

# GETFLOWS による 沢の流量の分析について (案)

※令和5年2月14日の第20回リニア中央新幹線静岡工区有識者会議（第7回環境有識者会議）でお示しした資料から、追記・修正した箇所は赤字で示しています。

令和5年4月

東海旅客鉄道株式会社

## 目次

(1)	はじめに .....	1
(2)	水収支解析の概要.....	3
1)	GETFLOWS の概要 .....	3
2)	静岡市モデルの解析の流れ.....	4
3)	静岡市モデルの解析条件.....	6
(3)	静岡市モデルにおける上流部の沢等の流量の解析値と観測値について .....	10
(4)	主要な断層部の透水係数の変更について.....	14
1)	変更の考え方について.....	14
2)	検証結果について.....	16
3)	検証結果の考察.....	19
(5)	今後の進め方について.....	21

## (1) はじめに

- これまでに当社は、リニア中央新幹線静岡工区有識者会議（以下、有識者会議という）において、トンネル工事による水資源に対する環境保全措置（導水路トンネル等施設の規模等）の検討を目的としたトンネル水収支モデル（解析コード：TOWNBY）と南アルプスにおける自然環境の保全を目的として静岡市が実施した統合型水循環解析モデル（GETFLOWS）の2つの解析モデルを活用し、ご説明してきました。
- その後、2022年6月の第14回有識者会議以降開催されている環境保全に関する有識者会議においては、委員より上流部の沢への影響確認のためにはGETFLOWSを活用することが良いのではないかとのご意見を頂いています。
- 令和5年2月の第20回有識者会議では、静岡市が実施した南アルプス地域を対象としたGETFLOWSによる解析（以下、静岡市モデルという）の概要や現状の静岡市モデルにおける大井川上流部の、沢や西俣川、大井川本流（以降、沢等という）の流量について、解析値と観測値を比較した結果をご説明しました。
- その結果、流量が大きい沢等については、解析値と観測平均値は概ね整合し、流量の小さい沢等については、解析値と観測平均値の差が大きい傾向がみられ、特に流域に断層を含む沢等については、観測平均値に対して、解析値が小さくなる傾向がみられました。
- これは、解析モデルでは、断層部の透水性を大きく設定していることにより、地下への浸透量が大きく、地表面への湧出量が小さくなることから、解析上の流量が小さく算出されているものと考えられます。なお、流量が大きい沢等については、解析値と観測平均値が概ね整合していることから、流量が小さい沢等の解析値と観測平均値の差が大きいということによって、大井川全体の流量評価に影響は与えないものと考えています。
- 前回会議において、委員から、どのような透水係数を設定すると解析値が観測値に近づくのか、またその理由を考察することとのご意見を頂きました。
- 本稿では、解析上の断層部の透水係数を変更し、改めて解析値と観測値を比較した結果をご説明し、更に今後の方針についてご説明します（これまでの経緯を図2にお示しします）。

第1回～13回  
有識者会議

【活用した解析モデル】

JR東海モデル（TOWNBY）、静岡市モデル（GETFLOWS）の2つのモデルを活用

第14回  
有識者会議  
（環境保全）以降

委員からのご意見

- ・ 上流部の沢への影響確認という目的に応じたモデルを用いるべき
- ・ GETFLOWSの方が上流部の沢の解析には親和性が高い

第19回  
有識者会議  
（前回）

【JR】現状の静岡市モデル（GETFLOWS）における上流部の沢等の流量の解析値と観測値を比較

- ・ 流域に断層を含む沢等で観測平均値に対して解析値が小さくなる傾向（断層部の透水性を大きく設定していることにより、地下への浸透量が大きく、地表面への湧出量が小さくなることから、解析上の流量が小さく算出されているものと考えられる）
- ・ 流量が大きい沢等については、解析値と観測平均値が概ね整合していることから、流量が小さい沢等の解析値と観測平均値の差が大きいということによって、大井川全体の流量評価に影響は与えないものと考えている。

委員からのご意見

- ・ どのような透水係数を設定すべきか、またその理由を考察すること
- ・ 今まで行ってきた中下流の流量に関する議論に影響を与えるということにならない中で、より丁寧に上流の沢の議論に繋がっていくのではないかと期待はある。

第20回  
有識者会議  
（今回）

【JR】主要な断層の透水係数を変更した結果と考察を説明

【JR】今後の方針（上流域の沢の影響分析という目的を踏まえ、新たに、上流域に特化した解析範囲や格子サイズを設定）

図1 これまでの経緯と本日の説明

## (2) 水収支解析の概要

### 1) GETFLOWS の概要

- ・統合型水循環解析モデル：GETFLOWS は、降水から地下への浸透、地表面流動、河川への流出を一連のシステムとして一体的に捉え解析するものです。具体的には、流域の地表・地下を三次元で分割し、地表水と地下水の流れを統一的な数学モデルの下で連成して解くことができる手法です。
- ・主な適用事例は、秦野市の水資源管理のための水循環モデル作成および情報公開化支援（2018年2月）、東京の水循環を描き出す武蔵野台地モデル（2018年7月）、九州北部豪雨災害への GETFLOWS によるアプローチその1 斜面表層崩壊（2018年9月）、九州北部豪雨災害への GETFLOWS によるアプローチその2 小野地地区地すべり（2018年9月）などです。

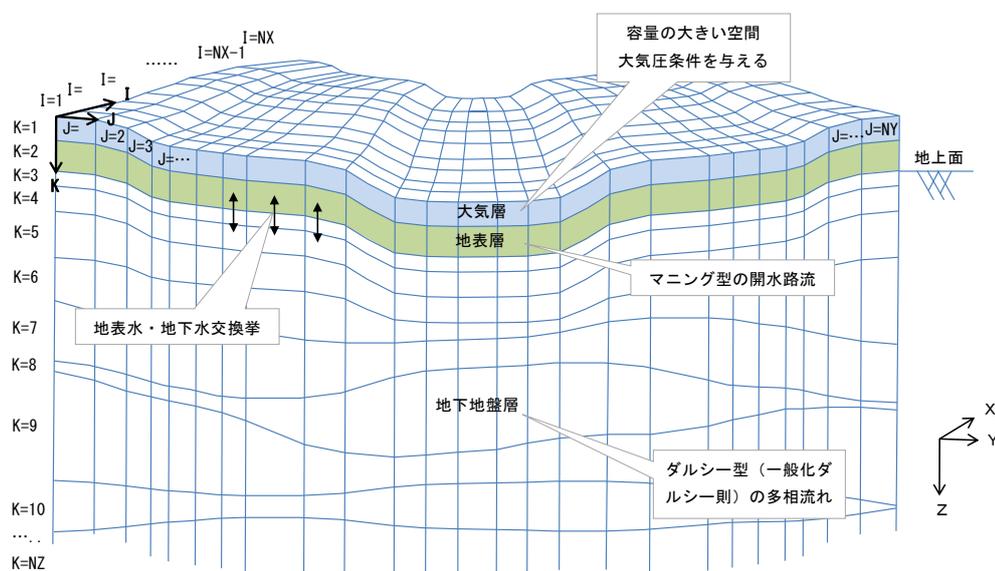


図 2 GETFLOWS のイメージ

## 2) 静岡市モデルの解析の流れ

・解析の流れを図 3 にお示しします。

※①～⑥の各項目については、次ページに詳細をお示しします。

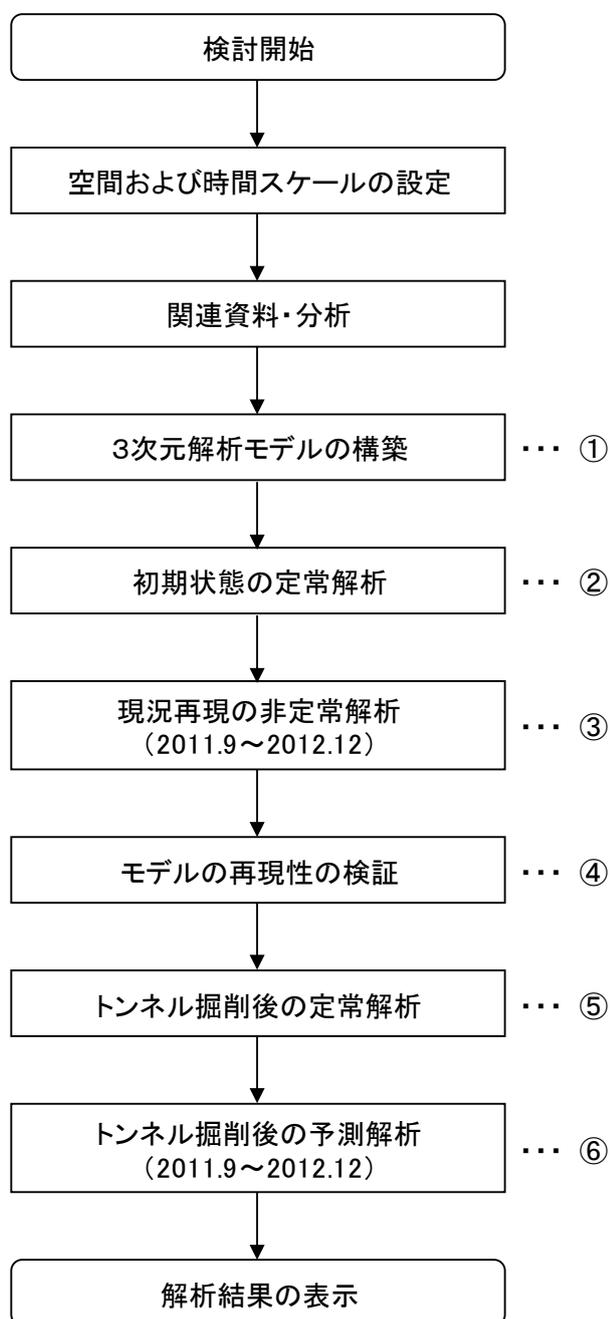


図 3 静岡市モデル 解析の流れ ※静岡市による解析作業

出典：静岡市提供資料「平成 26 年度環総委第 6 号静岡市南アルプス地域水循環モデル構築業務報告書」及び静岡市による解析の受託者である株式会社地圏環境テクノロジーへのヒアリングをもとに作成

### ①3次元解析モデルの構築

- ・地形、地質、気象、ダムなどに関する情報を収集・整理し、3次元解析モデルを構築します。

#### 【現況再現解析】

### ②初期状態の定常解析

- ・現況の平均的な地下水分布を再現するため、平均の日降水量を継続的に与え続けて平衡場（安定状態）を作成しています。なお、平均の日降水量は、気象庁が提供する国土数値情報平年値メッシュデータ（降水量）のうち1981～2010年までの平年値を使用しています。

