

GETFLOWS による 沢の流量変化の分析について (案)

※令和5年5月16日の第22回リニア中央新幹線静岡工区有識者会議（第9回環境保全有識者会議）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6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.....	5
1)	GETFLOWS の概要	5
2)	静岡市モデルの解析の流れ.....	6
3)	静岡市モデルの解析条件.....	8
(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	12
(4)	主要な断層の透水係数の変更について.....	16
1)	変更の考え方について.....	16
2)	検証結果について.....	18
3)	検証結果の考察.....	21
(5)	上流域の沢の影響分析の進め方について.....	23
(6)	上流域の沢の影響分析に特化した上流域モデル（新モデル）について	27
1)	上流域モデルの解析条件.....	27
2)	上流域モデルでの解析値と観測平均値の比較について.....	30
3)	今後の上流域の沢の影響分析の進め方について.....	32
(7)	上流域モデルでの解析結果について.....	33
1)	【定常解析】トンネル掘削に伴う沢の流量変化と要因の考察....	33
2)	【定常解析】沢流量変化要因を踏まえた影響の回避・低減策の効果の 検討	40
3)	【非定常解析】トンネル掘削に伴う沢の流量変化.....	46
4)	上流域モデルでの解析結果から得られた知見と今後の方針.....	55

【参考資料1】沢の水環境の基礎データ

【参考資料2】沢の地形の基礎データ

【参考資料3】非定常解析の結果一式（P48～P50に記載した沢を除く）

(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。
- ・2023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。
- ・第20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。
- ・ご意見を踏まえ、第21回会議では、主要な断層の透水係数を $1.0E-6(m/s)$ とした場合、解析値が観測平均値に近づくことをご説明し、これは、主要な断層の透水性を下げることにより、断層沿いの地下水流動が地表面への上向きとなり、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るものと考察しました。
- ・また、今後は、上流域の沢の影響分析という目的を踏まえ、主要な断層の透水

係数は、解析値と観測平均値の整合性が改善された $1.0E-6(m/s)$ をベースとし、上流域に特化した解析範囲や格子サイズを設定して新たに作成するモデルにて、影響分析を実施していくことを説明しました。

- ・第 22 回会議では、新たに作成した上流域モデルの解析条件や解析値と観測平均値の比較結果を説明し、今後は、水生生物等への影響を分析・評価するため、季節に応じて変化する日別の実績降水量を入力した非定常解析を行い、渇水期等、降水量が少ない時期も含めたトンネル掘削による沢の流量変化や流路に沿った地表水流量の変化等を確認していくことを説明しました。
- ・第 22 回会議でご説明した今後の方針と委員から頂いた“数値解析は模型であり自然をそのまま説明するものではないが、考えなければならない事象、メカニズムがどんなものか、どういうプロセスによって状況が変化するかという情報を得ることができる”というモデルの使い方に関するご意見を踏まえ、今回会議では、次の内容をご説明します。
 - ①降水量を一定にした定常解析によるトンネル掘削に伴う沢の流量変化と流量変化の要因
 - ②沢の流量変化の要因を踏まえた影響の回避・低減策の検討と効果
 - ③1 年間の降水量の変化を考慮した非定常解析による渇水期等、降水量が少ない時期におけるトンネル掘削に伴う沢の流量変化
 - ④上流域モデルでの解析結果から得られた知見と今後の方針

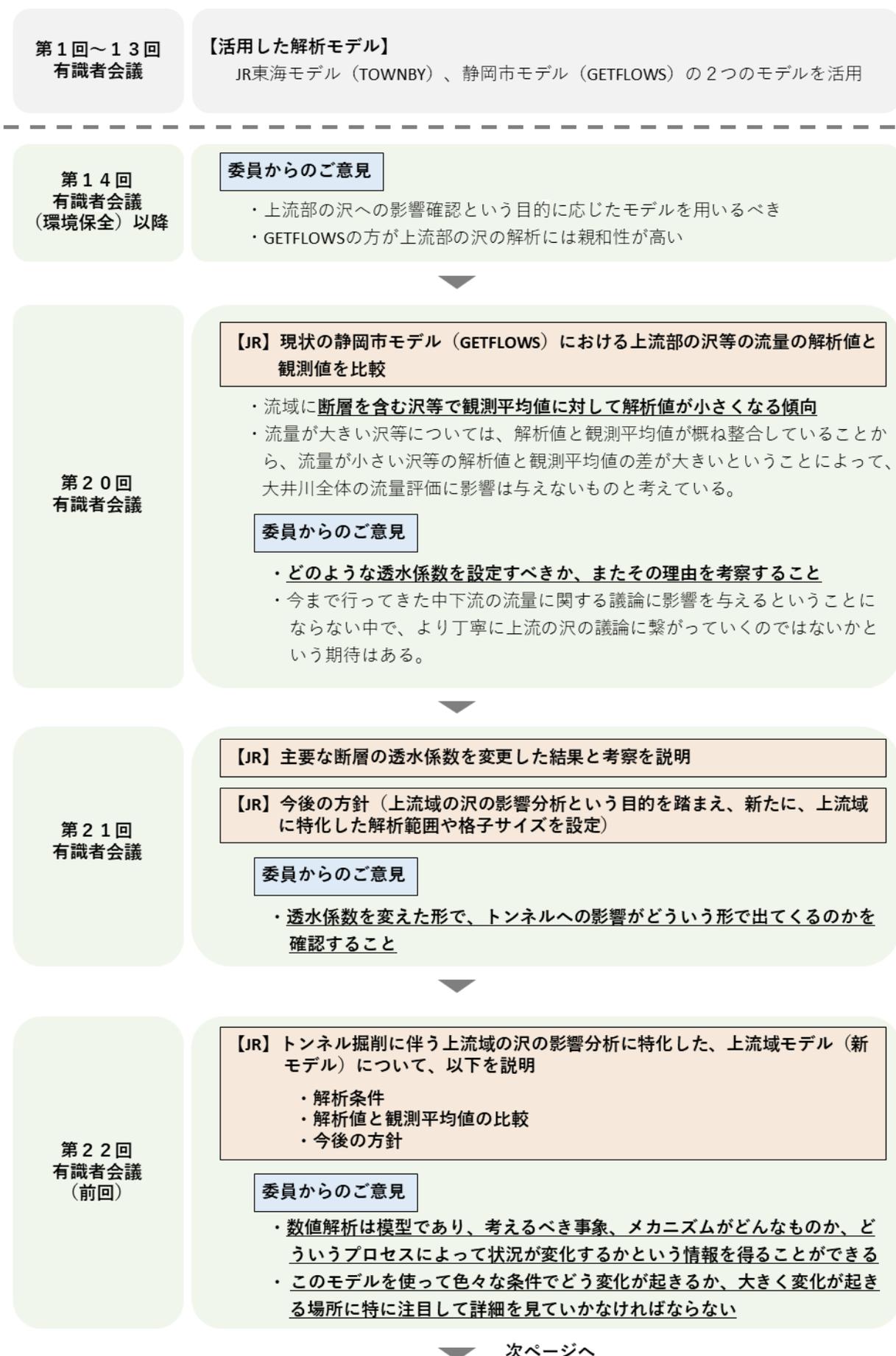


図 1 これまでの経緯と本日の説明（1）

第23回
有識者会議
(今回)

【JR】上流域モデルの解析結果について、以下を説明

- ①【定常解析】トンネル掘削に伴う流量変化の確認結果と流量変化の要因の考察
- ②【定常解析】沢の流量変化の要因を踏まえた影響の回避・低減策の検討と効果の確認結果
- ③【非定常解析】渇水期等、降水量が少ない時期におけるトンネル掘削に伴う沢の流量変化の確認結果
- ④上流域モデルでの解析結果から得られた知見と今後の方針

図 1 これまでの経緯と本日の説明（2）

(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。

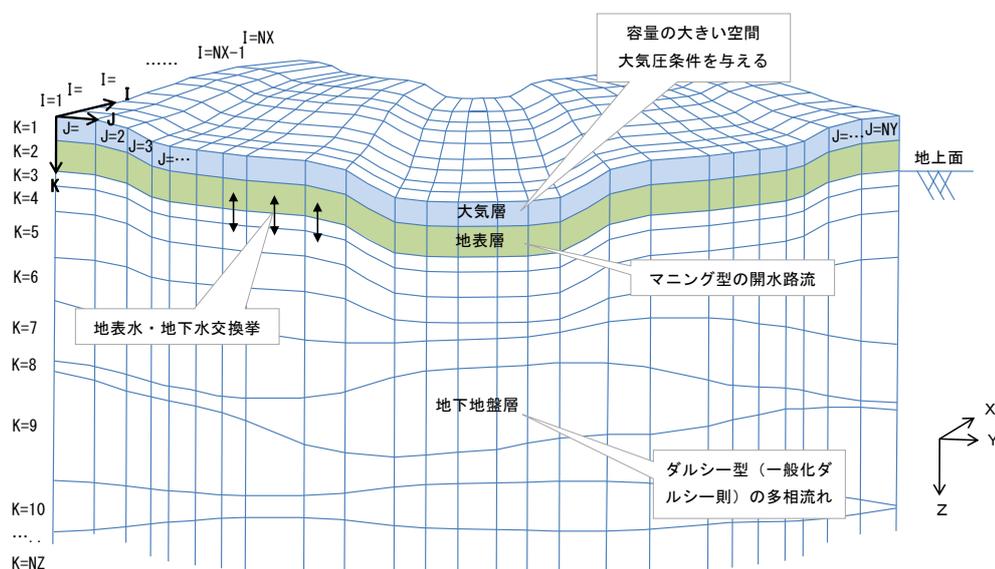


図 2 GETFLOWS のイメージ

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。

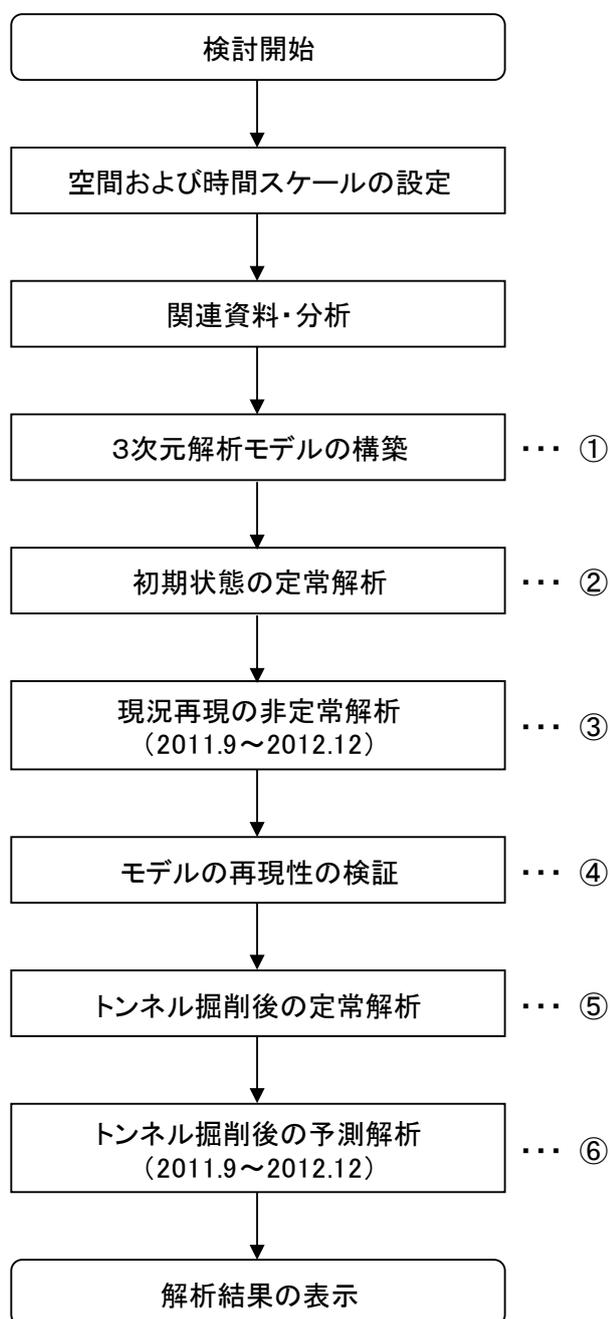


図 3 静岡市モデル 解析の流れ ※静岡市による解析作業

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。

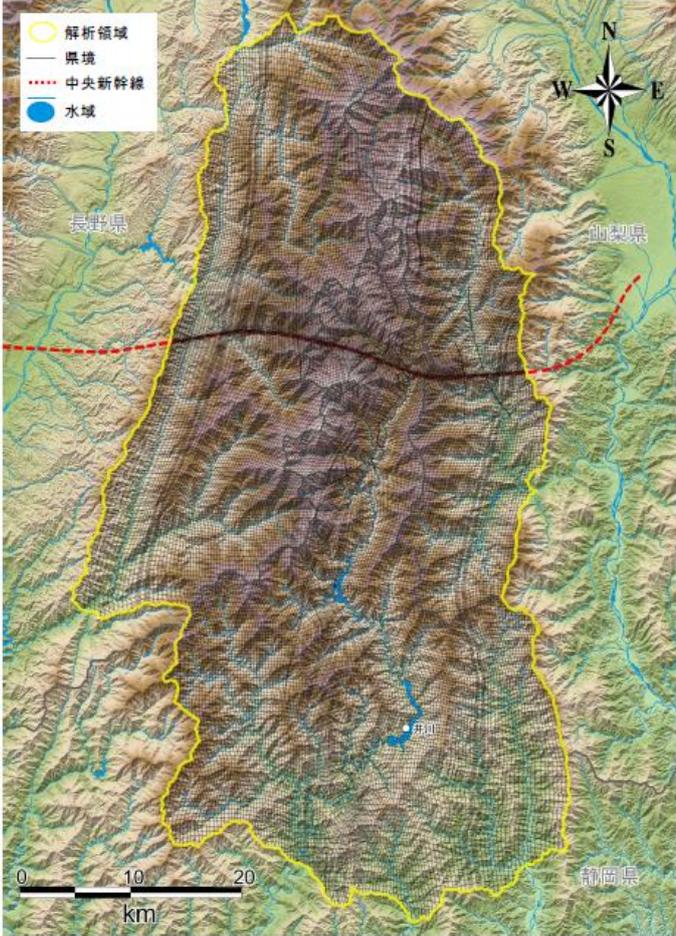
⑥トンネル掘削後の予測解析

- ・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>【解析範囲】 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 km² 深さ方向 標高-1,000 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>図 4 静岡市モデル 解析領域</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 1×10^{-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

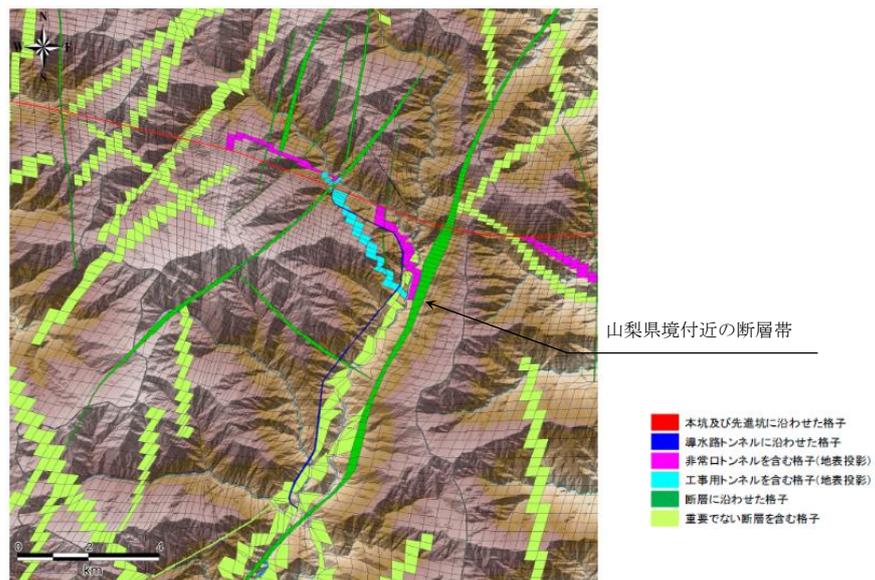


図5 静岡市モデル 地質平面図（トンネル付近）

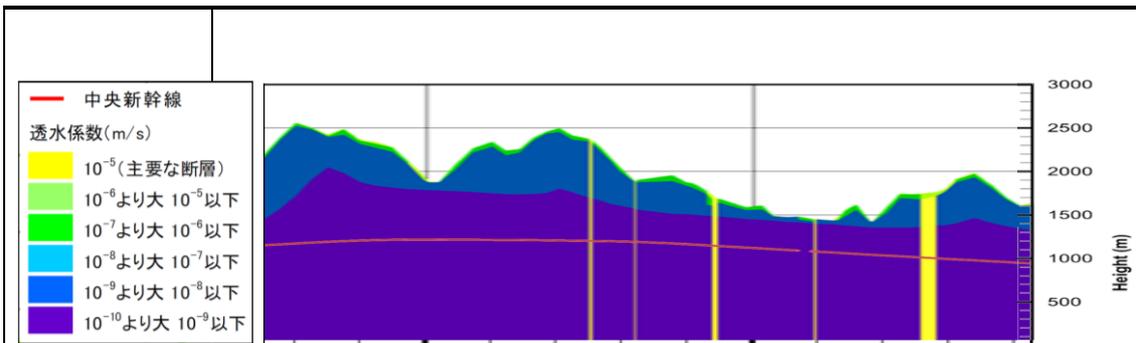


図 6 静岡市モデル 地質断面図（静岡県付近）

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】

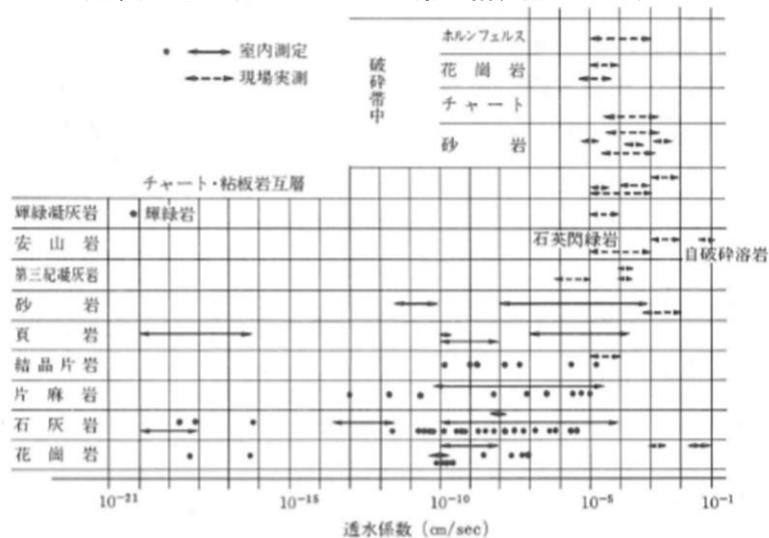
表 3 に示すとおり、

- ・「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 : 1×10^{-3}	40
		V : 1×10^{-4}	
沖積層		1×10^{-4}	30
地すべり		1×10^{-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	1×10^{-9}	1
断層	主要な断層	1×10^{-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>【降水量】 (初期状態の定常解析)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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>(現況再現の非定常解析及びトンネル掘削後の予測解析)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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>【蒸発散量】 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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 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>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8、図9）。

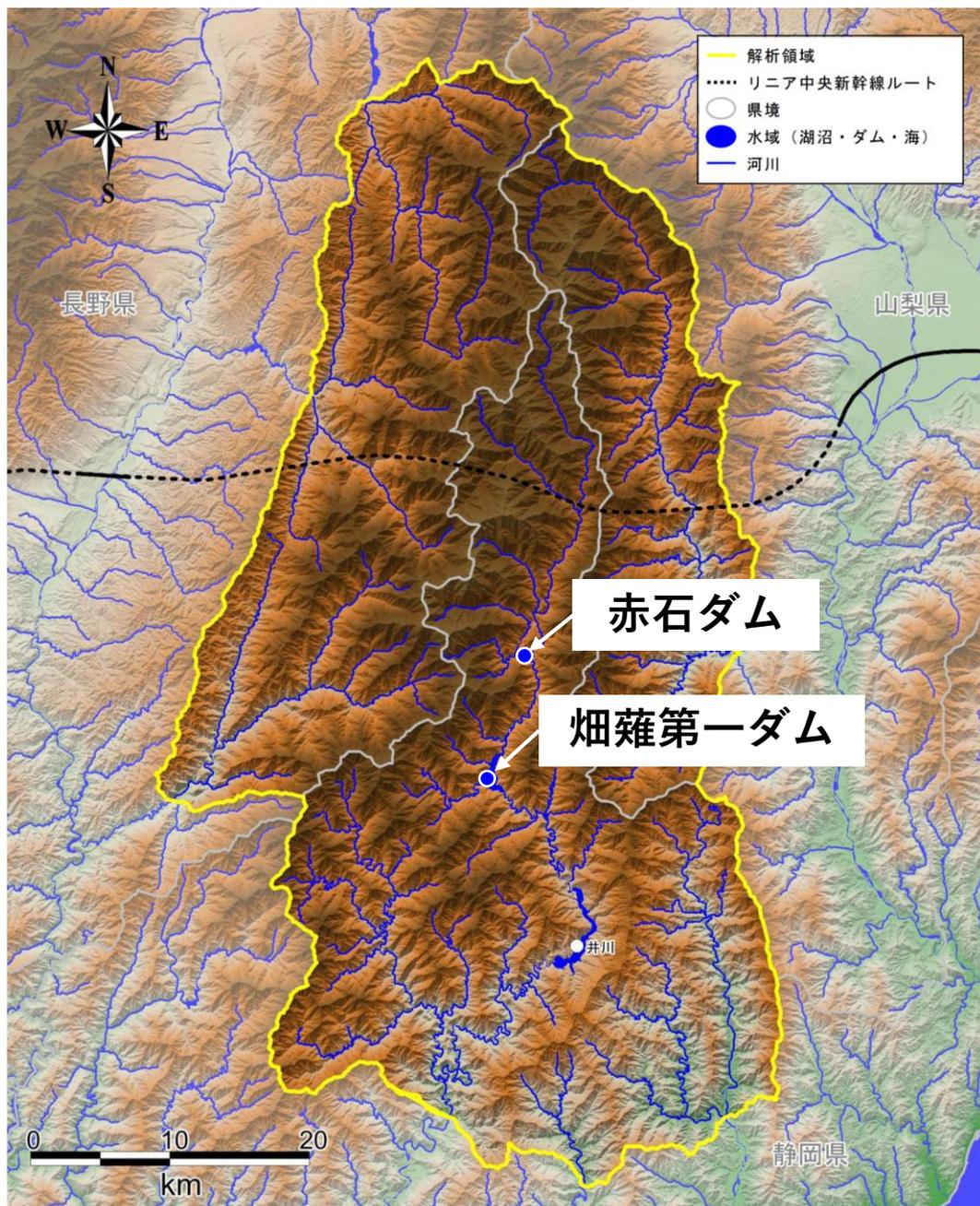


図7 赤石ダム、畑薙第一ダムの位置図

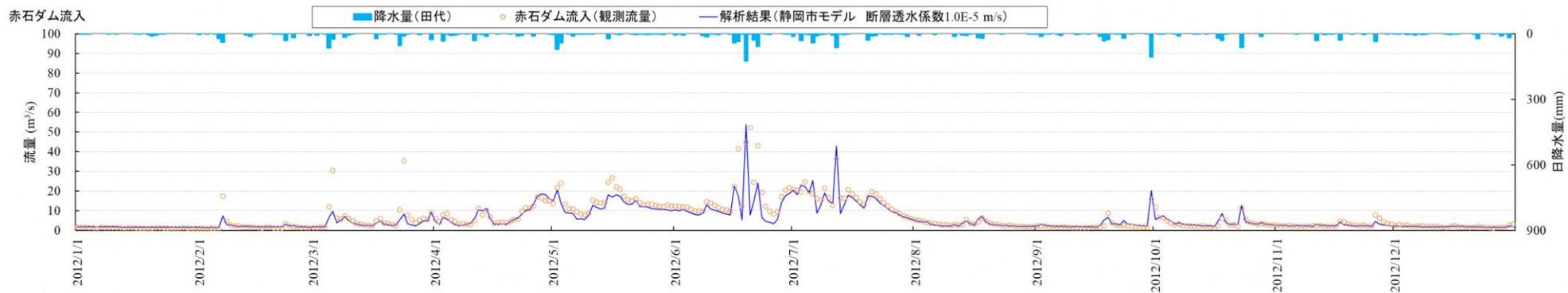


図 8 赤石ダムのダム流入量の解析値と観測値との比較(静岡市による解析作業)

31

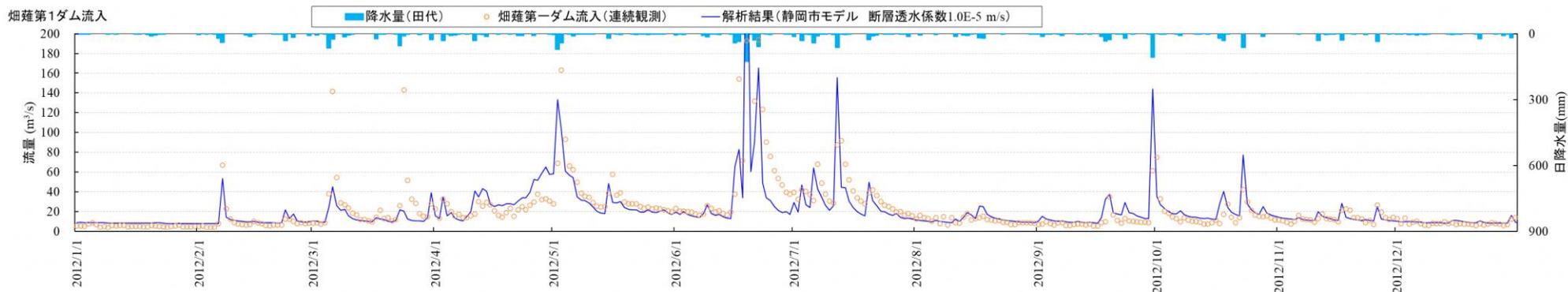


図 9 畑薙第一ダムのダム流入量の解析値と観測値との比較(静岡市による解析作業)

- ・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¹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、非常定常解析ではなく、平均の日降水量²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³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。

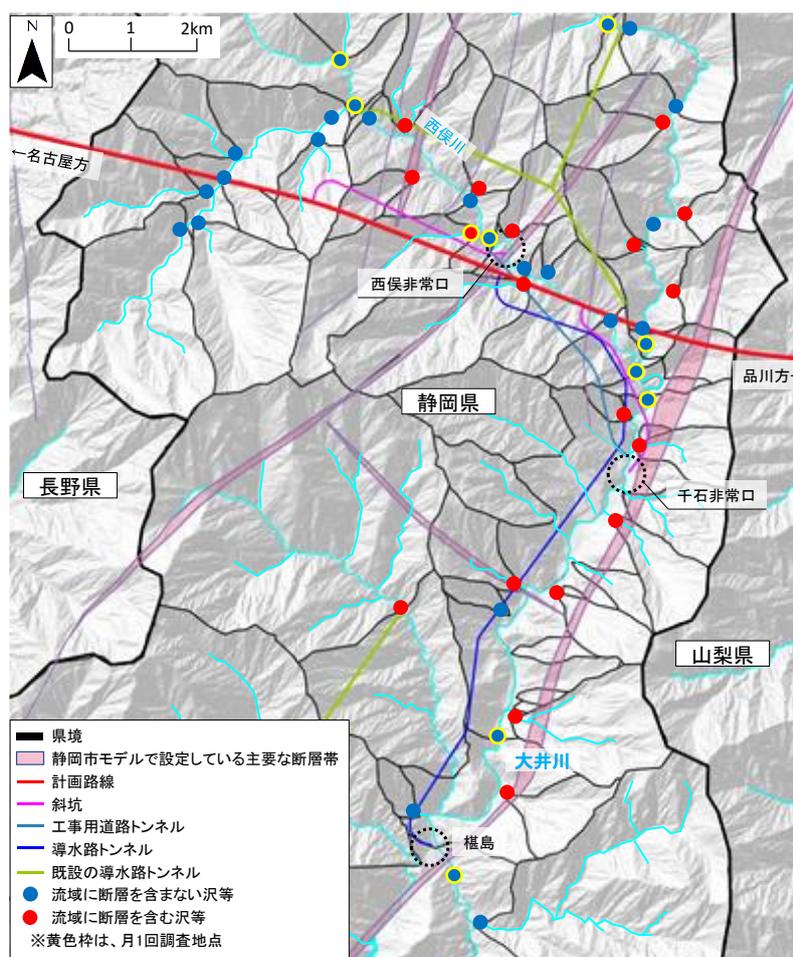


図 10 観測箇所の位置図

1 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
 2 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
 3 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。

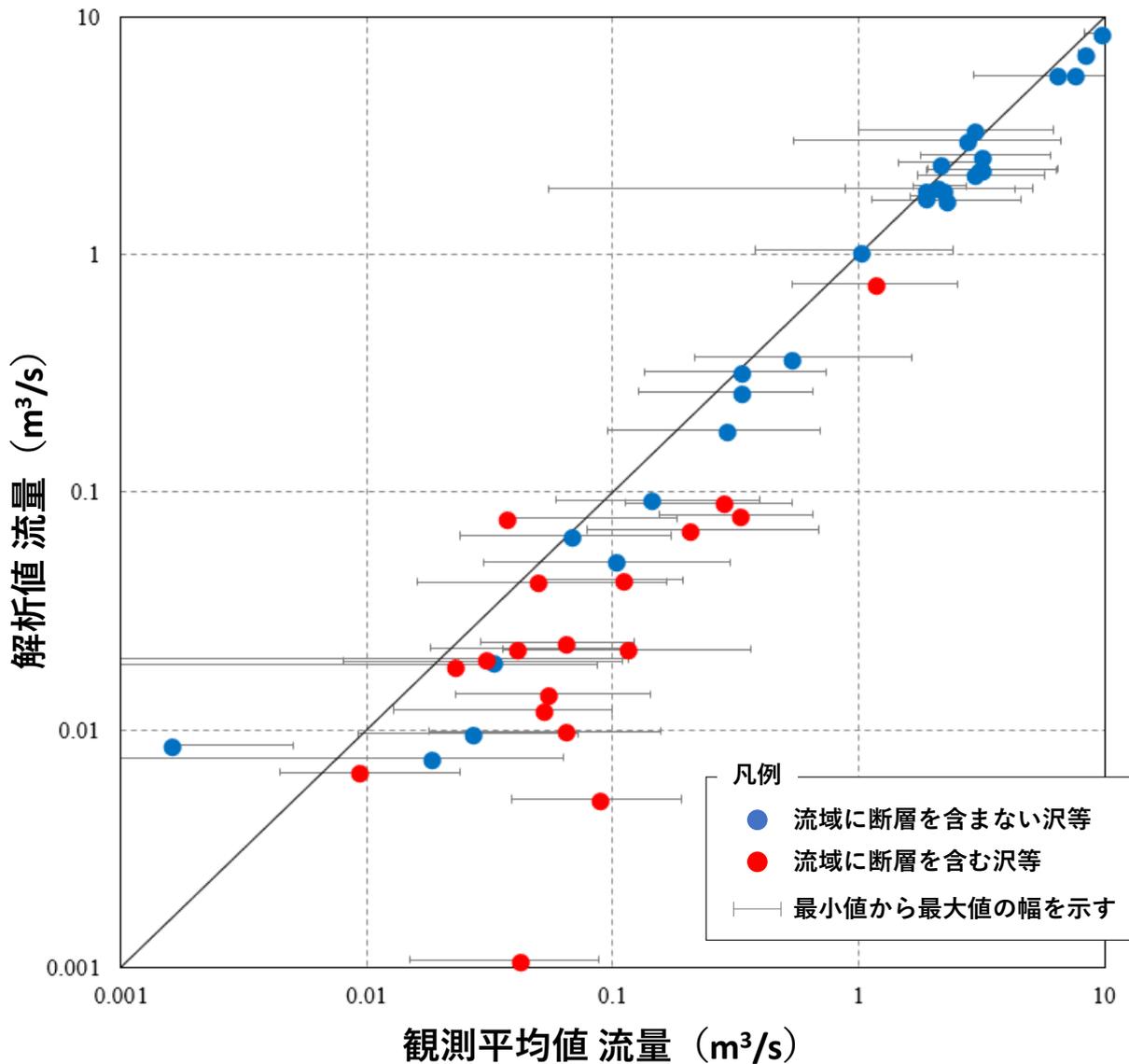


図 11 静岡市モデルの解析値と観測平均値の流量の比較
 (主要な断層の透水係数 : $1.0E-5$ (m/s) の場合)

- ・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⁴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。

⁴ 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)

