

デジタルツインを基本とした地山予報（地下水環境常時予測）システムの開発

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る。仮想空間でのシミュレーションにより、現実空間でのトラブルや変化などが予測可能となるため、幅広い分野で適用されている概念であり、2018年に旗揚げしたシミズ・スマート・トンネル¹⁾は、このような先進的な技術的背景を取り入れた「デジタルツイン統合管理システム」である。

本稿では、デジタルツインの概念を基本とし、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」および「施工時地山調査結果」を仮想空間に再現し、リアルタイムにこれらの情報を更新し、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を構築したので報告する。なお、本稿では切羽湧水量に着目して報告するものとし、地山調査結果の更新については参考文献²⁾を参照されたい。

2. 地山予報（地下水環境常時予測）システムの概要

地山予報（地下水環境常時予測）システムの概念図を図-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、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³⁾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による地山特性の同定技術は、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。

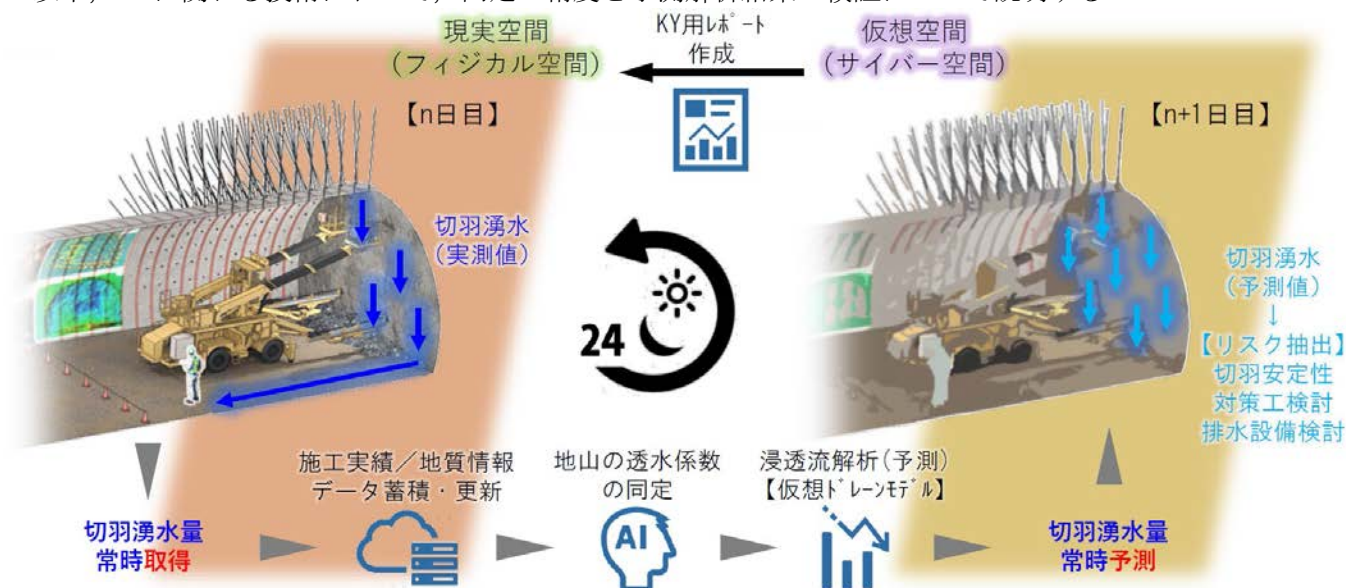


図-1 地山予報（地下水環境常時予測）システムの概念

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、推定精度が高くかつモデル構築が早いことで近年広く利用されている GBDT を用いて学習を行った。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。学習緒元のうちトンネル施工については、掘削径、掘進速度、土被り（掘削深度）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。トンネルは主に角礫凝灰岩中を掘進することから角礫凝灰岩の透水係数を AI によって同定することを試みた。

切羽で測定された日湧水量を基に、AI が同定した透水係数の変化を図-4 に示す。同定された透水係数は、同じ角礫凝灰岩中でも $-5 \sim -7$ 乗の範囲で変化した。なお、角礫凝灰岩の透水試験結果は、平均 $2.53 \times 10^{-6} [\text{m}/\text{sec}]$ であることから同定結果は概ね良好と言える。また、同定した透水係数から湧水量予測も行った。AI が同定した 10 区間移動平均の透水係数を用いて次のステップの予測解析を実施した。図-5 に解析結果を示す。概ね実測値を良く再現していることから、AI の精度は比較的良いと言える。

