

# 三次元浸透流解析による地下水位変動 予測状況報告について

旭川開発建設部 富良野道路事務所 計画課 ○森山 陽平  
田原 庸弘  
澤田 誠

旭川十勝道路のうち「富良野道路」に計画されている北の峰トンネル（仮称）L=2,928mは、夕張山地山麓の扇状地を通過する。当該地は水資源が豊富であり、周辺水文環境への影響に配慮して非排水構造や止水注入工等を採用し、トンネル計画を行っている。

本研究では、三次元浸透流解析により得られたトンネル施工時および完成時の地下水位変動予測と予測精度向上にむけた検討状況について報告を行うものである。

キーワード：三次元浸透流解析、地下水解析、自然環境

## 1. まえがき

### 1.1 北の峰トンネルの計画

旭川十勝道路は、旭川市から占冠村に至る延長約120kmの地域高規格道路として計画されており、北海道縦貫自動車道および北海道横断自動車道と接続することにより、北海道における広域交流ネットワークを形成し、当該地域の交通円滑化、地域間連携や広域的な人流・物流の活性化に寄与する路線である。（図-1,2参照）

富良野市内では、主要産業である農作物輸送の物流交通や観光交通、沿道市街地から発生する域内交通が輻輳し、慢性的な交通混雑が発生していることから、「富良野道路」（富良野市字学田～富良野市字上五区間・8.3km）の整備に平成14年度から事業着手している。

「北の峰トンネル」（仮称、以下省略）は、「富良野道路」において計画されている延長約3kmのトンネルであり、平成21年度から工事に着手している。（図-3参照）



図-2 旭川十勝道路図



図-1 高規格道路・地域高規格道路網図



図-3 事業位置図

本トンネルの建設地周辺は、芦別岳に代表される夕張山地山麓の丘陵地であり、広大な森林や豊富な地下水など豊かな自然環境が保たれており、当地域においては、自然環境が生み出す美しい景観や清らかな水の活用により、リゾート運営や営農活動の展開とともに、市民の飲料水確保など豊かな自然の恩恵を受けている。

## 1.2 地形・地質の概要

富良野盆地は、西側は夕張山地、東側は丘陵地、南北約30km、東西5～6kmの細長い盆地である。

夕張山地の一部である北の峰の地質は、空知層群、蝦夷層群より構成されるが、北の峰トンネル付近の基盤岩としては、新第三系の堆積岩類および十勝火砕流堆積物の溶結凝灰岩が分布する。両者は富良野盆地西縁断層（西縁断層）により境される。建設地にはこれらの基盤岩を覆って、四線川を主たる供給源とする第四紀更新統の扇状地堆積物が広く分布する。この扇状地堆積物は、御料断層により分断され（図-5参照）断層東側の扇状地堆積物はナマコ山の頂部～東側の撓曲崖に見られ、分布高度により区分した。（図-4～6、表-1参照）

