資料３－２

当社が実施した水収支解析について

（素案）

本資料は令和 2 年 8 月 25 日現在の内容をまとめたものです。本資料は第 3 回有識者会議で提出した「大井川水資源利用への影響回避・低減に向けた取組み（素案）」の一部となるものですが、水収支解析を総合的に説明するために当該部分のみをとりまとめています。有識者会議委員のご意見を踏まえ、内容やデータを加除訂正してまいります。

東海旅客鉄道株式会社

※赤字部は第５回会議にて説明する内容

目　　次

頁

１　解析モデルの考え方 ・・・ 1

（１）　モデルの概要 ・・・ 1

１）　地形・地盤モデル ・・・ 2

２）　水循環モデル ・・・ 3

３）　トンネルモデル ・・・ 5

２　各種条件設定 ・・・ 6

（１）　解析範囲 ・・・ 6

（２）　境界条件 ・・・ 6

（３）　地質条件 ・・・ 7

１）　地表被覆区分 ・・・ 7

２）　地盤区分 ・・・ 7

（４）　水理定数 ・・・ 9

１）　透水係数 ・・・ 10

２）　有効間隙率 ・・・ 12

（５）　気象条件 ・・・ 14

１）　降水量 ・・・ 14

２）　蒸発散量 ・・・ 16

（６）　取水条件 ・・・ 17

３　モデルの再現性検証 ・・・ 18

（１）　検証データ ・・・ 18

（２）　検証結果 ・・・ 19

４　予測結果 ・・・ 21

（１）　流量予測値 ・・・ 21

（２）　トンネル湧水量予測値 ・・・ 23

（３）　地下水位（計算上）予測値 ・・・ 24

１）　はじめに ・・・ 24

２）　工事着手前の地下水位（計算上）予測値 ・・・ 24

３）　工事着手後の地下水位(計算上)予測値 ・・・ 25

はじめに

令和２年６月２日に開催された「第３回　リニア中央新幹線静岡工区　有識者会議」では、弊社から「大井川水資源利用への影響回避・低減に向けた取組み（素案）」をお示ししてご説明しました。

その中で工事着手前段階の取組みとして、トンネル工事による水資源への影響の程度を把握し、水資源の環境保全措置を検討するため、南アルプストンネル全域を対象に、工事開始から工事完了後２０年間の期間において水収支解析を行ったことを説明しました。

会議では、各委員から水収支解析について主に、水収支解析における条件設定に関するもの、水収支解析における地下水位予測に関するものについてのご質問が多く寄せられました。

本資料は、弊社が実施した水収支解析を全体的にご理解頂けるように、これまでご説明した内容も含めた構成とし、主に「２　各種条件設定」及び「４　予測結果」及び別冊データにて、寄せられたご質問へ対応したものとしています。

本資料について各委員にご確認頂いた結果については、「大井川水資源利用への影響回避・低減に向けた取組み（素案）」に以下のとおり反映させてまいります。

表　本資料項目の反映予定対応表

<table>
<tr><th>本資料項目</th><th>「大井川水資源利用への影響回避・低減に向けた取組み（素案）」</th></tr>
<tr><td>１．解析モデルの考え方
（小項目を含む）</td><td rowspan="3">２．工事着手前段階における取組み
（１）トンネル湧水を大井川に流すための施設計画の策定
１）水収支解析における条件設定</td></tr>
<tr><td>２．各種条件設定
（小項目を含む）</td></tr>
<tr><td>３．モデルの再現性検証
（小項目を含む）</td></tr>
<tr><td>４．予測結果</td><td>別冊データ
（２）水収支解析の予測結果</td></tr>
</table>

１　解析モデルの考え方

（１）　モデルの概要

・環境アセスメントでは、トンネル工事による水資源への影響の程度を把握し、水資源の環境保全措置を検討するため、南アルプストンネル全域を対象に、工事開始から工事完了後２０年間の期間において水収支解析による予測を行いました。

・水収支[1]解析にあたっては、トンネル工事実施前において現地の地形上、 ボーリング等の十分な調査ができないことから、解析ブロックは 100m×100m×25mと大きなサイズを用いました。また、トンネル湧水量は大きめにして、施設計画上、安全側の見積もりとなるように、「２.各種条件設定」のとおり条件設定を行い実施しました。

・解析はトンネル水収支モデル(解析コード:TOWNBY)を用いて算出しました。このモデルは鉄道技術研究所（現鉄道技術総合研究所）で 1983 年に開発され、その後も改良が加えられ、鉄道をはじめ道路、水路など多数の山岳トンネルに適用されてきた実績のある手法です。

・主な適用事例は、筑紫トンネル（福岡県・佐賀県：九州新幹線)、新田原坂トンネル（熊本県：九州新幹線)、小鳥トンネル（岐阜県：高山清見道路)、青崩トンネル（静岡県・長野県：三遠南信自動車道）などです。

・トンネル水収支モデルは、１）地形・地盤モデル、２）水循環[2]モデル、３）トンネルモデルの３つのサブモデルで構成されます。

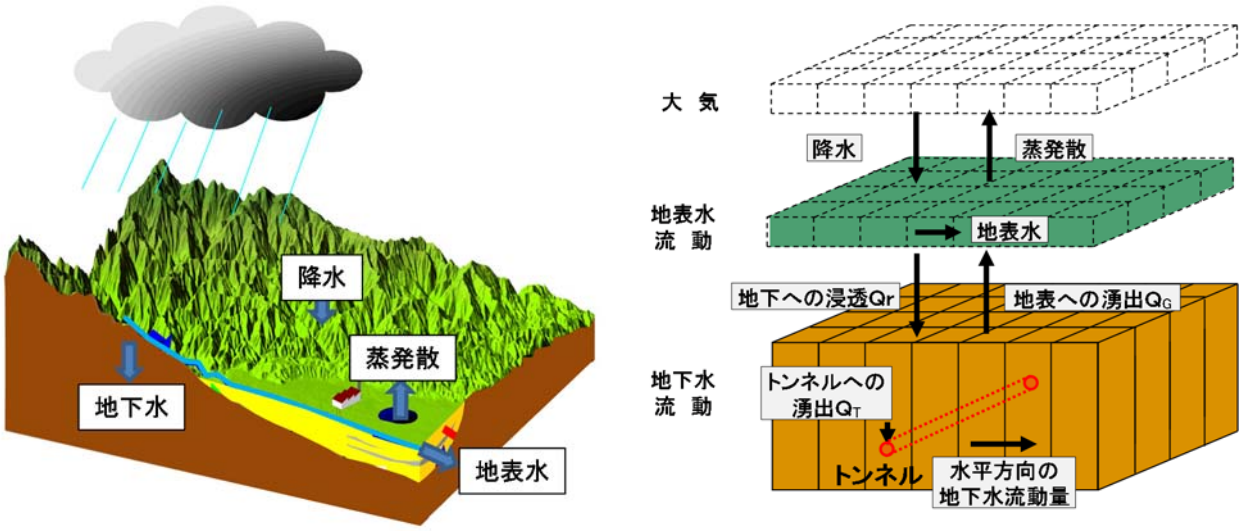


図 １　トンネル水収支モデルのイメージ

[1] 水収支：水循環を構成するいろいろな水文領域における水の流入・流出関係を定量的に表したもの

[2] 水循環：気圏、岩石圏、水圏の自然界の三圏にわたる水の循環のことで、水文循環ともいう

1） 地形・地盤モデル

・地表水および地下水の流動の場である地形起伏と地下地質構造を表現するモデルです。

① 地形・地盤モデル

・地形・地盤を三次元直方体ブロックの集合体として表現しました。

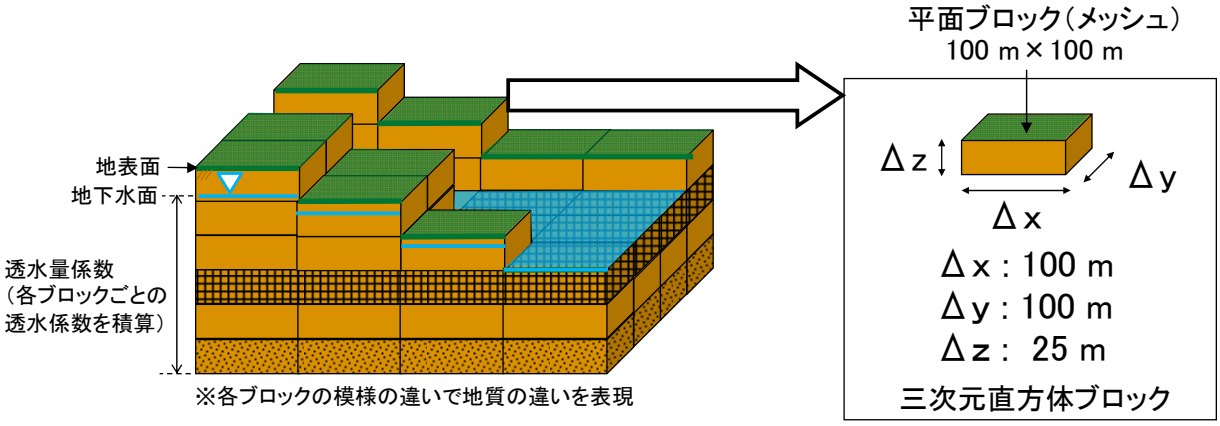


図 2 モデルの構造のイメージ

② 透水量係数

・深度方向に透水係数[3]を積算した透水量係数を算出しました。

$$\text{透水量係数}\mathbf{k}' = (\boldsymbol{k_A} \times \boldsymbol{h_A}) + (\boldsymbol{k_B} \times \boldsymbol{h_B}) + (\boldsymbol{k_C} \times \boldsymbol{h_C}) + (\boldsymbol{k_D} \times \boldsymbol{h_D})$$

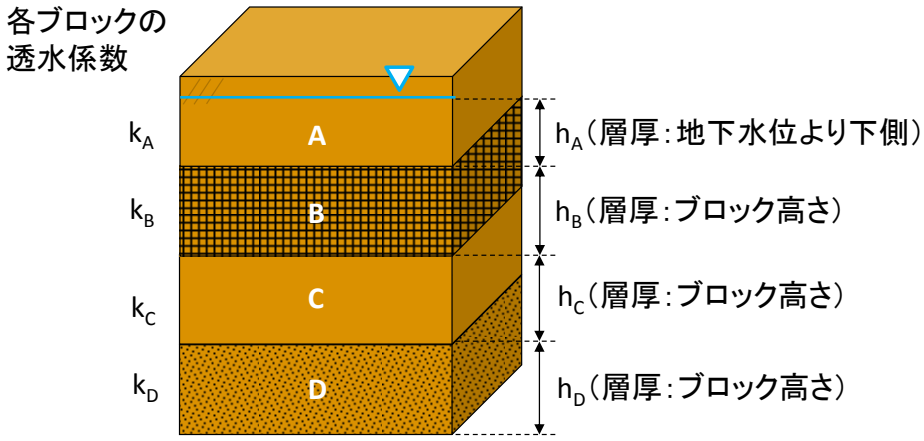


図 3 透水量係数の算出イメージ

[3] 透水係数：土層の中を単位時間に流れる水の流量

２） 水循環モデル

・降水―地表水・土壌水―地下水―地表水として循環する水の挙動を表現するモデルです。

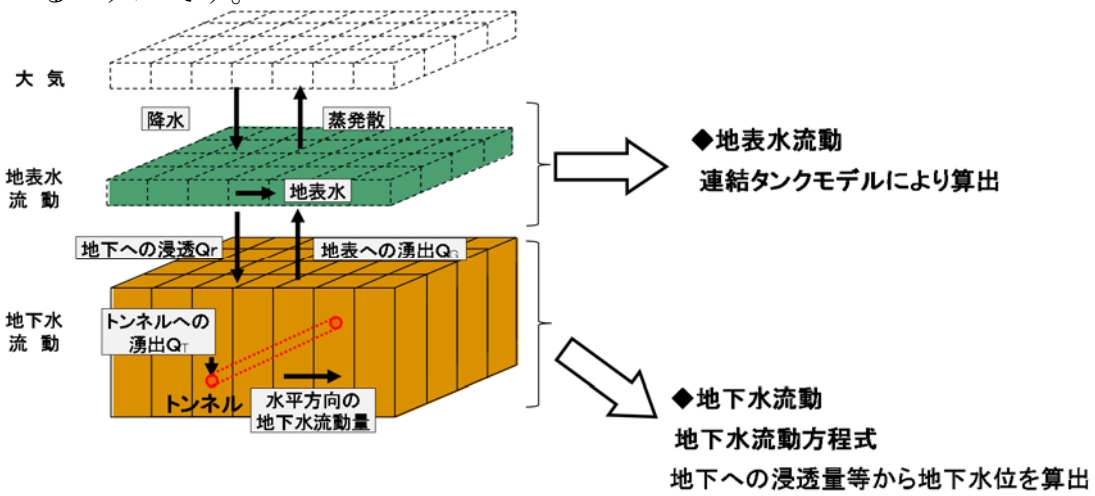


図 4 水循環モデルのイメージ

① 地表水流動：タンクモデル

・地表水流動は連結タンクモデルによりモデル化しました。タンクモデルはメッシュごとに設定し地表高に基づき地表水の流出方向を設定しました。

・タンクモデルは 2 段とし、上段タンクに 2 個、下段タンクに 1 個の横孔と、下底に 1 個の孔を設けました。上段タンクの横孔は、降水時の流出の早さの相違を表すために 2 個設けました。

・各孔の高さと孔径は地表被覆区分ごとに設定しました。

・高さと孔径は、河川流量観測データを再現できるように、各数値をトライアル計算して設定しました。

・タンクモデルにより算出した地下への浸透量Q_rは、地下水流動方程式へ入力しました。

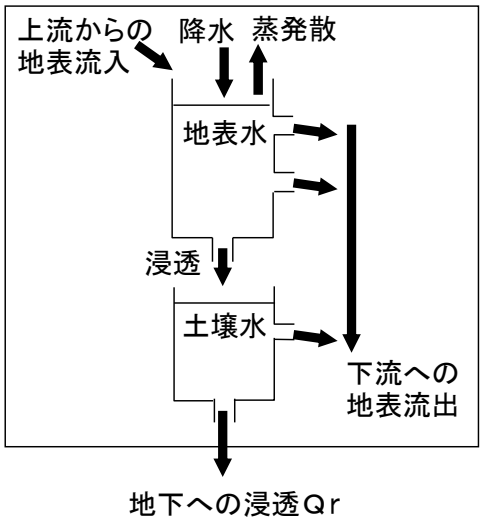


図 5 連結タンクモデル模式図

② 地下水流動：地下水流動方程式

・地下水流動は以下に示す方程式を用いました。

・本解析では、地下水は浅層と深層の区分ができないため、浅層から深層までを１つの帯水層と仮定しました（１メッシュあたり地下水位は１つとしました）。

$$\boxed{\frac{\partial}{\partial x}\left(k'\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k'\frac{\partial h}{\partial y}\right)}+\boxed{Qr-(Q_G+Q_T)}=\boxed{s\frac{\partial h}{\partial t}}$$

水平方向の流動量変化

鉛直方向の流動量変化

※別途計算

地下水貯留量の変化

h ：地下水位（m）

t ：時間（日）

k' ：透水量係数（㎡／日）

s ：有効間隙率

Qr ：地下への浸透量（m^3/日）（１メッシュあたり）

Q_G ：地表への湧出量（m^3/日）（１メッシュあたり）

Q_T ：トンネル湧水量（m^3/日）（１メッシュあたり）

③ 地下水流動：地表への湧出量Q_G

・地下水流動方程式により算出した地下水位が、地表面より高い場合、地表面より上部の水量を、地表への湧出量Q_Gとして算出しました。

$$\boxed{Q_G = \Delta h \cdot s}$$

Q_G ：地表への湧出量（m^3/日）（１メッシュあたり）

Δh ：地表面上の地下水位変化（m/日）

s ：地盤の有効間隙率

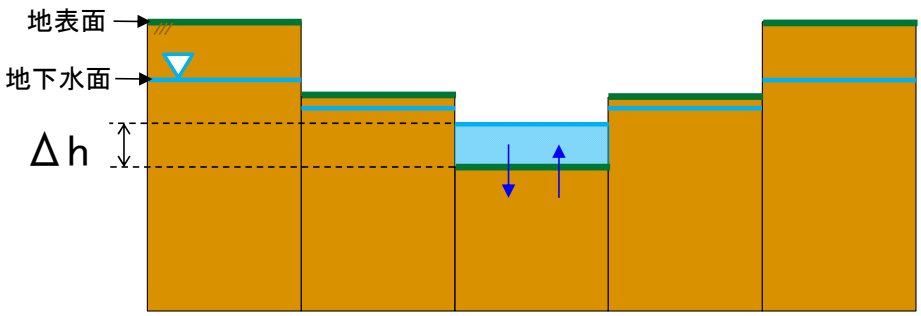


図 6　地表への湧出量の算出方法

３） トンネルモデル

・トンネル掘削状況（切羽[4]位置、延長、トンネル径など）を表現するモデルです。

① 地下水流動：トンネルへの湧出量Q_T

・トンネルへの湧出量Q_Tを順次別途算出し、地下水流動方程式から差し引きました（非定常計算[5]）。

・トンネルへの湧出量Q_Tは、トンネル構造物としての吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等がない状態と仮定し算出しました。

$$Q_T = \frac{2\pi kHL}{\ln(2H/r)}$$

※覆工コンクリート等はない状態と仮定

Q_T ：トンネルへの湧出量（m³/日）（１メッシュあたり）

k ：地盤の透水係数（m/日）

H ：トンネルから地下水面までの高さ（m）

L ：トンネルの延長（m）（１メッシュあたり）

r ：トンネル径（m）

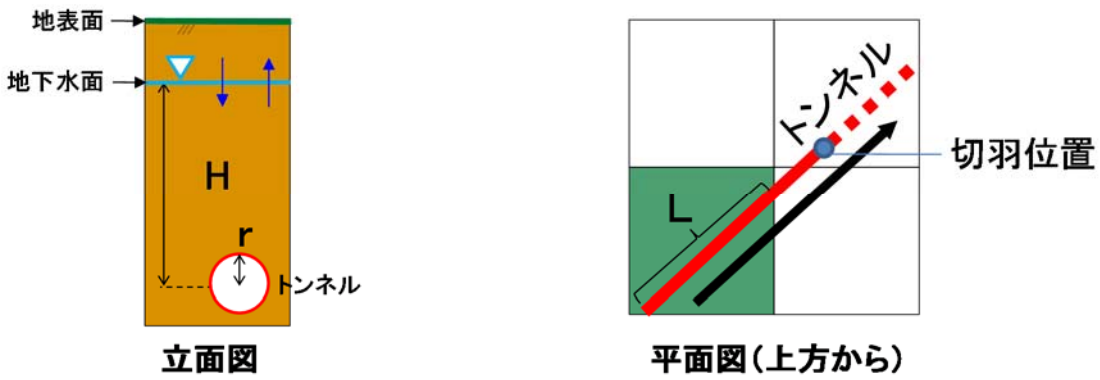


図 7　トンネル湧出量の算出方法

[4] 切羽：トンネル工事の掘削の先端部、現に掘削している場所

[5] 非定常計算：非定常状態（時間の経過により状態が変化すること）を仮定した計算

２　各種条件設定

（１）　解析範囲

・南アルプス地域（長野県・山梨県を含む）を包括し、河川等の深い谷地形に沿った範囲としました。

・高橋の方法による予測検討範囲（トンネル工事に伴い地下水位が低下する可能性がある範囲）の外方に設定しました。

【解析領域】
東西 41.1km、南北 25.2km
面積 545.4 km²
鉛直方向 標高 100～3,225m

【ブロック】
平面ブロック数：54,540 個

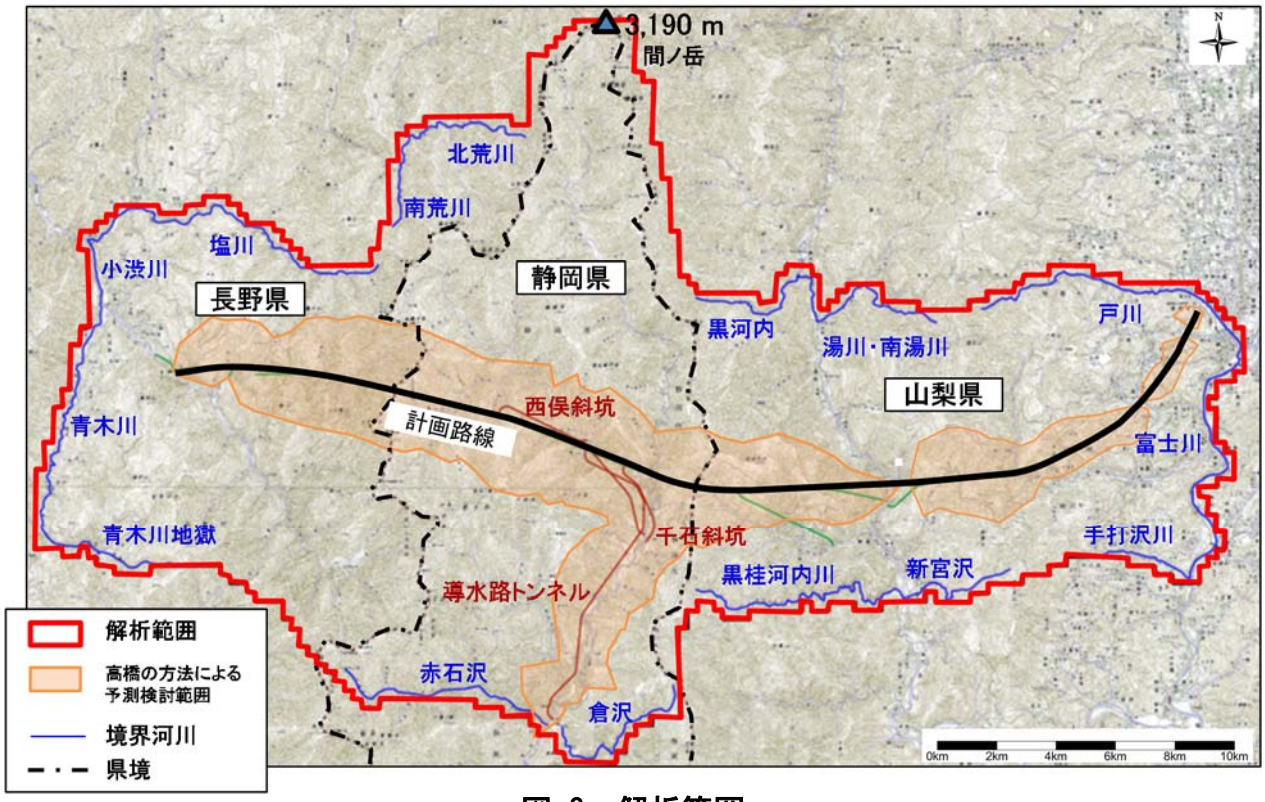


図 8　解析範囲

（２）　境界条件

・モデル外周（側面）および底面の地下水は閉鎖条件（域外への流出なし）としました。

・地表部は地下水位が地表面よりも高くなった場合に、その部分の地下水を地表水として流出させました。（P.4 の図 6 参照）

・モデル外周（側面）の地表水は域外へ流出させました。

（３） 地質条件

１） 地表被覆区分

・地表の被覆条件に基づいて地表被覆区分を設定しました。タンクモデルにおける各孔の高さと孔径は地表被覆区分ごとに設定しました。

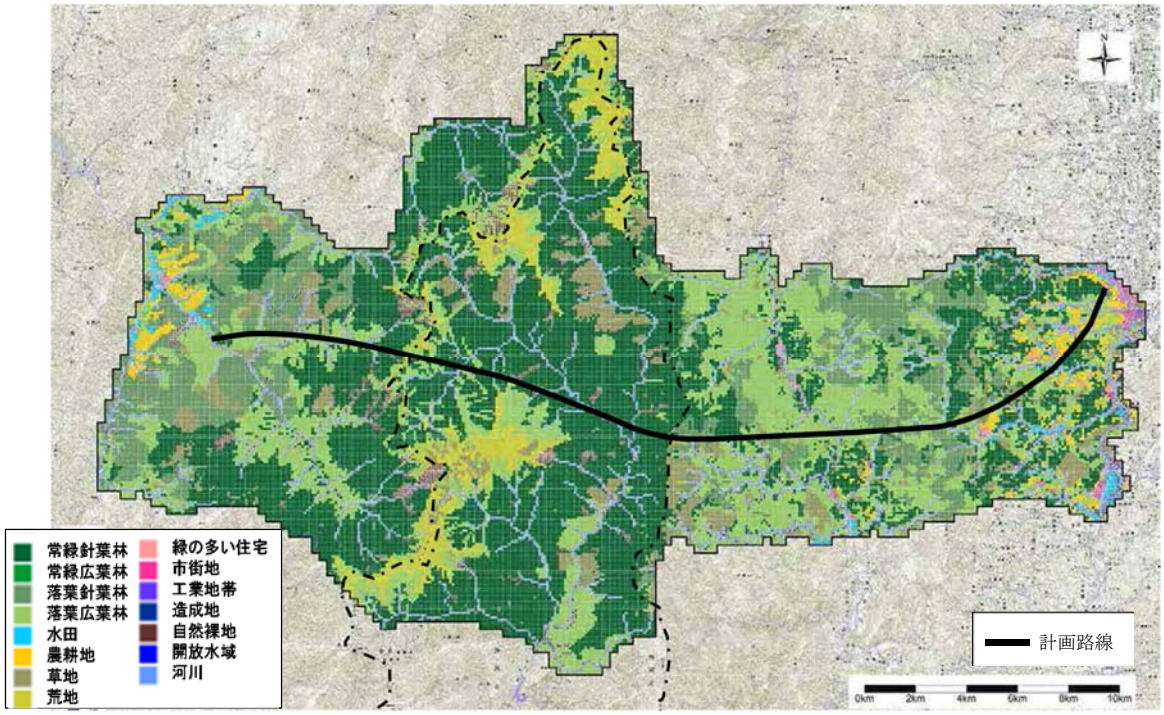


図 9　地表被覆区分の設定

２） 地盤区分

・地盤区分は、平成24年以前に実施した地質調査結果に基づき設定しました。

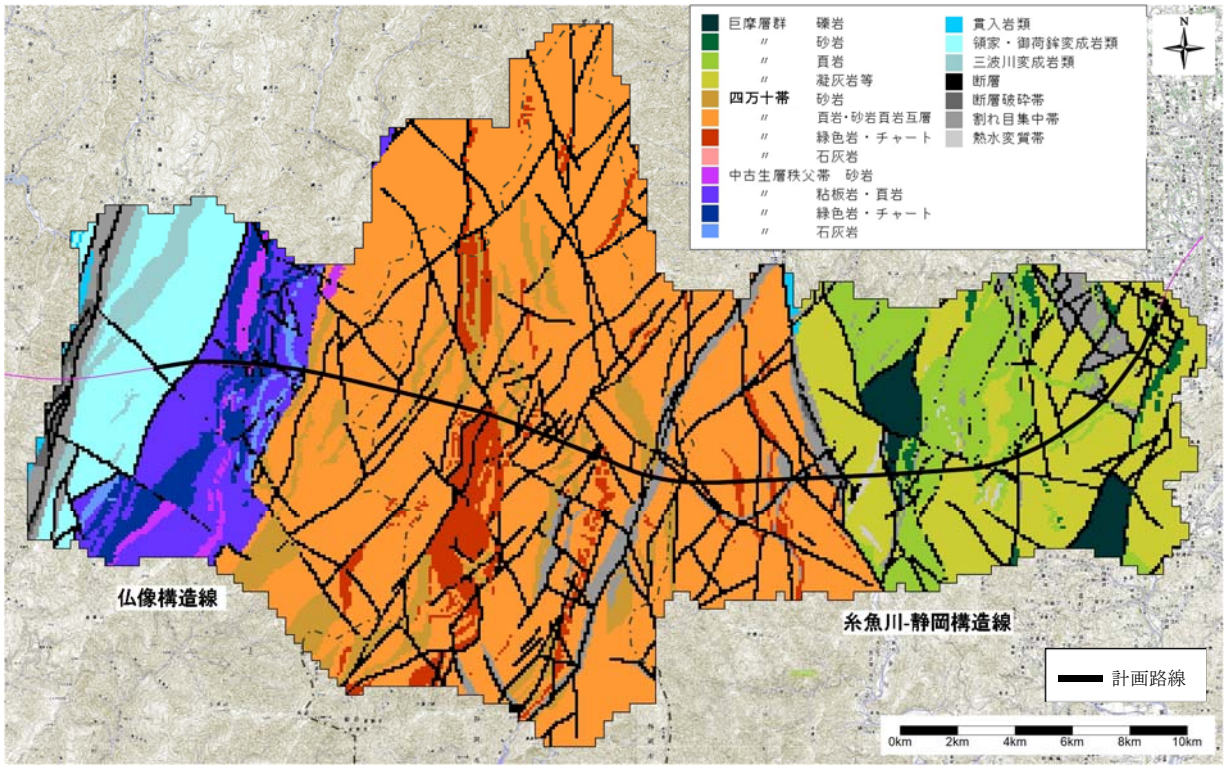


図 10　地盤区分の設定

・断層部において、通常、不透水層の存在や地層の硬軟が繰り返し出現し、その性状（透水係数等）はばらつきを示すことが考えられますが、解析上においては、断層部が存在すると考えられるブロックは一括りに大きな透水係数を設定しました。

