

トンネルの施工穿孔データを利用した オンタイム切羽評価と前方予測

白鷺 卓¹・宮嶋 保幸²・山本 拓治³・西川 幸一⁴・福田 博之⁵

¹正会員 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

E-mail:shirasag@kajima.com

²正会員 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

E-mail:miyaj@kajima.com

³正会員 鹿島建設株式会社 土木管理本部 (〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11)

E-mail:yamataku@kajima.com

⁴正会員 鹿島建設株式会社 新区界トンネルJV工事事務所 (〒028-2631 岩手県宮古市区界第2地割466-2)

E-mail:koichi-n@kajima.com

⁵正会員 鹿島建設株式会社 新区界トンネルJV工事事務所 (〒028-2631 岩手県宮古市区界第2地割466-2)

E-mail:fukudah@kajima.com

コンピュータジャンボを導入し、装薬孔やロックボルト孔の施工穿孔データを3次元位置情報とともに容易に短時間で収集できるように改良した。さらに、これらのデータを利用し、地球統計学によって処理することで、既掘削区間だけでなく切羽前方の地山状況を予測し、オンタイムに可視化するシステムを開発した。

宮古盛岡横断道路新区界トンネル終点側で出現した粘板岩脆弱部に対する補助工法の要否を判断するため、当システムを適用しオンタイムに運用することで、これによる予測結果が施工方法の判断に有効な情報となった。予測結果に基づく補助工法の合理化も安全に実現されている。また、データベースに基づいて予測されたP波速度分布、地山等級分布を実績支保パターンと比較した結果も紹介する。

Key Words : tunnel, auto-controlled face drilling rigs, drilling energy, geostatistics, prediction

1. はじめに

山岳トンネルでは、作業の安全と安定した品質確保のため、地山に応じた適切な支保パターンや補助工法を選定することが重要であり、掘削時に切羽を観察して地山を評価する方法が一般的に行われている。その切羽観察は1日1回が標準であるが、通常昼夜作業で掘削が4回程行われるため、地山の変化を見落とす可能性がある。また、切羽で目視できない弱層が坑壁や切羽の背面に存在し、大きな変状や坑壁あるいは切羽の崩壊に至る事例がこれまで少なからずある。

坑壁背面の地山状況については、経験的にロックボルトの穿孔状況から硬軟を予測する方法が知られているが、このデータを収集・分析することには多大な時間と労力を要するため、施工判断に利用できる地山評価をオンタイムに提供することはこれまで極めて困難であった。一方、コンピュータジャンボの導入が最近進んでおり、筆

者らは装薬やロックボルトの施工穿孔データを容易に短時間で収集できるようにした。さらに、これらのデータを地球統計学(クリギング)によって処理することで、既掘削区間だけでなく切羽前方の地山状況を予測し、オンタイムに可視化するシステムとした。これを宮古盛岡横断道路の新区界トンネル工事に実装し、当システムが施工判断に不可欠な情報を提供できることを確認した。

2. 適用現場の概要

今回、コンピュータジャンボを導入した現場は、宮古盛岡横断道路新区界トンネル工事である。掘削断面積約110m²、全長4,998mの避難坑を有する道路トンネルであり、掘削を早期に完了させることを目的として、両坑口からの掘削に加えて、途中、避難坑を本坑への作業坑として利用することで、4箇所での本坑同時掘削を行って

