

AIによる地山の透水係数の同定と予測解析への適用性

清水建設株式会社 地下空間統括部 正会員○福田 毅

清水建設株式会社 技術研究所 正会員 吉河 秀郎

株式会社地層科学研究所 正会員 細野 賢一 岩永 昇二 佐ノ木 哲

1. はじめに

近年デジタルツインが注目されている。デジタルツインとは、IoTにより取得したデータを活用し、現実（フィジカル）空間のモノ・コトを仮想（サイバー）空間に再現し、リアルタイムに現実とデジタルを連携したシステムを意味するものであり、様々な分野で実装されつつある。この概念を建設現場に適用すると、たとえば取得したデータを仮想空間上で分析・シミュレーションすることで、現実の現場のリスク抽出や定量的な予測評価が可能となる。2021年に策定した Shimz デジタルゼネコン¹⁾のコンセプトのもと、山岳トンネルのデジタル化を推進するために、同年に地山予報[®]（デジタルツイン統合管理システム）の開発に着手した。山岳トンネル掘削時に取得される様々な情報のうち「切羽湧水量」をオンタイムに更新し、「施工時地山調査結果」を仮想空間に再現することで近い未来に生じる予兆をシミュレーションにより精度よく予測する基本システム²⁾³⁾を推進している。本稿では、この基本システムのAI部（透水係数の同定）において、精度向上を目的に一部改良を行ったので、その成果を報告する。

2. 地山予報（地下水環境予測）の概要

地山予報の概要を図-1に示す。本システムは、日々の施工データを蓄積・更新し、本システムのコア技術（迅速な数値シミュレーション技術、およびAIによる地山特性の同定技術）を使って、近い未来に生じるリスクを日々予測し、作業員へ報知する点に特徴がある。著者らは、地山に関わるリスクを日々予測し、理解しやすい帳票で工事関係者へ知らせることから「地山予報[®]」システムと称している。

迅速な数値シミュレーション技術は、細野ら⁴⁾の提案する仮想ドレーンモデルを使うことで実現している。これはトンネル掘削による排水効果を井戸公式で代用し、トンネル軸線からの距離に応じた流量配分を近隣節点にあてることで、トンネル形状をモデル化せずに掘削による排水効果を迅速に求めている。AIによる地山の透水係数の同定は、地下水位・湧水量・透水係数等の浸透特性に関わる教師データを別途数十万ケース数値シミュレーションで求め、精度よく透水係数を同定するAIを構築して実現している。

以下、AIに関わる技術において、同定の精度と予測解析結果の検証について説明する。

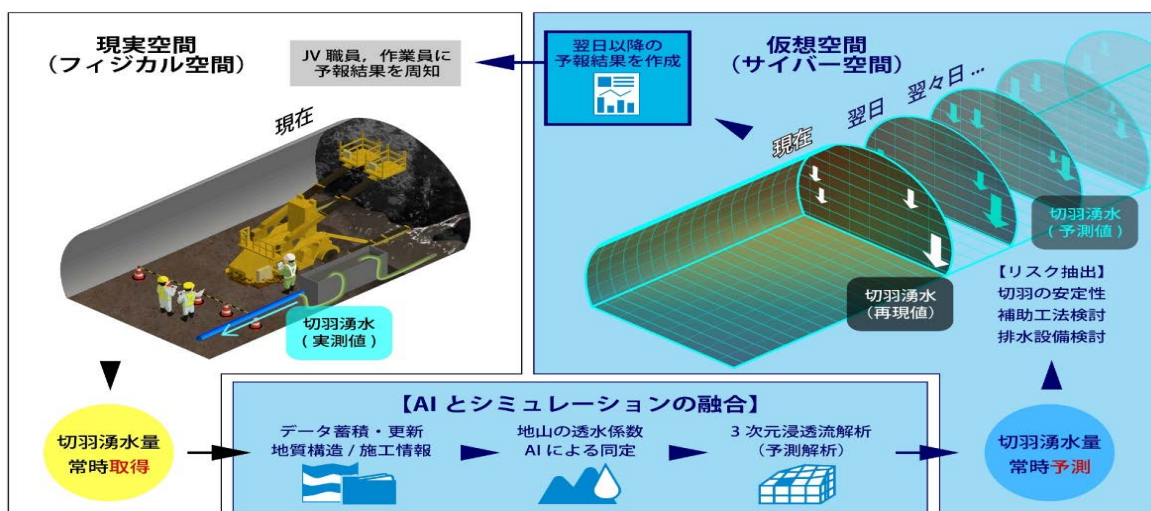


図-1 地山予報の概要（地下水環境予測）

キーワード：地山予報，地下水環境常時予測システム，AI，デジタルツイン，透水係数

連絡先：〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社 地下空間統括部 TEL 03-3561-3891

3. 透水係数を同定するAIの構築

AIのモデルは、教師データを増やしたこともあり、DNNにおいて学習方法としてミニバッチ学習を採用した。また、学習に用いる教師データの構築に関しては、図-2に示す単一地層モデルを用いた。学習緒言のうちトンネル施工については、掘削径、掘削速度、水位（初期モデルの水位）、経過日数を対象とし、解析条件については地山の透水係数及び降雨量を対象として、それぞれが変化した場合の湧水量および水位低下量を学習成果とした。