・トンネル構造物としての吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等がない状態と仮定しました。

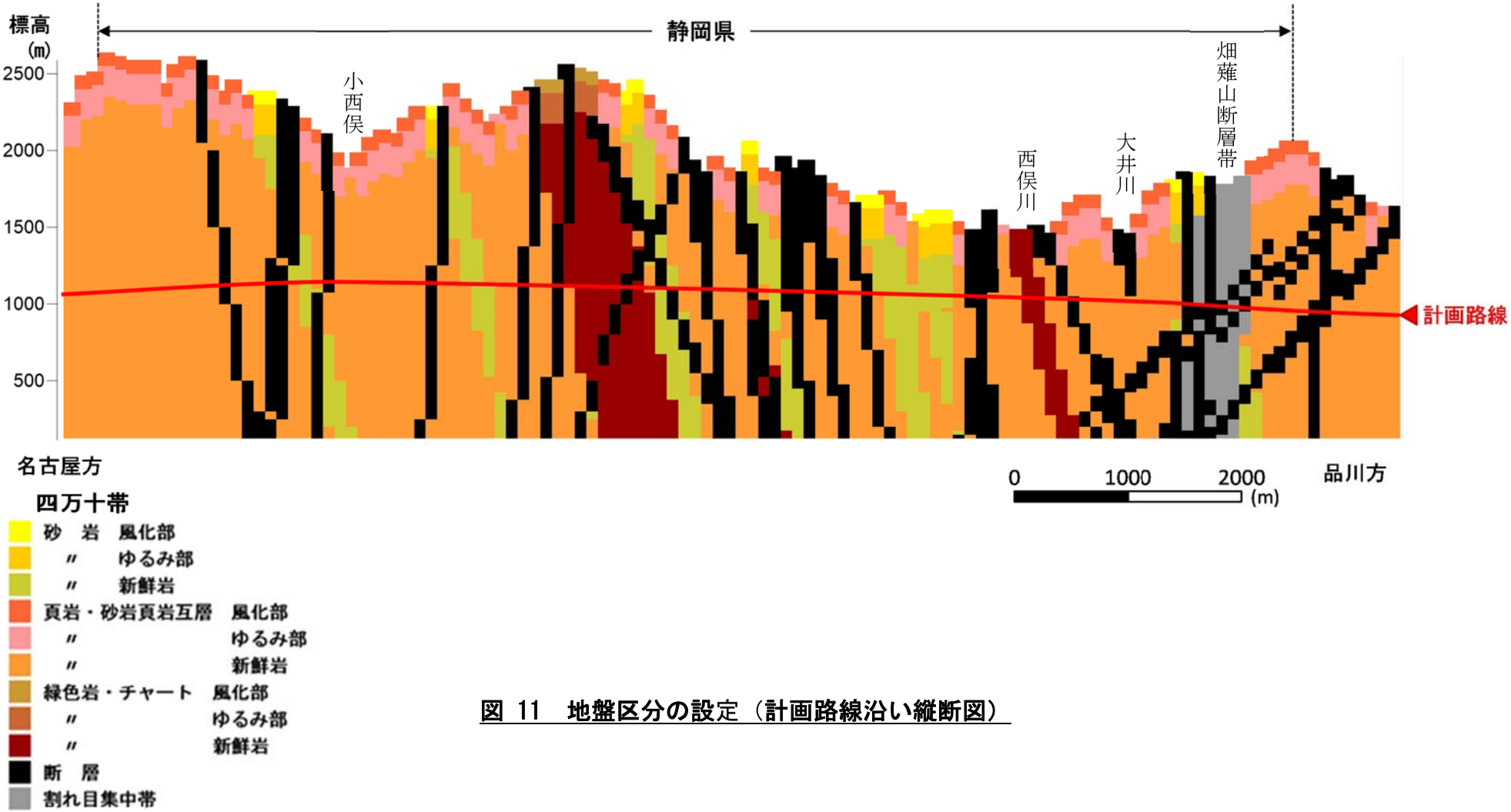


図 11　地盤区分の設定（計画路線沿い縦断図）

既存文献や地表踏査等から、地盤区分や地層の傾斜を設定し、弾性波探査等から鉛直方向の風化部、ゆるみ部、新鮮岩の設定を行った。

（４） 水理定数

・計画路線沿いで実施したボーリング調査において、湧水圧試験及び有効間隙率試験を実施しました。このうち四万十帯[6]では３箇所において、各箇所複数深度で実施しました。

・透水係数や有効間隙率[7]の初期値は、現地試験結果をもとに設定しました。なお、最終的なモデルへの入力値は、河川流量の実測値と予測値との再現性の検証において最も再現性が良かった組み合わせから設定しました。

表 1　湧水圧試験及び有効間隙率試験実施箇所

調査地点	掘削方向	標高（m）	掘削長（m）	湧水圧試験（箇所）	有効間隙率試験（箇所）	主な地層名
①　山梨県早川町（新倉付近）	鉛直	1,590	837	9	10	四万十帯瀬戸川層群
②　静岡市葵区（燕沢付近）	斜め	1,279	1,200	－	12	四万十帯白根層群、寸又川層群
③　静岡市葵区（東俣付近）	斜め	1,419	900	－	10	四万十帯白根層群

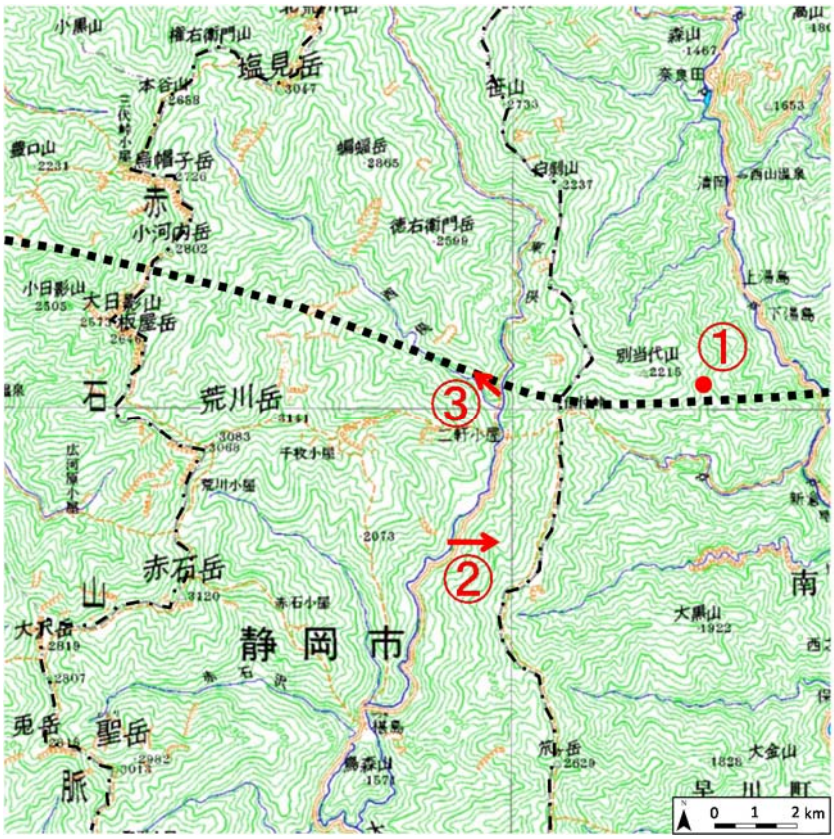


図 12　ボーリング実施箇所位置図

---

6 四万十帯：西南日本外帯（関東山地、赤石山地、紀伊山地、四国山地南部、九州山地南部を経て沖縄本島までの長さ 1,800km）に帯状分布する中生代白亜紀から新生代古第三紀にかけて形成された付加体である。主に砂岩や泥岩及び砂泥互層や混在岩相（メランジュ）よりなる。

7 有効間隙率：地層や土壌中の間隙のうち、水の伝送に利用できる間隙あるいは流動に関与している水の占めている間隙の体積を、地層や土壌の実質部分を含めた全体積で除した値。

1） 透水係数

・湧水圧試験は、山梨県内での鉛直ボーリング箇所 1 箇所において複数の深度で実施しました。湧水圧試験により求められた透水係数は、浅層の風化部、深度 600m 付近で確認した破砕質な箇所を除くと、おおむね 10^{-6}m/秒～10^{-7}m/秒のオーダーで分布しています（図 13 の赤枠内）。

表 2 湧水圧試験結果（新鮮岩）

調査地点	掘削長（m）	試験深度（GL -m）	透水係数（m/秒）	地質名	地層名
山梨県早川町（新倉付近）	837	80.5 ～ 88.1	1.83×10^{-5}	粘板岩	四万十帯 瀬戸川層群
		186.2 ～ 200.3	1.01×10^{-5}	粘板岩	
		300.0 ～ 307.9	1.16×10^{-6}	砂質粘板岩	
		390.0 ～ 400.1	2.49×10^{-7}	粘板岩、砂質粘板岩	
		486.7 ～ 506.0	1.08×10^{-6}	砂岩、緑色岩、砂質粘板岩	
		588.6 ～ 600.6	2.23×10^{-5}	緑色岩、砂質粘板岩	
		598.2 ～ 606.0	6.77×10^{-8}	砂質粘板岩	
		691.6 ～ 709.1	1.66×10^{-7}	緑色岩	
		765.6 ～ 794.0	7.68×10^{-7}	緑色岩、粘板岩	

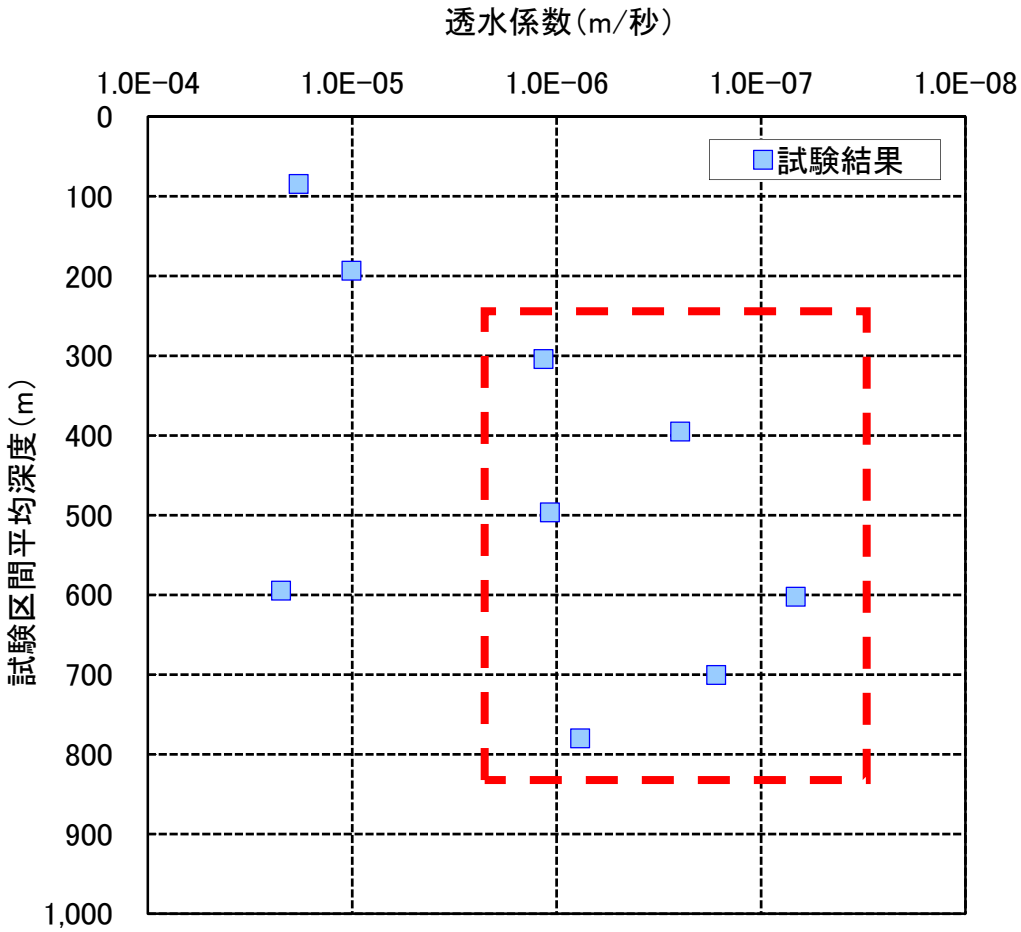


図 13 湧水圧試験深度と透水係数の関係

・湧水圧試験の結果をもとに、頁岩、砂岩頁岩互層の新鮮岩の透水係数の初期値を 1.0×10^{-7}m/秒としました。また、砂岩及び緑色岩、チャートは頁岩、砂岩頁岩互層の２倍とし、ゆるみ部は新鮮岩の１０倍、風化部及び断層、割れ目集中帯は新鮮岩の２０倍としました。

表 3　透水係数の初期値

単位：m/秒

×20 倍　×10 倍

地盤区分		風化部	ゆるみ部	新鮮岩
四万十帯	砂岩	4.0×10^{-6}	2.0×10^{-6}	2.0×10^{-7}
	頁岩、砂岩頁岩互層	2.0×10^{-6}	1.0×10^{-6}	1.0×10^{-7}
	緑色岩、チャート	4.0×10^{-6}	2.0×10^{-6}	2.0×10^{-7}
断層		2.0×10^{-6}		
割れ目集中帯				

×2 倍

×2 倍

×20 倍

※黄色箇所：湧水圧試験結果をもとに初期値を設定した項目

・最終的にモデルへ入力する透水係数の値は、河川流量の実測値と予測値との再現性の検証において、前述した初期値を段階的に変更し、最も再現性が良かった組み合わせから設定しました。

表 4　透水係数の最終値（入力値）

単位：m/秒

地盤区分		風化部	ゆるみ部	新鮮岩
四万十帯	砂岩	4.0×10^{-7}	2.0×10^{-7}	2.0×10^{-8}
	頁岩、砂岩頁岩互層	2.0×10^{-7}	1.0×10^{-7}	1.0×10^{-8}
	緑色岩、チャート	4.0×10^{-7}	2.0×10^{-7}	2.0×10^{-8}
断層		1.2×10^{-6}		
割れ目集中帯		7.0×10^{-7}		

２） 有効間隙率

・有効間隙率試験は、静岡県内での斜めボーリング箇所 2 箇所と山梨県内での鉛直ボーリング箇所 1 箇所の計 3 箇所において、それぞれ複数の深度で実施しました。有効間隙率試験により求められた有効間隙率は、浅層の風化部を除いて、0.3～2.3%の範囲に分布しており、大半が 1%未満となっています（図 14 の赤枠内）。

表 5　有効間隙率試験結果

調査地点	掘削長（m）	試験深度（GL -m）	有効間隙率（%）	地質名	地層名
①山梨県早川町（新倉付近）	837	238.40 ～ 240.00	0.70	砂岩	四万十帯瀬戸川層群
		272.00 ～ 273.00	2.30	粘板岩	
		438.00 ～ 440.50	1.30	緑色岩	
		522.00 ～ 523.00	0.30	粘板岩	
		568.30 ～ 568.90	0.50	緑色岩	
		649.50 ～ 650.80	0.60	緑色岩	
		738.70 ～ 739.90	0.60	粘板岩	
		756.10 ～ 758.80	0.40	粘板岩	
		796.10 ～ 797.60	0.80	粘板岩	
		828.10 ～ 828.70	0.50	粘板岩	
②静岡市葵区（燕沢付近）	1,200	197.70 ～ 198.80	0.80	砂岩粘板岩互層	四万十帯白根層群、寸又川層群
		205.10 ～ 206.30	0.30	砂岩	
		396.00 ～ 398.90	0.30	砂岩	
		414.20 ～ 416.70	0.50	砂岩粘板岩互層	
		525.40 ～ 563.80	0.40	砂岩	
		560.30 ～ 562.20	0.60	粘板岩	
		750.10 ～ 759.90	0.70	砂岩	
		753.10 ～ 757.60	0.60	粘板岩	
		1035.4 ～ 1039.1	0.30	砂岩粘板岩互層	
		1090.1 ～ 1091.0	0.70	砂岩	
		1152.1 ～ 1152.6	0.80	砂岩粘板岩互層	
		1190.0 ～ 1190.7	0.70	粘板岩	
③静岡市葵区（東俣付近）	900	85.20 ～ 87.00	0.50	砂質粘板岩	四万十帯白根層群
		195.80 ～ 200.90	0.40	砂岩	
		270.30 ～ 274.90	0.50	砂質粘板岩	
		294.30 ～ 299.10	0.30	砂岩	
		360.00 ～ 360.90	0.70	砂質粘板岩	
		369.00 ～ 369.90	0.50	砂質粘板岩	
		457.60 ～ 463.00	0.70	砂質粘板岩	
		661.30 ～ 664.00	0.90	砂質粘板岩	
		716.00 ～ 716.90	0.70	砂岩粘板岩互層	
		808.00 ～ 808.60	0.60	砂岩粘板岩互層	

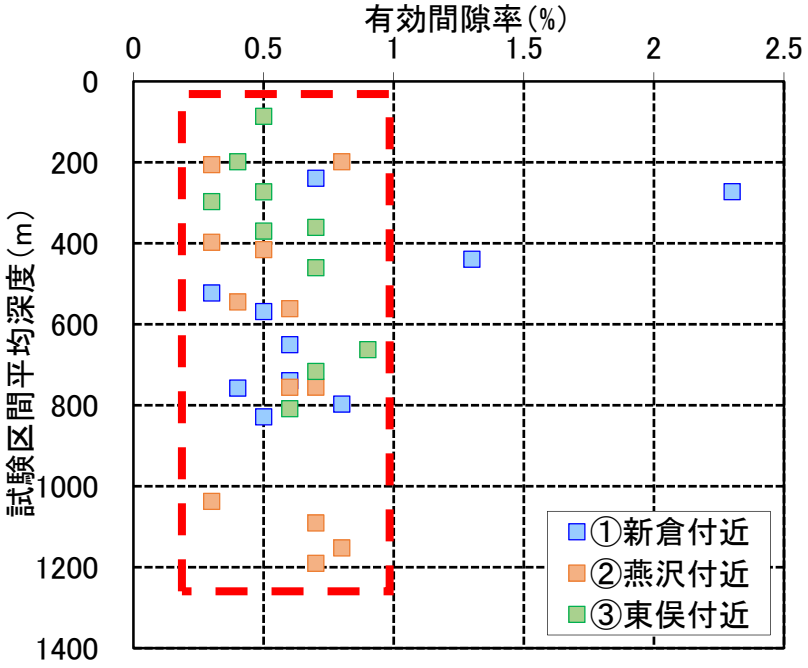


図 14　有効間隙率試験深度と有効間隙率の関係

・有効間隙率試験の結果をもとに、各岩種の新鮮岩の有効間隙率の初期値を１％としました。また、ゆるみ部は新鮮岩の２倍、風化部は新鮮岩の４倍、断層・割れ目集中帯は１０倍としました。

表 6　有効間隙率の初期値

×4 倍　×2 倍　単位：%

地盤区分		風化部	ゆるみ部	新鮮岩
四万十帯	砂岩	4.0	2.0	1.0
	頁岩、砂岩頁岩互層	4.0	2.0	1.0
	緑色岩、チャート	4.0	2.0	1.0
断層、割れ目集中帯		10.0		

×10 倍

※黄色箇所：有効間隙率試験結果をもとに初期値を設定した項目

・最終的にモデルへ入力する有効間隙率の値は、河川流量の実測値と予測値との再現性の検証において、前述した初期値を段階的に変更し、最も再現性が良かった組み合わせから設定しました。

表 7　有効間隙率の最終値（入力値）

単位：%

地盤区分		風化部	ゆるみ部	新鮮岩
四万十帯	砂岩	4.0	2.0	1.0
	頁岩、砂岩頁岩互層	4.0	2.0	1.0
	緑色岩、チャート	4.0	2.0	1.0
断層		10.0		
割れ目集中帯		6.0		

（５） 気象条件

１） 降水量

・木賊（とくさ）観測所（標高：1,175m）の観測データ（1997～2012 年）から日別に平均した値を作成しました。

・メッシュ平年値[8]に基づいて、木賊観測所が位置するメッシュとその他の各メッシュの降水量比を算出しました。

・各メッシュの降水量は、木賊観測所の日別平均値に各メッシュの降水量比を乗じて、推定しました。

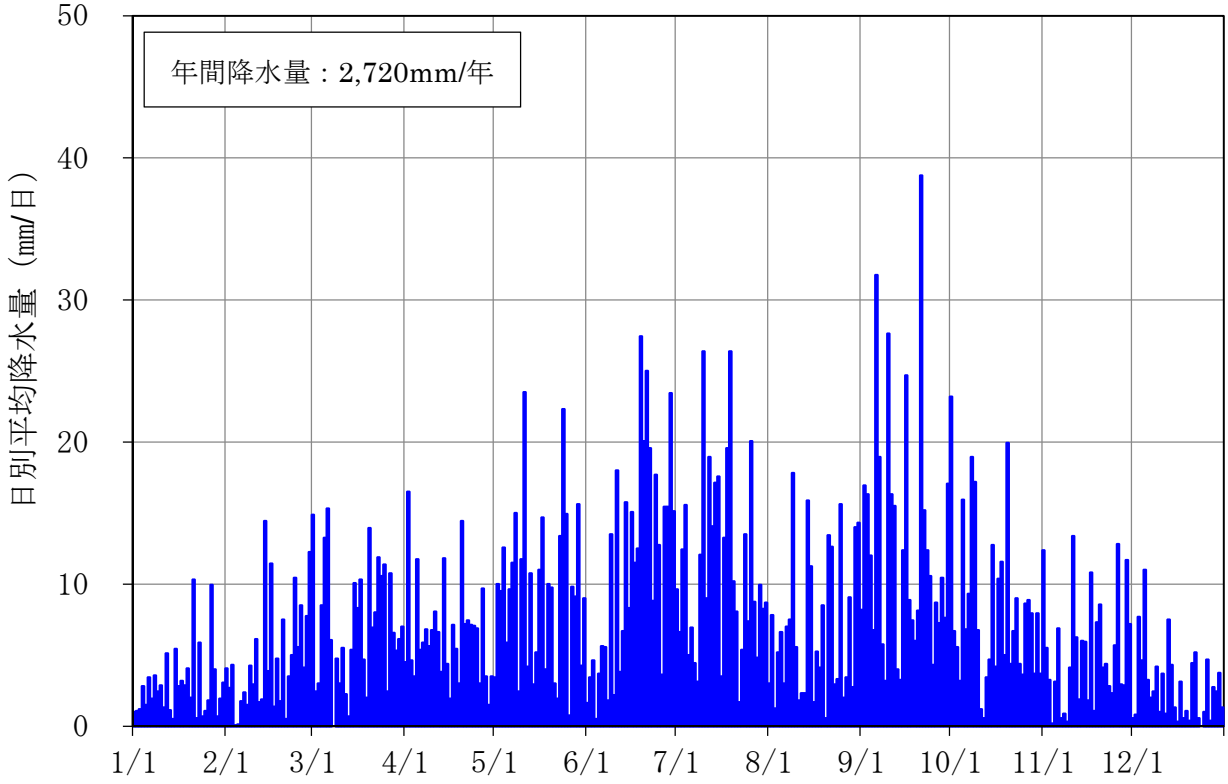


図 15　木賊観測所 日別平均降水量実測値（1997～2012 年）

[8] メッシュ平年値：気象庁の 1km メッシュ降水量。気象台やアメダス観測所の無いところの平年値（30 年間（1981～2010 年）の観測値の平均）を地形等の影響を考慮して推定したもの。

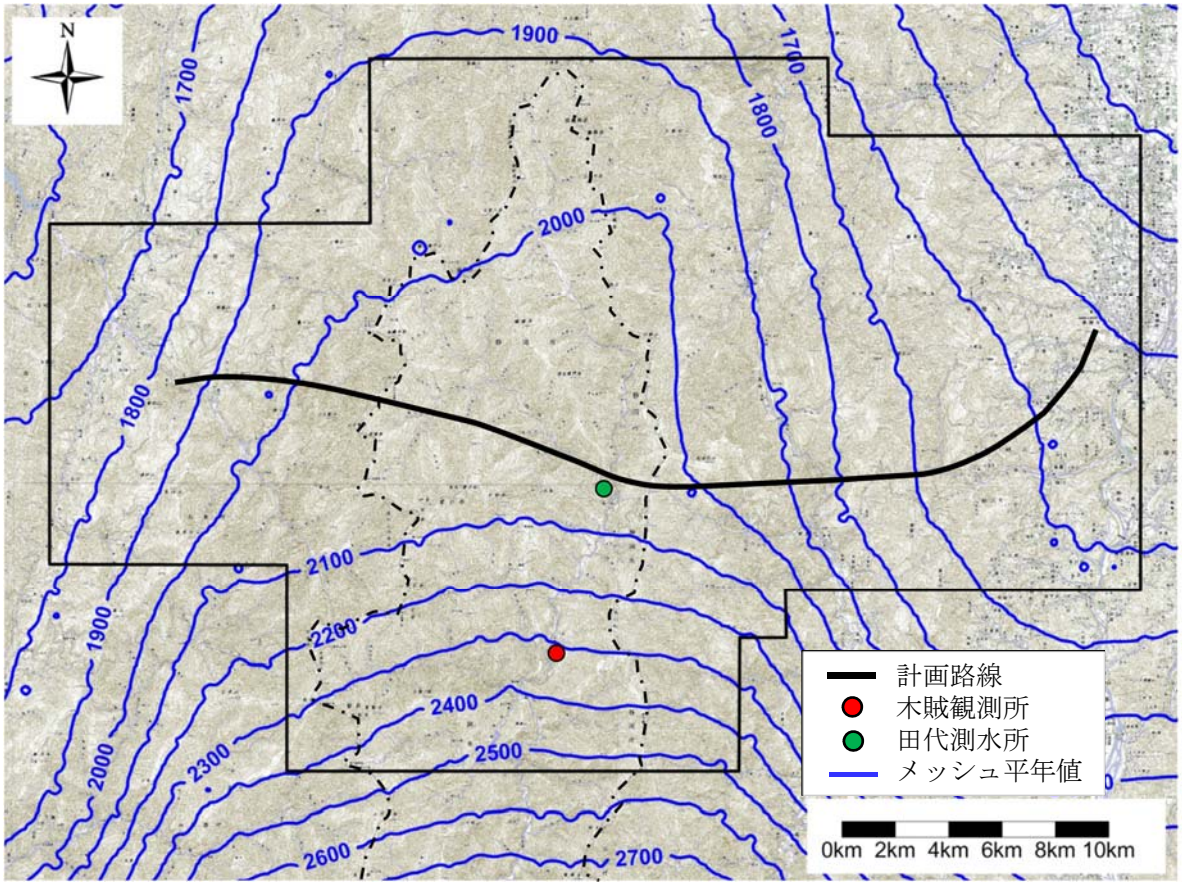


図 16　降水量メッシュ平年値分布図

・モデル入力データの作成段階での検証として、推定した各メッシュの降水量を用いて、大井川上流域（田代測水所よりも上流の流域）の年間総降水量（計算値）を年別（1997～2010 年）に算出し、田代測水所での年間総流量（実測値）と比較しました。その結果、年間総降水量（計算値）が年間総流量（実測値）よりも少ない結果となりました。

・この結果から、大井川上流域の各メッシュの降水量の設定は過小な推定であると考えられたため、年間総流量（実測値）と合うように各メッシュの降水量を補正する（大きくする）こととしました。

・最終的にモデルへ入力する各メッシュの降水量は、降水量＝流量＋蒸発散量＋地下浸透量であることから、地下浸透量相当分も考慮すると、大井川上流域（田代測水所よりも上流の流域）で、計算上約 4,200㎜ の降水量と推測しました。

２） 蒸発散量

・気象庁井川観測所（標高：770m）の気温観測データ（1997～2012 年）から日別に平均した気温データを作成しました。

・各メッシュの気温は、気温上昇率（0.54℃/100m）を用いて、井川観測所の日別平均値を補正し、標高区分別（500mごと）の推定気温データを作成しました。

・標高区分別の推定気温データを用いてソーンスウエイト法[9]により、標高区分別（500mごと）の月平均蒸発散量を算出しました。

・各メッシュの標高から、該当する標高区分別の蒸発散量を入力しました。

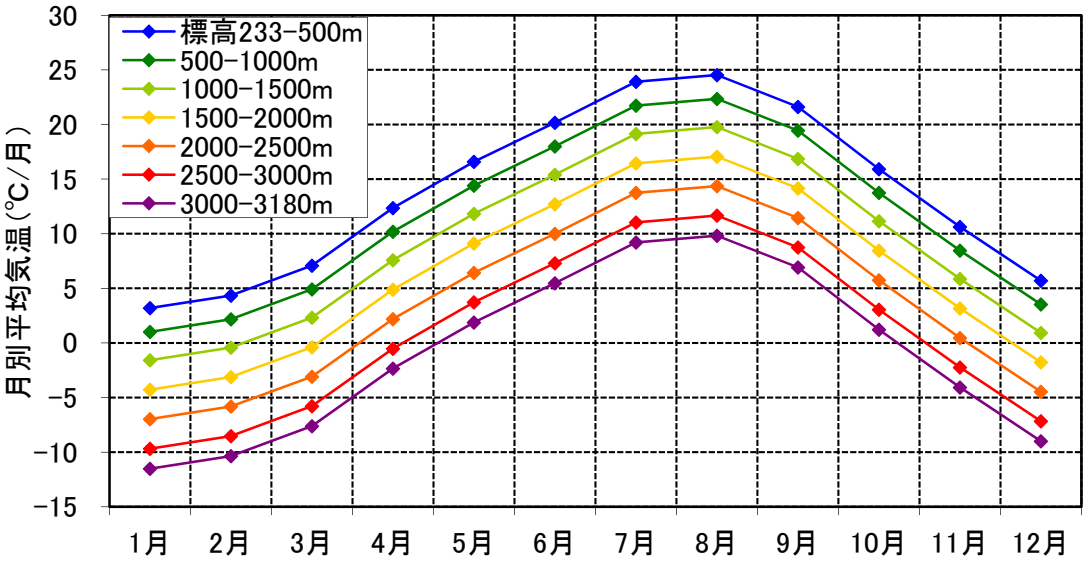


図 17　標高区分ごとの月別気温計算値

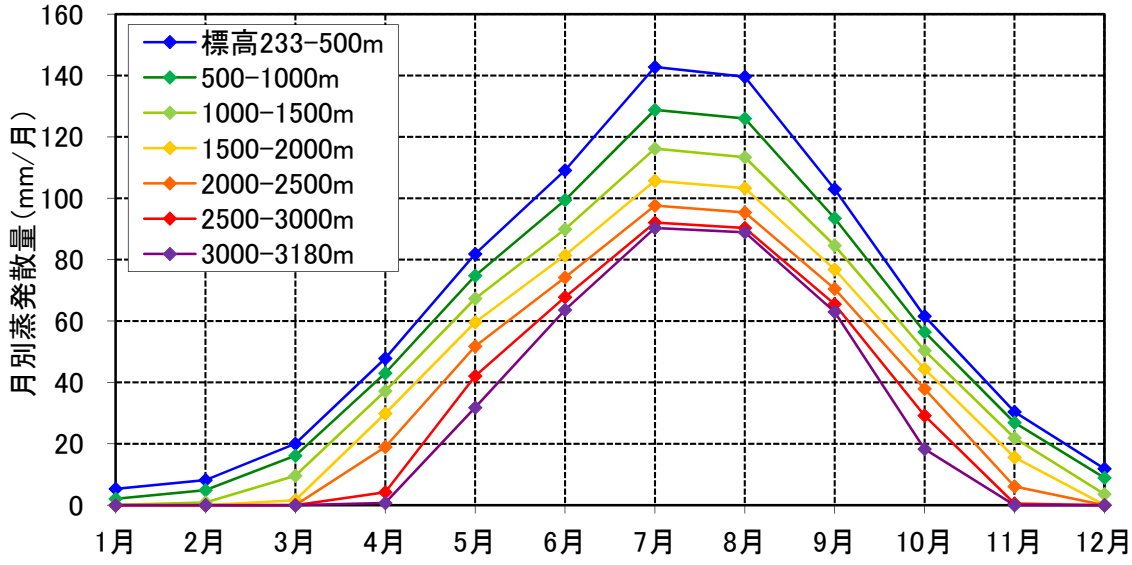


図 18　標高区分ごとの月別蒸発散量計算値

[9] ソーンスウエイト法：『丈の低い緑草で密に覆われた地表面から、水不足の起こらないように給水した場合に失われる蒸発散量』と定義された最大可能蒸発散量を算出する方法