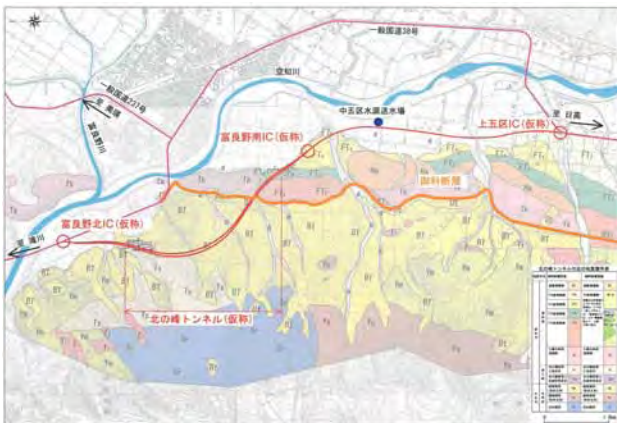


図-4 北の峰トンネル周辺の地質平面図

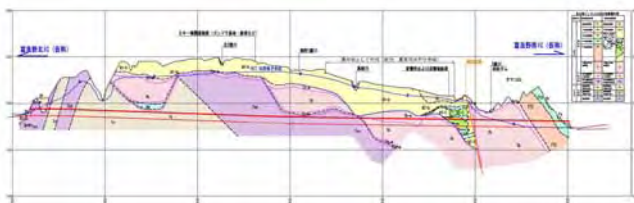


図-5 トンネル地質縦断面図

表-1 北の峰トンネルの地質区分と透水係数

地質年代	資料群番号	資料群名称	備考	透水係数 (10 <sup>-5</sup> )		透水係数モデル
				測定値	平均値	
新第三系	沖積層	沖積層	砂・砂・粘土	5.1 × 10 <sup>-7</sup> ~ 3.0 × 10 <sup>-4</sup>	1.2 × 10 <sup>-4</sup>	沖積層
	扇状地堆積物	扇状地堆積物	砂・砂・粘土	2.1 × 10 <sup>-7</sup> ~ 2.4 × 10 <sup>-4</sup>	2.7 × 10 <sup>-4</sup>	扇状地堆積物
	F13扇状地堆積物	F13扇状地堆積物	砂・砂・粘土	2.2 × 10 <sup>-7</sup> ~ 6.8 × 10 <sup>-4</sup>	5.3 × 10 <sup>-4</sup>	扇状地堆積物
	F14扇状地堆積物	F14扇状地堆積物	砂・砂・粘土	1.0 × 10 <sup>-7</sup> ~ 7.5 × 10 <sup>-4</sup>	5.0 × 10 <sup>-4</sup>	扇状地堆積物
	F13扇状地堆積物	F13扇状地堆積物	砂・砂・粘土	5.3 × 10 <sup>-7</sup> ~ 1.2 × 10 <sup>-4</sup>	5.5 × 10 <sup>-4</sup>	扇状地堆積物
	F17扇状地堆積物	F17扇状地堆積物	砂・砂・粘土	5.7 × 10 <sup>-7</sup> ~ 3.2 × 10 <sup>-4</sup>	6.6 × 10 <sup>-4</sup>	扇状地堆積物
	F17扇状地堆積物	F17扇状地堆積物	砂・砂・粘土	4.1 × 10 <sup>-7</sup> ~ 8.3 × 10 <sup>-4</sup>	3.1 × 10 <sup>-4</sup>	扇状地堆積物
	十勝火砕流堆積物	十勝火砕流堆積物	凝灰岩	1.7 × 10 <sup>-4</sup> ~ 7.6 × 10 <sup>-4</sup>	2.6 × 10 <sup>-4</sup>	十勝火砕流堆積物
	第三系	第三系	第三系	1.2 × 10 <sup>-6</sup> ~ 9.9 × 10 <sup>-4</sup>	2.3 × 10 <sup>-4</sup>	第三系
	白亜紀	白亜紀	白亜紀	5.0 × 10 <sup>-6</sup> ~ 3.9 × 10 <sup>-4</sup>	1.6 × 10 <sup>-4</sup>	白亜紀
白亜紀	空知層群	空知層群	砂岩・砂岩互層・凝灰岩	3.0 × 10 <sup>-7</sup> ~ 9.1 × 10 <sup>-7</sup>	6.0 × 10 <sup>-7</sup>	空知層群
	蝦夷層群	蝦夷層群	砂岩・砂岩互層・凝灰岩	—	—	蝦夷層群

断層西側の扇状地堆積物は、西方の夕張山地山麓部からナマコ山までの間及び一部四線川の平野側まで分布し、円礫を含む砂礫～シルトからなり、それをBT-Uとした。また、ボーリング調査結果より御料断層西側のBT-U下部には、砂礫、粘土、淘汰の悪い中粒砂よりなる被圧帯水層のBT-L, BT-Tが分布することが明らかとなった。

## 1.3 水文環境

上記の調査結果より、建設地の水理地質的基盤層は空知層群、蝦夷層群、新第三系泥岩であり、帯水層は、扇状地堆積物、沖積層である。また、十勝火砕流堆積物は、亀裂性の岩盤であり、基盤層としての特徴と、帯水層としての特徴を合わせ持つと考えられる。

この地域では、御料断層活動以前は、空知層群、蝦夷層群からなる夕張山地から流下した水が、泥岩、溶結凝灰岩の上位に堆積した砂礫よりなる扇状地堆積物中に供給され、そのまま空知川沿いの沖積層へ流下していたと考えられ、その後、御料断層の活動により地下水の流れが遮断された結果、御料断層沿いに分布するBT-L、BT-T層が、被圧帯水層となり、断層に近づくほど水位変化が少ない環境が形成されたと推定される。断層により遮断された地下水の一部は、御料断層を通過し、東側に供給されるが、量が少ないため、御料断層以東では急激に地下水位が低下し、ナマコ山の地下水位は、空知川の水位と同程度となっている。（図-6参照）