### ③現況再現の非定常解析

- ・定常解析に続いて、2011.9～2012.12の間の日別のレーダー・アメダス解析雨量による実績降水量及びダムの実績取水量等を入力し、非定常解析を実施し、現況再現状況を作成しています。

### ④モデルの再現性の検証

- ・現況再現結果に対して、赤石ダムや畑薙第一ダムにおいて解析流量と観測流量との比較等を行い、モデルの再現性を確認し、現況モデル（トンネル掘削前のモデル）を作成しています。

#### 【予測解析】

### ⑤トンネル掘削後の定常解析

- ・トンネル掘削の影響を把握するため、トンネル掘削前のモデルにトンネルを格子の一つとして組み込み、トンネル掘削後のモデルを作成して、②と同様の解析を行い平衡場（安定状態）を作成しています。

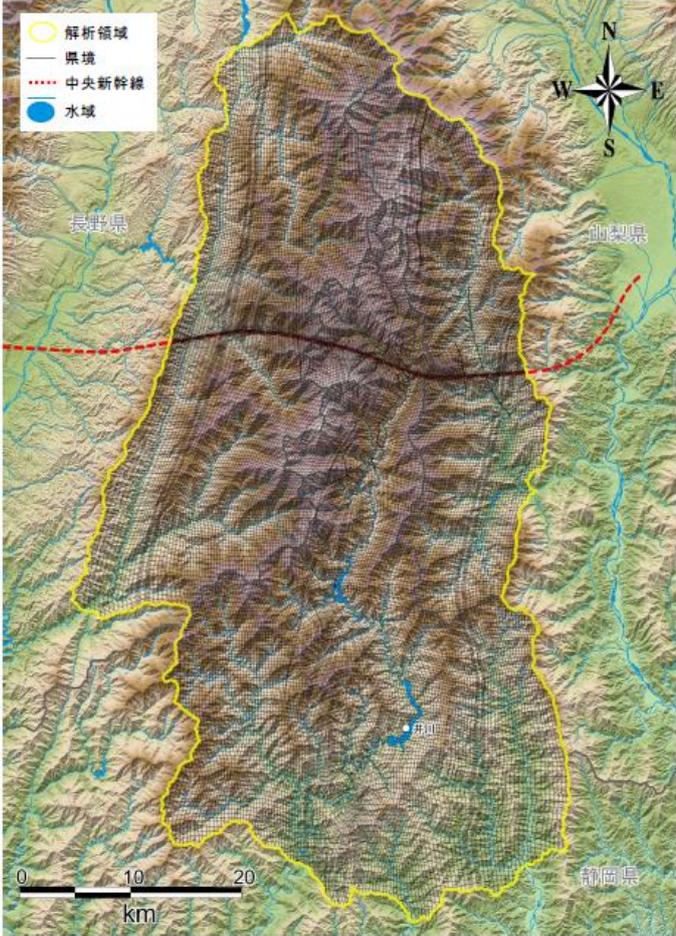
### ⑥トンネル掘削後の予測解析

- ・トンネル掘削後の定常解析に続いて、③と同様の条件（気象条件、取水条件）を入力して実施しています。
- ・解析期間は、工事による環境変化をより端的に予測するため、降水量の比較的少ない2012年としています。ただし、助走解析として、2011年9月以降から解析を行っており、2011年10月以降は解析結果として取り扱っています。

### 3) 静岡市モデルの解析条件

- ・解析条件を表 1 にお示しします。

表 1 解析条件の概要

解析条件	静岡市モデルの概要
1) 解析領域	<p><b>【解析範囲】</b>            以下のとおり設定しています。            図 4 のとおり、南アルプスの大半（大井川水系上流部）を包含し、流域の分水界の外側を囲む範囲</p> <p>（解析領域）            面積 約 2,300 km<sup>2</sup>            深さ方向 標高-3,000 m（モデル化深度）</p> <p>（格子設定）            平面格子数：約 31,000 個            深度分割数：29 分割            全体：約 900,000 格子            格子の大きさ：幅 250 m を目安とする</p>  <p><b>図 4 静岡市モデル 解析領域</b></p> <p>出典：静岡市公表資料「平成 28 年度南アルプス環境調査結果報告書 VI 水資源調査」をもとに作成</p>

【境界条件】

- ・モデルの側面及び底面は閉境界（非流入境界）
- ・境界部の河川は水の流出のみを許す境界（流出境界）

表2 静岡市モデル 境界条件

境界の種類		境界条件	備 考
上面（大気層）境界		大気圧境界	・モデル上面の大気層の大気圧力を層内全域で標準大気圧（1atm）に固定。
底面境界		非流入境界	・モデル底面は水の出入りがない閉境界。
陸域側面境界	山地嶺線境界	非流入境界	・嶺線を横断する水（表流水・地下水）の出入りがない閉境界（不透壁境界）。
河川の解析領域境界横断部	流量境界	流出境界	・解析領域境界から水の流出のみを許す境界。標準大気圧下で計算される河川流量を放流。

出典：静岡市提供資料「平成 28 年度環境創委第 19 号静岡市南アルプス地域水循環モデル構築業務成果報告書」をもとに作成

2) 地質構造

以下のとおり設定しています。

- ・図 5 及び図 6 に示すとおり、断層部は、山梨県境付近の断層帯及びその他のいくつかの断層を「主要な断層」（図 5 の緑色）、それ以外を「重要でない断層」（図 6 の黄緑色）に区分
- ・断層を解析モデルに組み込むにあたっては、「主要な断層」については、平面格子を沿わせ推定した破碎幅を反映して平面格子を作成。「重要でない断層」については、「主要な断層」のように破碎幅等を考慮して平面格子を作成することはせず、透水係数等の水理物性を修正することで対応
- ・図 6 に示すとおり、透水係数は「主要な断層」では  $1 \times 10^{-5}$  (m/秒)、「重要でない断層」については、周辺地山の 2 倍で設定。なお、トンネル直上の「主要な断層」の設定幅は、約 20m～250mとしている

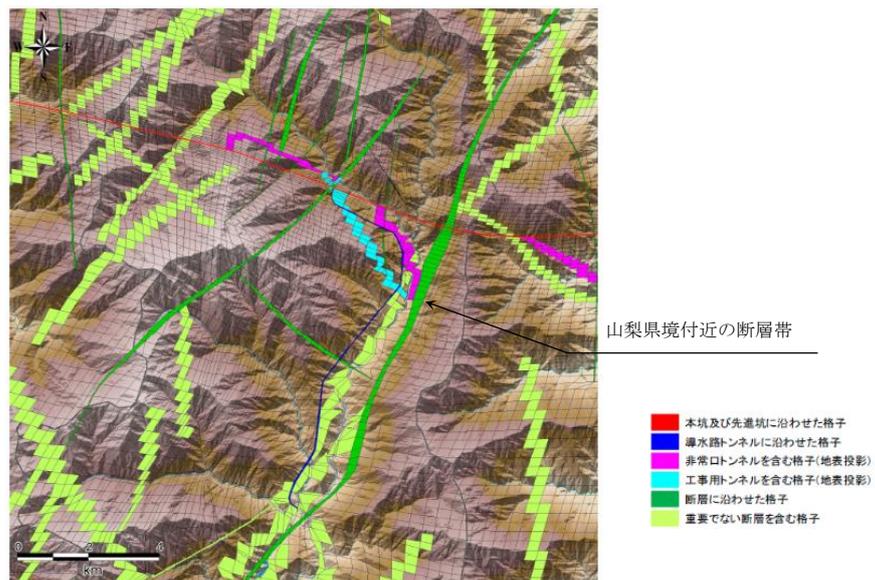


図 5 静岡市モデル 地質平面図（トンネル付近）

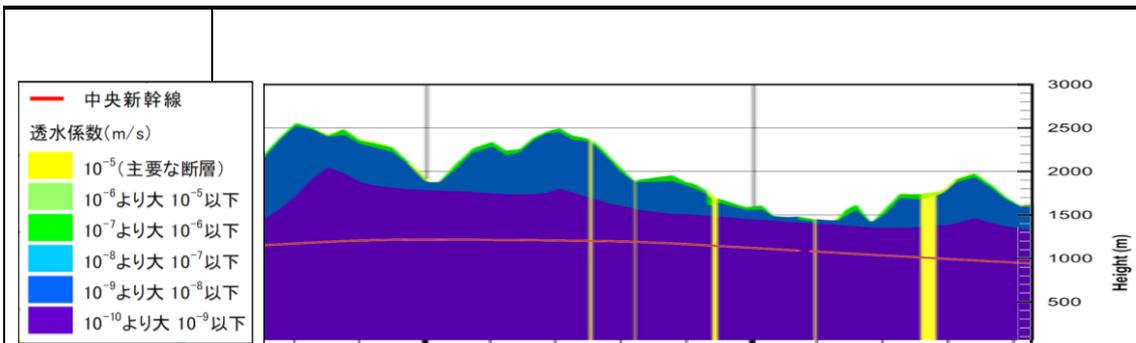


図 6 静岡市モデル 地質断面図（静岡県付近）

出典：静岡市提供資料「平成 28 年度環境創委第 19 号静岡市南アルプス地域水循環モデル構築業務成果報告書」及び静岡市による解析の受託者である株式会社地圏環境テクノロジーへのヒアリングをもとに作成

3) 水理定数

【透水係数、有効間隙率】

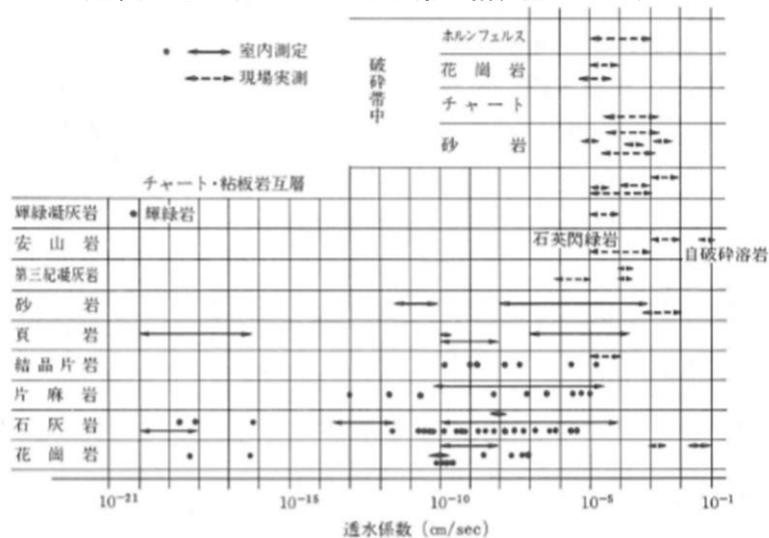
表 3 に示すとおり、

- ・「主要な断層」は  $k = 1.0 \times 10^{-5}$  (m/秒) で設定
- ・「重要でない断層」は地山の 2 倍で設定。有効間隙率は周辺地山と同じ
- ・初期パラメータを適用して計算したところ、検証地点で計算値と観測値との間に良好な同定結果が得られたので、初期パラメータを最終同定値とした

