

伊那山地における水収支解析

平成 28 年 4 月

東海旅客鉄道株式会社

目 次

1	はじめに	1
2	検討内容	1
2-1	対象とする影響要因	1
2-2	解析手法	1
2-3	対象地域	1
2-4	対象地点	1
2-5	対象時期	5
2-6	解析条件	5
3	検討結果	5
4	今後の取り組み	7

参考資料 水収支解析について

1 はじめに

「中央新幹線（東京都・名古屋市間）環境影響評価書【長野県】（平成 26 年 8 月）」において実施することとしていた伊那山地の水資源に対する水収支解析について、結果をとりまとめた。

2 検討内容

対象事業実施区域の内、小渋川から天竜川までの伊那山地のトンネル区間について、トンネルの工事及び鉄道施設（トンネル）の存在に係る水資源への影響を下記のとおり検討した。

2-1 対象とする影響要因

トンネル工事及び鉄道施設（トンネル）の存在に係る水資源への影響とした。

2-2 解析手法

水収支解析を用いて予測した。水収支解析の概要を「参考資料 水収支解析について」に示す。また、解析は図 2-1 に示す手順で行った。

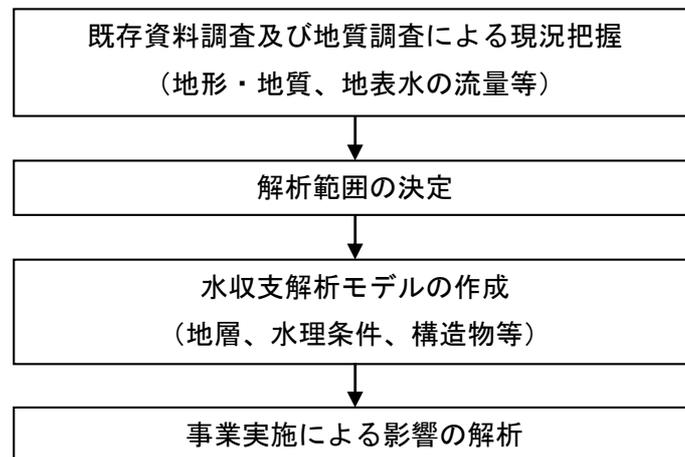


図 2-1 解析手順（水資源）

2-3 対象地域

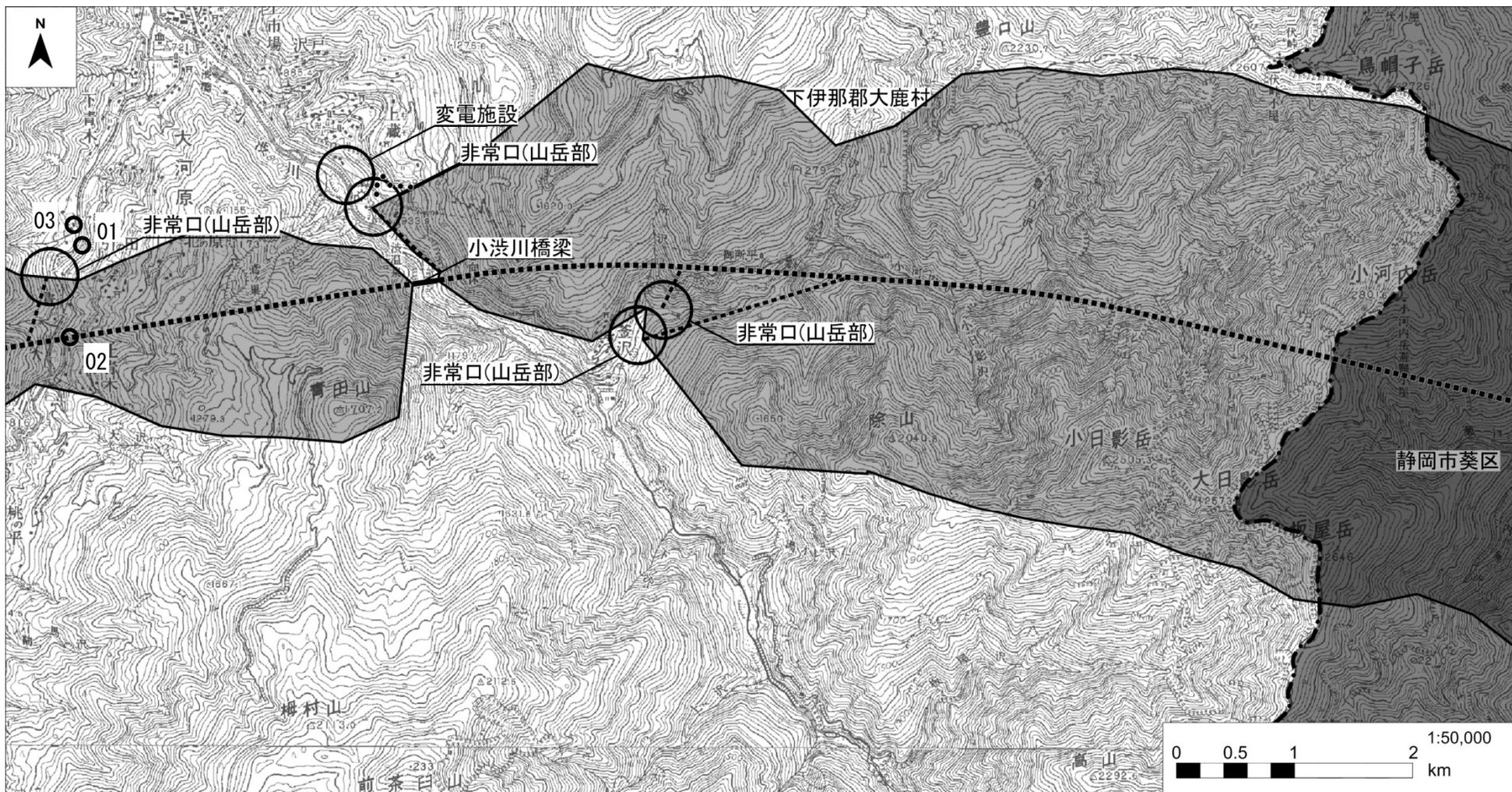
トンネルの工事及び鉄道施設（トンネル）の存在に係る水資源への影響が生じるおそれがあると認められる地域とした。