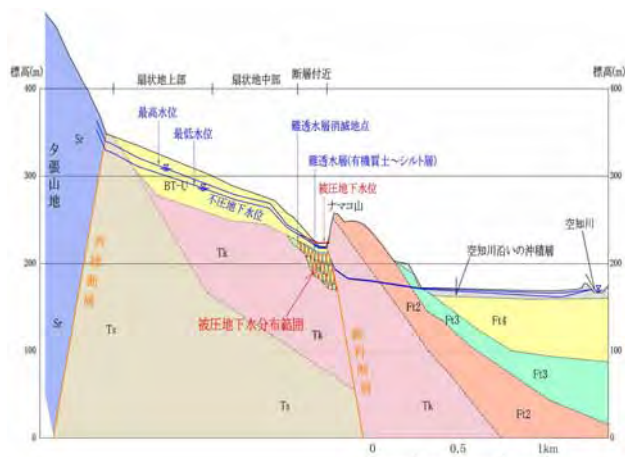


図-6 二線川付近の水文地質模式断面図

## 2. 北の峰トンネル計画における三次元浸透流解析

### 実施の経緯と成果

#### (1) 三次元浸透流解析の目的

本トンネルの建設にあたっては、このような自然環境、特に水文環境に対する影響を最小限とする計画が必要であり、三次元浸透流解析を用いて、トンネル施工による地下水への影響を評価し、影響を極力抑えたトンネル工法を選定した。三次元浸透流解析は、既存データに基づき構築した水理地質構造を数値モデル化し、モデル内の地下水流動を平面的・時系列的に再現する手法である。また、モデル化した対象地域において、トンネルといった構造物を設定することが可能であり、工事実施前に、工事による周辺地下水環境の変化や影響を定量的に評価、予測することで、事前の対策を講じることが可能となる。

#### (2) 三次元浸透流解析によるトンネル工法選定の流れ

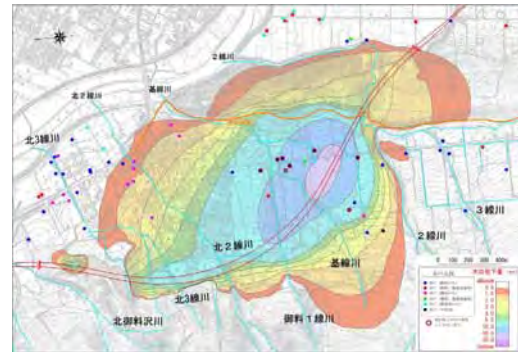
H16～17年度に実施された浸透流解析では、トンネルルート及び工法の選定を目的とした解析を行った。

三次元浸透流解析では、トンネル工法として、非排水構造無し（無対策）の場合と、非排水構造（対策有り）のケースで定常解析及び非定常解析を行なった。

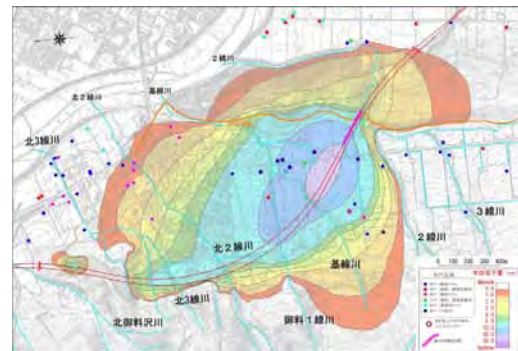
（図-7参照）

定常解析（工事による最終的な地下水影響を評価）では、トンネル完成後の周辺地下水環境への影響を定量的に評価し、耐水圧断面を採用する非排水区間(L=740m)を決定した。一方で、御料断層周辺では被圧水および透水性の大きい（ $1.0 \times 10^{-4}$ cm/sec程度）砂礫層の分布が確認された。そのため、施工時の地下水の湧出と、地下水位の低下が想定されたため、止水注入工の計画を行った。トンネル施工中の周辺地下水環境への影響は、非定常解析（工事段階の時系列ごとの地下水影響を評価）により定量的に評価し、その結果より、工事による影響が特に大きいと想定される御料断層付近の止水注入区間(L=200m)を決定した。（図-8参照）