表 3 静岡市モデル 透水係数及び有効間隙率

地層区分		透水係数(m/秒)	有効間隙率(%)
表土層		H : $1 \times 10^{-3}$	40
		V : $1 \times 10^{-4}$	
沖積層		$1 \times 10^{-4}$	30
地すべり		$1 \times 10^{-5}$	20
水理基盤 岩類	風化緩み部 (区分Ⅰ)	$1 \times 10^{-4} \sim 10^{-6}$	10
	風化緩み部 (区分Ⅱ)	$1 \times 10^{-4} \sim 10^{-8}$	5~10
	風化緩み部 (区分Ⅲ)	$1 \times 10^{-7} \sim 10^{-8}$	2~5
	新鮮岩	$1 \times 10^{-9}$	1
断層	主要な断層	$1 \times 10^{-5}$	10
	重要でない断層	周辺地山の2倍	周辺地山と同じ

表 4 (参考) 岩種別岩盤の透水係数の範囲  
(出典：地下水ハンドブック第 2 編、図 3.1.14)



4) 気象条件	<p><b>【降水量】</b>  (初期状態の定常解析)  ・ 現況の平均的な地下水分布を再現するため、平均の日降水量を継続的に与え続けて平衡場（安定状態）を作成しています。なお、平均の日降水量は、気象庁が提供する国土数値情報平年値メッシュデータ（降水量）のうち1981～2010年までの平年値を使用しています。</p> <p>(現況再現の非定常解析及びトンネル掘削後の予測解析)  ・ 定常解析に続いて、2011. 9～2012. 12の間の日別のレーダー・アメダス解析雨量による実績降水量及びダムの実績取水量等を入力し、非定常解析を実施し、現況再現状況を作成しています。非定常解析においては解析領域で平均すると年間約2, 500 mmの降水量を入力しています。</p> <p><b>【蒸発散量】</b>  以下の一連の計算を解析において自動的に算出しています。  ・ 標高により気温補正を行ったハーモン法により、可能蒸発散量を算出  ・ 土壌水分の飽和度を算出するとともに地表の植生等の各種条件を考慮して、実蒸発散量を算出する</p> <p>ハーモン法：『経験則から導かれたもので、日平均気温と緯度に応じた日照時間から可能蒸発散量を推定する手法』</p>
---------	---

### (3) 静岡市モデルにおける上流部の沢等の流量の解析値と観測値について

- ・ 静岡市が静岡市モデルを作成した際、2011年9月～2012年12月の間の日別のレーダー・アメダス解析雨量による実績降水量等を入力した非定常解析を実施し、赤石ダムや畑薙第一ダムにおける解析流量と観測流量との比較等を行うことで、現況再現性を確認しています（図9、図8）。

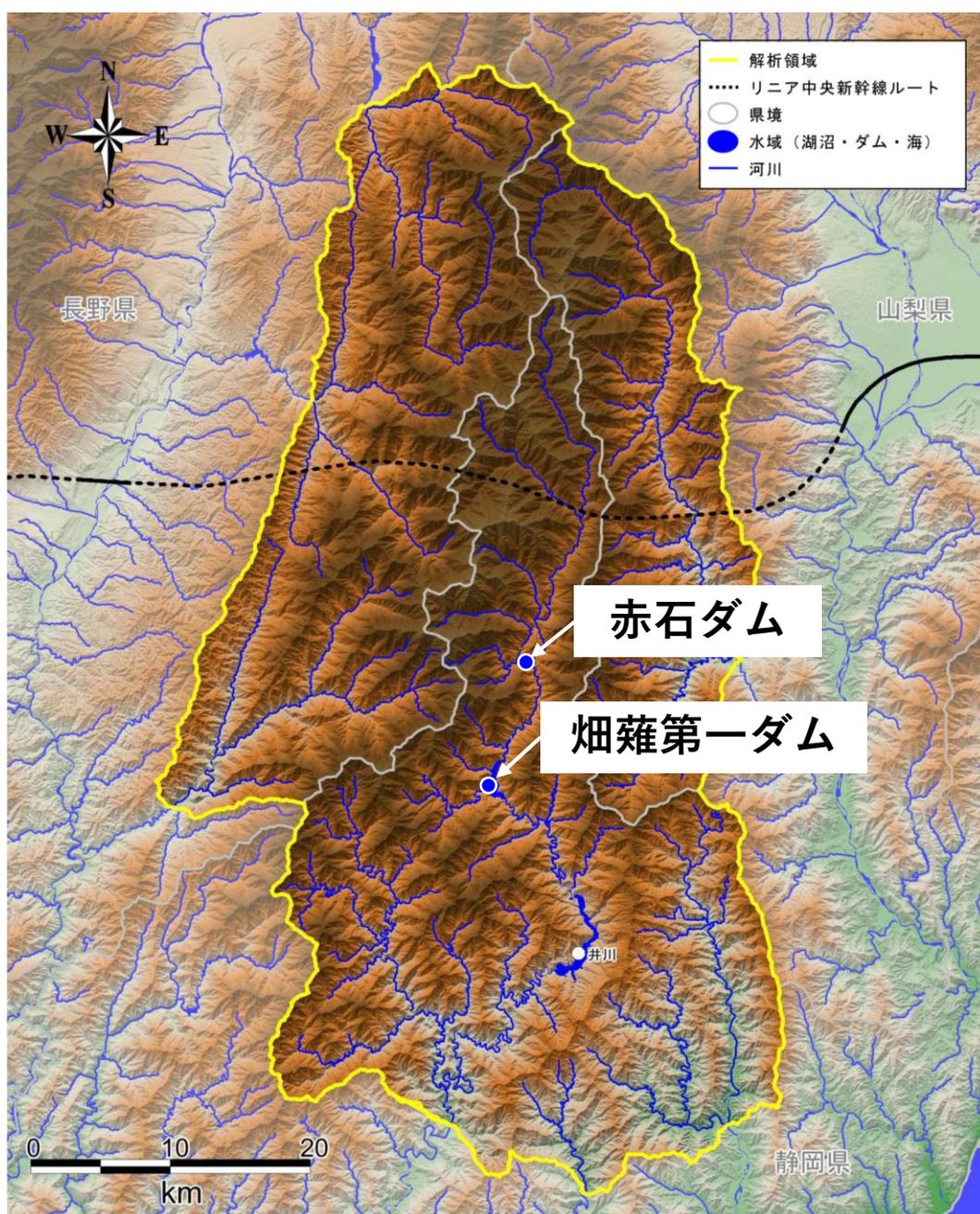


図7 赤石ダム、畑薙第一ダムの位置図

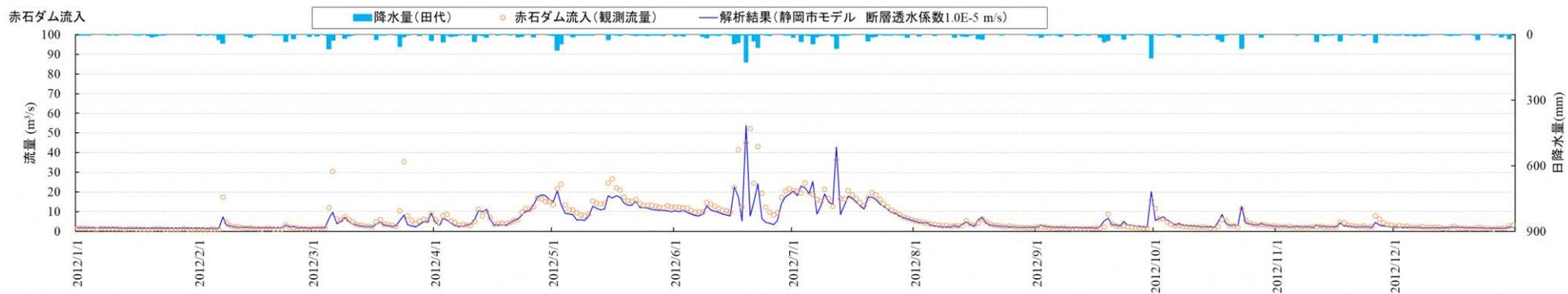


図 9 赤石ダムのダム流入量の解析値と観測値との比較(静岡市による解析作業)

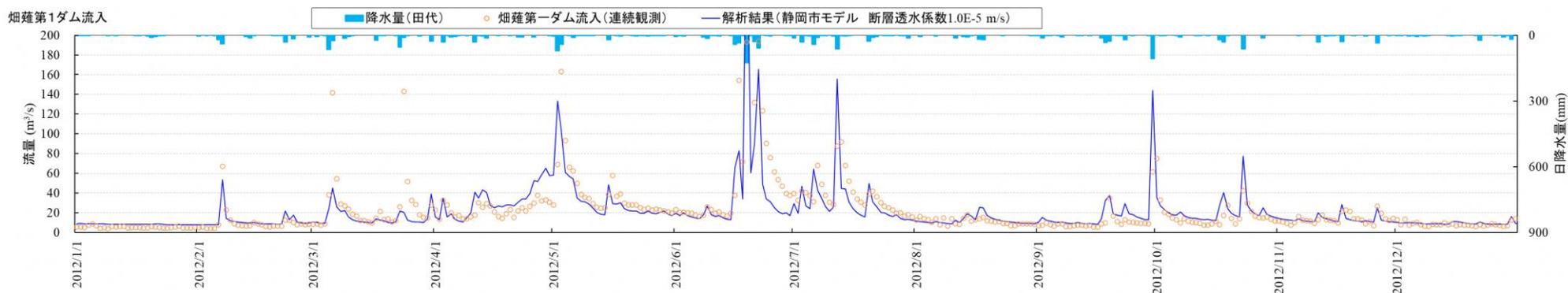


図 8 畑薙第一ダムのダム流入量の解析値と観測値との比較(静岡市による解析作業)