2-4 対象地点

トンネルの工事及び鉄道施設（トンネル）の存在に係る水資源への影響を適切に予測することができる地点として、「環境影響評価準備書【長野県】（平成 25 年 8 月）」に対する長野県知事意見および豊丘村、喬木村、大鹿村における水利用状況等の調査を踏まえて、水資源の対象地点を選定した。対象地点を表 2-1 および 図 2-2、2-3 に示す。

表 2-1 対象地点

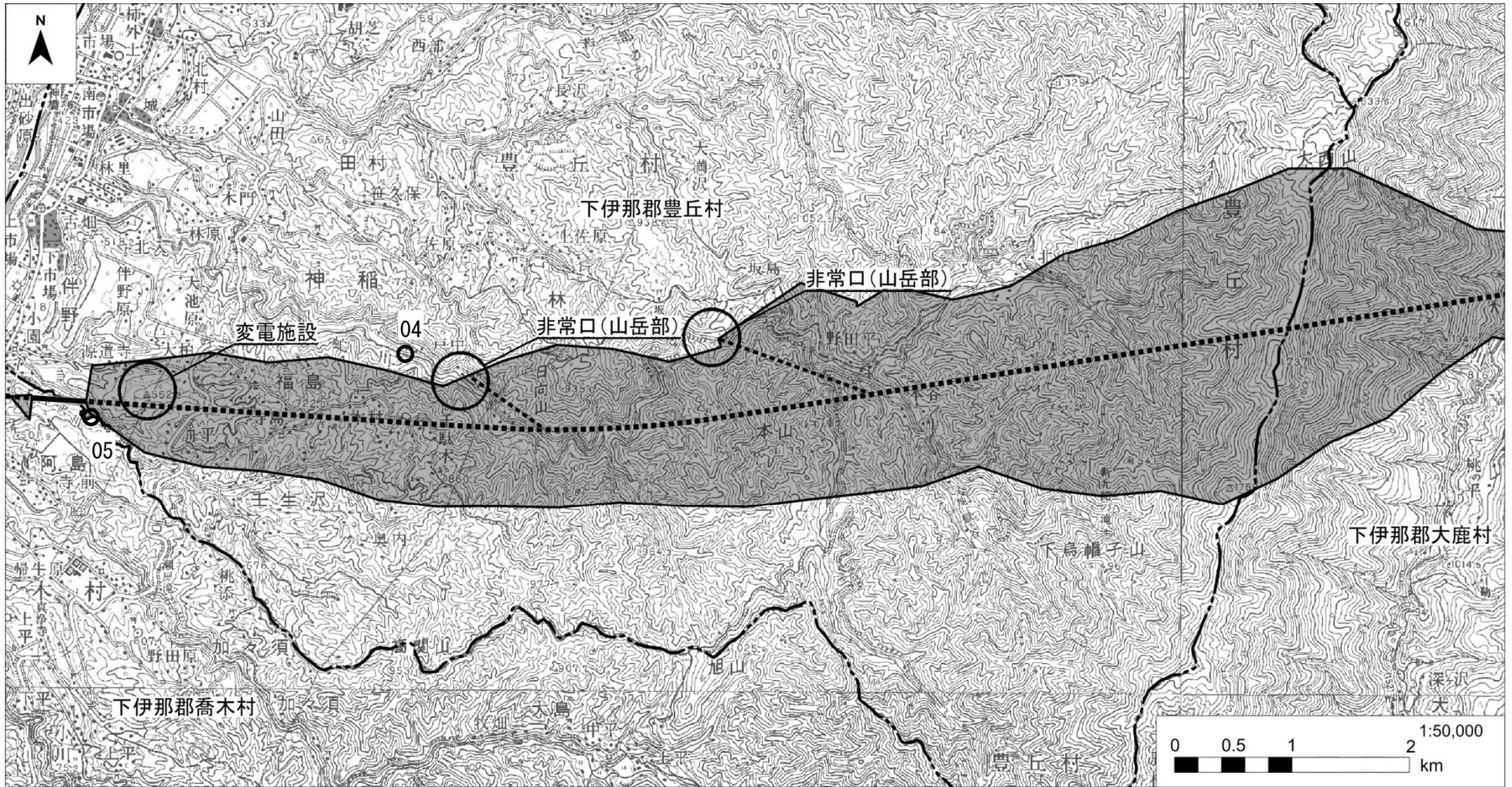
地点 番号	水源の区分	地点
01	湧水	大河原水源
02	地表水	青木川支流（南）
03	地表水	青木川
04	地表水	虻川
05	地表水	壬生沢川



凡例

- 計画路線(トンネル部) ■■■ 高橋の水文学的方法による地下水への影響の予測検討範囲
- 計画路線(地上部) - - - 非常口(トンネル部)
- 工事用道路 非常口(山岳部)の掘削概略ルート
- - - 県境
- · - · 市町村境

図 2-2 対象地点 (大鹿村)



凡例

- 計画路線(トンネル部) ■■■ 高橋の水文学的方法による地下水への影響の予測検討範囲
- 計画路線(地上部) - - - - 非常口(トンネル部)
- 工事用道路 非常口(山岳部)の掘削概略ルート
- · - · 県境
- - - - 市町村境

図 2-3 対象地点 (豊丘村・喬木村)

