

7 水資源

7-1 水収支解析について

7-1-1 トンネル水収支モデルの概要

計画地周辺における地下水への影響の予測は、トンネル水収支モデルにより実施した。プログラムは、TOWNBY（「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、1983年3月）に記載のプログラム）を用いた。

トンネル水収支解析モデルは、表 7-1-1 及び図 7-1-1 に示すように、3つのサブモデルで構成される。

表 7-1-1 サブモデルの概要

| | |
|------------|--|
| ① 地形・地盤モデル | 地表水及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。 |

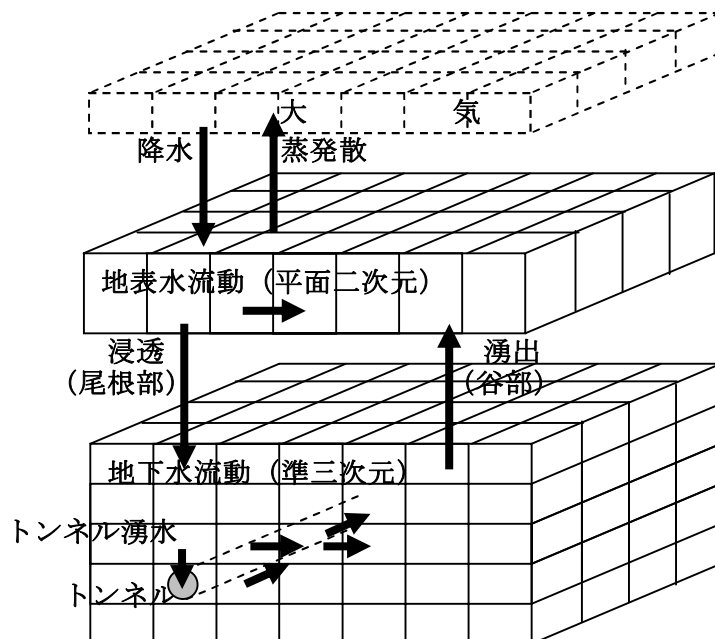


図 7-1-1 トンネル水収支モデル模式図

(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。モデル構造のイメージを図 7-1-2 に示す。

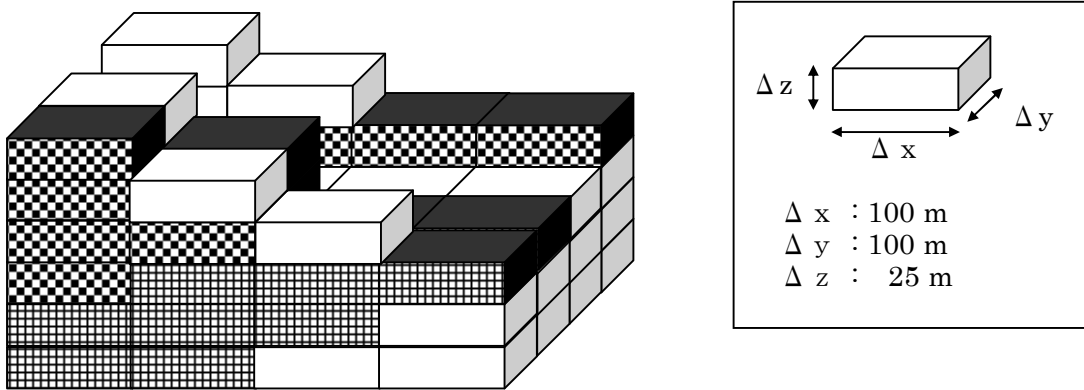


図 7-1-2 モデルの構造のイメージ (直方体ブロックの集合体)
(各ブロックの模様の違いで地質の違いを表現している)

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。透水量係数の算出方法のイメージを図 7-1-3 に示す。

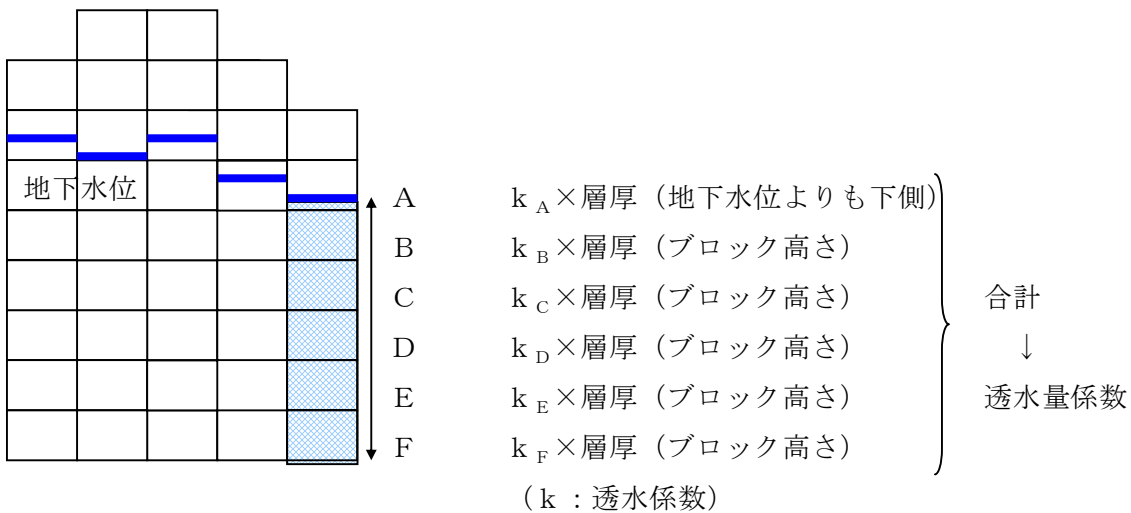


図 7-1-3 透水量係数の算出方法

(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（連結タンクモデルのイメージを図 7-1-4 に示す。）
- ・地下水流動 : 準三次元流動（地下水流動方程式は次式の通り）
- ・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 7-1-1 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。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) + Qr - Qd = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (\text{式 7-1-1})$$

