# 切羽崩落事故ゼロのための IoT によるリアルタイム切羽崩落予測システム

鹿島建設(株)　正会員　○白鷺　卓　戸邉勇人
宮嶋保幸　山本拓治

## １．はじめに

山岳トンネル工事の掘削は、事前の地質調査結果に基づき、切羽で地山状況を直接確認しながら進められるが、常に予期せぬ断層や急激な地質変化などのリスクが存在する。筆者らはこれまで、コンピュータジャンボの導入により装薬孔およびロックボルト孔の穿孔時に得られる穿孔データから、地球統計学を用いて周辺の地質状況を高精度に予測、評価する技術を開発している[1)]。

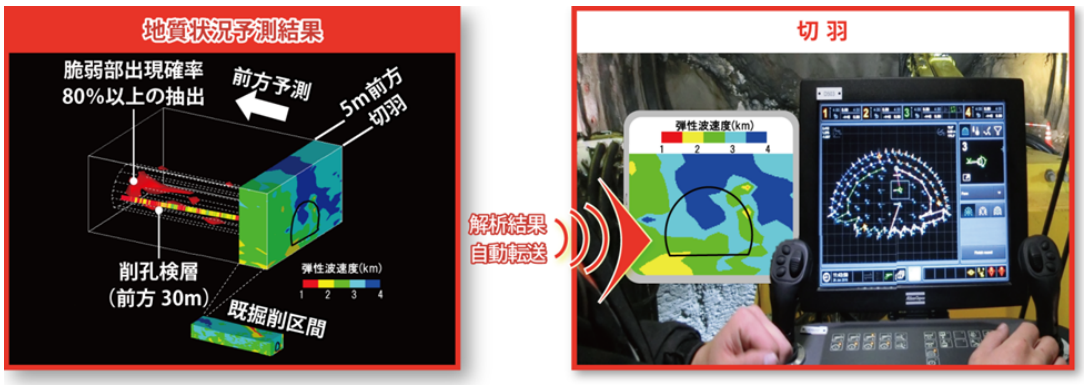
また、切羽の風化や割れ目の分布から肌落ち危険箇所を定量的に予測することで、目視観察をサポートする画像処理プログラムも開発しており[2)]、今回、これら複数のデータを活用して迅速・的確に地質を評価する先進的なシステムの確立を目指した。

## ２．システムの概要

当システムは、以下の２つの技術とクラウドサーバにより構成されている。

### 2.1　施工穿孔データによる切羽前方の地質状況予測（図－1）

コンピュータジャンボによる発破孔やロックボルト孔の穿孔データは、作業中から作業後に自動的に坑外の PC に転送され、すべての穿孔データがそろった段階で処理が開始される。処理では、破壊エネルギー係数および弾性波速度の計算、さらに、地球統計学のうち Ordinary Kriging（OK）と Sequential Gaussian Simulation（SGS）を用いてそれら物性値の空間分布を予測するとともに、地質脆弱部が 80%以上の確率で出現する箇所を抽出する。これにより、切羽前方および周辺の地質状況を高精度に予測することができる。これらの予測結果は、坑外 PC とオンラインのタブレット端末等により切羽で閲覧することができるため、元請社員や切羽作業員が予測結果を共有したうえで、安全性を迅速に判断できるとともに、施工方法の選択や補助工法適用の判断にも有効に活用できる。



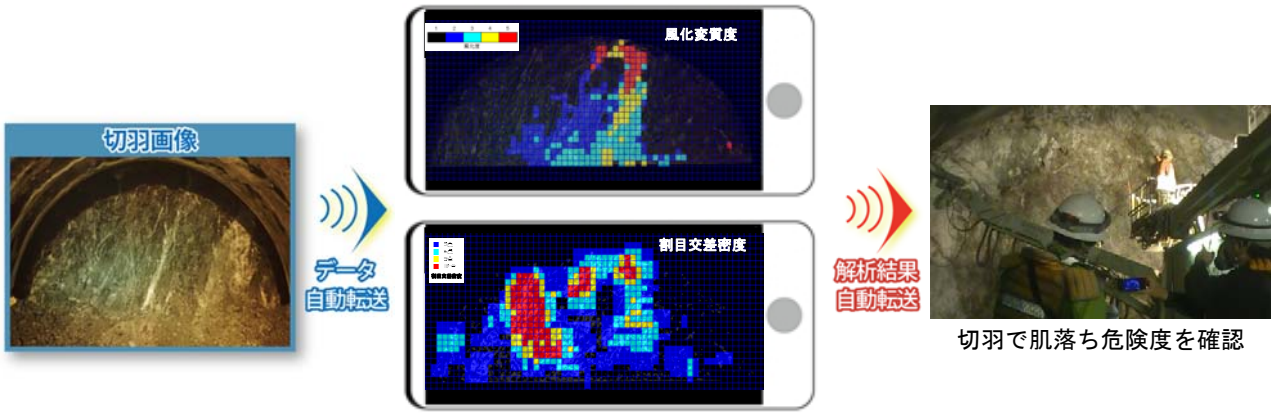

図－1　穿孔データの解析による地質状況の予測結果（左）と切羽（ジャンボ操作室）での確認（右）

### 2.2　切羽写真の画像処理による肌落ち危険度評価（図－2）

デジタルカメラで切羽を撮影した画像データは、自動的に坑外 PC に転送され、保存された段階で解析が開始される。解析では、岩盤の風化度合や割れ目の分布などを定量的に評価したうえで、肌落ちの可能性がある箇所を検出する。解析結果は、坑外 PC とオンラインのスマートフォン等により、切羽で閲覧することができるため、元請社員や切羽作業員が切羽の肌落ち危険箇所を共有したうえで、鏡吹付け作業、穿孔及び装薬作業を行うことができる。肌落ち危険度評価においては、全国のトンネル現場における切羽写真約 200 枚と肌落ち