2-5 対象時期

トンネルの工事は工事期間中の影響が大きくなる時期とし、鉄道施設（トンネル）の存在は鉄道施設の完成後の恒常的な状態になる時期とした。

2-6 解析条件

モデルは地表水及び地下水の流動の場である地形起伏と地下地質構造を三次元ブロックの集合体として表現し、境界条件については、設定範囲が解析結果に影響を及ぼさないよう設定した（「参考資料 水収支解析について」参照）。モデルの構築に必要なデータは予測地域内における既往の調査結果（河川流量の現況値、降水量）から引用し、入力する物性値は「参考資料 水収支解析について」に示す地質断面に基づいて、文献調査及び地質調査の結果から設定した。

3 検討結果

トンネルの工事及び鉄道施設（トンネル）の存在に伴う河川流量の変化を表 3-1～3-3 に示す。

なお、今回の河川流量の予測は、覆工コンクリート、防水シート及び薬液注入等の環境保全措置を何も実施していない最も厳しい条件下での計算の結果であり、事業の実施にあたっては様々な環境保全措置を実施することから、河川流量の減少量を少なくできると考えている。

表 3-1 解析結果(年平均)

地点番号	地点	現況の 想定流量 (m ³ /s)	工事期間中 の流量 (m ³ /s)	完成後の 流量 (m ³ /s)
01	大河原水源	0.005	0.005 (△0%)	0.005 (△0%)
02	青木川支流(南)	0.020	0.019 (△5%)	0.019 (△5%)
03	青木川	1.630	1.532 (△6%)	1.517 (△7%)
04	虻川	0.766	0.680 (△11%)	0.668 (△13%)
05	壬生沢川	0.125	0.118 (△6%)	0.117 (△6%)

表 3-2 解析結果(豊水期)

地点 番号	地点	現況の 想定流量 (m ³ /s)	工事期間中 の流量 (m ³ /s)	完成後の 流量 (m ³ /s)
01	大河原水源	0.007	0.007(△0%)	0.007 (△0%)
02	青木川支流(南)	0.029	0.028 (△3%)	0.027 (△7%)
03	青木川	1.913	1.833 (△4%)	1.801 (△6%)
04	虻川	0.979	0.905 (△8%)	0.881 (△10%)
05	壬生沢川	0.167	0.161 (△4%)	0.159 (△5%)

※：豊水期(6月～8月)

表 3-3 解析結果(渇水期)

地点 番号	地点	現況の 想定流量 (m ³ /s)	工事期間中 の流量 (m ³ /s)	完成後の 流量 (m ³ /s)
01	大河原水源	0.002	0.002(△0%)	0.002 (△0%)
02	青木川支流(南)	0.011	0.010 (△9%)	0.009 (△18%)
03	青木川	1.307	1.227 (△6%)	1.195 (△9%)
04	虻川	0.510	0.442 (△13%)	0.415 (△19%)
05	壬生沢川	0.076	0.070 (△8%)	0.068 (△11%)

※：渇水期(12～2月)

4 今後の取り組み

本事業では、トンネルの工事及び鉄道施設（トンネル）の存在による水資源に係る環境影響を低減することを目的として、「環境影響評価書【長野県】（平成26年8月）」に記載した表4-1の環境保全措置を今後の取り組みとして実施する。

トンネルの工事实施にあたっては、工事前に地質や地下水の状況を把握したうえで、覆工コンクリートや防水シートの設置を行い、また、必要に応じて地盤注入を実施するなど地質に応じた対策を行うことにより影響の低減を図る。

また、トンネル工事に伴う水資源への影響の把握については、工事着手前、工事中、工事完了後に、事後調査として流量等の状況を定期的に監視していくとともに、トンネル内の湧水などの状況もあわせて確認する。

事後調査の結果、工事中に減水・濁水などの兆候が認められた場合には、水を利用される方の生活に支障をきたさぬよう、代替水源の確保などの対策を実施する。また、解析を行った他の地点についても、工事期間中の自主的なモニタリングとして、流量等の測定を実施していく。

表 4-1 環境保全措置の検討の状況

環境保全措置	措置の効果
工事排水の適切な処理	工事により発生する水は必要に応じて沈殿・濾過・中和等の対策により、法令に基づく排水基準等を踏まえ、水質の改善を図るための処理をしたうえで排水することで、公共用水域への影響を低減できる。
工事排水の監視	工事排水の水質を監視し、処理状況を定期的に確認することで、水質管理を徹底することができる。
処理施設の点検・整備による性能維持	処理装置を設置する場合は、点検・整備を確実にを行い、性能を維持することにより、工事排水の適正処理を徹底することができる。
適切な構造及び工法の採用	工事の施工に先立ち地質、地下水の調査を実施し、覆工コンクリート、防水シートの設置等を行うとともに、必要に応じて地盤注入を実施することなどにより、地下水への影響を低減できる。
薬液注入工法における指針の順守	薬液注入工法を施工する際は「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針」（昭和49年7月、建設省）に基づき適切に実施することで地下水の水質への影響を低減できる。
地下水等の監視	工事着手前、工事中、工事完了後において、地下水の水位等（湧水量や河川流量含む）の状況を定期的に監視し把握することで、地下水位の低下等の変状の兆候を早期に発見し、対策を実施することで影響を低減できる。
応急措置の体制整備	地下水等の監視の状況から地下水低下等の傾向がみられた場合に、速やかに給水設備等を確保する体制を整えることで、水資源の継続的な利用への影響を低減できる。
代替水源の確保	水量の不足等、重要な水源の機能を確保できなくなった場合は、速やかにその他の水源を確保することで、水資源の利用への影響を代償できる。