（６） 取水条件

・大井川上流域には電力会社の取水堰[10]があるため、各取水堰で取水・放水を考慮しています。

・東俣堰堤、西俣堰堤、田代取水堰堤、木賊（とくさ）堰堤、滝見堰堤、奥西河内（おくにしごうち）堰堤の取水実績データ（1997～2012 年）から日別に平均した値を作成し、各取水地点で取水するよう与えました。

・トンネルがある場合の予測では、河川維持流量を下回らないよう取水量を与えました。

・なお、モデル検証では実績データ（1997～2012 年）を用いました。

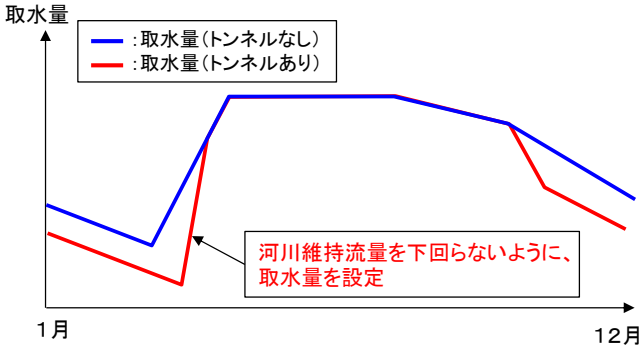


図 19　取水量の設定（イメージ）

図 20　既設導水路トンネル・取水地点

表 8　取水堰と河川維持流量

発電所	取水堰	河川維持流量（m³/秒）
二軒小屋	東俣堰堤	0.11
	西俣堰堤	0.12
田代第二	田代取水堰堤	0.43～1.49
赤石	木賊堰堤	0.37
	滝見堰堤	0.07
赤石沢	奥西河内堰堤	0.05

[10] 取水堰：取水を目的として、川水を堰上げるため河川を横断してつくられる工作物

3　モデルの再現性検証

（1）　検証データ

・降水量等の入力データをもとに算出した河川流量等の予測値と、下表に示す河川流量等の実測値を用いてモデル検証を行いました。

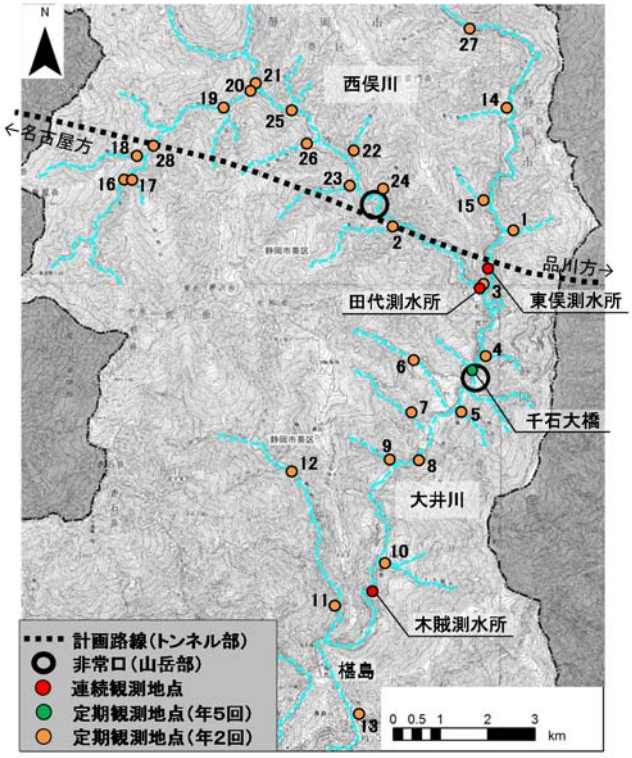
・なお、検証では、河川流量等の実測値との比較により行うことから、入力する降水量は、木賊観測所における観測データに基づき P.14 及び P.15 の内容で推定、補正を行った値としています。

・河川流量等の実測値は、大井川上流部で水資源利用のある取水堰堤の上流地点の測水所（東俣第１測水所、田代測水所、木賊測水所）のほか、計 28 か所の沢等の流量の定期観測地点（豊水期・渇水期）のデータを用いました。

・各地点での予測値と実測値の全体のばらつきが小さくなるようモデルで使用する各種定数の組み合わせを決定し、解析範囲全体でのモデルの再現性を確認しました。

表 9　モデル検証で用いた既往の流量観測データ

対象地域	観測概要	データ期間	地点数
沢等	定期観測（年２回（豊渇水期））	H18～H24 年	28 地点
東俣第１測水所（東俣）	連続観測（日データ）	H9～H23 年	1 地点
田代測水所（大井川）	連続観測（日データ）	H9～H23 年	1 地点
千石大橋（大井川）	定期観測（年５回）	H18～H22 年	1 地点
木賊測水所（大井川）	連続観測（日データ）	H9～H23 年	1 地点



定期観測地点（年２回）

地点番号	観測地点	平成 18 豊水期	18 渇水期	19 中間期	19 豊水期	19 渇水期	20 豊水期	20 渇水期	21 豊水期	21 渇水期	22 豊水期	22 渇水期	23 豊水期	23 渇水期	24 豊水期	24 渇水期
1	ジャガ沢	○	◎	○	○	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	○	◎	◎
2	悪沢	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	大井川※	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	大井川支流	◎	◎	◎	◎									◎	◎	◎
5	車屋沢	◎	◎											◎	◎	◎
6	上千枚沢	○	○	○	○	○								○	○	○
7	下千枚沢	◎	◎											◎	◎	◎
8	大尻沢	◎	◎											◎	◎	◎
9	蛇沢	◎	◎											○	○	◎
10	下木賊沢	○	○											○	○	◎
11	奥西河内※	○	○											○	○	○
12	奥西河内※	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○
13	倉沢	○	○											○	○	○
14	徳右衛門沢			○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎
15	曲輪沢			○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎
16	内無沢			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17	魚無沢			○	○	○						○	○	○	○	○
18	瀬戸沢			○	○	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	○	○	○
19	西小石沢			○	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○	◎	○	◎	◎
20	小西俣			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
21	中俣			○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	◎	◎
22	柾小屋沢			○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	◎	◎	◎
23	蛇抜沢			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
24	柳沢			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
25	上四郎作沢			○	◎	◎	◎	◎	○	◎	○	○	○	◎	◎	◎
26	新蛇抜沢				◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎
27	東俣※						◎	○	○	○	○	○	◎	◎	○	○
28	小西俣										○	◎	◎	◎	◎	◎

概ねの時期：中間期（5～6月）、豊水期（7～9月）、渇水期（11月～1月）
※は河川
◎ 印は0.1m³/s未満の流量

図 21　モデル検証で用いた観測地点

（２） 検証結果

・木賊測水所（連続観測）での検証結果です。

・相関係数は 0.77 です。

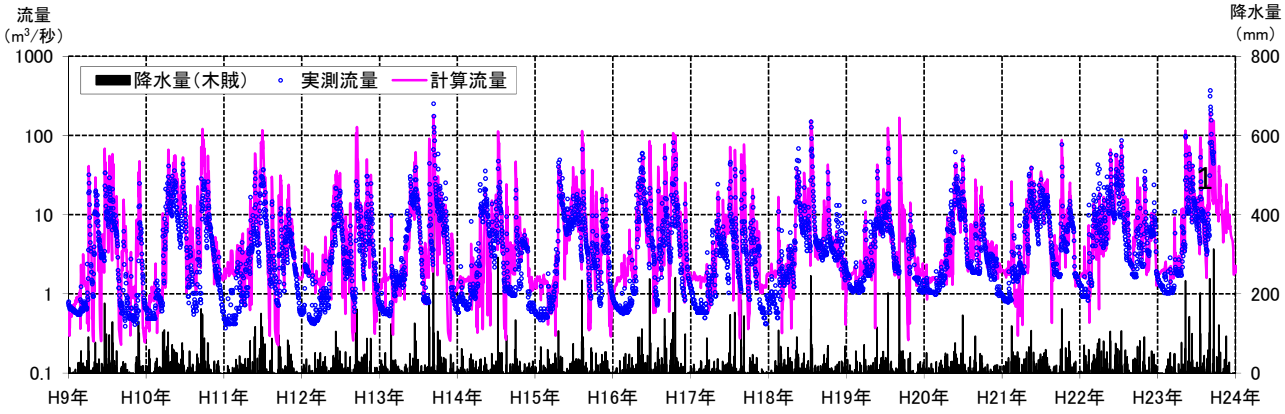


図 22 連続観測地点（木賊測水所）のモデルの再現性確認結果

・沢等の流量の定期観測地点（豊水期・渇水期）との検証結果です。

・相関係数は 0.92 です。

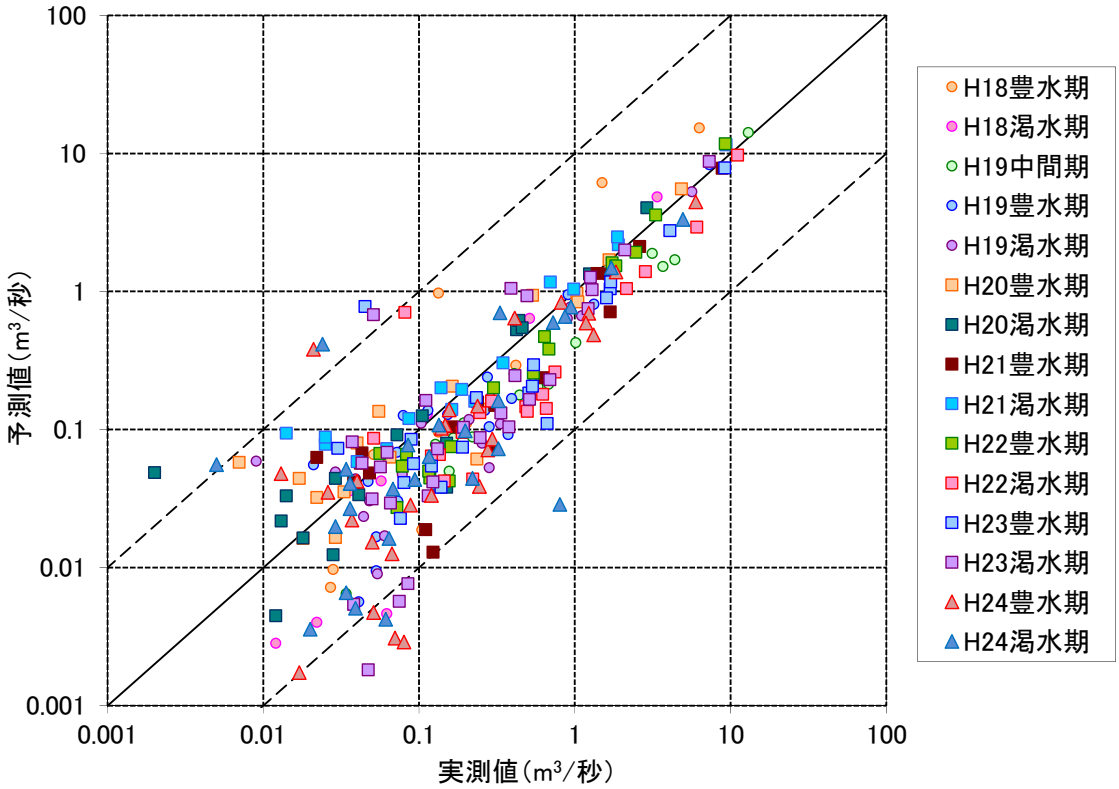


図 23 定期観測地点（年２回）のモデルの再現性確認結果（豊水期・渇水期）

・沢等の流量の定期観測地点のうち、渇水期のデータのみを取り出した検証結果です。

・相関係数は 0.96 です。

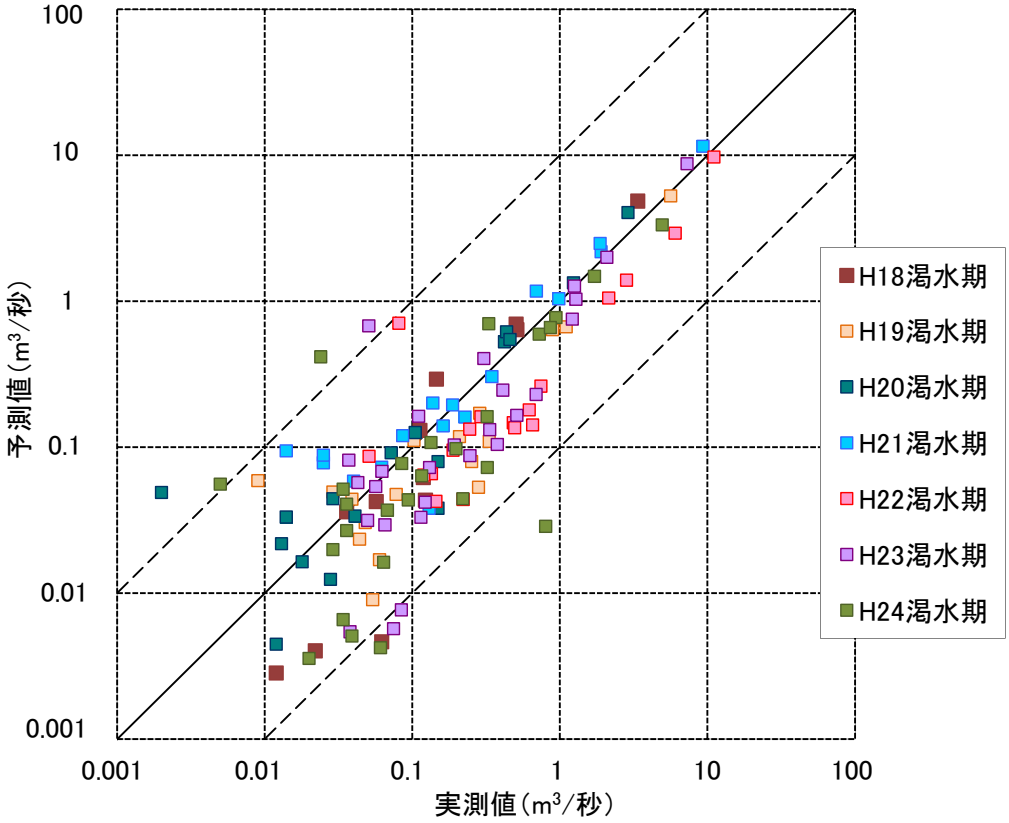


図 24　定期観測地点（年２回）のモデルの再現性確認結果（渇水期のみ）

・沢等の流量の定期観測（豊水期・渇水期）において、流量が 0.1m³/秒未満の少ない沢（図 21 の定期観測地点（年２回）赤丸印）のみを取り出した場合は、予測値と実測値のばらつきが大きくなります。

・一方、流量が多い河川や沢を含めた解析範囲全体では、予測値と実測値のばらつきは小さくなります。

・本解析モデルは、トンネル工事による水資源利用への影響の程度を把握し、水資源の環境保全措置を検討することを目的としており、流量が少ない沢だけでなく、水資源への影響度が大きい流量が多い河川や沢を含めた解析範囲全体において再現性を有することが重要であると考えています。

4　予測結果

（1）　流量予測値

・トンネル工事による水資源利用への影響を予測評価するために、取水堰の上流地点などにおいて、河川の流量の予測を行いました。各予測地点での工事着手前、工事完了時、完成後恒常時の流量を表しています。

・導水路トンネル坑口付近は、トンネル湧水全量を大井川に流した場合の流量を示しています。

・なお、トンネル構造物としての吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等がない状態と仮定し算出しています。

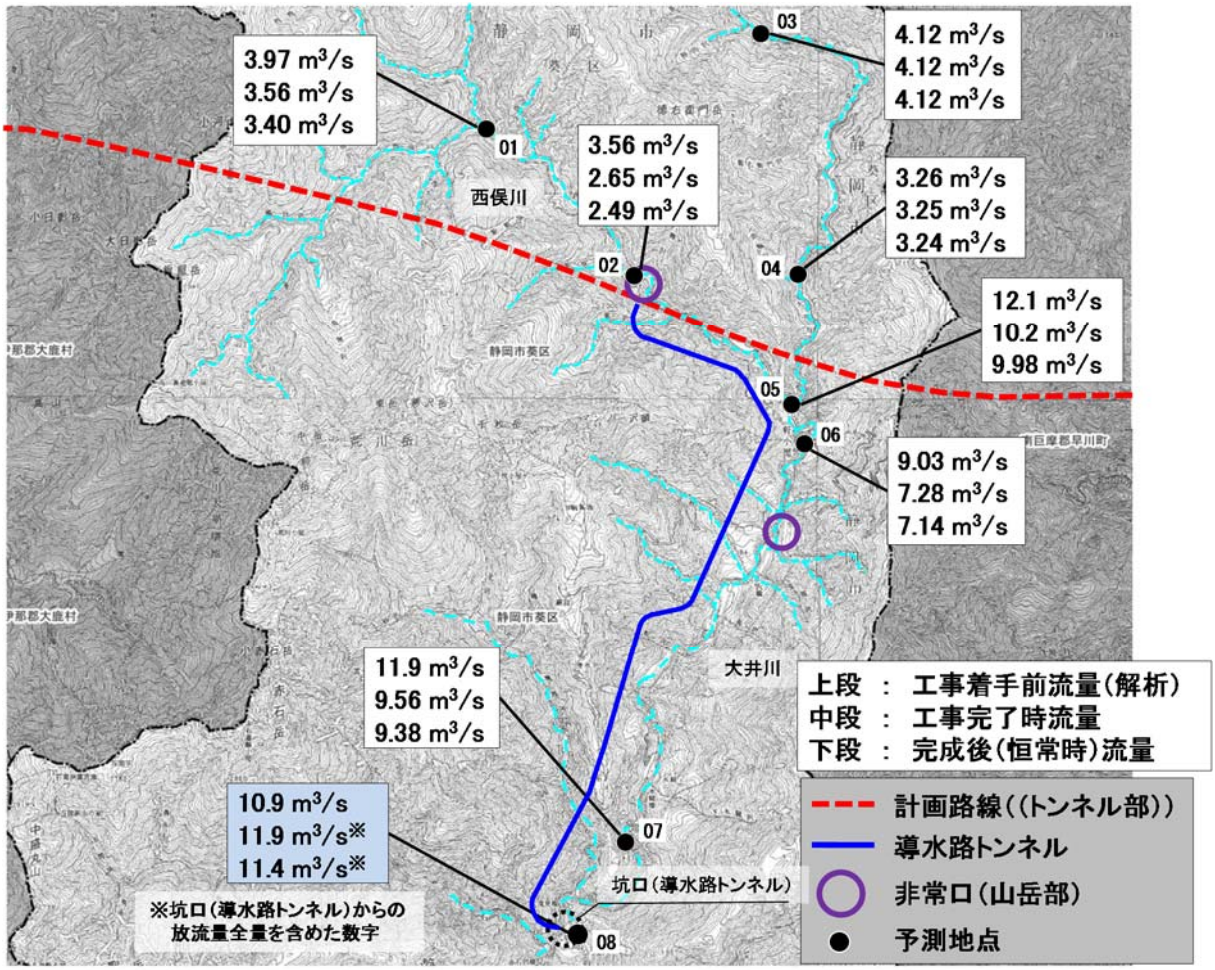


図 25　河川の流量予測結果

・今回の水収支解析モデルでは、解析ブロックを 100m×100m×25m と大きなサイズを用いていること等から、流量が少ない大井川上流域の沢等の流量予測には限界がありますが、参考までに沢等の流量の予測結果を図 26 にお示しします。

・なお、トンネル構造物としての吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等がない状態と仮定し算出しています。

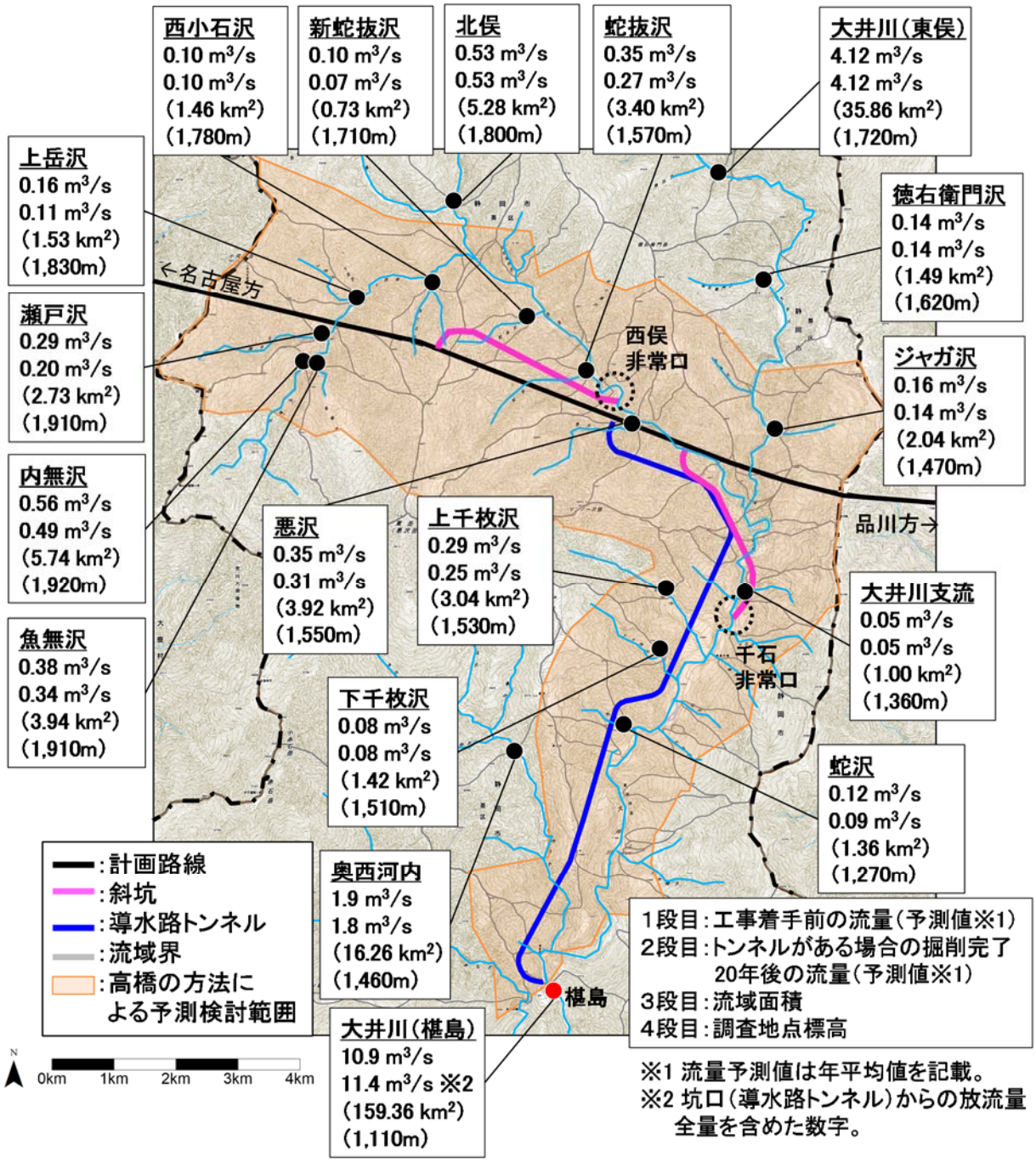


図 26　沢等の流量予測結果（年平均）

（２） トンネル湧水量予測値

・各トンネルの湧水量の予測値をお示しします。

・トンネル構造物としての吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等がない状態と仮定していることなどから、トンネル湧水量は大きめに算出されていると考えております。

・また、断層部掘削時のトンネル湧水量については、その他区間の掘削時に比べて多くなることは表現できているものの、突発的な湧水（数日間というわずかな時間の出来事）は表現できないものと考えております。

表 10　トンネル湧水量予測結果（本坑、先進坑[11]、斜坑[12]）

トンネル名	トンネル湧水量（m^3/秒）	
	掘削完了時	掘削完了 20 年後
本坑	1.27	1.13
先進坑	1.21	1.07
西俣斜坑	0.12	0.10
千石斜坑	0.07	0.07
計	2.67	2.37

表 11　トンネル湧水量予測結果（導水路トンネル）

トンネル名	トンネル湧水量（m^3/秒）	
	掘削完了時	掘削完了 20 年後
導水路トンネル	0.74	0.72

[11] 先進坑：本トンネル（本坑）に平行してその掘削断面外に先行させる作業坑のこと

[12] 斜坑：鉛直や水平方向ではなく、ある斜めの角度をもって掘削された作業坑または坑道

（３） 地下水位（計算上）予測値

１） はじめに

・水収支解析はトンネル工事による水資源への影響の程度を把握し、水資源の環境保全措置を検討することを目的に、トンネル掘削後のトンネル湧水量や河川流量を算出しています。本解析における地下水位は、トンネル湧水量や河川流量の計算過程で地下水流動方程式を用いて随時算出していますが、予測値の算出は行っておりませんでした。

・今回、専門家からのご意見を踏まえ、トンネル掘削前、掘削中、掘削完了後の地下水位の予測値を出力しました。なお、地下水位は、トンネル掘削前においても実測ではなく計算から導いたものであり、トンネル掘削の進行により、そこからどう変化するかを予測していることから、地下水位（計算上）と表記することにします。

・実際の地下水は、浅層や深層といった深度により異なる複数の地下水が存在する可能性が高いですが、本解析では、地下水は浅層と深層を区分することはできないため、浅層から深層までを１つの帯水層と仮定しました（１メッシュあたりの地下水位は１つとしました）。

・このため、解析結果は、大井川上流域の広域的な地下水の動きを把握するもとしては一定の適用性はありますが、解析結果から沢単位など局所的な地下水の分布や変化を精度よく把握することは難しいと考えています。

・また、「１．解析モデルの考え方」において述べたように、モデル解析にあたっては、トンネル湧水は大きめにして、施設計画上、安全側の見積もりとなるように、断層が存在すると考えられるブロックは一括りで断層または割れ目集中帯として透水係数を設定したことから、断層等では地下水位（計算上）予測値の低下量も大きく算出されているものと考えています。

２） 工事着手前の地下水位（計算上）予測値

・工事着手前の地下水位（計算上）予測値は、予測に先立って事前解析により作成しました。

・事前解析では、開始時の地下水位を地表面とし、予測で用いた同じ気象条件を与えて１０年間の繰り返し計算を行い、概ね安定した状態の地下水位（計算上）分布を作成し、これを解析におけるトンネルがない場合（工事着手前）の地下水位（計算上）予測値としました。

・トンネルがない場合の地下水位（計算上）予測値の等高線図をP.28にお示しします。

・なお、計画路線直上において、事前解析によるトンネルがない場合の地下水位（計算上）予測値の標高が最も高い地点では、地下水位（計算上）予測値はトンネルがない場合において地表面から約 350m地下にあり、標高としては約 2,200mとなります。

３） 工事着手後の地下水位(計算上)予測値

・地下水のトンネルへの湧出量は、P.5 の図 7　トンネル湧出量の算出方法に示すとおり、トンネルから地下水位（計算上）までの高さに応じて変化します。トンネルモデルを含むあるメッシュに着目した場合、工事前に高い位置にあった地下水位（計算上）が、トンネル掘削に伴い徐々に低下し、これに伴いトンネルへの湧出量も徐々に減少していきます。トンネルへの湧出量と地下への浸透量が均衡した段階で、地下水位（計算上）は安定した状態となります。すなわち、地下水の収支において、流入量（地下への浸透量Q_r＋周辺からの地下水流動量）と流出量（トンネル湧水量Q_T＋地表への湧出量Q_G＋周辺への地下水流動量）が釣り合った状態となっています。

・トンネル掘削による地下水位（計算上）予測値の低下量及びそれに伴う沢等の流量の減少予測について、以下にご説明します。

・なお、地下水位（計算上）予測値の低下量は、トンネルがない場合の地下水位（計算上）予測値からの低下量であり、地表面からの低下量ではありません。

（地下水位（計算上）予測値の低下量）

・P.29～P.42 において、工事着手からトンネル掘削完了までの１年毎の低下量、トンネル掘削完了から２０年後までの５年毎の低下量をお示しします。

・トンネル掘削工事の進捗とともにトンネル付近から地下水位（計算上）予測値の低下域は拡大し、トンネル周辺の地下水位（計算上）予測値の低下量も徐々に大きくなります。

・地下水位（計算上）予測値の低下域の拡大や低下量の進行は、トンネル掘削完了後の１５年後には、ほぼ収束した状態となっています。

・地下水位（計算上）予測値の低下域（低下量１m以上）は、トンネル周辺の一定範囲に収まる結果となっています。

・地下水位（計算上）予測値の低下量が最も大きいのは、トンネル周辺の山の尾根部であり、局所的に３００m以上低下する結果となっています。これは、工事着手前の地下水位（計算上）予測値がトンネル位置より相当高い位置に