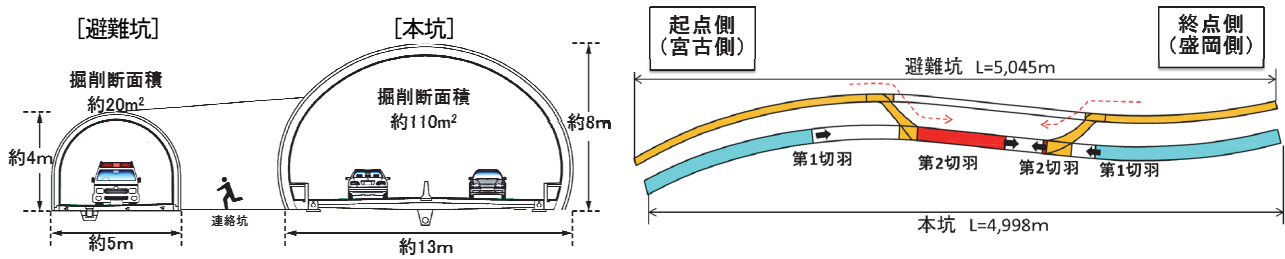


図-1 新区界トンネルの諸元と掘削方法概要

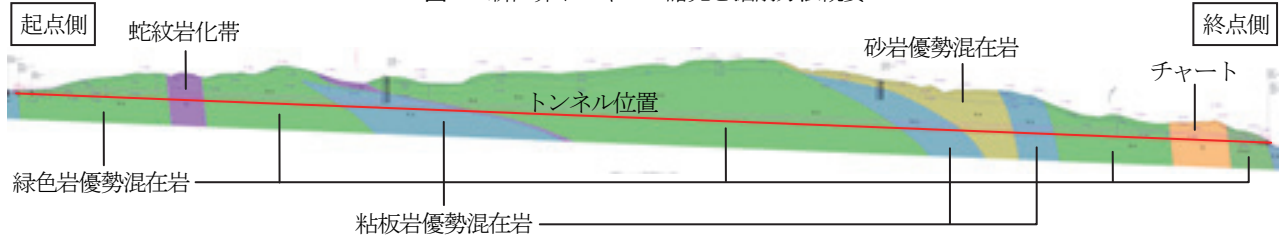


図-2 新区界トンネルの当初地質縦断面図

いる（図-1）。コンピュータジャンボは、これらの切羽に対し、フルオートジャンボとセミオートジャンボ、従来のマニュアルジャンボを導入した。

当トンネルの地質は、粘板岩を基質とし、堅硬な緑色岩が主に混在する付加体（根田茂帯）である（図-2）。基質の粘板岩は、付加時に受けたせん断作用により脆弱化しているため、掘削により応力解放され、著しい強度低下を引き起こす領域を有する。その領域では崩落や変状が発生するため、当現場では、切羽では確認できない範囲も含め、急変する脆弱部の分布を事前に予測することが求められていた。

3. 切羽前方および周辺地山の予測システム

当システムのフローを図-3に示す。当システムではまず、コンピュータジャンボにより取得され、詰所や事務所のPCに自動伝送されるすべての穿孔データが、3次元統合可視化ソフトウェアに自動的に取りこまれる。データは、伝送完了後5分以内に可視化される。

次に、上記ソフトウェアのアドオンとして開発した前方予測機能が自動的に作動する。このアドオンは、追加された穿孔データの位置に応じた解析領域の設定、地球統計学における空間モデルをバリオグラムにより求める機能、地球統計学におけるクリギングにより解析領域内の穿孔エネルギー分布を推定する機能、穿孔エネルギー分布をP波速度および地山等級の分布に変換する機能を有している。一連の工程をデータ伝送完了後2時間以内に自動的に行うことができるため、次のサイクルに予測結果をフィードフォワードすることが可能となっている。