参考資料 水収支解析について

1 トンネル水収支モデルの概要

計画地周辺における水資源への影響検討は、トンネル水収支モデルによって行った。プログラムは、TOWNBY を用いた（「トンネル掘さくに伴う湧水とそれに伴う水収支変化に関する水文地質学的研究」鉄道技術研究報告、p.4～21、1983年3月）。

トンネル水収支解析モデルは、表1及び図1に示すように、3つのサブモデルで構成される。

表1 サブモデルの概要

①地形・地盤モデル	地表水および地下水の流動の場（入れもの）である地形起伏と地下地質構造を表現するモデルである。地表水は基本的には地形の起伏に従って、標高の高い地点から低い地点に向け流動する。また、地下水は、地下水位の高いほうから低いほうに流動するが、地下水位は地盤の有効間隙率の影響を受けるとともに、地下水流動量は地盤の透水係数に比例する。
②水循環モデル	大気—地表—土壌—地下水—地表水の間を循環する水の挙動を表現するモデルである。
③トンネルモデル	トンネル掘削状況（切羽位置、掘削速度、トンネル形状、覆工など）のモデル化であり、水循環モデルに組み込むことにより、トンネル掘削による影響を予測解析することができる。

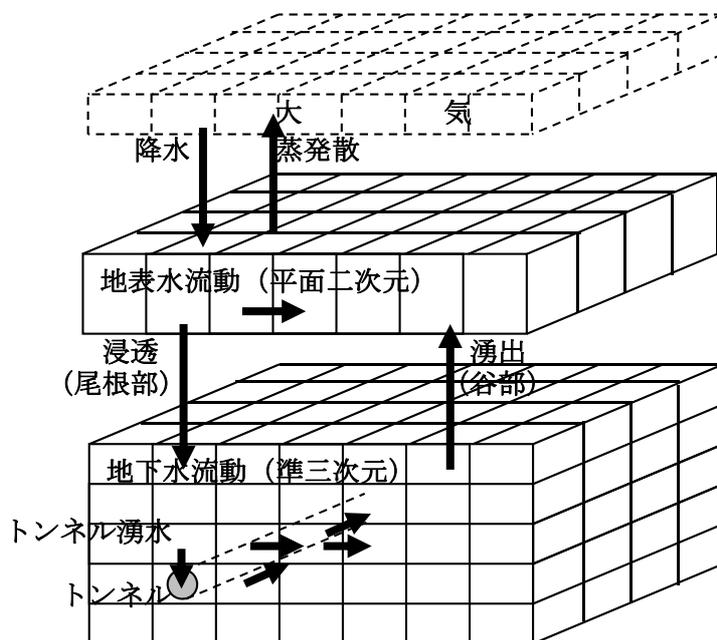


図1 トンネル水収支モデル模式図

(1) 地形・地盤モデル

1) モデルの構造

地形の起伏が大きく、標高差が大きな山岳部では、地表水の流動だけではなく、自然状態の地下水流動も地形の影響を大きく受ける。従って、水が流動する場である地形・地盤を三次元的に表現した。図2にモデル構造のイメージを示す。