あり、トンネルへの湧出量が流入量と均衡するまで低下し続けるためです。一方、谷部では大きな低下量は見られません。これは、谷部では、尾根部に比べると地下水位が低く、谷部の沢等から地下への浸透量が多くなることによるものです。

（解析範囲の南側境界付近の低下量）

・専門家からのご意見を踏まえ、南北方向の断面において地下水位（計算上）予測値の変化を確認しました。

・地下水位（計算上）予測値の低下が、トンネル周辺からどのあたりまで広がっているのかを確認するため、椹島付近の南北方向の断面における地下水位（計算上）予測値の縦断図をP.43の図 42のとおり作成しました（切断位置は、P.42の図 41に記載）。本坑等の掘削に伴って、トンネル周辺の地下水位（計算上）予測値の低下が確認されるものの、その範囲は、奥西河内までの範囲に収まっています。

・また、解析範囲の南側境界付近の地下水位（計算上）予測値の変化を確認するため、P.44の図 43の①～⑤の断面において、地下水（計算上）予測値の縦断図を作成しました。その結果はP.45～P.54にお示しします。確認を実施した位置は、解析範囲での低下域が最も南側となると予測した椹島付近を含む位置１箇所、尾根部で低下域が南側へ広がる山梨県境付近２箇所、長野県境付近の位置１箇所としました。また、参考として東西方向１箇所においても確認を実施しました。

・南北方向の地下水位（計算上）予測値の低下量は、解析範囲の南側境界に向かって低下量は小さくなる傾向にあり、南側境界付近で特異な変化は見られませんでした。また、東西方向については、⑤の断面で見ても同様に境界付近で特異な変化はありませんでした。これらのことから、境界条件が境界部での地下水位（計算上）予測値の計算結果に影響を与えていることはなく、また、低下域の範囲が解析範囲より大きく外側に広がっていることは無いと考えています。

・③及び⑤の断面においては、導水路トンネルの掘削に伴って周辺の地下水位（計算上）予測値の低下が確認されるものの、その範囲は、③の断面では赤石沢、⑤の断面では大井川（右岸）までの範囲に収まっています。

・②及び④の断面においては、本坑等の掘削に伴い県境付近の尾根部に沿って地下水位（計算上）予測値の低下が確認されるものの、その範囲は、②の断面では黒桂河内（つづらごうち）川、④の断面では南沢までの範囲に収まっ

ています。

・①の断面においては、解析範囲の南側境界においても地下水位（計算上）の予測値の低下が確認されますが、低下量は南側境界に近づくにつれて小さくなっています。この解析範囲内における低下傾向を考慮すると、解析範囲の南側境界の外方において、低下量は一定の範囲内で収束するものと考えています。

（沢等の流量減少予測）

・地下水位の低下に伴い、地下水の地表への湧出量が減少し、沢等における流量が減少することが予想されます。

・本解析では、流量が少ない大井川上流域の沢等の流量予測には限界がありますが、参考までに渇水期における沢等の流量の予測結果を P.55 の図　49 にお示しします。

・トンネル掘削完了の２０年後において、地下水位（計算上）予測値が低下することにより、渇水期の沢等の流量の予測値としては、最大で７割程度減少する結果となっています。

・なお、トンネル掘削による地下水位（計算上）予測値の低下が見られる範囲は、トンネル周辺の一定範囲に収まっており、トンネルから離れている大井川（東俣）や北俣においては、流量は減少しない結果となっています。

・沢等の流量減少が生じたとしても、トンネル湧水を大井川に流すことで大井川中下流域の水資源利用には影響を生じさせないようにいたします。

・一方で、流量減少が予測される沢等の周辺における生態系への影響については、回避することが難しいため、流量等のモニタリングや代償措置等の環境保全措置を実施してまいります。

・実際のトンネル施工においては、吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等を施工し、トンネル周辺の地山に湧水抑制対策としての薬液注入を行っていくことで、トンネル湧水量は解析値よりも小さくなり、地下水位の低下は、計算上の予測値よりも小さくなると考えています。

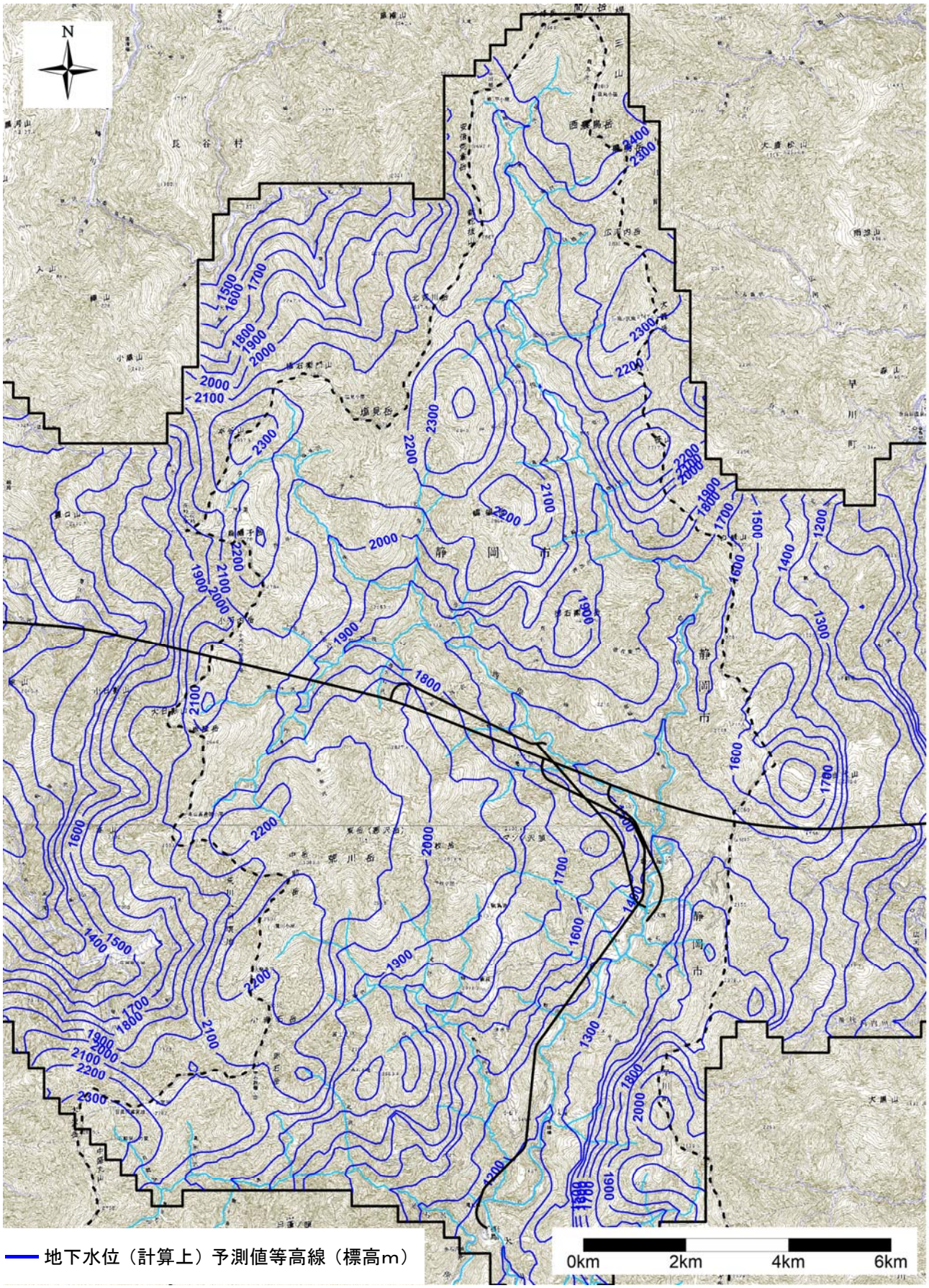


図 27　トンネルがない場合の地下水位（計算上）予測値等高線図

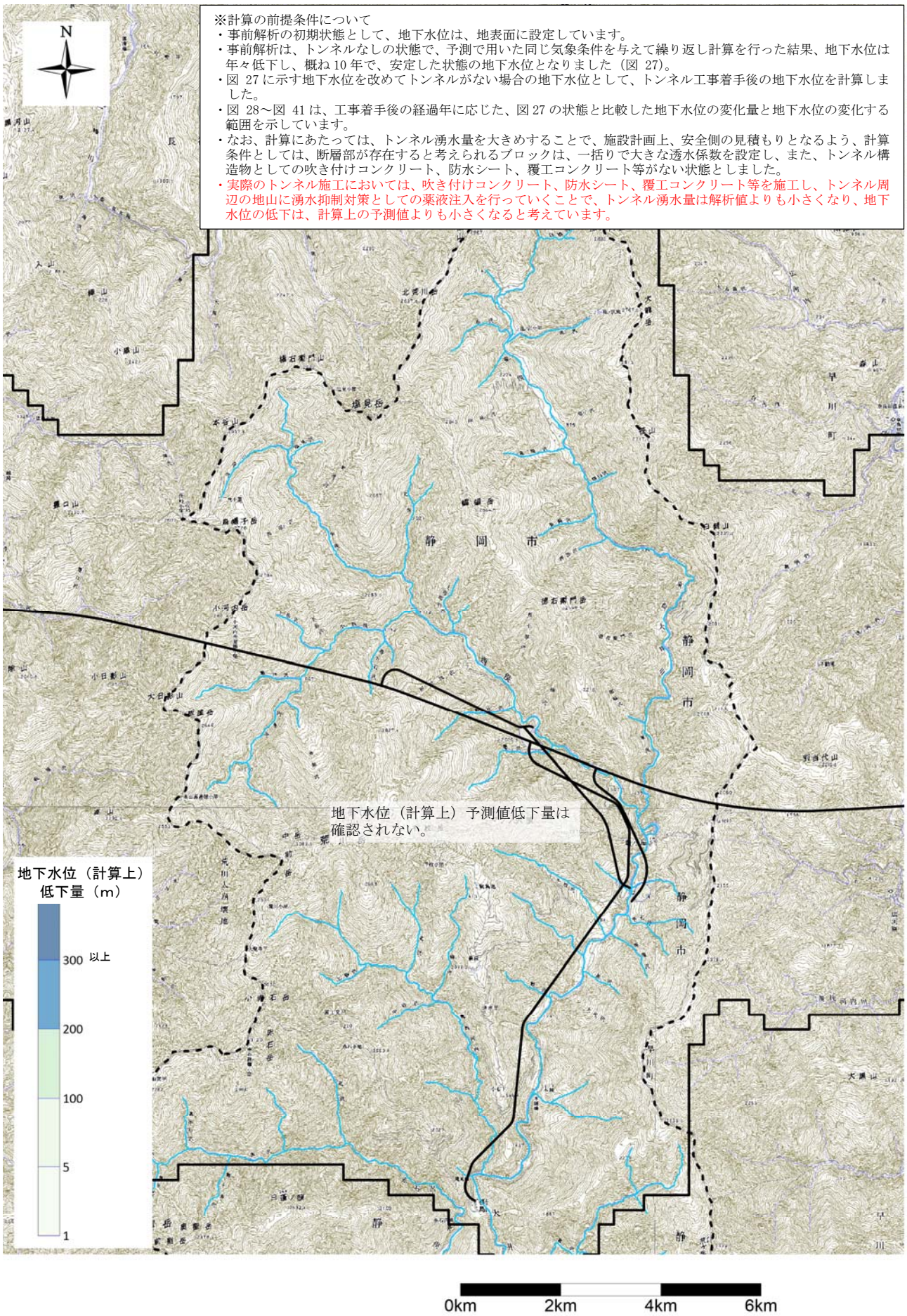


図 28　地下水位（計算上）予測値低下量図（工事着手１年後）

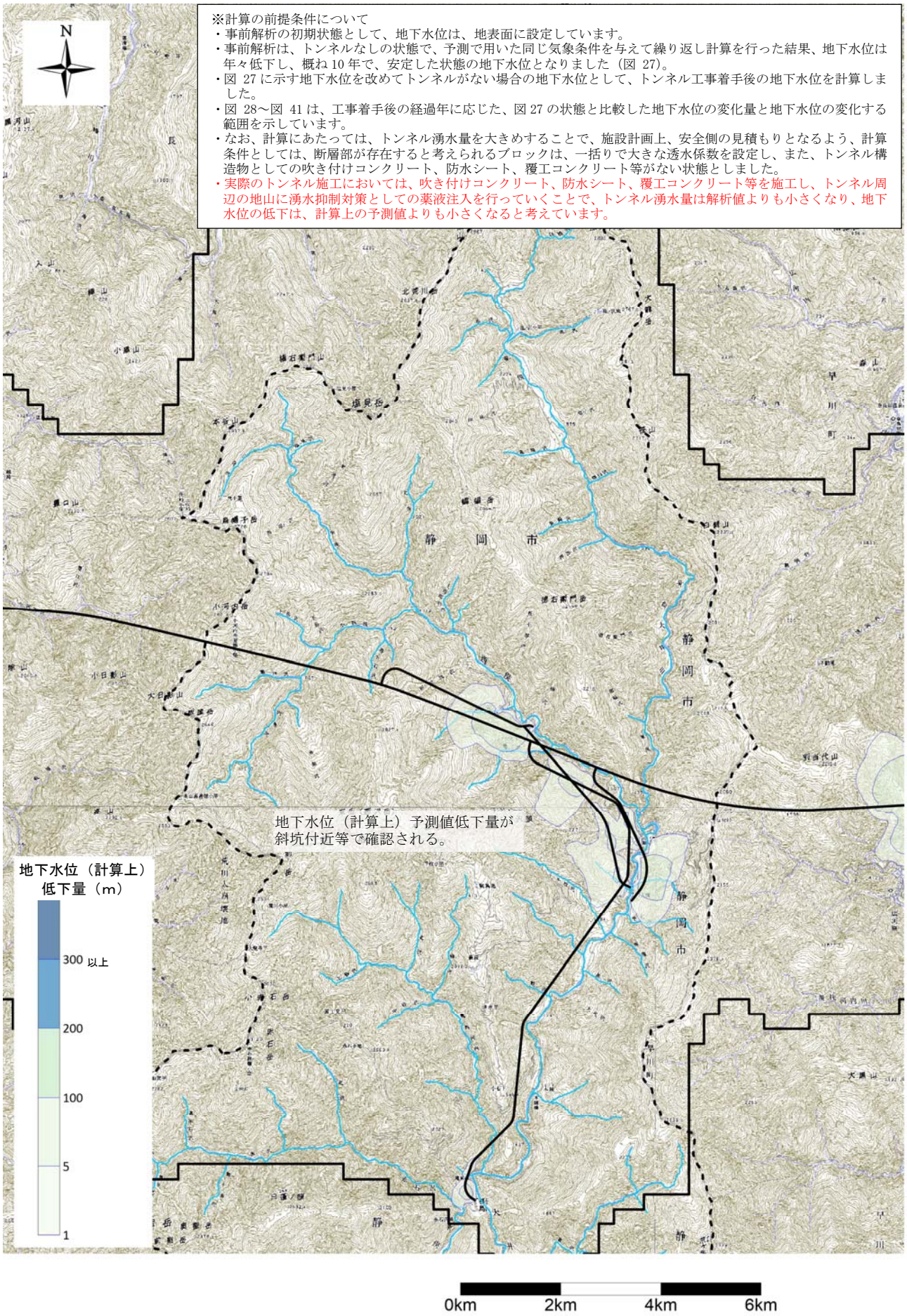


図 29　地下水位（計算上）予測値低下量図（工事着手２年後）

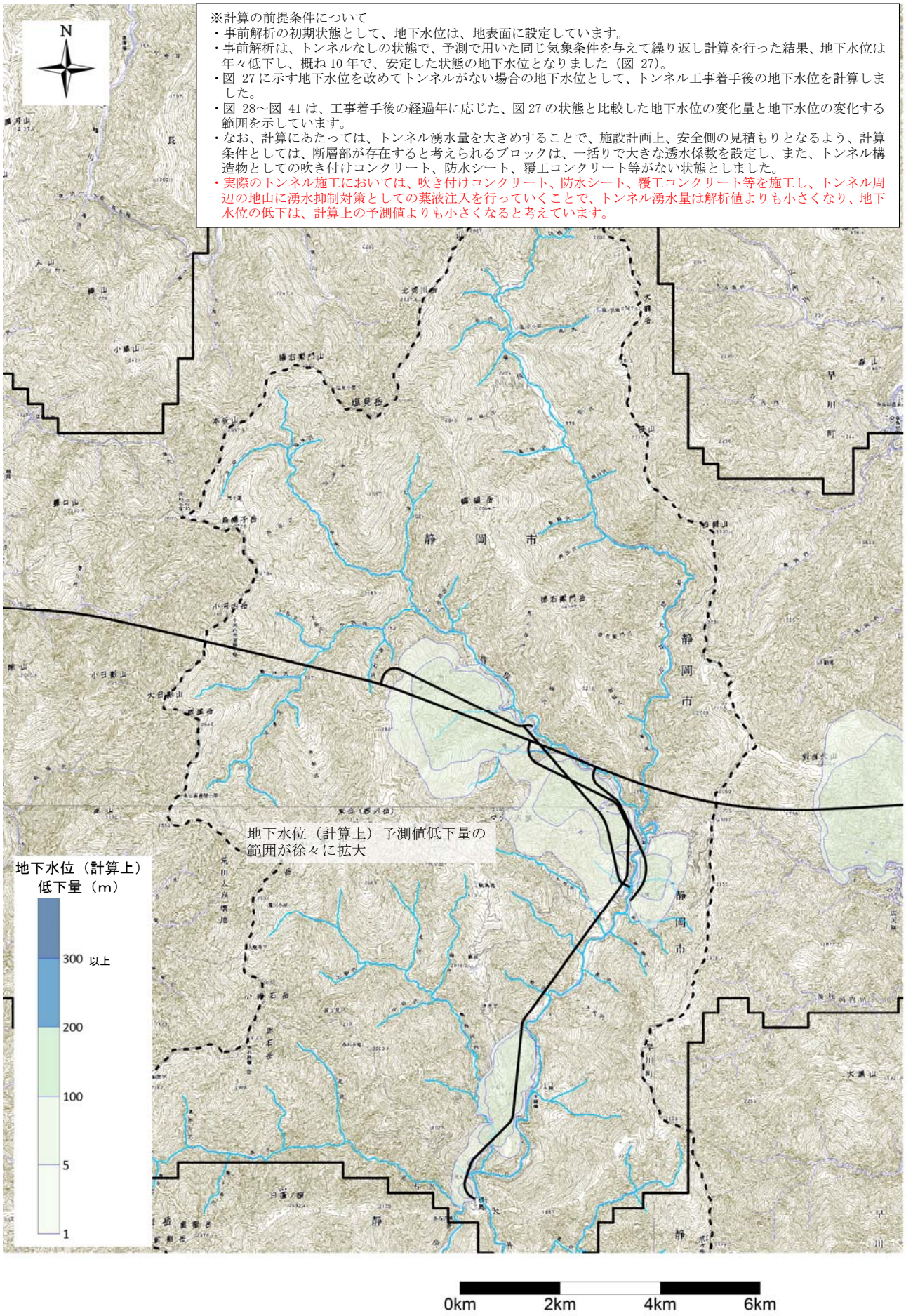


図 30　地下水位（計算上）予測値低下量図（工事着手３年後）

※計算の前提条件について
・事前解析の初期状態として、地下水位は、地表面に設定しています。
・事前解析は、トンネルなしの状態で、予測で用いた同じ気象条件を与えて繰り返し計算を行った結果、地下水位は年々低下し、概ね 10 年で、安定した状態の地下水位となりました（図 27）。
・図 27 に示す地下水位を改めてトンネルがない場合の地下水位として、トンネル工事着手後の地下水位を計算しました。
・図 28～図 41 は、工事着手後の経過年に応じた、図 27 の状態と比較した地下水位の変化量と地下水位の変化する範囲を示しています。
・なお、計算にあたっては、トンネル湧水量を大きめすることで、施設計画上、安全側の見積もりとなるよう、計算条件としては、断層部が存在すると考えられるブロックは、一括りで大きな透水係数を設定し、また、トンネル構造物としての吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等がない状態としました。
・実際のトンネル施工においては、吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等を施工し、トンネル周辺の地山に湧水抑制対策としての薬液注入を行っていくことで、トンネル湧水量は解析値よりも小さくなり、地下水位の低下は、計算上の予測値よりも小さくなると考えています。