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

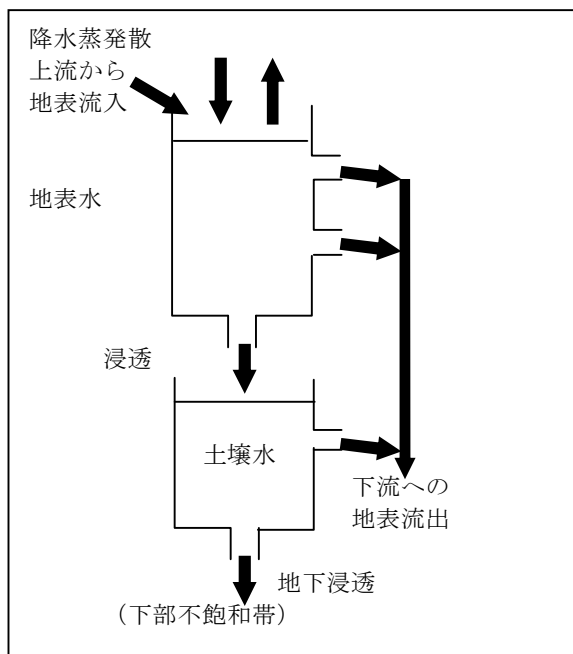


図 7-1-4 連結タンクモデル

(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。これらの関係を式 7-1-2 に示す（「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、1980 年 10 月）。

$$Q = \frac{2\pi kH}{\ln(2H/b) + (k/k_s)\ln(b/a)} \quad (\text{式 7-1-2})$$

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を表 7-1-2 に示す。

表 7-1-2 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 | [猿庫の泉周辺] 東西 12.4km、南北 12.2km、面積 74.12 km ² 、鉛直方向 100～1725m ブロックサイズ：50m×50m×25m 最大ブロック数：東西 248、南北 244、鉛直 65 総ブロック数：883023 [南アルプス] 東西 41.1km、南北 25.2km、面積 545.4 km ² 、鉛直方向 100～3,225m ブロックサイズ：100m×100m×25m 最大ブロック数：東西 411、南北 252、鉛直 125 総ブロック数：4,993,336 |
| 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 |

1) 猿庫の泉周辺

ア. 解析範囲及び要素区分

解析範囲は、対象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 50m×50m、深度方向に 25m で区分した。解析範囲を図 7-1-5 に示す。

