地山予報®（地下水）

日々の切羽観察と湧水量実績から、切羽湧水量を高精度に予測

概 要　山岳トンネル現場における湧水量の計測・翌日以降の湧水量の算定・関係者への算定結果の通知と共有を自動で行うシステムです。地下水環境の変化を誰でも簡単に把握でき、湧水量の予測作業を大幅に軽減します。

開発の背景

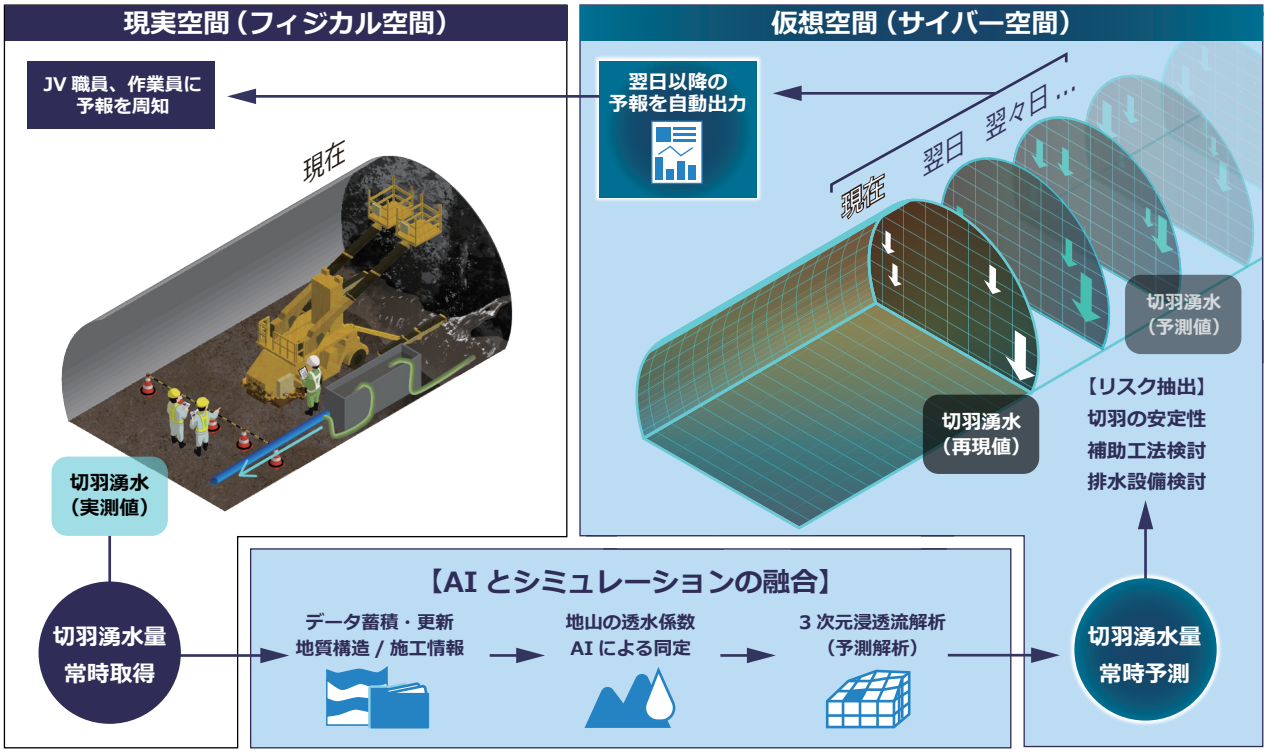
山岳トンネル工事は、地山の掘削によって地下水環境に変化を与えるリスクがあります。地上部への影響としては、農業用水や河川の流量の低下、ため池や井戸の水位低下などがあります。一方、掘削作業を行う地下部への影響としては、地山の不安定化を引き起こす恐れや、湧水の増加による作業環境の悪化、処理能力を超えた濁水の流出などがあります。
事前の予測検討と掘削前の対策工の実施により、これらのリスクによる影響を最小限に抑えることはできますが、以下のような課題がありました。

① 地山内部の不確実な地下水環境（地質構造、地山透水特性など）を読み解く必要がある
② 掘削中や対策工の実施中に取得される地下水環境に係る情報を精査する必要がある
③ 現場データの収集・分析に専門技術者の経験と時間を要する
④ 予測シミュレーションと検討に多くの時間を要する

そこで、現場で湧水量を自動で測定し、デジタルツインとAIを活用した予測シミュレーションにより、誰もが簡単に地下水環境の変化をイメージできるシステムを開発しました。

システムの仕組み

本システムはデジタルツインを基本概念とし、「現実の地山空間（フィジカル空間）」と「仮想の地山空間（サイバー空間）」で構成されます。フィジカル空間では、日々の切羽観察に基づく地山の地質構成と湧水量の実測値を取得し、サイバー空間へのインプット情報とします。サイバー空間では、AIにより同定した地山の透水係数を用いて３次元浸透流解析を行い（演算部）、以降の掘削ステップで予測される湧水量を３次元モデル上にわかりやすく表示する（可視化部）と同時に、帳票などに出力することでフィジカル空間に「予報」としてフィードバックします。
この流れは１日に１サイクルを基本として自動実行されます。