- ・今後、上流域の沢の影響分析を実施していくことを踏まえ、現状の静岡市モデルにおける大井川上流部の沢等の流量について、解析値と観測値の比較を行いました。
- ・具体的には、当社が年2回（8月期と11月期、一部の地点は月に1回）、計測を行っている沢等<sup>1</sup>について、解析値と観測値の比較を行いました。
- ・比較に用いた解析値は、観測値に連続観測したデータがないことから、非定常解析ではなく、平均の日降水量<sup>2</sup>を継続的に与え続けた定常解析の結果としました。観測値は、当社が計測を行っている2012年、2014年から2021年<sup>3</sup>までの年に2回の観測値の平均値としました。
- ・解析値と観測値を比較した沢等の位置図を図10に示します。解析値と観測値を比較した結果を、図11に両対数グラフで示します。なお、凡例中の「流域に断層を含む沢等」は、流域に解析モデル上で設定した**主要な断層**を含んでいることを指し、「流域に断層を含まない沢等」は、流域に解析モデル上で設定した**主要な断層**を含んでいないことを指しています。

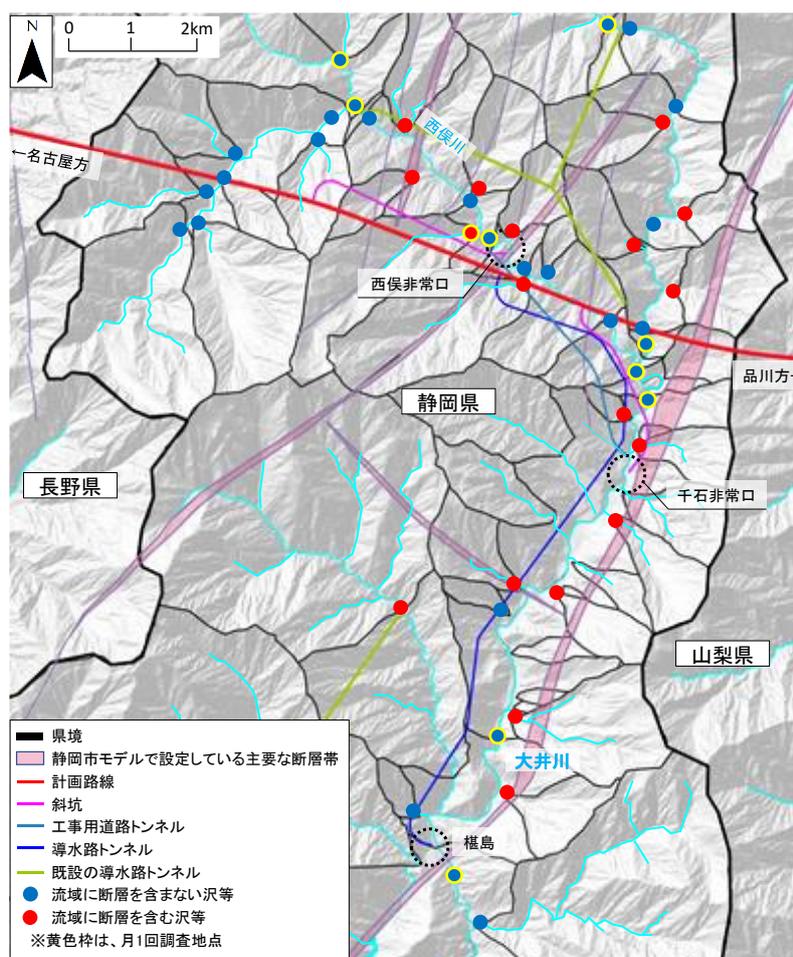


図10 観測箇所の位置図

<sup>1</sup> 崩壊地に存在し、流量観測地点では伏流していると考えられる沢は除く

<sup>2</sup> 気象庁が提供する国土数値情報平年値メッシュデータ（降水量）のうち1981～2010年までの平年値

<sup>3</sup> 2013年は環境影響評価準備書の手続きを進めている時期であり、計測を行っていない。

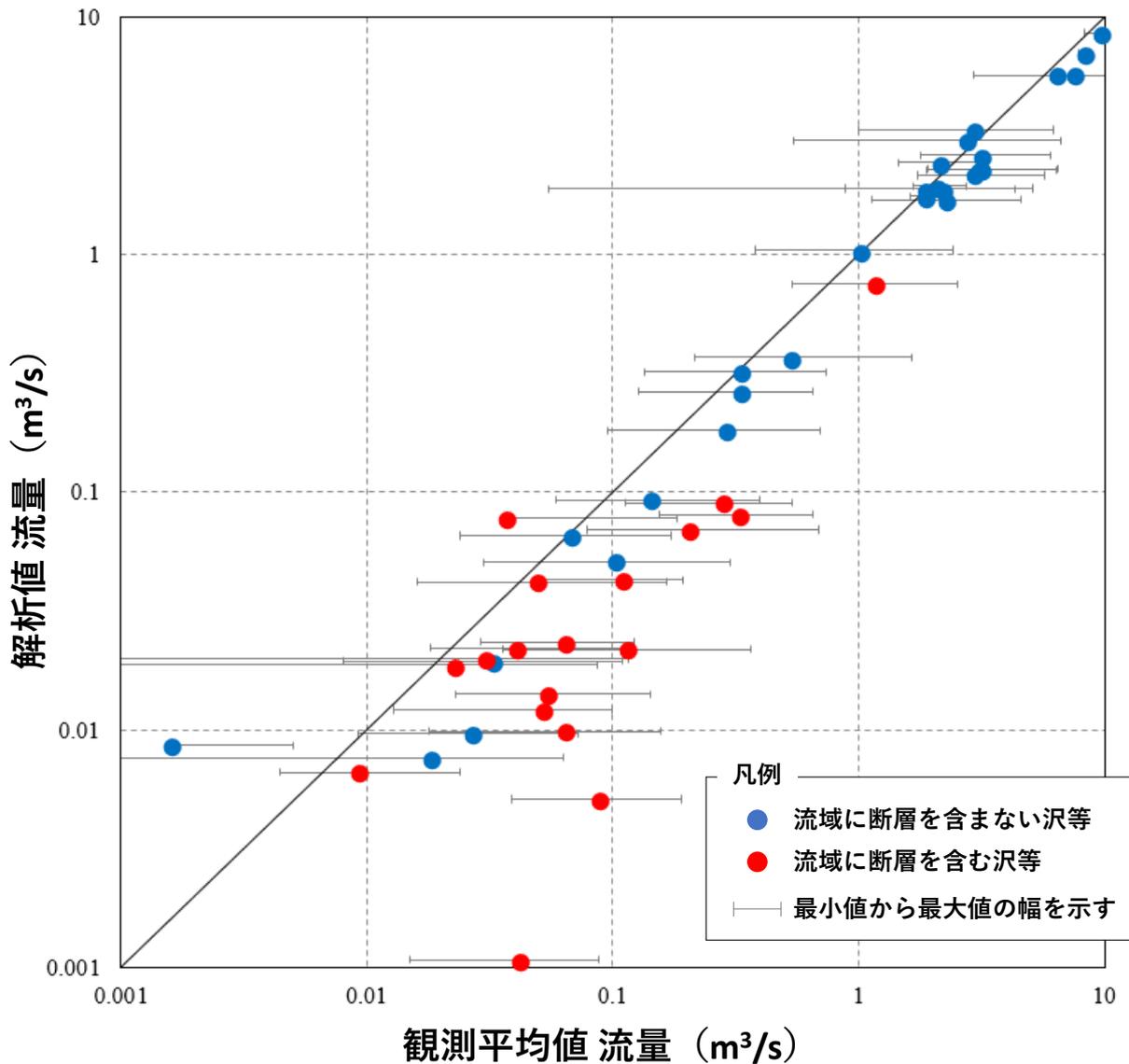


図 11 解析値と観測平均値の流量の比較  
 (主要な断層の透水係数： $1.0E-5$  (m/s) の場合)

- ・流量が大きい沢等については、解析値と観測平均値は概ね整合し、流量の小さい沢等については、解析値と観測平均値の差が大きい傾向がみられます。
- ・特に流域に断層を含む沢等については、観測平均値に対して、解析値が小さくなる傾向がみられます (図 11 の赤丸)。
- ・これは、解析モデルでは、断層部の透水性を大きく設定していることにより、地下への浸透量が大きく、地表面への湧出量が小さくなることから、解析上の流量が小さく算出されているものと考えられます。
- ・なお、流量が大きい沢等については、解析値と観測平均値が概ね整合していることから、流量が小さい沢等の解析値と観測平均値の差が大きいということによって、大井川全体の流量評価に影響は与えないものと考えています。

## (4) 主要な断層の透水係数の変更について

### 1) 変更の考え方について

- ・今後、トンネル掘削に伴う地下水位変化による沢の流量変化の分析を行うにあたっては、沢等の流量の解析値と観測平均値との整合性を改善したモデルを用いて実施していきたいと考えています。
- ・(3) で確認したように、現状の静岡市モデルでは、主要な断層の透水性を大きく設定 ( $1.0E-5(m/s)$ ) していることにより、解析上の流量が小さく算出されていると考えられることから、解析モデル上での主要な断層の透水性を小さくすることにより、解析と観測平均値との整合性が改善されると考えられます。
- ・今回、透水係数を変更するにあたっては、静岡県内の断層部において透水係数を直接計測したデータがないため、文献を参考にしました。
- ・文献<sup>4</sup>によれば、破碎帯中の透水係数は、ばらつきがあるものの  $1.0E-7\sim 1.0E-5(m/s)$  (図 12、図中の透水係数の単位は  $cm/s$ ) であることに注意) に分布しているとされています。
- ・今回は主要な断層の透水係数について、現状の静岡市モデルより小さい  $1.0E-6(m/s)$  と  $1.0E-7(m/s)$  として検証しました。
- ・なお、同じ南アルプスにおいて、山梨県内で掘削を進めている南アルプストンネル (山梨工区) 広河原斜坑では、全長 **4.2 km** の掘削完了時の斜坑内からの総湧水量は約 **570 リットル/分** であり、粘板岩中の断層と思われる地盤が破碎質であった場所においても湧水量に大きな変化は見られず、施工的に問題となる量の湧水は発生していないことを確認しています。