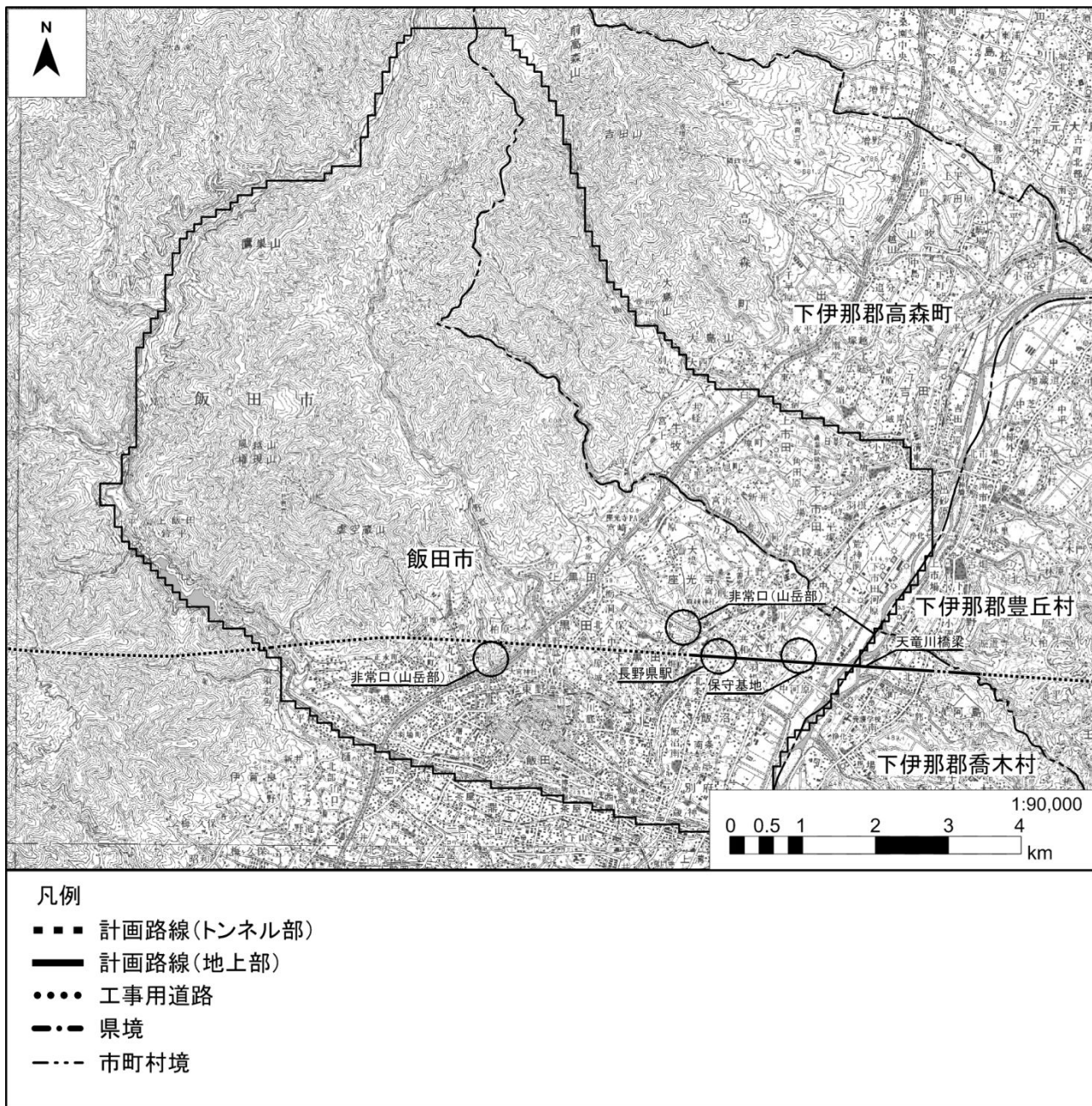


図 7-1-5 解析範囲

イ. 地下地質及び透水係数

地下地質の要素区分を図 7-1-6 に示す。また、各層の透水係数を表 7-1-3 に示す。

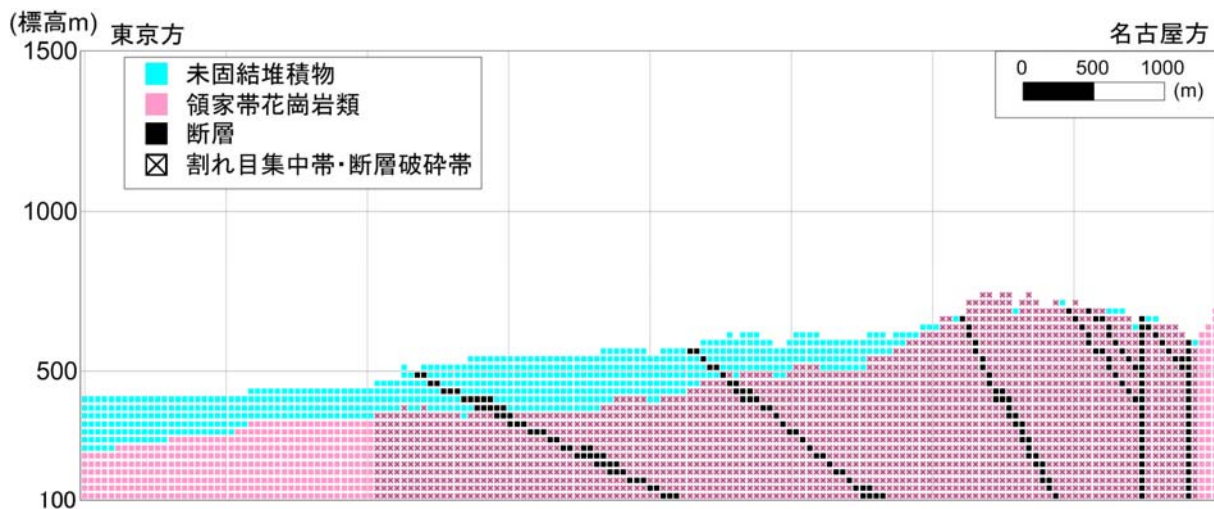


図 7-1-6 地下地質の要素区分

表 7-1-3 透水係数モデル入力値 (m/sec)

| No. | 地盤区分 | | 風化部 | ゆるみ部 | 新鮮岩 |
|-----|--------------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 新生代 | 未固結堆積物 | | 2.0×10^{-6} | |
| 2 | 中生代白亜紀 | 領家帯新期花崗岩類 | 4.7×10^{-7} | 4.7×10^{-8} | 4.7×10^{-9} |
| 3 | | 領家変成岩類 | 4.7×10^{-7} | 4.7×10^{-8} | 4.7×10^{-9} |
| 4 | 断層 (推定断層を含む) | | | 1.4×10^{-7} | |
| 5 | 断層破碎帯 | | | 1.4×10^{-7} | |
| 6 | 割れ目集中帯 | | | 1.0×10^{-8} | |