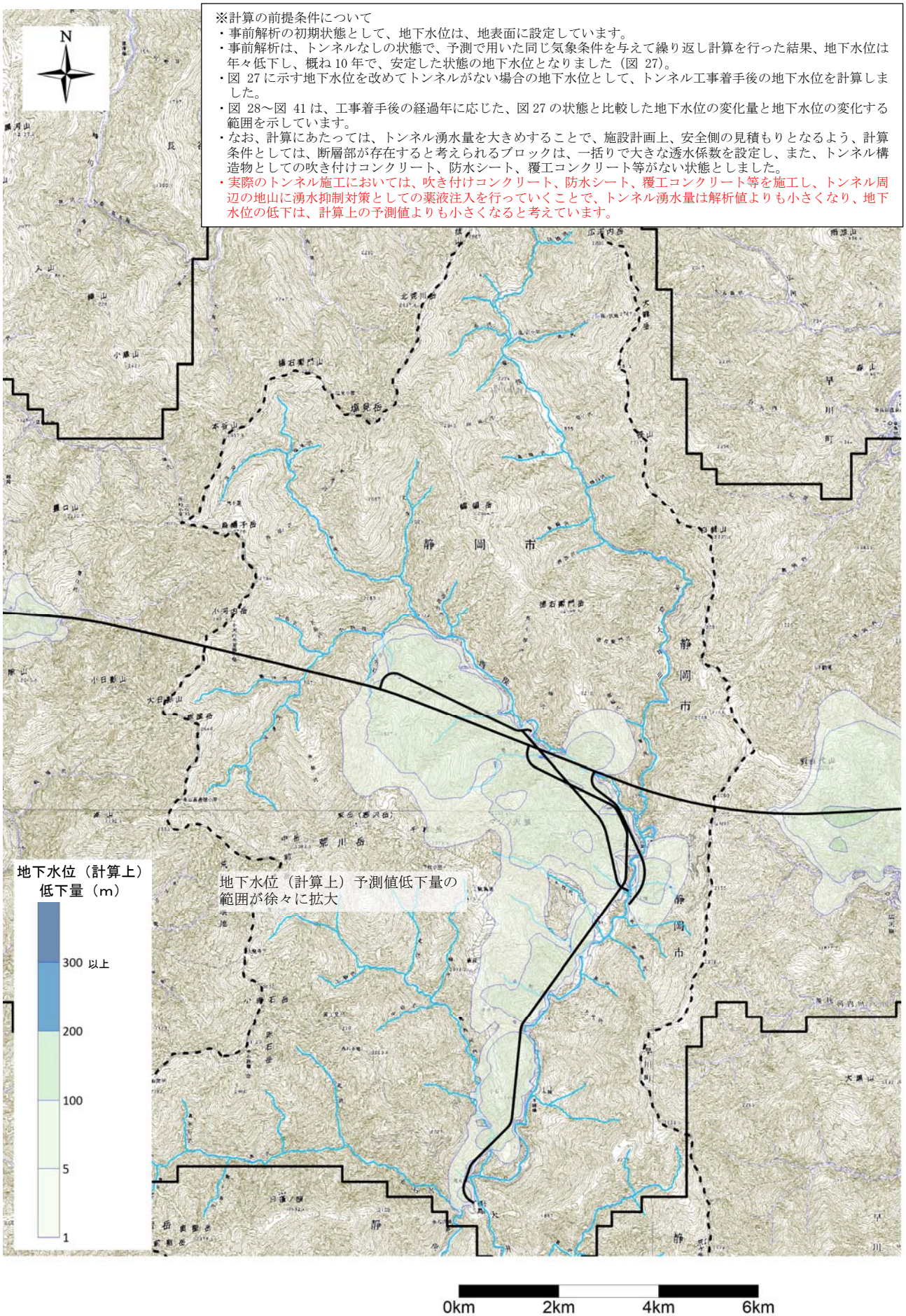


図 31　地下水位（計算上）予測値低下量図（工事着手４年後）

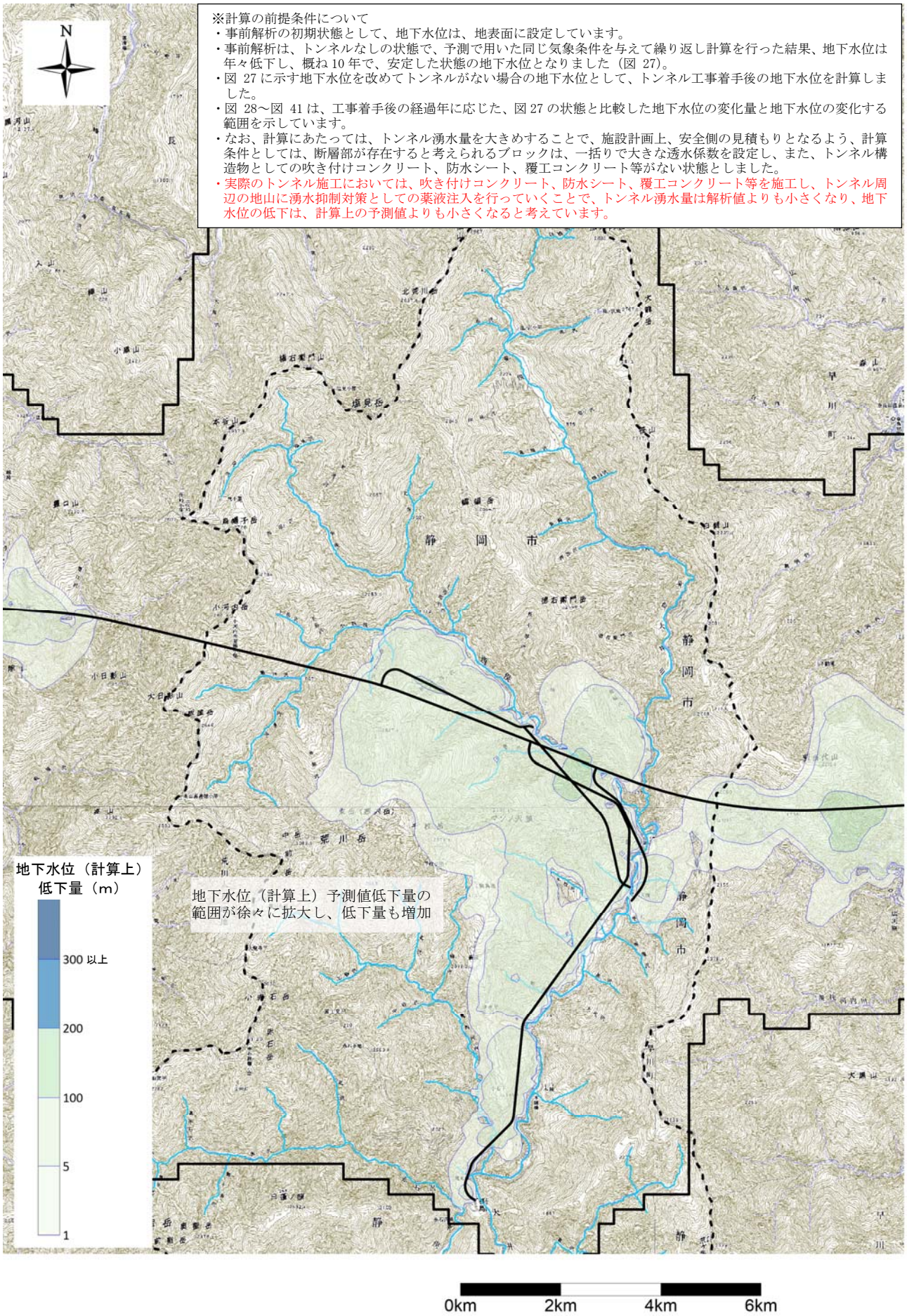


図 32　地下水位（計算上）予測値低下量図（工事着手５年後）

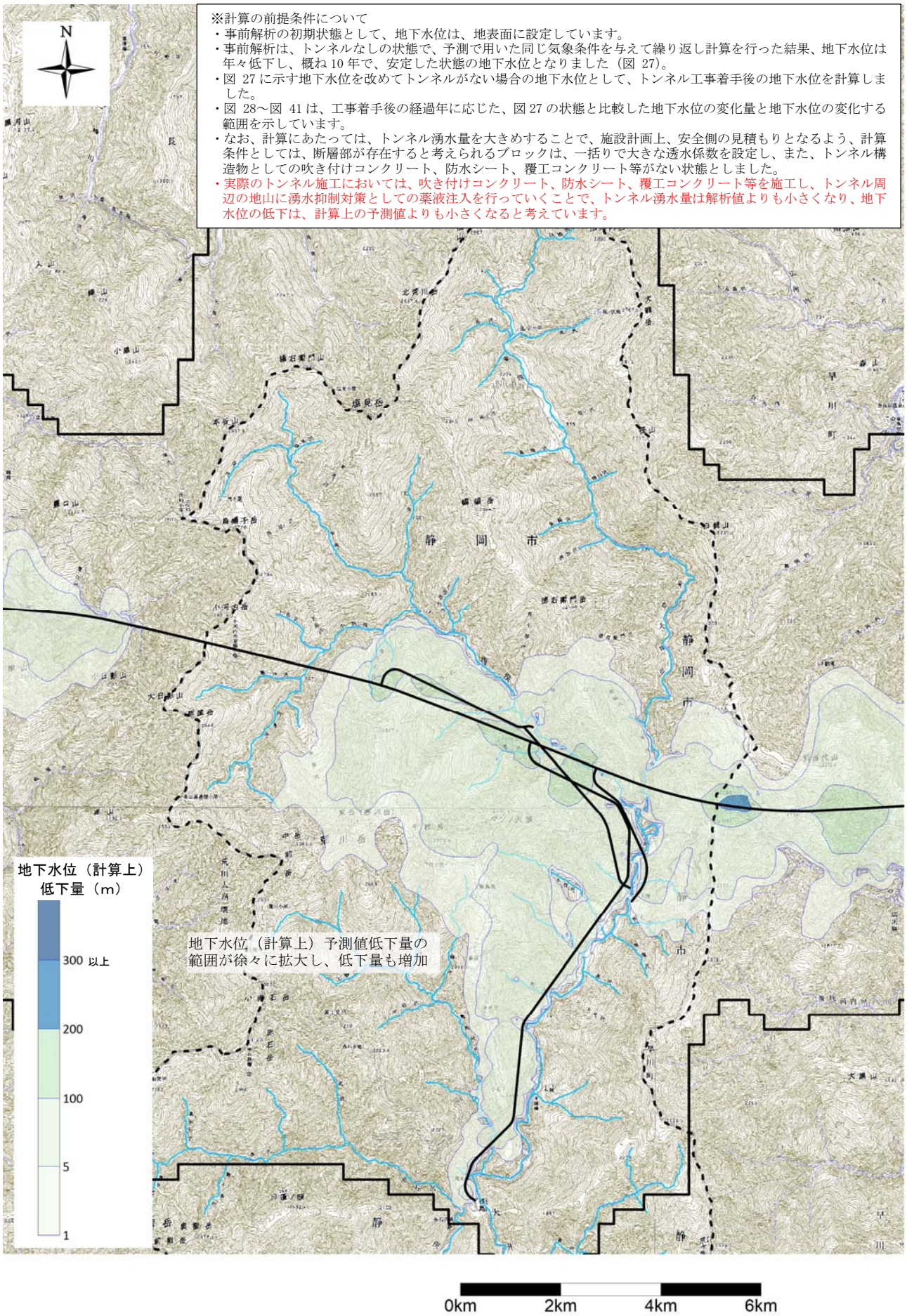


図 33　地下水位（計算上）予測値低下量図（工事着手６年後）

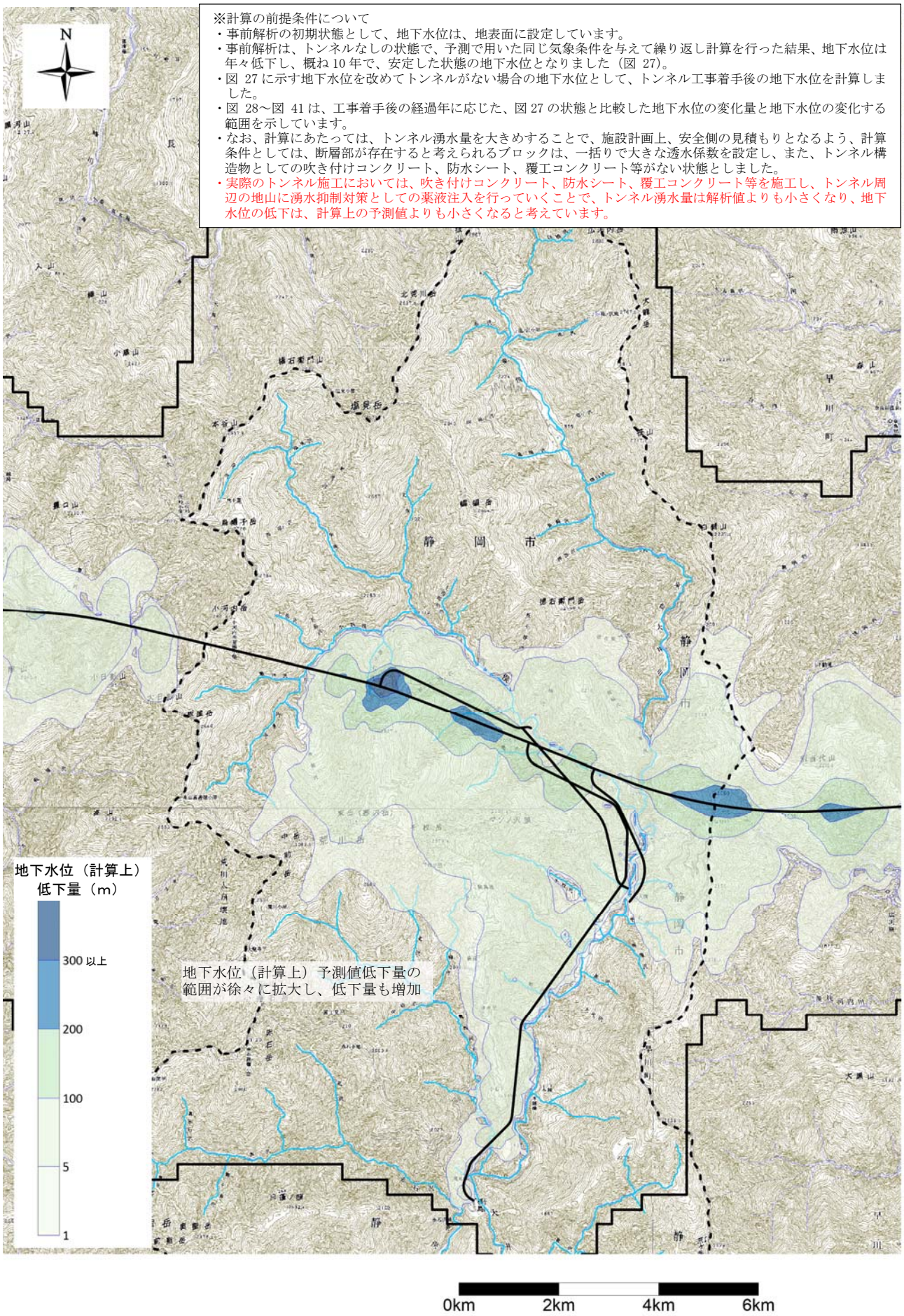


図 34　地下水位（計算上）予測値低下量図（工事着手７年後）

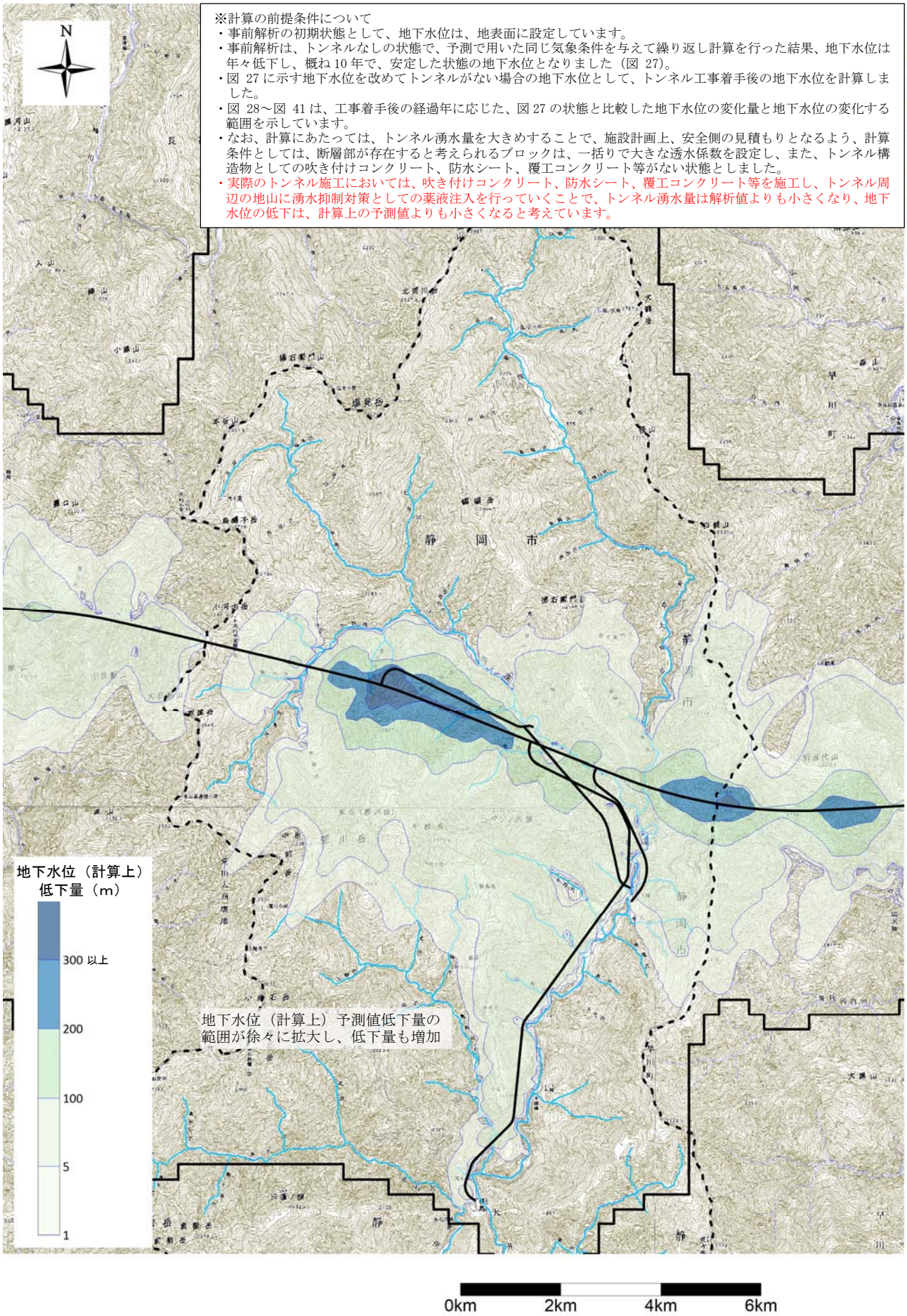


図 35　地下水位（計算上）予測値低下量図（工事着手８年後）

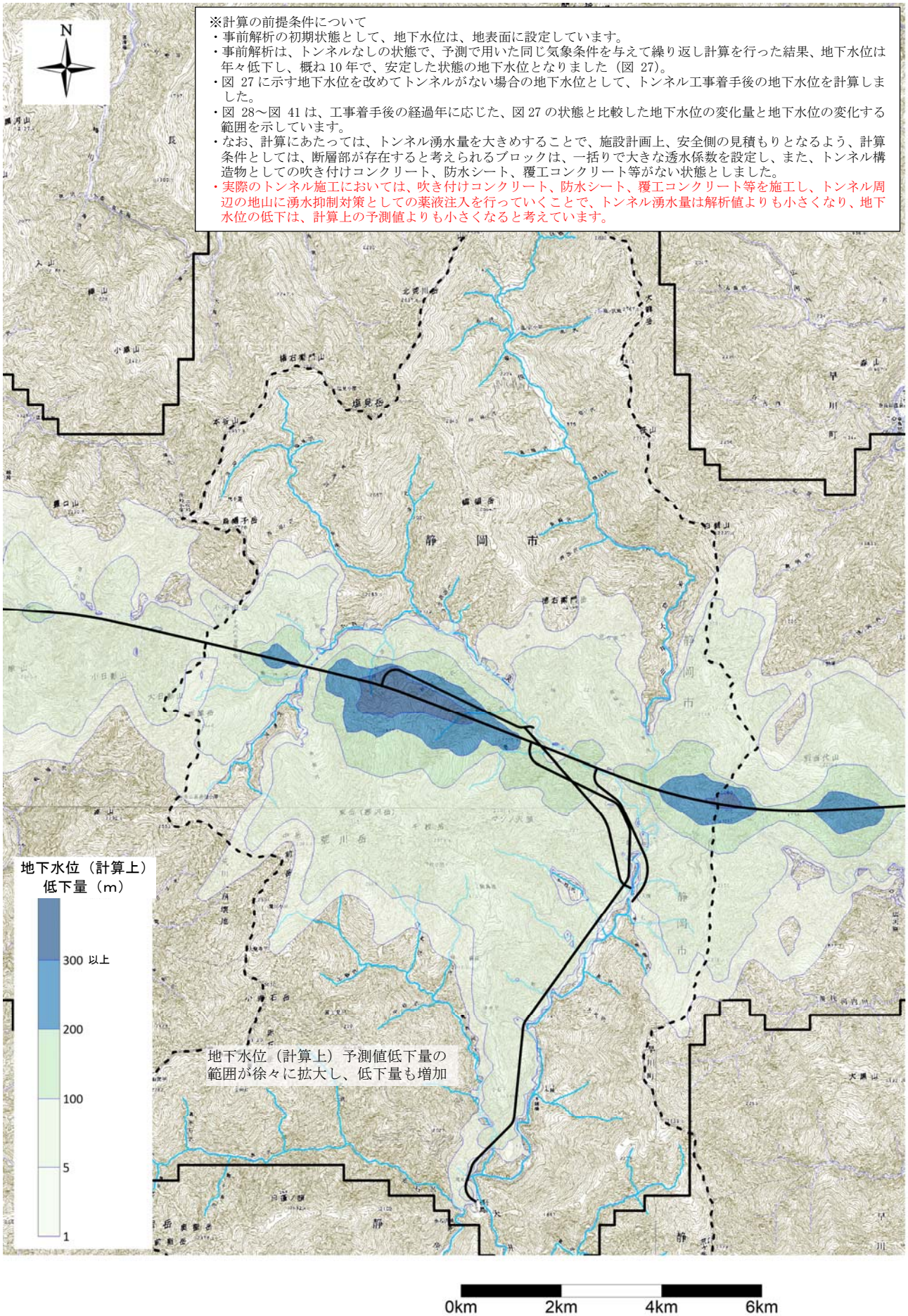


図 36　地下水位（計算上）予測値低下量図（工事着手９年後）

※計算の前提条件について
・事前解析の初期状態として、地下水位は、地表面に設定しています。
・事前解析は、トンネルなしの状態で、予測で用いた同じ気象条件を与えて繰り返し計算を行った結果、地下水位は年々低下し、概ね 10 年で、安定した状態の地下水位となりました（図 27）。
・図 27 に示す地下水位を改めてトンネルがない場合の地下水位として、トンネル工事着手後の地下水位を計算しました。
・図 28～図 41 は、工事着手後の経過年に応じた、図 27 の状態と比較した地下水位の変化量と地下水位の変化する範囲を示しています。
・なお、計算にあたっては、トンネル湧水量を大きめすることで、施設計画上、安全側の見積もりとなるよう、計算条件としては、断層部が存在すると考えられるブロックは、一括りで大きな透水係数を設定し、また、トンネル構造物としての吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等がない状態としました。
・実際のトンネル施工においては、吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等を施工し、トンネル周辺の地山に湧水抑制対策としての薬液注入を行っていくことで、トンネル湧水量は解析値よりも小さくなり、地下水位の低下は、計算上の予測値よりも小さくなると考えています。