---

<sup>4</sup> 地下水ハンドブック P76、改定地下水ハンドブック編集委員会、建設産業調査会、1998.8

図3.1.14 いろいろな岩の透水係数（佐藤・渡辺，1978より）

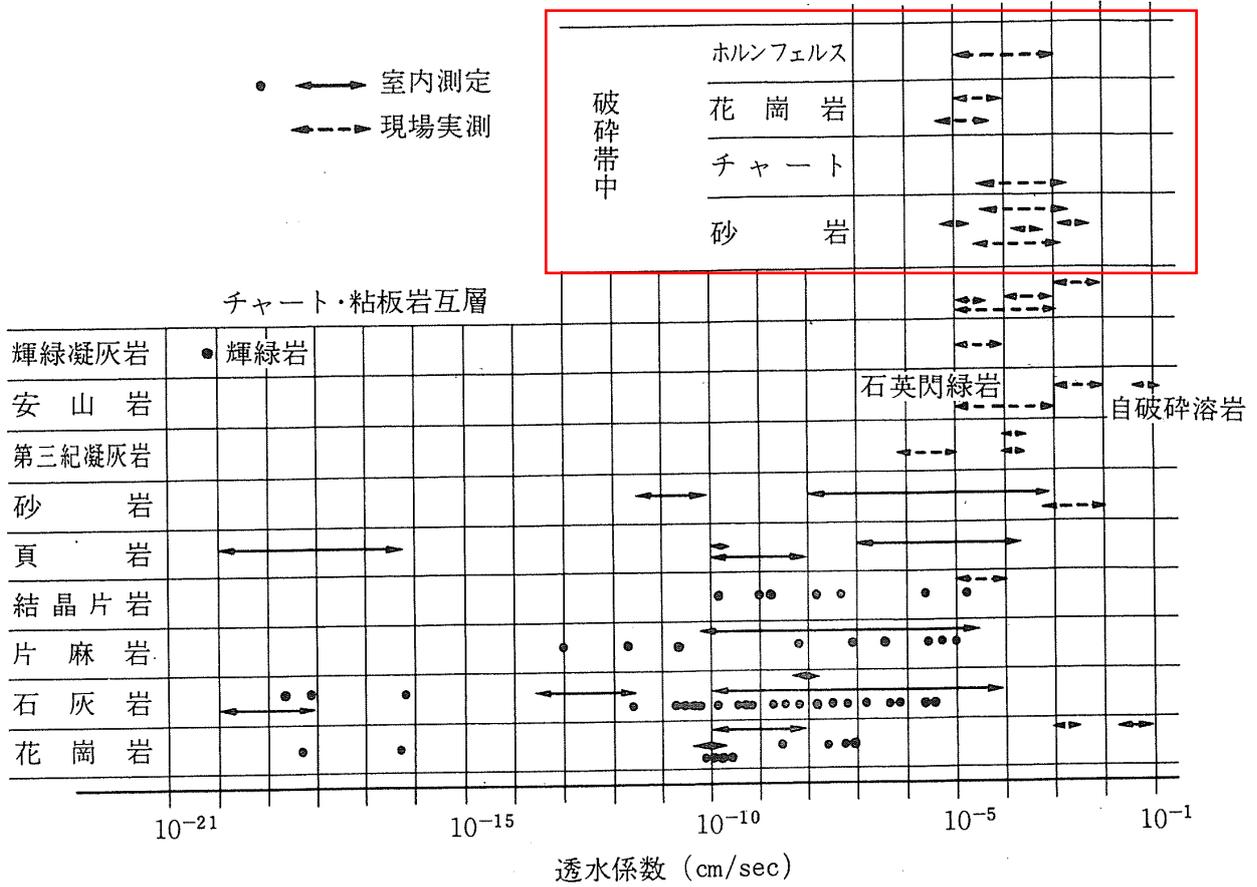


図 12 透水係数の文献値（文献に一部加筆）

## 2) 検証結果について

### ① 主要な断層の透水係数を $1.0E-6(m/s)$ とした場合

- ・(3) において解析値と観測平均値の比較を行った際と同様の条件で、主要な断層の透水係数を  $1.0E-6(m/s)$  に変更した場合について、解析値と観測平均値の比較を行いました。結果を図 13 に両対数グラフで示します。
- ・確認の結果、流量が大きい沢等については、透水係数の変更前（透水係数  $1.0E-5(m/s)$ ）と同様、解析値と観測平均値は概ね整合しました。
- ・また、透水係数の変更前（透水係数  $1.0E-5(m/s)$ ）には、観測平均値に対して解析値が特に小さくなる傾向がみられた、流域に断層を含む流量の小さい沢等についても、解析値が観測平均値に近づきました。

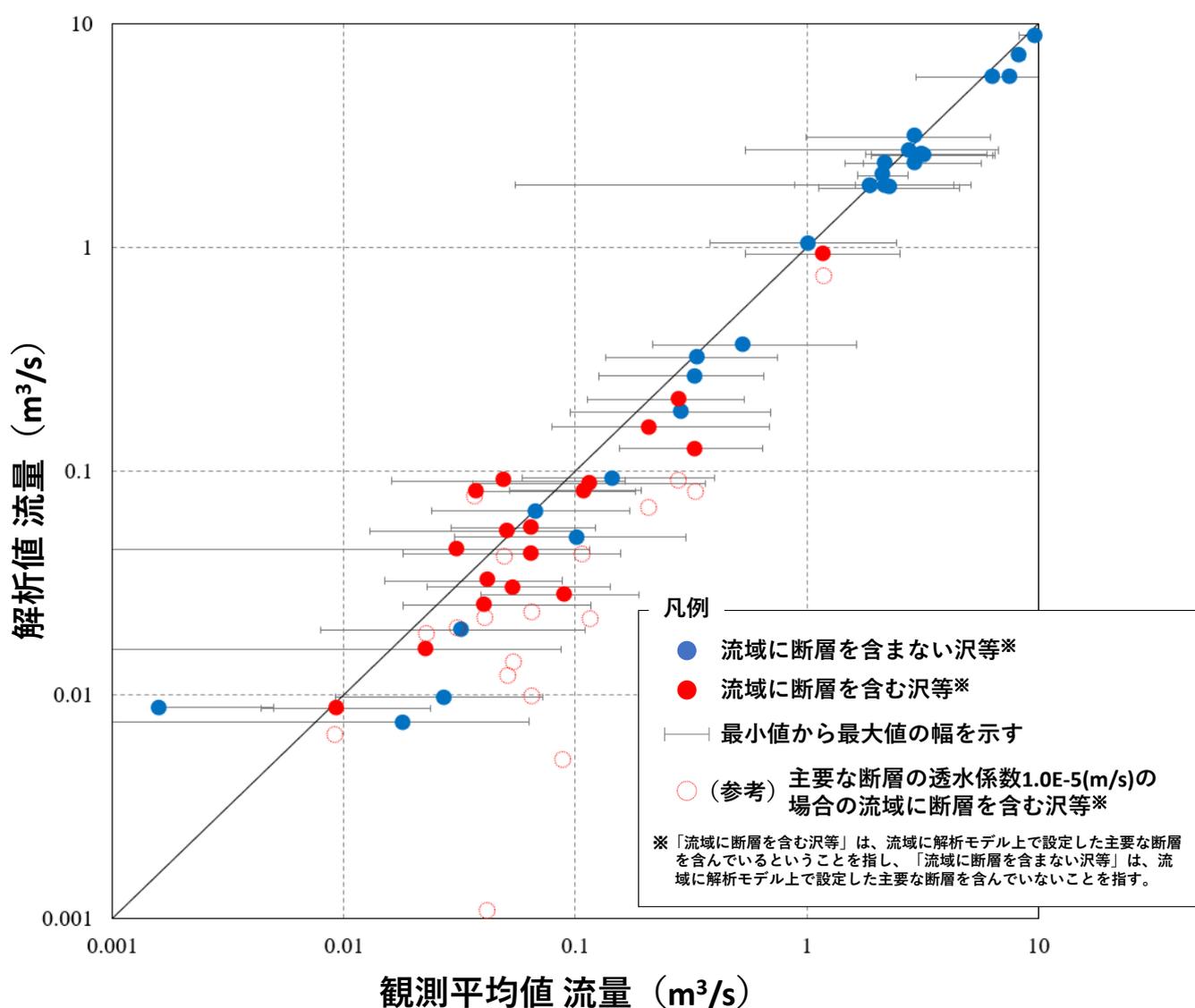


図 13 解析値と観測平均値の流量の比較  
(主要な断層の透水係数： $1.0E-6(m/s)$ の場合)

② 主要な断層の透水係数を  $1.0E-7(m/s)$  とした場合

- 同じく、(3) において解析値と観測平均値の比較を行った際と同様の条件で、主要な断層の透水係数を  $1.0E-7(m/s)$  に変更した場合について、解析値と観測平均値の比較を行いました。結果を図 14 に両対数グラフで示します。
- 確認の結果、 $1.0E-6(m/s)$  と同様に、流量が大きい沢等については、透水係数の変更前（透水係数  $1.0E-5(m/s)$ ）と同様、解析値と観測平均値は概ね整合しました。
- また、透水係数の変更前（透水係数  $1.0E-5(m/s)$ ）には、観測平均値に対して解析値が特に小さくなる傾向がみられた、流域に断層を含む流量の小さい沢等についても、解析値が観測平均値に近づきました。

