

山岳トンネルにおけるドリルジャンボ遠隔操作システムの開発

西松建設 正会員 ○瀬瀬 善孝 ジオマシンエンジニアリング 塚田 純一
古河ロックドリル 機島 秀一 カナモト 高橋 真琴

1. はじめに

山岳トンネル工事では切羽における肌落ち災害がたびたび発生しており、作業員が切羽に立ち入る機会の削減（切羽作業の無人化）が求められているものの、複数種類の特殊機械を使用する複雑な作業が必要とされているため、無人化技術の導入が進んでいないのが現状である。そのような背景より、筆者らは山岳トンネルの各施工重機を対象とした無人化・自動化技術の開発に取り組んでいる^{1), 2)}。本稿ではその一環として開発した『ドリルジャンボ遠隔操作システム（Tunnel RemOS-Jumbo, トンネルリモスジャンボ）』（図-1）を紹介する。

2. システム構成

（1）遠隔操作室

ドリルジャンボの遠隔操作は、切羽から離れた位置に配置された遠隔操作室にて行う（図-2）。室内に設置されている2つのコクピットのうち、メインコクピットには走行のためのレバーやペダル、実機の運転席と同一の削孔用コンソール、アウトリガやケーブルリール等の操作のための制御盤が設置されており、モニターで機体周囲や切羽近傍の映像を確認しながら、走行と削孔作業を遠隔操作できる。なお、座席は傾斜計で計測した機体の姿勢と連動するため、遠隔操作室内に居ながらにして機体の傾きや振動を体感することができる。また、操作盤には重機切替ボタンが備えられており、共通の設備を用いて他の重機も遠隔操作することが可能である。サブコクピットにはモニターと削孔用コンソールが設置されており、削孔作業を遠隔操作できる。

（2）機体制御システム

ドリルジャンボには、遠隔操作室からの操作信号に基づいて機体を制御するための機体制御盤や、機体周囲や切羽近傍を映すための複数のフルHDカメラが設置されている。機体後方には左右2台のデブスカメラが設置されており、AIによって人を検知することが可能である。また、機体には通常操作と遠隔操作の切替スイッチが備えられており、例えば通信環境の不具合等によって遠隔操作が不可能になった場合には、即座に通常操作に移行して施工の遅延を防ぐことができる。

（3）通信設備

切羽に最も近い先端設備に無線通信設備を設置しており、遠隔操作室から先端設備まではLANケーブルやSDIケーブルを用いた有線通信、先端設備からドリルジャンボまではWi-Fiや小電力無線を用いた無線通信によって、遠隔操作室からは操作信号、ドリルジャンボからはカメラ映像、機体の稼働履歴、削孔データ等が伝送される。各データは坑内ネットワークを通して坑外にある詰所のデータ保存用PCに保存され、地山評価データや将来の自律施工に向けた施工データの蓄積が可能となっている。

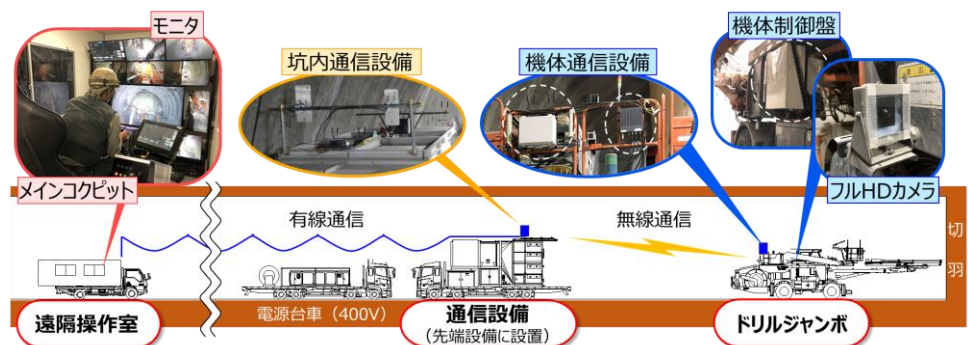


図-1 ドリルジャンボ遠隔操作システムの概要

キーワード 山岳トンネル, ドリルジャンボ, 遠隔操作, 無人化施工

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-2-1

西松建設(株) 技術研究所 TEL03-3502-0247

3. システムの特長

(1) 走行の遠隔化

エンジンの始動、切羽までの走行、作業位置での停止、アウトリガの張り出しや収納といった走行に関する全ての動作を遠隔で行うことが可能である。また、遠隔走行時の安全性を確保するために、後進時に機体後方の一定距離以内の範囲にデプスカメラで人が検知された際や緊急停止スイッチが押された際には機体が自動停止する仕組みとしている。