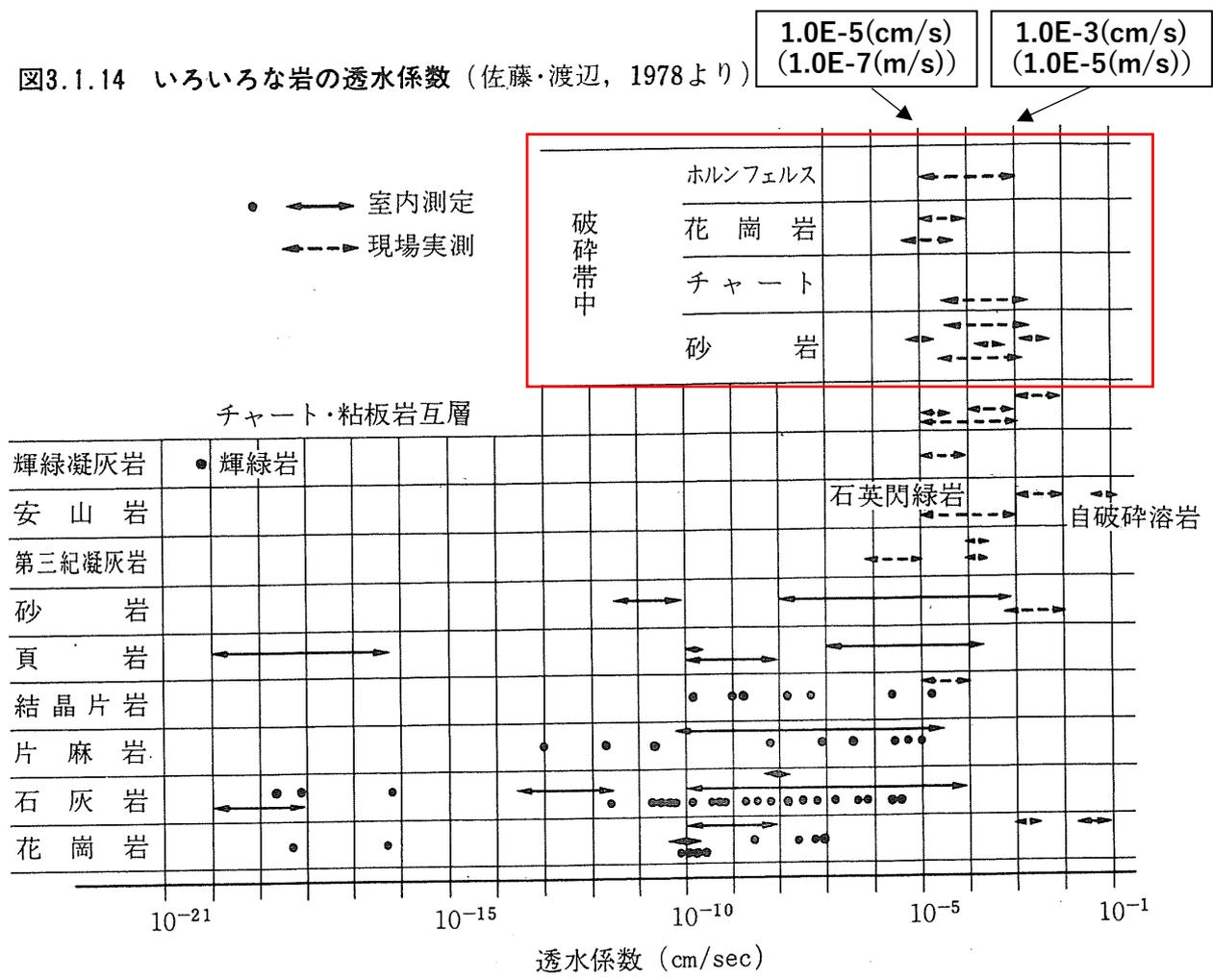


図 12 透水係数の文献値 (文献に一部加筆)

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。

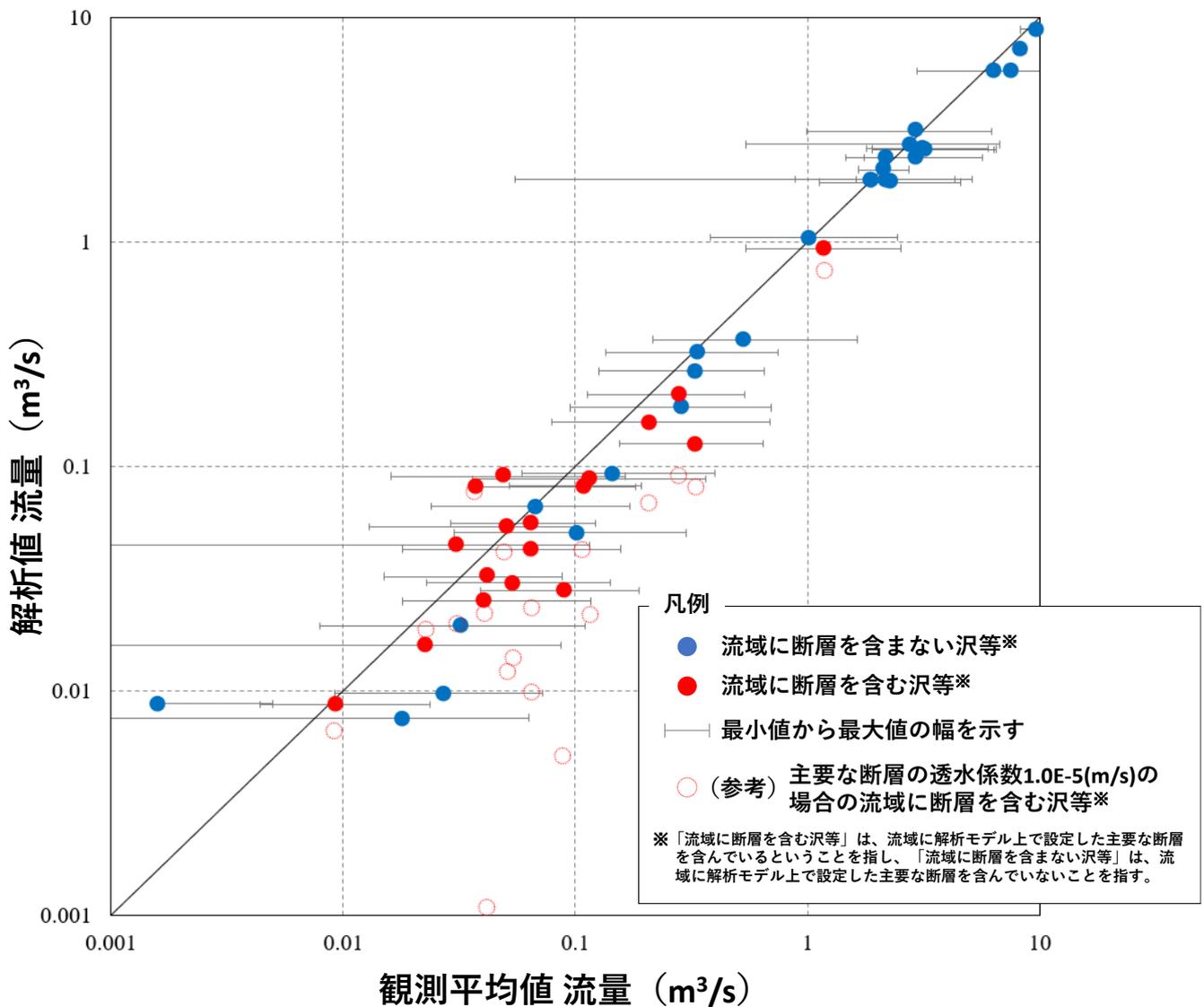


図 13 静岡市モデルの解析値と観測平均値の流量の比較
(主要な断層の透水係数： $1.0E-6$ (m/s) の場合)

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。

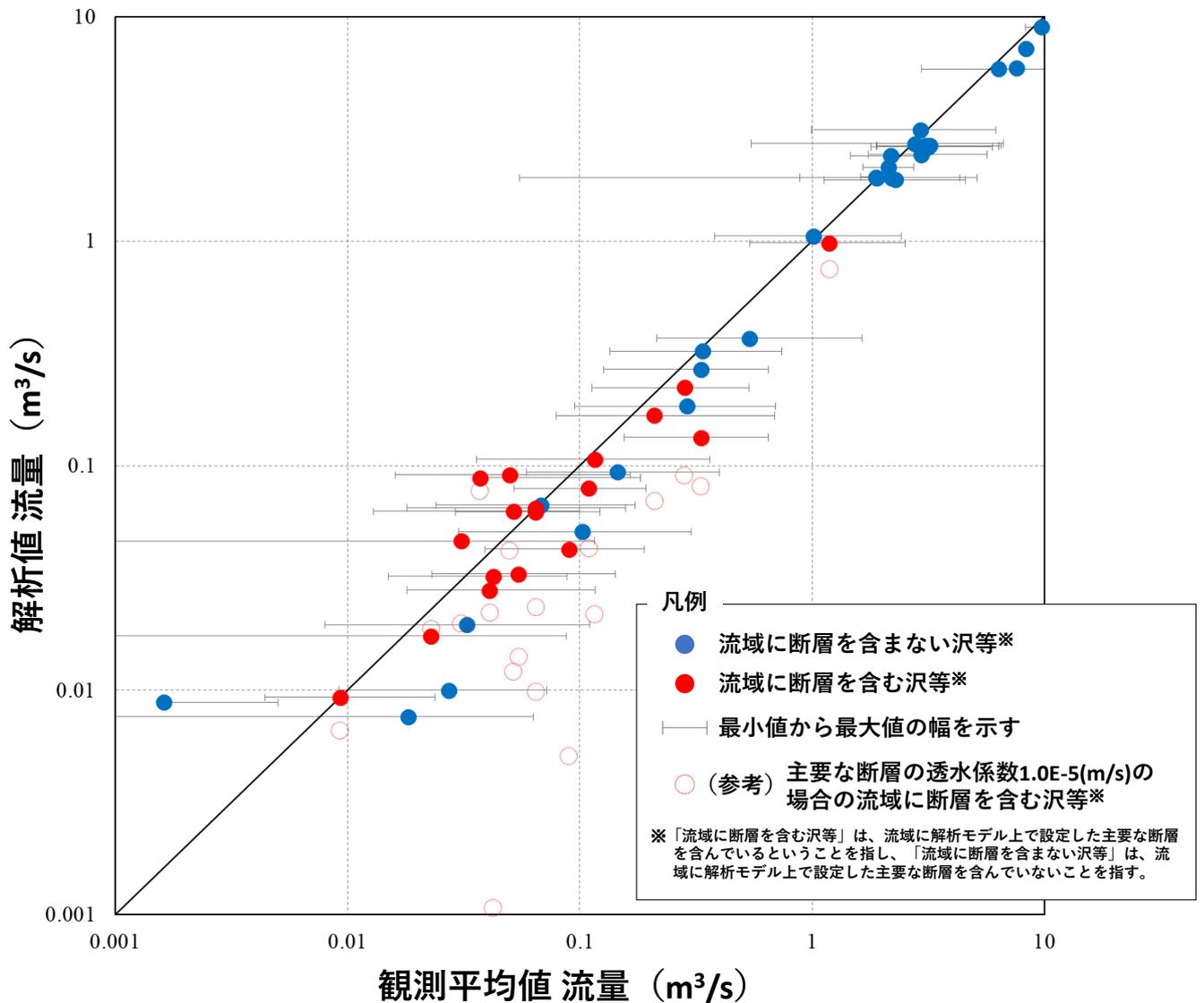


図 14 静岡市モデルの解析値と観測平均値の流量の比較
(主要な断層の透水係数： $1.0E-7(m/s)$ の場合)

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。

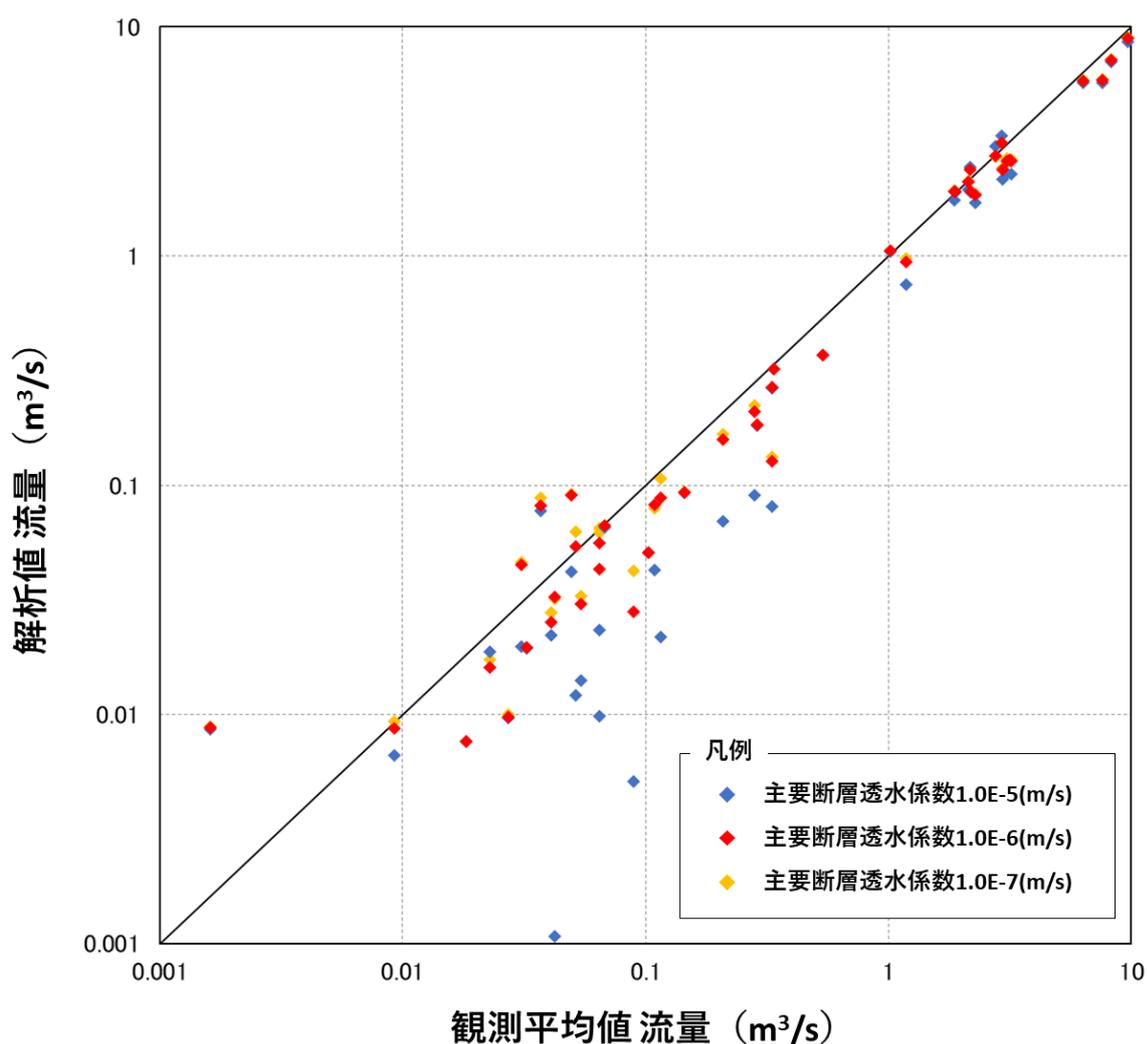


図 15 静岡市モデルの解析値と観測平均値の流量の比較
(主要な断層の透水係数： $1.0E-5(m/s)$ 、 $1.0E-6(m/s)$ $1.0E-7(m/s)$)

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。

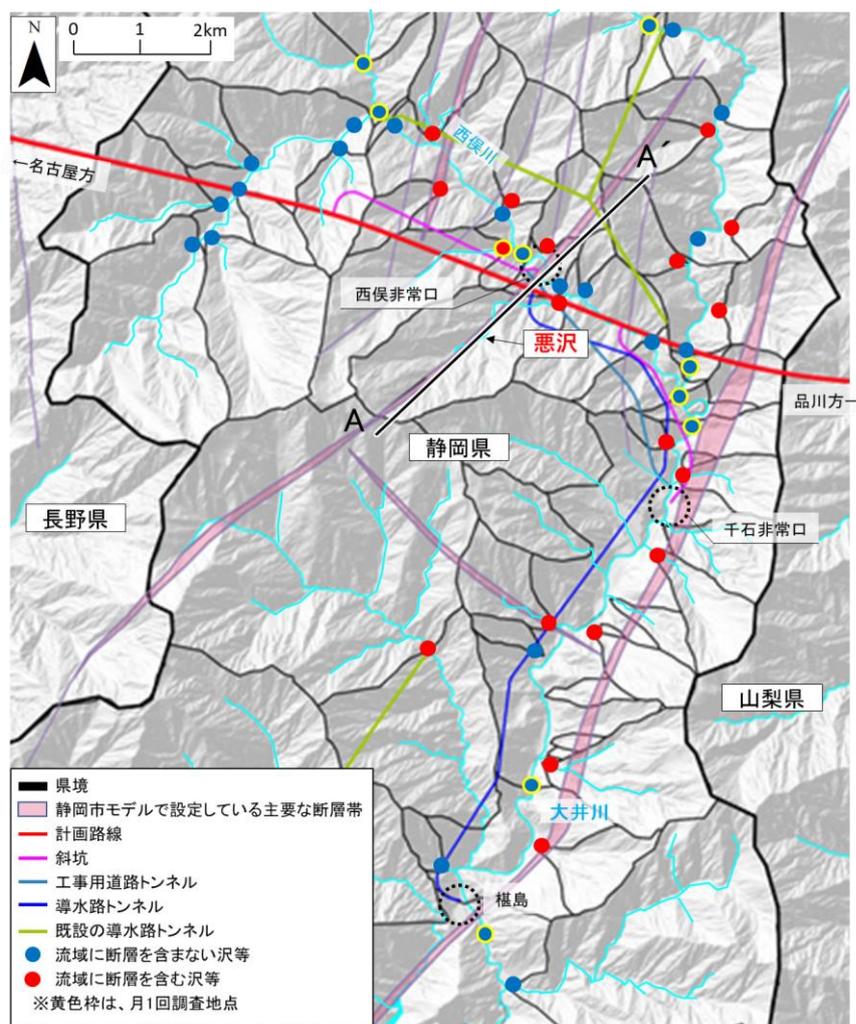


図 16 悪沢の位置平面図

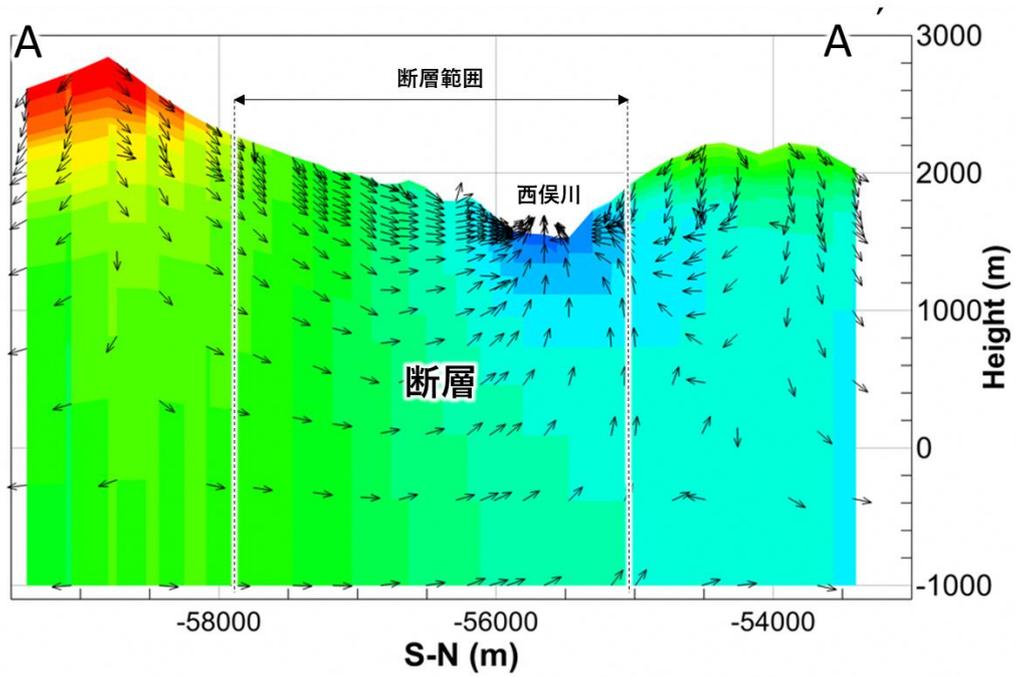
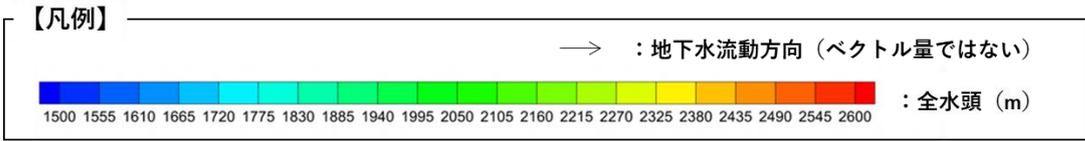


図 17 静岡市モデルの透水係数の変更前 (透水係数 $1.0E-5$ (m/s))
の地下水流動方向

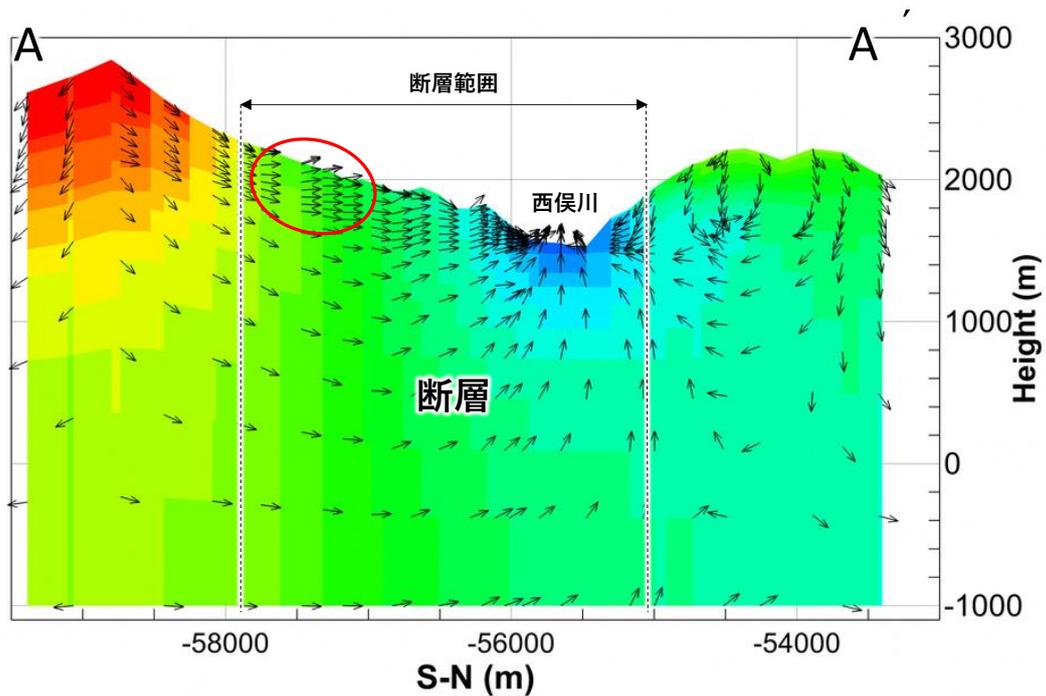


図 18 静岡市モデルの透水係数の変更後 (透水係数 $1.0E-6$ (m/s))
の地下水流動方向

(5) 上流域の沢の影響分析の進め方について

- ・(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、現状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。

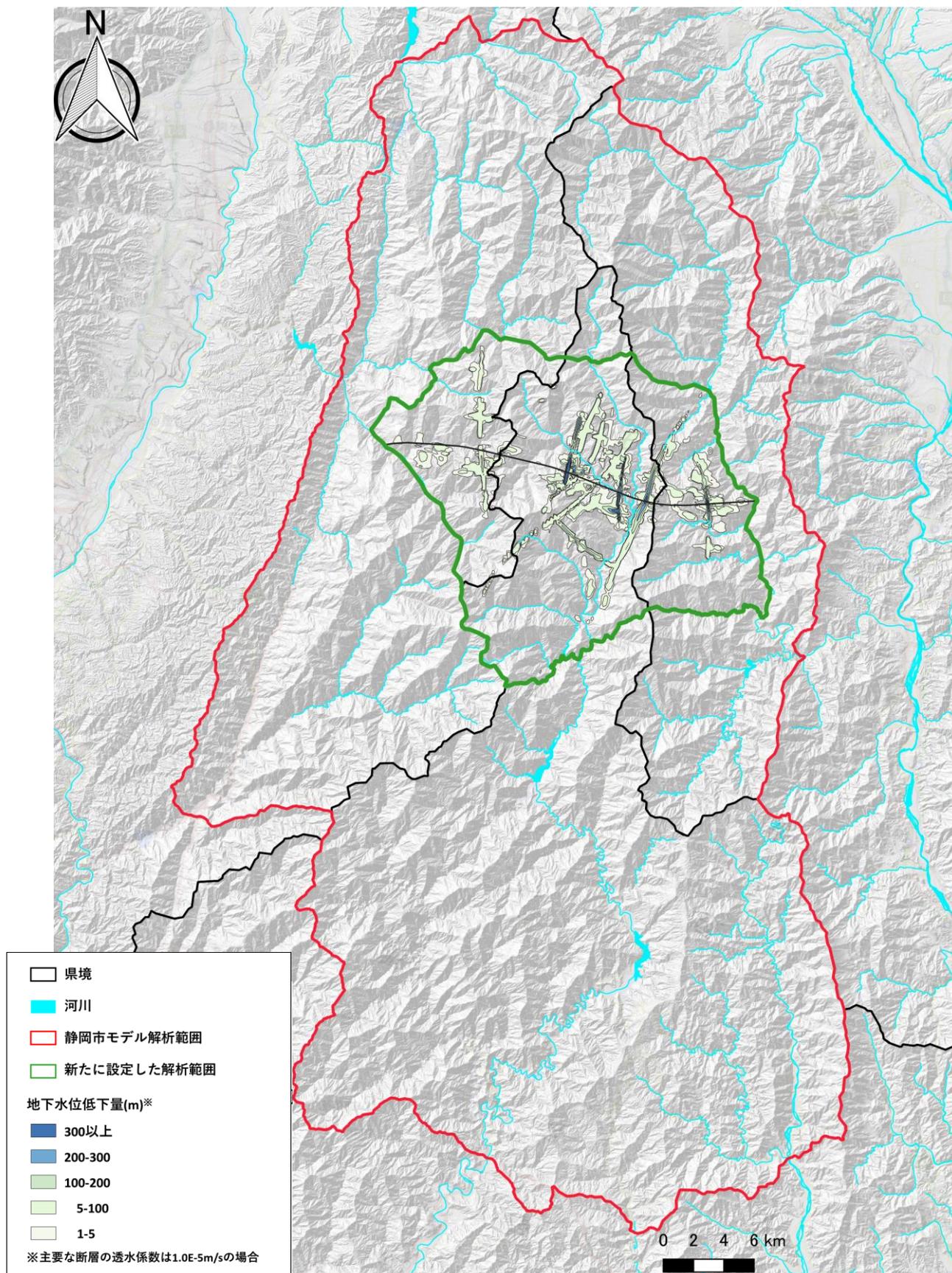


図 19 現状の静岡市モデル（透水係数 $1.0E-5$ (m/s)）での
 地下水位低下量図と解析範囲

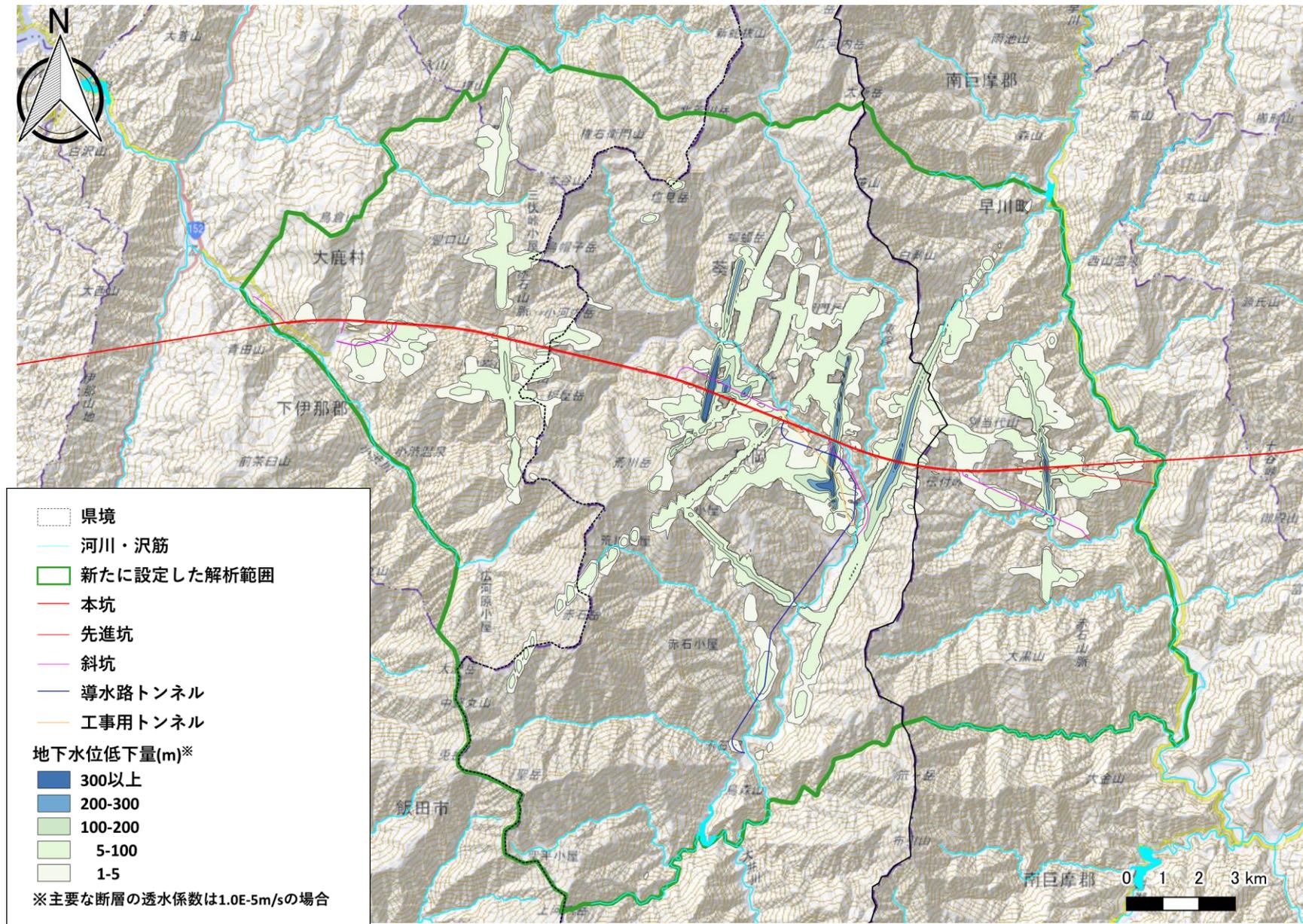


図 20 新たに設定した解析範囲と
 現状の静岡市モデル（断層部の透水係数 $1.0E-5$ (m/s)）での地下水位低下量図

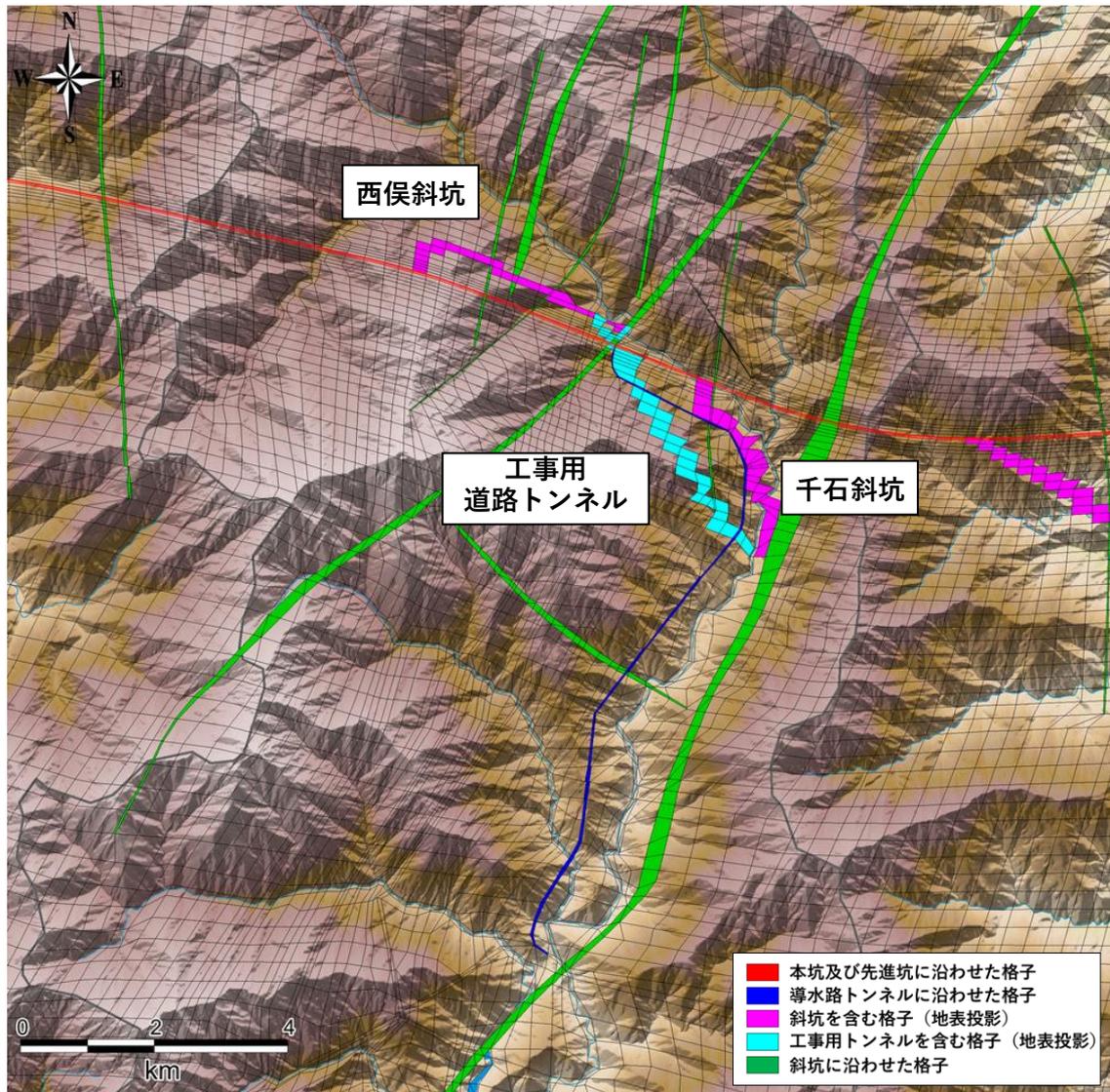


図 21 現状の静岡市モデルの格子サイズの概況

(6) 上流域の沢の影響分析に特化した上流域モデル（新モデル）について

1) 上流域モデルの解析条件

- ・上流域モデルの解析条件は、表 5 の通りです。

表 5 解析条件の概要

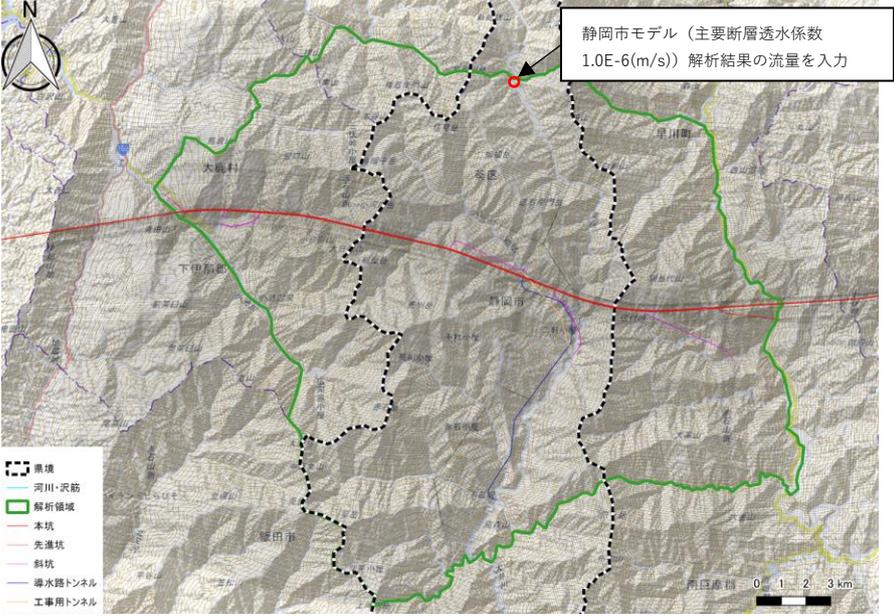
解析条件	上流域モデルの概要																
1) 解析領域	<p>【解析範囲】 面積 約 376 km² 深さ方向 標高 - 1,000 m (モデル化深度)</p> <p>【格子設定】 平面格子数: 121,741 個、深度分割数: 45 分割 全体 : 5,478,345 格子 格子の大きさ: 各トンネルについては、実際に計画しているトンネルの大きさと等しい大きさ。トンネル以外の格子については、トンネル周辺の約 3km の幅は約 50 m、トンネルから離れた領域の格子幅は約 100 m ~ 300 m を目安</p>  <p>【境界条件】</p> <table border="1" data-bbox="440 1686 1361 2092"> <thead> <tr> <th>境界の種類</th> <th>境界条件</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上面境界</td> <td>流入出境界及び大気圧固定</td> <td>降水、蒸発散を設定。大気圧は標準大気圧 (1atm) に固定</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">側面境界</td> <td>地表</td> <td>流出境界</td> <td>解析領域境界から水の流出のみを許す境界。ただし、東俣上流端 (図22の赤丸) には、静岡市モデル (主要断層透水係数 1.0E-6(m/s)) の解析結果の流量を入力する。</td> </tr> <tr> <td>地下</td> <td>非流入出境界</td> <td>水の出入りがない閉境界</td> </tr> <tr> <td>底面境界</td> <td>非流入出境界</td> <td>水の出入りがない閉境界</td> </tr> </tbody> </table>	境界の種類	境界条件	備考	上面境界	流入出境界及び大気圧固定	降水、蒸発散を設定。大気圧は標準大気圧 (1atm) に固定	側面境界	地表	流出境界	解析領域境界から水の流出のみを許す境界。ただし、東俣上流端 (図22の赤丸) には、静岡市モデル (主要断層透水係数 1.0E-6(m/s)) の解析結果の流量を入力する。	地下	非流入出境界	水の出入りがない閉境界	底面境界	非流入出境界	水の出入りがない閉境界
境界の種類	境界条件	備考															
上面境界	流入出境界及び大気圧固定	降水、蒸発散を設定。大気圧は標準大気圧 (1atm) に固定															
側面境界	地表	流出境界	解析領域境界から水の流出のみを許す境界。ただし、東俣上流端 (図22の赤丸) には、静岡市モデル (主要断層透水係数 1.0E-6(m/s)) の解析結果の流量を入力する。														
	地下	非流入出境界	水の出入りがない閉境界														
底面境界	非流入出境界	水の出入りがない閉境界															