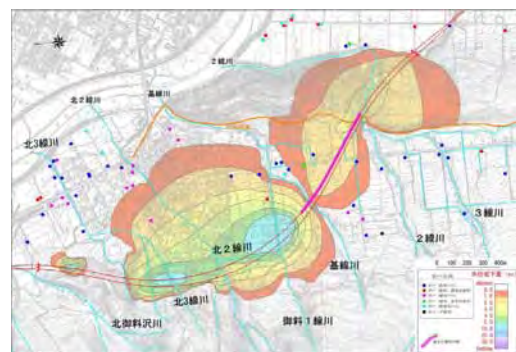
非排水区間のトンネル構造については、止水注入工のような永久的な効果が期待できないものでは地下水位を保持することは困難であることから、地下水位を復元させるために、全周に防水シートを設置した防水型トンネルとし、耐水圧断面形状について比較検討を行い、掘削と覆工コンクリートの経済バランスから円形断面を採用した。（図-9参照）



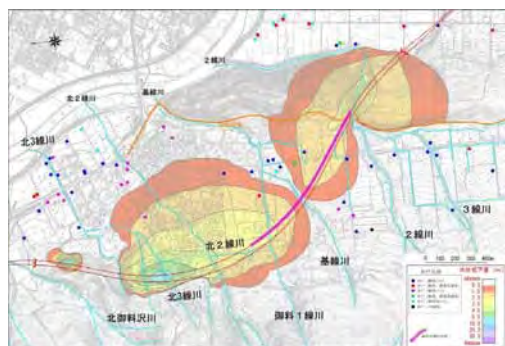
非排水構造なし



非排水構造区間 240m



非排水構造区間 740m



非排水構造区間 1,100m

図-7 非排水構造延長別の地下水位低下量

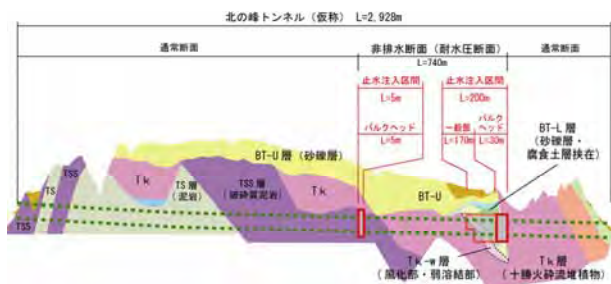


図-8 各断面区間・注入区間図

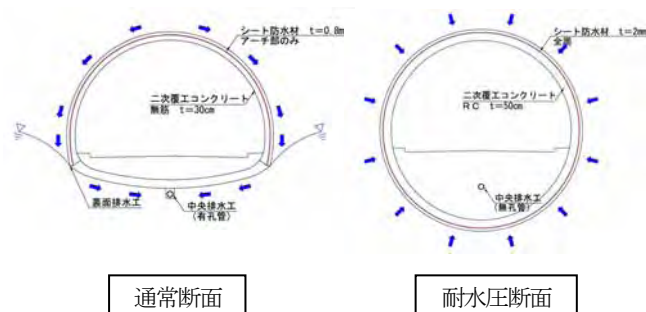


図-9 トンネル断面図

### (3) 三次元浸透流解析実施の経緯

北の峰トンネル計画において、浸透流解析は要所で実施され、トンネルルートを選定 (H16年度) に始まり、トンネル工法を選定 (H17年度) を経て、以後、工事工程や施工工法の変更に応じて、それらを反映した解析モデルを修正し、トンネル計画の妥当性を評価する重要なツールとして活用している。(図-10参照)

三次元浸透流解析は、データが蓄積されるほど、その精度は向上すると考えられ、北の峰トンネル計画のような周辺地下水環境への影響を最小限に抑制するという重要な目標を有する場合は、繰り返し浸透流解析を行うことで、計画の妥当性を多重にチェックできるという点で大きな効果を発揮する。

