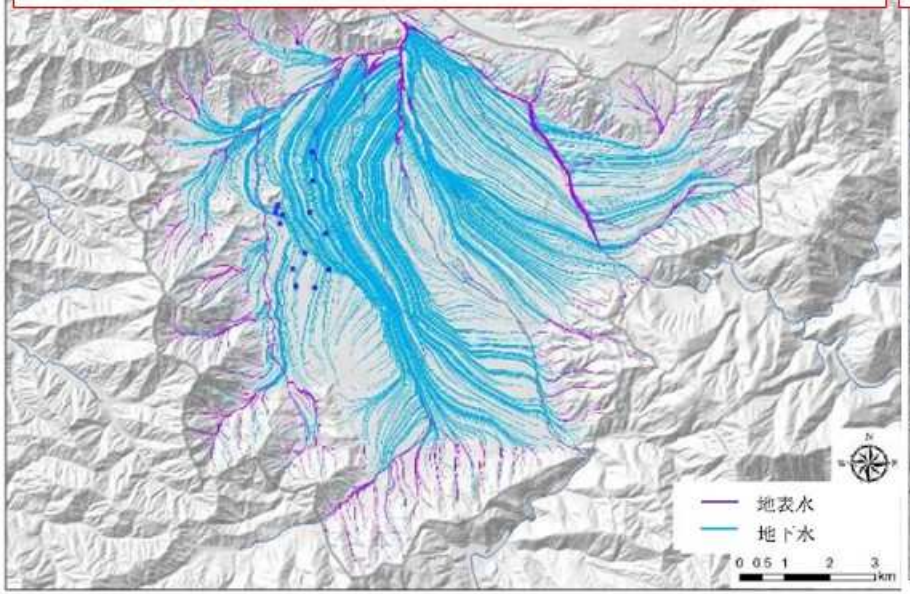
4.3　解析項目（案）

解析項目では解析目的を踏まえ、以下に示す項目に着目してシミュレーションを行い、「地下水の流れを視覚的に理解できるよう「視覚化」を行う」。

①流線軌跡図・流線ベクトル図

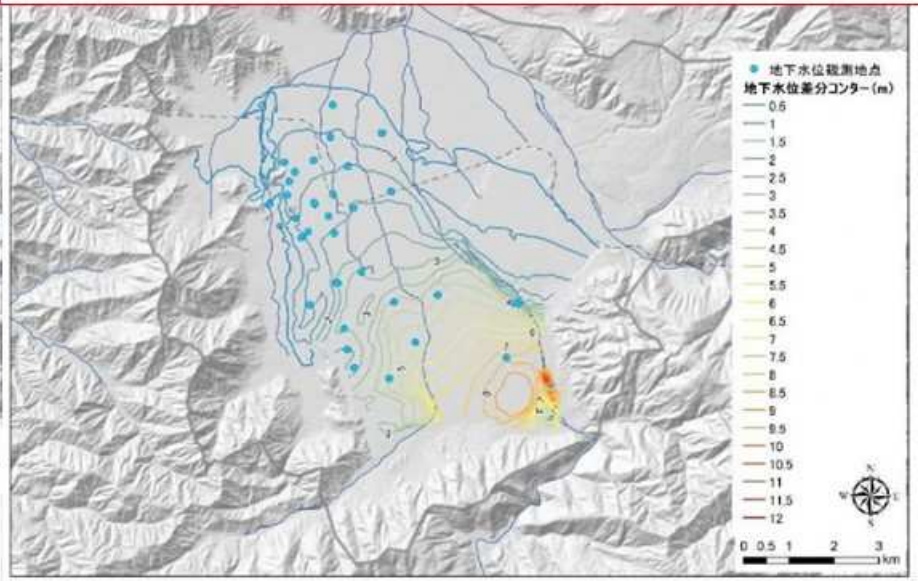
②地下水位等高線図

流線軌跡図の作成により地下水の流れを視覚化



流線軌跡図の例

地下水位等高線図の作成により対象領域の地下水標高、地下水流向を視覚化



地下水位変化を示す地下水位等高線図の例

「水循環解析に関する技術資料～地表水と地下水の一体的な解析に向けて～」国土交通省　国土技術政策総合研究所資料より抜粋

4.4　解析モデルの選定

水循環解析モデルは、多くのモデルが公表され、地下水モデルの構造、メッシュ形状、河川水と地下水との水交換の表現手法等により特徴的な差異がある。
モデル選定では下記の要件を満たす解析モデルを選定する。

(1)モデル選定にあたっての要件

・地形、地質、土地利用などの状況をモデル化し、解析範囲全域の水循環を三次元的に再現できること。

・降雨、融雪、蒸発散、表面流出、降下浸透、地下水流動、河川流出、地下水揚水及び河川水と地下水の交流などの水文プロセスを可能な限り現実に近い状態で再現できること。

・地表水・地下水中の保存性年代トレーサー物質（トリチウム・CFC_S等）の輸送シミュレーションに基づく、帯水層貯留性評価ができること。

・地表水・地下水のやりとりが連成的（一体的）にシミュレーションでき、地表水・地下水の流線軌跡図等として見える化できること。

©2020 FUKKEN Co., Ltd. All Rights Reserved

4.4　解析モデルの選定

代表的な水循環解析モデルを一覧に示す。このうち地表面水と地下水を一体化して解析できるモデルには、「GETFLOWS」と「UNSAF」などが挙げられる。

(2)水循環解析モデルの比較(参考)

解析モデル（開発国）		MIKE SHE（デンマーク）	WEP（日本）	MODFLOWS（アメリカ合衆国地質調査所）	GETFLOWS（日本）	UNSAF改良（日本）
開発者		DHI（デンマーク水理環境研究所	土木研究所	USGS（アメリカ地質調査所）	㈱地圏環境テクノロジー	岡山大学
地下水	不飽和流	鉛直一次元モデル	鉛直一次元モデル	飽和・不飽和混在三次元モデル	飽和・不飽和混在三次元モデル	飽和・不飽和混在三次元モデル
	飽和流	三次元モデル	準三次元モデル			
地表水	表面流	二次元拡散波近似モデル（Diffusion wave モデル）	一次元等流近似モデル（Kinematic wave モデル）	二次元拡散波近似モデル（Diffusion wave モデル）	二次元拡散波近似モデル（Diffusion wave モデル）	二次元等流近似モデル（Kinematic wave モデル）
	河道流	一次元モデル（Dynamic wave モデル）	一次元モデル（Kinematic wave モデル）	一次元モデル（Dynamic wave モデル）		
地表水・地下水一体解析※		×	×	×	○	○
河川と地下水の連動		○	○	○	○	○
物質輸送		○	○	○	○	○（DTRANSU）
メッシュ形状		四角形（格子）	四角形（格子）	四角形（格子）	四角形（任意）	三角形・四角形（任意）

※地表水・地下水のやりとりについて、方程式を一般化し、一体で解析することにより、地表水・地下水の流線軌跡図として見える化できる。
※本表は㈱建設技術研究所が作成したものを引用し、一部加筆したものである。

©2020 FUKKEN Co., Ltd. All Rights Reserved