

山岳トンネルの3次元浸透流解析におけるデータ同化手法の適用性

清水建設株式会社 正会員 ○高本 尚彦
 清水建設株式会社 正会員 白石 知成
 清水建設株式会社 正会員 山本 真哉

1. はじめに

山岳トンネル工事では、大量湧水による工程遅延や掘削に伴う地下水位低下や河川流量の減少など、施工や環境に関わる地下水問題が生じる。情報化施工の取組みが進む中では、解析等によるリアルタイム予測を行うことで、工程遅延の回避や施工の安全性を向上する必要があることから、筆者らは3次元浸透流解析による予測精度向上を目的として、複数観測データを使用して、地山の透水係数を同定するデータ同化手法の適用性の把握を進めてきている¹⁾。本研究では、降雨変動を考慮した飽和・不飽和解析におけるデータ同化手法の適用性を把握するために実施した数値実験の結果を報告する。

2. 手法

データ同化は観測結果に基づいて数値シミュレーションのモデル変数を最適化する技術であり、本研究では地下水流動モデルを対象としてデータ同化を行うために、アンサンブルカルマンフィルタを用いた。アンサンブルカルマンフィルタの手順は、予測と観測更新の2段階に分けられる。予測においては、アンサンブルの各メンバーに対して、次の観測結果が得られる時刻までの非定常シミュレーションを実行することで状態ベクトルの事前分布（予測）を得る。次に観測更新では観測値に平均値が0のガウスノイズを付加し、これから、各アンサンブルメンバーの状態ベクトルを更新することで事後分布（同化後）が求められる。

3. 数値実験方法・条件

データ同化手法の適用性を把握するために、モデルは地下水流動を完全に再現でき、かつ、観測データにも一切誤差がない状況でのデータ同化を試みた。具体的には、モデルにあらかじめ各地質の透水係数を設定して、トンネル掘削に伴う非定常解析を実行し、この解析結果より各観測地点における経時的な流量と圧力水頭（水位）を取得し、これらを模擬観測データとする。次に、透水係数を未知として、模擬観測データを用いてアンサンブルカルマンフィルタを実行し、透水係数の同定を行った。なお、非定常計算には有限要素法であるDtransu-3D/EL²⁾をアンサンブルカルマンフィルタ用に改良したものをを用いた。また本実験で使用する観測データとしては、トンネルの既掘削区間の坑内湧水量の合計となる全体湧水量、トンネルの切羽位置の湧水量となる切羽区間湧水量、圧力水頭の3つの観測データを使用する。

数値実験に使用した解析モデルと模擬観測データを作成するための解析条件を図-1に示す。解析モデル上では、地表より約100m下の深度に長さ3600mのトンネルが位置している。モデル領域内の地質は、地質1～地質4に区分して各地質に透水係数を設定した(図-1)。本実験では透水係数は等方とし、各地質区分の領域内の透水性は均質と仮定した。トンネル掘進は1日10mの掘削とした。

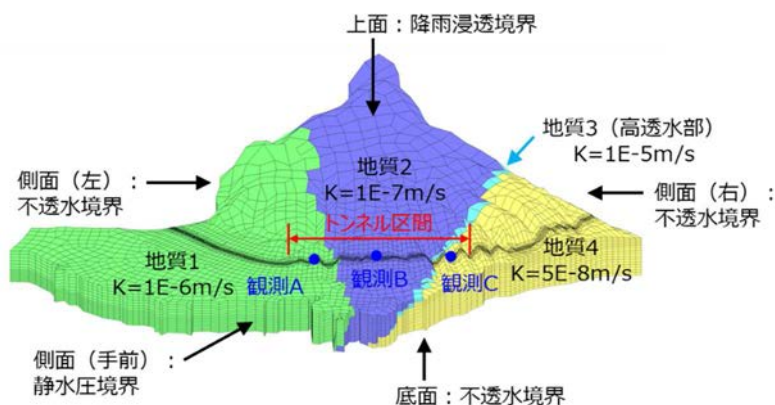


図-1 数値実験解析モデルおよび解析条件

キーワード トンネル掘削, 地下水流動解析, データ同化, 情報化施工

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設株式会社 技術研究所 TEL090-2525-6486

上述した条件の下で非定常の解析結果から模擬観測データ（全体湧水量、切羽湧水量、圧力水頭（図-1の観測A～観測C））を作成した。本実験におけるアンサンブルカルマンフィルタのアンサンブルの大きさは48サンプルとした。また透水係数の取り得る範囲は $1E-4 \sim 1E-10 \text{ m/s}$ とした。