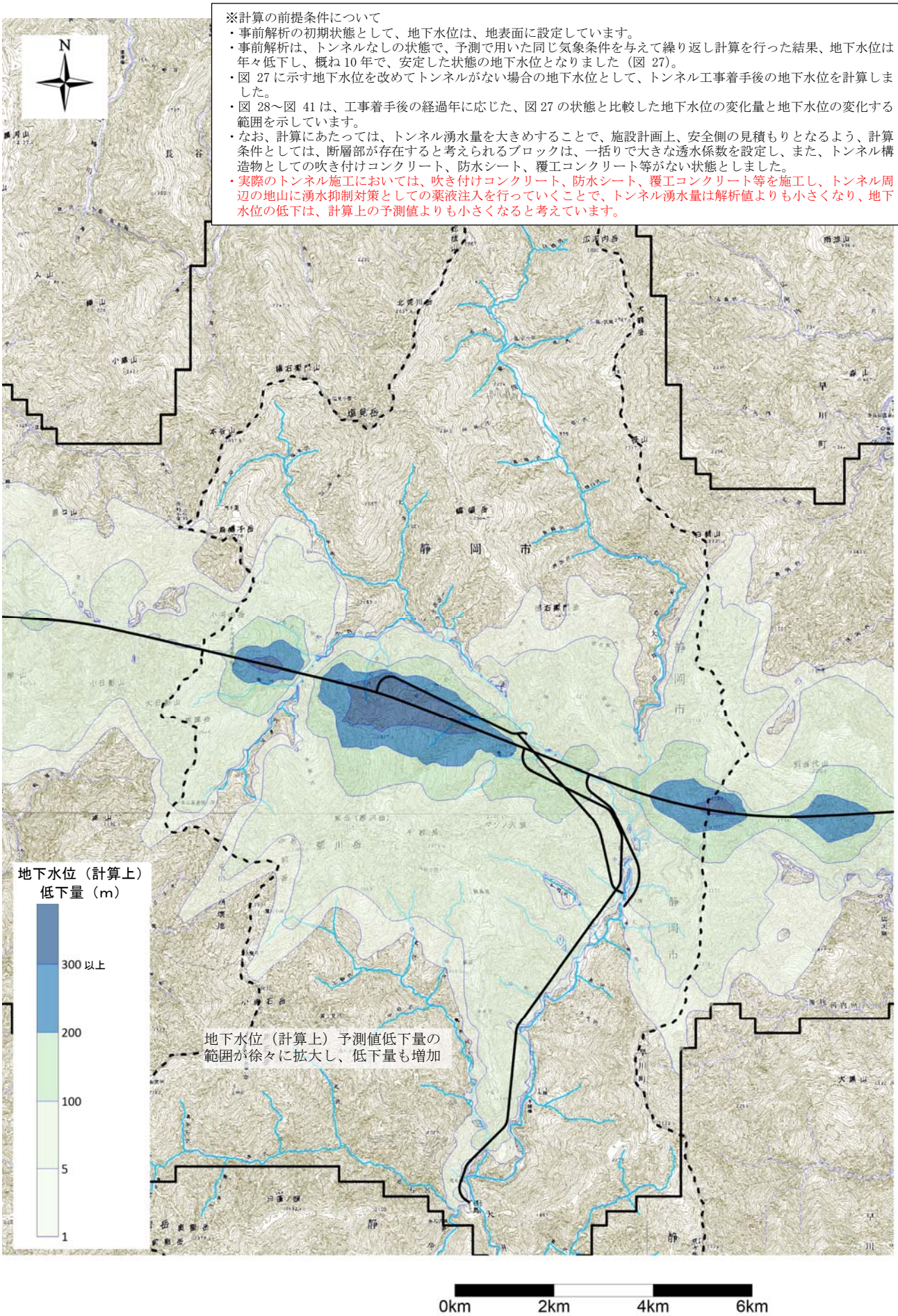


図 37　地下水位（計算上）予測値低下量図（トンネル掘削完了時：工事着手１０年後）

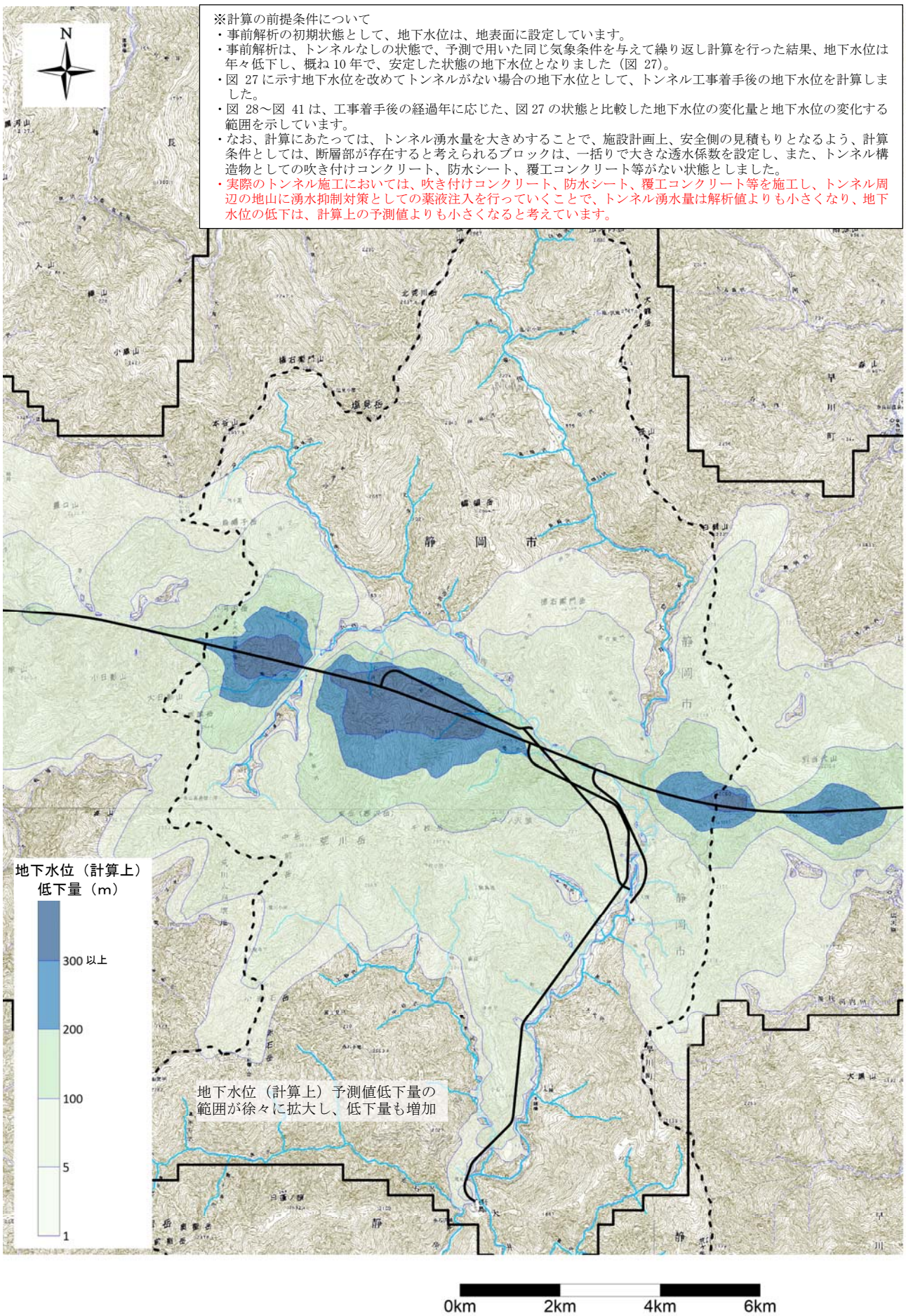


図 38　地下水位（計算上）予測値低下量図（トンネル掘削完了５年後）

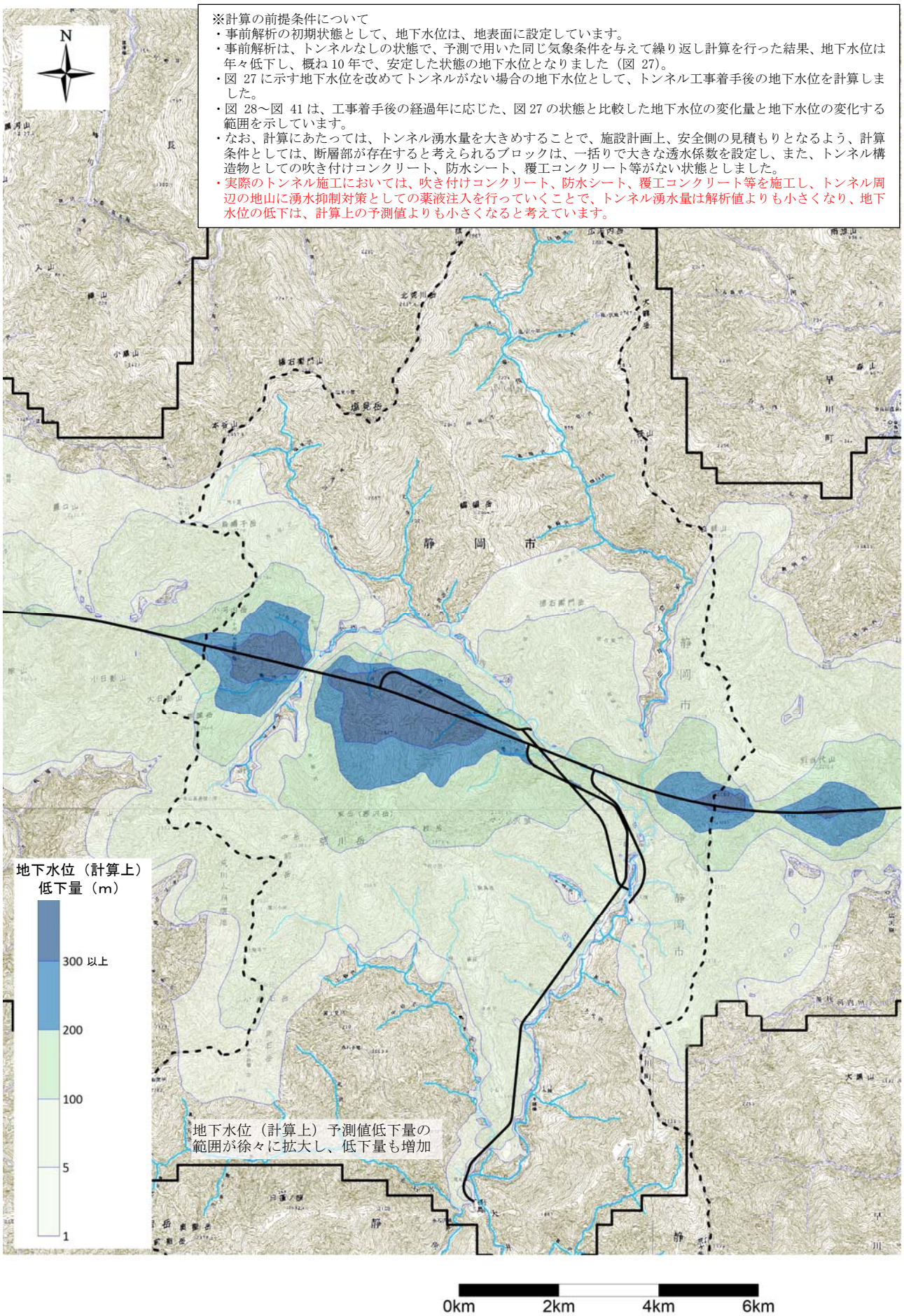


図 39　地下水位（計算上）予測値低下量図（トンネル掘削完了１０年後）

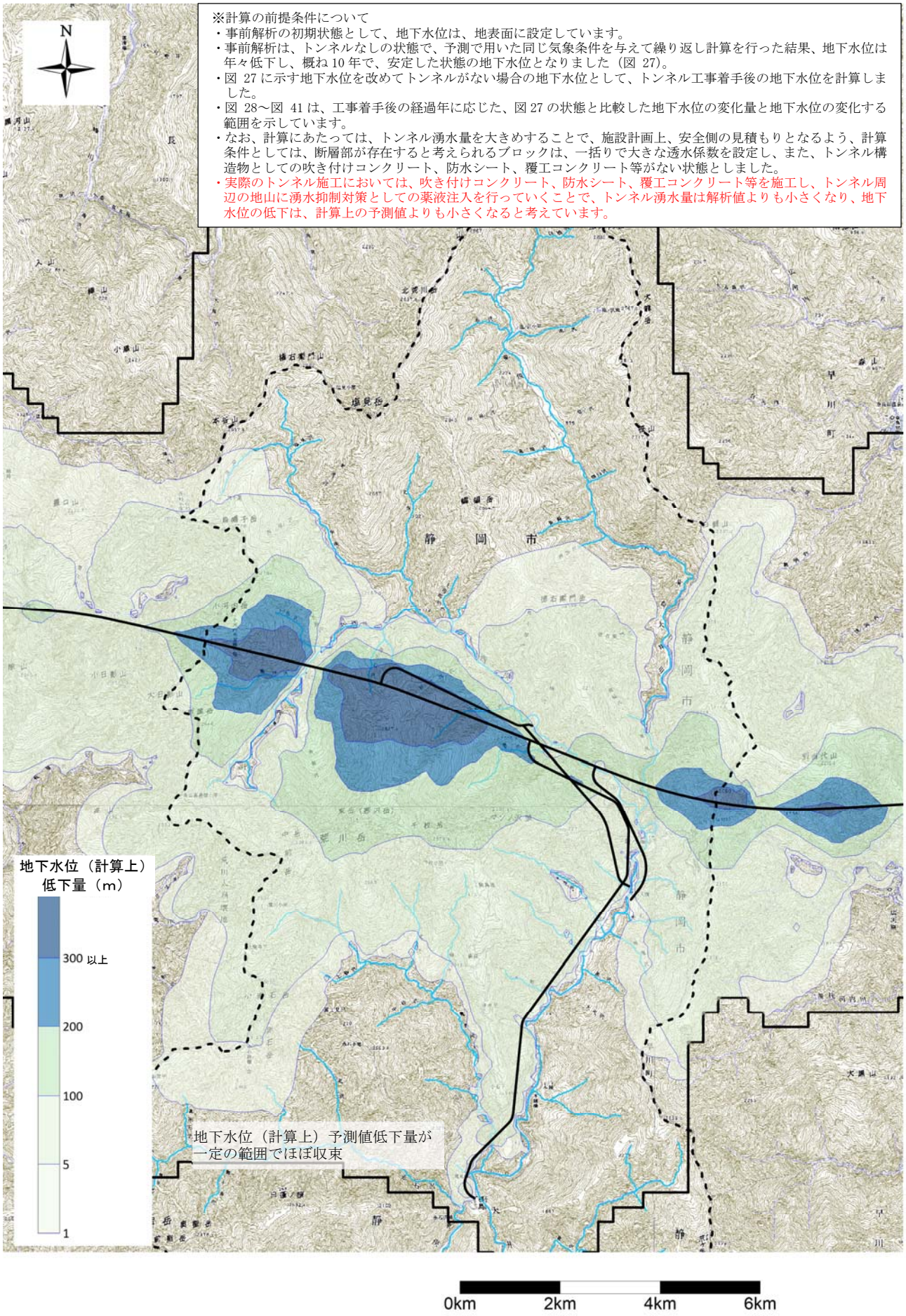


図 40　地下水位（計算上）予測値低下量図（トンネル掘削完了１５年後）

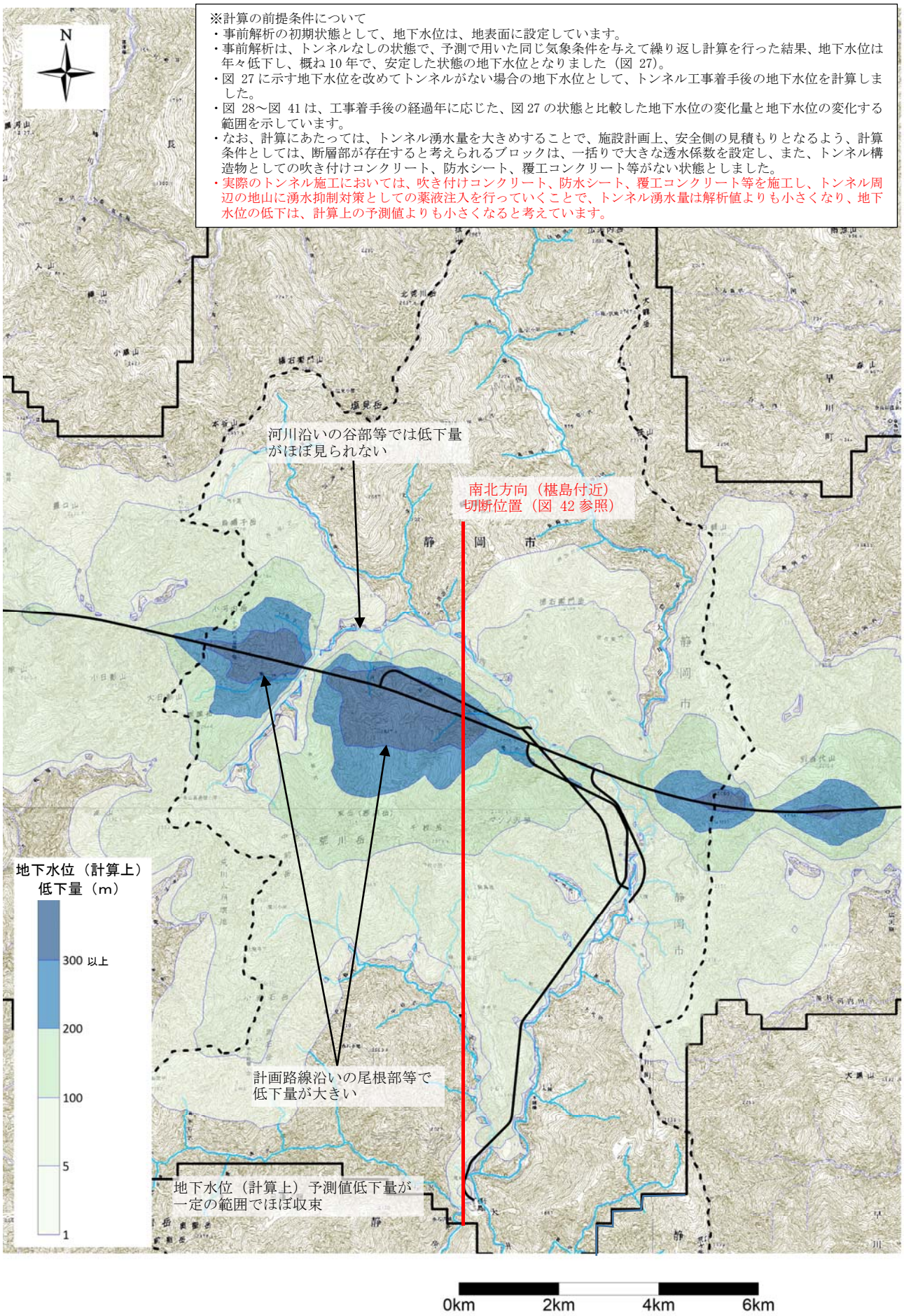


図 41　地下水位（計算上）予測値低下量図（トンネル掘削完了２０年後）

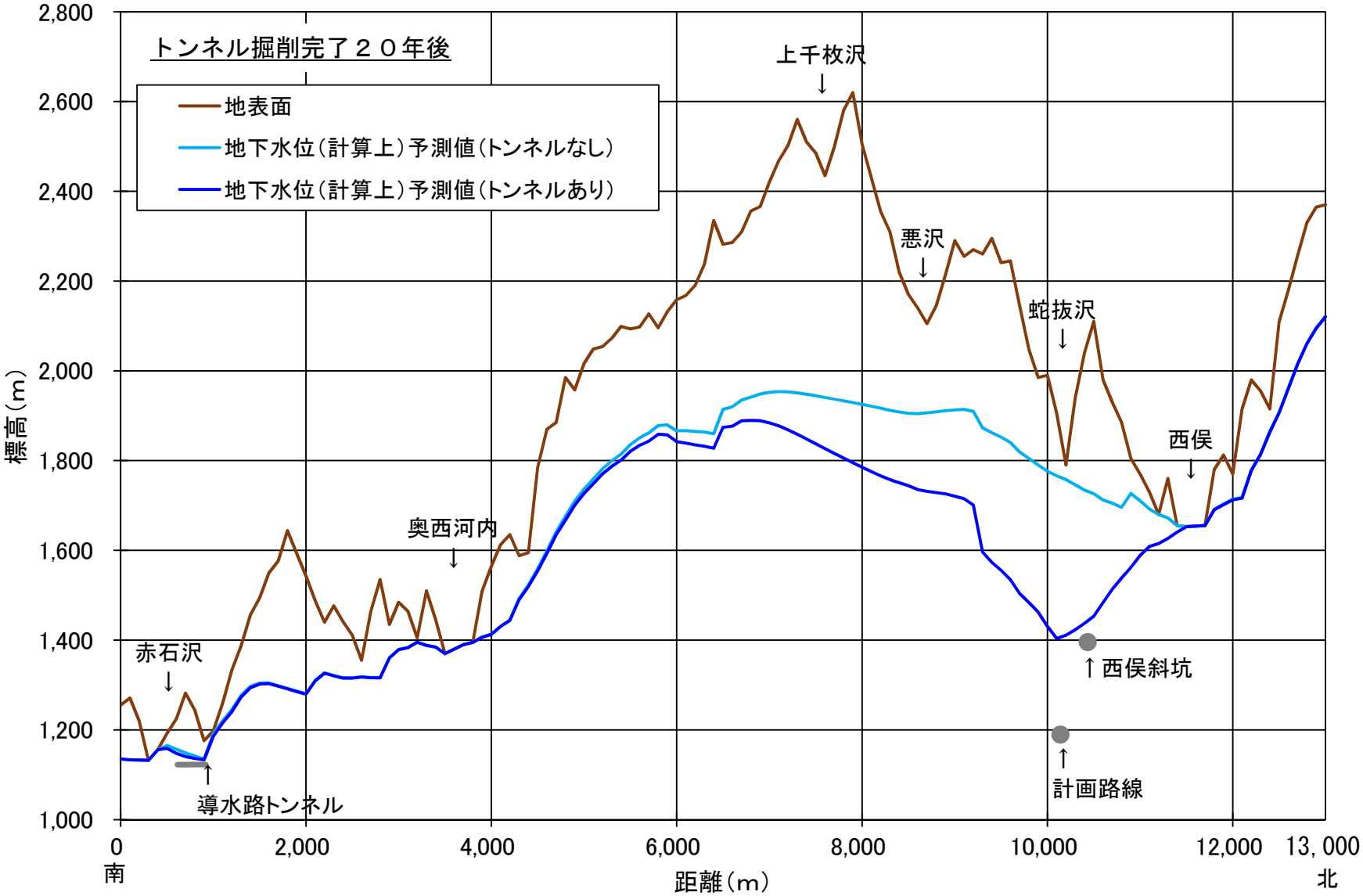


図 42　地下水位（計算上）予測値縦断図（南北方向（椹島付近））：トンネル掘削完了２０年後

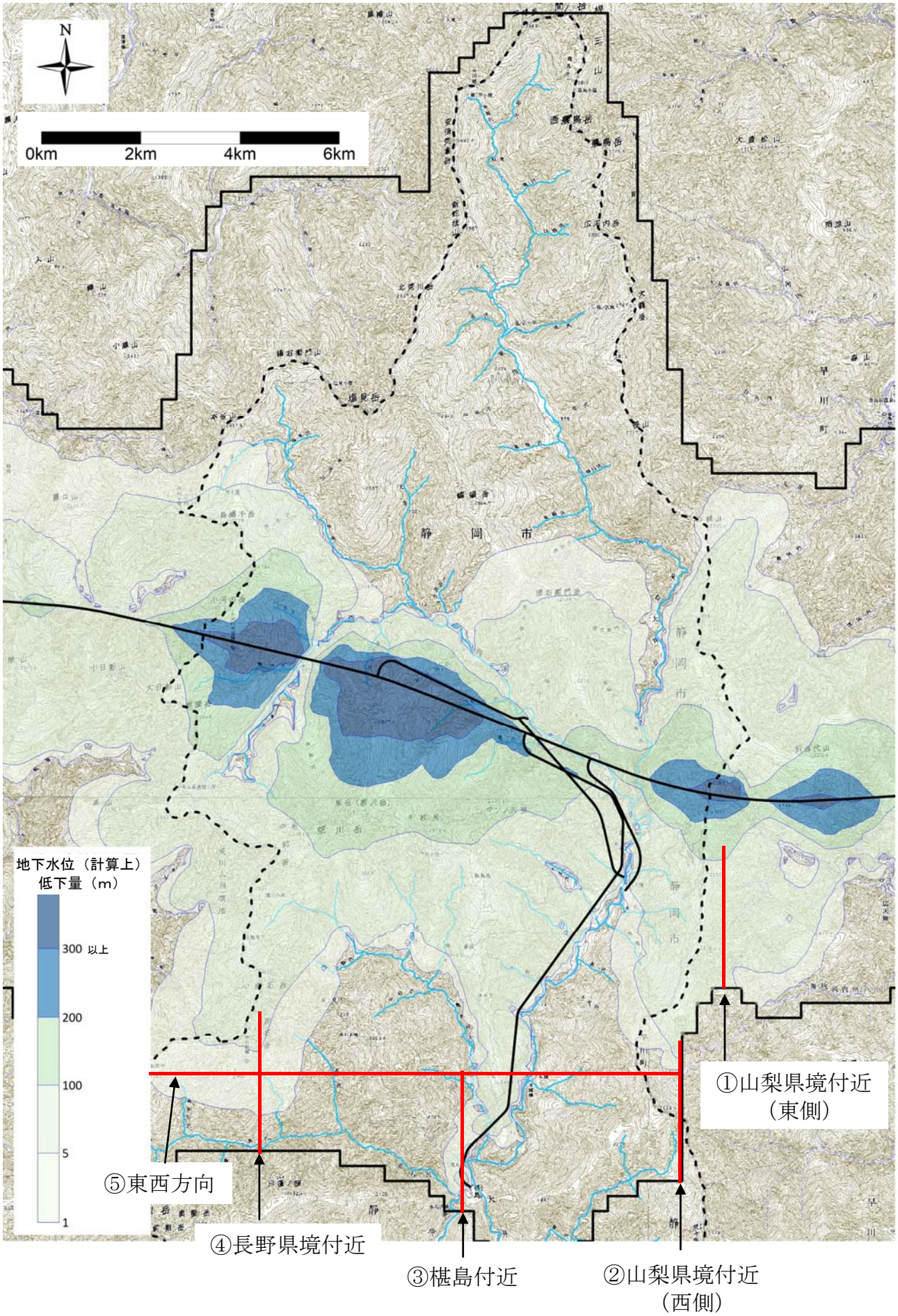
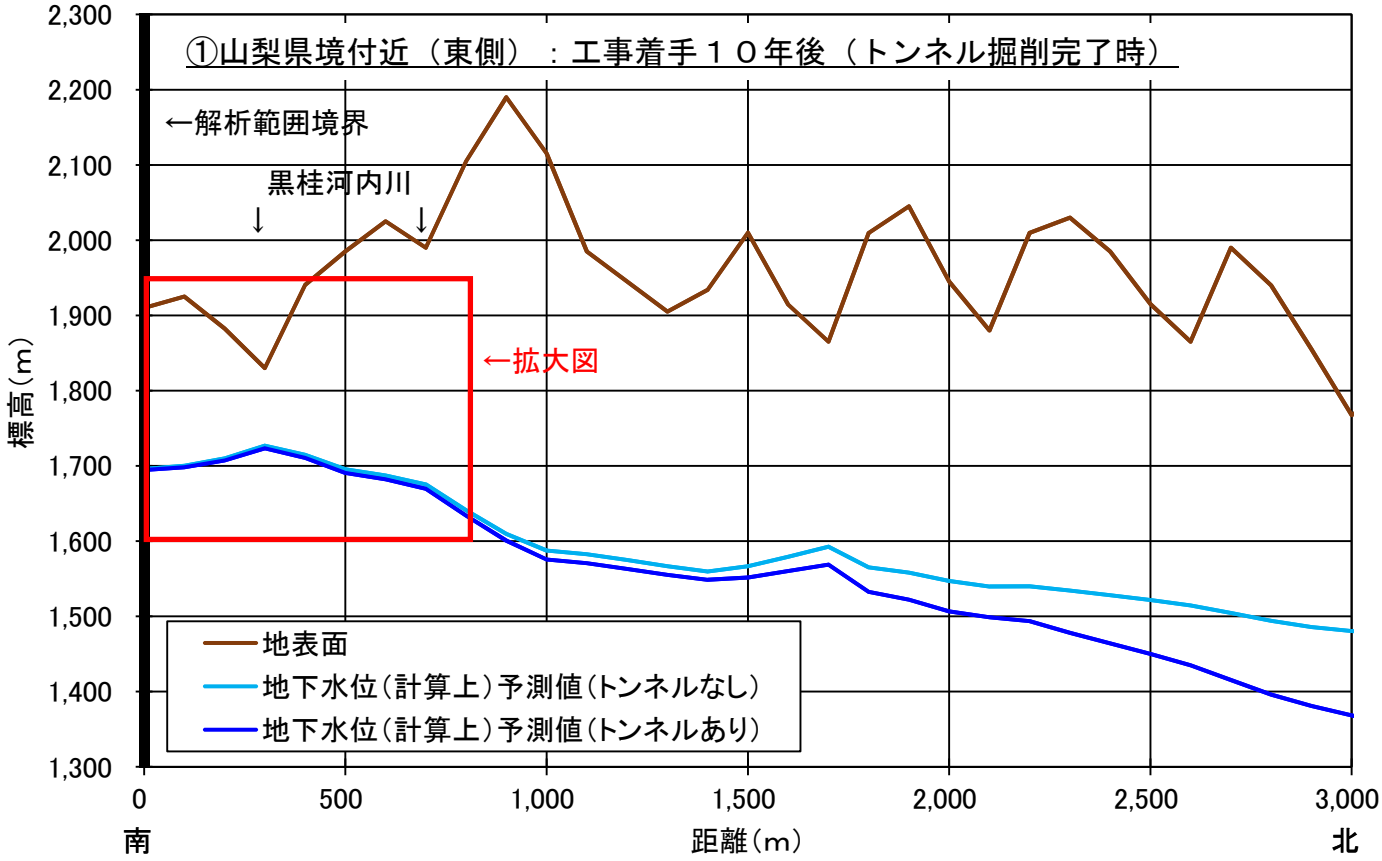


図 43　地下水位（計算上）予測値縦断図　切断位置図

① 山梨県境付近（東側）



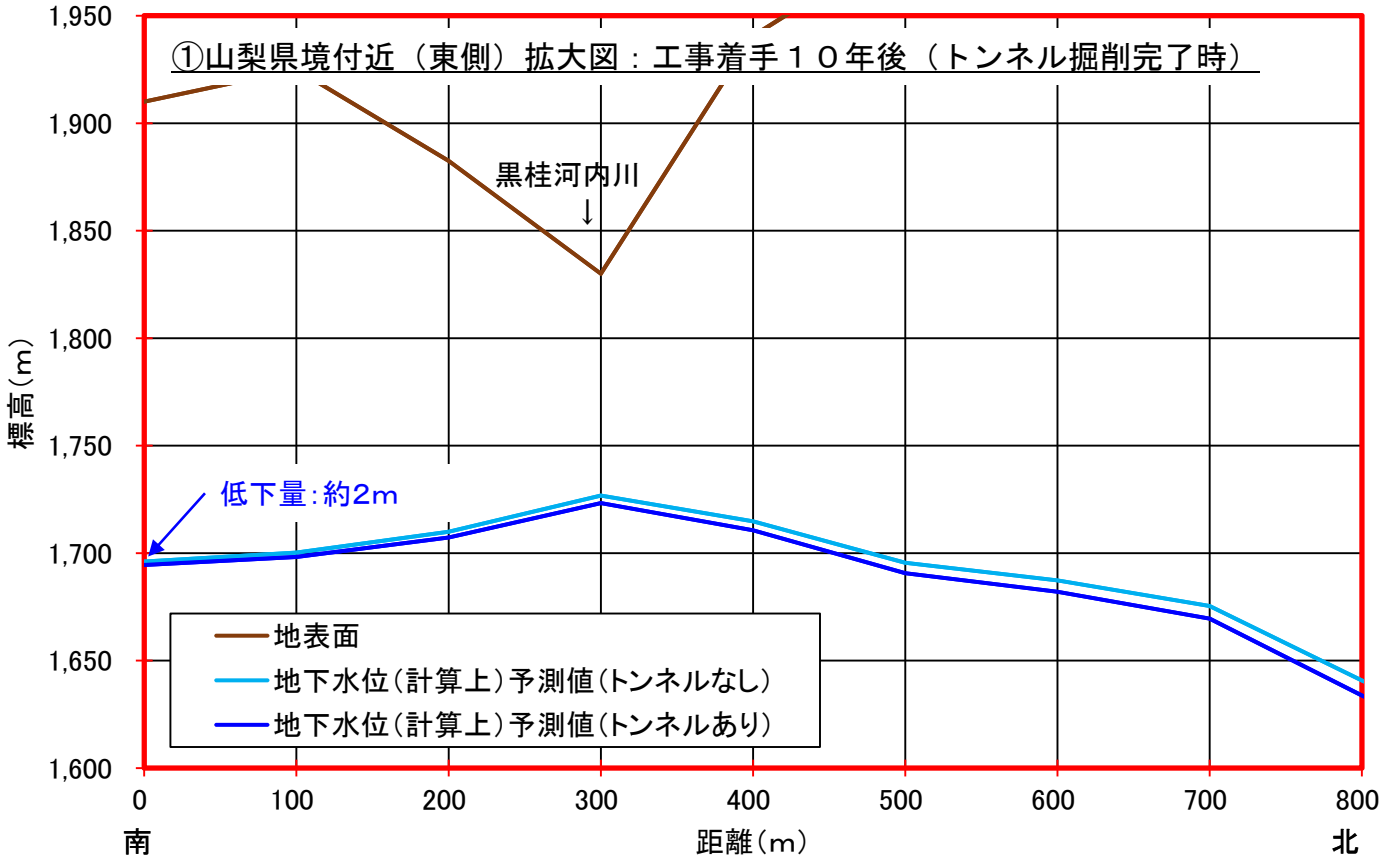
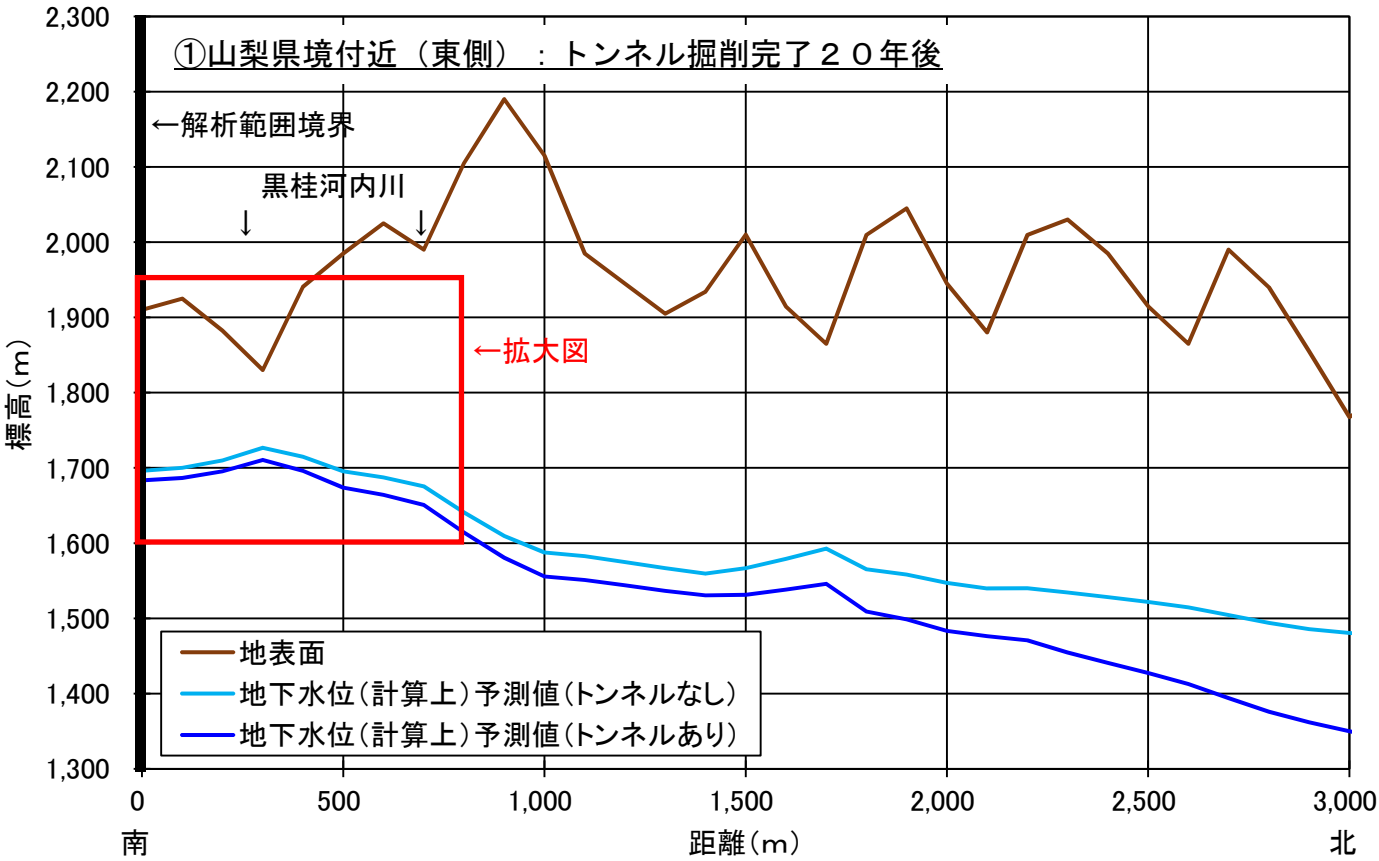


図 44(1)　地下水位（計算上）予測値縦断図（①山梨県境付近（東側））



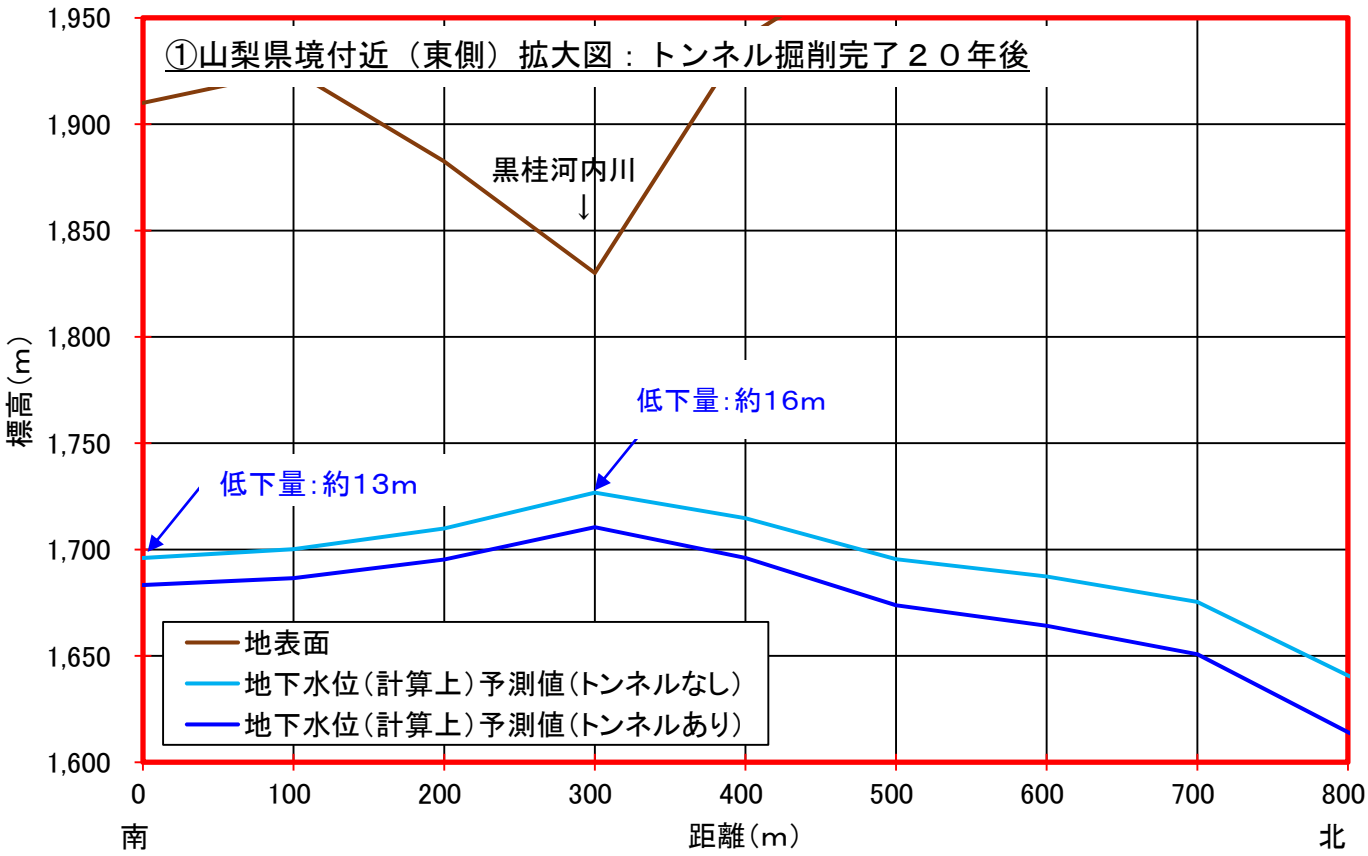
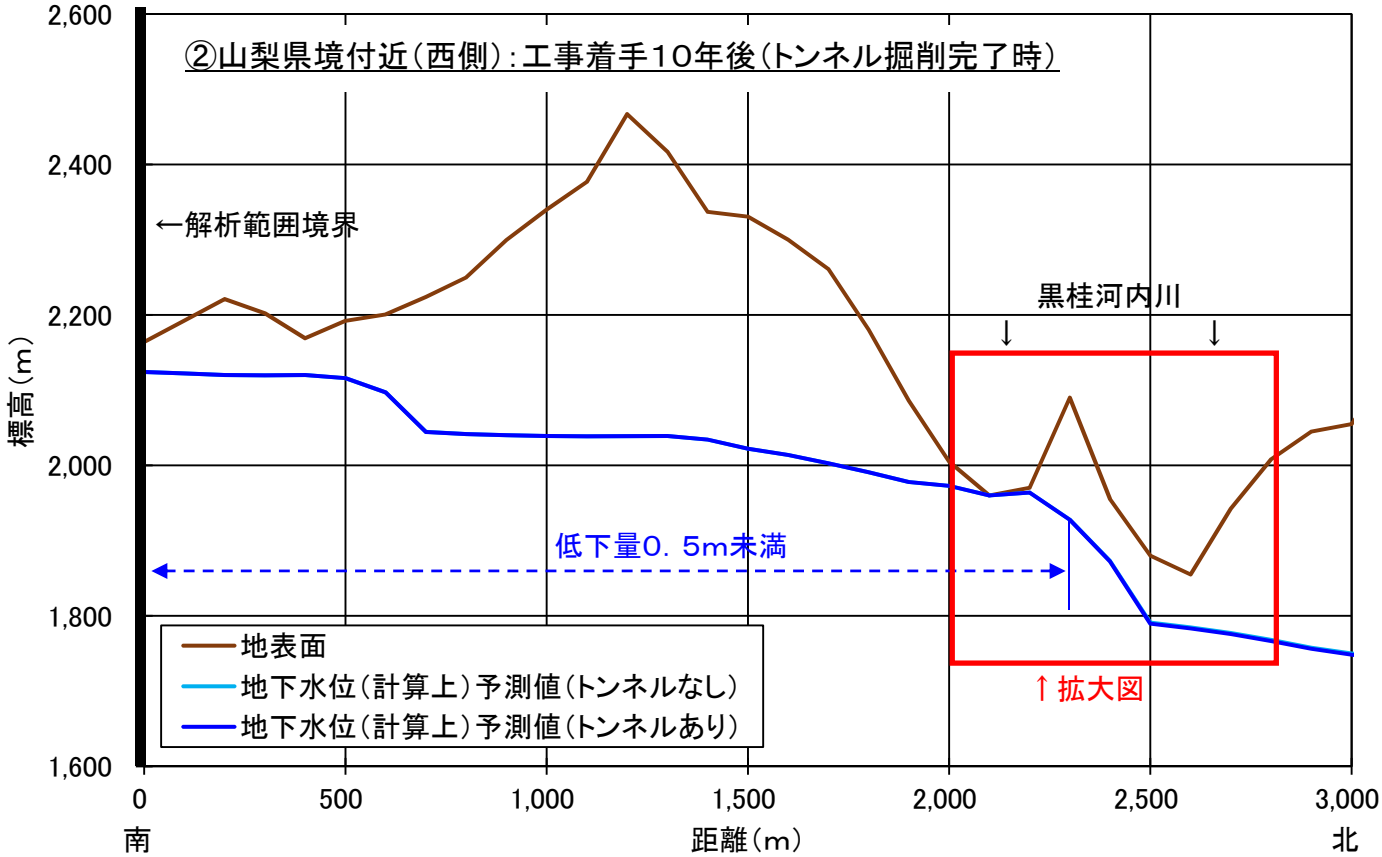