図 22 上流域モデル 解析範囲

2) 地質構造

- ・ 図 23 及び図 24 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」、それ以外を「重要でない断層」に区分
- ・ 静岡市モデルで断層と設定していた格子に該当する格子を断層と設定

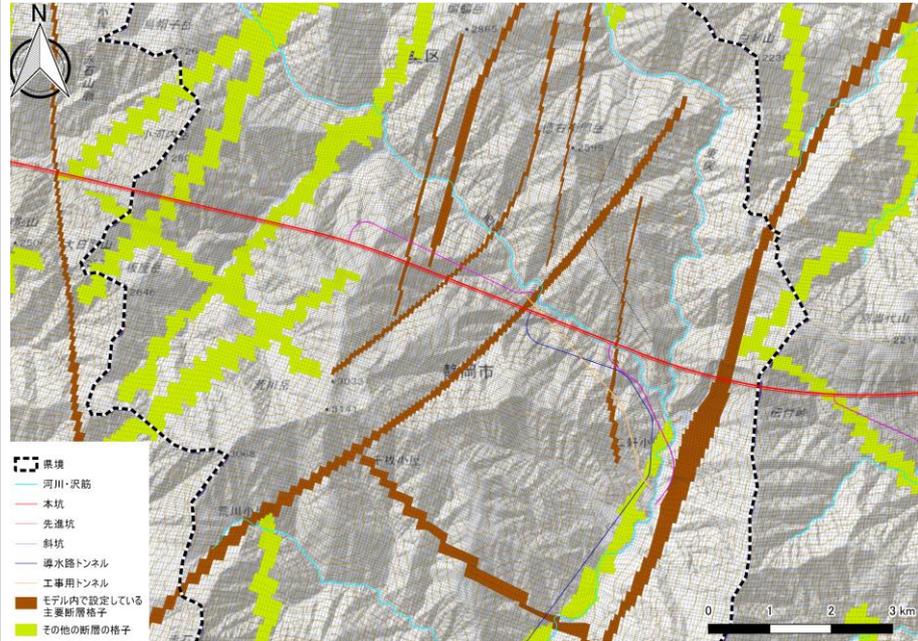


図 23 上流域モデル 地質平面図（トンネル付近）

※計画トンネル及び「主要な断層」、それ以外の「重要でない断層」を表示

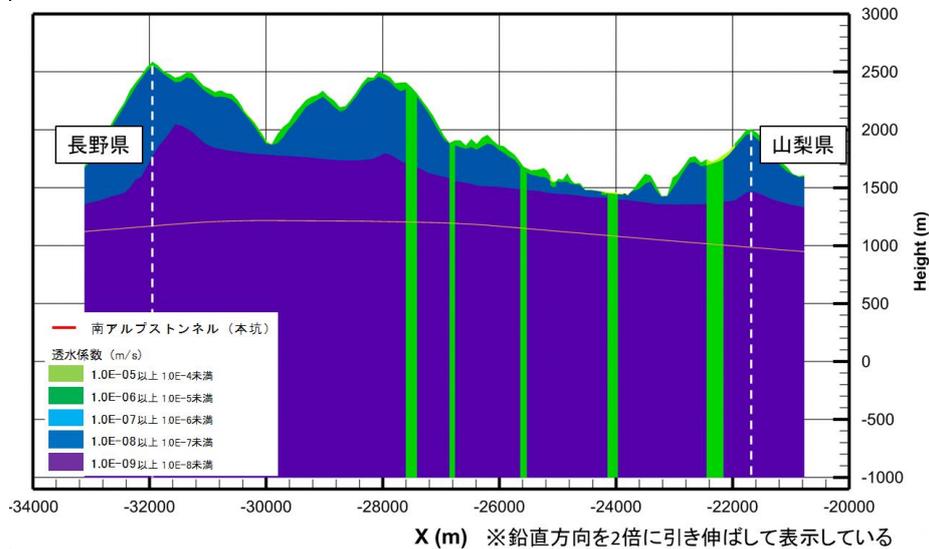


図 24 上流域モデル 南アルプストンネル縦断方向に沿った地質断面図（静岡県付近）

※各地質区分に設定した透水係数分布を表示している

<p>3) 水理定数</p>	<p>【透水係数、有効間隙率】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・「主要な断層」は $k = 1 \times 10^{-6}$ (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 <table border="1" data-bbox="448 344 1342 819"> <thead> <tr> <th colspan="2">地層区分</th> <th>透水係数 (m/秒)</th> <th>有効間隙率 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">表土層</td> <td></td> <td>H: 1×10^{-3}</td> <td rowspan="2">40</td> </tr> <tr> <td></td> <td>V: 1×10^{-4}</td> </tr> <tr> <td colspan="2">沖積層</td> <td>1×10^{-4}</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td colspan="2">地すべり</td> <td>1×10^{-5}</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">水理基盤岩類</td> <td>風化緩み部 (区分Ⅰ)</td> <td>$1 \times 10^{-6} \sim 10^{-4}$</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>風化緩み部 (区分Ⅱ)</td> <td>$1 \times 10^{-8} \sim 10^{-4}$</td> <td>5~10</td> </tr> <tr> <td>風化緩み部 (区分Ⅲ)</td> <td>$1 \times 10^{-8} \sim 10^{-7}$</td> <td>2~5</td> </tr> <tr> <td>新鮮岩</td> <td>1×10^{-9}</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">断層</td> <td>主要な断層</td> <td>1×10^{-6}</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>重要でない断層</td> <td>周辺地山の2倍</td> <td>周辺地山と同じ</td> </tr> </tbody> </table>	地層区分		透水係数 (m/秒)	有効間隙率 (%)	表土層		H: 1×10^{-3}	40		V: 1×10^{-4}	沖積層		1×10^{-4}	30	地すべり		1×10^{-5}	20	水理基盤岩類	風化緩み部 (区分Ⅰ)	$1 \times 10^{-6} \sim 10^{-4}$	10	風化緩み部 (区分Ⅱ)	$1 \times 10^{-8} \sim 10^{-4}$	5~10	風化緩み部 (区分Ⅲ)	$1 \times 10^{-8} \sim 10^{-7}$	2~5	新鮮岩	1×10^{-9}	1	断層	主要な断層	1×10^{-6}	10	重要でない断層	周辺地山の2倍	周辺地山と同じ
地層区分		透水係数 (m/秒)	有効間隙率 (%)																																				
表土層		H: 1×10^{-3}	40																																				
		V: 1×10^{-4}																																					
沖積層		1×10^{-4}	30																																				
地すべり		1×10^{-5}	20																																				
水理基盤岩類	風化緩み部 (区分Ⅰ)	$1 \times 10^{-6} \sim 10^{-4}$	10																																				
	風化緩み部 (区分Ⅱ)	$1 \times 10^{-8} \sim 10^{-4}$	5~10																																				
	風化緩み部 (区分Ⅲ)	$1 \times 10^{-8} \sim 10^{-7}$	2~5																																				
	新鮮岩	1×10^{-9}	1																																				
断層	主要な断層	1×10^{-6}	10																																				
	重要でない断層	周辺地山の2倍	周辺地山と同じ																																				
<p>4) 気象条件</p>	<p>【降水量・蒸発散量】</p> <p>○定常解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・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、降水量から実蒸発散量を差し引いた有効降水量として与えています。 <p>○非定常解析</p> <ul style="list-style-type: none"> ・静岡市モデル同様、2012.1~2012.12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にて実施しました。 <p>※レーダー・アメダス解析雨量とは、レーダーによる降水量推定値の分布を、実際に観測した降水量 (アメダスの観測値) で補正した1km四方の雨量の降水量分布である。</p>																																						

2) 上流域モデルでの解析値と観測平均値の比較について

- ・(4)において、静岡市モデルで主要な断層の透水係数を $1.0E-6(m/s)$ に変更した場合の解析値と観測平均値の比較を行った際と同様の条件で、上流域モデルでの解析値と観測平均値の比較を行いました。
- ・図 25 の通り、静岡市モデルで主要な断層の透水係数を $1.0E-6(m/s)$ に変更した場合と同様の傾向であることを確認しましたので、今後、この上流域モデルを用いて、沢の流量変化の分析を進めていくことを考えています。

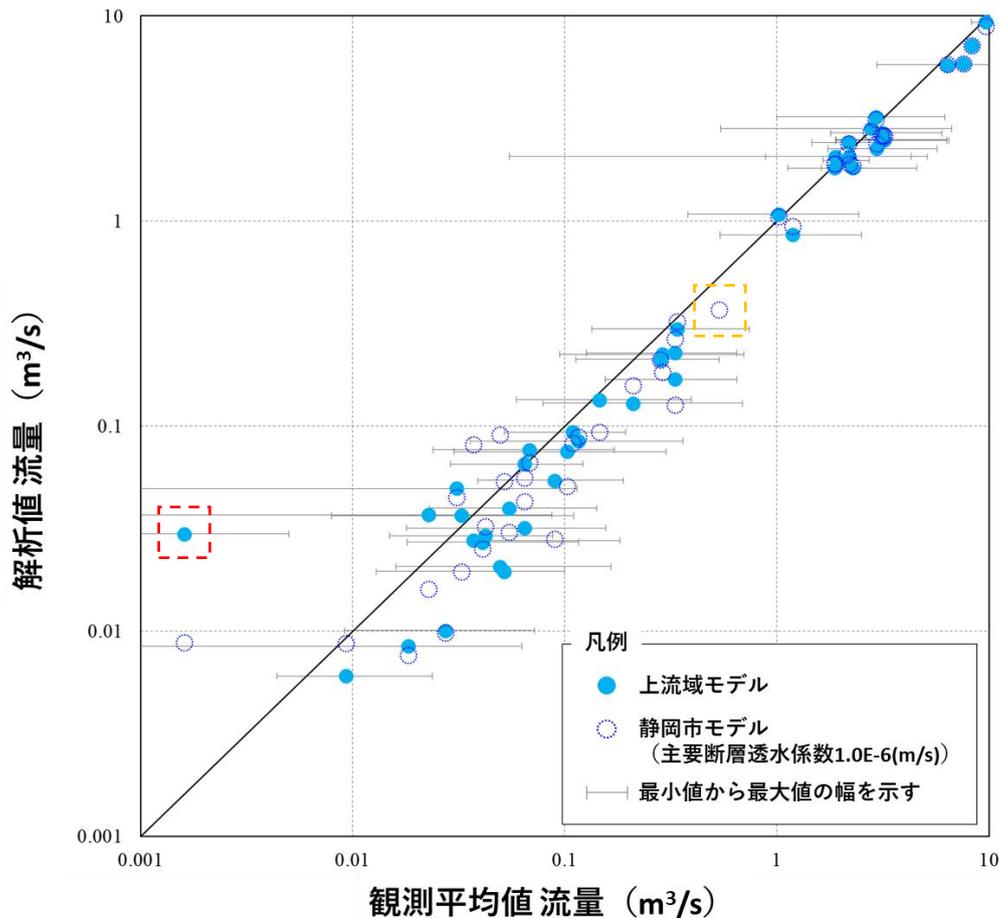


図 25 上流域モデルの解析値と観測平均値の流量の比較
(静岡市モデル (主要断層透水係数 $1.0E-6(m/s)$) の結果を併記)

- ・なお、図 25 の観測平均値が $0.001(m³/s)$ 付近の地点 (図 25 の赤破線枠) は、格子サイズを細かくしたことにより、谷部が表現され湧出量が増えた結果、静岡市モデルと比べ解析流量が大きく算出されたものと考えられます。
- ・また、図 25 の観測平均値が $1(m³/s)$ 付近の地点 (図 25 のオレンジ破線枠) は、榎島より下流の地点 (従来の静岡市モデルでの地下水位低下範囲外で流域の一部が上流域モデルの解析範囲の境界より下流の地点) であり、確認の対象としていません (大井川上流域の沢の調査結果をとりまとめた 35 の沢にも含まれていません)。

- ・参考に上流域モデルでの解析値と観測平均値を比較した結果に、静岡市モデル（主要断層透水係数 $1.0E-5(m/s)$ ）での結果を併記し、図 26 に示します。

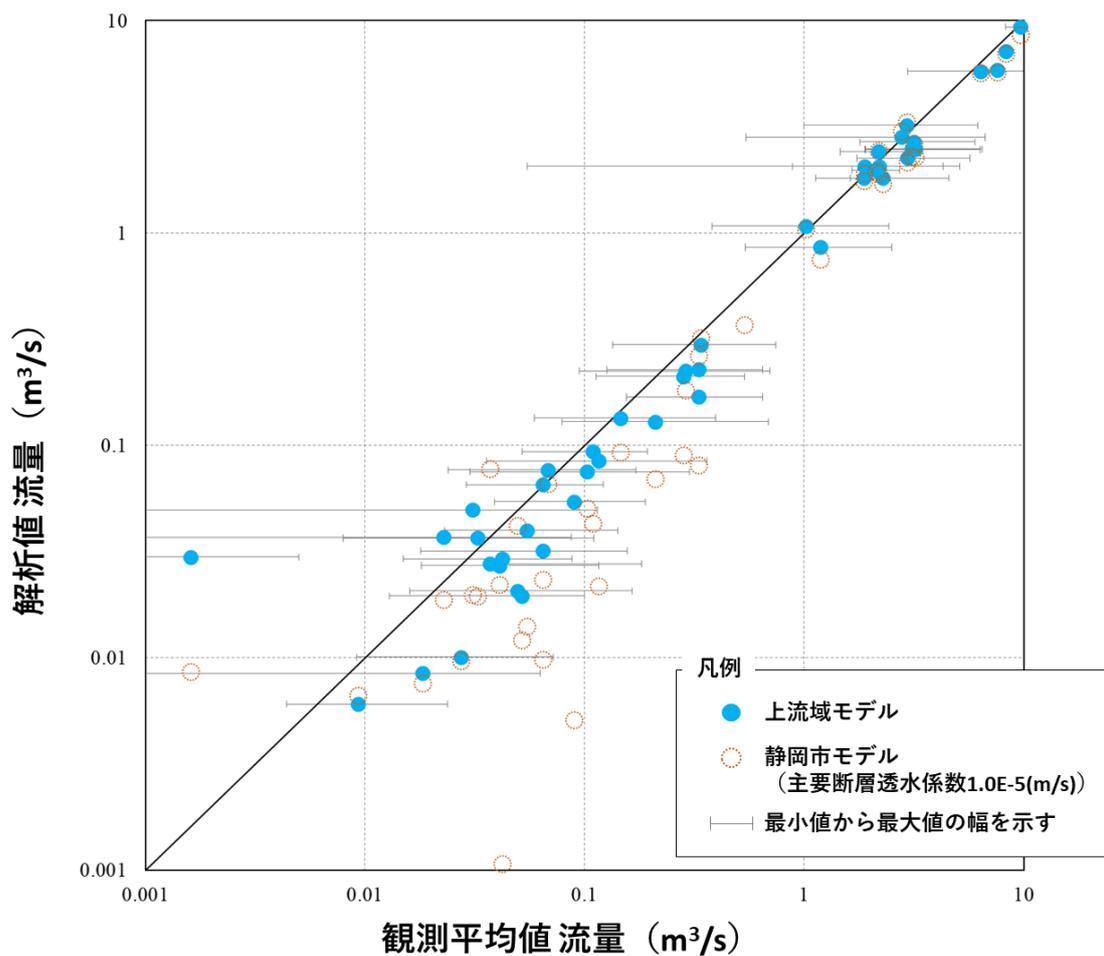


図 26 上流域モデルの解析値と観測平均値の流量の比較
 (静岡市モデル (主要断層透水係数 $1.0E-5(m/s)$) の結果を併記)

3) 今後の上流域の沢の影響分析の進め方について

- ・今回、降水については、解析条件でご説明した通り、1981～2010年までの平年値を使用しましたが、水生生物等への影響を分析・評価するためには、渇水期等、降水量が少ない時期におけるトンネル掘削に伴う沢の流量変化を確認する必要があると考えています。
- ・そこで今後は、季節に応じて変化する日別の実績降水量を入力した非定常解析を行い、渇水期等、降水量が少ない時期も含めたトンネル掘削による沢の流量変化や流路に沿った地表水流量の変化等を確認します。
- ・また、トンネル工事の順序を考慮し、トンネル掘削に伴いどのようなタイミングで影響が生じる可能性があるのかを確認します。
- ・上記の確認結果等を踏まえ、環境保全措置等の検討を進めていくことを考えています。

(7) 上流域モデルでの解析結果について

1) 【定常解析】トンネル掘削に伴う沢の流量変化と要因の考察

- ・第 21 回会議において大井川上流域の沢の調査結果をとりまとめた沢について、定常解析により、トンネル掘削に伴う流量変化を確認し、流量変化の要因を考察しました。

①トンネル掘削に伴う流量変化（定常解析）

- ・トンネル掘削に伴う沢の流量変化（河川合流部付近の沢側の地点）を図 27 にお示しします。
- ・流域に主要な断層を含まない沢については、流量減少の傾向⁵は確認されませんでした。流域に主要な断層を含む沢については、流域内で主要な断層とトンネルが交差するような沢において、流量が減少する傾向がみられましたが、その他の沢については流量減少の傾向はみられませんでした。流量減少の傾向がみられた沢の位置を図 28 に示します。

⁵ トンネル掘削前流量の 10%以上、流量減少が確認された沢を指す

<解析上の掘削前流量が0.3m³/s以下の沢>

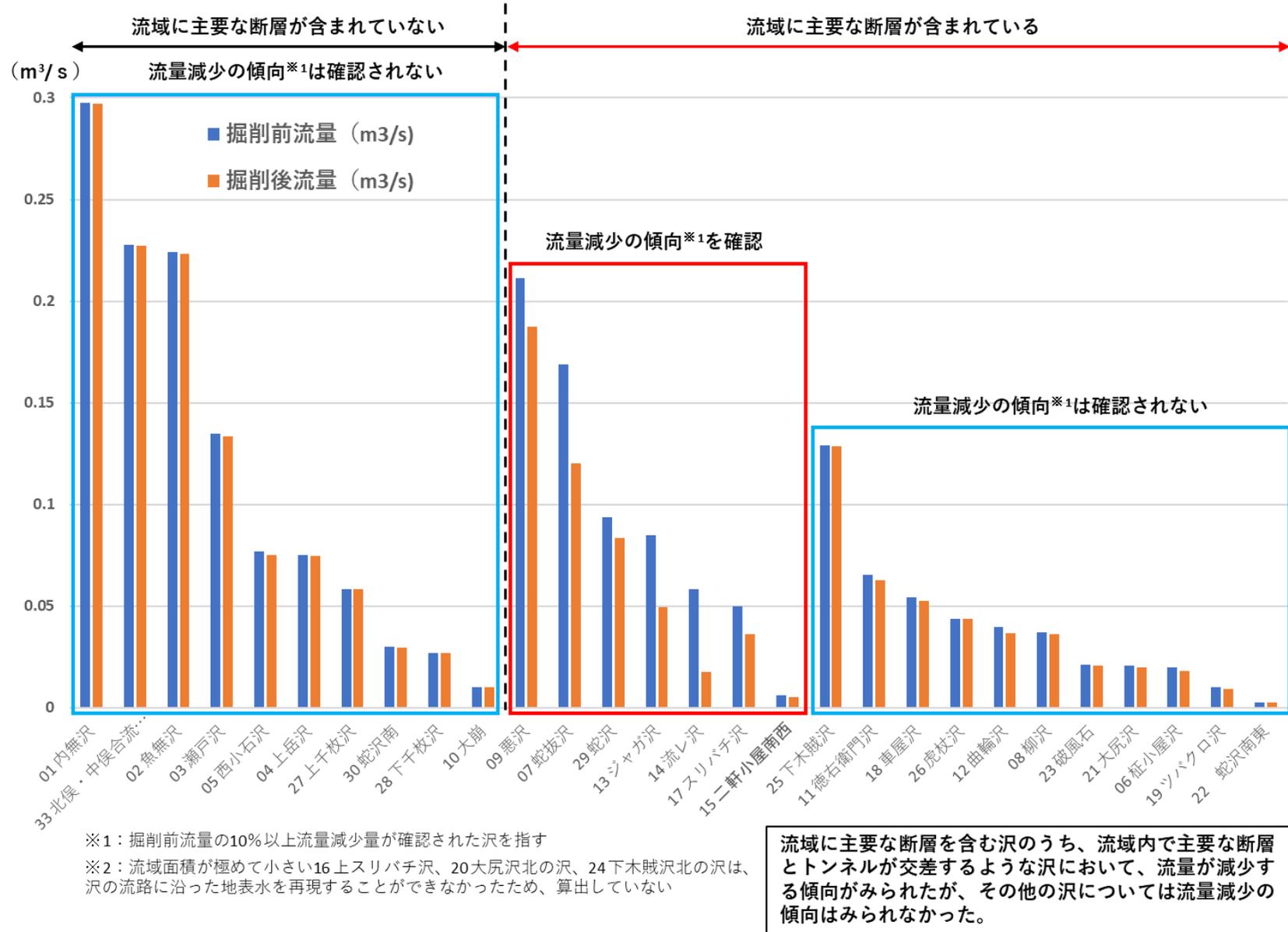
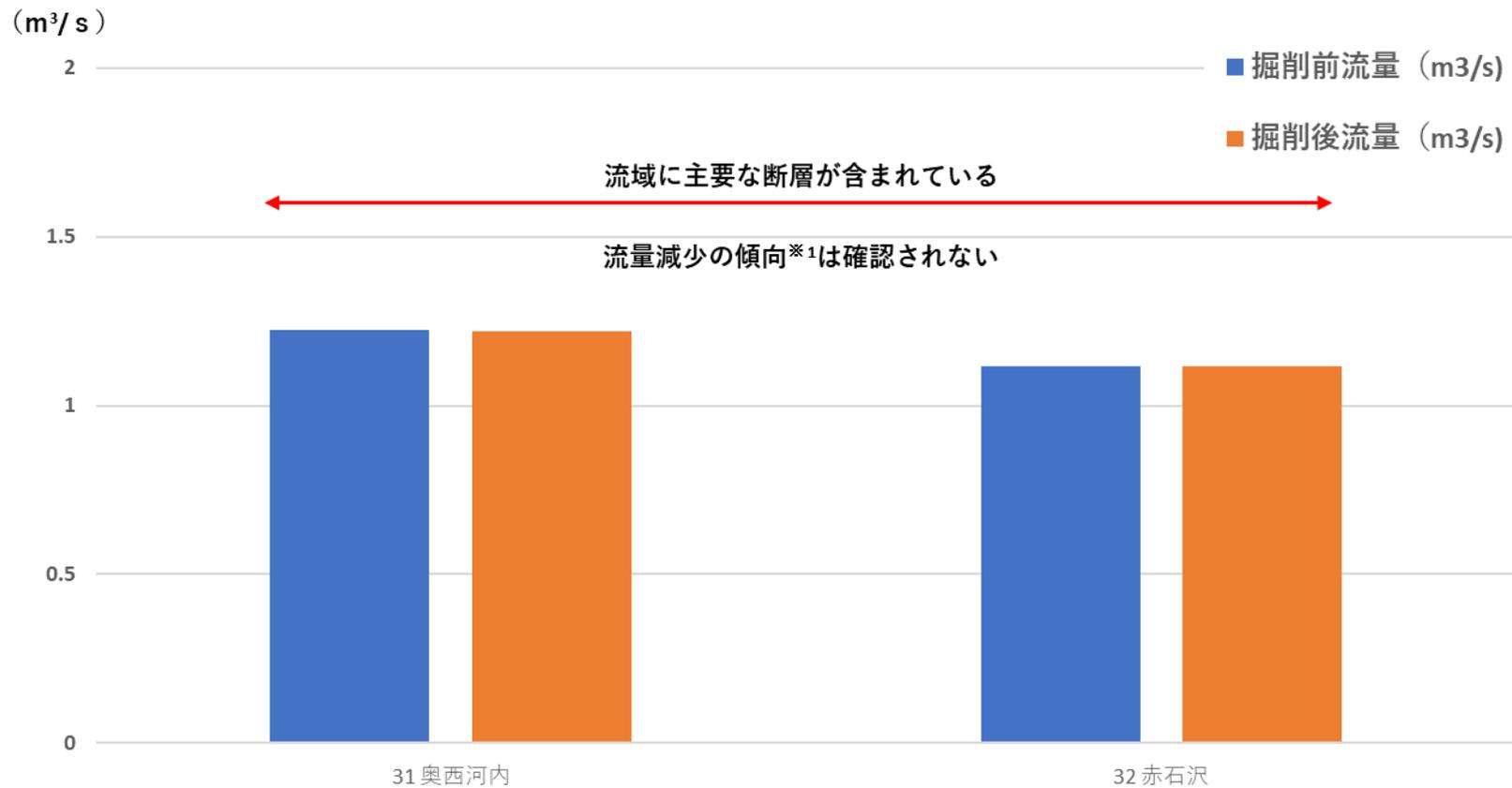


図 27-1 トンネル掘削による沢流量変化（定常解析）①

< 解析上の掘削前流量が1.0m³/s以上の沢 >



※1：掘削前流量の10%以上流量減少量が確認された沢を指す

図 27-2 トンネル掘削による沢流量変化（定常解析）②

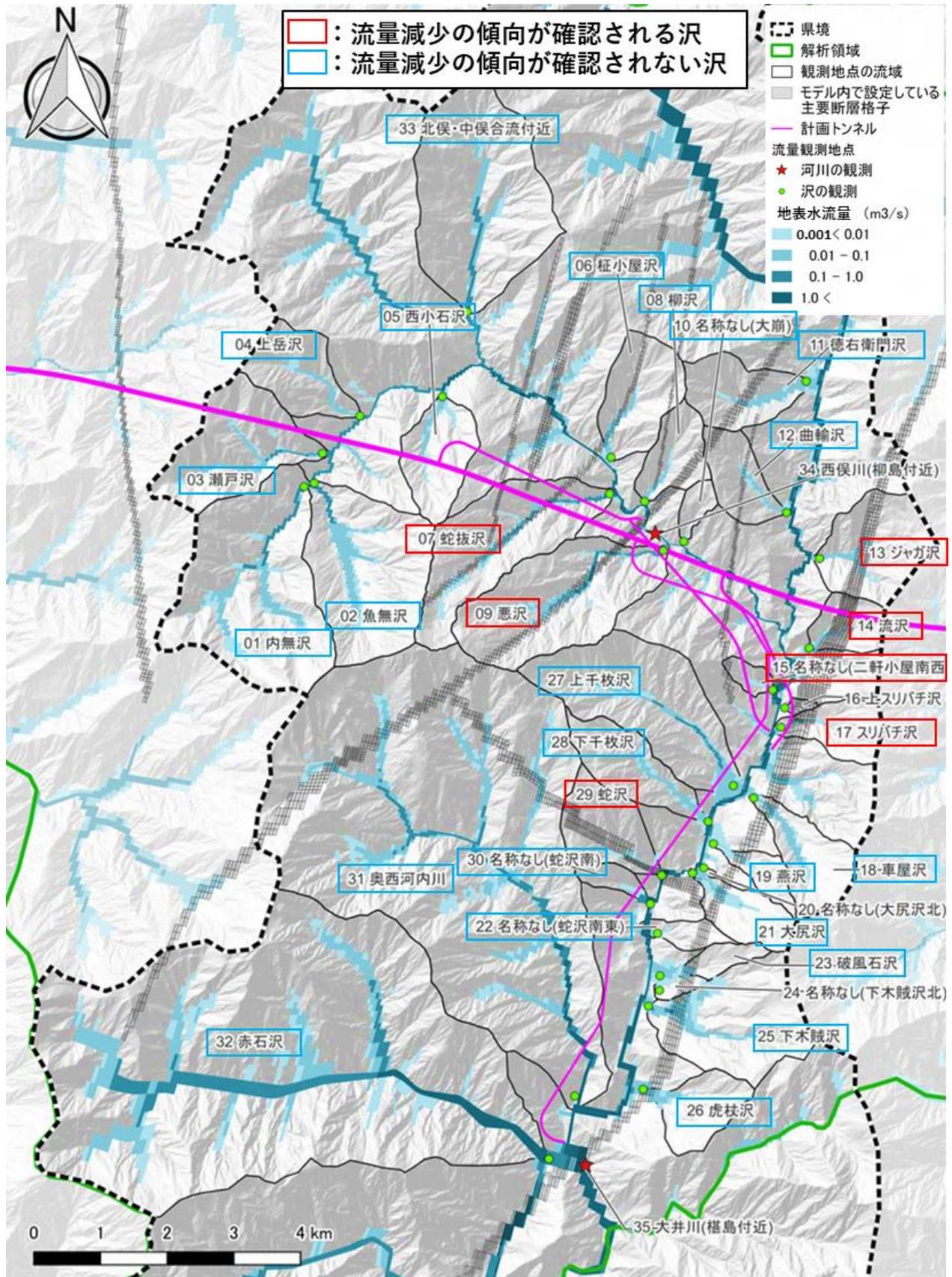


図 28 トンネル、主要な断層、沢流域の位置関係
(地表水流量はトンネル掘削前の定常解析の結果)