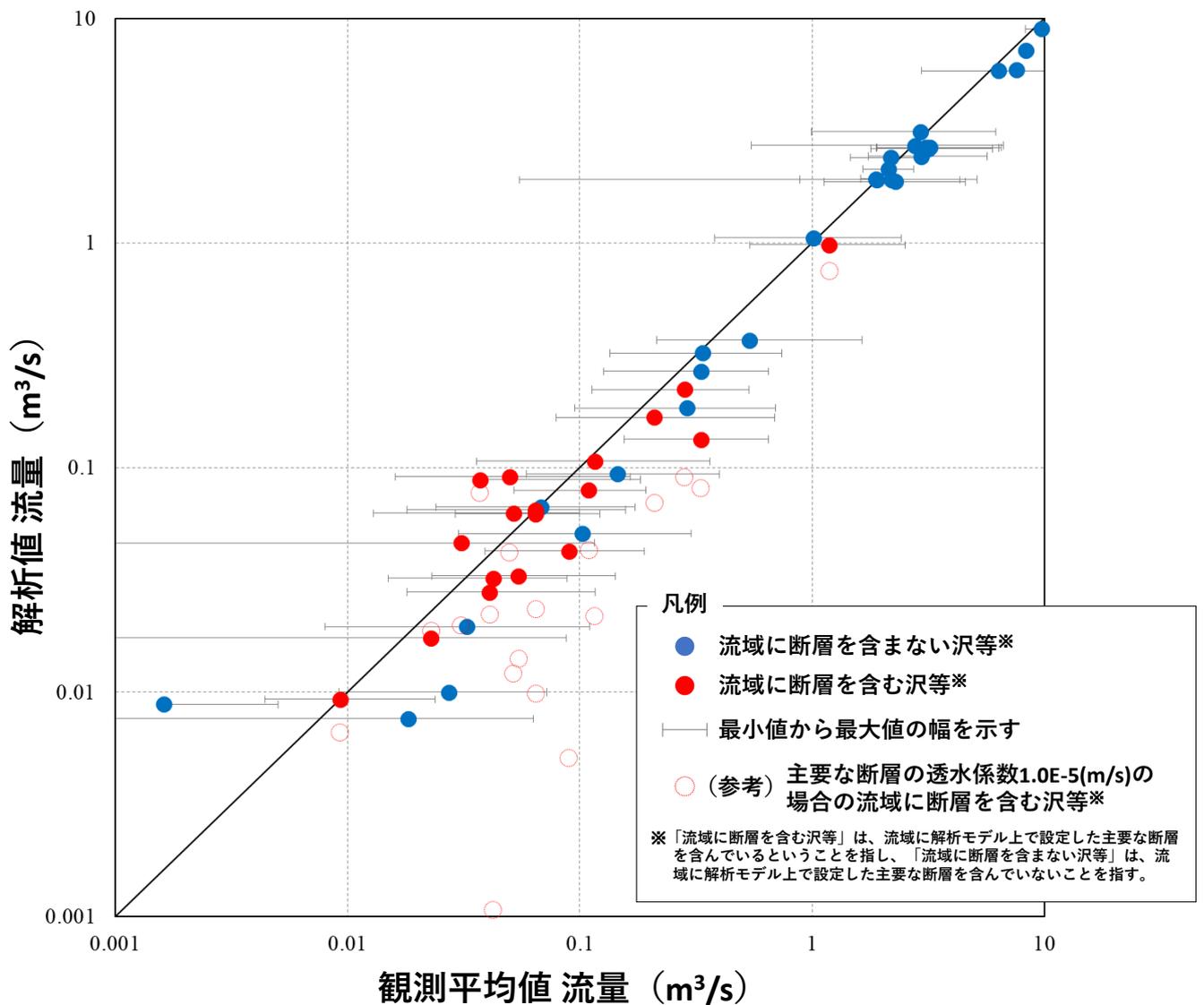


図 14 解析値と観測平均値の流量の比較  
(主要な断層の透水係数： $1.0E-7(m/s)$ の場合)

### ③ まとめ

- 文献に記載の幅で、主要な断層における透水係数を設定し、解析値と観測平均値との整合性を確認しました (図 15)。
- その結果、 $1.0E-6(m/s)$ 、 $1.0E-7(m/s)$ ともに、 $1.0E-5(m/s)$ と比較し、解析値と観測平均値の整合性が改善されました。
- トンネル掘削による上流域の沢の流量変化の分析を行うという目的を踏まえ、主要な断層の透水係数は、トンネル掘削時にトンネル湧水量がより大きく算出され、沢流量への影響が大きめに出る可能性が高い  $1.0E-6(m/s)$ をベースとして進めていきたいと考えています。

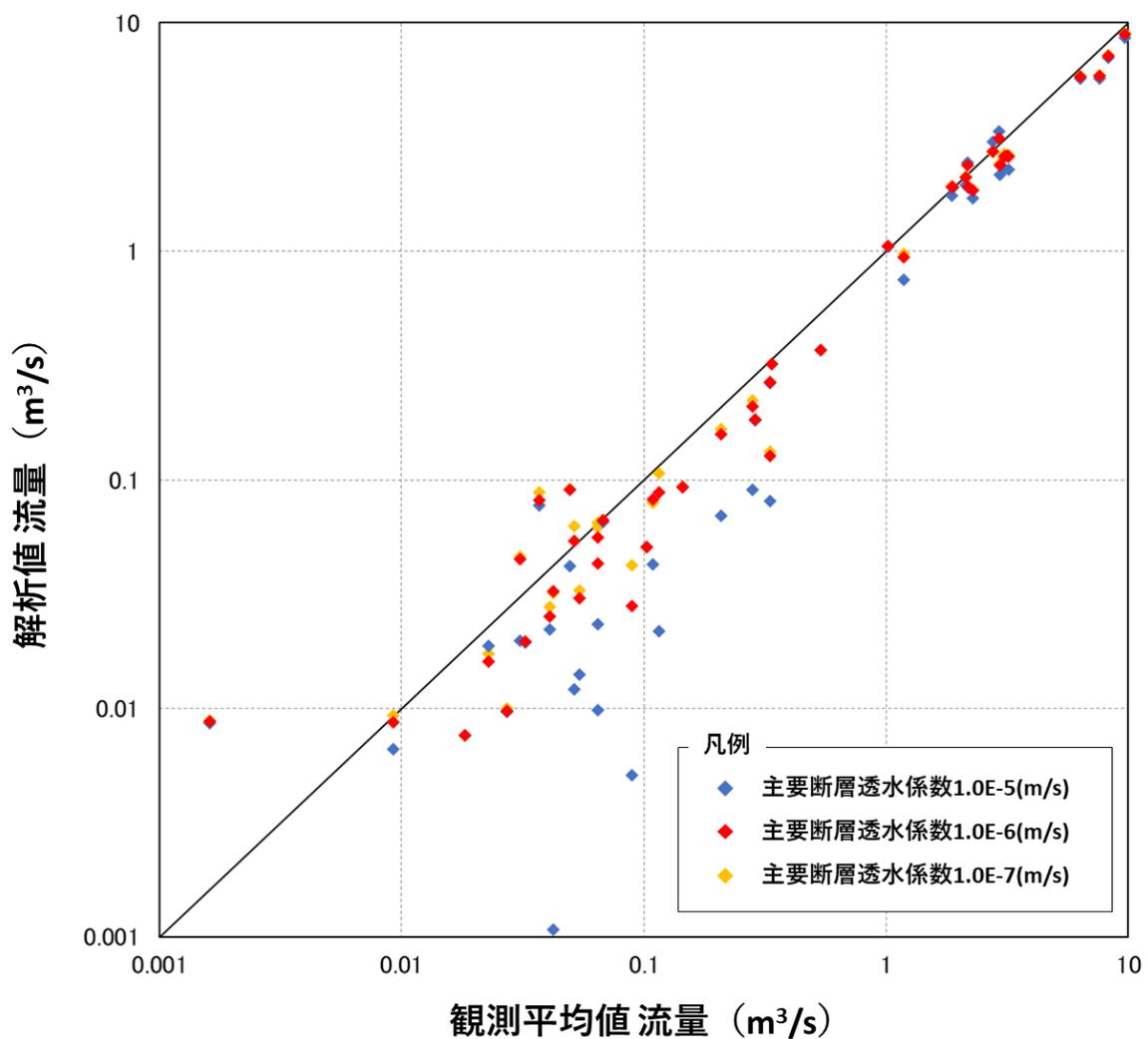


図 15 解析値と観測平均値の流量の比較  
(主要な断層の透水係数 :  $1.0E-5(m/s)$ 、 $1.0E-6(m/s)$   $1.0E-7(m/s)$ )

### 3) 検証結果の考察

- ・流域に断層を含む沢等について、解析値が観測平均値に近づいた理由を考察するため、悪沢に着目し、主要な断層の透水係数を変更することで断層沿いの地下水流動がどのように変化するかを確認しました。
- ・図 16 に悪沢の位置平面図、図 17 に透水係数の変更前(断層部  $1.0E-5(m/s)$ ) の地下水流動方向、図 18 に透水係数の変更後(断層部  $1.0E-6(m/s)$ ) の地下水流動方向を示します。
- ・図 17 と図 18 の通り、透水係数の変更前(断層部  $1.0E-5(m/s)$ ) には、断層沿いに地下へ浸透し、その後直接本川へ流出するという地下水流動方向であったものが、透水性を下げることにより、地表面への上向きの地下水流動方向となります。
- ・これに伴い、沢へ湧出する地下水が増え、解析上の沢流量が増加したことにより、流域に断層を含む流量の小さい沢等についても解析値が観測平均値に近づいたものと考えられます。