2) 南アルプス

ア. 解析範囲及び要素区分

解析範囲は、対象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 7-1-7 に示す。

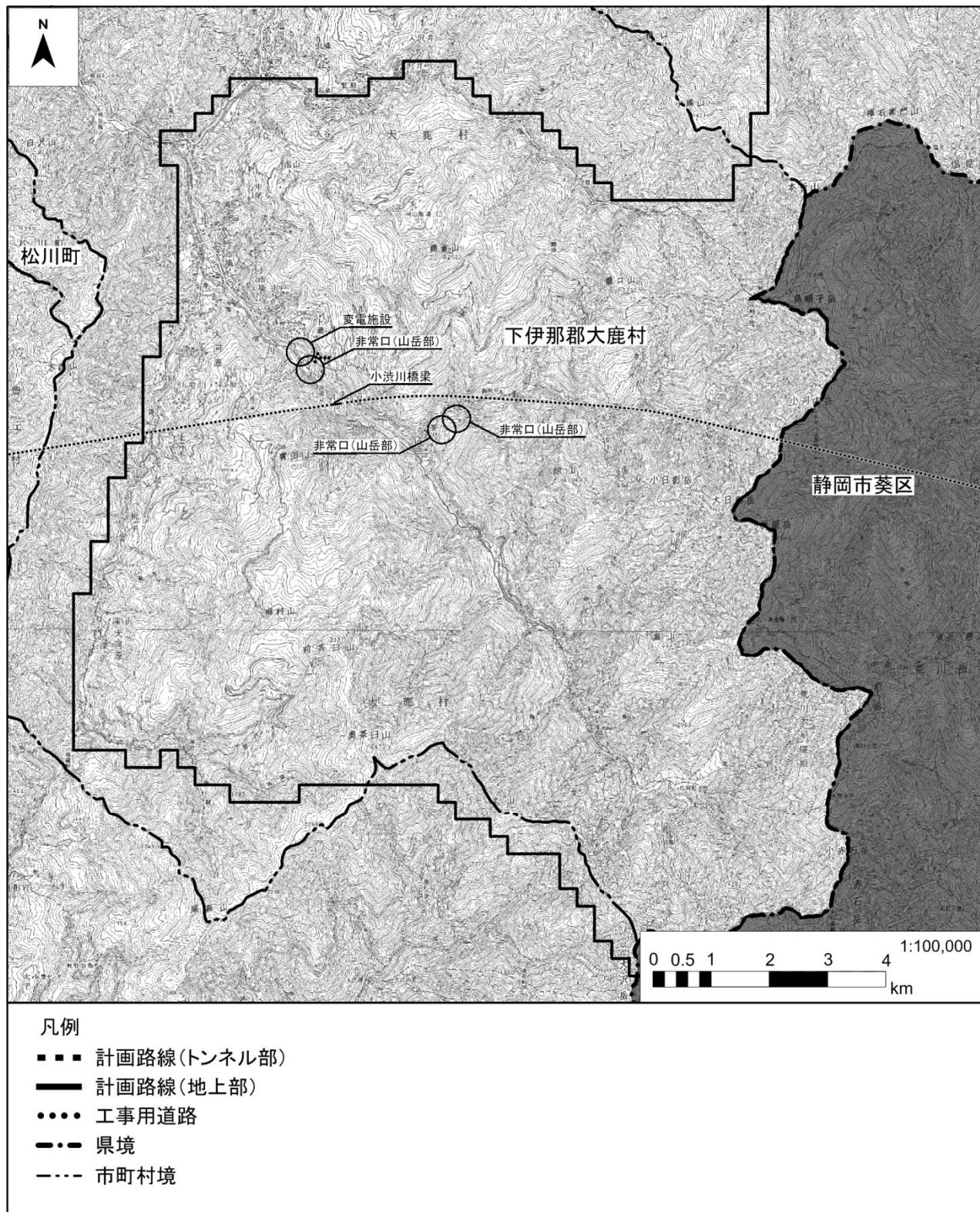


図 7-1-7 解析範囲

イ. 地下地質及び透水係数

地下地質の要素区分を図 7-1-8 に示す。また、各層の透水係数を表 7-1-4 に示す。

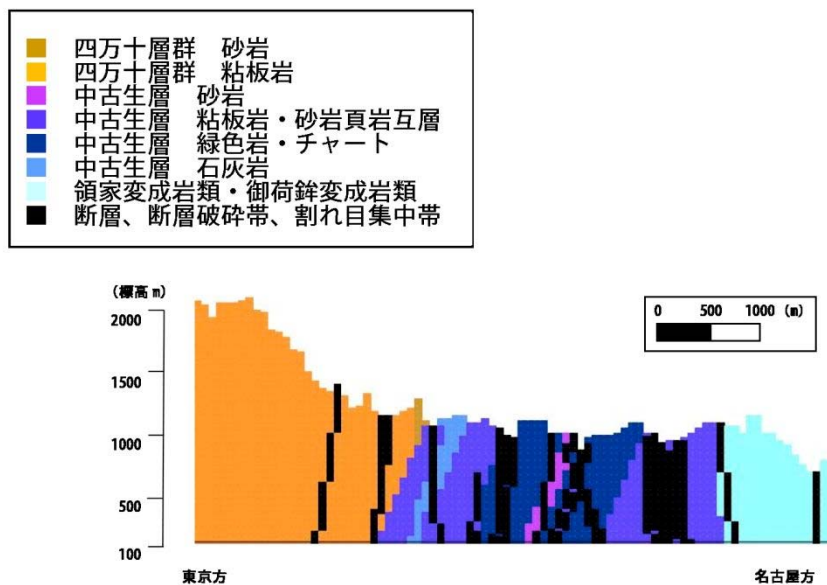


図 7-1-8 地下地質の要素区分

表 7-1-4 透水係数モデル入力値 (m/sec)