図 44(2)　地下水位（計算上）予測値縦断図（①山梨県境付近（東側））

② 山梨県境付近（西側）



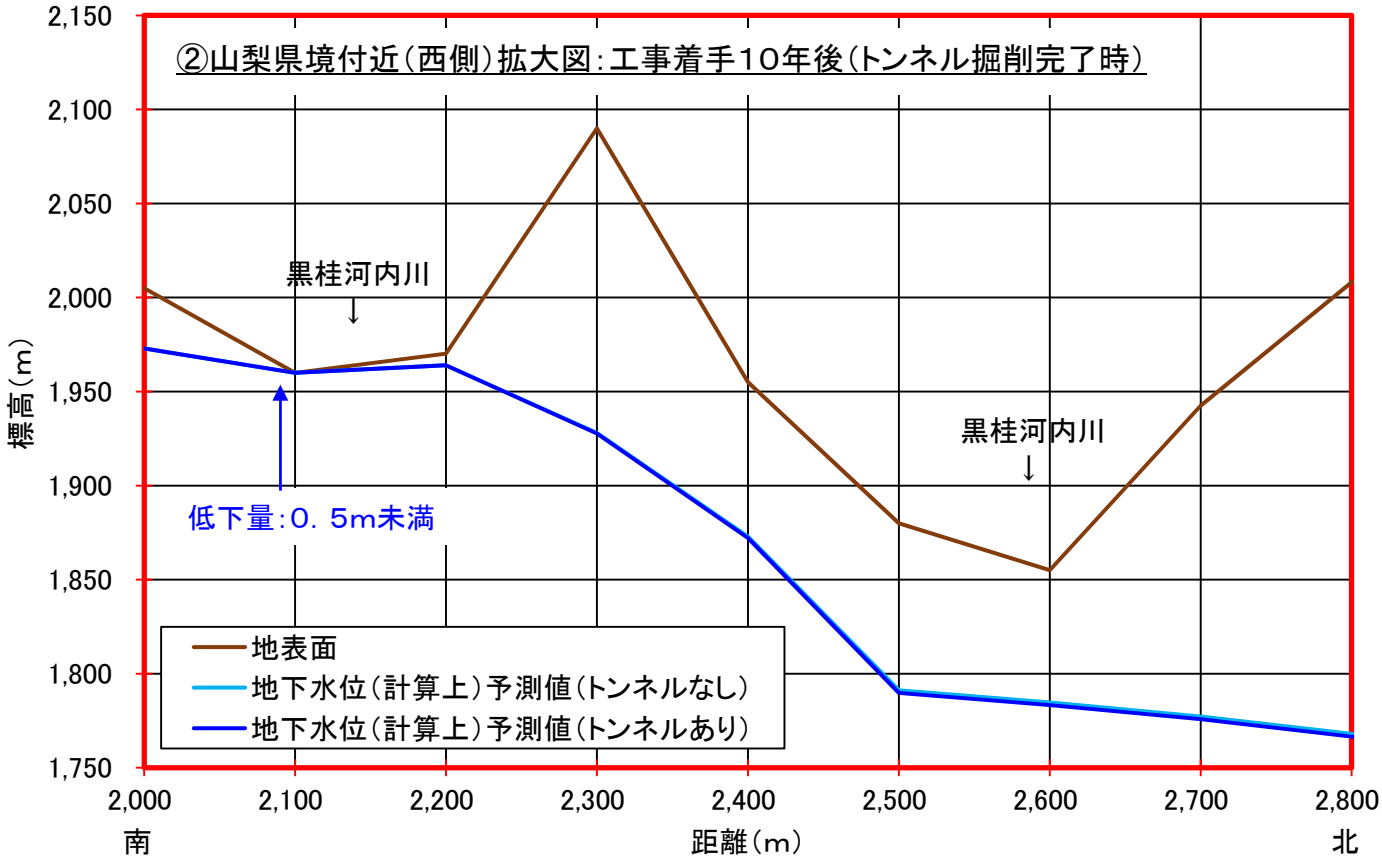
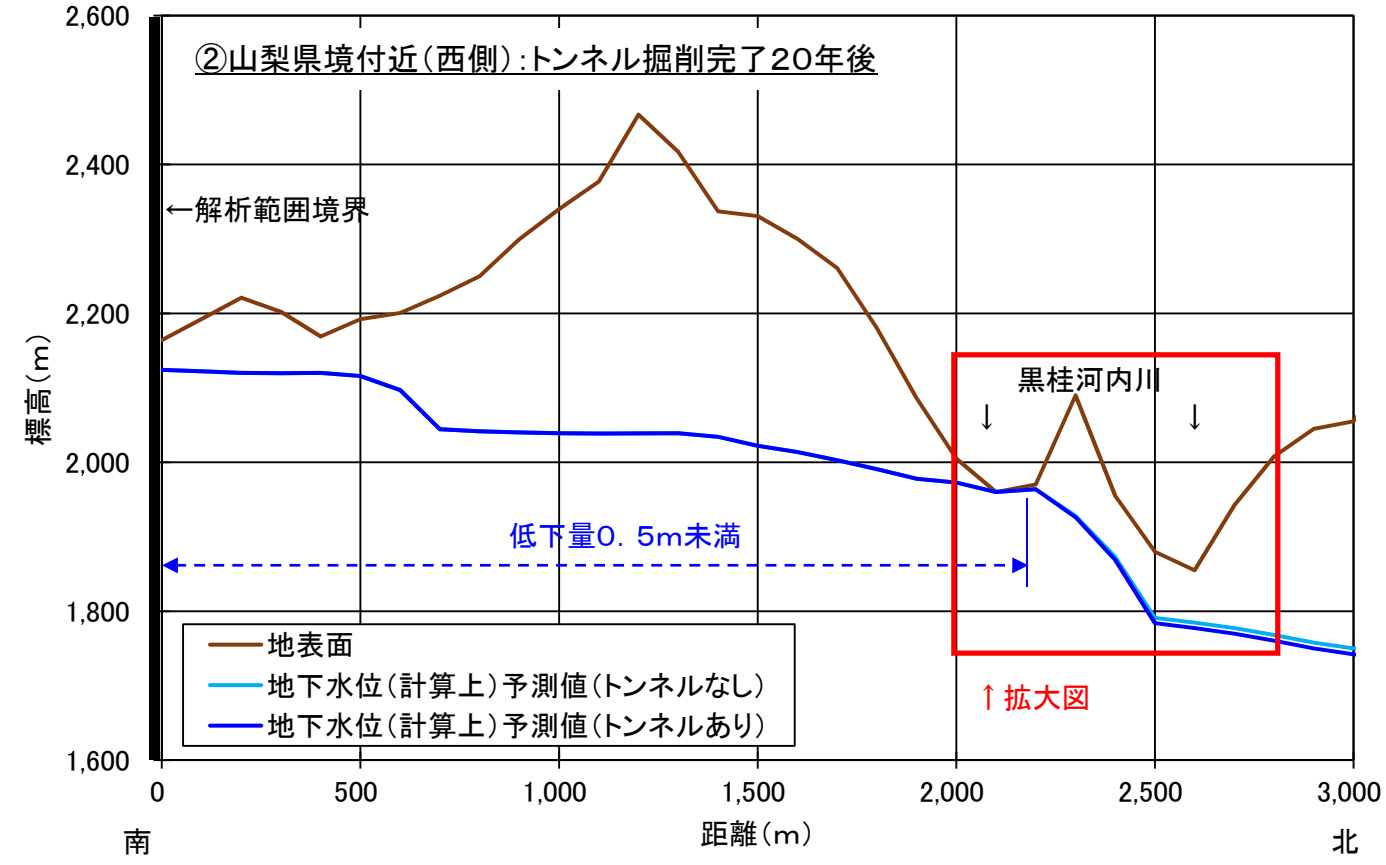


図 45(1)　地下水位（計算上）予測値縦断図（②山梨県境付近（西側））



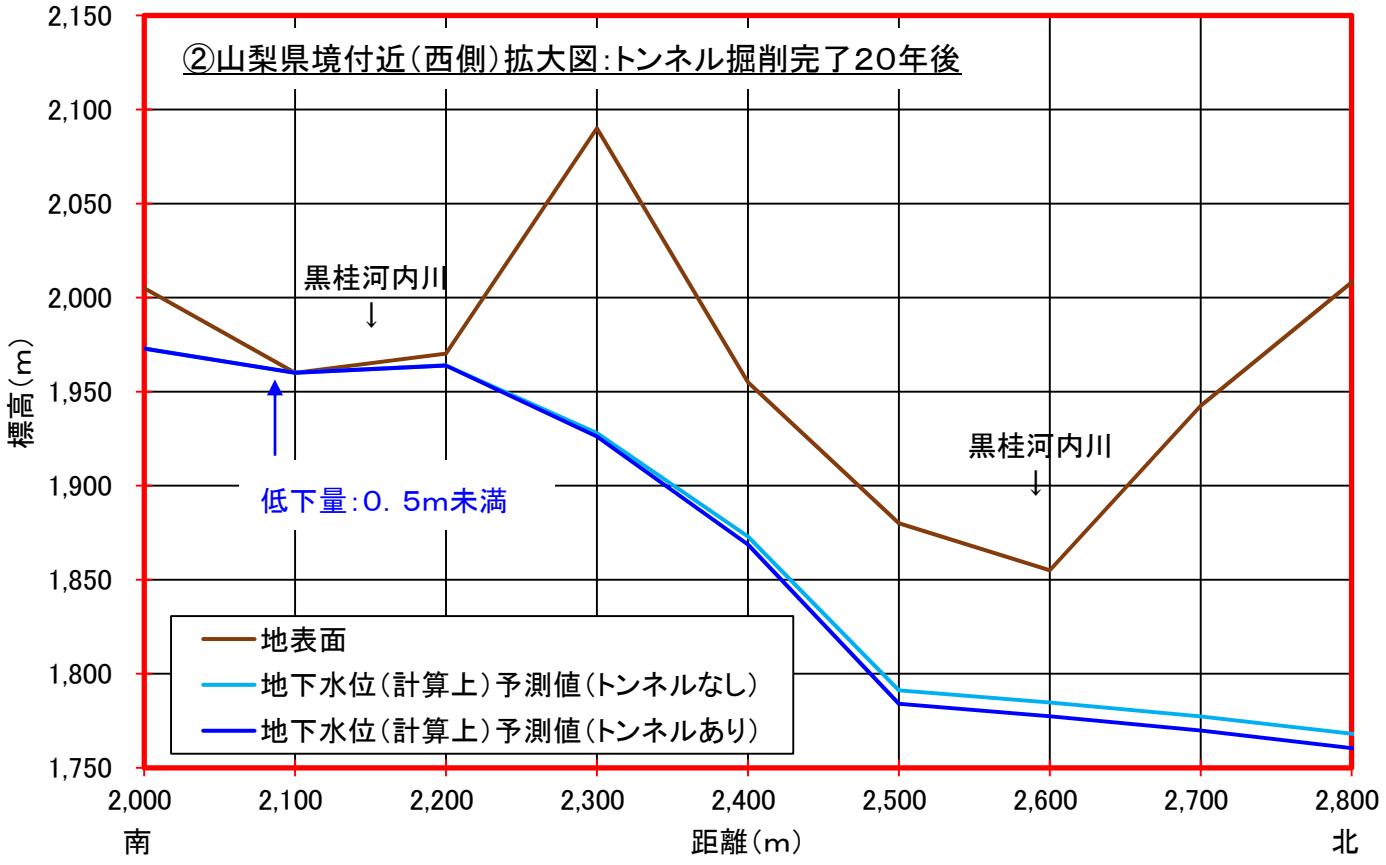
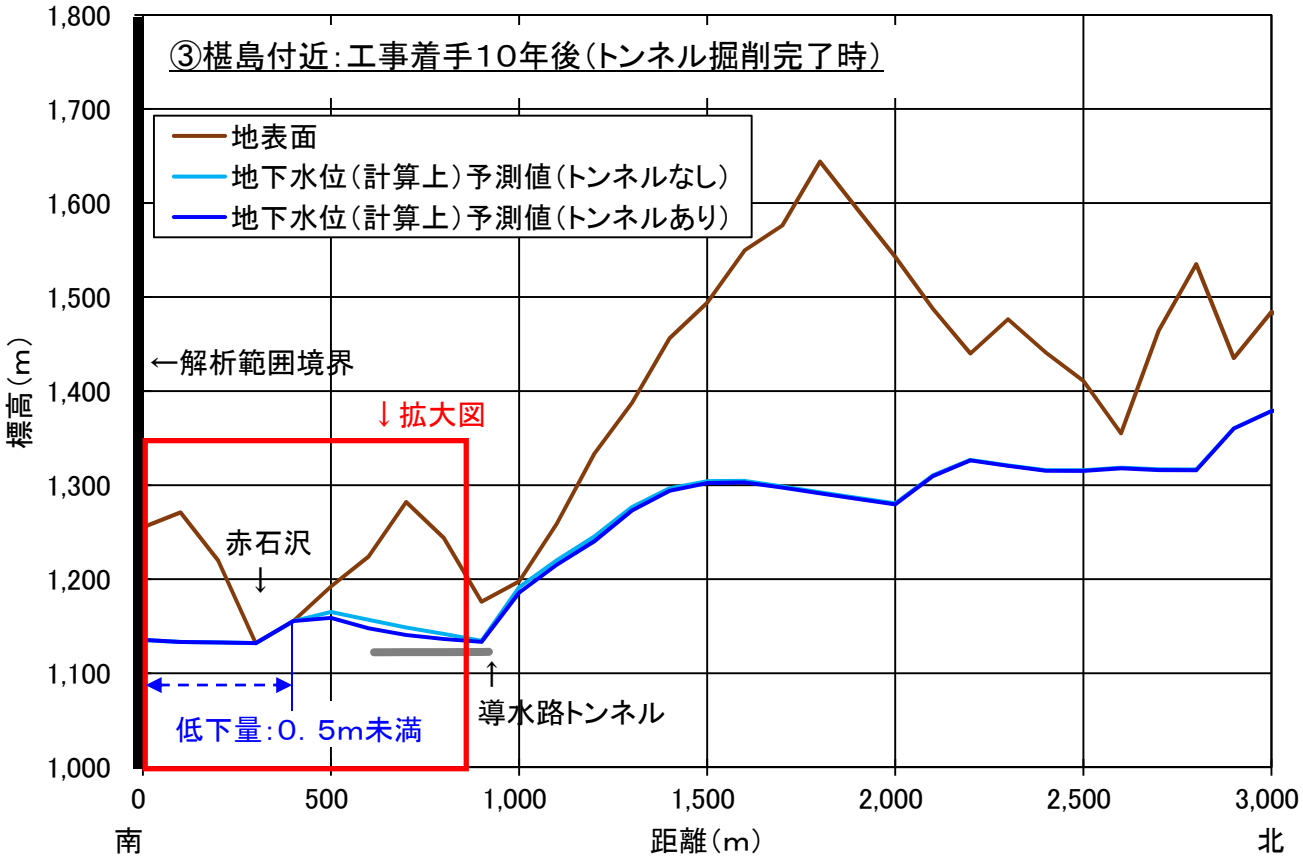


図 45(2)　地下水位（計算上）予測値縦断図（②山梨県境付近（西側））

③椹島付近



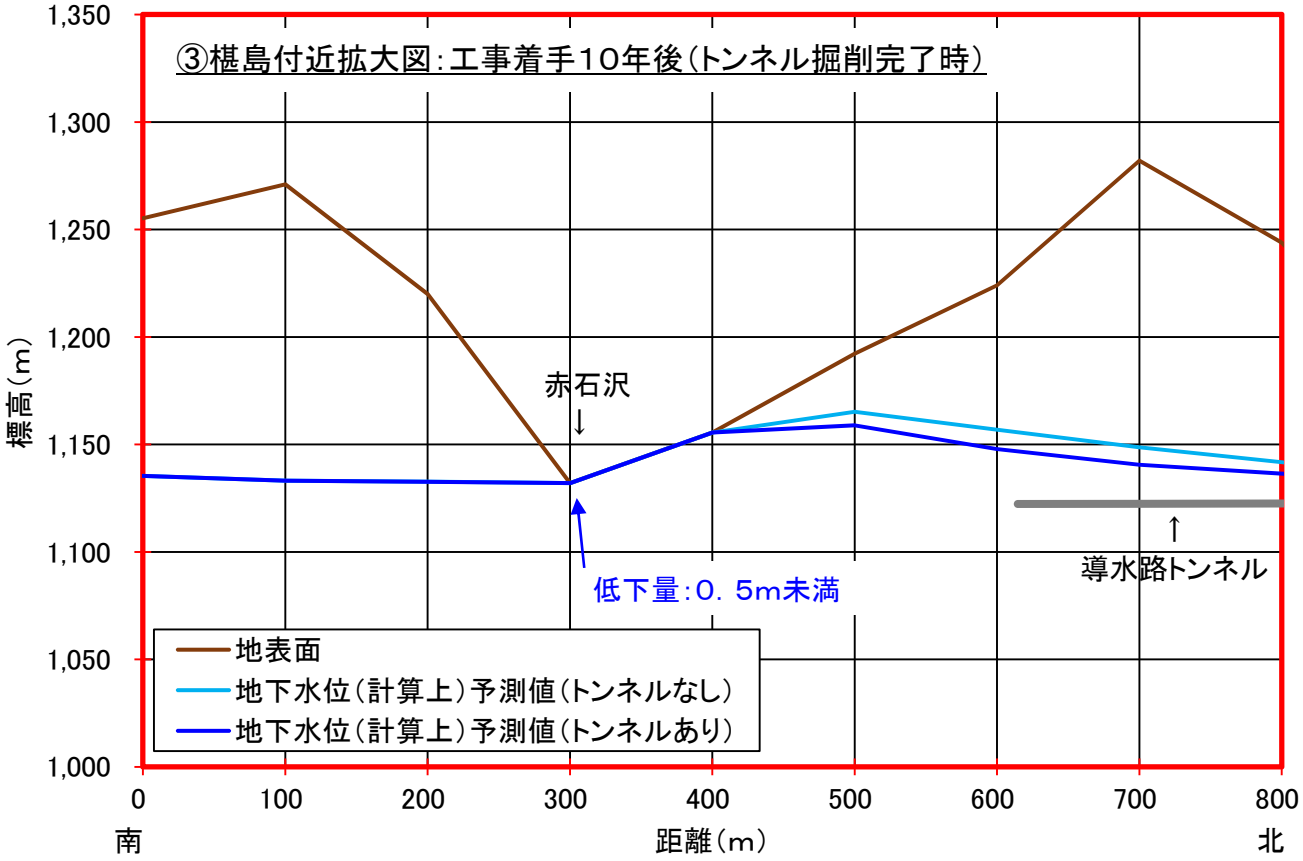
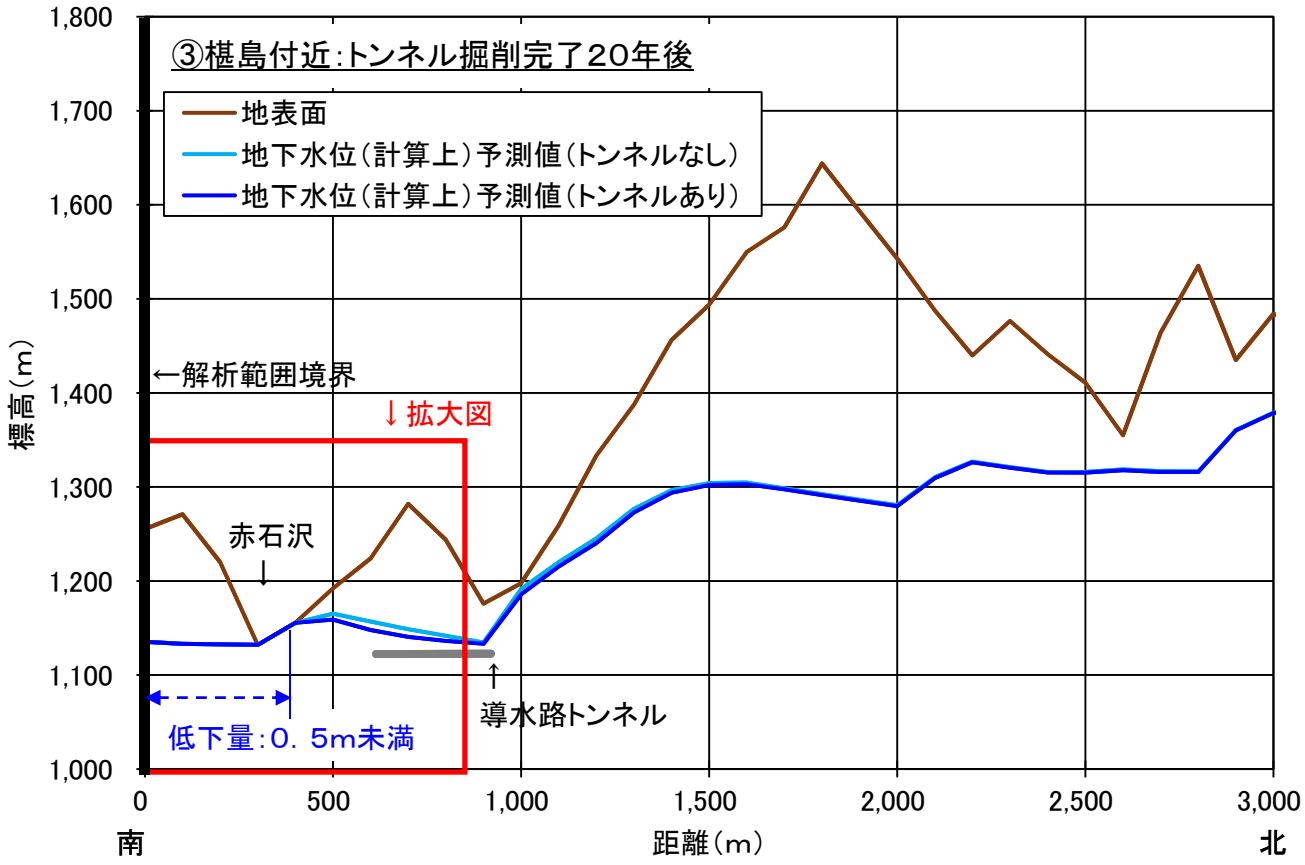


図 46(1)　地下水位（計算上）予測値縦断図（③椹島付近）



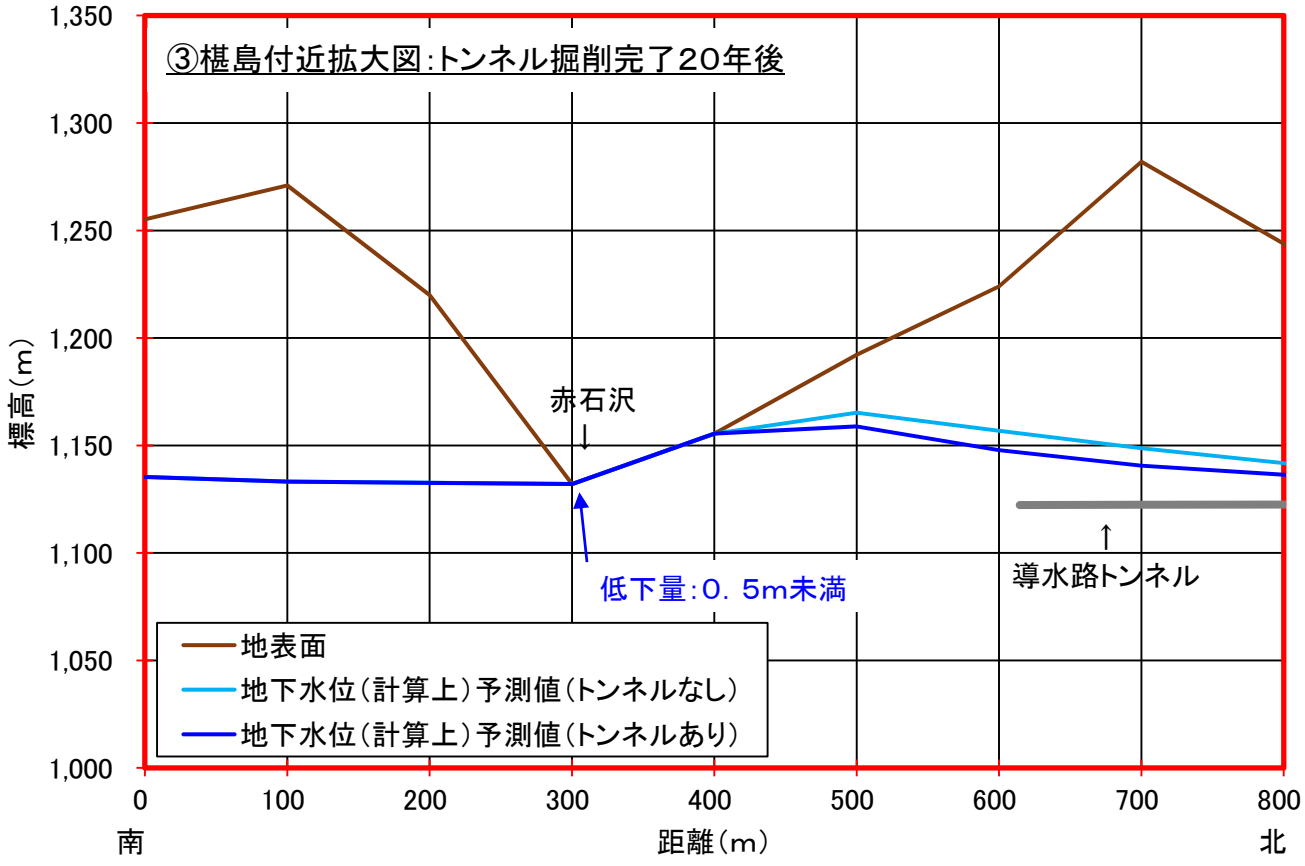
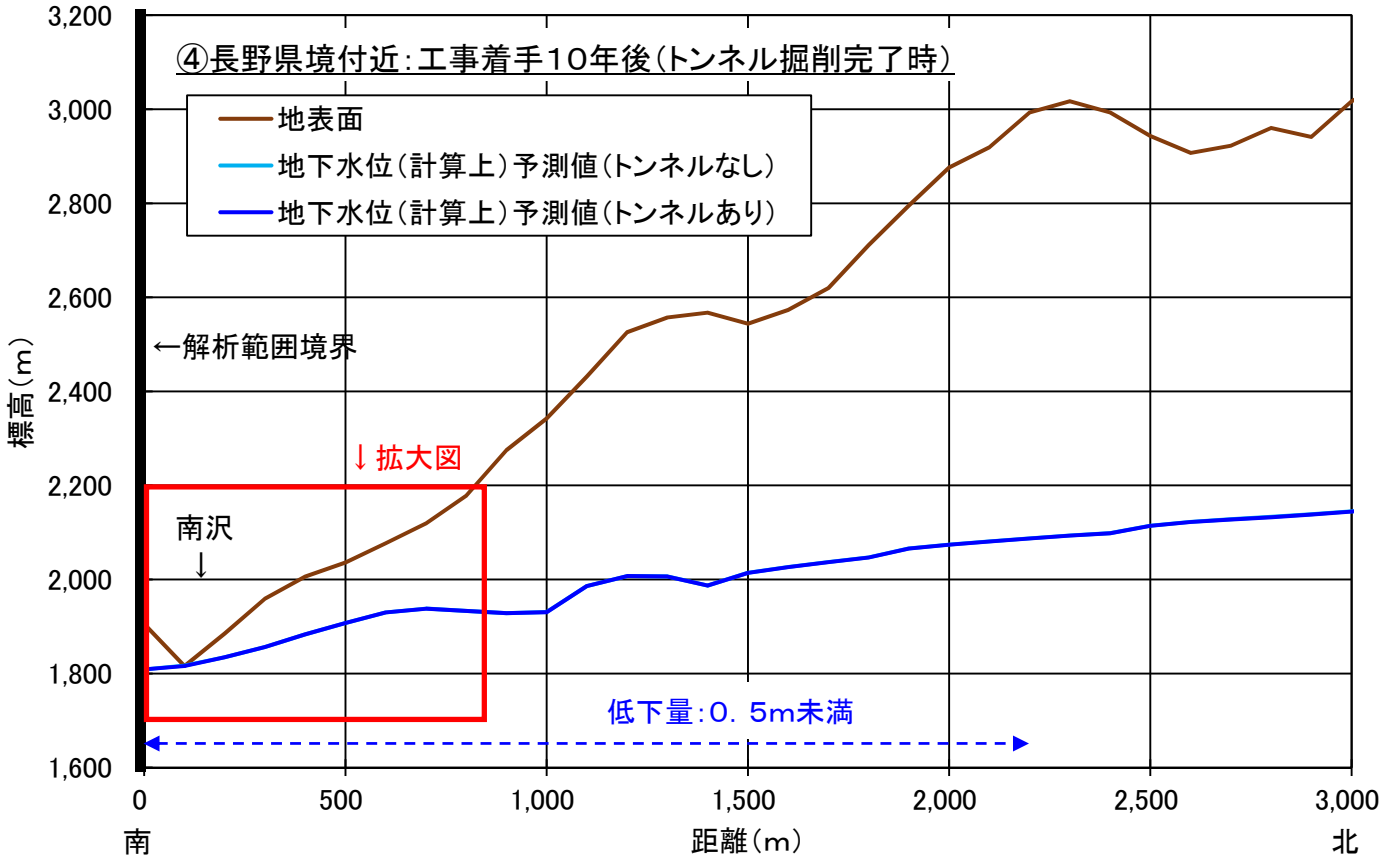