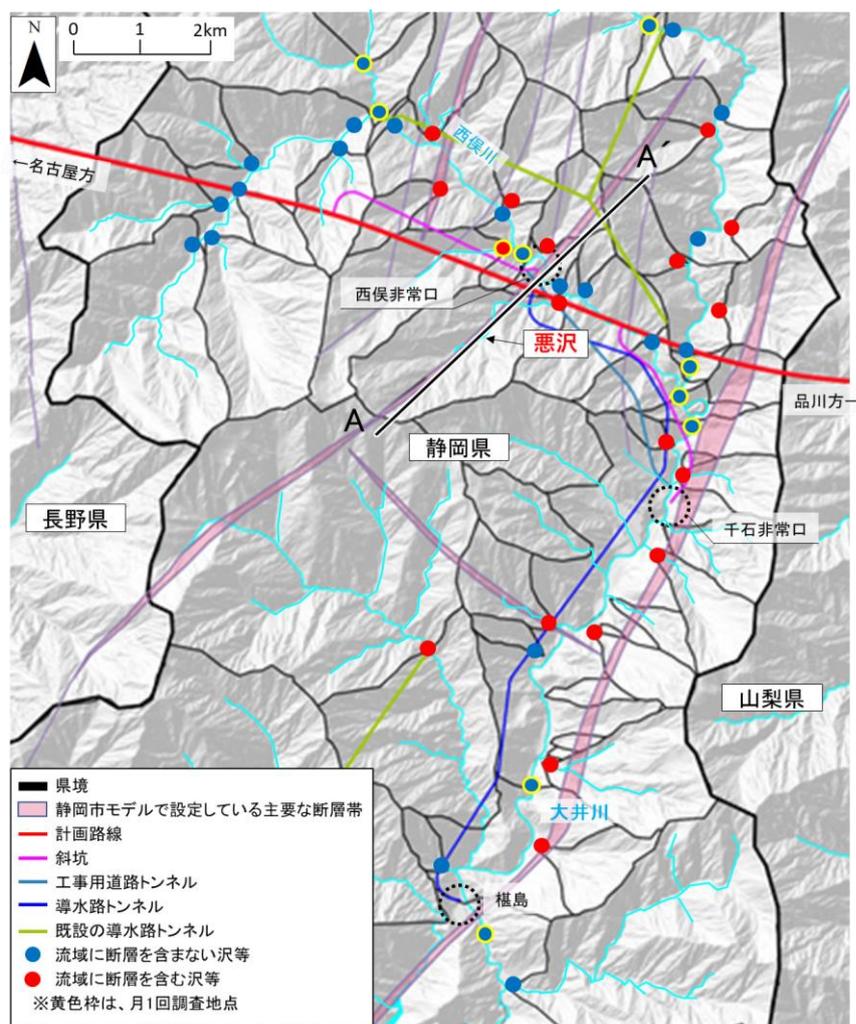


図 16 悪沢の位置平面図

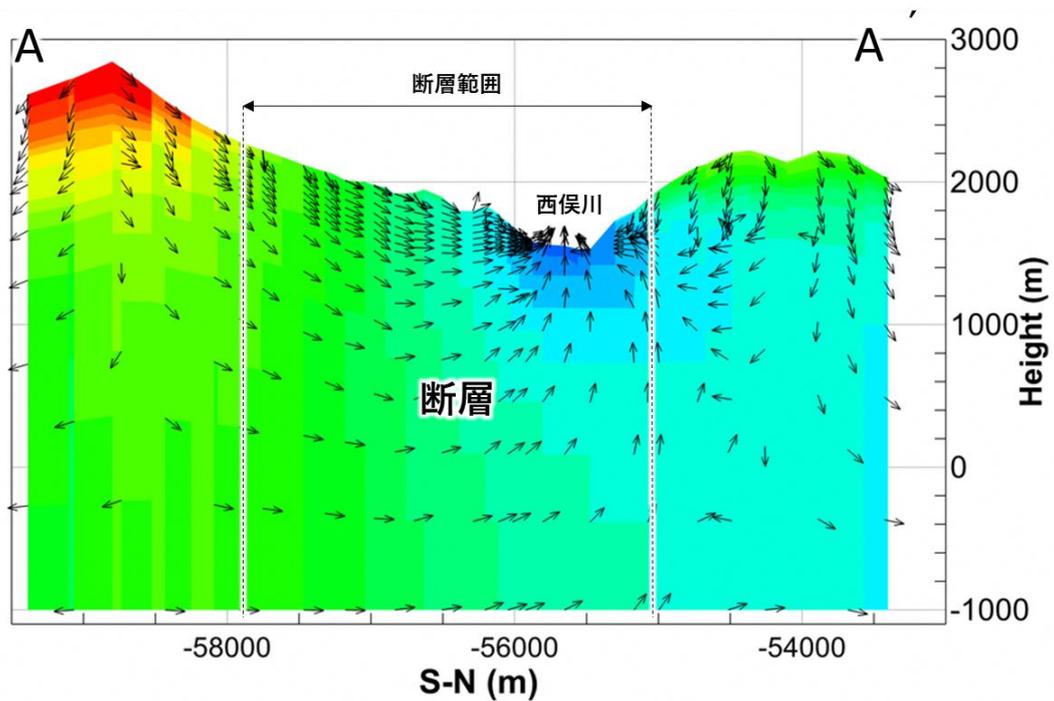
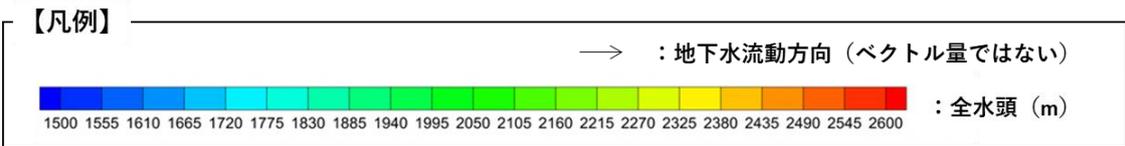


図 17 透水係数の変更前 (透水係数  $1.0E-5$  (m/s)) の地下水流動方向

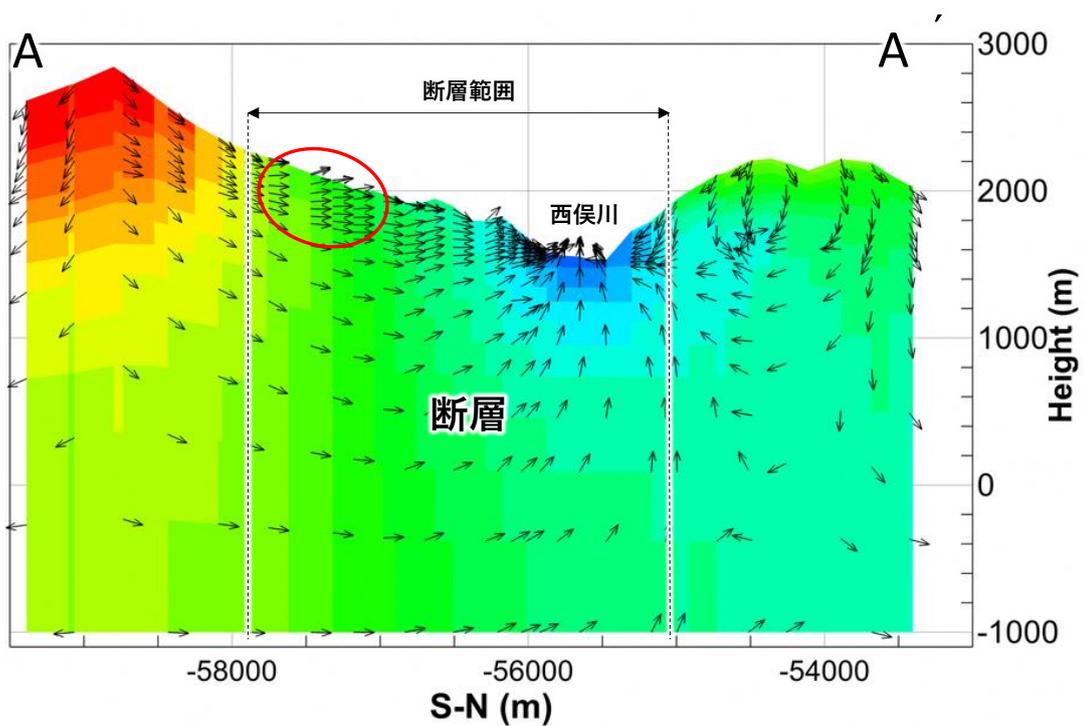
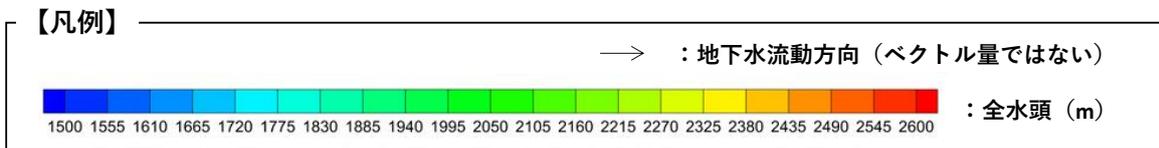
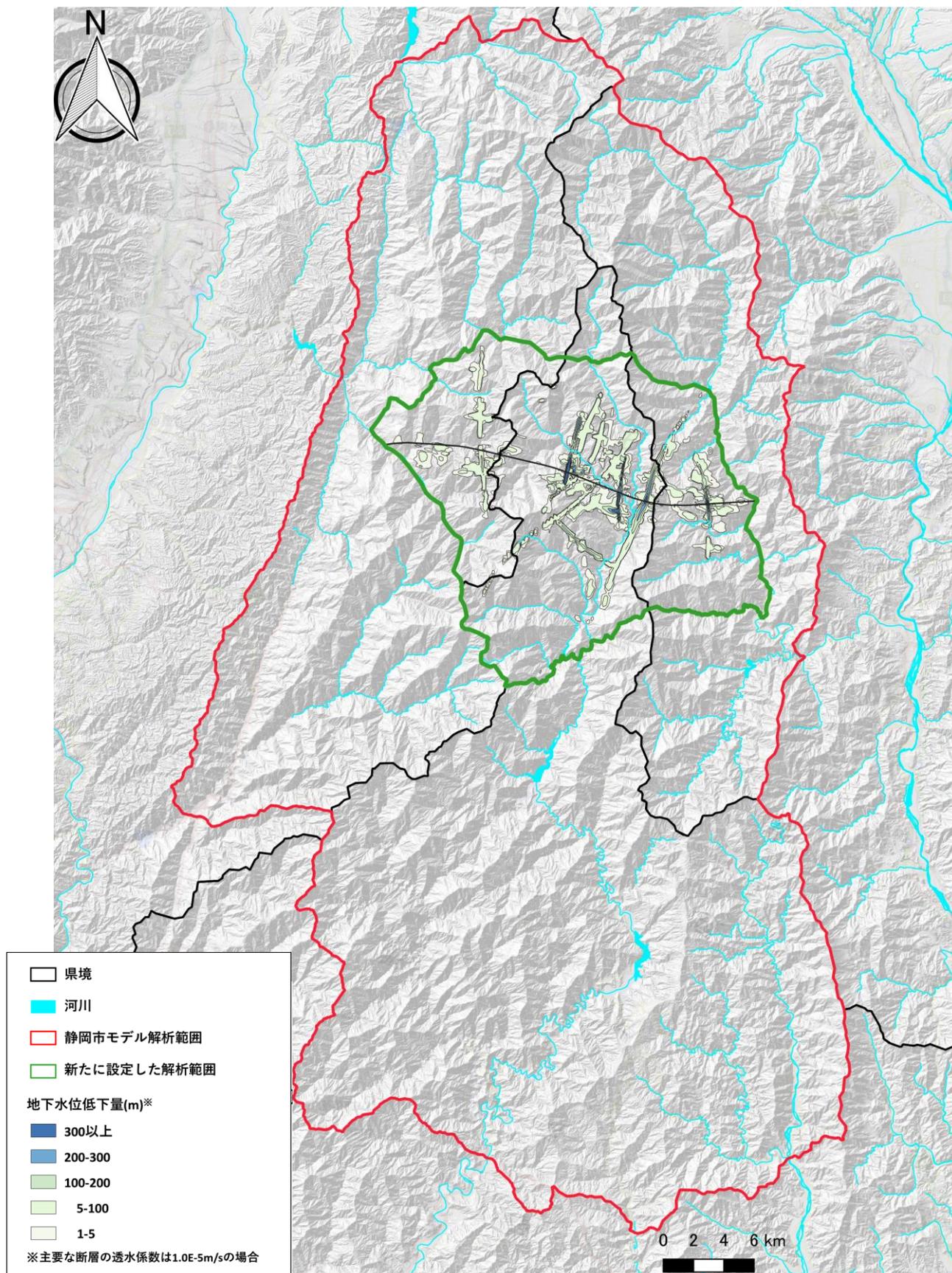