システムの概要

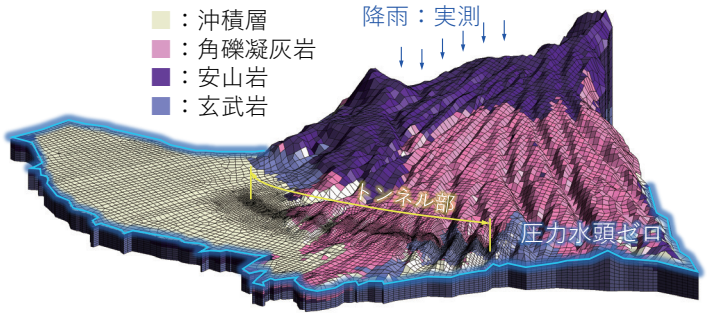
SHIMIZU CORPORATION 清水建設

地質モデルの更新と3次元浸透流解析

本システムの演算部において予測結果に最も影響を与える地質情報の更新には、当社が別途開発した３次元地質モデルの逐次更新システム「SG-ReGrid」を適用し、施工中に取得した前方探査データなどを１週間に１回の頻度で反映させています。SG-ReGridは、地質専門技術者のノウハウに基づいてモデル更新の指針をルール化しておくことで、モデルの更新を容易に行えます。
また、浸透流解析にあたっては、３次元FEMのように厳密な解を求めるのではなく、井戸公式を用いてトンネル軸線からの距離に応じた流量配分を定義する「仮想ドレーンモデル」を適用して湧水量を算出しています。これにより、FEM解析結果との誤差が10%程度と高い解析精度で、演算速度も1/20以下と格段に速く処理できることから、現場で容易に運用できるようになりました。

システムの検証

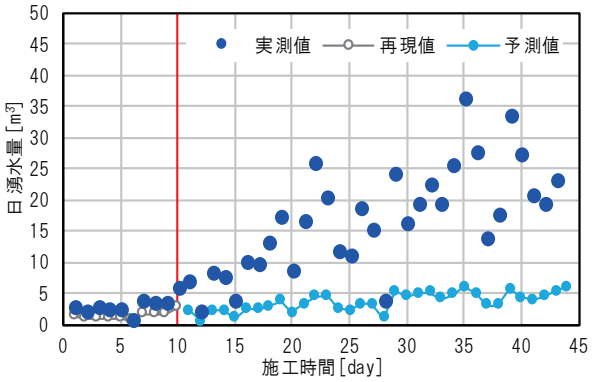
トンネル掘削にともなう坑内湧水量とトンネル周辺の地下水環境に与える影響を評価するため、九州新幹線木場トンネル他工事（長崎県大村市）において本システムを検証しました。ここで、検証区間は角礫凝灰岩が広く分布していることから、角礫凝灰岩の透水係数のみAIで同定することとしました。現場の実測湧水量からAIが同定した凝灰角礫岩の透水係数は、施工時間10日目で4.16×10^{-6}cm/秒、30日目で8.59×10^{-5}cm/秒となりました。なお、他の岩盤分類と同様の透水試験を行った結果、角礫凝灰岩の透水係数は2.53×10^{-4}～1.22×10^{-5}cm/秒の値が得られています。
施工時間10日目までの学習でAIが同定した透水係数（4.16×10^{-6}cm/秒）を用いた湧水量の再現値・予測値は実測値と大きな乖離がありますが（グラフa）、30日目まで学習・同定した透水係数（8.59×10^{-5}cm/秒）では、概ね良好な結果であるといえます（グラフb）。



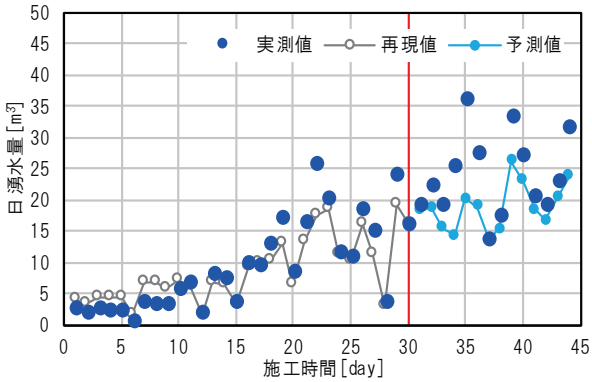
九州新幹線木場トンネルの解析モデル

岩盤分類	透水係数（cm/ 秒）
礫質土	7.24×10^{-4}（試験値）
角礫凝灰岩	AI が同定
安山岩	5.11×10^{-4}（試験値）
玄武岩	5.00×10^{-5}（試験値）

予測解析に用いた透水係数



a) **施工時間10日目**のデータを用いた
湧水量の再現値と予測値



b) **施工時間30日目**のデータを用いた
湧水量の再現値と予測値

システムの効果

○湧水量を１日１回、自動算定

現場での計測を自動で行い、計測結果をもとに翌日以降の切羽湧水量を自動で算定します。これまで専門技術者２名で４週間程度の時間を必要とした湧水量の予測作業を、大幅に効率化・省人化できます。

○精度の高い工程計画の作成が可能

数日程度の短期予報から週間予報、トンネル工事期間中の全工期予報まで様々なスパンに対応できるため、精度の高い工程計画の作成が可能です。施工遅延リスクの回避にも寄与します。

清水建設株式会社
https://www.shimz.co.jp/
土木技術問合せ窓口
sc-civiltech-mlist@shimz.co.jp

2025.9