コンピュータジャンボを活用した地山評価と発破パターン設計の自動化

株式会社大林組　正会員　○西村　友宏
株式会社大林組　正会員　渡辺　淳
株式会社大林組　正会員　奥澤　康一

１．はじめに

建設業界においては，担い手不足，労働災害リスクおよび生産性の低迷が深刻な問題となっている．これらを解決するためには，i-Construction2.0 で提唱される施工，施工管理ならびにデータ連携のオートメーション化を推進し，省人化，安全性および生産性の向上を図ることが重要課題である．これまでに大林組では，OTISM®（Obayashi Tunnel Integrated SysteM）を掲げ，山岳トンネルの掘削，覆工および計測・評価の 3 つの分野において自動化・省力化技術の開発と現場適用を進めてきた．現在では次ステップとして，個々に開発を進めてきた技術をひとつの現場に集約し実装する段階に入っている（**図-1**）．本稿では，一連の開発技術のうち，穿孔作業の自動化の取り組みにおけるリアルタイム地山評価と発破パターン設計の自動化について報告する．



図-1　OTISM/Tunneling®の集約・実装（国道 20 号 新笹子トンネルその 1 工事）

２．穿孔作業の自動化の取り組み

(1) 従来の穿孔作業について

図-2 に，穿孔作業の状況を示す．穿孔作業は，爆薬を装填する孔を切羽面に穿孔する作業であり，一般にドリルジャンボと呼ばれる重機を使用する．従来のドリルジャンボの場合，穿孔するためのブーム操作は経験豊富な熟練技能者による手動操作が必要であり，1 ブームにつき 1 名のオペレータが必要である．近年では，コンピュータジャンボによりブーム操作を自動または半自動で操作できる穿孔技術や，穿孔により取得した機械データによる地山評価技術が普及されつつあるものの，完全な施工およびデータ連携のオートメーション化には至っておらず，高度な運用のための課題が残されているのが現状である．



図-2　穿孔作業の状況（従来）

キーワード　山岳トンネル，掘削，コンピュータジャンボ，地山評価，発破パターン，自動化
連絡先　〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 ㈱大林組土木本部生産技術本部 TEL03-5769-1319

(2) データ連携のオートメーション化の課題

山岳トンネルを合理的に施工するためには，前方探査や切羽観察，各種計測の結果に基づき総合的に地質を評価することで最適な支保パターンを選定することが重要である．先述した通り，近年ではコンピュータジャンボの穿孔により取得した機械データによる地山評価技術が普及されつつあるものの，地山評価指標はジャンボメーカー毎に異なり（例えば古河ロックドリル社の穿孔エネルギーや EPIROC 社の Hardness など），各地山評価指標と地山等級との相関は施工者の独自ノウハウ（暗黙知）に留まっているのが現状である．一方で，大林組ではこれまでに，ドリルジャンボを用いたノンコア削孔検層「トンネルナビ®」を開発し適用しており，フィード圧の変化の影響を補正し，正規化した削孔速度である正規化削孔速度比[1)]による地山等級の評価を行う手法がある．正規化削孔速度比は当社独自の地山評価指標であり，これまでに 50 現場以上（探査延長 110km 以上）で適用されている．地山等級を高い精度で予測できることが確認されており，実施工においても信頼性の高い地山評価指標として活用されている．データ連携の高度化のために，異なるジャンボメーカーにおいて取得した機械データから正規化削孔速度比をリアルタイムで算出し，地山等級の評価を行う取り組みを行った．

(3) 施工のオートメーション化の課題

発破パターン設計は地山等級や既往の発破理論，積算基準に基づき行われるが，日本の地質は複雑であり，切羽面の中でも部位毎に硬軟が異なる場合が多い．そのため，地山の硬軟や形状に応じた発破パターン設計を都度行うことは容易ではなく，熟練技能者の技量に依存しているのが現状である．経験の浅い技能労働者の発破実績では，地山評価を適切に行えないため，穿孔する孔数が多くサイクルが低下することや余掘りの増加（設計掘削ラインより大きく掘削すること），切羽面が平滑でないことによる切羽の不安定化が生じることがある．大林組はこれまでに，熟練技能者の発破実績のデータ分析や AI（深層学習）を活用した地山評価手法，切羽形状に応じた穿孔開始位置の修正手法の検討などを進めてきた．これらをシステム化し，コンピュータジャンボの自動穿孔技術と組合わせることで，地山等級の評価から発破パターン設計，穿孔作業の一連を技能労働者の熟練度に依存することなく施工できる取り組みを行った．**図-3** に，オートメーション化のイメージを示す．