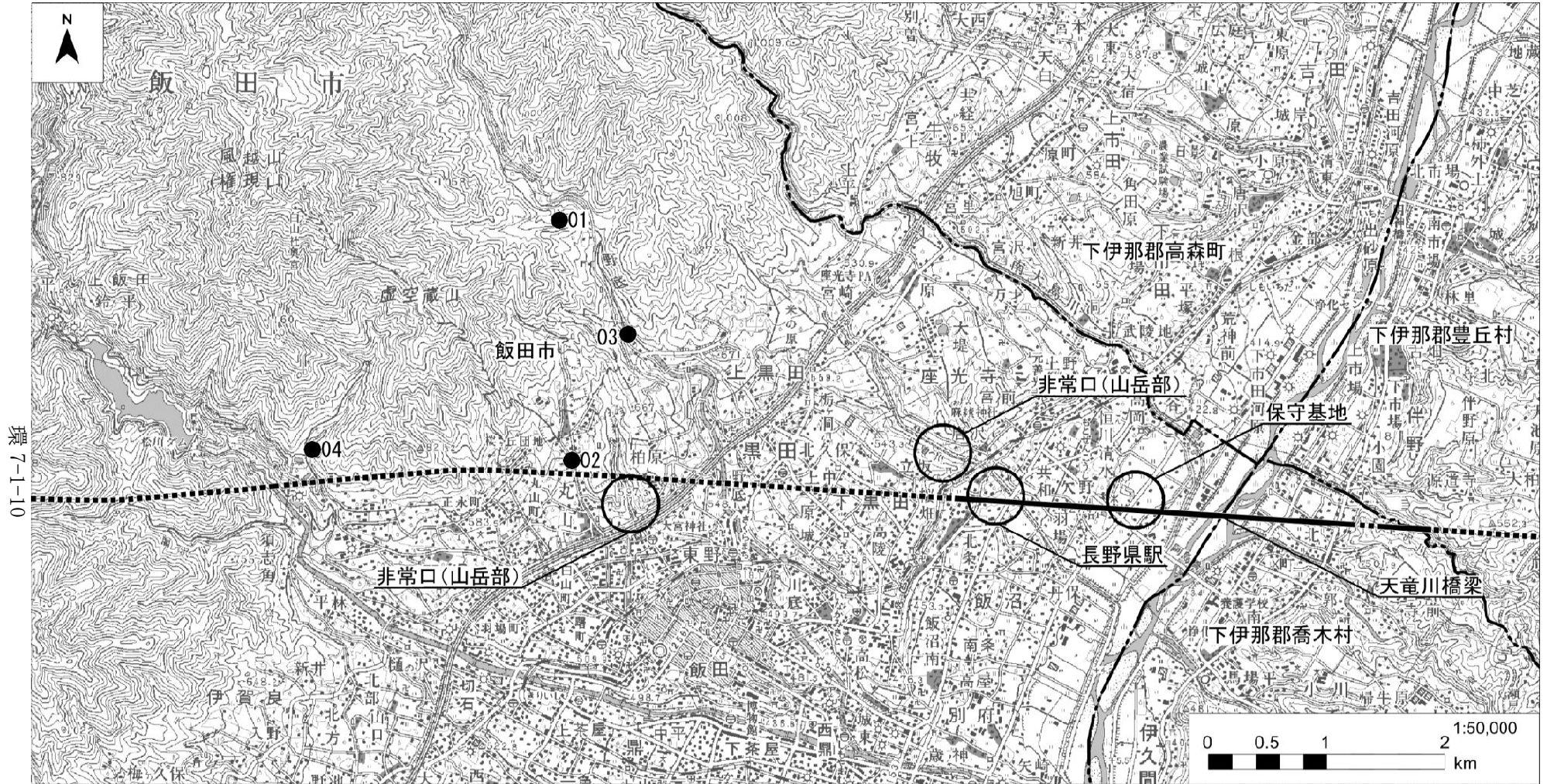
| No. | 地盤区分 | 風化部 | ゆるみ部 | 新鮮岩 | |
|-----|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | 未固結層堆積層 | 1.0 × 10 ⁻⁵ | | | |
| 2 | 四万十層群 | 砂岩 | 4.0 × 10 ⁻⁷ | 2.0 × 10 ⁻⁷ | 2.0 × 10 ⁻⁸ |
| 3 | | 頁岩、砂岩頁岩互層 | 2.0 × 10 ⁻⁷ | 1.0 × 10 ⁻⁷ | 1.0 × 10 ⁻⁸ |
| 4 | | 緑色岩・チャート | 4.0 × 10 ⁻⁷ | 2.0 × 10 ⁻⁷ | 2.0 × 10 ⁻⁸ |
| 5 | | 石灰岩 | 1.0 × 10 ⁻⁶ | 5.0 × 10 ⁻⁷ | 1.0 × 10 ⁻⁷ |
| 6 | 中古生層 (秩父帯) | 砂岩 | 4.0 × 10 ⁻⁷ | 2.0 × 10 ⁻⁷ | 2.0 × 10 ⁻⁸ |
| 7 | | 粘板岩・砂岩頁岩互層 | 2.0 × 10 ⁻⁷ | 1.0 × 10 ⁻⁸ | 1.0 × 10 ⁻⁸ |
| 8 | | 緑色岩・チャート | 4.0 × 10 ⁻⁷ | 2.0 × 10 ⁻⁷ | 2.0 × 10 ⁻⁸ |
| 8 | | 石灰岩 | 1.0 × 10 ⁻⁶ | 5.0 × 10 ⁻⁷ | 1.0 × 10 ⁻⁷ |
| 9 | 貫入岩類 | 2.0 × 10 ⁻⁷ | 1.0 × 10 ⁻⁷ | 1.0 × 10 ⁻⁸ | |
| 10 | 領家変成岩類・御荷鉾変成岩類 | 2.0 × 10 ⁻⁷ | 1.0 × 10 ⁻⁷ | 1.0 × 10 ⁻⁸ | |
| 11 | 三波川変成岩類 | 2.0 × 10 ⁻⁷ | 1.0 × 10 ⁻⁷ | 1.0 × 10 ⁻⁸ | |
| 12 | 断層 | 1.2 × 10 ⁻⁶ | | | |
| 13 | 断層破碎帯 | 1.0 × 10 ⁻⁶ | | | |
| 14 | 割れ目集中帯 | 7.0 × 10 ⁻⁷ | | | |

7-1-2 予測結果（風越山周辺の河川について）

トンネルの工事及び鉄道施設（トンネル）の存在に伴う風越山周辺の河川流量については、図 7-1-9 に示す範囲の予測結果は表 7-1-5 に示すとおりであり、河川流量にほとんど変化は生じない。

表 7-1-5 予測結果（河川流量）

| 地点 番号 | 地点 | 現況の想定流量 (m^3/min) | 工事期間中の流量 (m^3/min) | 完成後の流量 (m^3/min) |
|----------|------|--|---|---------------------------------------|
| 01 | 板山川 | 3.25 | 3.25 | 3.15 |
| 02 | 王竜寺川 | 2.33 | 2.33 | 2.33 |
| 03 | 野底川 | 38.4 | 38.4 | 38.4 |
| 04 | 円悟沢川 | 6.81 | 6.81 | 6.80 |



環 7-1-10

凡例

- ■ ■ 計画路線(トンネル部)
- 計画路線(地上部)
- ● ● 工事用道路
- 県境
- - - 市町村境
- : 予測地点

图 7-1-9 予測地点

7-2 猿庫の泉及び円悟沢川について

7-2-1 調査

(1) 調査項目

調査項目は、流量、水温、pH、電気伝導率、カリウムイオン (K^+)、カルシウムイオン (Ca^{2+})、マグネシウムイオン (Mg^{2+})、ナトリウムイオン (Na^+)、重炭酸イオン (HCO_3^-)、硫酸イオン (SO_4^{2-})、塩化物イオン (Cl^-) とした。