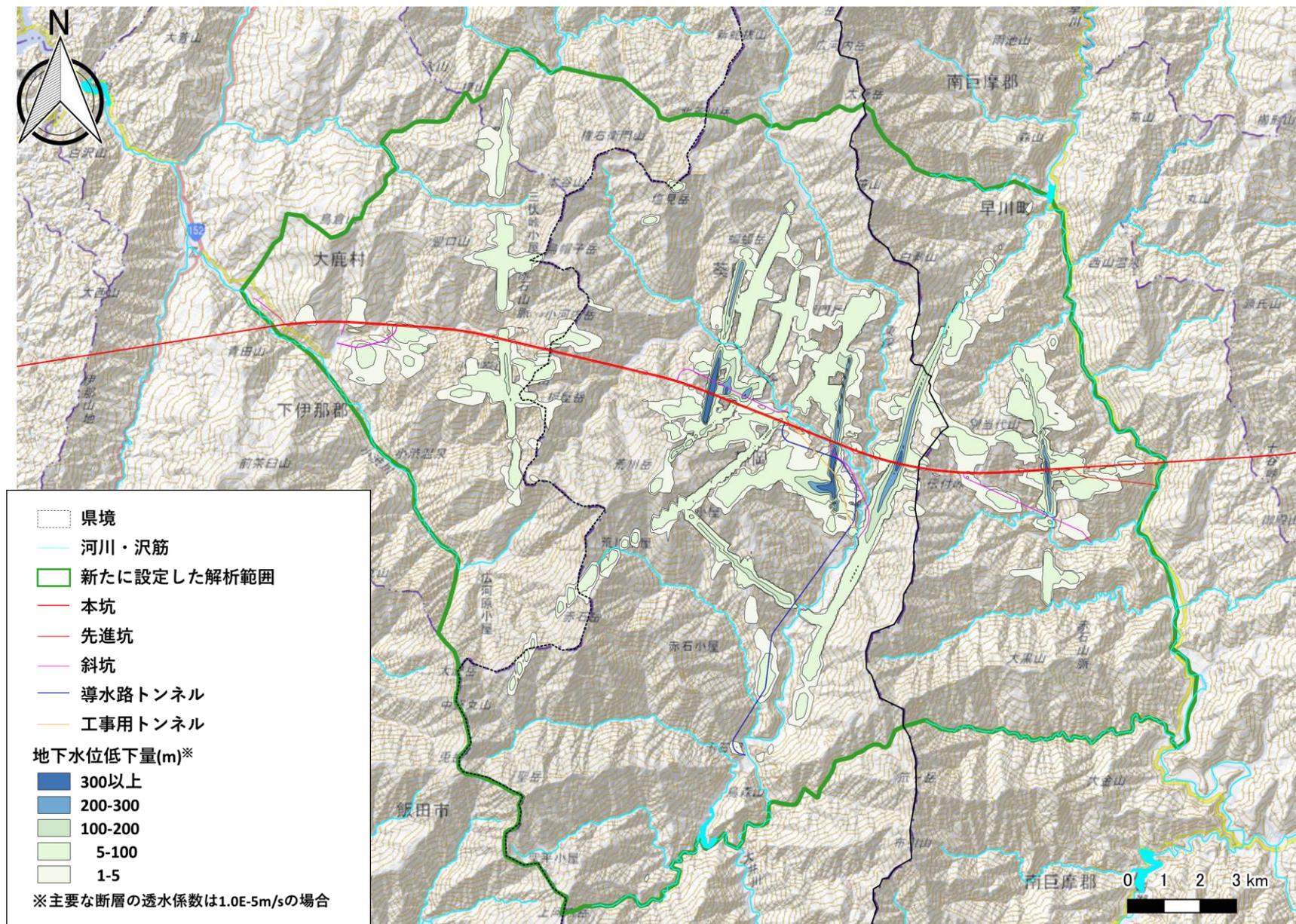
図 18 透水係数の変更後 (透水係数  $1.0E-6$  (m/s)) の地下水流動方向

## (5) 今後の進め方について

- ・(4)までの検討において、主要な断層の透水係数を  $1.0E-6$  (m/s) に変更することで、従来の静岡市モデルと比較し、大井川上流域の沢の流量について、解析値と観測平均値との整合性が改善されたことを確認しました。
- ・次に、上流域の沢の影響分析という目的を踏まえ、新たに、上流域に特化した解析範囲や格子サイズの設定を行うことを考えています。
- ・新たな解析範囲の設定にあたっては、以下の点に留意しました。
  - －第1回から第13回有識者会議の中で確認された静岡県内の地下水位低下範囲を解析範囲内に含めること(静岡市モデルによるトンネル掘削に伴う地下水位低下は、トンネル付近から南にいくにつれて小さくなる傾向があり、榎島付近での地下水の低下はトンネル本坑付近に比べて極めて小さい結果となっています(図19)。)
  - －解析上の境界設定が静岡県内の上流域の沢の影響分析に影響を及ぼさないよう、解析境界とトンネル近傍の静岡県内の沢流域との間に、十分な離隔をとること。
- ・新たに設定した解析範囲を図20にお示しします。解析境界は、地下水の出入りの無い閉境界とし、原則として深い谷、もしくは顕著な稜線に添わせるようにしています。
- ・更に、現状の静岡市モデルでは、実際に計画しているトンネルサイズより大きく表現されている西俣斜坑、千石斜坑、工事用道路トンネルの格子サイズ(図21)を実際に計画しているトンネルの大きさと等しい大きとし、また、上流域の沢の影響分析という目的を踏まえ、その他の格子についても更に細分化することを考えています。
- ・今後実施する上流域の沢の影響分析は、主要な断層の透水係数  $1.0E-6$ (m/s) をベースとすることに加え、上記の解析範囲や格子サイズにて、改めて現況再現性の確認をした上で、実施していきたいと考えています。



**図 19 現状の静岡市モデル（透水係数  $1.0E-5\text{m/s}$ ）での  
 地下水位低下量図と解析範囲**



**図 20 新たに設定した解析範囲と  
 現状の静岡市モデル（断層部の透水係数  $1.0E-5(m/s)$ ）での地下水水位低下量図**

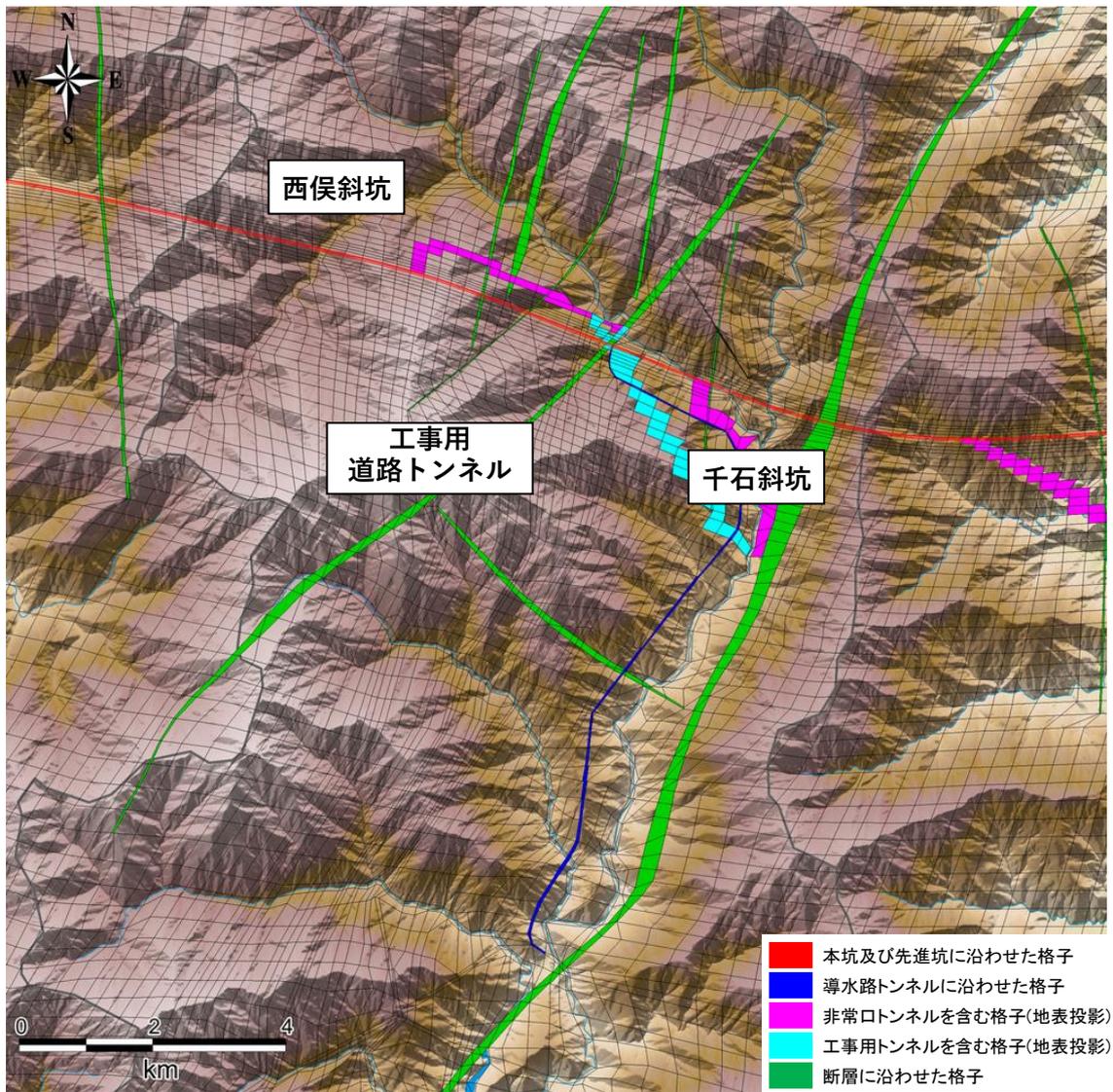


図 21 現状の静岡市モデルの格子サイズの概況