②流量変化の要因の考察

- トンネル掘削に伴う流量変化の要因を考察するため、流域に主要な断層を含み、流域内で主要な断層とトンネルが交差するような沢で流量減少の傾向が確認されたことを踏まえ、断層部に着目し、トンネル掘削に伴う地表湧出量の変化を確認しました。流量減少の傾向が確認された悪沢、蛇抜沢のトンネル掘削前後の地表水流量とトンネル掘削に伴う地表湧出量の変化を図 29、図 30 に示します。
- トンネル掘削後においても上流から下流にかけて地表水流量は確認されるものの、主要な断層部（赤破線で囲った箇所）において地表湧出量の減少がみられ、これにより沢流量の減少が生じたものと考えられます。

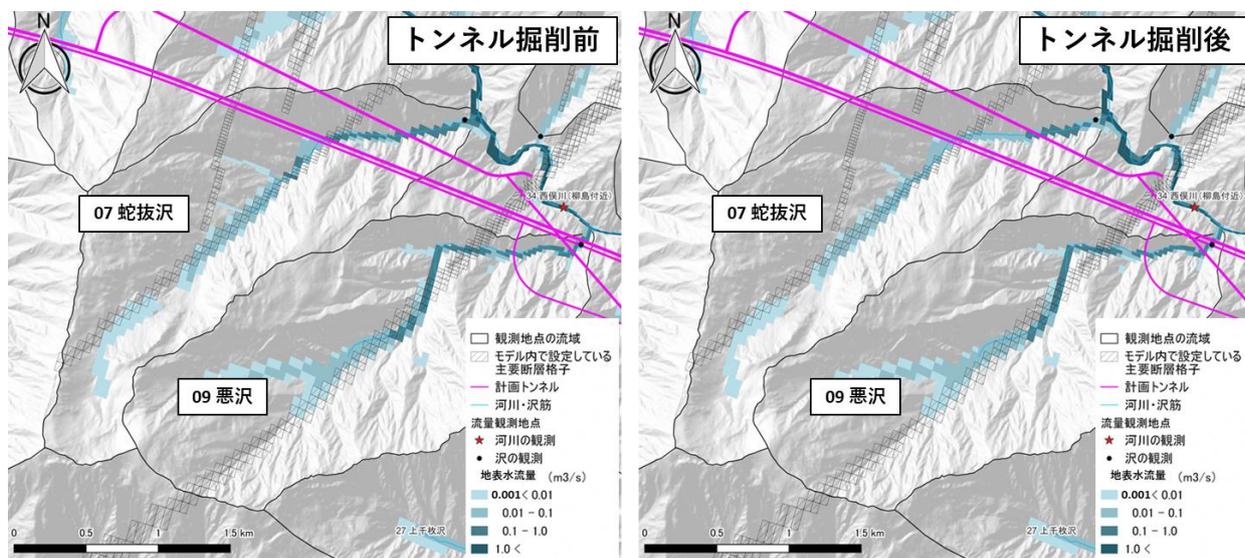


図 29 悪沢、蛇抜沢周辺のトンネル掘削前後の地表水流量（定常解析）

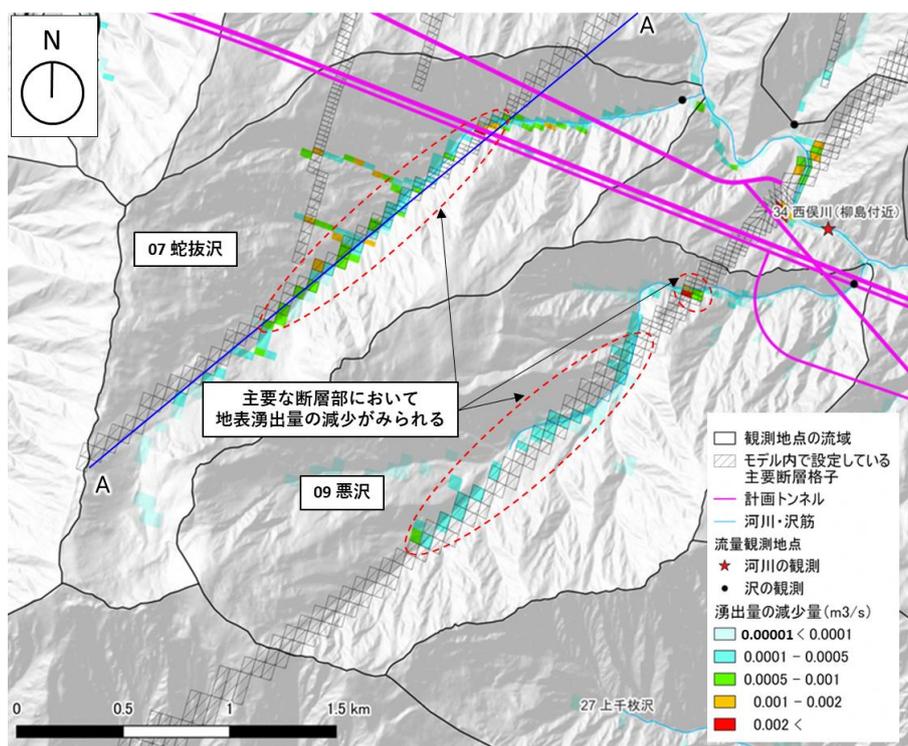


図 30 悪沢、蛇抜沢周辺の地表湧出量の変化（定常解析）

- ・次に、主要な断層部における地表湧出量の減少の要因を考察するため、蛇抜沢流域について、トンネルと断層を含む断面（図 30、A-A 断面）における全水頭分布・地下水流動方向の変化を確認しました。
- ・図 31 にトンネル掘削前後の地下水流動方向を示します。トンネル掘削前は、蛇抜沢と断層が交差する箇所（青破線内）で、地表面付近で上向きの地下水流動方向が見られます。一方、トンネル掘削後は、トンネル周辺においてトンネルへ引き込まれる地下水の流れが生じ、断層の地表部では地下水流動方向が地下方向へ変化しています。これにより、主要な断層部において地表湧出量が減少し、沢の流量減少が生じるものと考えられます。
- ・以上の通り、今回のモデルから考察される沢の流量減少の主な要因は、トンネル掘削に伴いトンネル内に周辺地下水が引き込まれ、断層部において、地表湧出量が減少するためであると考えられます。

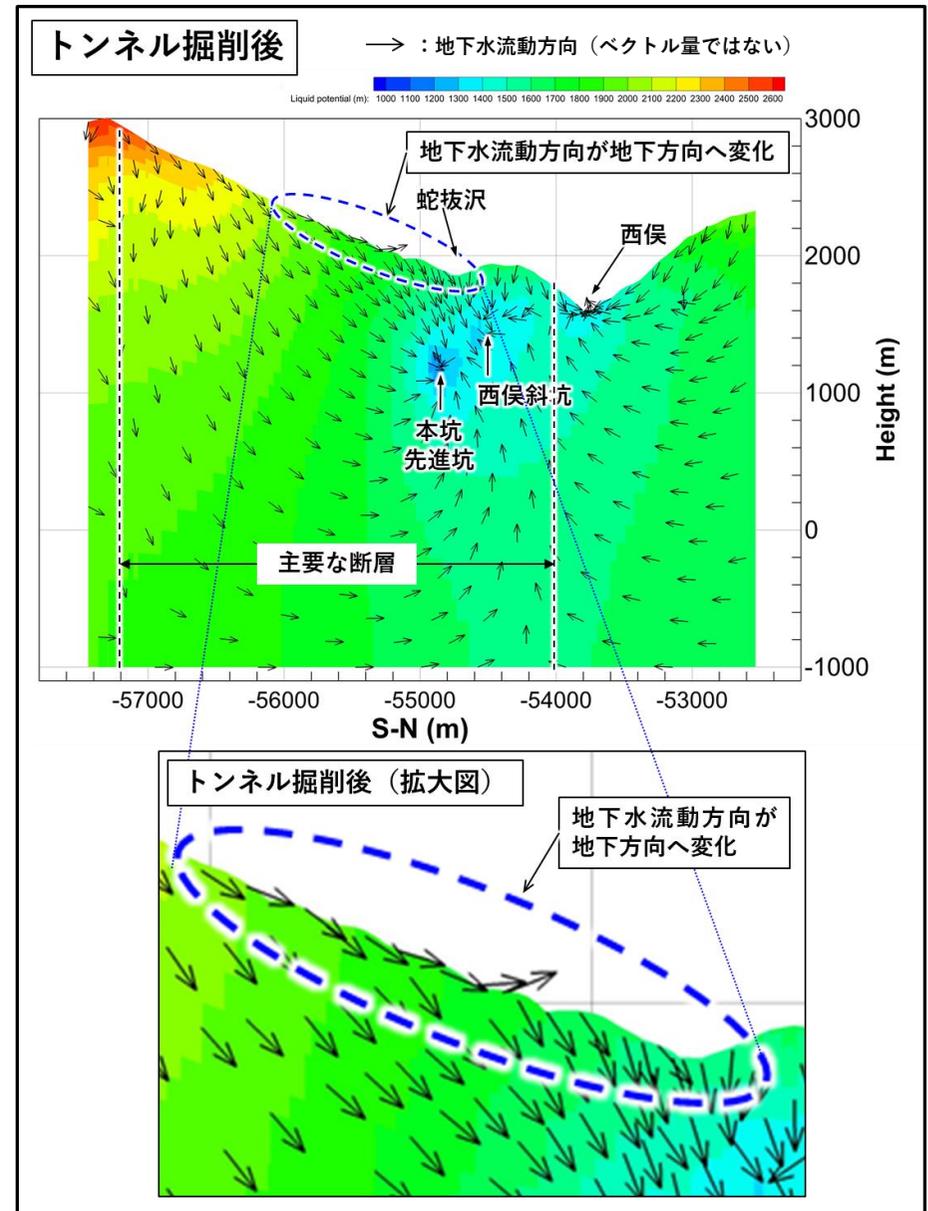
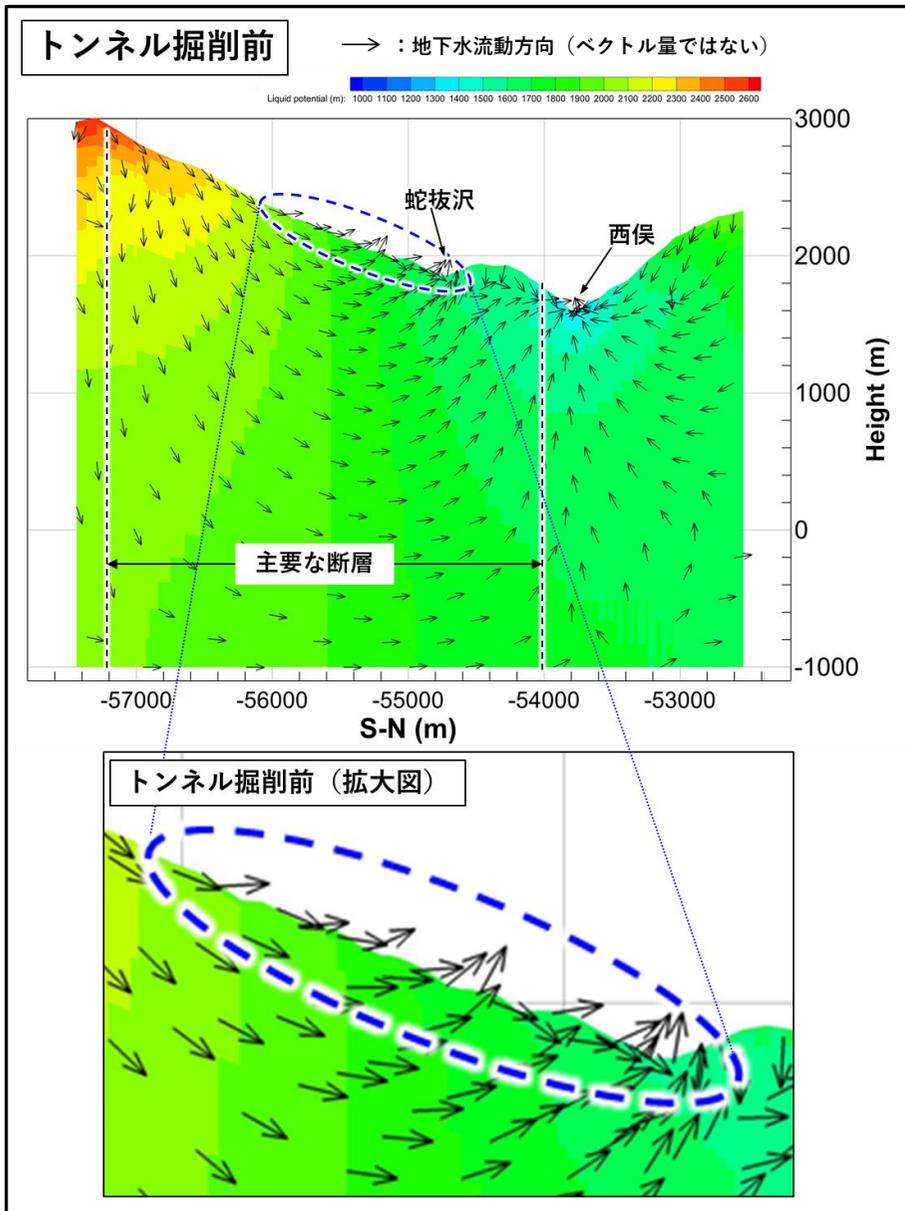


図 31 蛇抜沢周辺の全水頭分布と地下水流動方向の変化 (定常解析)

2) 【定常解析】 沢流量変化要因を踏まえた影響の回避・低減策の効果の検討

- ・沢の流量減少の主な要因は、トンネル掘削に伴いトンネル内に周辺地下水が引き込まれ、断層部において、地表湧出量が減少することであると考えられるため、主要な断層とトンネルが交差する箇所ではトンネル内に引き込まれる地下水量を低減する対策を講じることにより、沢流量の減少量は低減されると考えられます。
- ・そこで、トンネルと断層の交差箇所において、トンネル湧水量の低減を目的とした薬液注入を実施した場合に、沢の流量変化がどのように変化するのかを確認しました。

①想定した薬液注入の概要

- ・想定した薬液注入の概要は表 6 の通りです。注入範囲、改良後の透水係数は、過去のトンネル工事の実績に基づき、設定しています。

表 6 薬液注入の概要

項目	概要
注入箇所	トンネルと主要な断層が交差する箇所 (図 32)
注入範囲	トンネル直径 (トンネル半径 (R) の 2 倍 (2R)) ⁶
改良後の透水係数	1.0E-7(m/s) ⁷

- ・なお、トンネルに隣接する格子幅は、トンネル直径 (2R) と異なるため、トンネルに隣接する 2R の範囲が透水係数 1.0E-7(m/s)相当に改良されたことと同等の効果を検証できるよう、調和平均をとりトンネルに隣接する格子の透水係数を設定しました (図 35)。

⁶ 「(青函トンネルでは) 注入範囲はトンネル半径の 2~3 倍 (10~15m) 程度を標準とし、不良地山区間では 4~6 倍 (20~30m) 程度としている。」、注入の設計施工マニュアル、公益財団法人鉄道総合技術研究所、平成 23 年 10 月

⁷ 青函トンネルでは、“注入による岩盤の止水効果の実測” を目的のひとつとし、先進導坑と並行する試験坑 (水深約 20m、土被り 244m) において、薬液注入前後の岩盤の透水性を評価している。具体的にはまず、5 本の試験孔を設けて注入前の自然地山の透水性を調査し、その後、同地山に対して薬液注入を実施、同じ地山に対して新たに 3 本のチェック坑を設け、薬液注入後の透水性を調査している。その結果、薬液注入前に 5 本の試験孔で計測した透水係数 k_m は、 $k_m=2.142 \times 10^{-6}(m/s)$ 、 $k_m=6.291 \times 10^{-7}(m/s)$ 、 $k_m=5.459 \times 10^{-7}(m/s)$ 、 $k_m=9.336 \times 10^{-6}(m/s)$ 、 $k_m=1.753 \times 10^{-6}(m/s)$ であったことに対し、薬液注入後に新たに設けた 3 本のチェック坑では $k_m=3.212 \times 10^{-8}(m/s)$ 、 $k_m=2.227 \times 10^{-8}(m/s)$ 、 $k_m=4.406 \times 10^{-8}(m/s)$ となり、「注入の効果は明らかで、注入によって地山の透水係数は $10^{-1} \sim 10^{-2}(cm/s)$ 程度小さくなっていることがわかる」(青函トンネル土圧研究調査報告書 p218 引用)とされている(青函トンネル土圧研究調査報告書、社団法人土木学会、昭和 52 年 3 月 より)。

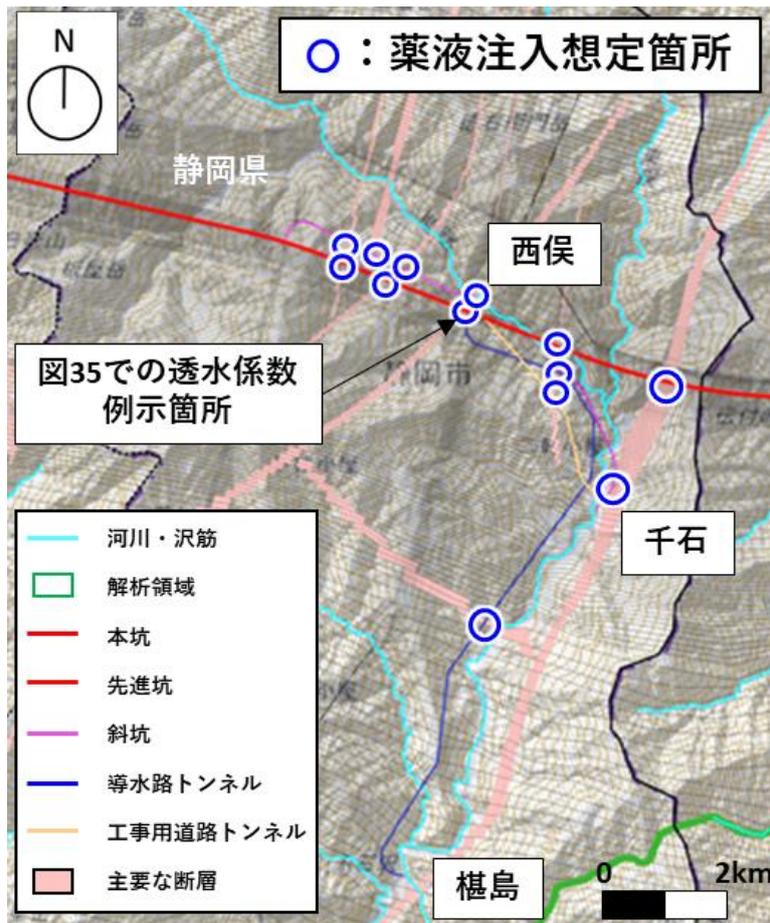


図 32 薬液注入の想定箇所

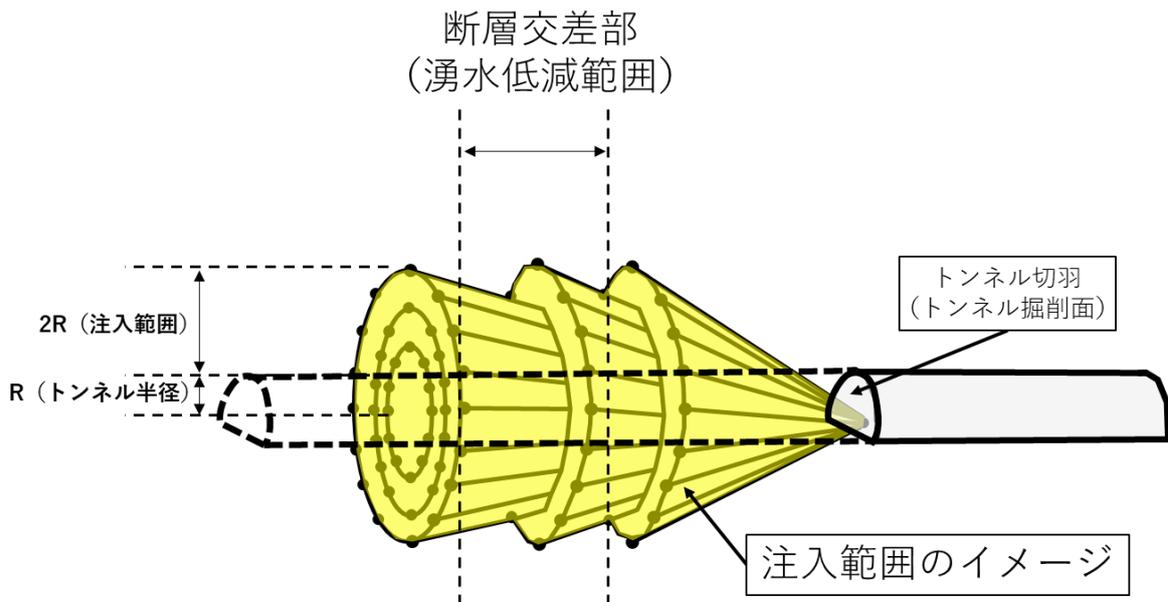


図 33 薬液注入のイメージ

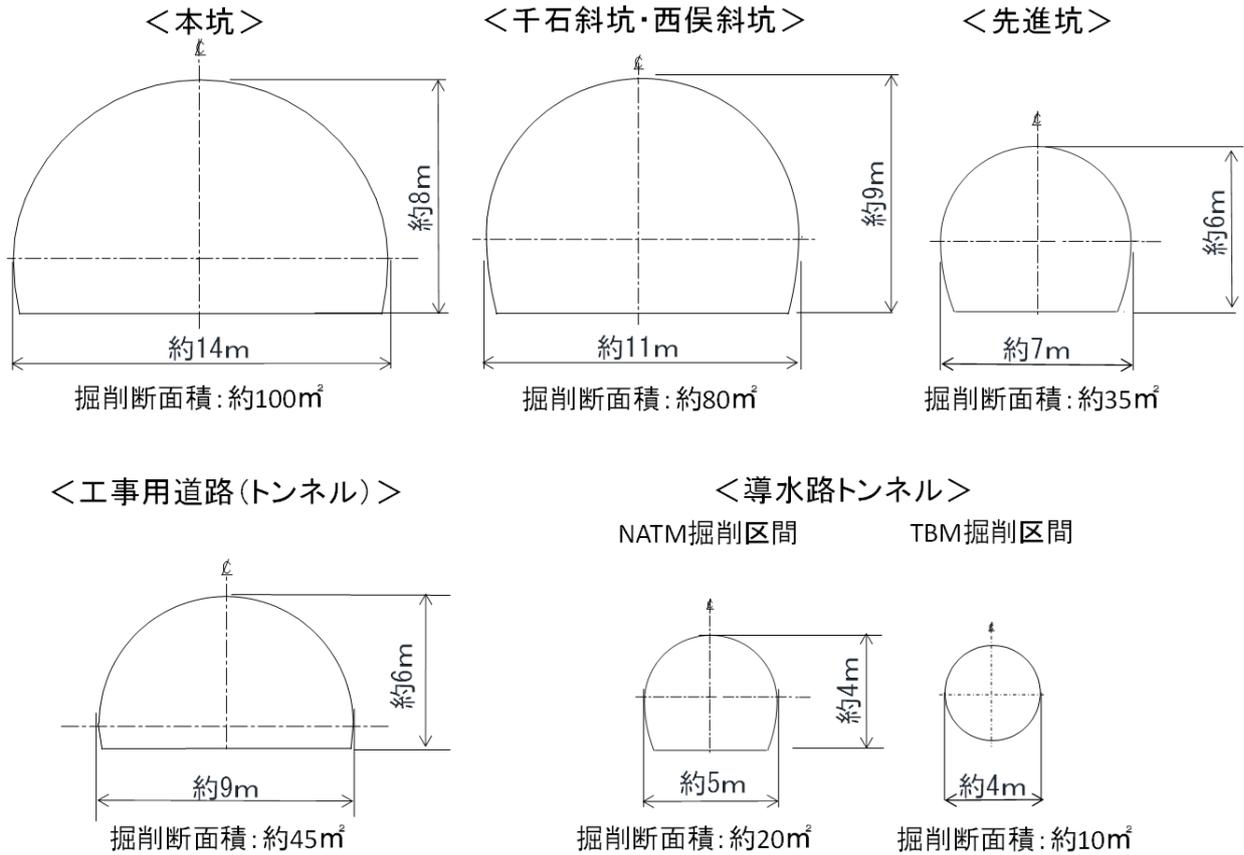
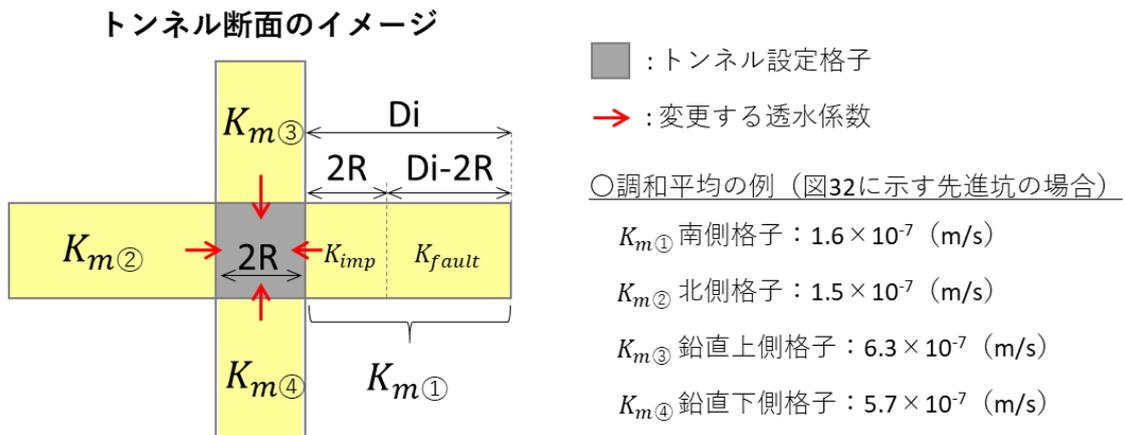


図 34 各トンネルの掘削断面



変更後の透水係数 : K_m

$$K_m = \frac{D_i}{\left[\frac{2R}{K_{imp}} + \frac{(D_i - 2R)}{K_{fault}} \right]}$$

- K_m : 変更後の透水係数 (m/s)
- K_{imp} : トンネル改良工の透水係数 = $1.0E-7$ (m/s)
- K_{fault} : 変更前の断層透水係数 = $1.0E-6$ (m/s)
- D_i : トンネルに隣接する格子の幅 (m)
- $2R$: トンネルの直径(m)

図 35 透水係数の調和平均の計算イメージ

②薬液注入の効果の確認

- ・ 1) の定常解析の結果、流量減少の傾向が確認された沢を対象に、表 6 の条件で薬液注入を実施した場合における沢の流末での流量変化と地表水流量の変化を、定常解析により確認しました(図 36、図 37、図 38、図 39)。
- ・ 確認の対象としたすべての沢において流量減少が低減される結果となり、トンネルと主要な断層の交差部における薬液注入は、沢の流量減少量を低減する効果があることが確認できました。

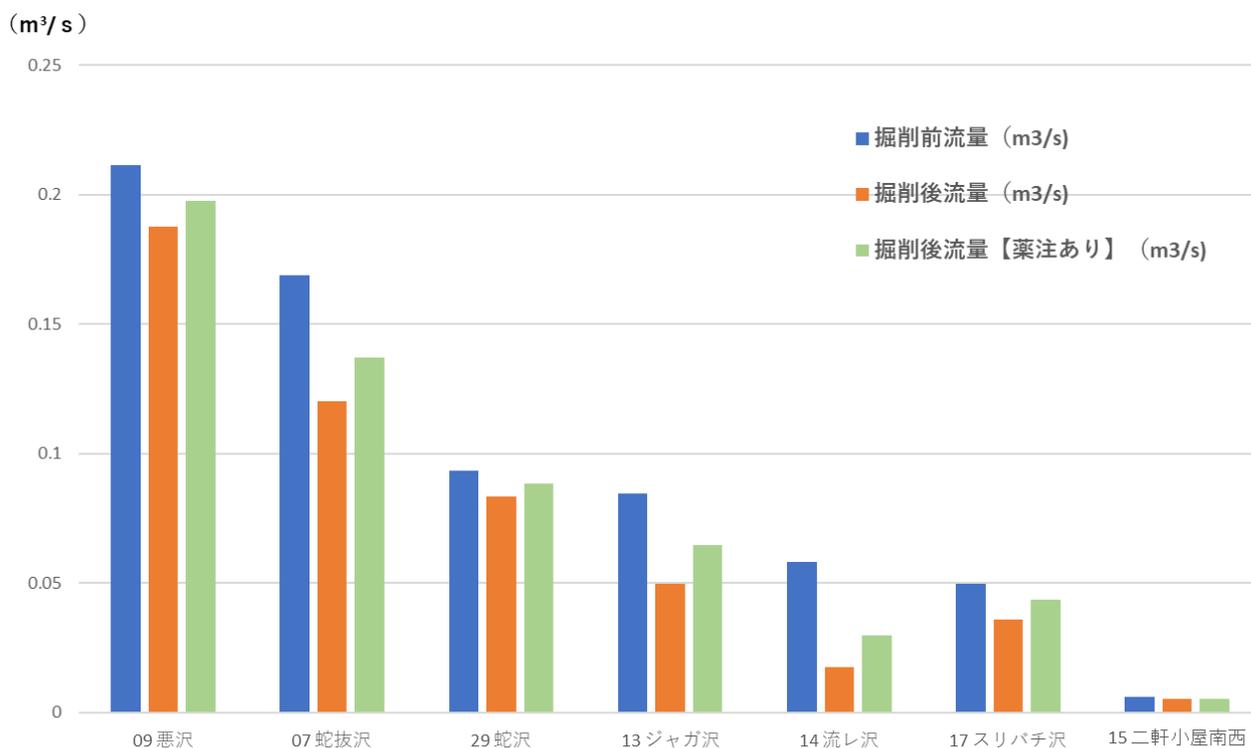


図 36 トンネル掘削による沢流量変化 (定常解析 : 薬液注入含む)