(2) 調査の基本的な手法

現地調査の方法を、表 7-2-1 に示す。

表 7-2-1 現地調査方法

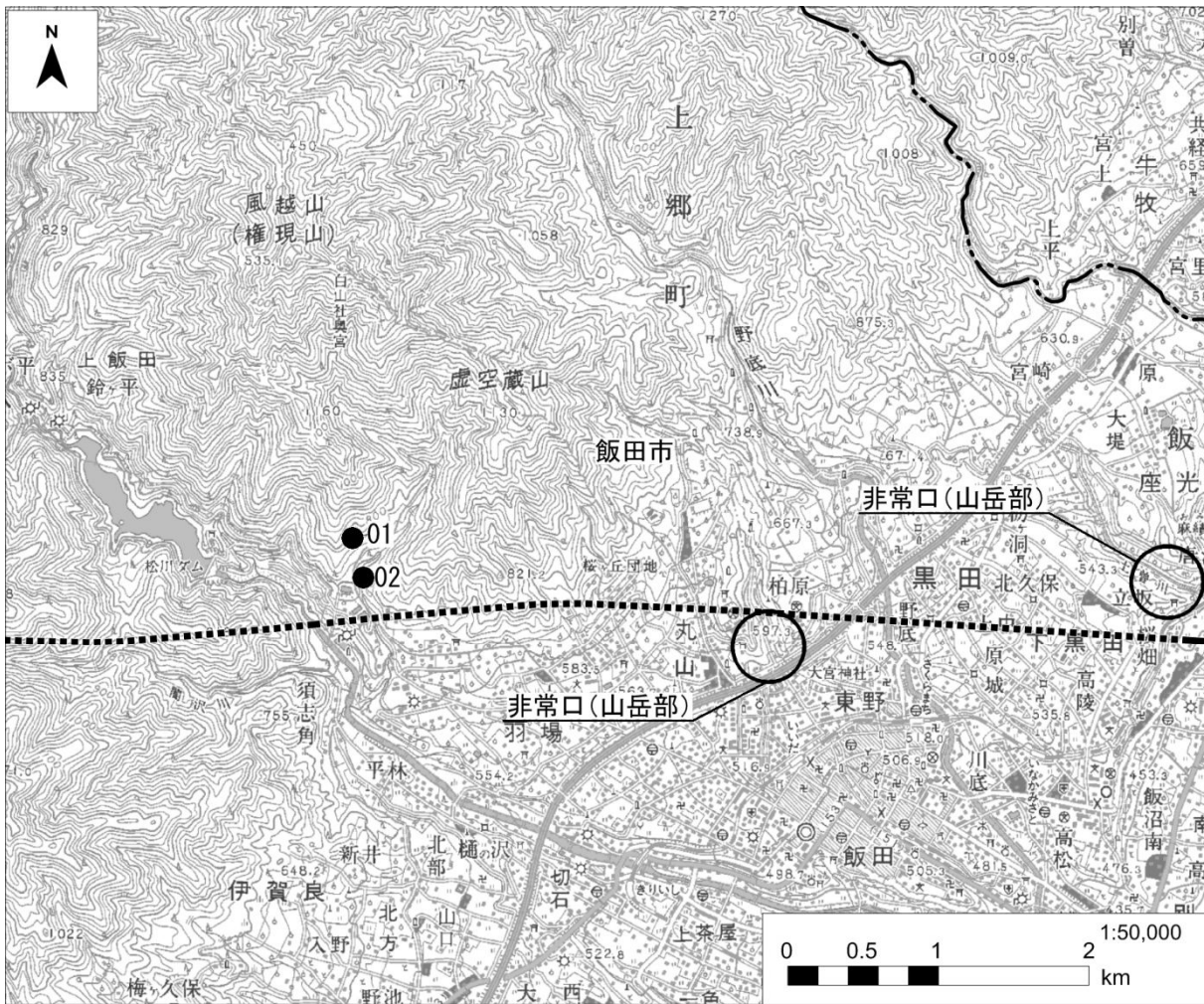
| 調査項目 | 調査方法 |
|---|---|
| 流量、水温、pH、電気伝導率、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- | 「地下水調査および観測指針（案）」（平成 5 年建設省河川局）に定める測定方法に準拠する。 |

(3) 調査地点

調査地点を表 7-2-2、図 7-2-1 に示す。

表 7-2-2 調査地点

| 地点番号 | 市町村名 | 所在地 | 名称 | 備考 |
|------|------|-----|------|----|
| 01 | 飯田市 | 上飯田 | 猿庫の泉 | 湧水 |
| 02 | | | 円悟沢川 | 河川 |



- 凡例
- 計画路線(トンネル部) ● :調査地点
 - 計画路線(地上部)
 - 工事用道路
 - .-.- 県境
 - 市町村境

図 7-2-1 調査地点

(4) 調査結果

調査結果を表 7-2-3 及び図 7-2-2 に示す。

表 7-2-3(1) 流量の月間変動 (L/min)

| 地点 番号 | 市 町村 名 | 名称 | 平成 24 年 | | | | | |
|----------|--------------|------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 |
| 01 | 飯 田市 | 猿庫の泉 | 27.1 | 23.0 | 14.9 | 12.5 | 7.5 | 7.3 |
| 02 | | 円悟沢川 | 6,180 | 3,060 | 2,340 | 2,820 | 2,700 | 2,700 |
| 地点 番号 | 市 町村 名 | 名称 | 平成 25 年 | | | | | |
| | | | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 |
| 01 | 飯 田市 | 猿庫の泉 | 6.4 | 6.7 | 8.5 | 11.4 | 12.6 | 8.4 |
| 02 | | 円悟沢川 | 3,120 | 3,606 | 4,416 | 7,782 | 3,294 | 2,712 |