4. 施工実績を使ったAIの検証

図-3に九州新幹線(西九州ルート)木場トンネルの解析モデルを示す。該当領域の海岸線に圧力水頭0mの水位固定境界を設定し、地表面には実測の降雨条件を与えた。トンネルは全線角礫凝灰岩中を掘進するため角礫凝灰岩の透水係数をAIによって同定した。同定した全線の透水係数の平均値を使用して、正規化した値を透水係数比として図-4に示す。改良前に比べて改良後の透水係数比は、波形の乱れが少ないことから安定して透水係数を同定できている。これは、教師データを大幅に増やしたことで、突出した異常値の数が軽減されたことによるものと考えられる。改良後のAIが同定した平均透水係数は、 $4.761 \times 10^{-7} \text{m/sec}$ 、試験結果⁴⁾は約 $1.2 \times 10^{-7} \text{m/sec}$ であることから同定精度も良好であった。また、同定した透水係数から湧水量予測を行った。図-5に解析結果を示す。概ね実測値の湧水量を再現できていることがわかる。よって、AIによる透水係数の同定は、概ね良好に機能していると言える。

5. まとめ

透水係数を同定するAIについて、その精度の検証を行った。教師データを大幅に増やしたことで、改良前に比べて同定結果のばらつきが小さくなった。また、日々の切羽湧水量に応じてAIが同定した透水係数を使って予測解析を実施した結果、湧水量を精度よく再現できた。よって、本システムのAIの適用性を確認できた。今後は施工中のトンネル現場に地山予報システムを展開する予定である。

参考文献

- 1) 清水建設デジタルゼネコン, <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2021/2021023.html>
- 2) 福田,吉河: デジタルツインを基本とした地山予報システムの開発, 第76回年次学術講演会, VI-198, 2021.9.
- 3) 吉河,福田,松尾: 三次元地質モデルの逐次更新方法の提案, 土木学会第76回年次学術講演会, VI-199, 2021.9.
- 4) 細野,福田,藤野,江島,若井: 仮想トレンモデルを用いたトンネル坑内湧水量予測の高度化に関する研究,土木学会論文集F1(トンネル工学),Vol.78,No.1,1-12,2022.

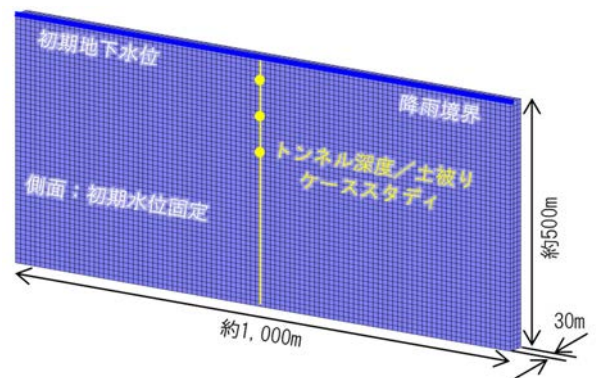


図-2 教師データ作成用モデルの一例

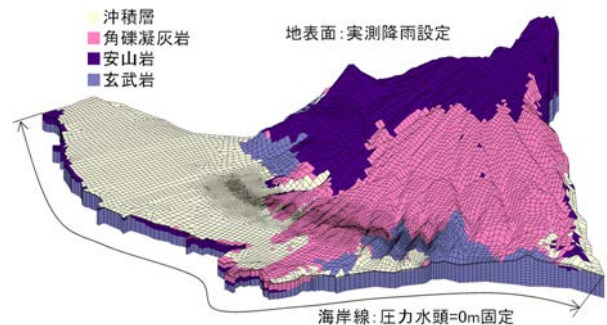


図-3 木場トンネル解析モデル

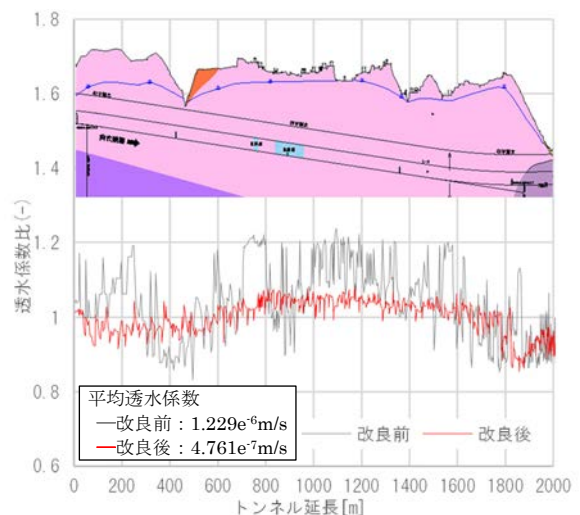


図-4 AIにより同定した透水係数の時系列変化

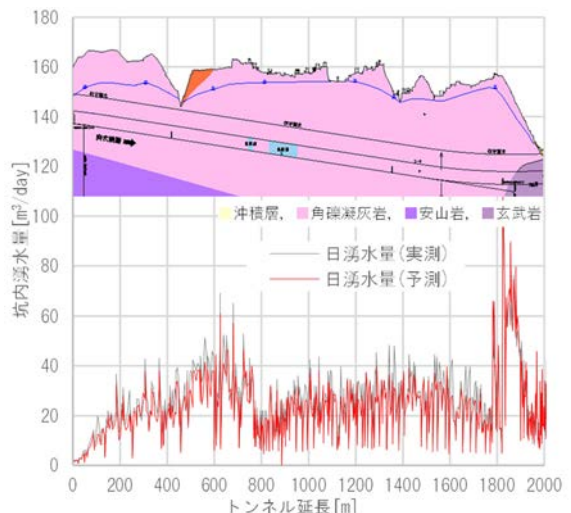


図-5 AIによる湧水量予測結果