5. まとめ

本システムのコア技術である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。日々の切羽湧水量に応じて AI が透水係数を同定し、近い未来に生じる湧水量を精度よく予測できた。また、均質な地山でも日々変化する切羽湧水量を精度よく捉え予測できた。よって、本システムの AI の妥当性を確認できた。今後は施工中のトンネル現場において、オンタイムな再現と予測でリスクを日々報知する「地山予報」システムを展開していく予定である。なお、この概念は水収支解析のみならず、力学解析にも応用できるシステムであり、並行して開発を進めている。

参考文献

- 1) 清水建設株式会社：シミズ・スマート・トンネル、
<https://www.shimz.co.jp/topics/construction/item21/>
- 2) 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, 2021.9.
- 3) 細野, 福田, 藤野：仮想トレンモデルを適用した地下水情報化施工の試み, トンネル工学報告集, 第 28 巻, I-35, 2018.11.

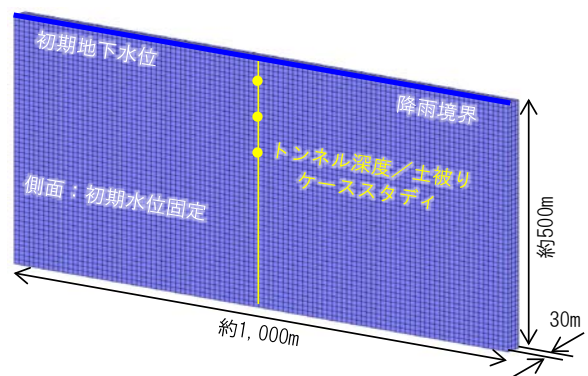


図-2 教師データ作成用モデルの一例

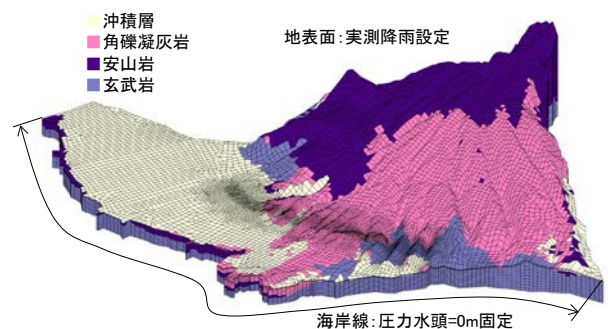


図-3 木場トンネル解析モデル

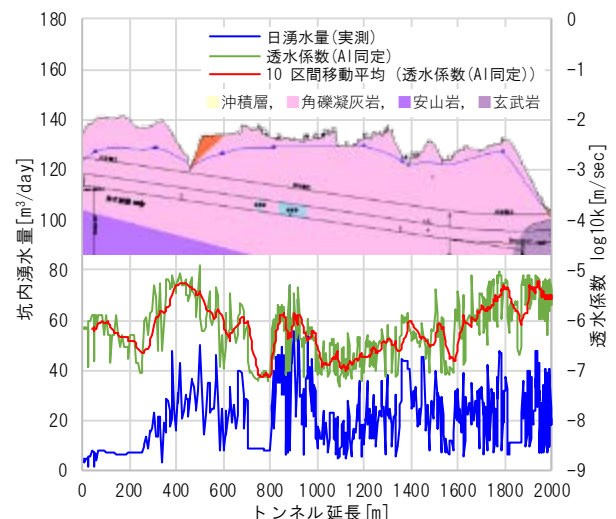


図-4 AI により同定した透水係数の時系列変化

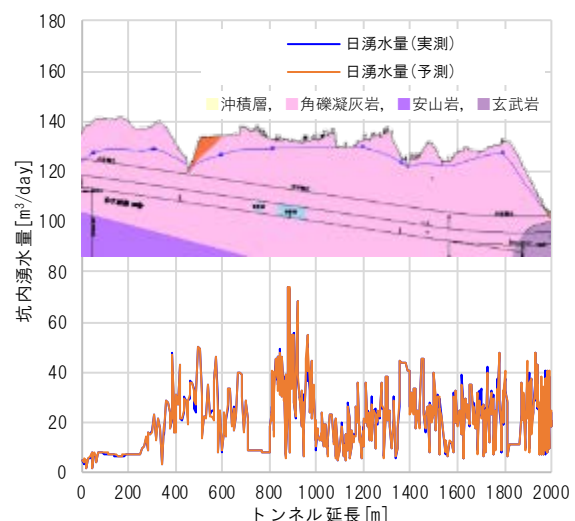


図-5 AI による湧水量予測結果