キーワード　トンネル，IoT，コンピュータジャンボ，切羽写真，肌落ち，クラウドサーバ
連絡先　〒182-0036　東京都調布市飛田給 2-19-1　鹿島建設(株)技術研究所　TEL042-489-6595

記録データを収集し、分析することで、肌落ち危険箇所を検出するアルゴリズムを確立した[2)]。




図－2　画像解析による肌落ち危険箇所の検出と切羽での確認

### 2.3　クラウドサーバを活用した全社的な情報共有

坑外 PC で実行された解析の結果は、元請社員や切羽作業員に即座にフィードバックされるとともに、クラウドサーバにアップされるため、あらゆるオンライン端末（PC、タブレット、スマートフォン）から確認できる。これにより、技術研究所の地質専門家によるリアルタイムな施工支援も可能となり、現場で適切な施工判断をタイムリーに行うことができる。また、クラウドサーバへは全国のトンネル現場からデータがアップされ、データベースに蓄積される仕組みとなる。

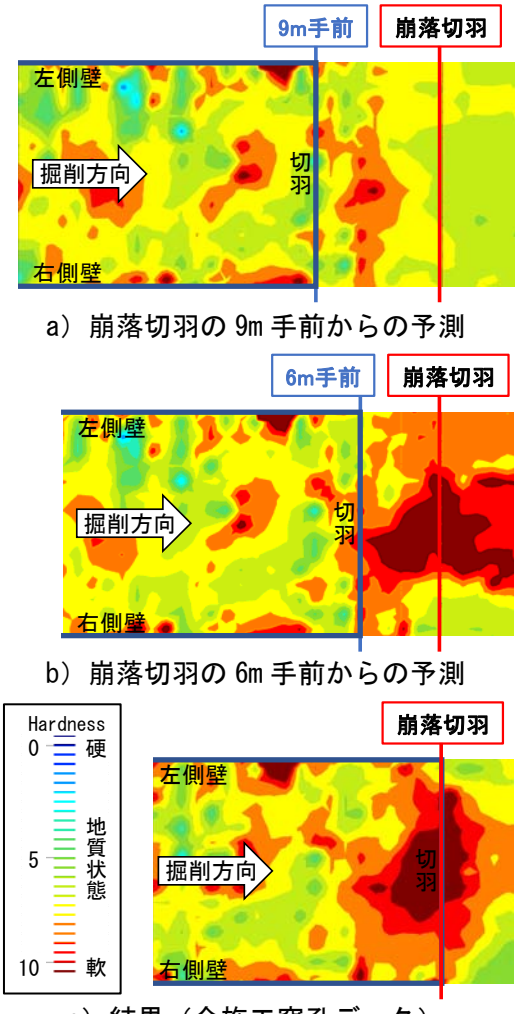
## ３．現場適用結果

当システムの適用性を確認するため、実際のトンネルにおいて装薬穿孔時に発生した切羽崩落を対象に検討を行った。

まず、切羽崩落が発生した切羽に至るまでの施工穿孔データの分布の推移をみると（**図－3**）、地質が悪くなっていく様子を当該箇所の手前 6m でほぼ予測できており、また、全施工穿孔データの分布を見ると、崩落切羽位置で軟弱部のピークとなっていることを確認した。

また、崩落した切羽の崩落前写真を画像処理し、肌落ち危険度評価を行ったところ、肌落ち発生確率が 75%以上とカテゴライズされた。肌落ち発生確率の求め方は、別の報文（投稿中）を参照されたい。

以上より、当システムを導入することで、崩落切羽位置の 6m 手前からの予測で、地質が悪くなることを精度よく予測できていること、さらに、装薬穿孔前に行われる切羽観察により肌落ち発生確率が高いことがリアルタイムでわかることから、肌落ち発生前に適切な補助工法等の検討を行うことができると考えられる。




図－3　施工穿孔データによる前方予測平面図

### 参考文献

1) 宮嶋保幸，白鷺卓，山本拓治，西川幸一，福田博之：トンネルの施工穿孔データを利用した脆弱部の出現確率の評価技術，土木学会第 72 回年次学術講演会，VI-801，pp. 1601-1602，2017.

2) 戸邉勇人，白鷺卓，川端淳一，宮嶋保幸：画像処理解析による山岳トンネルの切羽剥落危険度予測システムの開発，土木学会第 73 回年次学術講演会，2018（投稿中）.