さらに、施工上重要な判断を要する場合には、地球統計学におけるSequential Gaussian Simulation (SGS) を

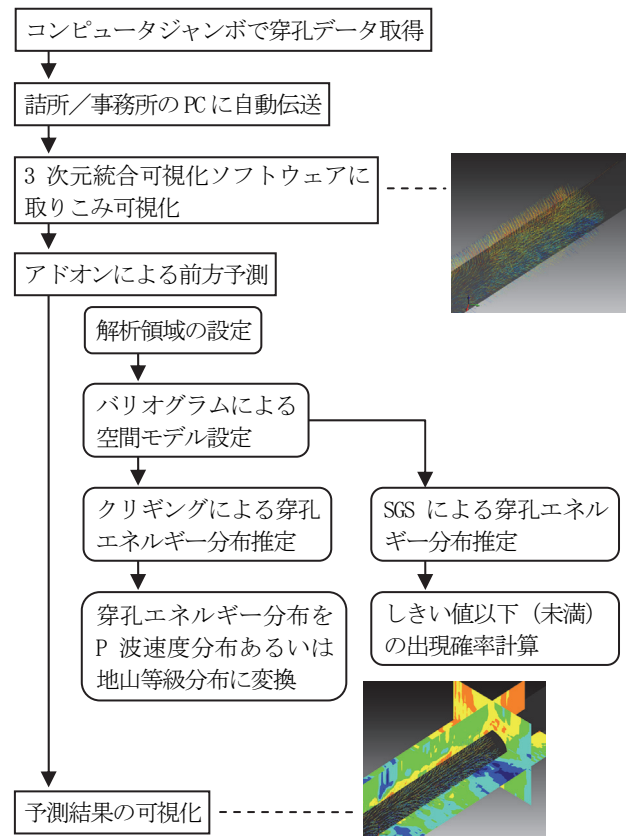


図-3 切羽前方および周辺地山の予測システムフロー

実施する機能も有する。数10回から100回程度再現解析を行うことで実現値（Realization）を求める手法で、これにより、穿孔エネルギーの任意値をしきい値として、それ以下（未満）の出現確率を求めることができる。しきい値を地山等級と関連させることができる場合には、たとえば、DII相当地山の出現確率が80%以上といった領域の3次元分布を予測することができるため、支保パターの適否や補助工法の要否の合理的な判断等に必要情報を提供することができる。

4. 予測システムによる粘板岩脆弱部の分布予測と地山評価

(1) 補助工法の要否判断

終点側（盛岡側）第1切羽（図-1）の粘板岩優勢混在岩区間において粘板岩脆弱部が出現した。長尺先受け工と鏡ボルト工を実施して掘削を行うことになったため、それらの穿孔データを用いて、当システムによる予測をオンタイムに実施し、その結果に基づいて補助工法の要否を判断することができた。

図-4は、粘板岩脆弱部の出現を確認した切羽248+15.6までの装薬孔およびロックボルト工の穿孔データと、同切羽から実施した1シフト目の長尺先受け工の穿孔データを入力値とし、切羽前方および周辺地山の穿孔エネルギー分布を予測したときのSLの水平断面図とトンネルCLの縦断面図である。穿孔エネルギーが非常に小さい領域が1シフト目の中間に広範囲に予測されたことから、2シフト目をフルラップ（6mラップ）で実施する判断をすることができた。

図-5は、切羽247+14.6までのロックボルト工と同切羽からの5シフト目の長尺先受け工および鏡ボルト工の穿孔データ、同切羽からの削孔検層データを入力値とし、切羽前方および周辺地山の穿孔エネルギー分布を予測したときの結果である。（1）がSLの水平断面図、（2）

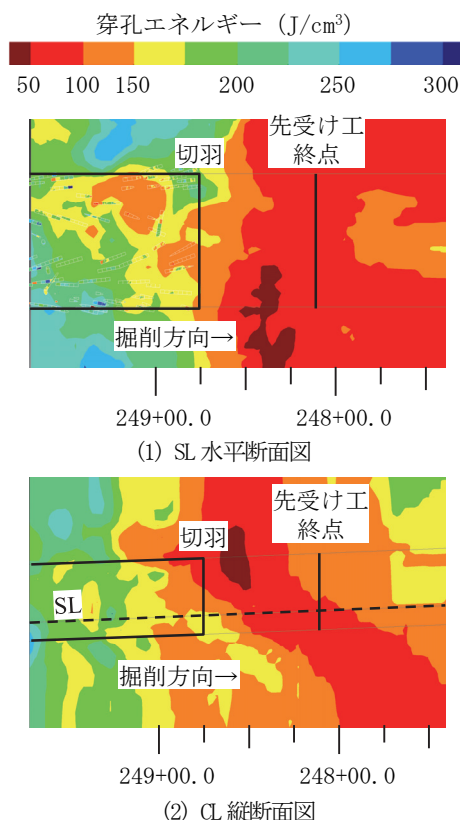


図-4 長尺先受け工 1 シフト目までの穿孔データによる予測結果

が6シフト始点切羽の横断面図、（3）が247+9.6の実際の切羽である。穿孔エネルギーが非常に小さい領域が右側には引き続き分布するが、鏡肌、へき開および褶曲が発達する粘板岩脆弱部に一致した。一方、左側壁付近には良好な地山が分布すると予測され、実際、ゆるめ発破を行う必要があるほど硬質な部分と一致した。この結果は、6シフト目の長尺先受け工や鏡ボルトの配置位置見直しの判断材料となった。

以上の予測から判断までのサイクルは、約2日間の補助工法完了後、翌日午前中に予測結果を出力し、午後の発注者との協議に提供するというものであった。次シフトの要否判断には十分な時間を確保することができており、当システムによるオンタイムでの地山予測結果は着手前段階での補助工法の要否判断に有効なものになった。