4. 数値実験結果

誌面の関係上、ここでは結果の一例を示す。図-2は全体湧水量と切羽区間湧水量の観測データを使用してデータ同化を行った結果例で、湧水量と圧力水頭の模擬観測データの再現結果と地質の透水係数の同定結果を時系列で示したものである。なお、図-2のデータ同化結果は観測結果をもとに修正された値のアンサンブルの平均値である。湧水量の再現結果は、対象期間全体にわたって模擬観測データとほぼ一致した。圧力水頭の再現結果では、地質1を観測している観測Aでは模擬観測データとほぼ一致するのに対し、透水係数が小さい地質4を観測している観測Cでは模擬観測データの再現がうまくできなかった。この時、湧水量に加えて観測Cの観測データも使用してデータ同化を行うことにより、観測Cの模擬観測データを再現できることが確認できた。図-2における地質の透水係数の同定結果は、その地質に到達する約4～15日前には真値の透水係数に近づき、対象地質に到達した以降のアンサンブルの標準偏差も小さくなり、透水係数を同定できていることが分かる。一方使用する観測データが全体湧水量だけの 경우에는、地質3の透水係数の同定結果が真値より小さい結果となり、そのため切羽湧水量の模擬観測データの再現結果も一致しない結果が認められた。

5. まとめ

山岳トンネルの3次元浸透流解析に対して、施工時の複数観測データを使用して、地山の透水係数を同定するデータ同化手法の適用性を把握するための数値実験を実施した。その結果、使用する観測データにより、観測データの再現や透水係数の同定精度は異なるものの、数値実験上ではデータ同化手法の適用が可能であることが分かった。今後は実トンネルの実測データを使用したデータ同化手法の検証を行う予定である。

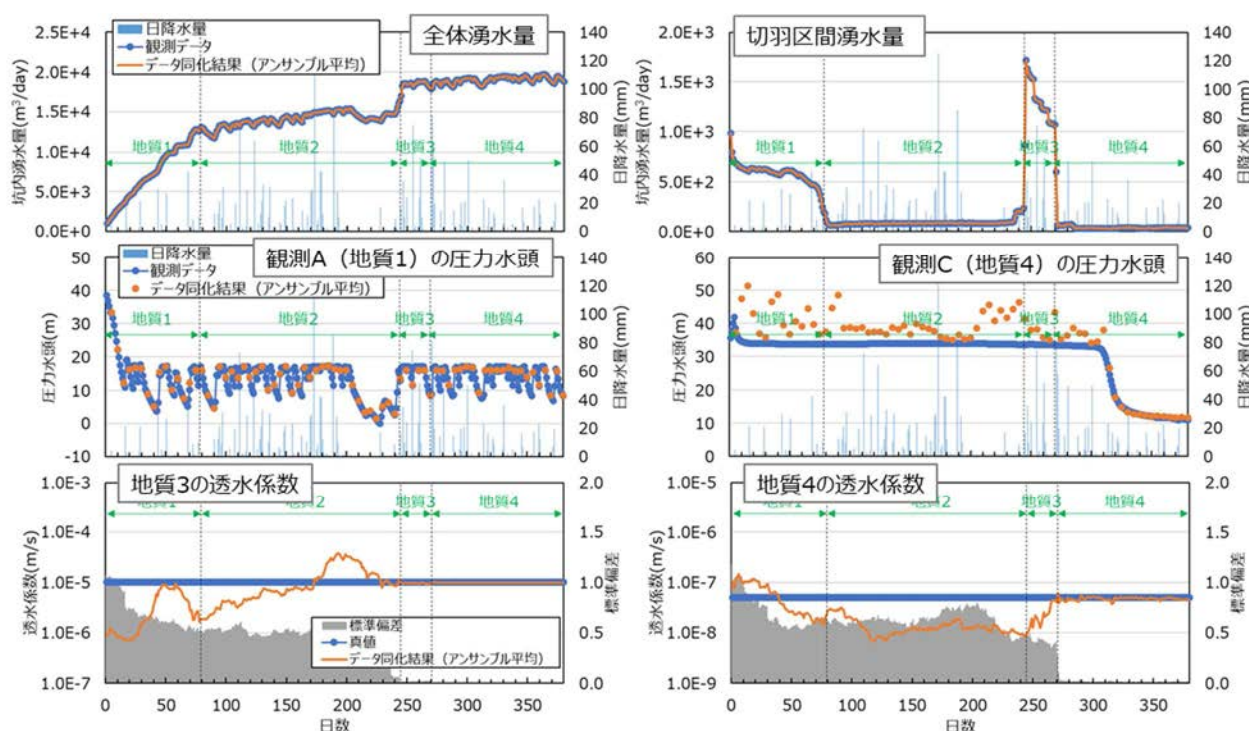


図-2 数値実験での観測データの再現結果および透水係数の同定結果例

参考文献

- 1) 高本尚彦, 白石知成, 山本真哉: 山岳トンネル施工時の地下水流動場予測に対するデータ同化手法の適用性検討, 第48回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp. 350-355, 2022.
- 2) Nishigaki, M.: Density dependent transport analysis saturated-unsaturated porous media 3 dimensional Eulerian Lagrangian method, Okayama Univ, 2001