(2) 削孔作業の遠隔化

レバー操作で削孔を行う“遠隔マニュアル削孔機能”または事前の設定通りに自動で削孔を行う“遠隔フルオート削孔機能”を遠隔操作室内のコンソールで制御することによって、3つのブームを1～2名で遠隔操作することが可能である。本システムは古河ロックドリル社製の全自動ドリルジャンボ『J32RX-Hi ROBOROCK®』をベースに開発したものであり、同社独自の遠隔削孔技術『遠隔穿孔操作システム』を活用することで、これらの2種類の削孔が可能となっている。

(3) 削孔ガイダンス

ベースとなるドリルジャンボの機能を用いて計測された削孔の位置や進捗、ブームの姿勢が遠隔操作室のモニタに表示されるため、高精度な削孔やガイドセル同士の干渉防止が可能である。

(4) リアルタイム地山評価

削岩機の稼働データや削孔位置等の情報は1秒間隔で自動的に収集されていき、各孔における深度ごとの地山評価値（岩盤強度、穿孔エネルギー等）やトンネル周辺地山全体の評価値の分布が計算され、結果が遠隔操作室のモニタに表示される（図-3）。これらの処理は削孔の最中に自動で行われ、モニタ上の表示は10秒間隔で更新されるため、客観的な地山評価や危険箇所の早期把握が可能である。

4. おわりに

今回、山岳トンネル工事におけるドリルジャンボの無線遠隔操作システムを開発した。当社施工中の山岳トンネル現場にて本システムの試行を行った結果、施工に影響を及ぼす通信上の不具合は生じず、ドリルジャンボを無線で遠隔操作可能であることが確認されており、今後は削孔後の爆薬の装填、ロックボルトの挿入、長尺削孔時のロッドの継ぎ足し等も遠隔操作で実施可能とするためにシステムの改良を進めるとともに、重機の自動化に関する検討も進めていく。

参考文献

- 1) 山下雅之，山本悟，田口毅：山岳トンネルにおける無人化施工への取組み 施工機械の遠隔操作システムの実用化を目指して，土木施工，Vol.62，No.1，pp.135-139，2021.
- 2) 山下雅之，山本悟，田口毅：山岳トンネルにおける切羽近傍作業の無人化を目指した取り組み，建設機械施工，Vol.73，No.7，pp.43-48，2021.



図-2 遠隔操作室

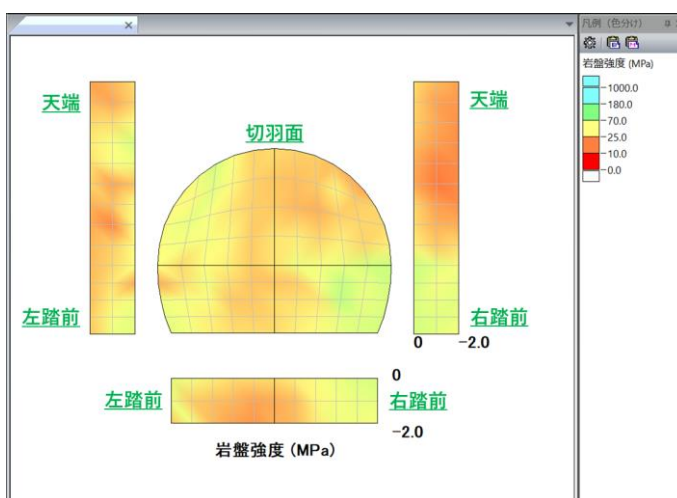


図-3 リアルタイム地山評価の例