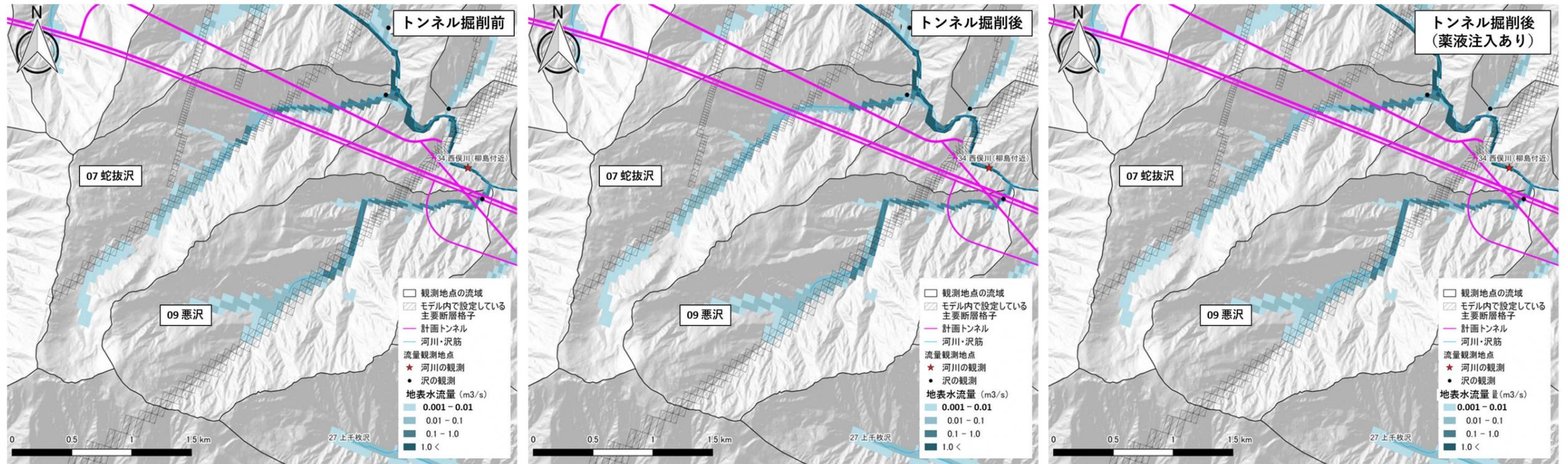


図 37 【蛇抜沢、悪沢】地表水流量の変化（定常解析）

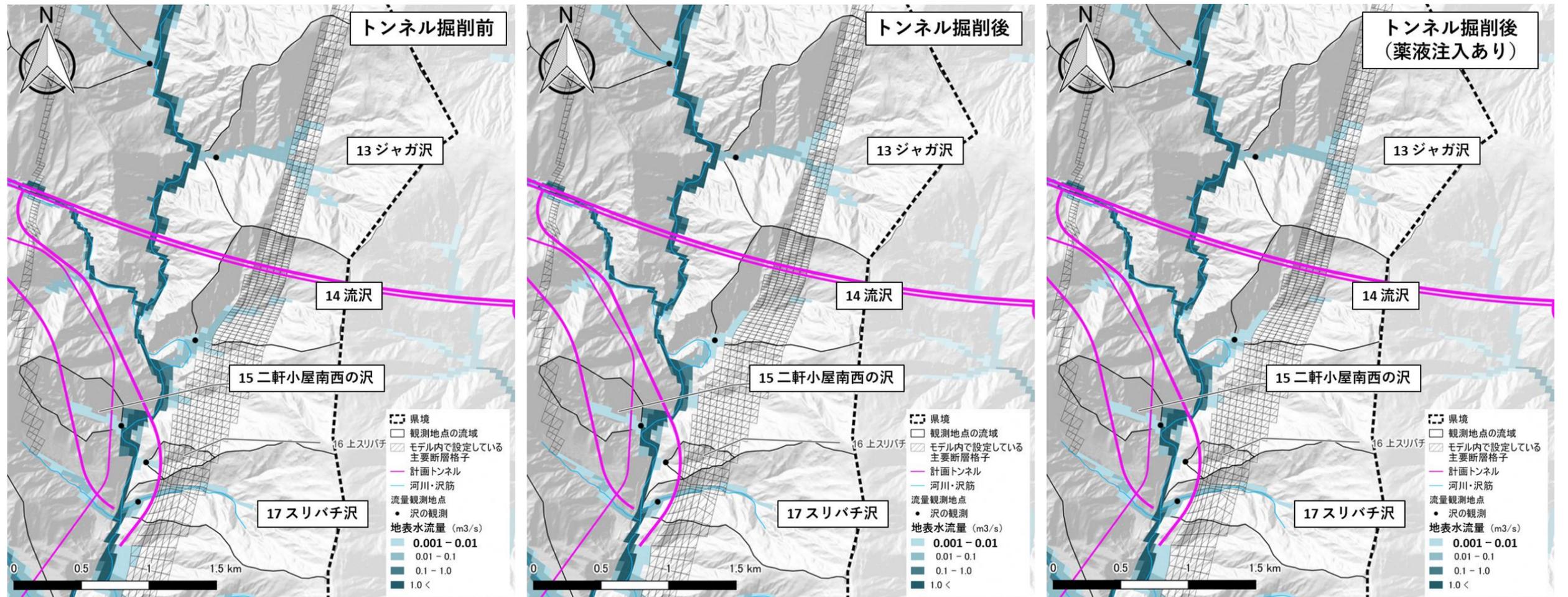


図 38 【ジャガ沢、流沢、二軒小屋南西の沢、スリバチ沢】地表水流量の変化（定常解析）

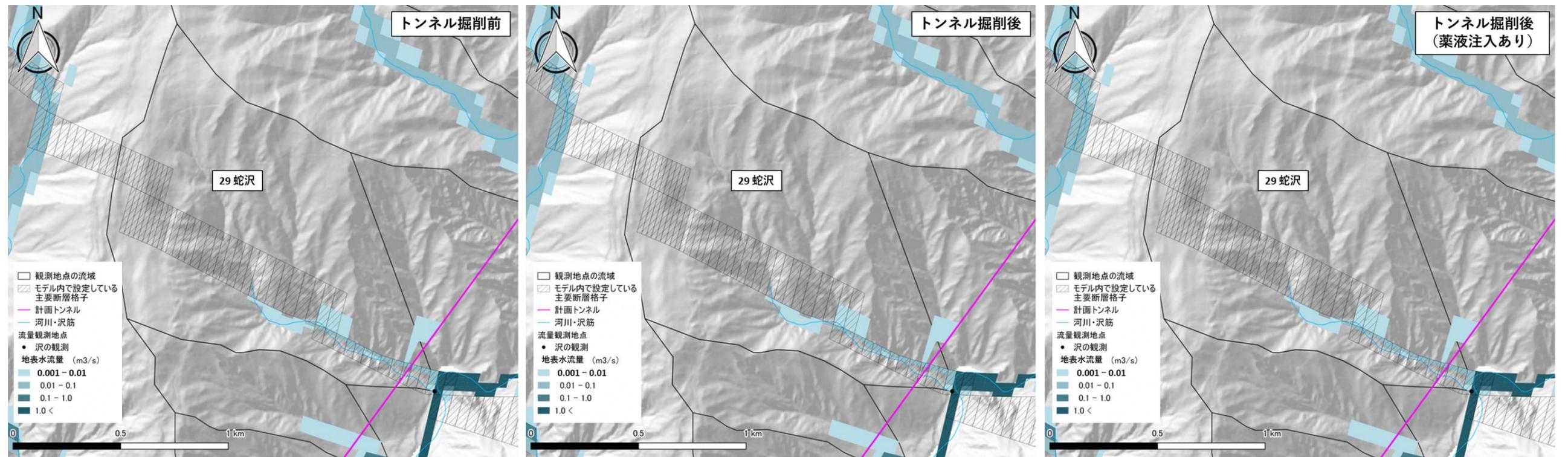


図 39 【蛇沢】地表水流量の変化（定常解析）

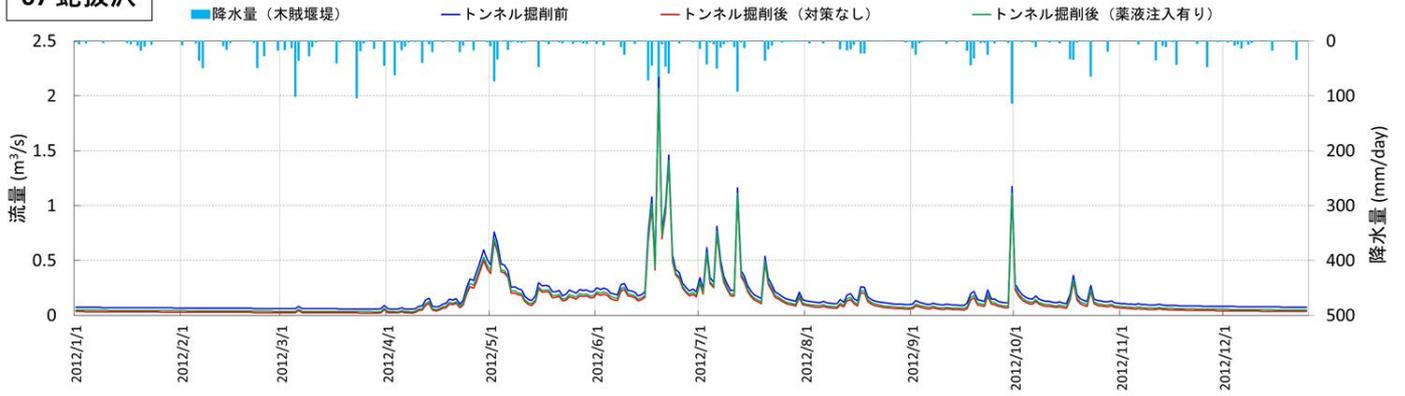
3) 【非定常解析】トンネル掘削に伴う沢の流量変化

- ・次に、渇水期等、降水量が少ない時期におけるトンネル掘削に伴う沢の流量変化を確認するため、1年間の降水量の変化を考慮した非定常解析を行いました。

①トンネル掘削に伴う流量変化（非定常解析）

- ・定常解析の結果、流量減少の傾向がみられた沢について、1年間を通じたトンネル掘削に伴う沢の流量変化を確認しました（図 40～図 46）。
- ・なお、2) の通り、トンネルと主要な断層の交差部における薬液注入が、沢の流量減少に対して効果があることが確認されたため、薬液注入を実施した場合の解析結果もあわせてお示しします。

07 蛇抜沢



蛇抜沢

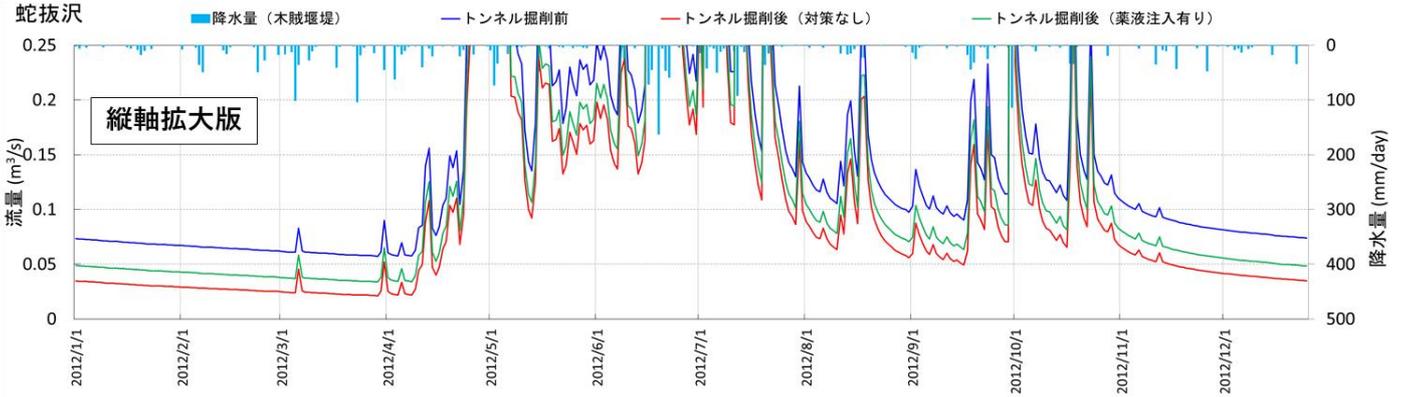
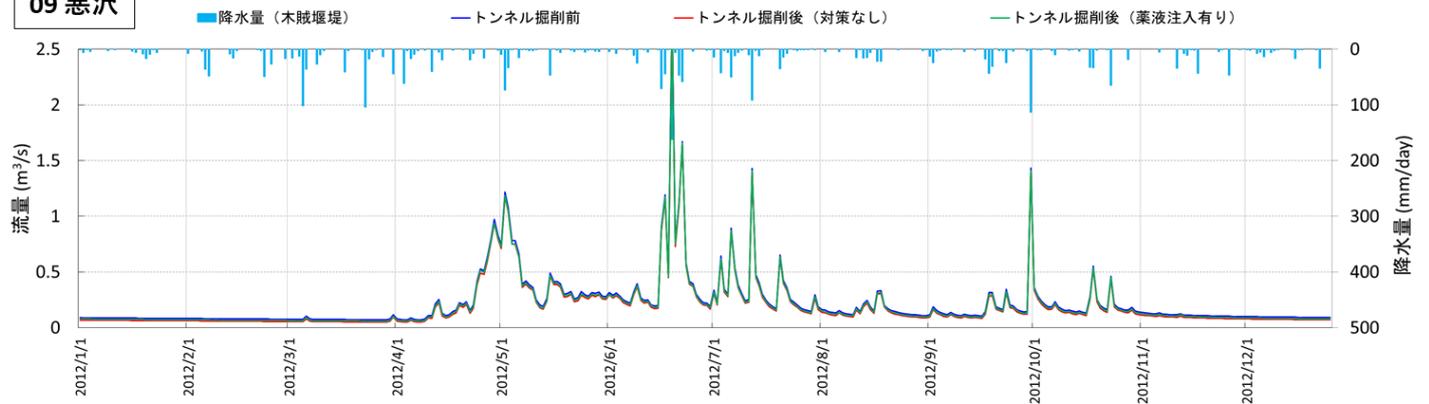


図 40 蛇抜沢の流量変化（非定常解析）

09 悪沢



悪沢

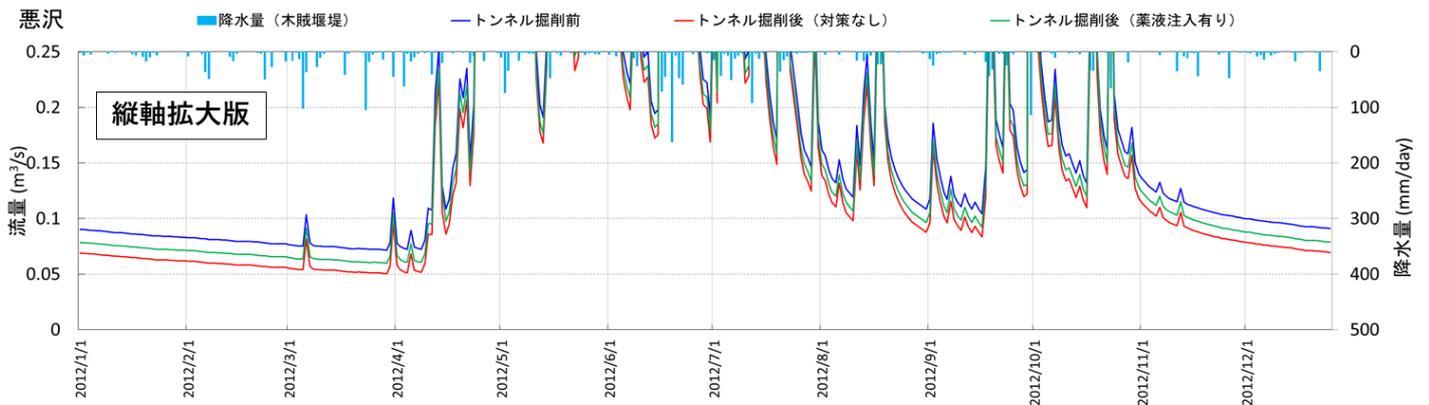
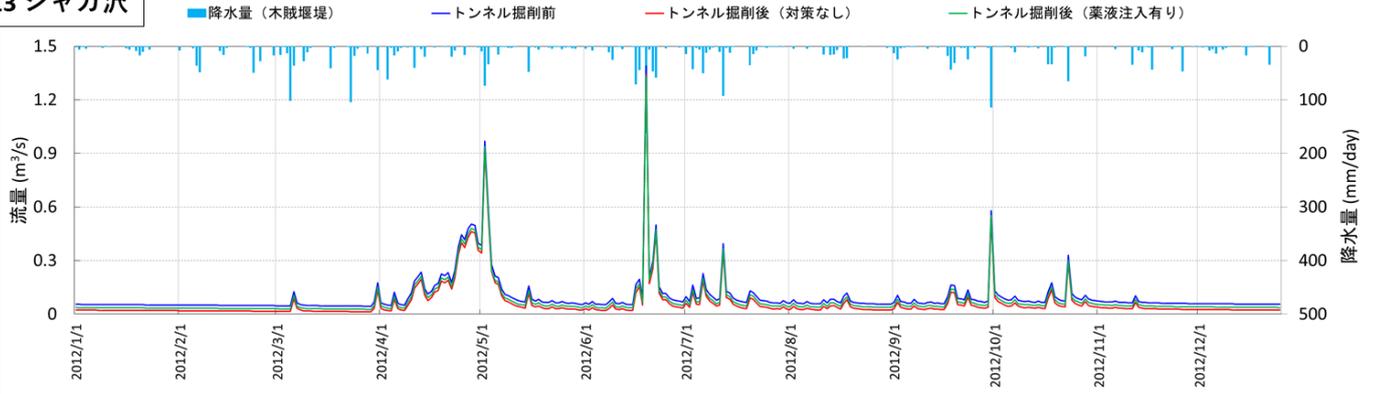


図 41 悪沢の流量変化（非定常解析）

13 ジャガ沢



ジャガ沢

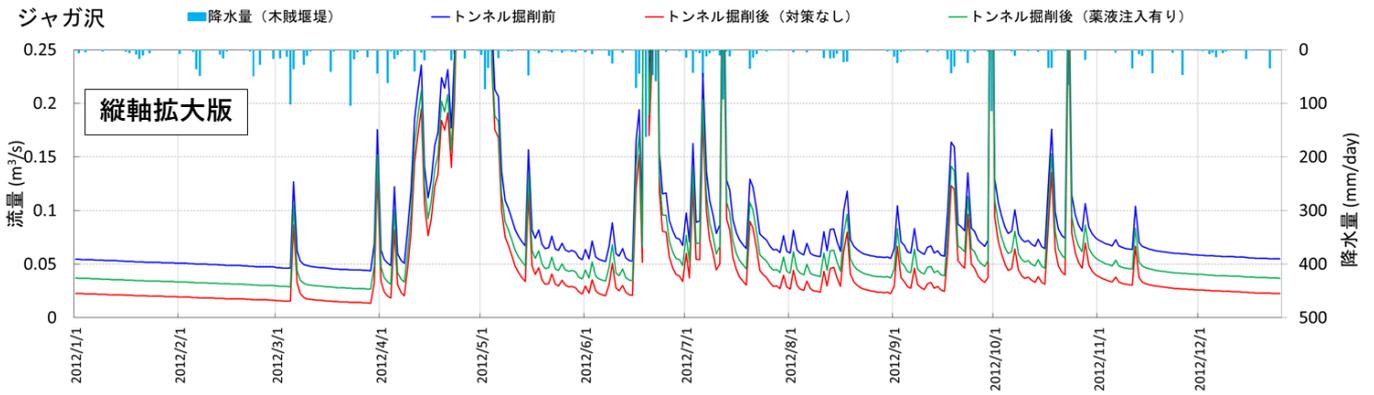
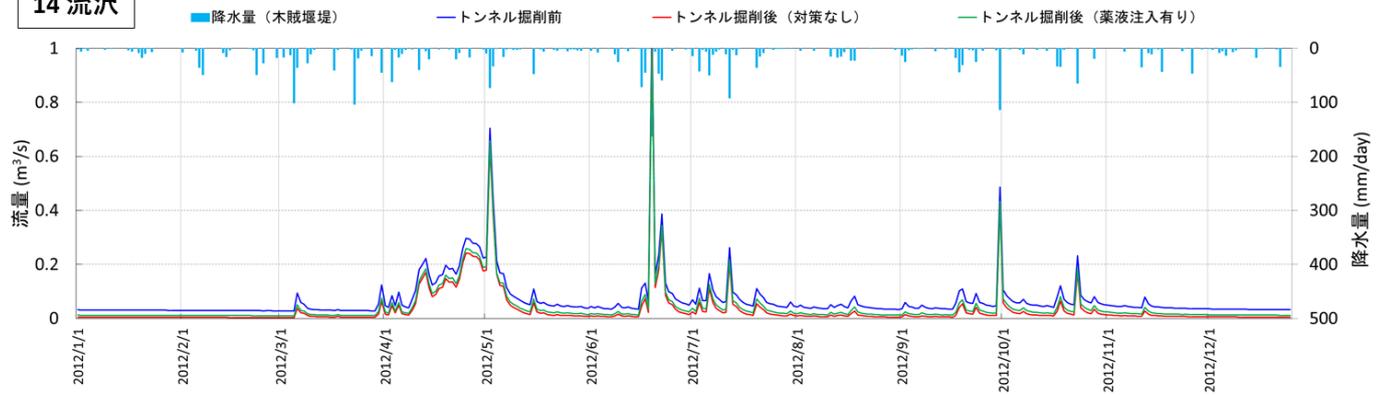


図 42 ジャガ沢の流量変化 (非定常解析)

14 流沢



流し沢

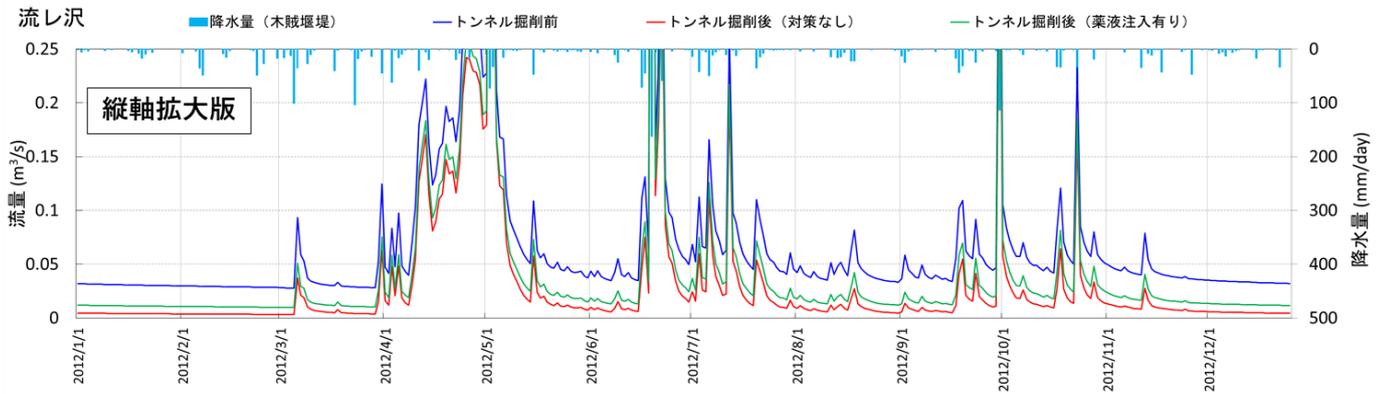
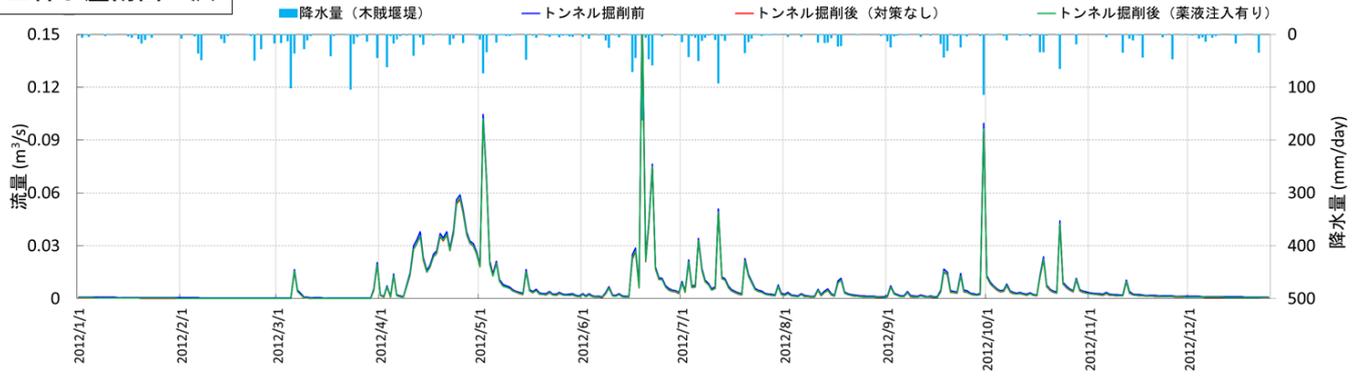


図 43 流沢の流量変化 (非定常解析)

15 二軒小屋南西の沢



支流_二軒小屋南西

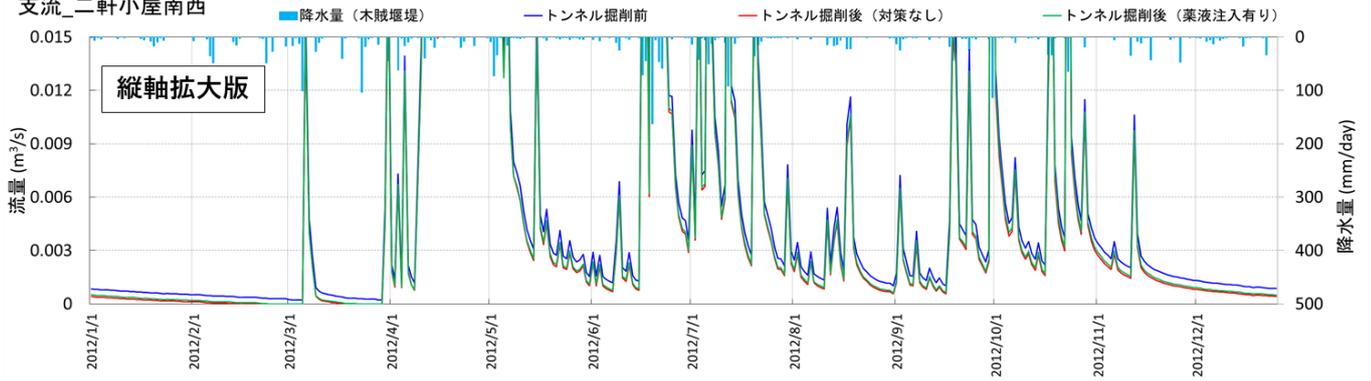
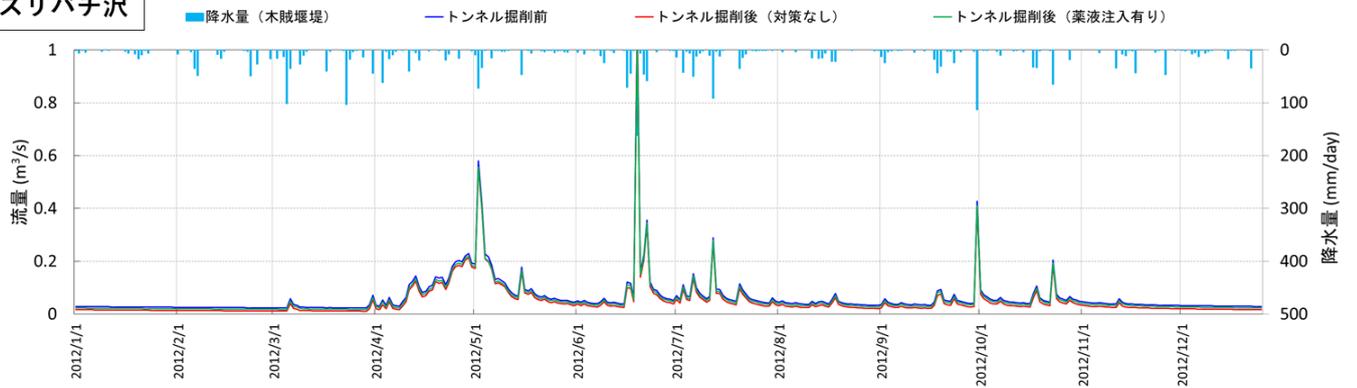


図 44 二軒小屋南西の沢の流量変化（非定常解析）

17 スリパチ沢



播鉢沢

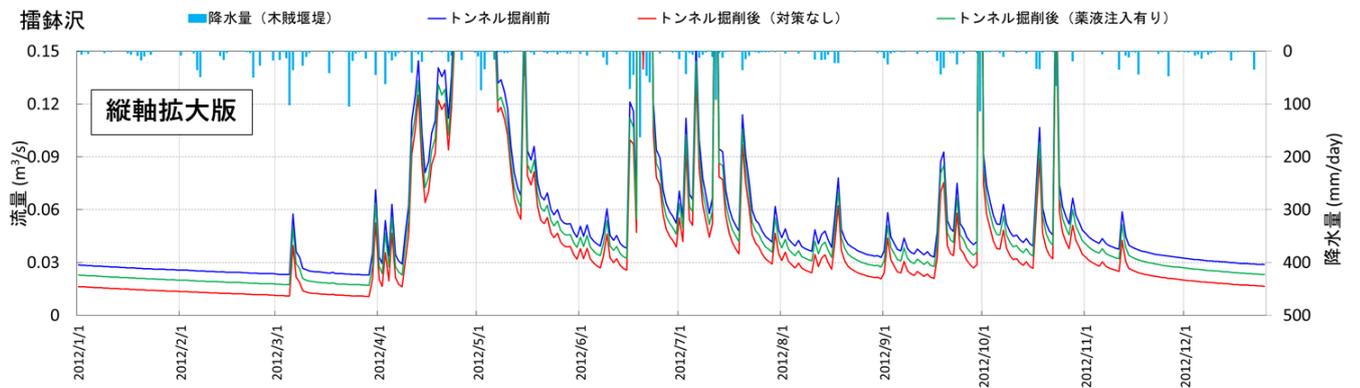


図 45 スリパチ沢の流量変化（非定常解析）

29 蛇沢

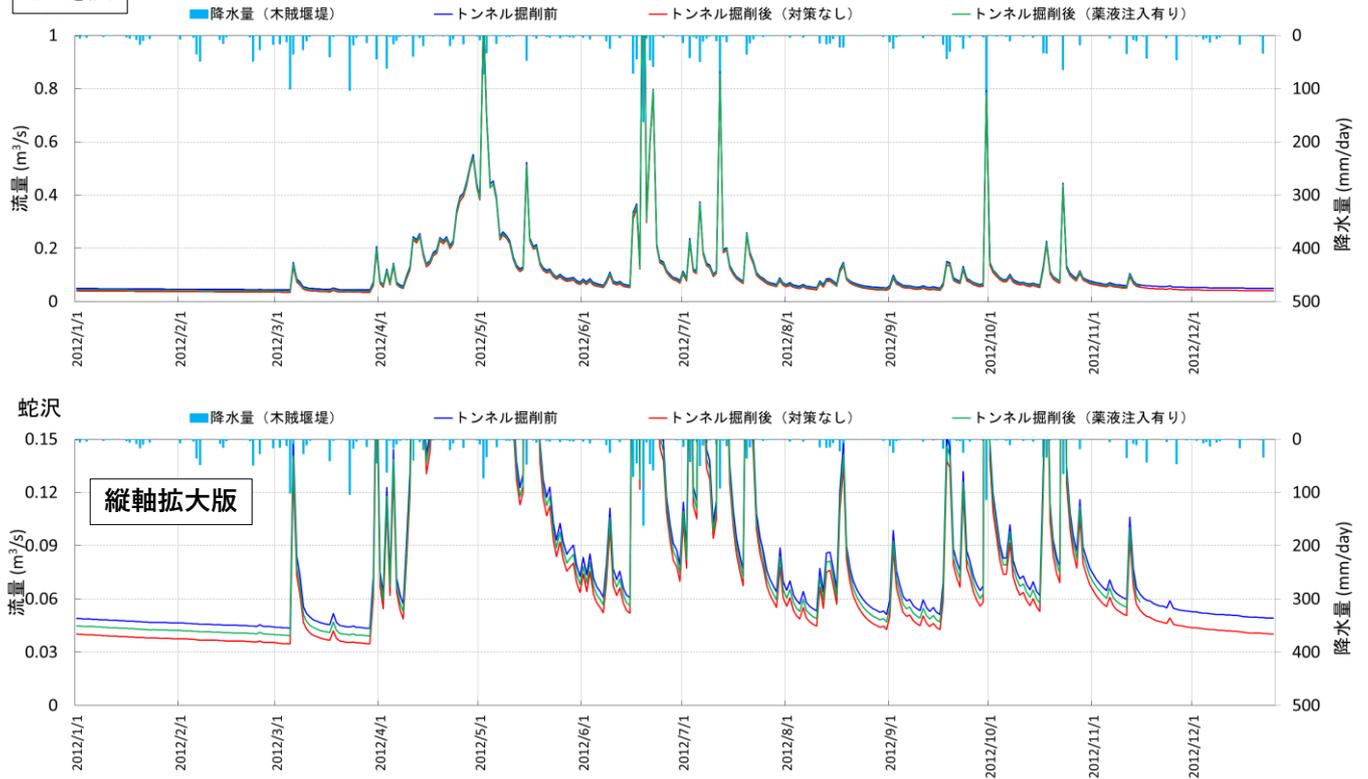


図 46 蛇沢の流量変化（非定常解析）

(考察)

- ・一年間のうち、最も流量が少なくなる時期においても一定の流量が確保されることが確認されましたが、特定の沢においては、解析上、流量が極めて小さくなる傾向が確認されました。
- ・また、定常解析で確認された通り、薬液注入を実施した場合には、沢の流量減少量が低減されることが確認されました。

②最も流量が小さい日における地表水流量の変化（非定常解析）

- ・降水量が少ない時期に、特定の沢において、解析上、トンネル掘削後の流量が極めて小さくなる傾向が確認されたことを踏まえ、各沢について1年間のうち最も流末での流量が小さくなる日における地表水流量の変化を確認しました（図 47、図 48、図 49）。