### (4) 最新の工法を反映した浸透流解析による影響予測解析結果

#### a) 止水注入工法の変更

平成22年度には、上述の止水注入工法を、注入対象区間における、掘削期間の短縮を目的として、坑内注入工法から地表注入工法へ変更を行った。当初の工程では止水注入区間の掘削は、坑内からの注入を行いながら進めるため、20ヵ月を予定していたが、地表注入工法では掘削とは別に注入工を行えるため、掘削期間が4ヵ月と大幅な短縮が可能となった。

#### b) 十勝火砕流堆積物層 (Tk層) の透水性

上述した注入工法の変更に伴い、地上からのグラウト注入に関する試験施工を行った。その際に、試掘ボーリング孔を使用して現場透水試験を行った結果、十勝火砕流堆積物層 (Tk層) の西側区間において、従来想定

していた透水係数： $2 \times 10^{-5} (\text{cm}/\text{sec})$  よりも1オーダー大きな値が確認された。そのため、トンネル掘削による影響予測を行う際に、この透水係数の値を見直すこととした

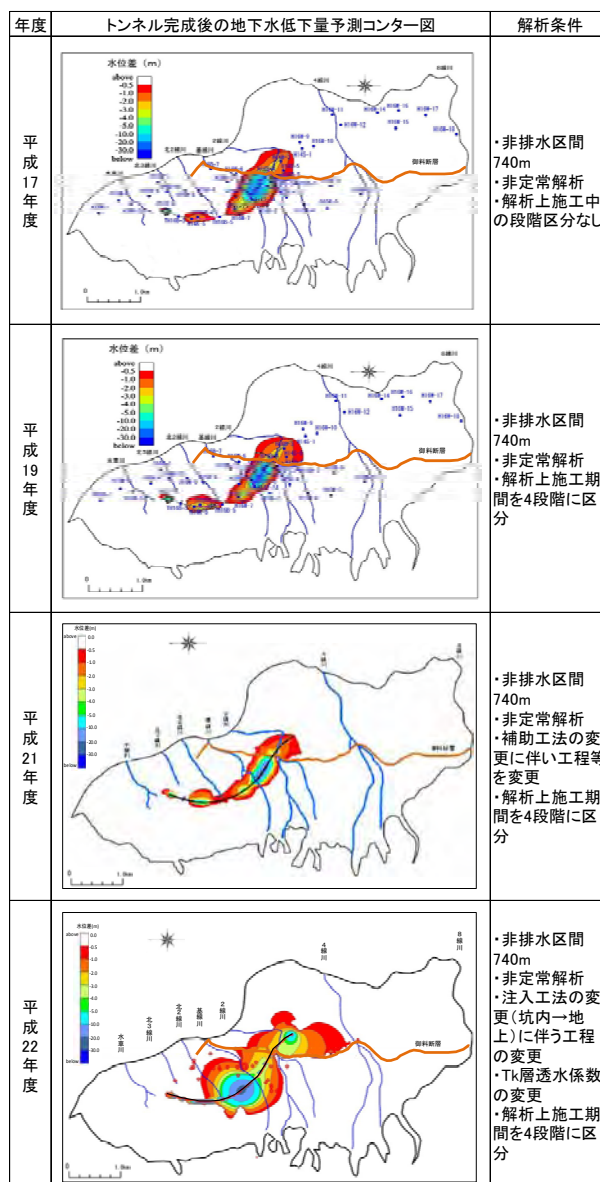


図-10 過年度からの浸透流解析結果

#### c) 浸透流解析結果

浸透流解析は、以下の基本条件の変更を行い、解析を実施した。

- ・BT層掘削部の注入工法を坑内から地上注入へ変更
  - ・基盤岩 Tk 層の透水係数を  $2 \times 10^{-5} \text{cm}/\text{sec}$  から  $2 \times 10^{-4} \text{cm}/\text{sec}$  へ変更
- 解析の結果、過年度解析結果と比較すると、以下の傾向が確認された。

- ・工法の変更により、注入対象区間の掘削期間が短縮されたため、風化帯区間の掘削による水位低下期間が大幅に短縮する。
- ・Tk層の透水性を大きくした影響で、起点側の掘削に

よる影響が早期に及ぶ。

- ・上記起点側の影響と非排水区間の効果との兼ね合いで、地下水位が回復に転じる時期が若干遅れる。
- ・Tk層の透水性を大きくした影響で、影響範囲は広がるが、周辺井戸への影響については、過年度と同等の評価である。(図-12参照)