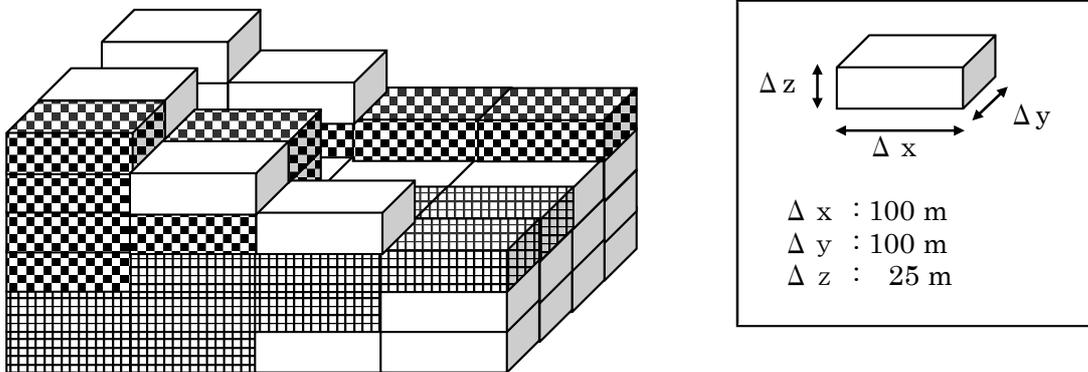


図2 モデルの構造のイメージ（直方体ブロックの集合体）

（各ブロックの模様の違いで地質の違いを表現している）

2) 透水量係数

地下水の流動は平面2次元流動として扱うため、平面グリッドごとに深度方向に透水係数を積算した透水量係数を算出した。

図3に透水量係数の算出方法のイメージを示す。

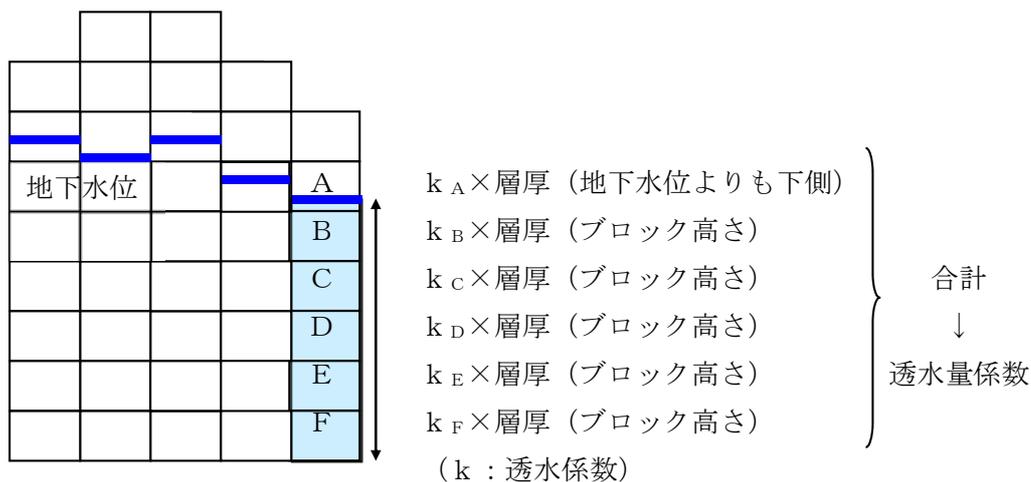


図3 透水量係数の算出方法

(2) 水循環モデル

トンネル掘削に伴う水循環の変化に関わる水収支項目と、それらの相互関係をモデル化するうえで、地下水と地表水の相互作用を無視できないことから、両者を一括して扱った。

- ・ 地表水流動 : 平面二次元流動（連結タンクモデル、図4にイメージを示す。）
- ・ 地下水流動 : 準三次元流動（地下水流動方程式は式1の通り）
- ・ トンネル湧水 : トンネルが位置する地盤ブロックとの間で湧水量を算出

水循環の計算では、式1に示す方程式を解く。基本方程式（微分方程式）を解くために、一般に、数値解析が用いられる。TOWNBYでは、差分法を用いている。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) + Qr - Qd = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{式1})$$

式で、 h : 地下水位

t : 時間

T : 透水量係数

S : 有効間隙率

Qr : 地表からの地下水浸透量

Qd : トンネル湧水量、地表への湧出量

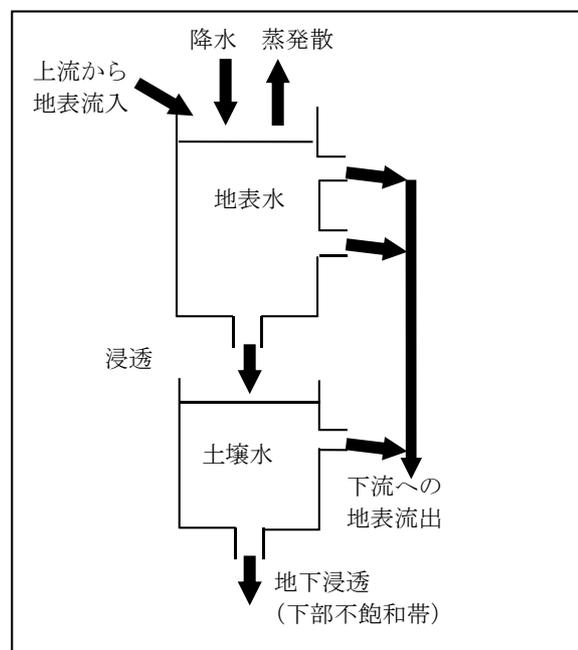


図4 連結タンクモデル

(3) トンネルモデル

トンネル湧水に関係する主な要素には、地下水位、地盤の透水性、トンネルの径と延長がある。これらの関係は、式2のように示される（「グラウトによるトンネル湧水量変化解析」トンネルと地下、vol. 11、No. 10、p. 47～52、1980年10月）。

$$Q = \frac{2\pi kH}{\ln(2H/b) + (k/k_s)\ln(b/a)} \quad (\text{式2})$$

式で、 k_s : 覆工構造物の透水係数

k : 地盤の透水係数

H : トンネルから地下水面までの高さ

a, b : トンネル内径、外径

(4) 解析条件

トンネル水収支モデルに関わる基本項目について表2に示す。

表2 解析条件

項目	内 容
解析手法	モデル : トンネル水収支モデル 解析コード : TOWNBY 計算条件 : 非定常計算