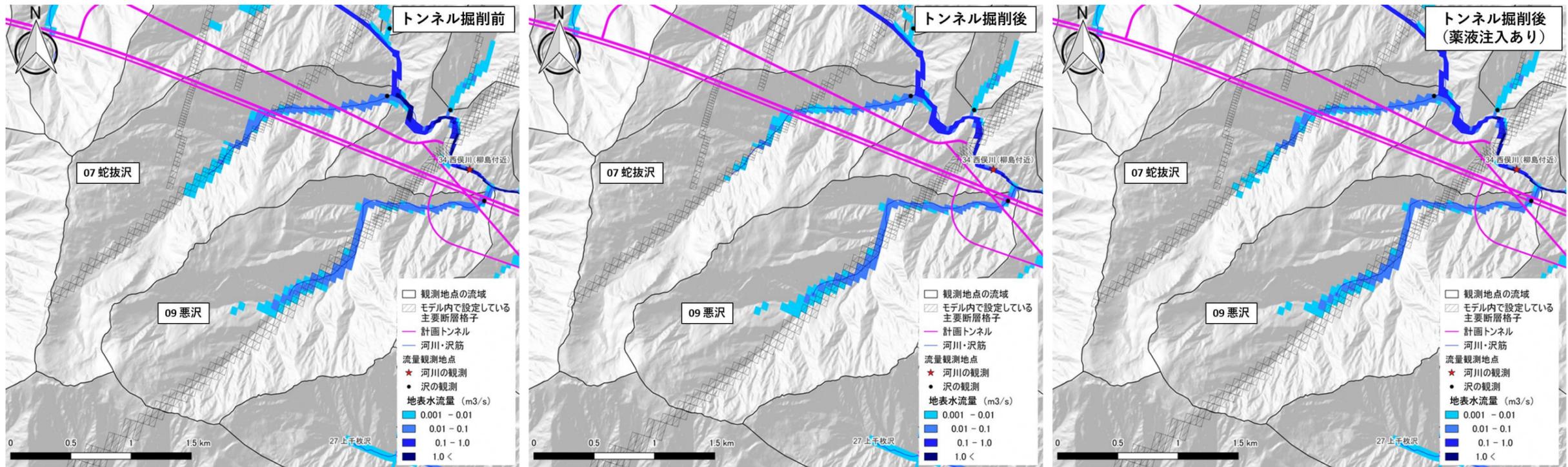


図 47 【蛇抜沢、悪沢】2012年3月29日における地表水流量の変化

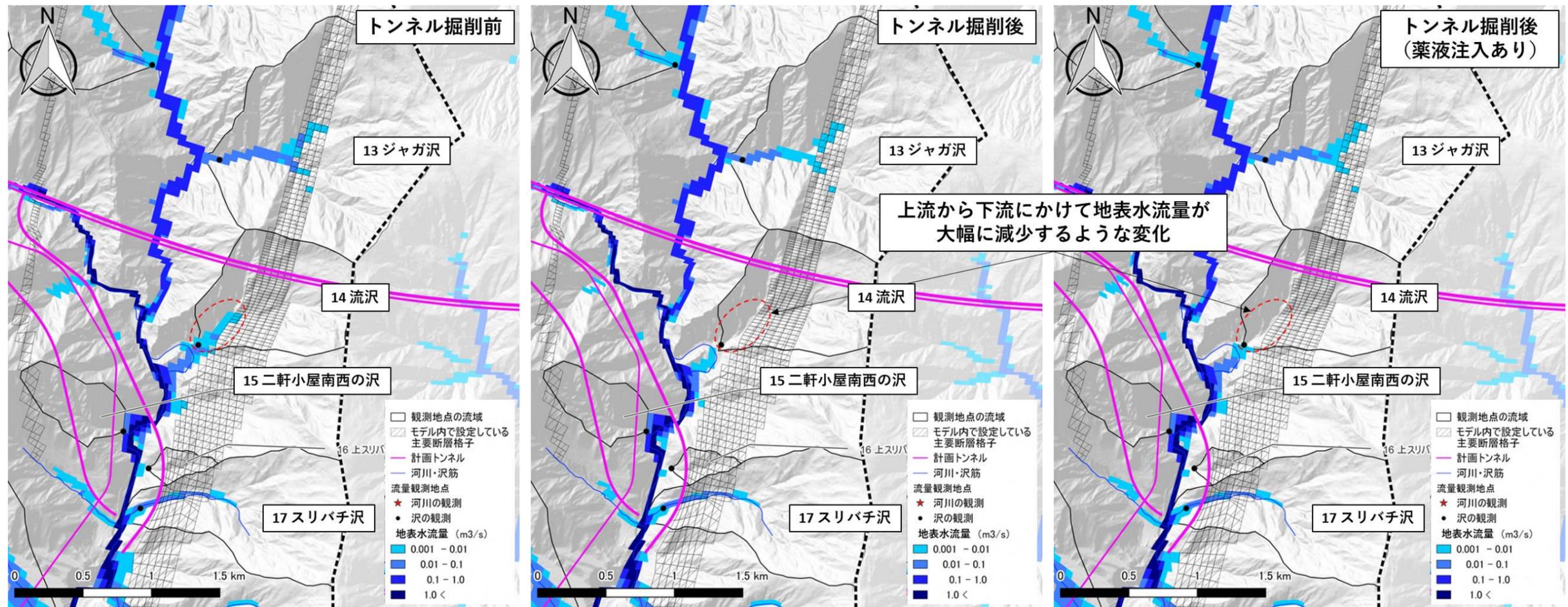


図 48 【ジャガ沢、流沢、二軒小屋南西の沢、スリバチ沢】2012年3月5日における地表水流量の変化

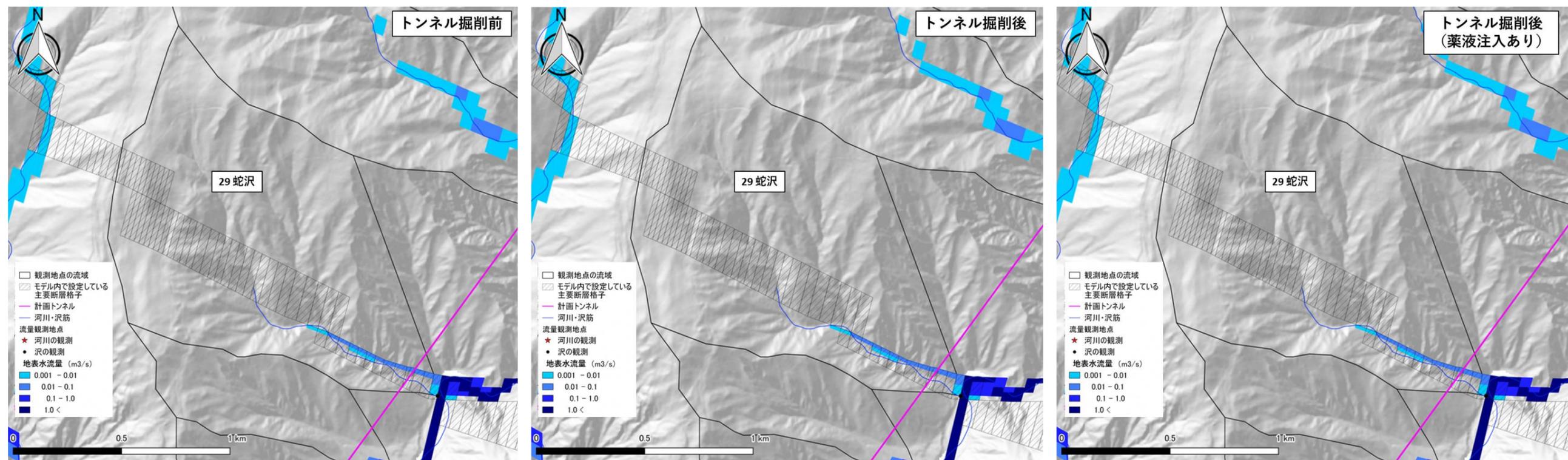


図 49 【蛇沢】 2012 年 3 月 5 日における地表水流量の変化

(考察)

- ・流沢のように、流域面積に対して主要な断層が占める割合が大きく、トンネル直上に位置する沢では、上流から下流にかけて地表水流量が大幅に減少するような変化がみられましたが、その他の沢についてはそのような変化はみられませんでした (図 48)。
- ・なお、二軒小屋南西の沢は、トンネル掘削前においても極めて流量が小さい沢であるため、トンネル掘削に伴い、流況が大きく変化したものではないと解釈しています。

4) 上流域モデルでの解析結果から得られた知見と今後の方針

①上流域モデルの解析結果から得られた知見

・沢の流量減少の観点で、上流域モデルの解析結果から得られた知見は以下の通りです。

－流域に主要な断層を含む沢のうち、流域内で主要な断層とトンネルが交差するような沢において流量減少の傾向がみられたため、このような沢は注意が必要である（上流域モデルでは、流域に主要な断層を含む沢のうち、流域内で主要な断層とトンネルが交差するような沢において、流量が減少する傾向⁸がみられましたが、その他の沢については流量減少の傾向はみられなかった）。

－沢の流域に対して断層が占める割合が大きくトンネル直上に位置する沢では、降水量が少ない時期において上流から下流にかけて地表水流量が大幅に減少するような変化がみられたため、このような沢は特に注意が必要である（上流域モデルでは、流量減少の傾向が確認された沢のうち、流沢は、降水量が少ない時期において、上流から下流にかけて地表水流量が大幅に減少するような変化がみられたが、その他の沢では、そのような変化はみられていない）。

－また、断層とトンネルが交差する箇所への薬液注入は、沢の流量減少を低減する効果が期待できる。

⁸ トンネル掘削前流量の10%以上、流量減少が確認された沢を指す

②今後の方針

- ・第 22 回会議で委員から“モデルは自然そのままを説明するのではない”というご意見があったように、今回の予測は不確実性を含む単純化されたモデルでの解析結果であるということに留意します。
- ・実際の施工にあたっては、トンネル掘削に先立ち、高速長尺先進ボーリング等の地質調査を実施し、トンネル前方の地質や地下水の状況を把握します。
- ・その結果、確認された断層の位置や規模等について、上流域モデルの解析条件と比較し、必要に応じてそれらの情報を沢の流量変化の検討に反映します。
- ・その上で、実際の状況に応じた薬液注入の詳細（改良範囲、注入材の種類、注入方法等）について環境面も考慮した検討を行う等、環境保全措置を具体化していきます。

(環境保全措置やモニタリングの検討)

- ・今後、環境保全措置やモニタリングの検討を行う際には、まずは、今回の上流域モデルで流量減少の傾向が確認された沢について、重点をおいて進めることを考えていますが、それに加え、地形・水環境、生物の生息状況からの類型化の結果【資料 2－1】、重要種や流量・水温の変化に影響を受けやすい種の生息状況等も考慮のうえで、対象とする沢を選定します。
- ・また、トンネルと断層との交差部における薬液注入を沢の流量減少に対する環境保全措置の一つとして考え、今後更に、トンネル工事の順序を考慮した解析を行い、具体的な検討を進めていくことを考えています。なお、薬液注入については、近年では高水圧下のトンネルにおいても、薬液注入ができる技術開発が進んでおり、これら先進技術も参考に、湧水量をより低減する注入方法を検討していきます。

【参考資料1】 沢の水環境の基礎データ

No	調査地点	最大値(最高値)					最小値(最低値)				
		流量 (m ³ /s)	比流量 (m ³ /s/km ²)	水温 (°C)	pH	EC (mS/m)	流量 (m ³ /s)	比流量 (m ³ /s/km ²)	水温 (°C)	pH	EC (mS/m)
01	内無沢	0.742	0.129	11.7	8.4	35.1	0.135	0.024	3.8	6.5	5.8
02	魚無沢	0.697	0.177	9.4	8.3	9.0	0.095	0.024	4.3	6.7	7.9
03	瀬戸沢	0.397	0.145	12.4	8.3	8.7	0.059	0.022	2.9	7.0	5.9
04	上岳沢	0.301	0.197	13.3	8.4	8.7	0.030	0.020	2.5	6.9	7.0
05	西小石沢	0.172	0.118	12.7	8.4	11.2	0.024	0.016	2.5	7.2	8.6
06	榎小屋沢	0.100	0.059	17.2	8.4	15.7	0.013	0.008	2.1	7.3	9.4
07	蛇抜沢	1.132	0.333	15.5	8.6	13.6	0.022	0.006	0.0	6.9	7.6
08	柳沢	0.087	0.085	13.5	8.7	13.3	0.001	0.0005	2.9	7.5	9.2
09	悪沢	0.535	0.136	15.3	8.7	31.3	0.113	0.029	0.2	7.7	11.0
10	名称なし(大崩)	0.072	0.232	19.8	8.7	19.6	0.009	0.030	4.1	7.3	11.6
11	徳右衛門沢	0.122	0.082	15.7	8.2	12.1	0.029	0.019	0.9	7.3	5.8
12	曲輪沢	0.142	0.131	16.0	8.2	14.2	0.023	0.021	4.5	7.6	8.8
13	ジャガ沢	0.362	0.177	16.4	8.3	19.6	0.036	0.018	5.1	7.5	8.3
14	流沢	0.049	0.057	10.4	8.3	13.8	0.003	0.003	7.6	7.6	10.3
15	名称なし(二軒小屋南西)	0.024	0.095	19.0	8.6	35.8	0.004	0.017	4.4	8.0	28.1
16	上スリバチ沢	0.003	0.034	17.7	8.7	30.7	0.003	0.034	4.1	7.3	13.3
17	スリバチ沢	0.115	0.115	14.5	8.3	15.2	0.001	0.001	5.8	7.2	7.7
18	車屋沢	0.189	0.137	16.5	8.5	11.3	0.044	0.032	3.4	7.7	6.9
19	燕沢	0.065	0.127	14.4	8.4	13.3	0.001	0.001	4.9	7.2	11.3
20	名称なし(大尻沢北)	0.021	1.050	13.6	8.4	8.4	0.001	0.062	5.0	7.3	6.8
21	大尻沢	0.165	0.165	10.4	8.3	10.0	0.016	0.016	6.0	7.4	6.8
22	名称なし(蛇沢南東)	0.027	0.073	15.1	8.2	11.8	0	0	7.4	7.2	8.9
23	破風石沢	0.007	0.056	22.2	8.6	9.3	0	0	8.3	7.3	6.9
24	名称なし(下木賊沢北)	0.011	0.275	11.2	8.4	11.5	0.001	0.025	8.2	7.3	7.4
25	下木賊沢	0.688	0.245	15.0	8.4	10.3	0.079	0.028	4.8	7.2	6.3
26	虎杖沢	0.182	0.154	11.6	8.3	11.5	0.0004	0.0003	5.8	7.2	7.4
27	上千枚沢	0.415	0.137	17.9	8.6	34.4	0.092	0.030	5.2	7.9	8.8
28	下千枚沢	0.137	0.096	19.3	8.4	28.2	0.004	0.003	4.4	7.4	8.3
29	蛇沢	0.193	0.142	15.8	8.3	17.6	0.052	0.038	0.7	6.4	10.0
30	名称なし(蛇沢南)	0.005	0.015	15.0	8.3	17.3	0	0	4.0	7.3	11.7
31	奥西川内川	2.695	0.514	15.9	8.2	16.6	0.140	0.027	4.2	7.7	9.6
32	赤石沢	3.348	0.139	15.2	8.1	10.4	0.222	0.009	0.0	7.6	5.0
33	北俣・中俣合流部付近	0.862	0.163	13.6	8.8	10.3	0.098	0.019	-0.1	6.2	7.2
34	西俣川(柳島付近)	59.70	1.231	15.6	8.6	14.8	0.140	0.003	-0.1	7.1	7.6
35	大井川(榎島付近)	18.40	0.115	18.0	8.6	17.6	0.400	0.003	0.7	7.1	8.9

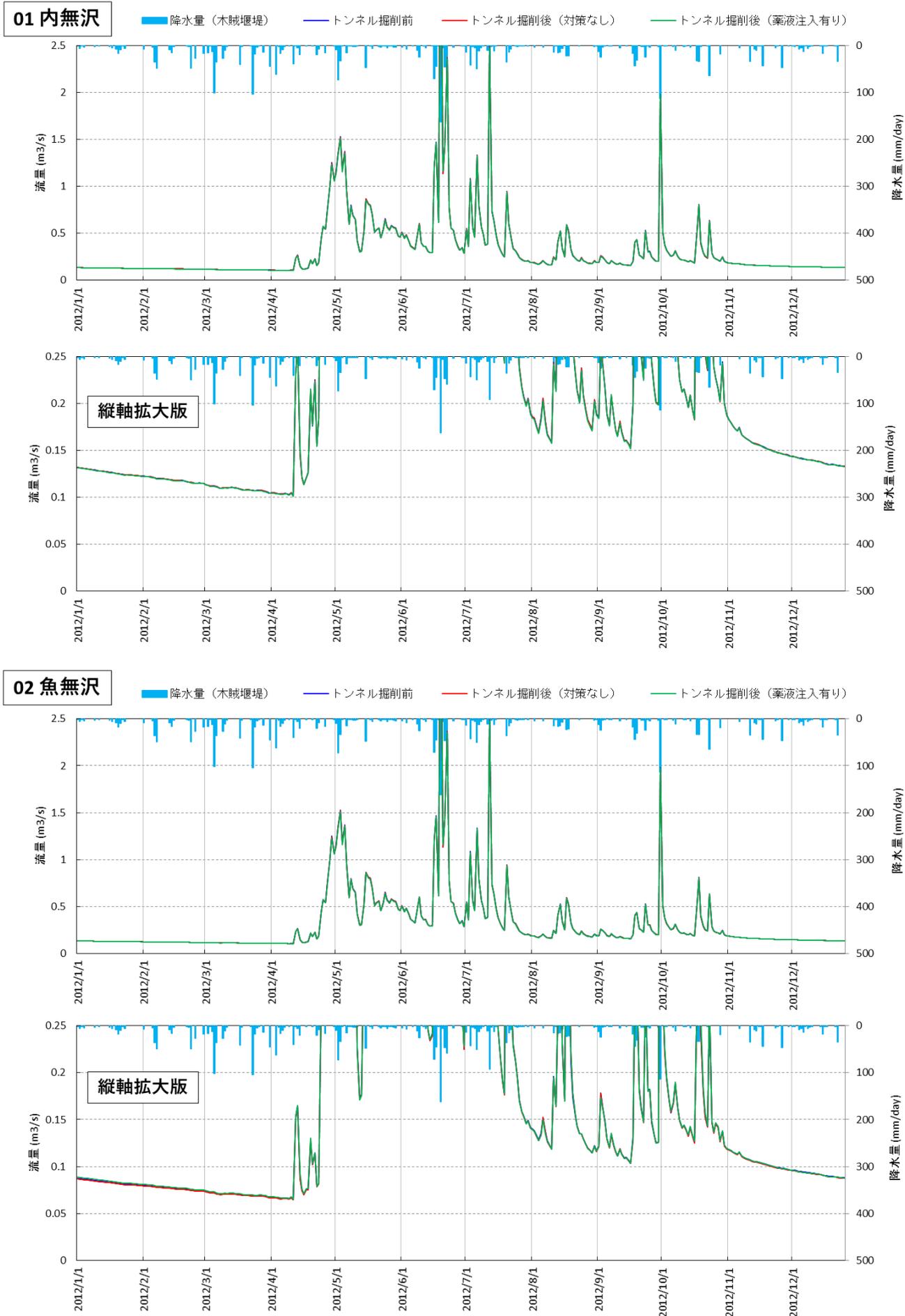
※平成26年度～令和3年度までの年2回調査(07 蛇抜沢、32 赤石沢、33 北俣・中俣合流部付近、35 大井川(榎島付近)は月1回調査、34 西俣川(柳島付近)は流量が常時計測、水温・水質が月1回調査)における最大値(最高値)、最小値(最低値)を使用。

【参考資料2】沢の地形の基礎データ

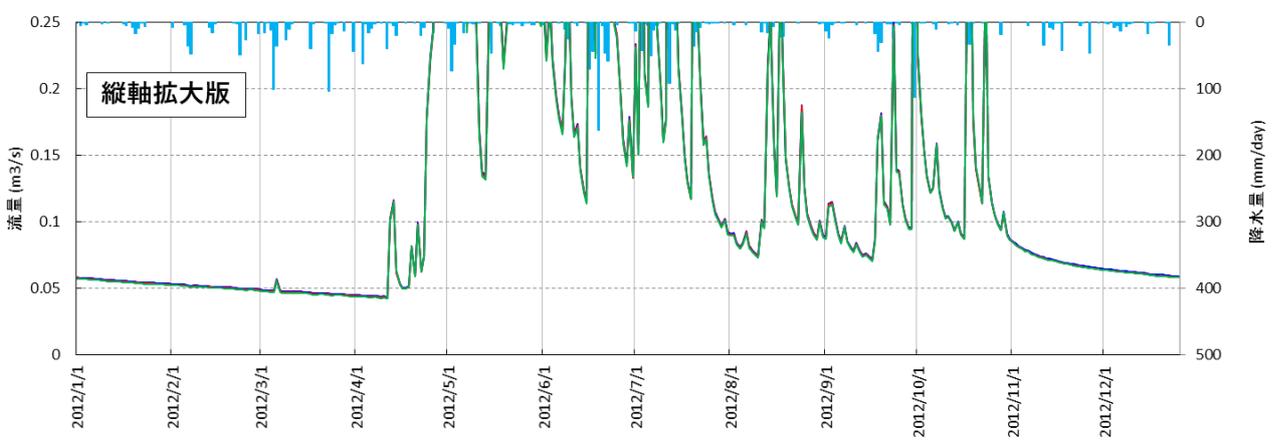
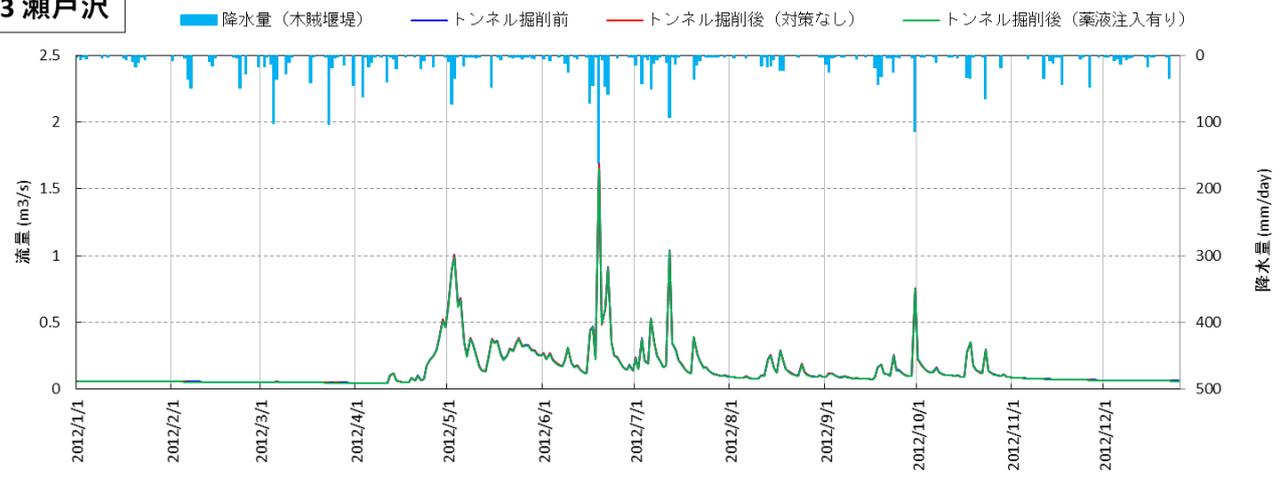
No	名称	流域面積 (km ²)	崩壊地 面積(km ²)	崩壊地 の割合(%)	豊水期			平水期			低水期			渇水期			調査地点 の標高 (T.P. m)	河床勾配 (%)
					流路延長 (km)	伏流延長 (km)	伏流率 (%)											
01	内無沢	5.69	0.35	6.22	3.53	0	0	3.53	0.80	22.5	3.53	0.89	25.2	3.53	0.80	22.5	1,928	13.3
02	魚無沢	3.97	0.56	14.13	2.78	1.03	37.0	2.78	1.55	55.5	2.78	1.07	38.3	2.78	1.15	41.4	1,911	30.4
03	瀬戸沢	2.78	0.12	4.24	2.51	0	0	2.51	0.19	7.7	2.51	0.19	7.7	2.51	0.20	7.9	1,876	19.6
04	上岳沢	1.45	0.05	3.19	2.05	0	0	2.05	0.92	44.8	2.05	0.92	44.8	2.05	0.93	45.2	1,842	40.4
05	西小石沢	1.50	0.01	0.88	1.64	0	0	1.64	0.87	53.0	1.64	0.87	53.0	1.64	0.88	53.4	1,780	43.2
06	榎小屋沢	1.73	0.04	2.41	2.02	0	0	2.02	0.78	38.7	2.02	0.85	42.3	2.02	0.87	43.0	1,615	39.7
07	蛇抜沢	3.33	0.62	18.47	3.53	0.42	11.9	3.53	1.45	41.0	3.53	1.55	44.0	3.53	2.03	57.4	1,612	36.4
08	柳沢	1.02	0.01	0.59	1.03	0	0	1.03	0.48	46.9	1.03	0.57	55.3	1.03	0.57	55.3	1,576	40.3
09	悪沢	3.94	0.17	4.22	3.01	0	0	3.01	0.70	23.3	3.01	1.15	38.1	3.01	1.20	39.7	1,519	29.1
10	名称なし(大崩)	0.31	0.11	35.69	0.70	0	0	0.70	0.42	60.8	0.70	0.44	63.4	0.70	0.55	78.8	1,534	66.5
11	徳右衛門沢	1.49	0.06	3.98	2.04	0	0	2.04	0.74	36.3	2.04	0.74	36.3	2.04	0.82	40.4	1,620	38.3
12	曲輪沢	1.07	0.03	2.47	1.60	0	0	1.60	0.31	19.4	1.60	0.31	19.4	1.60	0.41	25.7	1,505	42.1
13	ジャガ沢	2.09	0.06	2.83	1.80	0	0	1.80	0.43	24.0	1.80	0.76	42.2	1.80	0.81	44.9	1,465	32.2
14	流沢	0.79	0.02	2.72	1.02	0	0	1.02	0.47	45.7	1.02	0.61	60.2	1.02	0.67	65.7	1,400	36.3
15	名称なし(二軒小屋南西)	0.22	0.01	6.29	0.79	0	0	0.79	0.40	51.2	0.79	0.46	58.8	0.79	0.49	61.9	1,388	58.2
16	上スリバチ沢	0.13	0.01	4.62	0.36	0	0	0.36	0.12	32.1	0.36	0.20	55.7	0.36	0.22	60.4	1,368	41.3
17	スリバチ沢	0.98	0.01	1.40	1.18	0	0	1.18	0.19	16.5	1.18	0.25	21.4	1.18	0.25	21.5	1,412	36.3
18	車屋沢	1.42	0.07	4.72	1.26	0	0	1.26	0.72	57.1	1.26	0.77	60.9	1.26	0.77	61.3	1,328	38.8
19	燕沢	0.52	0.07	13.77	0.66	0	0	0.66	0	0	0.66	0.34	52.5	0.66	0.66	100	1,356	34.1
20	名称なし(大尻沢北)	0.06	0	0	0.29	0	0	0.29	0.04	14.5	0.29	0.04	14.5	0.29	0.29	100	1,306	46.3
21	大尻沢	1.03	0	0	0.89	0	0	0.89	0.41	46.0	0.89	0.63	71.0	0.89	0.63	71.2	1,353	46.2
22	名称なし(蛇沢南東)	0.37	0.0008	0.22	0.64	0	0	0.64	0	0	0.64	0.26	40.3	0.64	0.28	44.2	1,275	35.9
23	破風石沢	0.19	0	0	0.58	0	0	0.58	0.07	11.4	0.58	0.33	56.4	0.58	0.39	67.2	1,231	36.9
24	名称なし(下木賊沢北)	0.03	0	0	0.17	0	0	0.17	0.05	27.9	0.17	0.07	38.3	0.17	0.08	47.9	1,221	43.7
25	下木賊沢	3.01	0.05	1.74	2.49	0	0	2.49	0.74	29.8	2.49	0.98	39.5	2.49	1.10	44.2	1,214	42.8
26	虎杖沢	1.27	0.002	0.15	1.52	0	0	1.52	0.46	30.3	1.52	0.80	52.9	1.52	0.84	55.5	1,221	55.4
27	上千枚沢	3.68	0.59	16.10	3.56	0	0	3.56	1.17	32.9	3.56	1.28	36.1	3.56	1.52	42.6	1,350	30.4
28	下千枚沢	1.54	0.04	2.80	2.09	0	0	2.09	0.36	17.1	2.09	0.56	26.9	2.09	0.85	40.6	1,349	38.2
29	蛇沢	1.38	0.01	1.06	1.49	0	0	1.49	0.58	38.9	1.49	0.68	45.8	1.49	0.87	58.6	1,286	46.0
30	名称なし(蛇沢南)	0.34	0	0	0.12	0	0	0.12	0	0	0.12	0	0	0.12	0.03	26.7	1,240	28.6
31	奥西川内川	22.01	1.71	7.79	9.00	0	0	9.00	1.63	18.1	9.00	2.12	23.6	9.00	1.83	20.4	1,137	15.2
32	赤石沢	27.39	1.28	4.68	11.74	0	0	11.74	1.58	13.5	11.74	1.58	13.5	11.74	1.58	13.5	1,176	12.2
33	北俣・中俣合流部付近	17.78	1.06	5.95	6.49	0	0	6.49	2.11	32.5	6.49	2.11	32.5	6.49	3.30	50.9	1,728	10.1
34	西俣川(柳島付近)	50.14	3.30	6.58	10.88	0.55	5.05	10.88	2.66	24.4	10.88	2.11	19.4	10.88	3.30	30.3	1,518	7.9
35	大井川(榎島付近)	161.09	11.24	6.98	33.45	0.24	0.72	33.45	2.39	7.1	33.45	2.39	7.1	33.45	2.74	8.2	1,107	5.4

※衛星航空写真や地形図をもとに、各沢の崩壊地の割合(=崩壊地面積/流域面積)と伏流率(=伏流延長/流路延長)を算出。伏流率算出にあたっての豊水期、平水期、低水期、渇水期は、西俣測水所における河川流量の常時計測結果から豊水流量、平水流量、低水流量、渇水流量に相当する時期として設定(豊水:H30.7.18、平水:R3.10.5、低水:R1.12.8、渇水:H31.2.26)。また、衛星航空写真や地形図等をもとに、各沢の流路延長、調査地点の標高や河床勾配(=源流部と最下流部の標高差/流路延長)を算出。

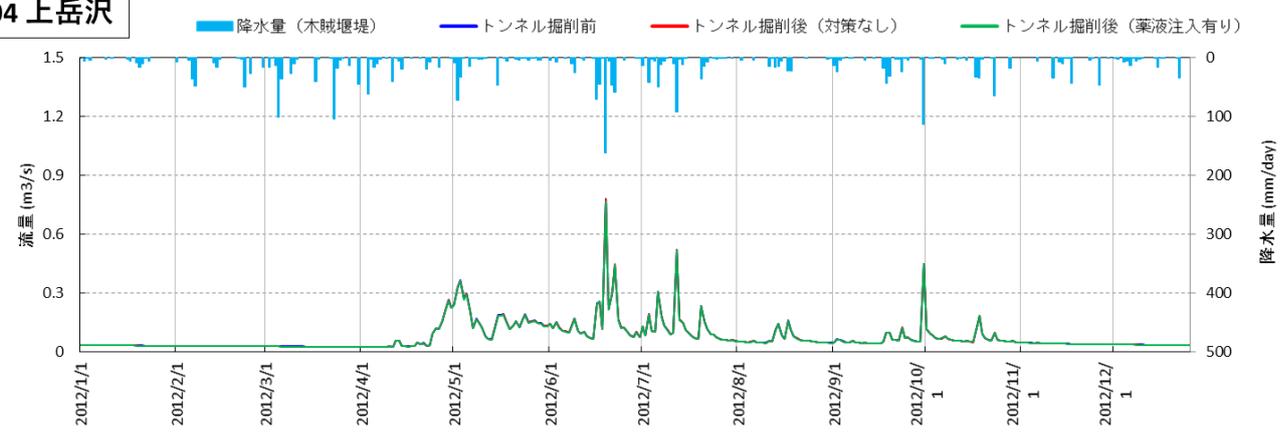
【参考資料3】非定常解析の結果一式（P48～P50に記載した沢を除く）



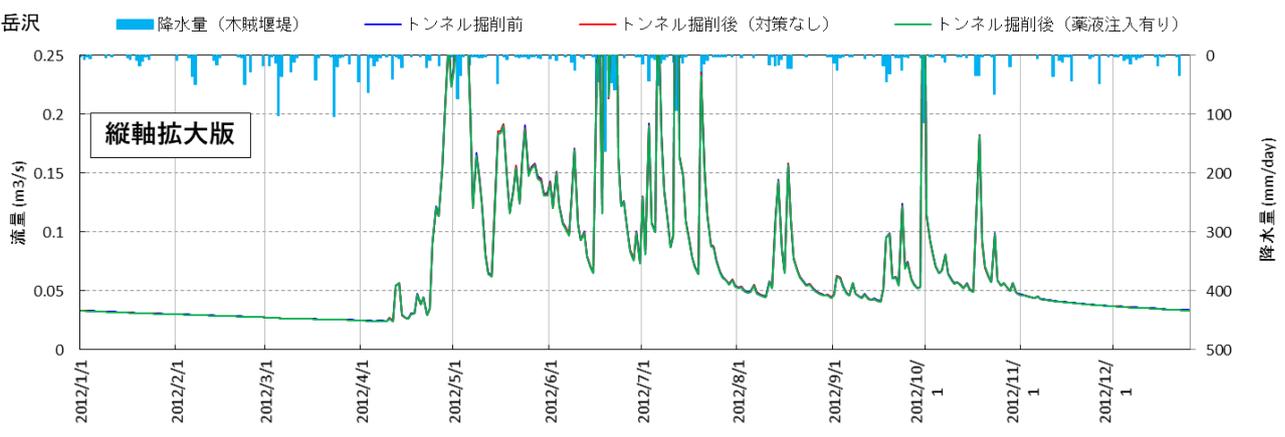
03 瀬戸沢



04 上岳沢

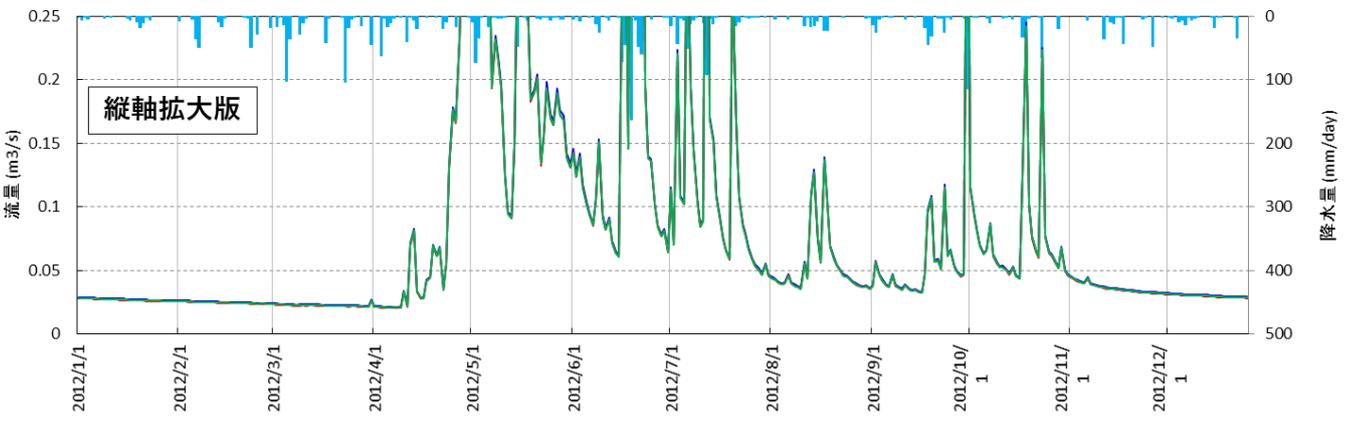
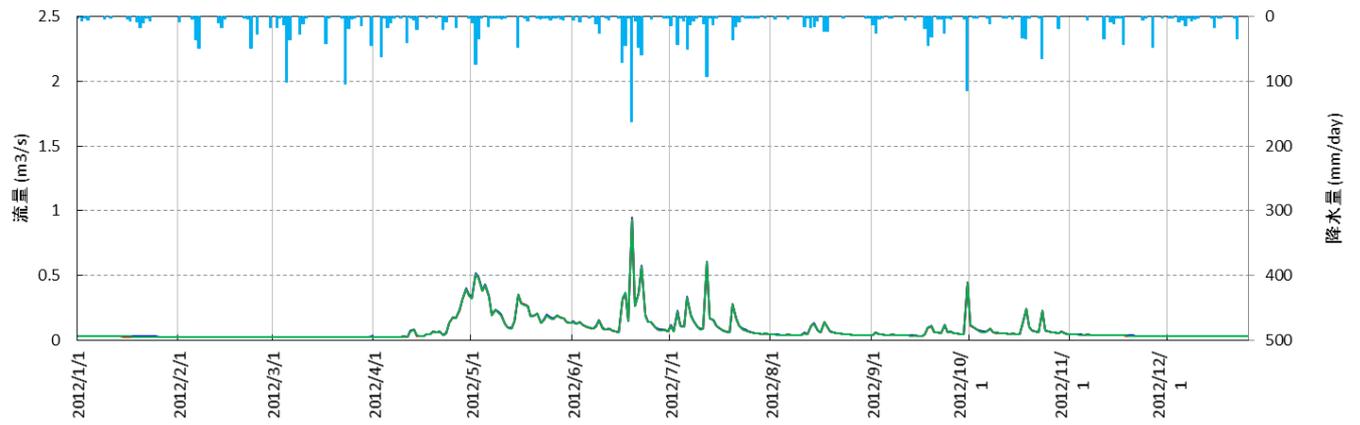