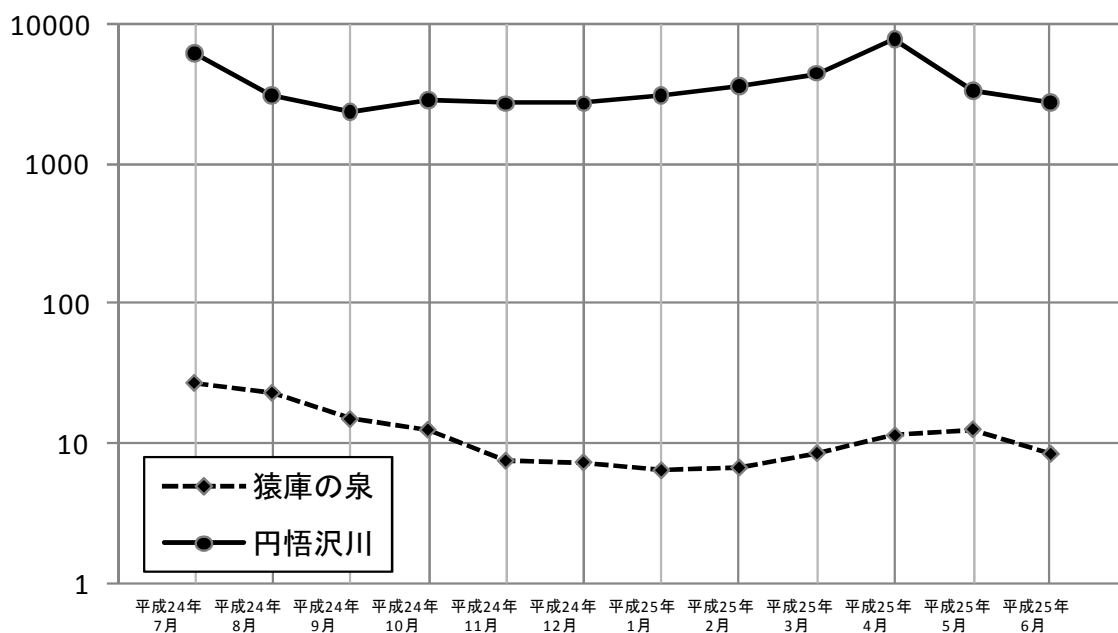


図 7-2-2(1) 流量の月間変動 (L/min)

表 7-2-3(2) 水温の月間変動 (°C)

| 地点番号 | 市町村名 | 名称 | 平成 24 年 | | | | | | 平成 25 年 | | | | | |
|------|---------|------|---------|------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|
| | | | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 |
| 01 | 飯田 市 | 猿庫の泉 | 12.2 | 12.7 | 11.8 | 11.8 | 11.5 | 11.2 | 10.4 | 11.5 | 11.1 | 11.2 | 11.3 | 11.6 |
| 02 | | 円悟沢川 | 17.6 | 17.8 | 13.8 | 10.0 | 6.5 | 2.8 | 3.0 | 3.1 | 1.4 | 8.9 | 12.9 | 15.4 |

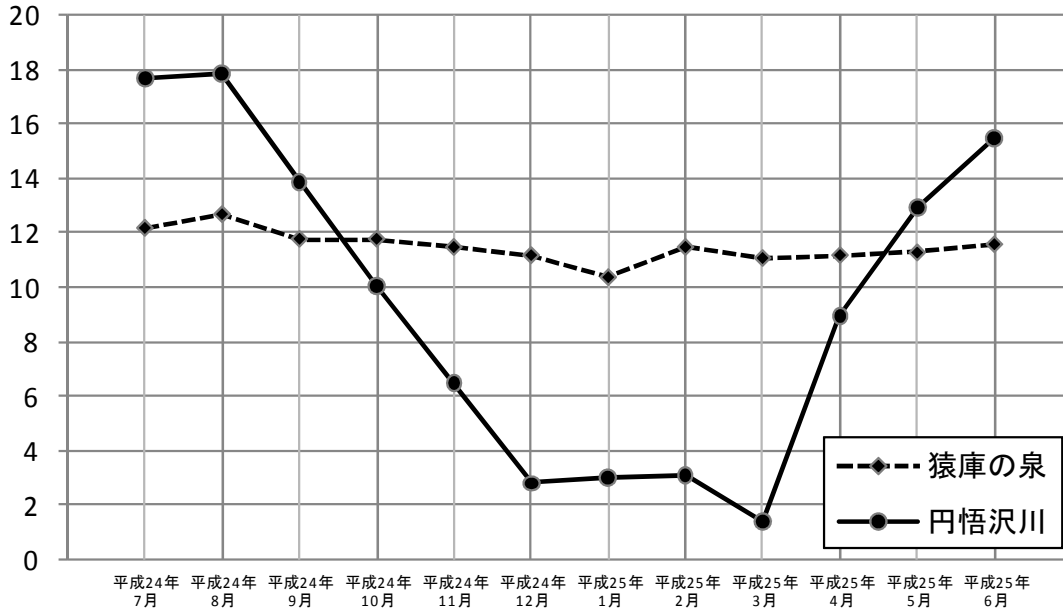


図 7-2-2(2) 水温の月間変動 (°C)

表 7-2-3(3) pH の月間変動

| 地点番号 | 市町村名 | 名称 | 平成 24 年 | | | | | | 平成 25 年 | | | | | |
|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|
| | | | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 |
| 01 | 飯田市 | 猿庫の泉 | 7.14 | 6.72 | 6.61 | 7.14 | 6.82 | 7.55 | 7.87 | 7.85 | 7.88 | 6.99 | 6.99 | 7.35 |
| 02 | | 円悟沢川 | 6.93 | 7.41 | 6.80 | 6.82 | 6.93 | 7.78 | 8.28 | 8.17 | 8.47 | 7.41 | 7.65 | 7.00 |