図-3　穿孔作業における施工およびデータ連携のオートメーション化のイメージ

3．開発技術の概要

(1) リアルタイム地山評価

図-4 にシステムの構成図を示す．本システムは，装薬孔を 1 本削孔するごとに正規化削孔速度比を算出し，装薬孔の削孔が完了するたびに削孔データを補完したうえで，コンピュータジャンボ搭載のタブレット端末に地山等級のコンター図を表示する．

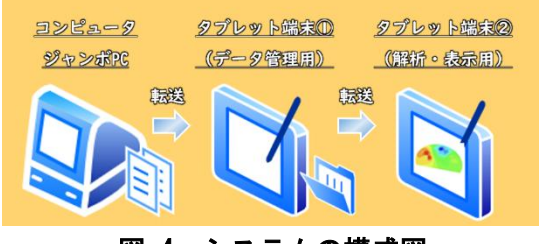


図-4　システムの構成図

(2) 発破パターン設計システム「ブラストスキル AI®」

図-5 にシステム画面の例を示す．本システムは，切羽部位毎の地山評価から，熟練技能者の発破実績のデータ分析結果に基づく回帰式より発破パターン設計を行う．作成した発破孔配置は，切羽点群データ計測により取得した切羽形状（鏡面の凹凸形状とアーチ面の余掘り量）に基づき，穿孔位置座標を修正する．コンピュータジャンボにより取得した削孔データから算出した正規化削孔速度比と切羽写真を追加学習することで，切羽写真から AI（深層学習）により地山評価を行い，発破パターンを作成することも可能である．

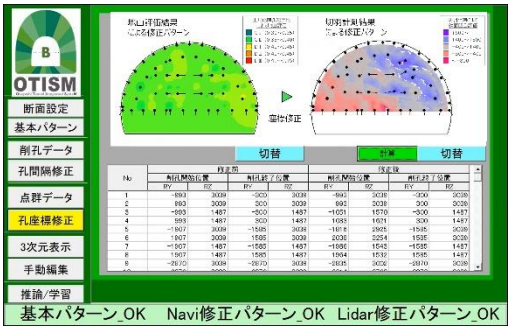


図-5　システム画面の例

4．現場適用の結果

開発技術を異なるジャンボメーカーを使用する 2 つの現場へ適用したので，その結果を示す．

(1) 国道 429 号道路新設改良工事榎峠トンネル（仮称）

図-6 に切羽写真と正規化削孔速度比によるリアルタイム地山評価結果を示す．本トンネルで使用したドリルジャンボは古河ロックドリル社のコンピュータジャンボである．取得データから正規化削孔速度比によりリアルタイムで地山等級評価を行った．TD432m～460m にかけて，CII相当の地山であった．TD432m の地山では右側が DI相当に近い CII相当，左側は CI相当であったが局所的に左肩に DI相当の箇所がある．TD440m～460m では，概ね CII～CI相当で，CII相当の割合が多くなっている．また局所的な不良部も見られた．掘削実績も CIIパターンであることからも，地山評価は適切であった．