上岳沢



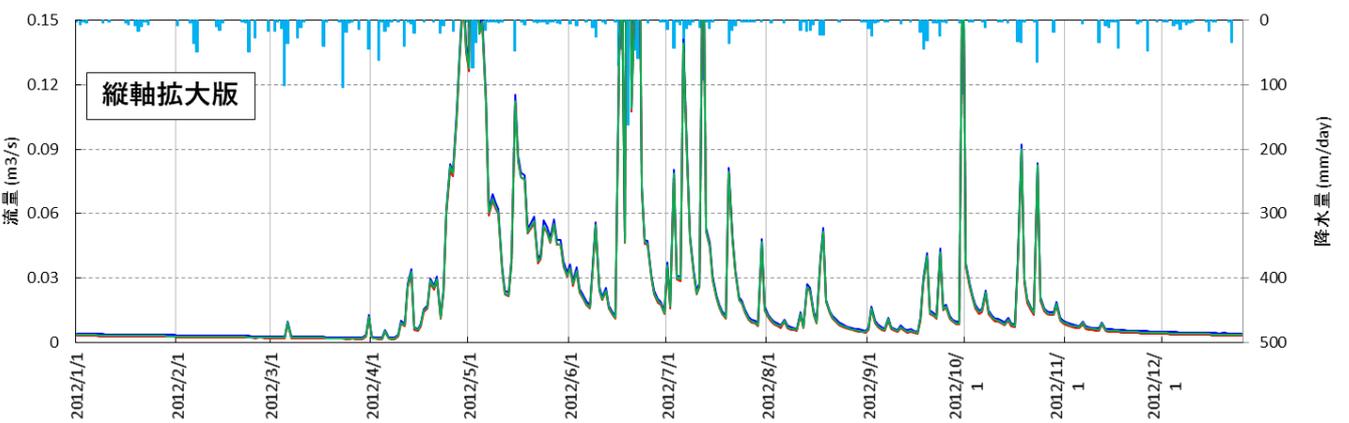
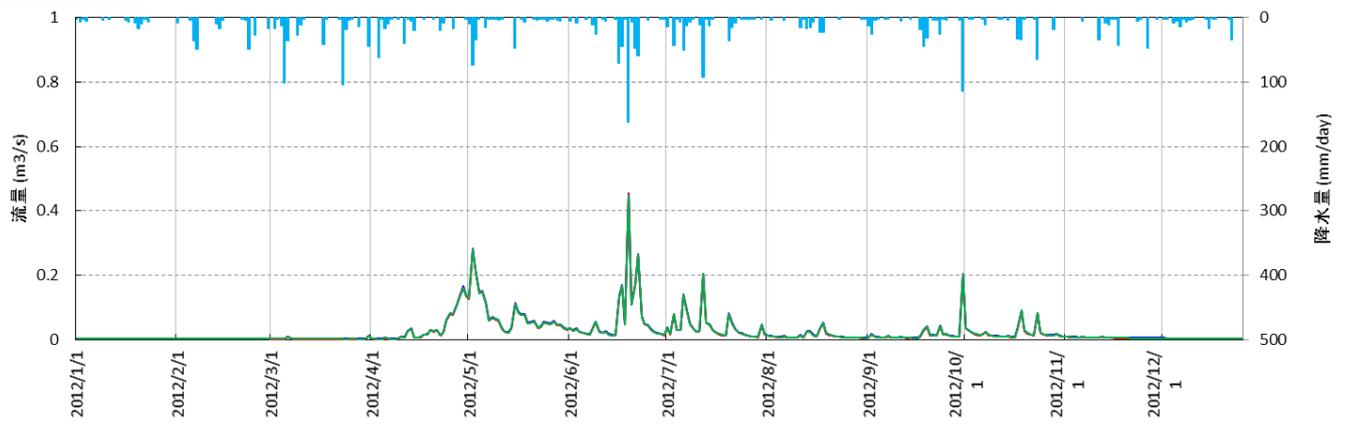
05 西小石沢

■ 降水量 (木賊堰堤) ■ トンネル掘削前 ■ トンネル掘削後 (対策なし) ■ トンネル掘削後 (薬液注入有り)

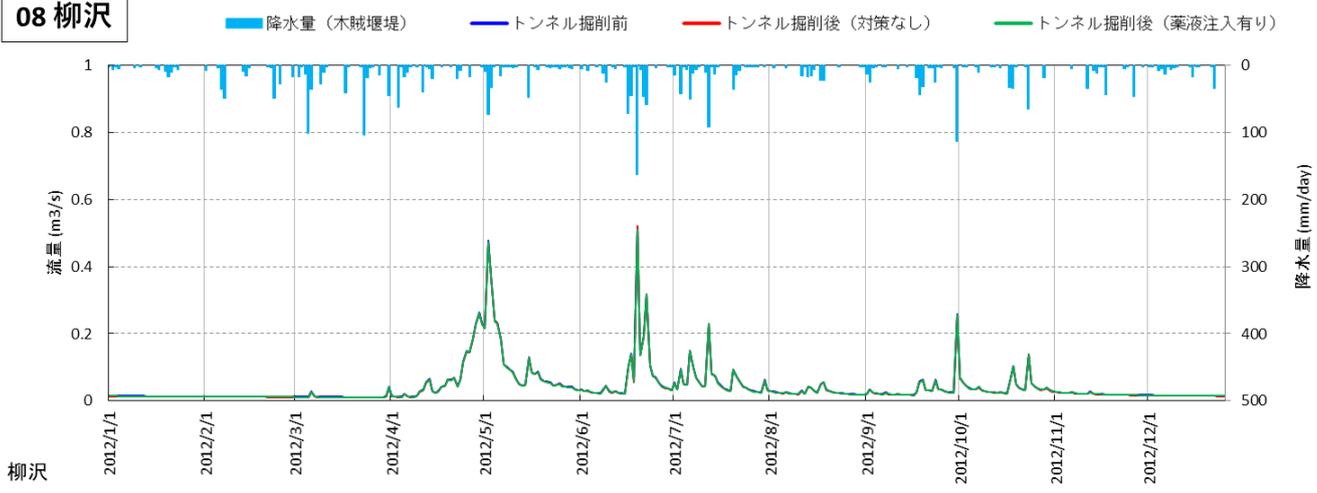


06 柵小屋沢

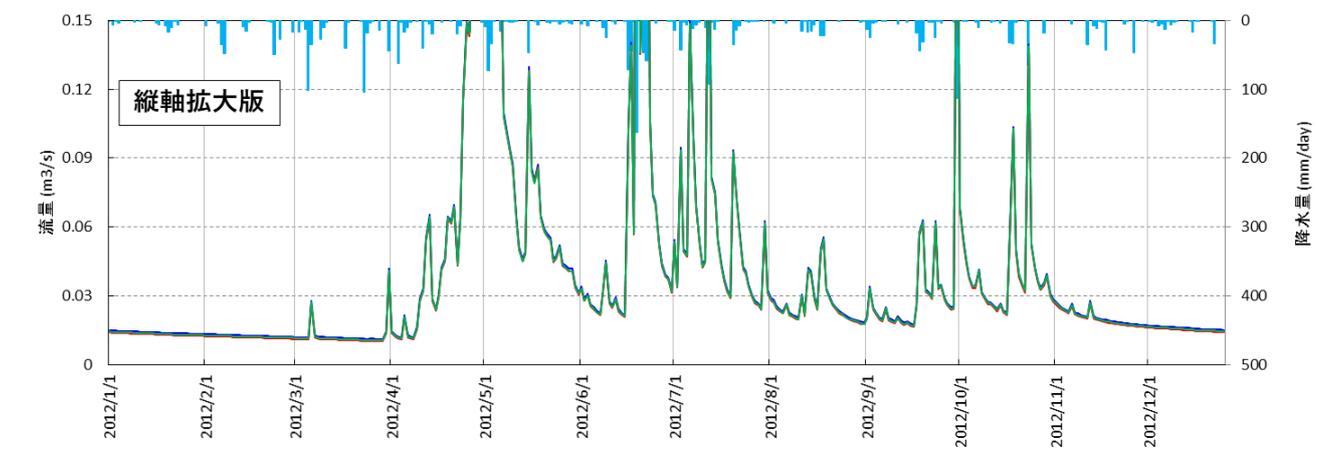
■ 降水量 (木賊堰堤) ■ トンネル掘削前 ■ トンネル掘削後 (対策なし) ■ トンネル掘削後 (薬液注入有り)



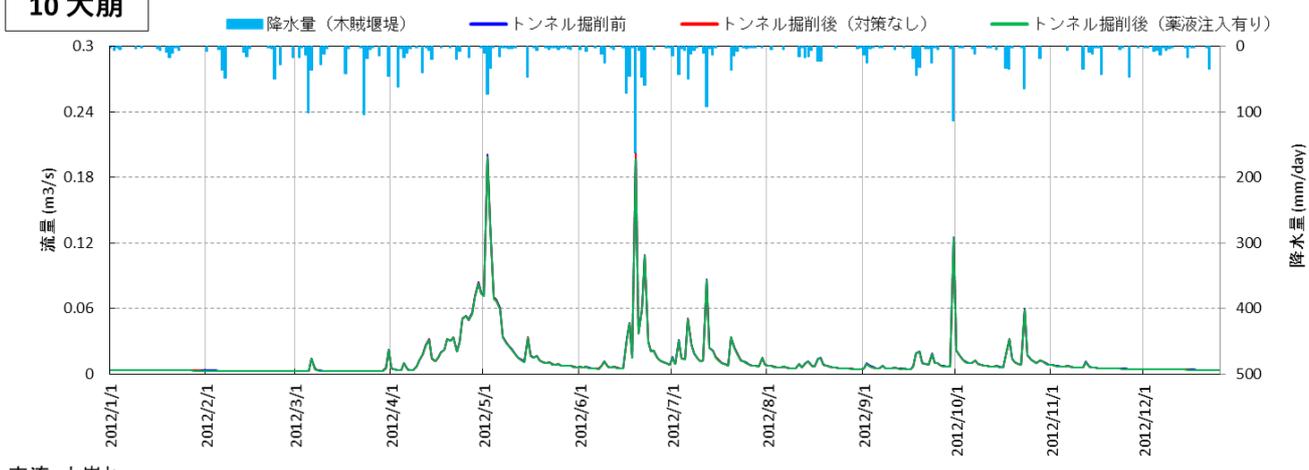
08 柳沢



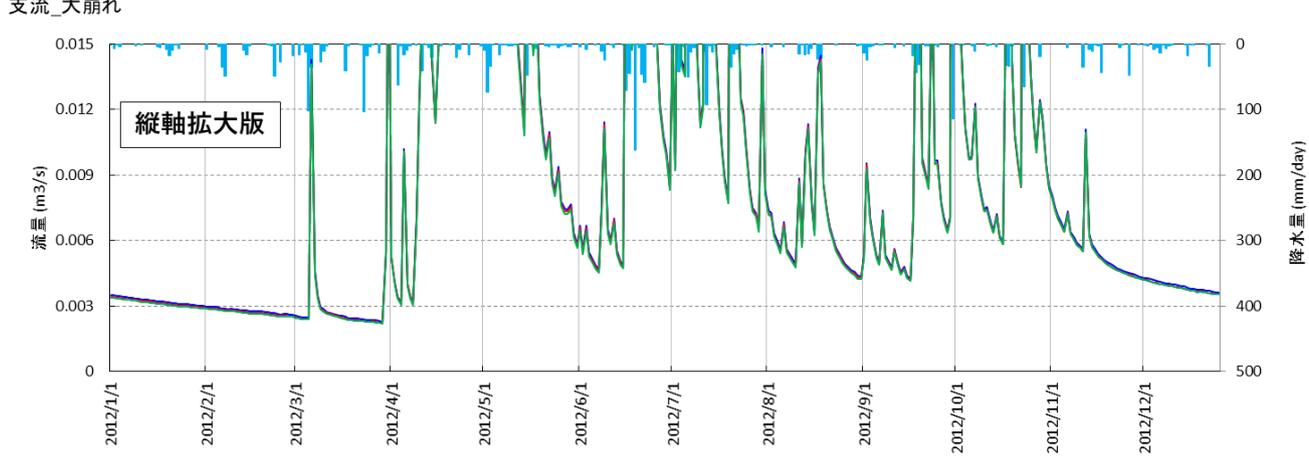
縦軸拡大版



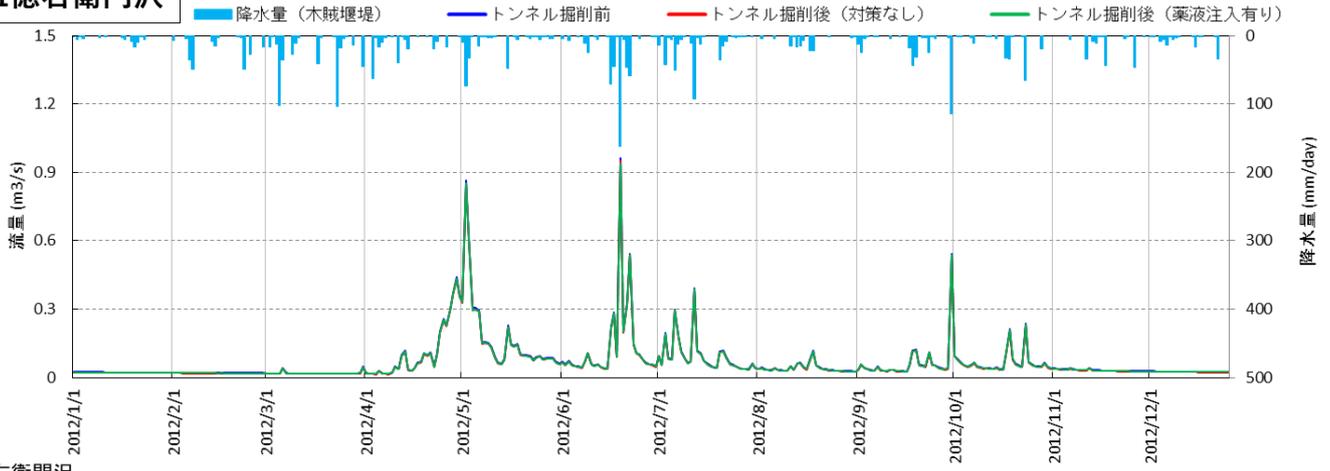
10 大崩



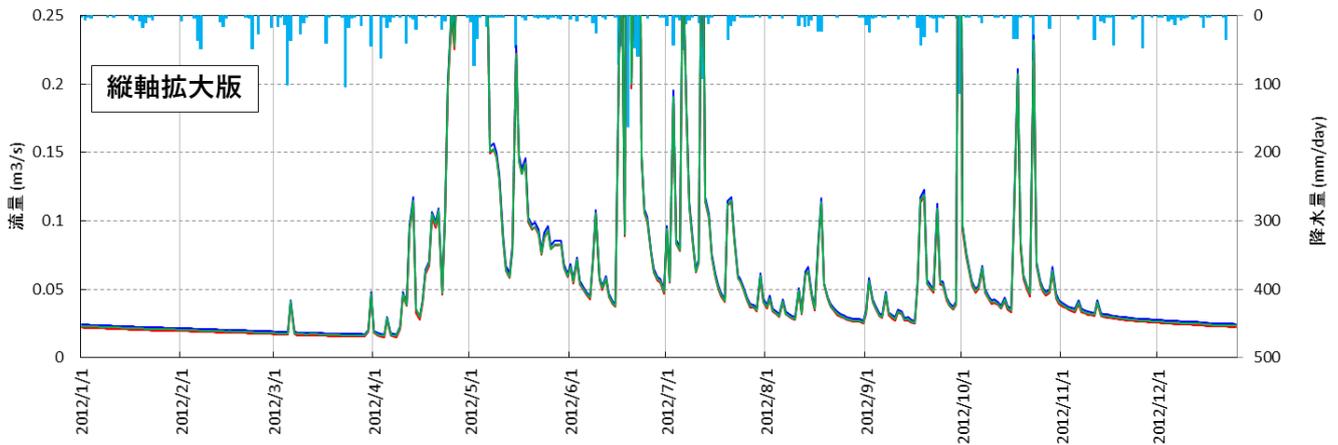
縦軸拡大版



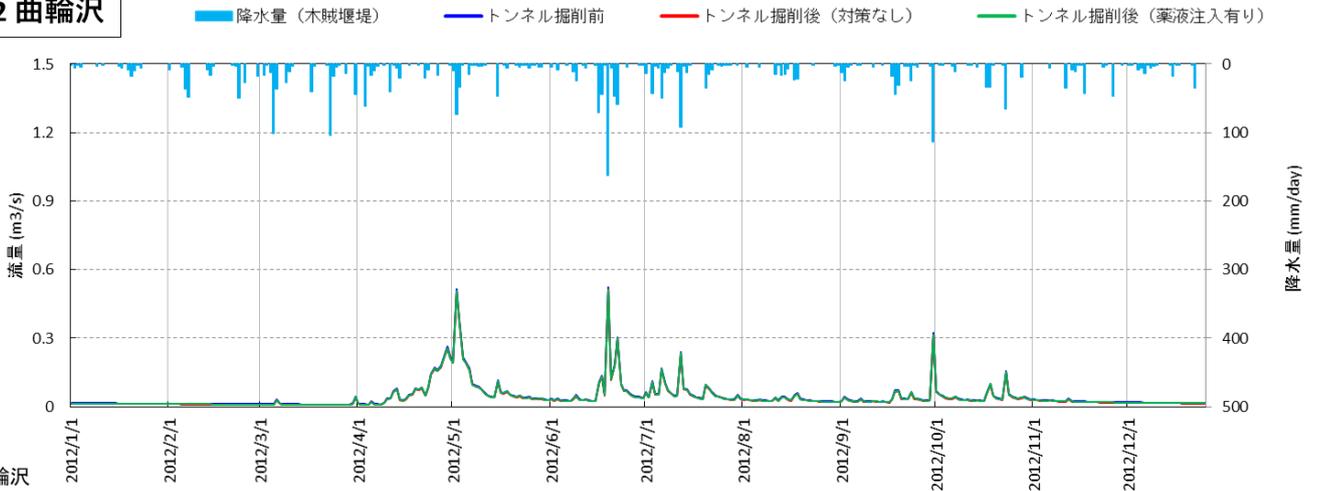
11 徳右衛門沢



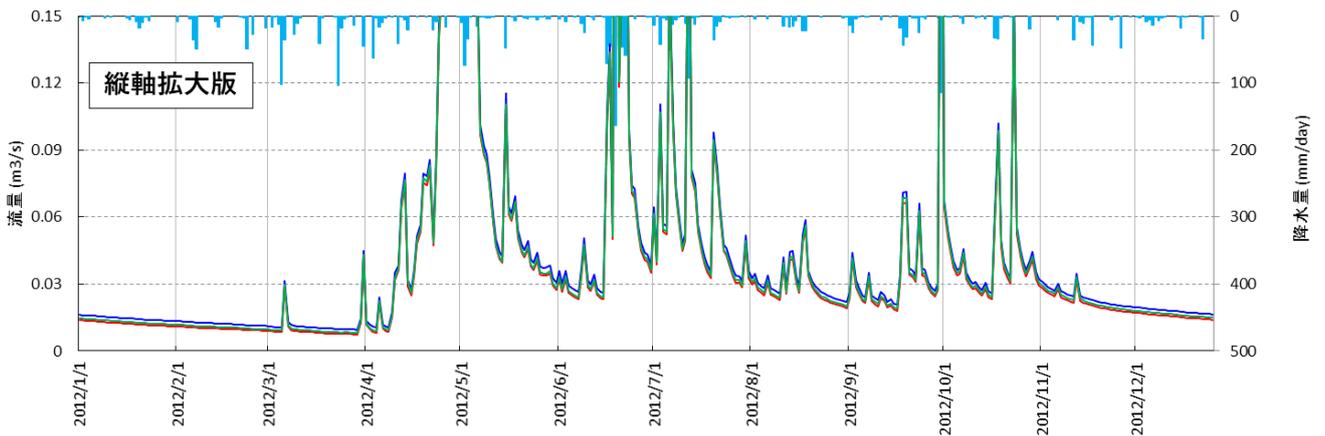
徳右衛門沢



12 曲輪沢

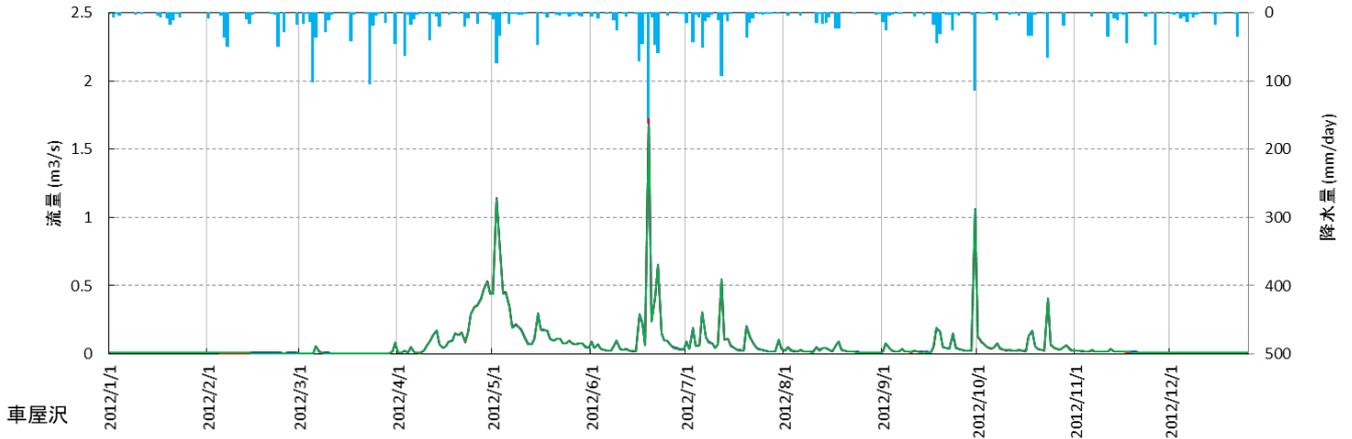


曲輪沢



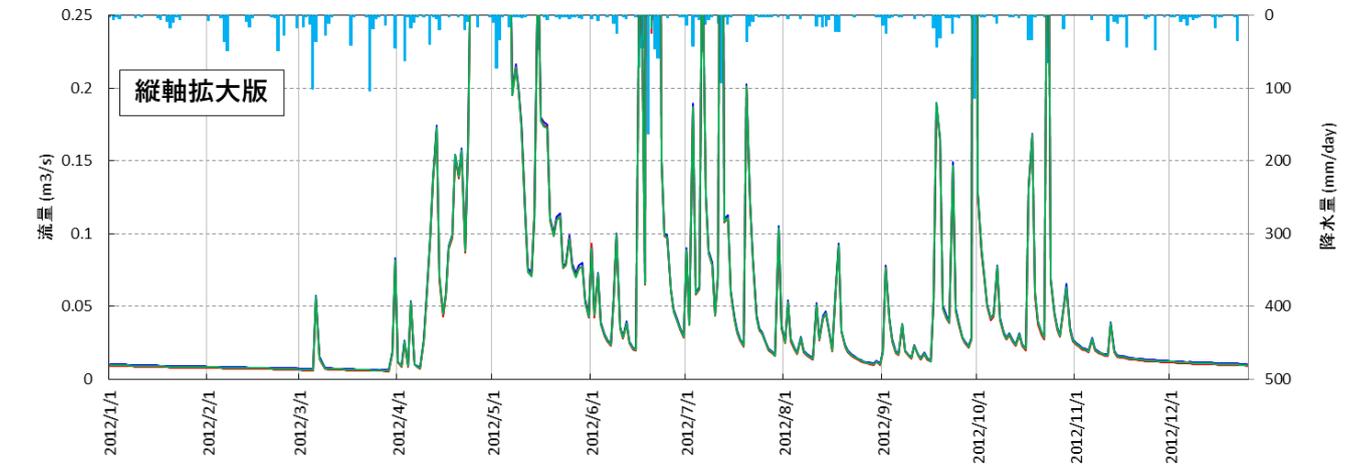
18 車屋沢

■ 降水量 (木賊堰堤) ■ トンネル掘削前 ■ トンネル掘削後 (対策なし) ■ トンネル掘削後 (薬液注入有り)



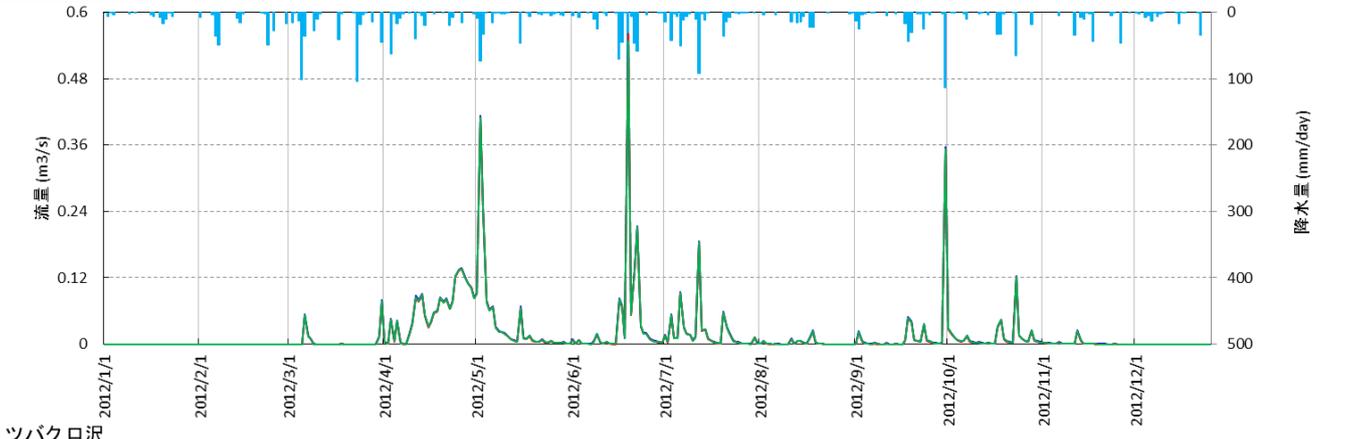
車屋沢

縦軸拡大版



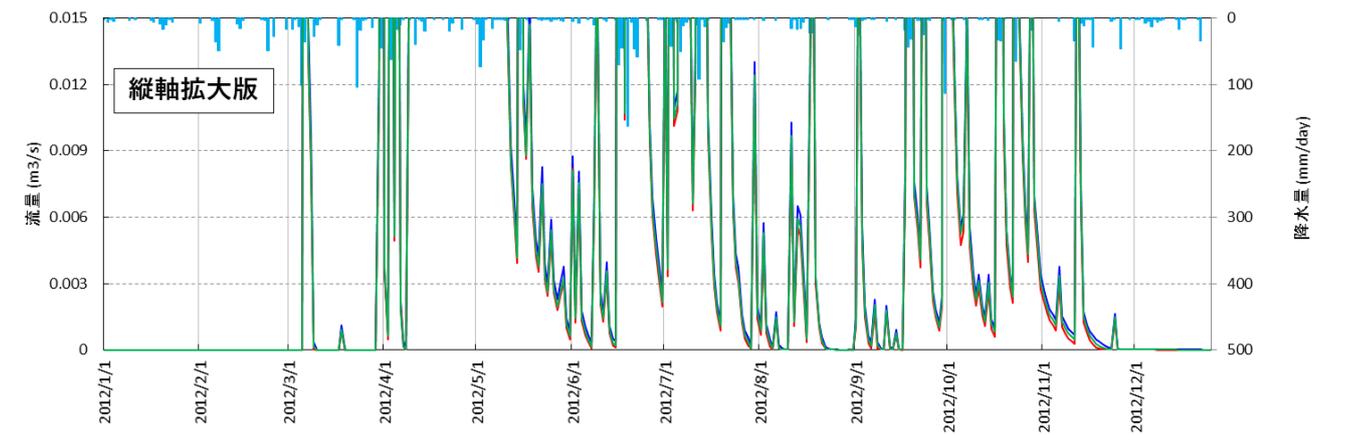
19 燕沢

■ 降水量 (木賊堰堤) ■ トンネル掘削前 ■ トンネル掘削後 (対策なし) ■ トンネル掘削後 (薬液注入有り)



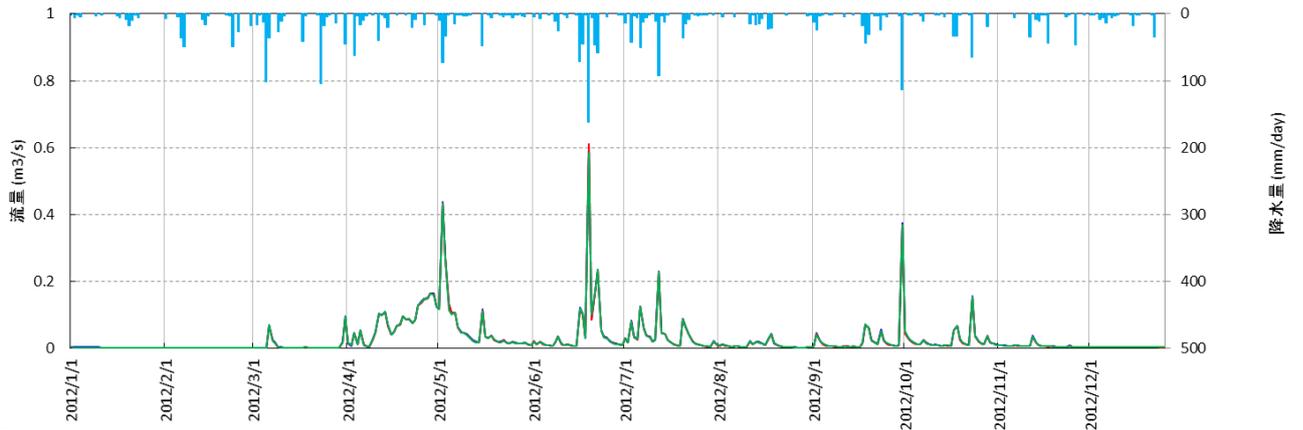
ツバクロ沢

縦軸拡大版

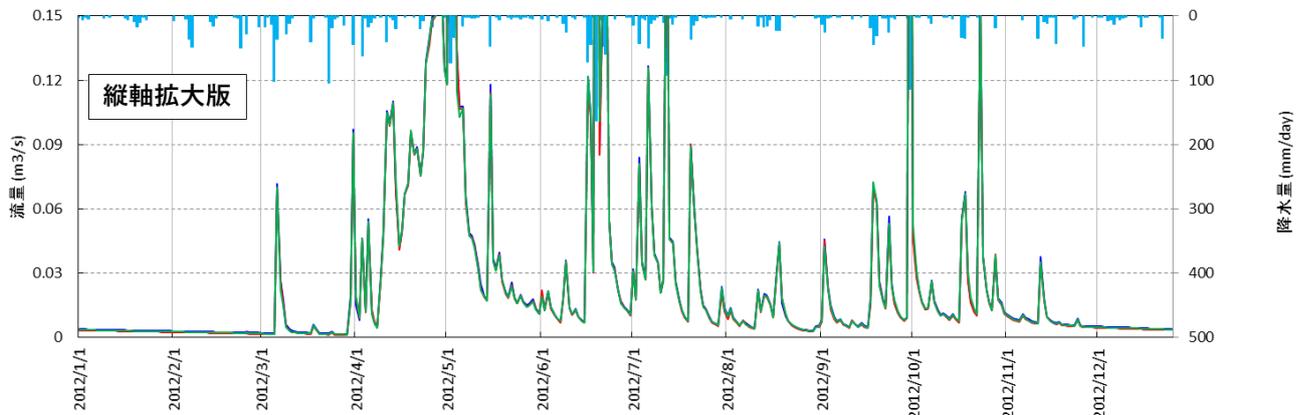


21 大尻沢

■ 降水量 (木賊堰堤)
 — トンネル掘削前
 — トンネル掘削後 (対策なし)
 — トンネル掘削後 (薬液注入有り)