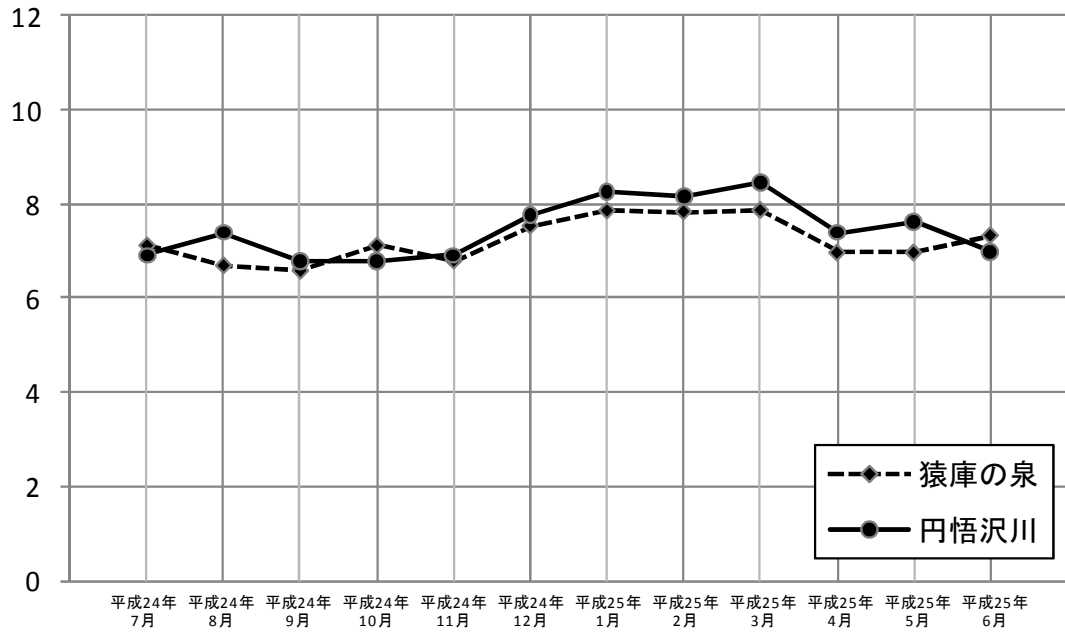


図 7-2-2(3) pH の月間変動

表 7-2-3(4) 電気伝導率の月間変動 (mS/m)

| 地点番号 | 市町村名 | 名称 | 平成 24 年 | | | | | | 平成 25 年 | | | | | |
|------|---------|------|---------|------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|------|
| | | | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 | 1 月 | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 |
| 01 | 飯田 市 | 猿庫の泉 | 4.82 | 5.66 | 5.45 | 5.48 | 5.40 | 5.52 | 5.39 | 5.69 | 5.44 | 5.19 | 5.43 | 5.48 |
| 02 | | 円悟沢川 | 3.49 | 3.79 | 3.93 | 3.87 | 3.85 | 3.79 | 3.61 | 3.48 | 3.53 | 3.41 | 3.79 | 3.86 |

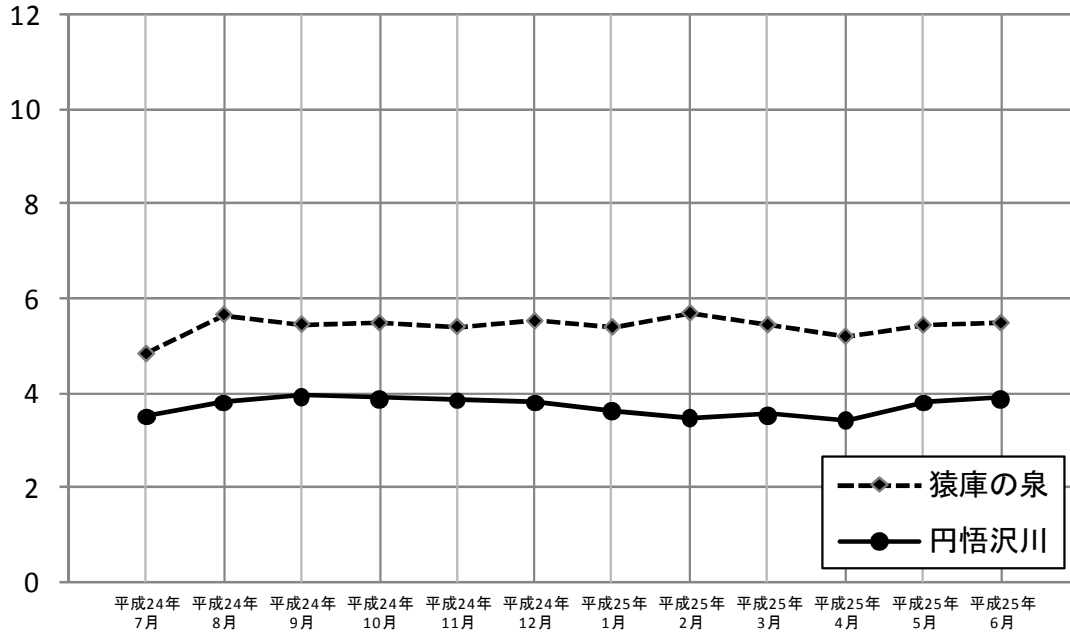


図 7-2-2(4) 電気伝導率の月間変動 (mS/m)

表 7-2-3(5) 主要溶存成分

| 地点 番号 | 市町村名 | 名称 | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ |
|----------|------|------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| | | | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L |
| 01 | 飯田市 | 猿庫の泉 | 2.2 | 15.0 | 2.9 | 9.0 | 28.0 | 23.0 | 4.0 |
| 02 | | 円悟沢川 | 0.7 | 3.1 | <0.5 | 2.2 | 12.0 | 1.4 | 0.8 |

注：「K⁺ カリウムイオン」「Ca²⁺ カルシウムイオン」「Mg²⁺ マグネシウムイオン」「Na⁺ ナトリウムイオン」「HCO₃⁻ 重炭酸イオン」「SO₄²⁻ 硫酸イオン」「Cl⁻ 塩化物イオン」

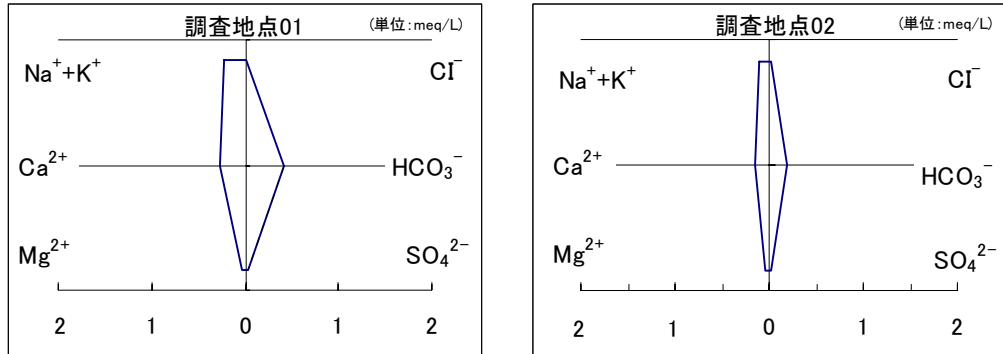


図 7-2-2(5) 主要溶存成分 (ヘキサダイアグラム)