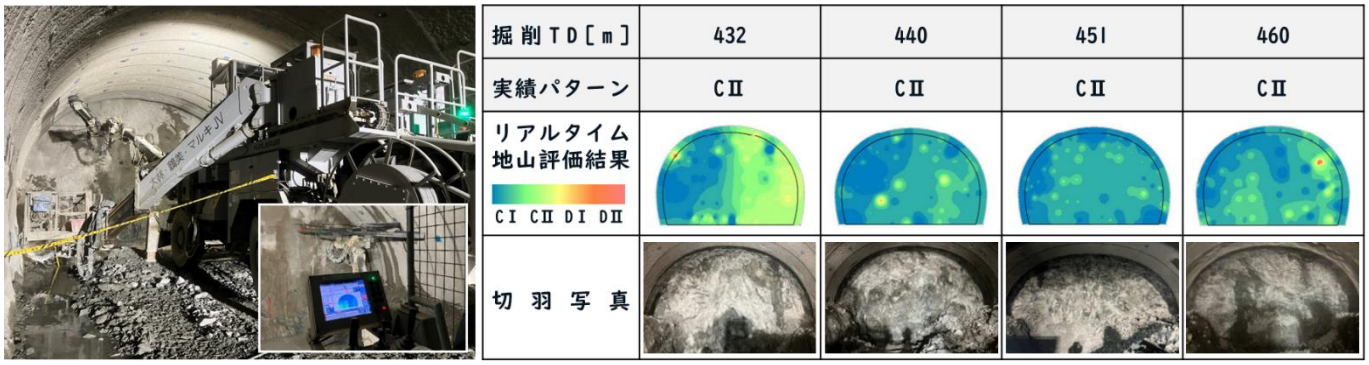


図-6　切羽写真と正規化削孔速度比によるリアルタイム地山評価結果

図-7 に，従来工法と開発技術の結果比較を示す．開発技術では半自動穿孔技術のオートリターン機能によって孔尻が揃うことにより，発破直後の鏡面形状の平滑化し，地山の不安定化リスクが低減され安全性向上に寄与した．上半断面の発破孔数は概ね同等であるが，発破直後の余掘り量は約 30%低減できている．発破効果はいずれも良好であり，掘削作業サイクルに影響なく施工できた．

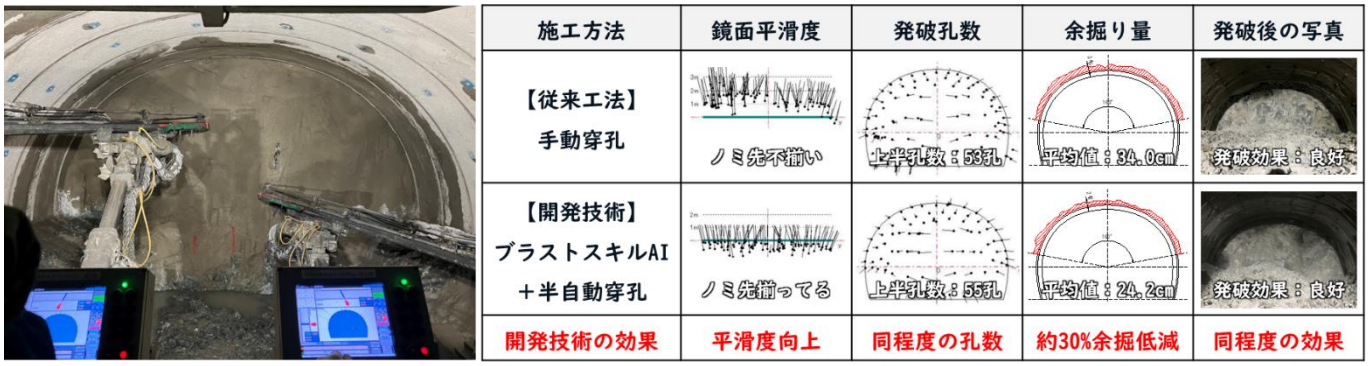


図-7　従来工法と開発技術の結果比較

(2) 国道 20 号新笹子トンネルその 1 工事

図-8 に切羽写真と正規化削孔速度比によるリアルタイム地山評価結果を示す [2]．本トンネルで使用したドリルジャンボは EPIROC 社のコンピュータジャンボである．取得データから正規化削孔速度比によりリアルタイムで地山等級評価を行った．TD847m～879m にかけて，CII相当の地山であり，地山は局所的な硬軟があることがわかる．TD847m は天端部が DI相当であったが，TD879m は CI相当に近い地山が広がっている．掘削実績も CIIパターンであることからも，地山評価は適切であった．