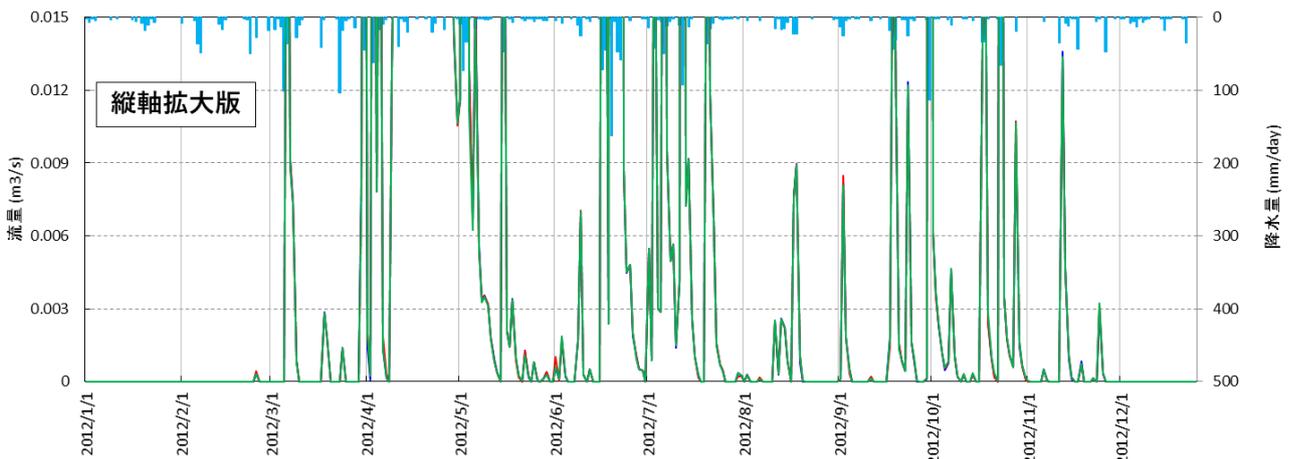
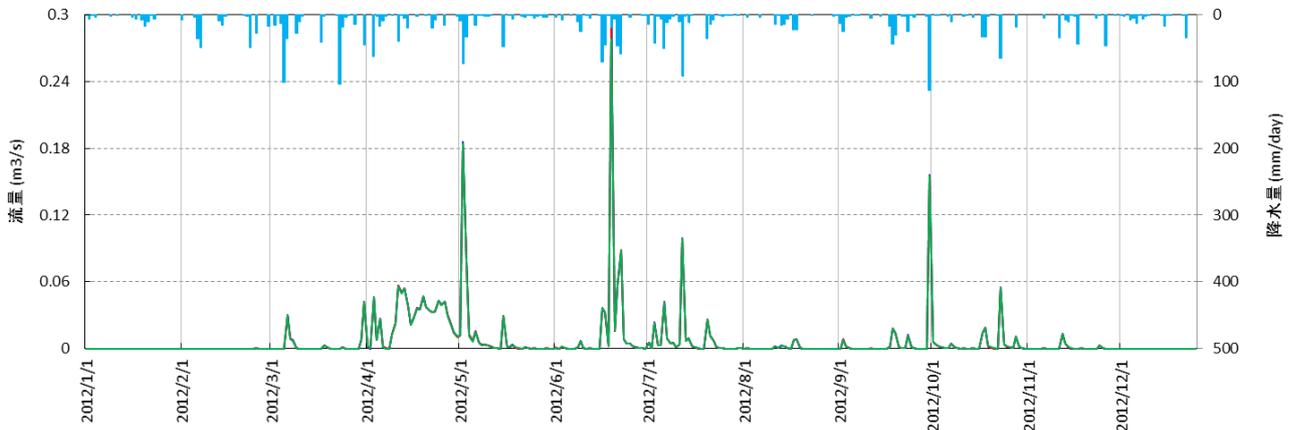


大尻沢

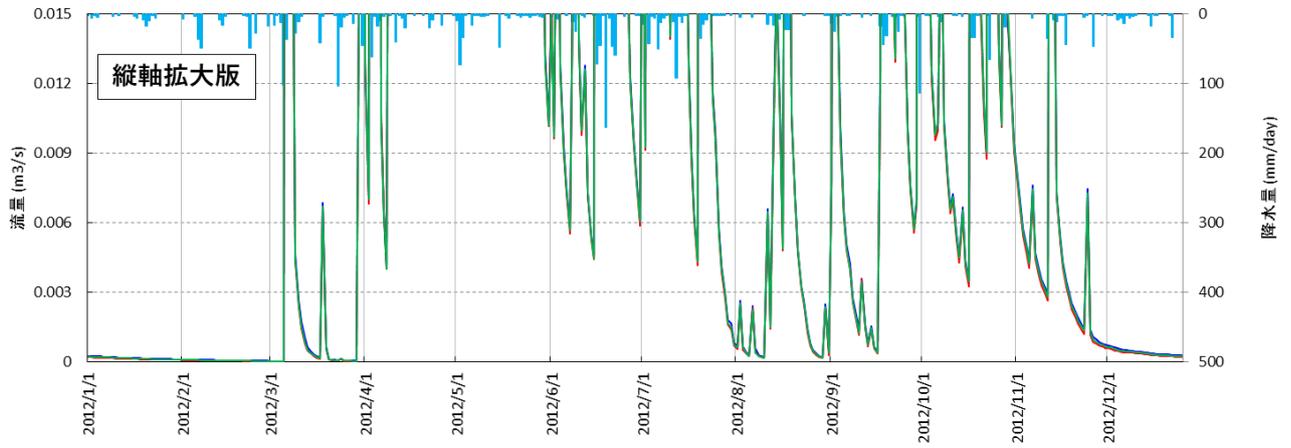
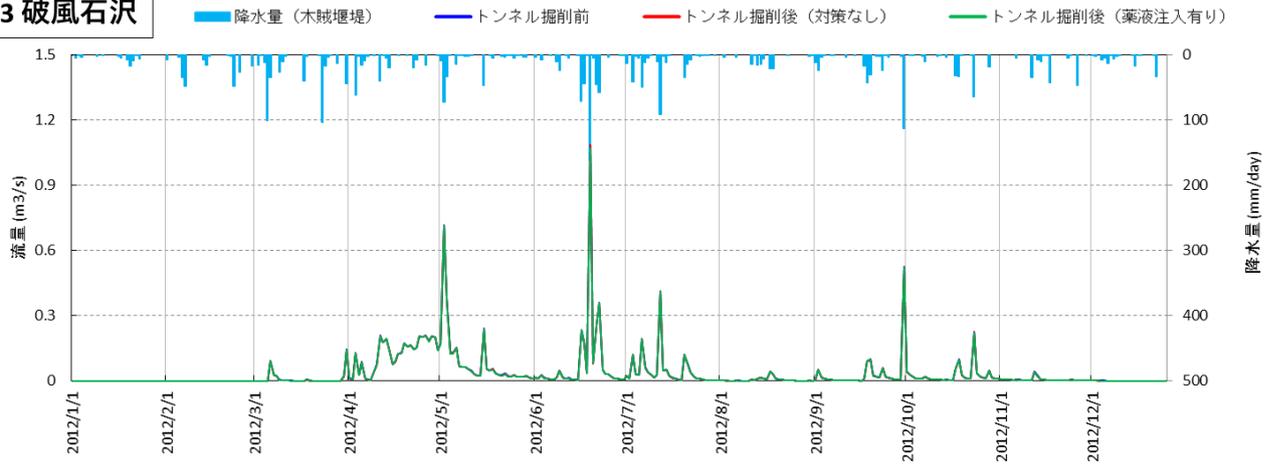


22 蛇沢南東の沢

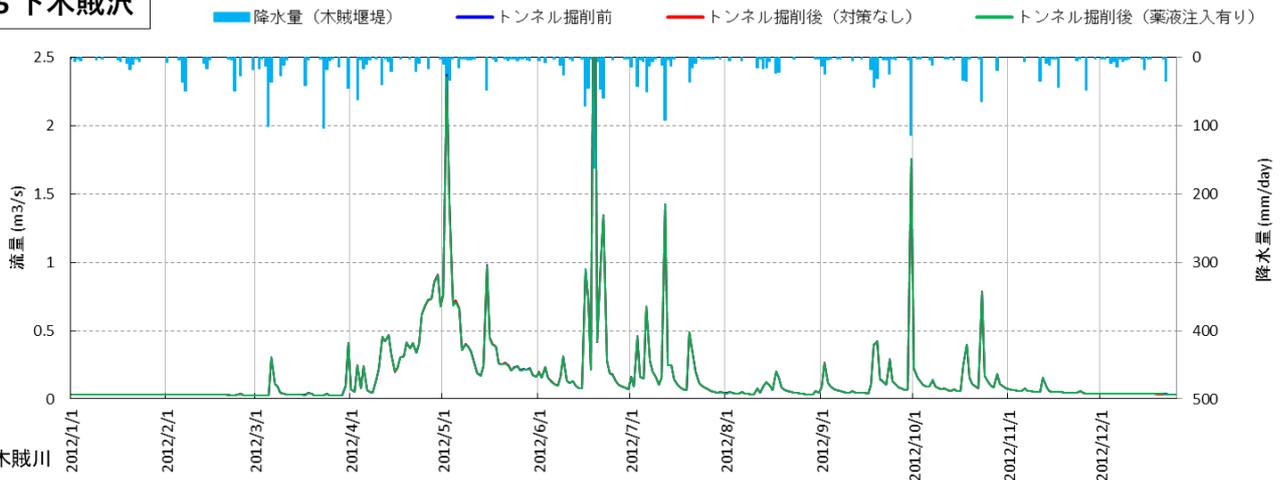
■ 降水量 (木賊堰堤)
 — トンネル掘削前
 — トンネル掘削後 (対策なし)
 — トンネル掘削後 (薬液注入有り)



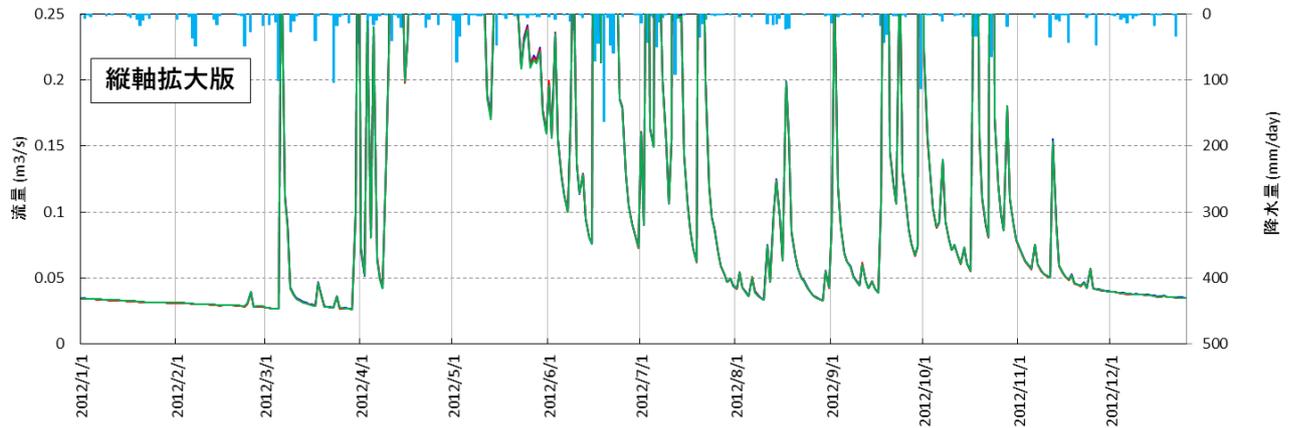
23 破風石沢



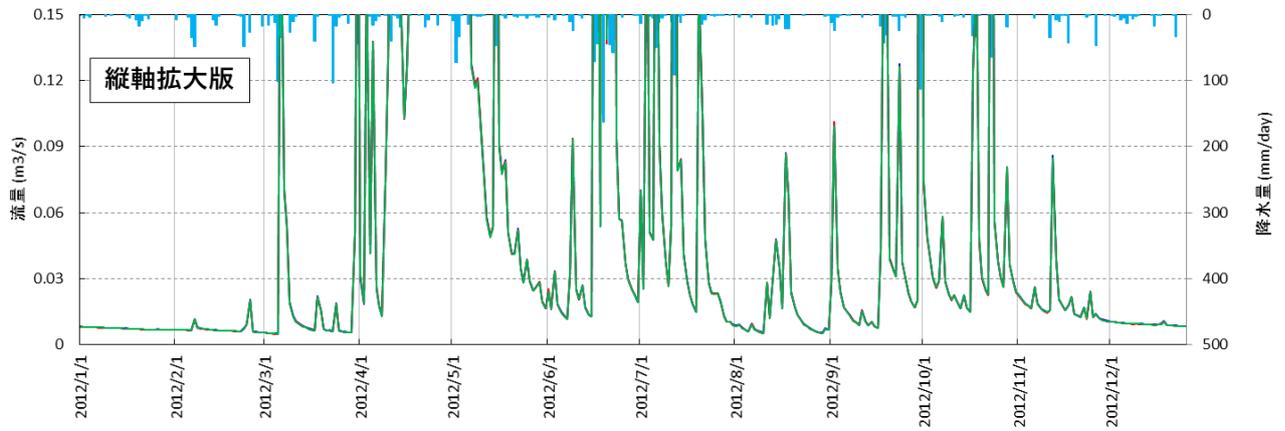
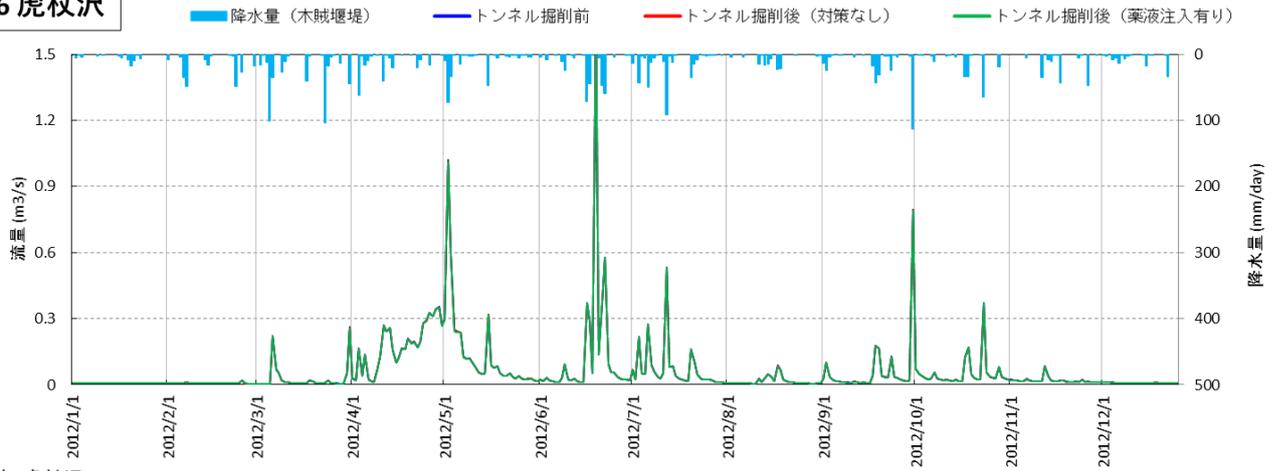
25 下木賊沢



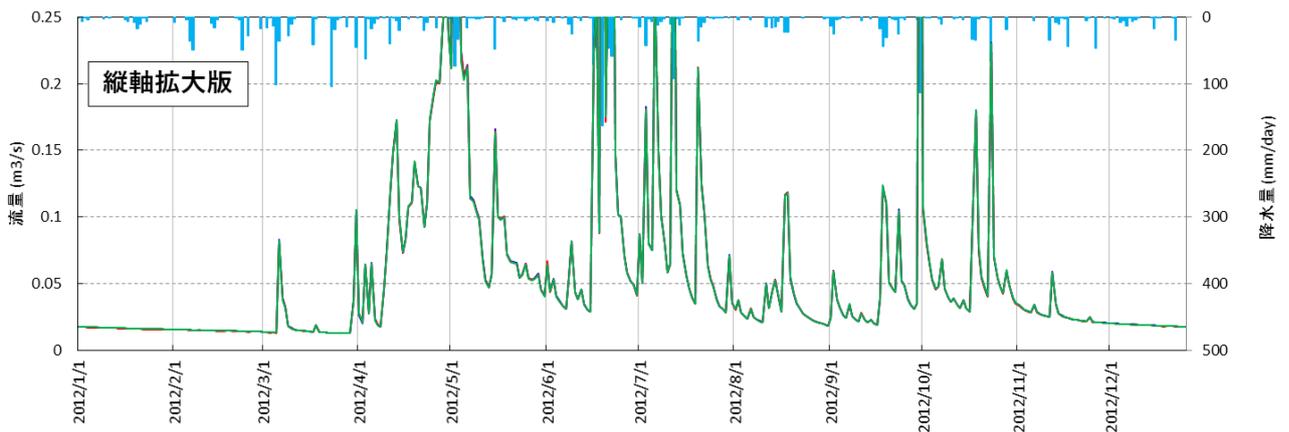
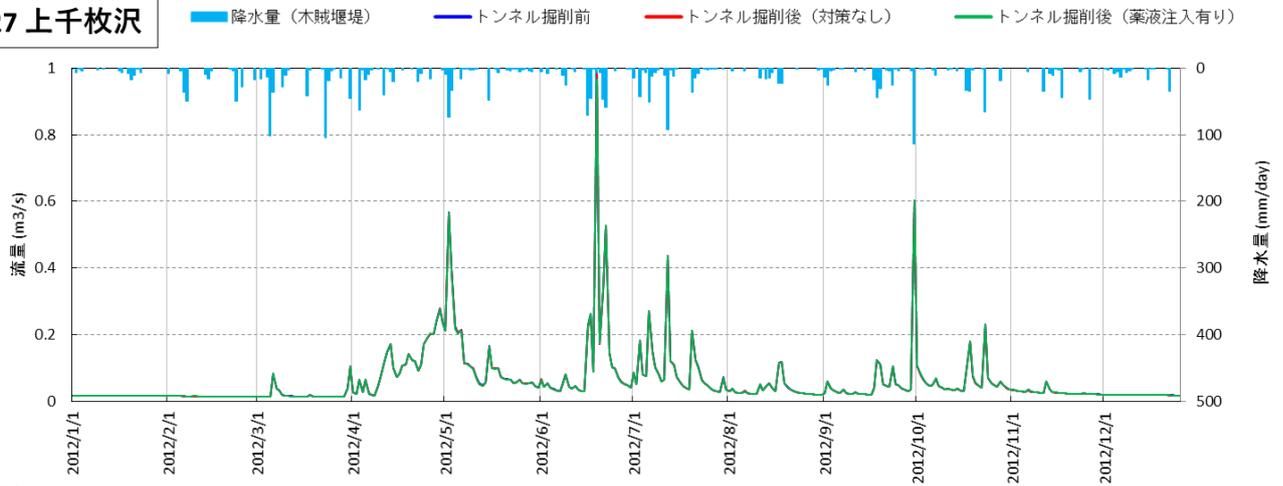
下木賊川



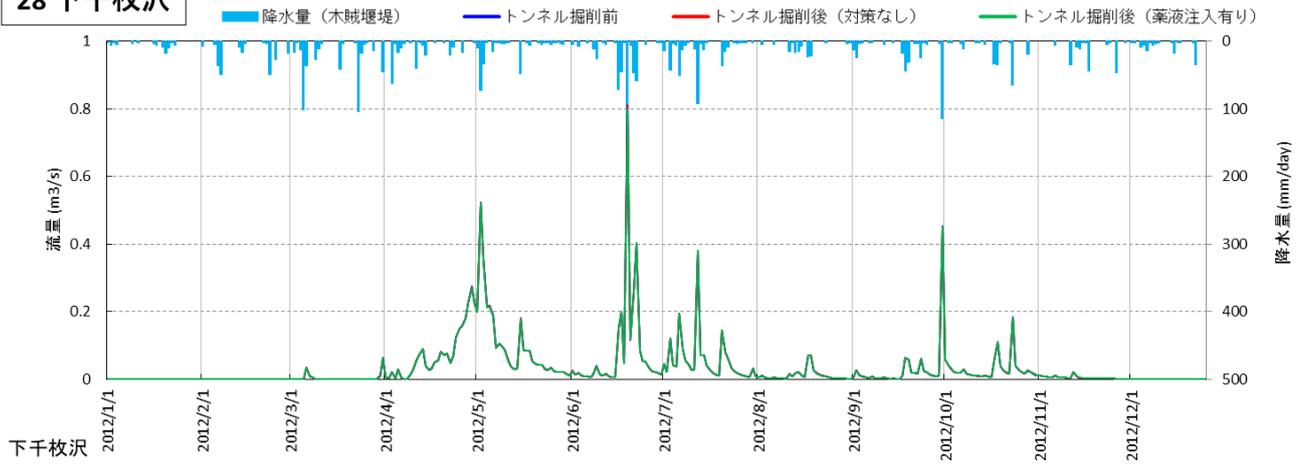
26 虎杖沢



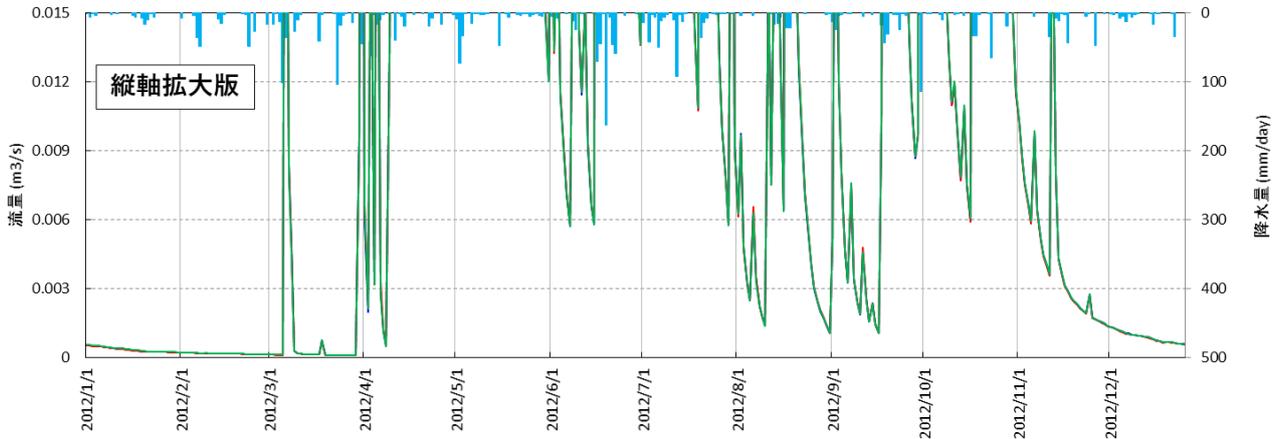
27 上千枚沢



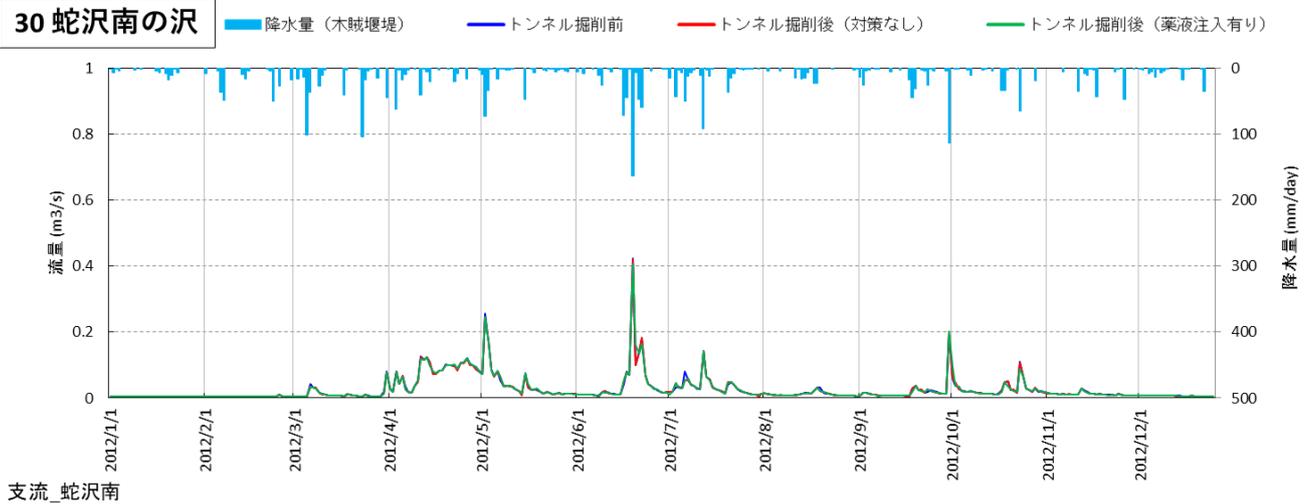
28 下千枚沢



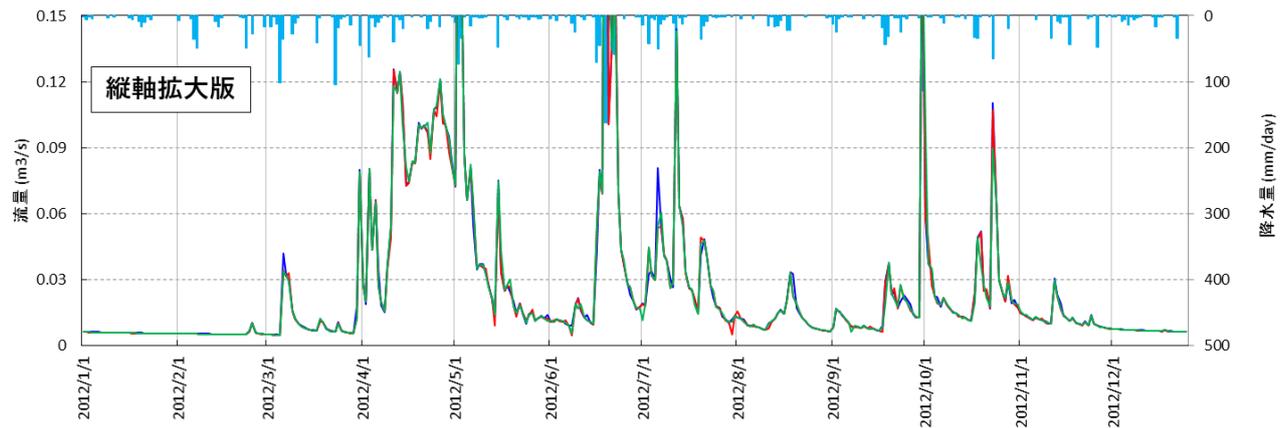
縦軸拡大版



30 蛇沢南の沢

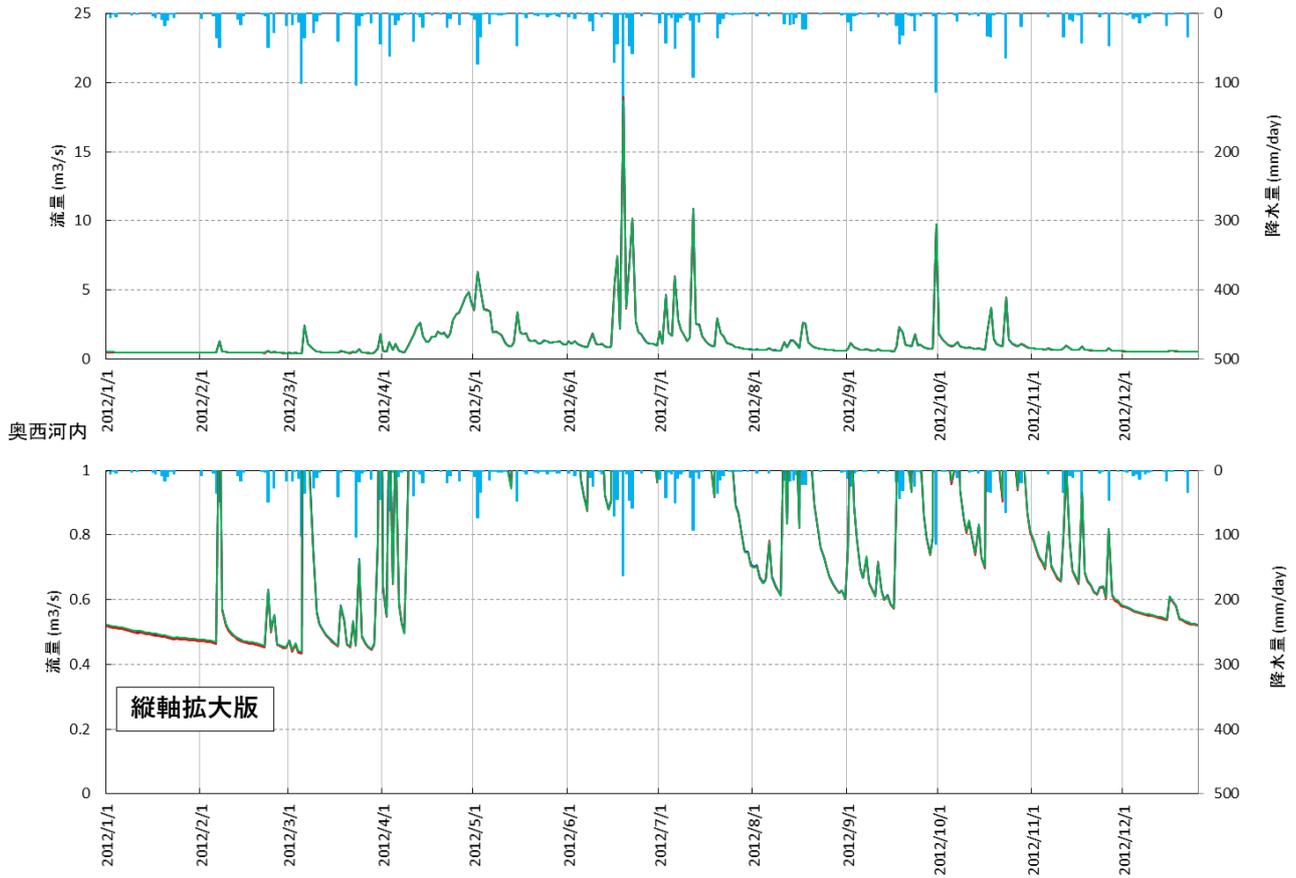


縦軸拡大版



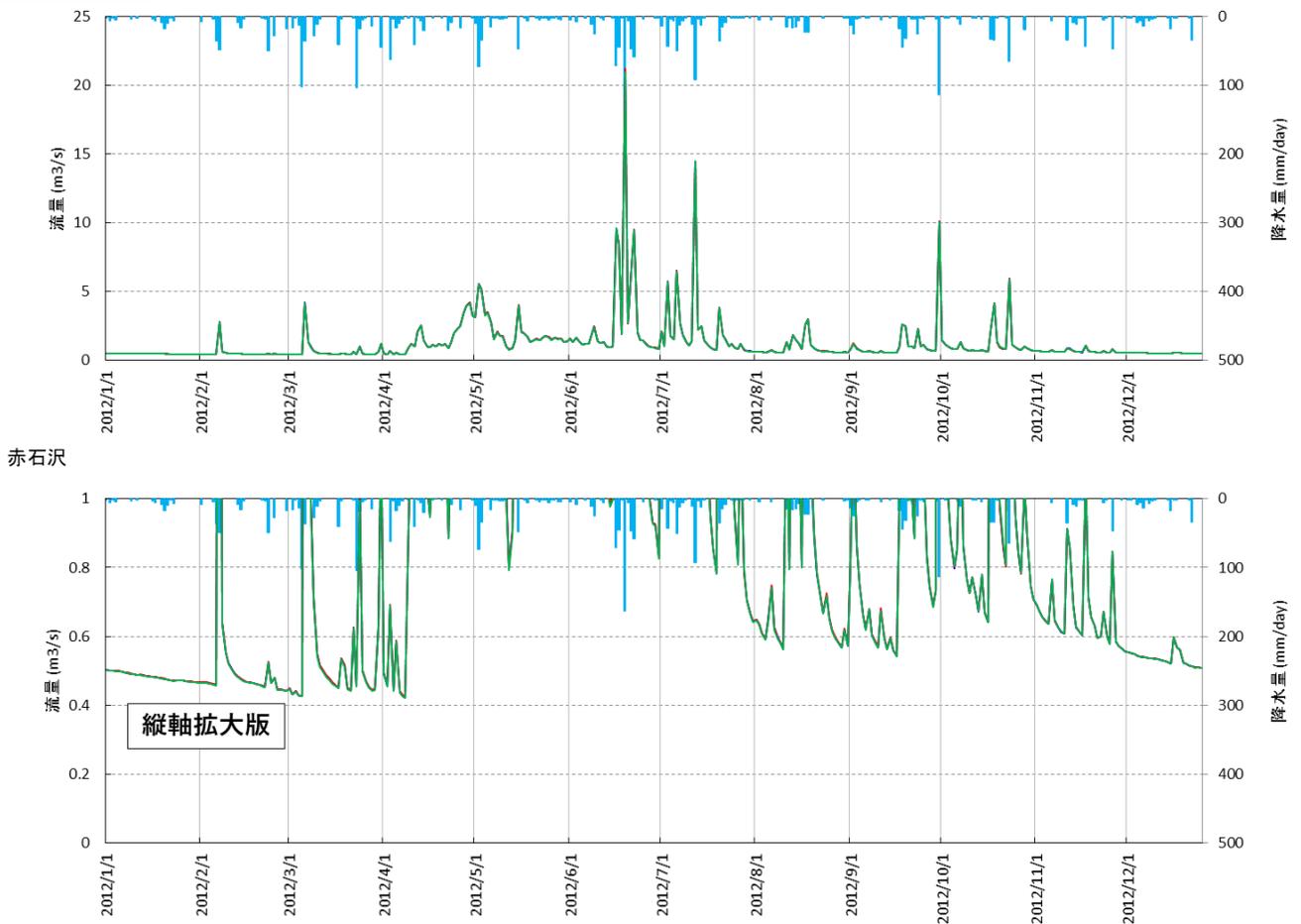
31 奥西河内

■ 降水量 (木賊堰堤) ■ トンネル掘削前 ■ トンネル掘削後 (対策なし) ■ トンネル掘削後 (薬液注入有り)



32 赤石沢

■ 降水量 (木賊堰堤) ■ トンネル掘削前 ■ トンネル掘削後 (対策なし) ■ トンネル掘削後 (薬液注入有り)



33 北俣・中俣合流部付近

■ 降水量 (木絨堰堤)
 — トンネル掘削前
 — トンネル掘削後 (対策なし)
 — トンネル掘削後 (薬液注入有り)