解析範囲	東西 21.0km、南北 20.7km、面積 211.6 km ² 、鉛直方向 100～2,475m ブロックサイズ : 100m×100m×25m 最大ブロック数 : 東西 210、南北 207、鉛直 95 総ブロック数 : 829,209
境界条件	表層 : 降雨浸透境界 (既知流量境界)、浸出面境界 水域 : 河川 (既知水頭境界、浸出境界) 尾根部 : 流域界に基づく地形の尾根部 (閉鎖境界)
地形・地質条件	地表面標高 : メッシュ標高 (国土地理院) 地質構造 : 地質調査結果に基づく
気象条件	降水量、蒸発散量
水理定数	地質調査結果に基づく

2 水収支解析の検証

伊那山地における水収支解析の検証に使用した流量観測地点を表3及び図5に示す。また、検証結果を図6に示す。

表 3(1) 検証に使用した流量観測地点

地点 番号	観測地点	種別	観測期間						
			H22		H23		H24		H25
			豊水期	渇水期	豊水期	渇水期	豊水期	渇水期	豊水期
1	間沢川下流	河川	○	○	○	○	○	○	○
2	芦部沢川下流	河川	○	○	○	○	○	○	○
3	虻川	河川	○	○	○	○	○	○	○
4	加々須川	河川	○	○	○	○	○	○	○
5	(青木川左岸)	河川	○	○	○	○	○	○	
6	下唐沢	河川	○	○	○	○	○	○	○
7	(青木川左岸)	河川	○	○	○	○	○	○	○
8	針の木沢	河川	○	○	○	○	○	○	○
9	元沢	河川	○	○	○	○	○	○	○
10	間沢川上流	河川	○	○	○	○	○	○	○
11	芦部沢川上流	河川	○	○	○	○	○	○	○
12	郷土川	河川	○	○	○	○	○	○	○
13	長澤川	河川	○	○	○	○	○	○	○
14	大密川	河川	○	○	○	○	○	○	○
15	佐原川	河川	○	○	○	○	○	○	○
16	うるし川	河川	○	○	○	○	○	○	○
17	虻川	河川	○	○	○	○	○	○	○
18	虻川上流	河川	○	○	○	○	○	○	○
19	白ヶ沢	河川	○	○	○	○	○	○	○
20	千沢	河川	○	○	○	○	○	○	○
21	樽沢	河川	○	○	○	○	○	○	○
22	虻川支流	河川	○	○	○	○	○	○	○
23	和合沢	河川	○	○	○	○	○	○	○
24	(青木川左岸)	河川	○	○	○	○	○	○	○
25	芦部川中流	河川	○	○	○	○	○	○	○
26	大満沢上流	河川	○	○	○	○	○	○	○
27	虻川支流	河川	○	○	○	○	○	○	○
28	小白沢	河川	○	○	○	○	○	○	
29	白沢	河川	○	○	○	○	○	○	
30	福沢川	河川	○	○	○	○	○	○	
31	生田寺沢川	河川	○	○	○	○	○	○	
32	河野寺沢川	河川	○	○	○	○	○	○	