(2) 支保パターンとの整合

補助工法8シフト目までのデータで予測した穿孔エネ

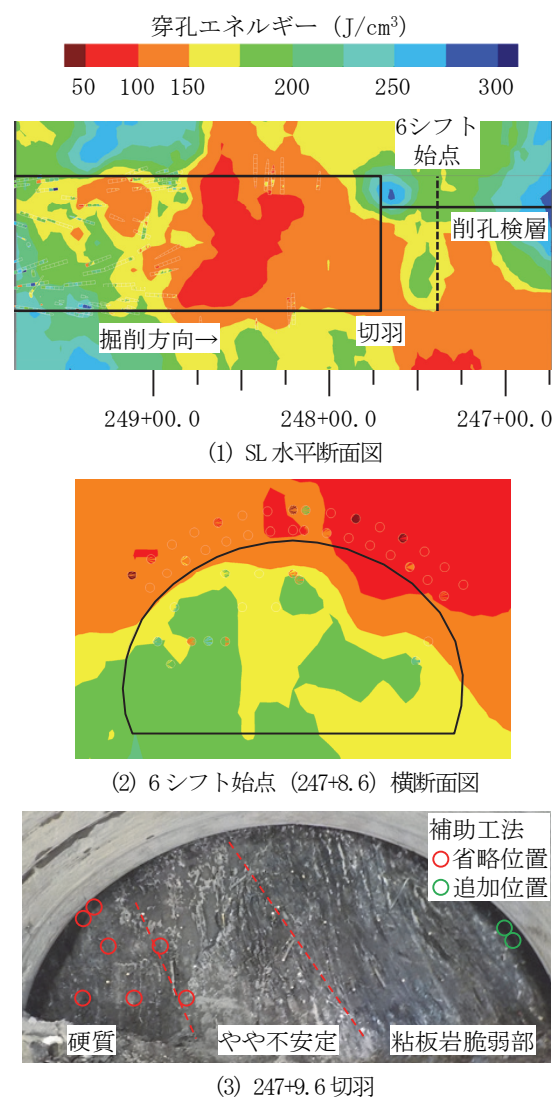


図-5 補助工法 5 シフト目までの穿孔データおよび削孔検層データによる予測結果と実際の切羽

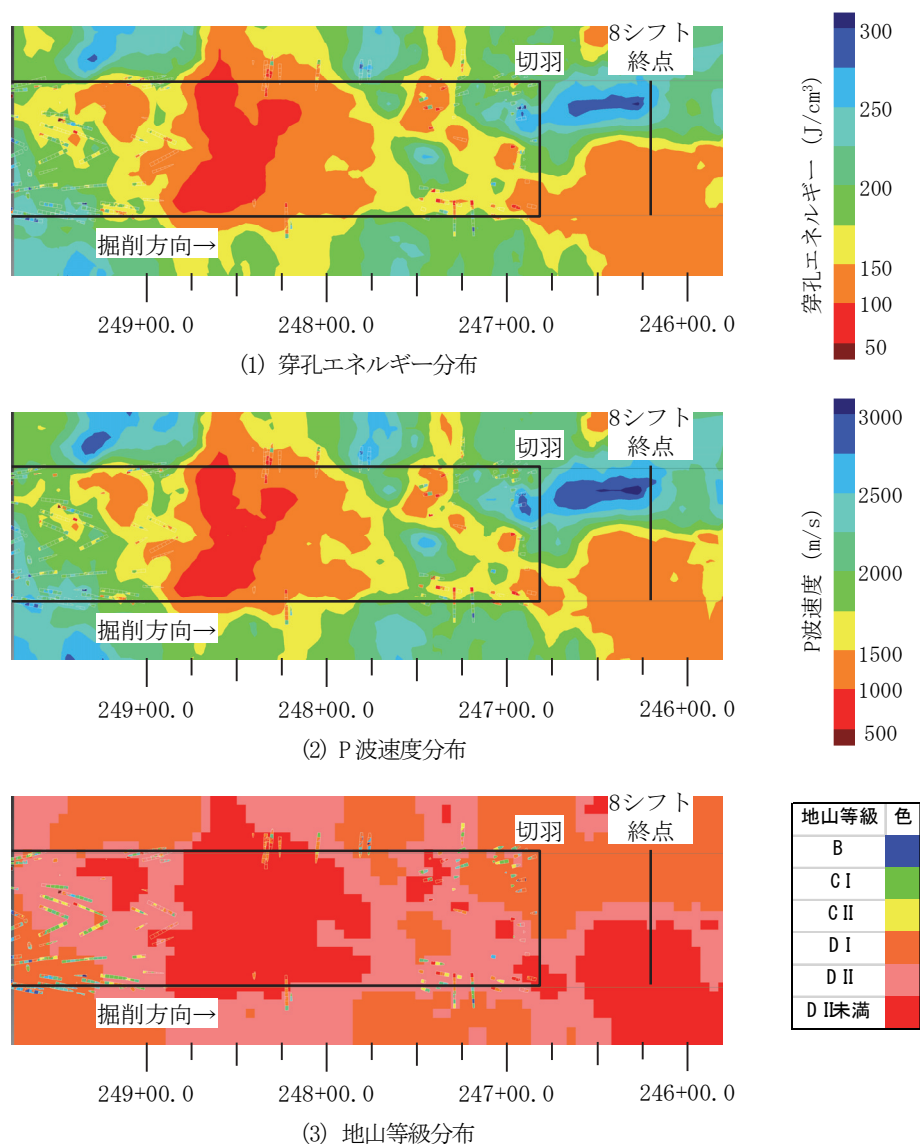


図-6 補助工法8シフト目までの穿孔データによる予測結果 (SL 水平断面図)

ルギー分布、穿孔エネルギーから変換したP波速度分布および地山等級分布を図-6に示す。P波速度分布は、白鷺ほか¹⁾に示した方法で蓄積されているデータベースから導出された相関式を用いて求められたものである。また、地山等級分布は、主にP波速度に基づいて設定されている道路トンネルの地山等級²⁾に基づいて変換されたものである。これより、当該区間のほとんどがDII以下の地山等級となり、実際、切羽観察およびA計測結果などから総合的に判定された支保パターンにはDIIが適用されていることから、予測結果は妥当と考えている。

5. おわりに

コンピュータジャンボを導入し、装薬孔やロックボルト孔の施工穿孔データを3次元位置情報とともに容易に短時間で収集できるように改良した。さらに、これらの

データを利用し、地球統計学 (クリギング) によって処理することで、既掘削区間だけでなく切羽前方の地山状況を予測し、オンタイムに可視化するシステムを開発した。

新区界トンネル終点側第1切羽で出現した粘板岩脆弱部に対する補助工法の要否を判断するため、当システムを適用しオンタイムに運用することで、これによる予測結果が施工方法の判断に必要な不可欠な情報となった。予測結果に基づく補助工法の合理化も安全に実現されている。また、データベースに基づいて予測されたP波速度分布、地山等級分布が実績支保パターンと比較して妥当であることも検証できた。

なお、本稿ではSGSによる予測と実際には触れなかったが、今後検証を進め、別の論文で紹介したいと思っている。

参考文献

- 1) 白鷺卓, 犬塚隆明, 宮嶋保幸, 小林幸司, 河本貴史, 井上量介: 削孔検層と速度検層によるトンネル切羽前方の弾性波速度分布の予測, 土木学会第 71 回年次学術講演会講演論文集, VI-394, pp.787-788, 2016.
- 2) 土木学会: [2016 年制定] トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説, 土木学会, p.48, 2016.

(2017.8.11 受付)

ON-TIME PREDICTION OF GEOLOGICAL CONDITION AHEAD OF TUNNEL FACE BY DRILLING DATA FOR EXCAVATION

Suguru SHIRASAGI, Yasuyuki MIYAJIMA, Takuji YAMAMOTO,
Koichi NISHIKAWA and Hiroyuki FUKUDA

Auto-controlled face drilling rigs for tunneling can easily provide us drilling data for blasting and rock-bolting with their three dimensional coordinates. The system developed by Kajima can automatically import the data and predict geological condition ahead of tunnel faces by the geostatistics in two hours.

The system was applied to a tunnel construction site in Japan in order to predict the distribution of a strongly sheared zone. It succeeds in demonstrating that the prediction results are useful to determine whether forepiles and facebolts are necessary or not in the next shift. Moreover, the results brought us to a rational decision to reduce several forepiles and facebolts safely in the next excavation cycle.