

仮想ドレーンモデルの実用化を目指した現場実証解析

鉄道・運輸機構 九州新幹線建設局 大村鉄道建設所長 正会員 江島 武
清水・青木あすなろ・菱興 特定建設工事共同企業体 正会員 藤野 晃 福田 毅
株式会社地層科学研究所 正会員 ○細野 賢一 里 優

1. はじめに

一般に地下水の水収支解析を行う場合、有限要素法等の浸透流解析手法を適用する。しかし、解析モデルの構築に際しては、トンネル断面形状を忠実に要素分割する必要があること、複雑な地質構造に対する解析モデルの作成に要する労力が増大すること、トンネル掘進にともなう更新される地質情報を逐次解析モデルに反映させた浸透流解析の実施など、浸透流解析をトンネル情報化施工に組込むには、いくつかの解決すべき課題が残されている。

本論文で提案する仮想ドレーンモデルは、トンネル掘削による排水効果を井戸公式で代用し、トンネル位置からの距離に応じた流量配分を近隣節点に行うことで、トンネル断面をモデル化せずに掘削による排水効果を求めることができる点に特徴がある。同手法は、従来の三次元浸透流解析と比較することで、その解の妥当性を確認しているが、実用的な観点から現場の実測値との比較、情報化施工として組込む上での課題抽出ができていない。

本論文は、九州新幹線（西九州ルート）木場トンネルの施工実績（トンネル掘進にともなう坑内湧水量）に対する再現解析を実施することで、上述の課題について提案手法の実用性を確認するものである。木場トンネルは、九州新幹線（西九州ルート）武雄温泉・長崎間の工事延長約 67km の整備新幹線のうち、長崎県大村市内に位置する延長 2,885m の山岳トンネルである。本トンネルは青函トンネル以来となる海拔ゼロメートル以下を通過するため、トンネル掘削にともなう坑内湧水量とトンネル周辺の水環境に与える影響が懸念されている。このため本提案手法の実用性を確認するには最適な現場と言える。

2. 仮想ドレーンモデル

トンネル部を要素分割せずに坑内湧水量を算出できる仮想ドレーンモデルは、図1の順にしたがって計算を行う。

まず、未掘削時の初期地下水分布を求める。次にある時間までのトンネル掘進距離 L に対応した坑内湧水量 Q をトンネル軸の円筒座標系の定常解式(1)を用いて算出する。このとき、その時点の切羽位置までのトンネル線形を内包する要素に対して、トンネル軸の位置から要素構成節点までの距離に応じた重み係数を式(2)より求め、これを湧水量 Q に式(3)のように乗じ、該当節点からの排水量（損失項）として配分する。この条件下で浸透流解析を実施することで、排水量に対応した新たな水頭値 h_i が各節点で求められる。この水頭値 h_i を基に、式(2)の重み係数を用いて平均水頭値 h_1 を更新し、次工程の掘進に対応した坑内湧水量 Q を求め、掘削が完了するまで同様の手順を繰り返す。

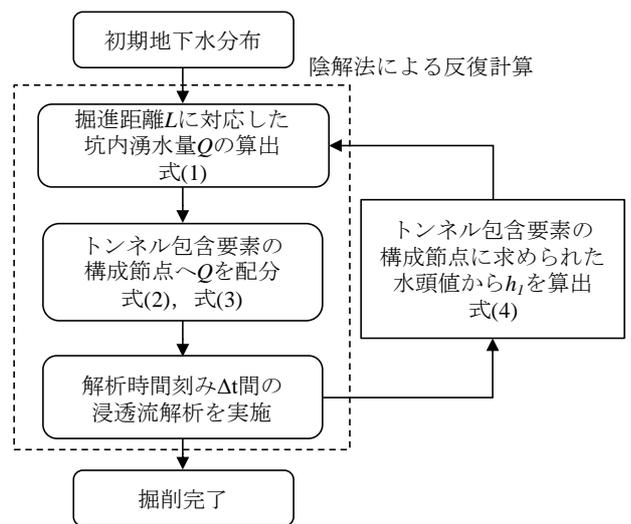


図1 解析手順の概念

$$Q = -2\pi Lk \frac{h_1 - h_0}{\ln(r_1/r_0)} \quad (1) \quad w_i = \frac{1/l_i}{\sum_{j=1}^m (1/l_j)} \quad (2) \quad Q_i = w_i Q \quad (3) \quad h_1 = \sum_{i=1}^m w_i h_i \quad (4)$$

キーワード 山岳トンネル, 浸透流解析, 情報化施工

連絡先 〒242-0017 神奈川県大和市大和東 3-1-6 JMビル4F (株)地層科学研究所 Tel. 046-200-2281

3. 地質構造モデルおよび解析モデル

図2にトンネルの地質縦断面図を示す。これにトンネル周辺で実施されたボーリングデータと公開地質平面図²⁾を用いて、図3に示す三次元地質構造モデルを構築した。次に、これより切り出した地質構造モデルを格子分割し、図4に示す有限要素モデルを作成した。各層の透水係数は原位置透水試験結果に基づいて設定した。境界条件は海岸線に位置する側面部を全水頭=0mの水位固定境界とし、地表面には解析期間に応じた降雨涵養条件(大村雨量観測所)を与えた。なお、トンネルの進行は工事記録を基に再現し、解析時間刻みは最大で1日とした。