注1： 地点番号5、28～32のH25欄及び地点番号18、22、27の観測地点欄について誤記を訂正しました（平成28年6月）

表 3(2) 検証に使用した流量観測地点

地点 番号	観測地点	種別	観測期間						
			H22		H23		H24		H25
			豊水期	渇水期	豊水期	渇水期	豊水期	渇水期	豊水期
33	壬生沢川	河川	○	○	○	○	○	○	○
34	矢筈トンネル	河川	○	○	○	○	○	○	○
35	柄山トンネル	河川	○	○	○	○	○	○	○
36	樽沢上流	河川			○	○	○	○	○
37	虻川支流	河川			○	○	○	○	○
38	虻川支流	河川			○	○	○	○	○
39	ヨシロジャノ洞	河川							○
40	加々須川上流	河川							○
41	小渋川南支川	河川	○	○	○	○	○	○	○
42	小渋川南支川	河川	○	○	○	○	○	○	○
43	小渋川南支川	河川	○	○	○	○	○	○	○
44	青木川東支川	河川	○	○	○	○	○	○	○
45	青木川東支川	河川	○	○	○	○	○	○	○
46	青木川下流	河川	○	○	○	○	○	○	○

注1：概ねの時期：中間期（5～6月）、豊水期（7～9月）、渇水期（11月～1月）

注2：地点番号36～38のH22欄及び地点番号36～38の観測地点欄について誤記を訂正しました（平成28年6月）

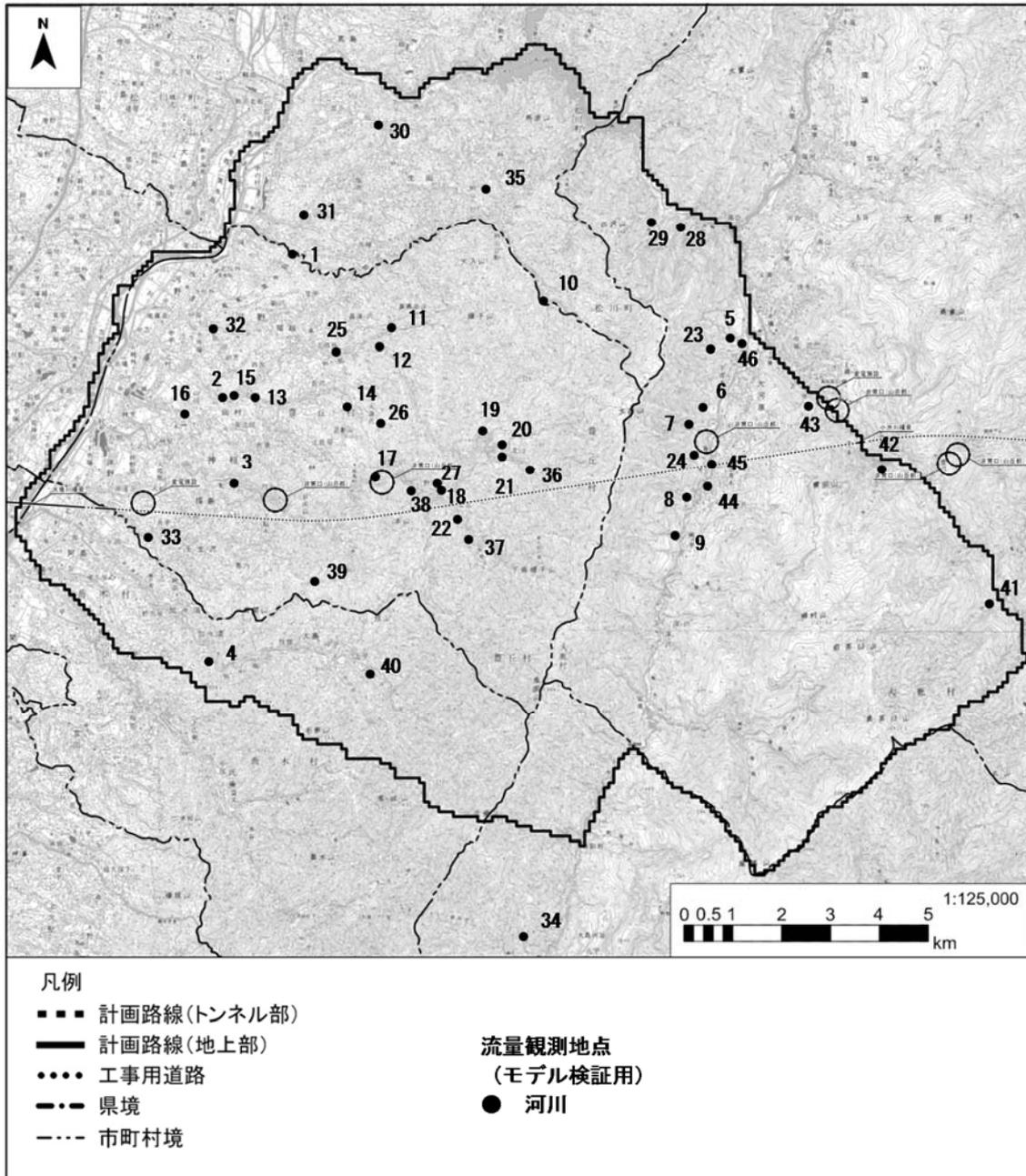


図5 検証に使用した流量観測地点

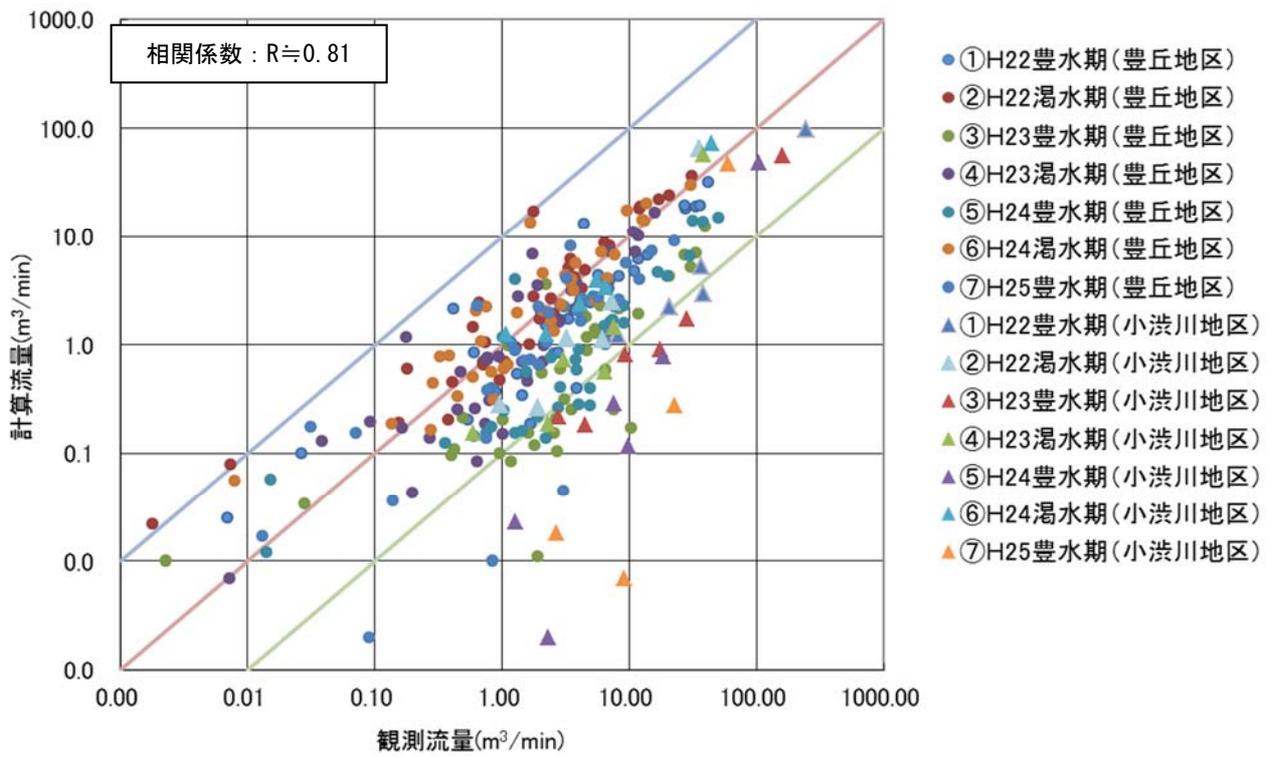


図 6 観測流量と計算流量の比較

図 6 は観測流量と計算流量の関係を示した図面であり、中央の斜め実線に近く分布しているほど計算結果の再現性がよい。

3 解析範囲と地質条件

(1) 解析範囲及び要素区分

解析範囲は、事業実施区域を包括し、河川等の地形に沿った範囲とした。また、要素は水平方向に100m×100m、深度方向に25mの要素で区分した。解析範囲を図7に示す。