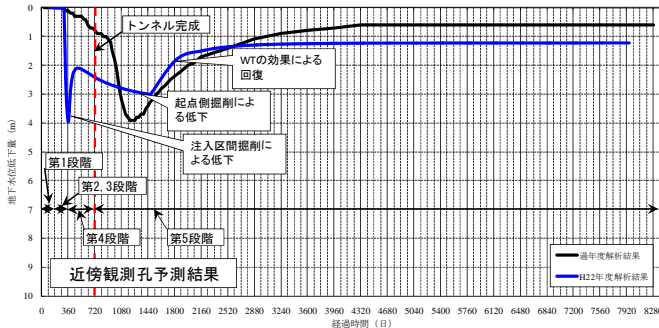


図-12 浸透流解析結果 (近傍観測孔地下水水位低下予測結果)

### (5) 水文モニタリングの実施と浸透流解析結果の検証

#### a) 水文モニタリングの実施

トンネル掘削は、起点側坑口が平成22年8月に、終点側坑口が平成22年9月より開始し、平成23年2月末時点で起点側約370m、終点側約170mの進捗状況である。水文モニタリングとして、地下水位および河川流量の観測を行い、トンネル掘削の影響をモニタリングしているが、地下水位観測結果からは、起点側にてトンネル直上に位置し、既にトンネルが通過した孔もあるが、地下水位変動状況から季節変動の域を超えて、特異な動向を示すものは認められない。

#### b) トンネル施工に伴う地下水環境への影響検討

現時点では、トンネル施工に伴う地下水環境への影響は認められない。ただし、今後工事が進むと、御料断層やBT層(砂礫層)を通過し、地下水環境に影響を与え、場合によっては地下水位低下が生じるものと考えられる。浸透流解析の結果から、水位低下が生じた場合に、周辺の井戸へ影響を与えないか、井戸構造を踏まえ、万が一影響が生じた場合に備えた対策の検討を進めている。

### 3. まとめと今後の課題

今回の調査によって、現時点では浸透流解析の水位低下予測ほど、実際の観測値は低下していない状況が認められた。

この原因として、

- ・浸透流解析モデルの地質基本条件が、想定と一部異なっている可能性がある。
- ・浸透流解析モデルの設定条件が、非排水区間施工の細かい工程を反映出来ていないことなどが考えられる。

よって、今後の課題としては、主に以下の点が上げ

Youhei Moriyama, Nobuhiro Tahara, Makoto Sawada

られる。

#### (1) 新規データを踏まえた水理地質条件の整理

既往調査結果に工事において実施された地質調査結果から得られた新規情報を加味し、調査地周辺の水理地質構造を整理し、地質基本条件の精査を行う。その際には、浸透流解析の境界条件、降雨条件等についても精査を行う。

#### (2) 浸透流解析における短期モデルの構築

非排水区間施工の細かい工程等を反映した短期モデルを構築し、水位低下予測の精度を向上させる。

#### (3) 工事中における水位変動のモニタリングと浸透流解析へのフィードバック

工事中の水位変動モニタリング結果を短期モデルへフィードバックし、モデルの検証を行うとともに、現況再現により、さらに水位低下予測の精度を向上させる。

#### (4) 水文観測結果・浸透流解析結果を踏まえた影響評価・リスク評価

上記検討結果をもとに、トンネル施工が地下水環境に与える影響を評価するとともに、周辺井戸等へのリスク評価を行う。その結果をもとに、工事へのフィードバックや、井戸障害等へのリスクに対して対策の立案を行う。

以上を検討して、今後も精度向上に努めたい。

#### (参考文献)

- 1) 西垣誠：根切り工事と地下水—調査・設計から施工まで— 第3章地下水の浸透流解析、土質工学会、pp. 79~142, 1991.
- 2) 川谷健, 神野健二：地下水理学 第5章地下水流れの数値解析法、丸善株式会社、pp. 160~220, 2002.
- 3) 進士喜英, 菱谷智幸：地下水流動保全のための環境影響評価と対策—調査・設計・施工から管理まで— 参考付録A数値解析による地下水流動評価、地盤工学会、pp. 323~356, 2004.