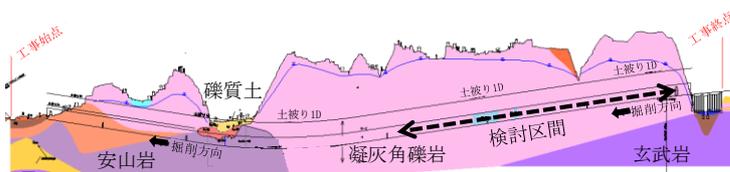


図2 地質縦断面図

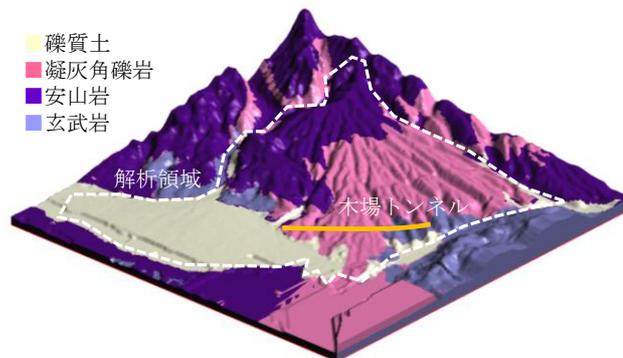


図3 3次元地質構造モデル

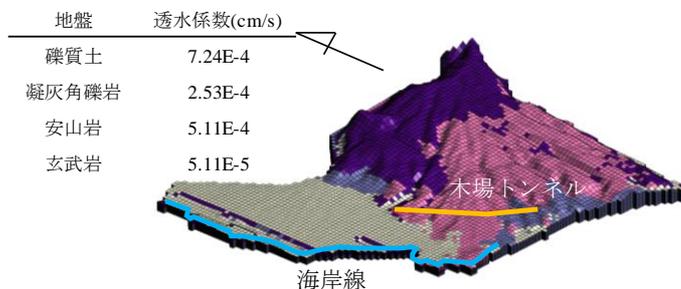


図4 有限要素モデル

4. 解析結果

図5に坑内湧水量の実測値と解析値を比較したものを示す。解析値は実測値よりも降雨涵養に対する応答がよく、日単位の湧水量で比較すると違いが見られるが、トンネル掘削の進行に伴って増加する湧水量は大局的に一致している。また、図6に示した坑内湧水量の累積値については、解析終了時点での実測値($9.28 \times 10^5 \text{m}^3$)に対し、ほぼ同じ値($9.75 \times 10^5 \text{m}^3$)となった。よって、実施工で得られる湧水量に対し、本手法を適用することで精度よく実現象を再現できることがわかった。

5. おわりに

本解析では、図5に示した区間①、②における湧水挙動が充分には表現されていない。区間①は、湧水量の急激な増加を示した期間であり、区間②は無降雨期間にも関わらず、坑内湧水量が増加を示した期間である。これらは、局部的に高透水性を有した地質分布の存在を示唆するものである。今後は、実際の施工過程で、計測データと予測結果にこのような乖離があった場合に、湧水予測を速やかに更新する手法を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 細野他：仮想トンネルモデルによる3次元浸透流解析手法, 第14回岩の力学国内シンポジウム, 2017.
- 2) 産業技術総合研究所：20分の1シームレス地質図 (<https://gbank.gsj.jp/seamless/seamless2015/2d/index.html?lang=en>)

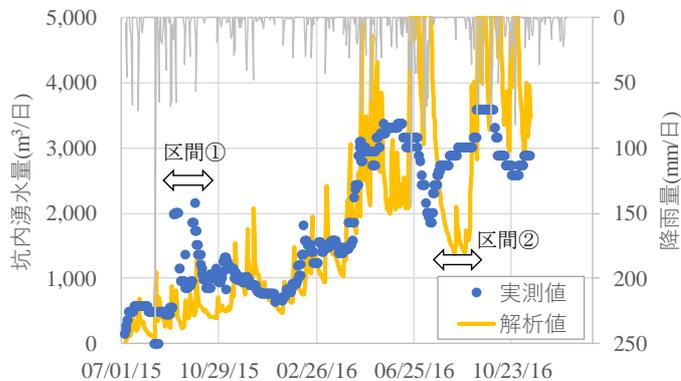


図5 坑内湧水量の時間変化

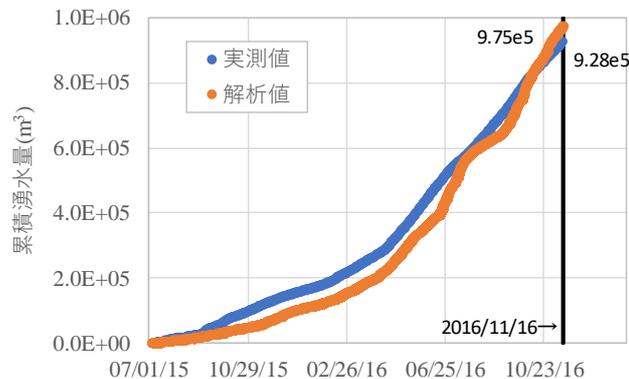


図6 坑内湧水量の時間変化