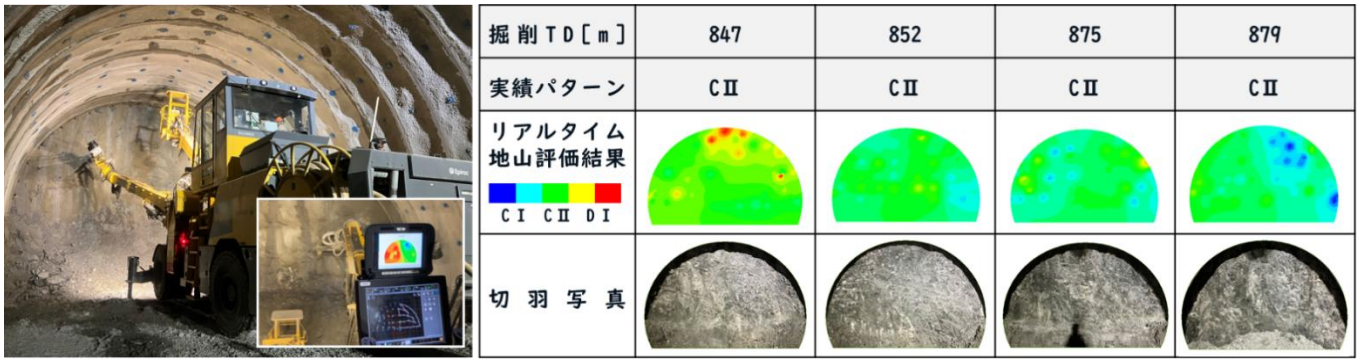


図-8　切羽写真と正規化削孔速度比によるリアルタイム地山評価結果

図-9 に，従来工法と開発技術の結果比較を示す [3]．開発技術では自動穿孔技術により 1 名のオペレータで穿孔作業が行えるため省人化（2 名⇒1 名）ができた．加えて，自動穿孔技術のオートリターン機能によって孔尻が揃うことにより，発破直後の鏡面形状が約 10%平滑化したことで，地山の不安定化リスクが低減され，安全性向上に寄与した．また，上半断面の発破孔数は約 20%低減し，発破直後の余掘り量も約 65%低減できており，吹付けコンクリートロス低減や，ずり出し量低減，これらに伴う重機稼働時間低減による環境負荷低減にも寄与している．発破効果はいずれも良好であり，掘削作業サイクルに影響なく施工できた．

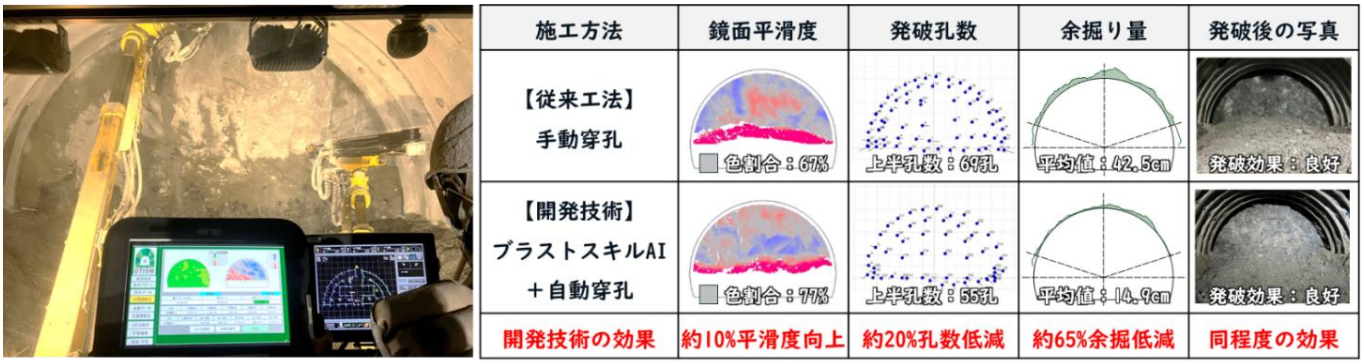


図-9　従来工法と開発技術の結果比較

５．まとめ

本稿では，掘削作業一連の開発技術のうち，穿孔作業の自動化の取り組みにおけるリアルタイム地山評価と発破パターン設計の自動化について報告した．開発技術により，異なるジャンボメーカーで適切な地山評価をリアルタイムで行い，また，発破パターン設計から穿孔作業の一連を，技能労働者の熟練度に依存することなく施工できることを確認した．今後とも，施工・データ連携のオートメンション化を進める所存である．

参考文献

1) 奥澤ほか；コンピュータジャンボデータを用いた地山等級分布の推定，トンネル工学報告集，I-31，2025
2) 宮越ほか；コンピュータジャンボ削孔データを用いた地山等級評価および発破パターン設計への適応，土木学会第 81 回年次学術講演会講演概要集，VI-549，2026
3) 西村ほか；発破パターン設計システム「ブラストスキル AI®」による山岳トンネル穿孔作業の自動化，土木学会第 81 回年次学術講演会講演概要集，CS14-69，2026