図 46(2)　地下水位（計算上）予測値縦断図（③椹島付近）

④長野県境付近



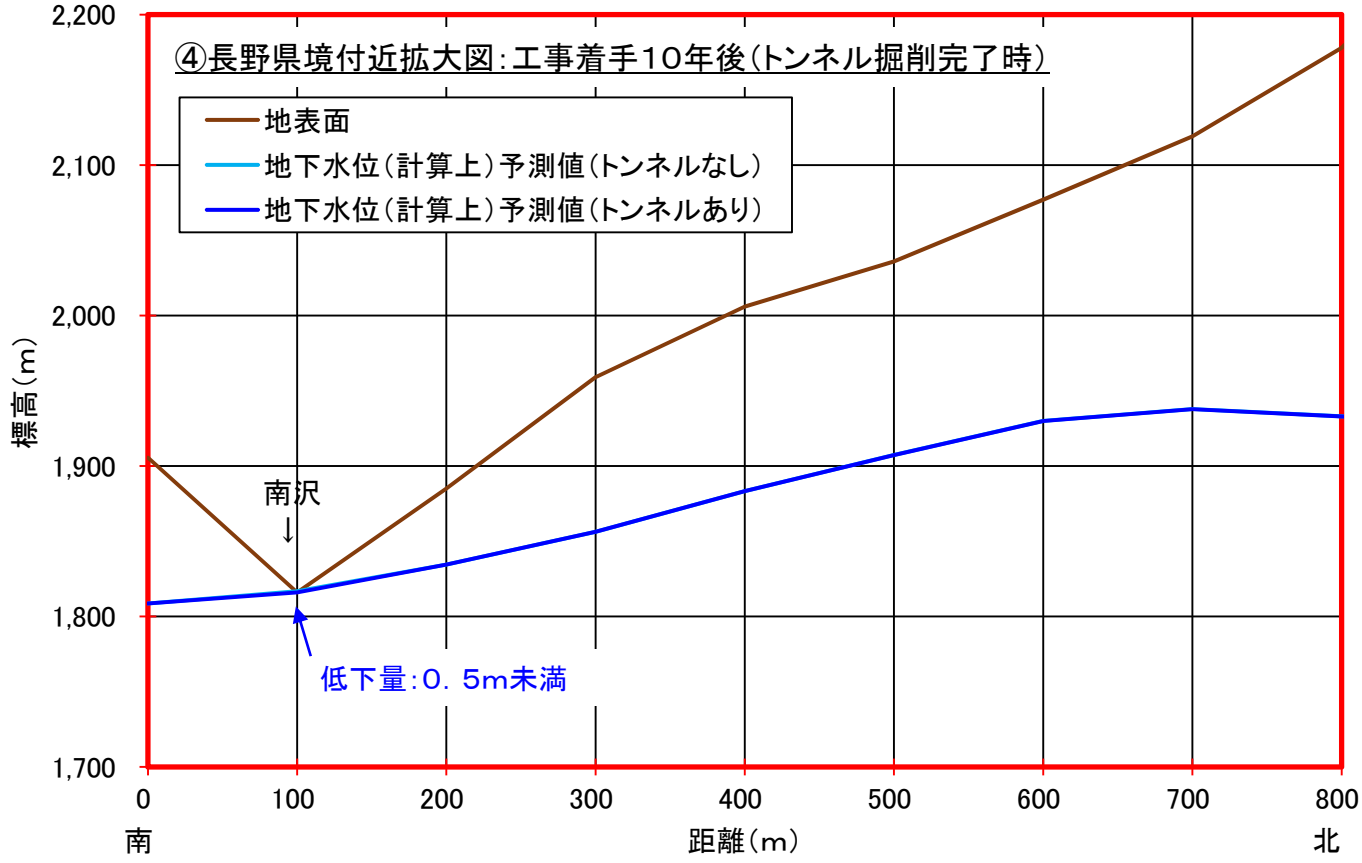
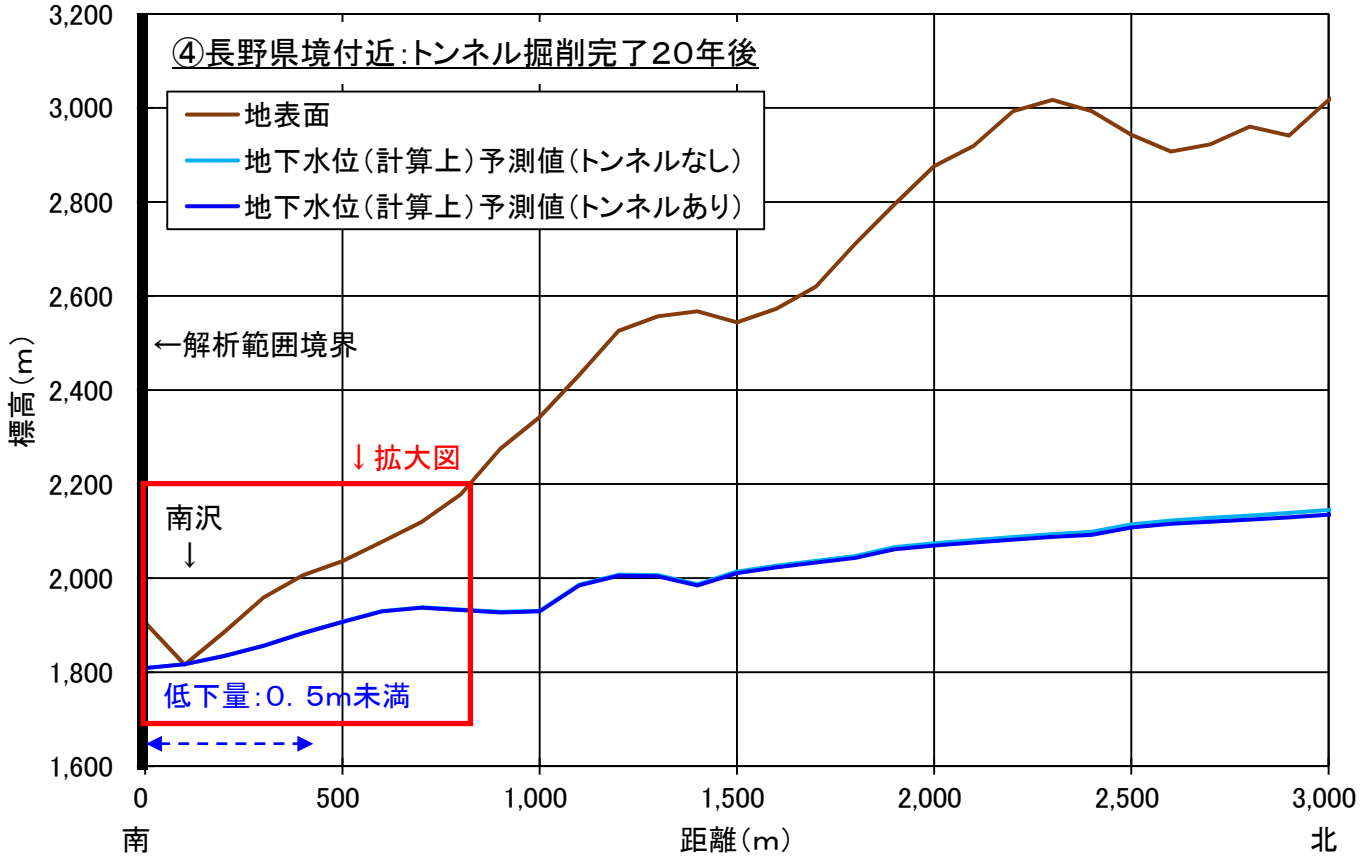


図 47(1)　地下水位（計算上）予測値縦断図（④長野県境付近）



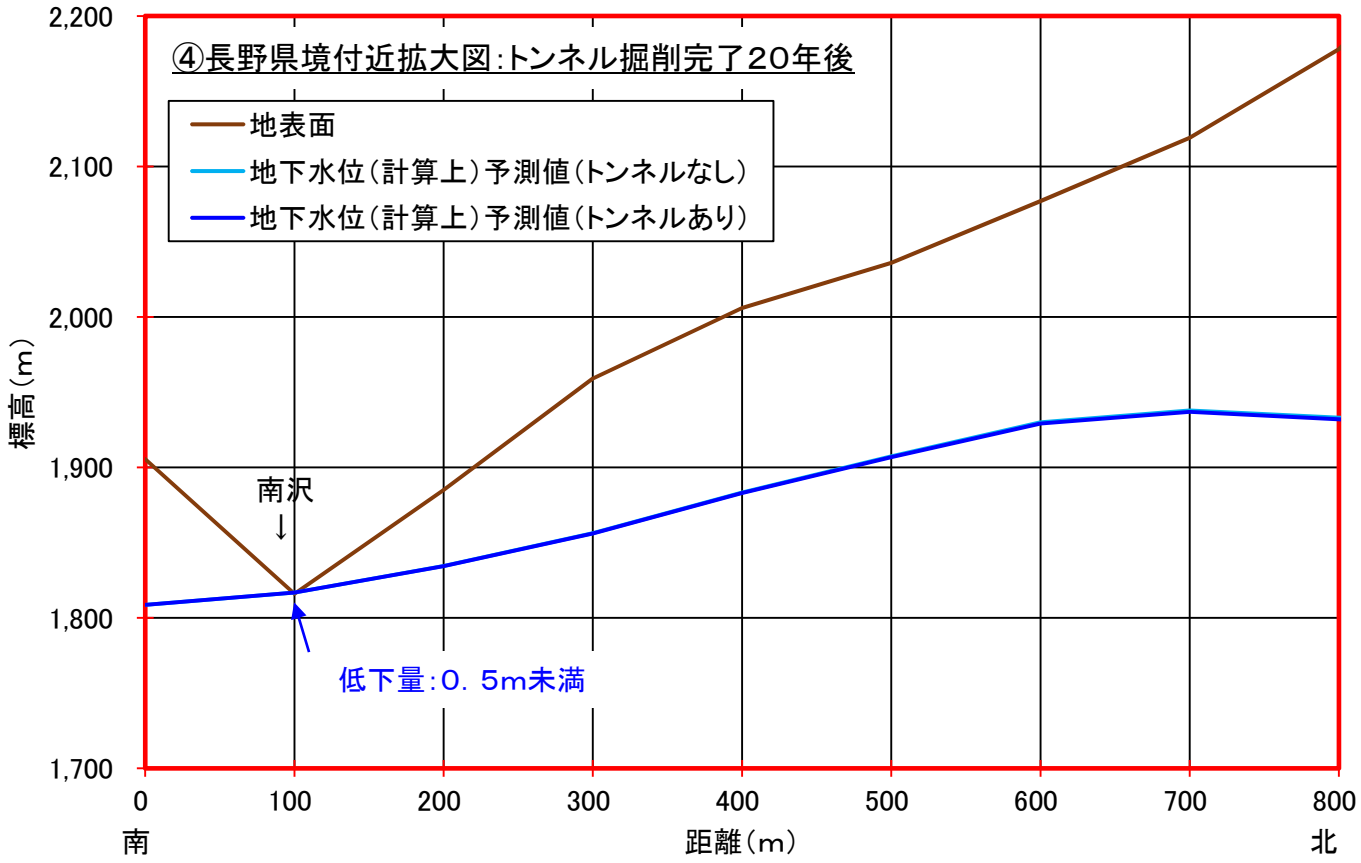
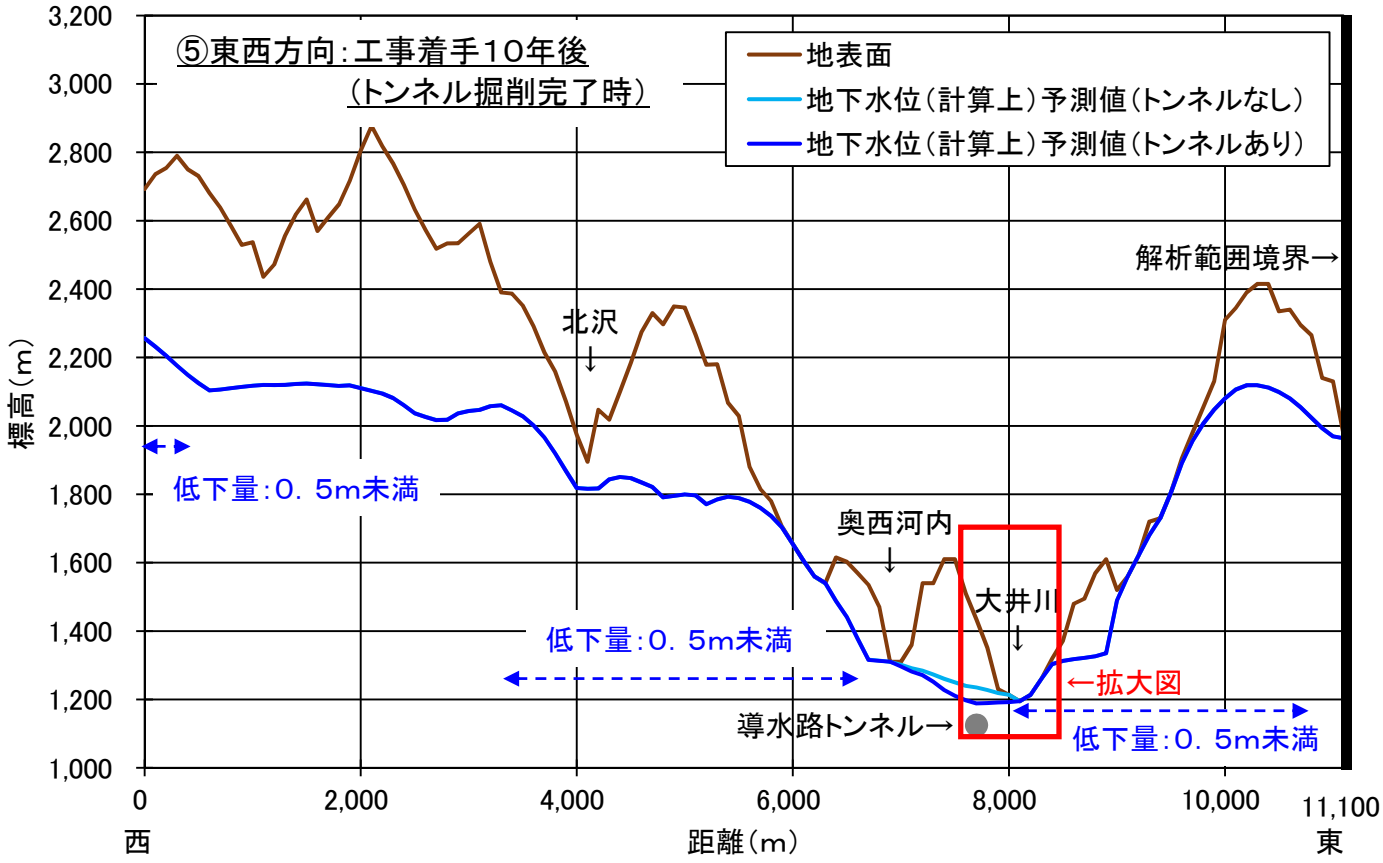


図 47(2)　地下水位（計算上）予測値縦断図（④長野県境付近）

⑤東西方向



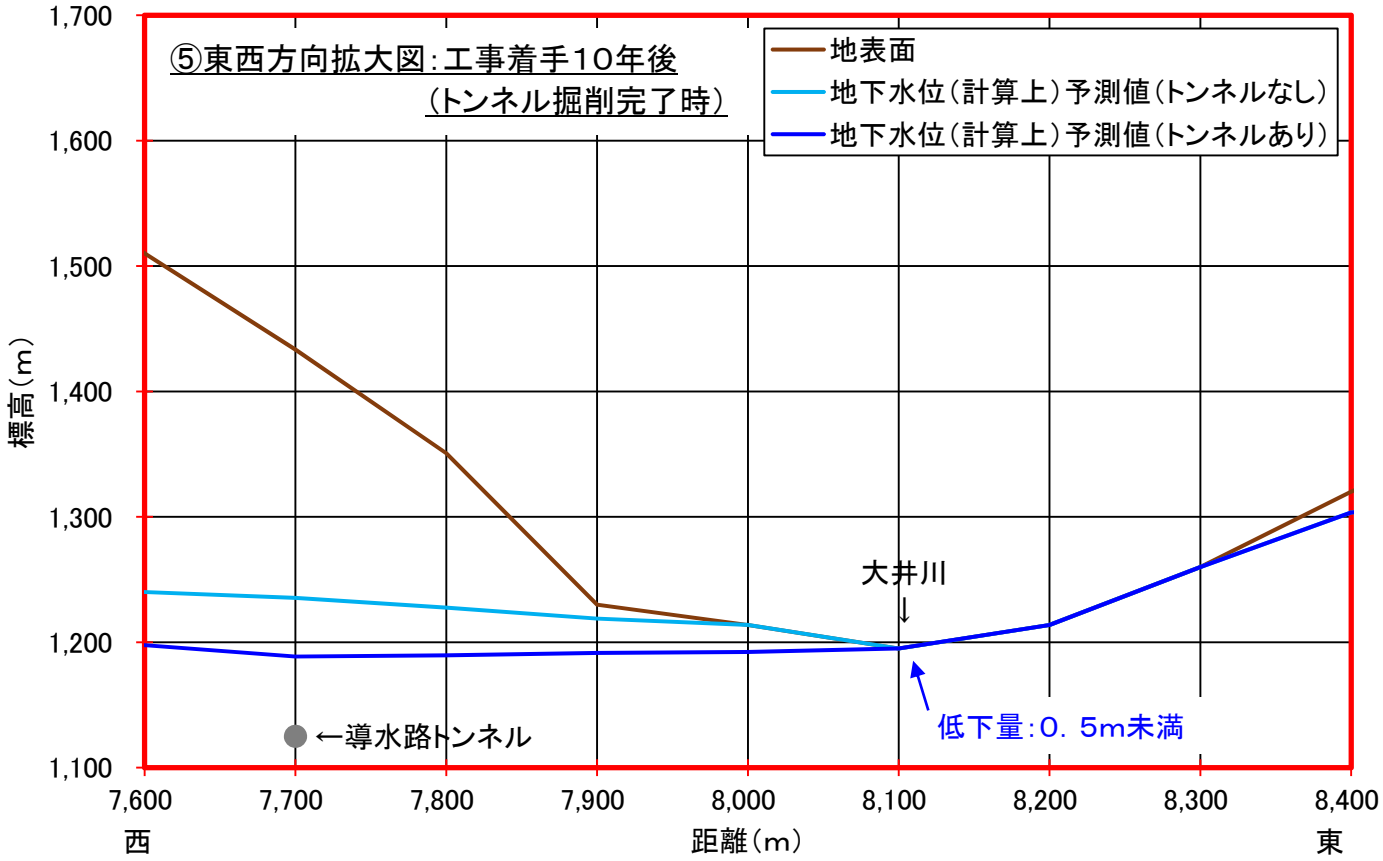
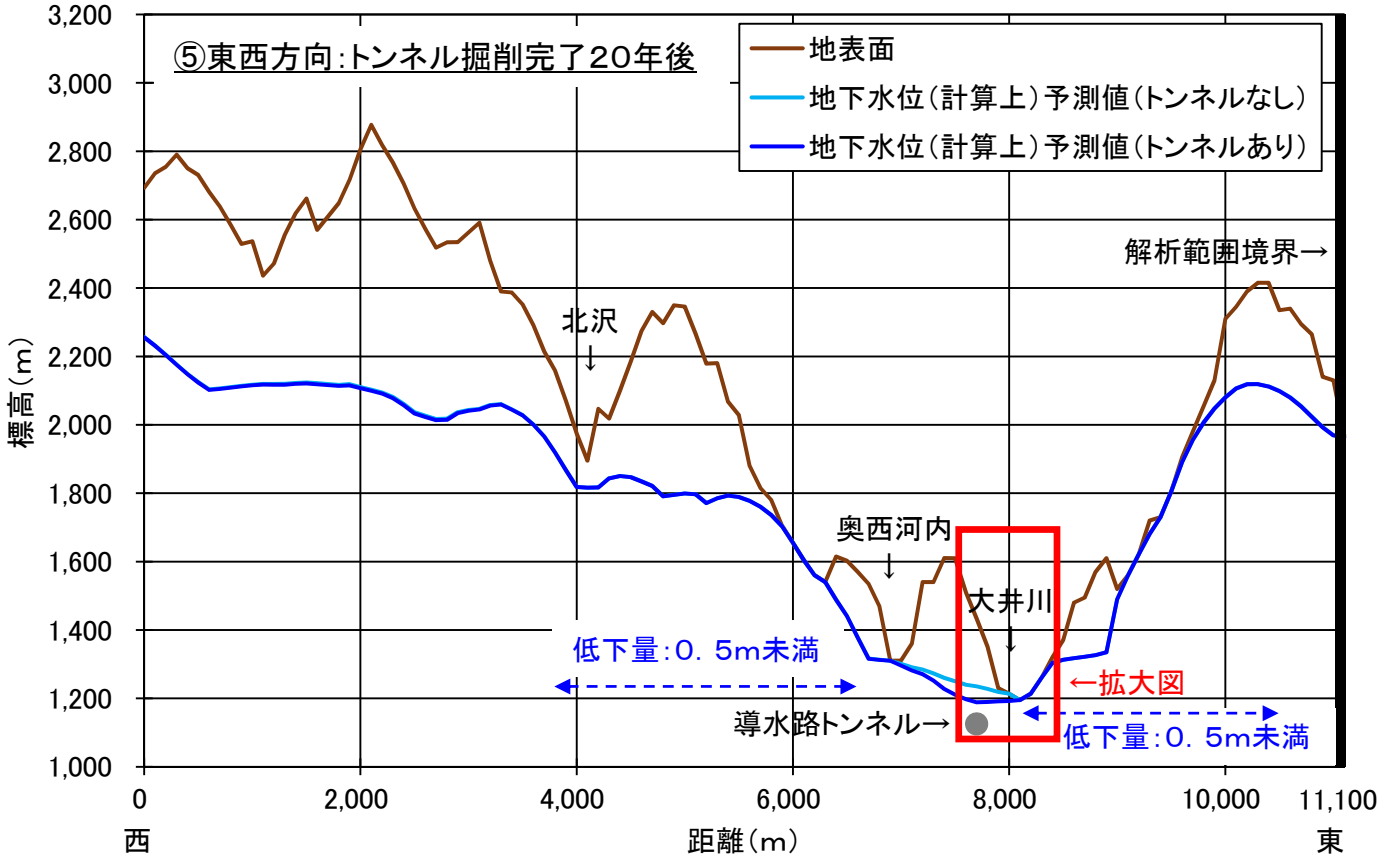


図 48(1)　地下水位（計算上）予測値縦断図（⑤東西方向）



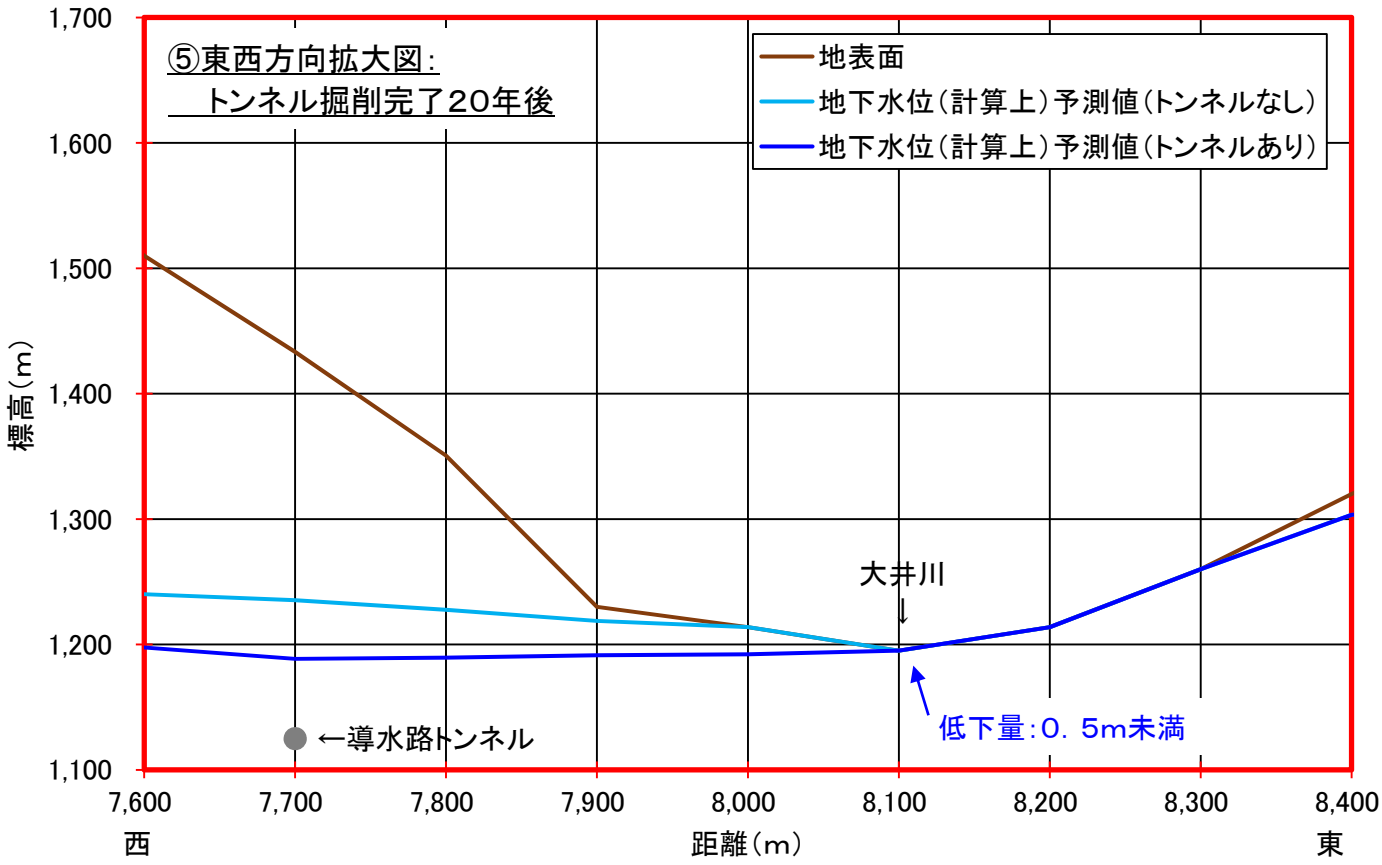


図 48(2) 地下水位（計算上）予測値縦断図（⑤東西方向）

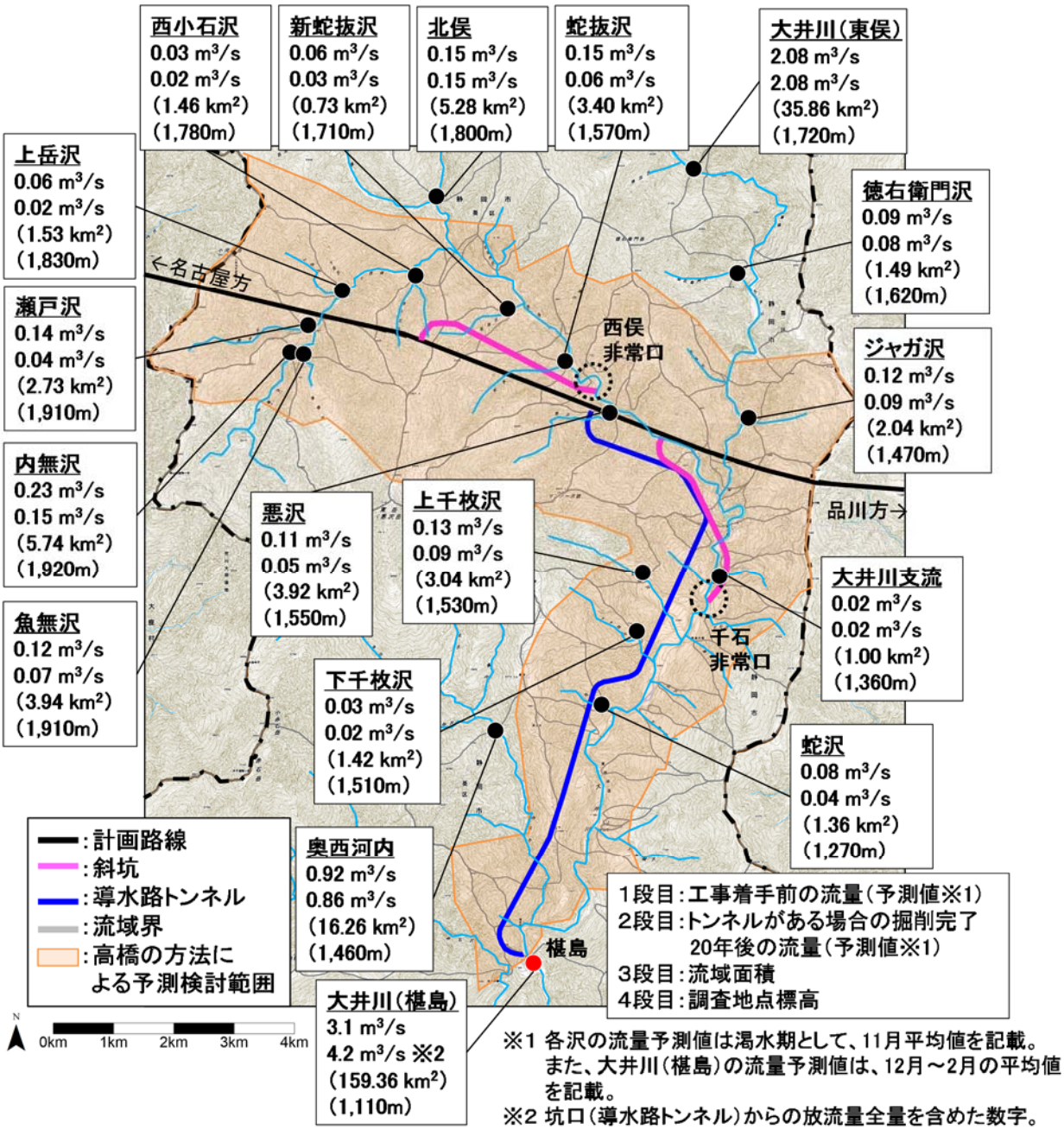


図 49　沢等の流量予測結果（渇水期平均）

・なお、トンネル構造物としての吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等がない状態と仮定し算出しています。

・実際のトンネル施工においては、吹き付けコンクリート、防水シート、覆工コンクリート等を施工し、トンネル周辺の地山に湧水抑制対策としての薬液注入を行うことで、影響は小さくなると考えています。