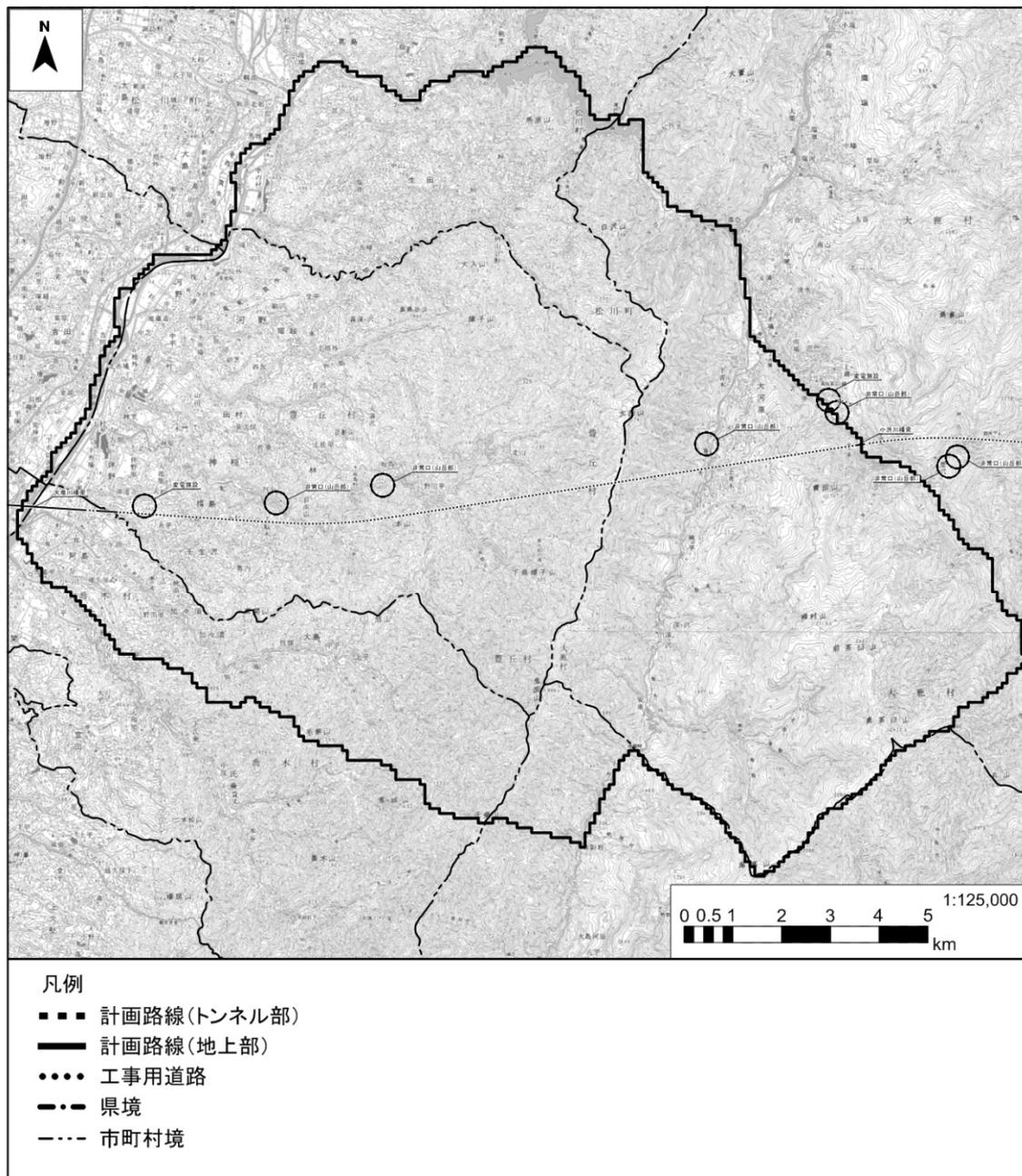


図7 解析範囲

(2) 地下地質及び透水係数

地下地質の要素区分は図8に示すとおりである。また、各層の透水係数については、表4に示した。

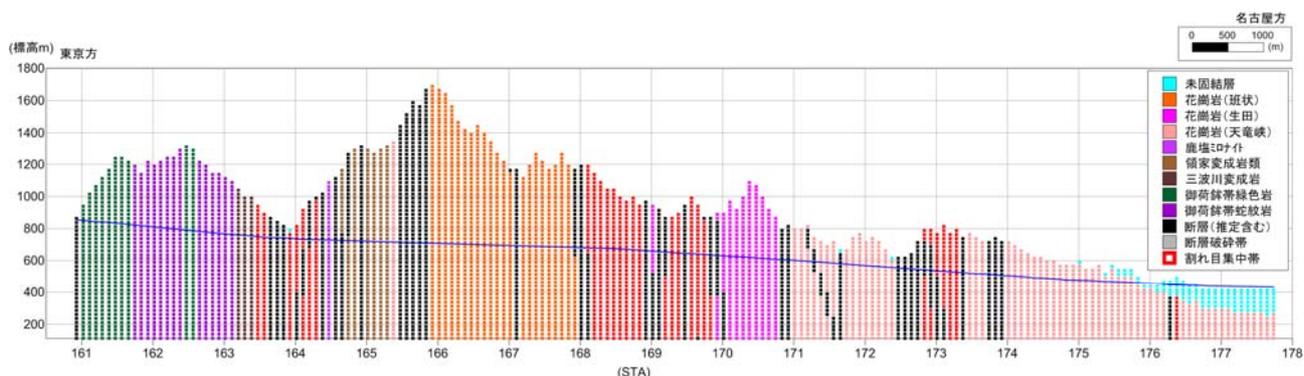


図8 地下地質の要素区分

表4 透水係数モデル入力値 (cm/sec)

No.	地盤区分	風化部	ゆるみ部	新鮮岩	
1	未固結堆積物	2.0E-04			
2	領家古期花崗岩	生田花崗岩	1.0E-04	1.0E-05	1.0E-06
3		天竜峡花崗岩	1.0E-04	1.0E-05	1.0E-06
4		斑状花崗岩	1.0E-04	1.0E-05	1.0E-06
5	鹿塩ミロナイト	1.0E-04	1.0E-05	1.0E-06	
6	領家変成岩類	1.0E-04	1.0E-05	1.0E-06	
7	三波川変成岩	1.0E-04	1.0E-05	1.0E-06	
8	御荷鉾緑色岩	2.0E-05	1.0E-05	1.0E-06	
9	御荷鉾蛇紋岩	2.0E-05	1.0E-05	1.0E-06	
10	秩父帯粘板岩	2.0E-05	1.0E-05	1.0E-06	
11	秩父帯砂岩	4.0E-05	2.0E-05	2.0E-06	
12	秩父帯緑色チャート	4.0E-05	2.0E-05	2.0E-06	
13	秩父帯石灰岩	1.0E-04	5.0E-05	1.0E-05	
14	断層・推定断層	(青木川以西 豊丘地区) 2.0E-05 (青木川以东 南ア地区) 1.2E-04			
15	断層破砕帯	(青木川以西 豊丘地区) 1.0E-04 (青木川以东 南ア地区) 1.0E-04			
16	割れ目集中帯	(青木川以西 豊丘地区) 2.0E-06 (青木川以东 南ア地区) 7.0E-05			

注1：単位について誤記を訂正しました（平成28年6月）