

切羽直下作業機械化への試み

2 ブームロックボルト打設専用機によるロックボルト施工

清水建設株式会社

清水建設株式会社

古河ロックドリル株式会社

○ 大矢 剛大

井手 康夫

宮越 征一

1. はじめに

山岳トンネルにおけるロックボルト打設作業は、穿孔・モルタル充填・ロックボルト挿入の一連の作業の繰返しであり、穿孔以外の作業は、依然として人力作業で行われている。その作業は、狭いマンケージの中で重量物を扱う苦渋作業であり、肌落ちによる重篤災害（6%が死亡し、42%が休業一ヶ月以上）¹⁾の発生リスクが高い切羽直下の作業である。このような背景を踏まえ、安全性と生産性向上を目的とし、上記一連の繰返し作業の機械化を実現した「2ブームロックボルト打設専用機」（古河ロックドリル（株）製ロックボルタ）（図-1）を開発、現場導入した。

本報告では東海北陸自動車道真木トンネル工事（内空断面積 77m²、トンネル延長 1,578m）において、2ブームロックボルト打設専用機を用いた世界初の施工を行い、有効性が確認できたので報告する。

2. 2ブームロックボルト打設専用機の概要

本システムの特徴は以下のとおりである。①「穿孔・モルタル充填・ロックボルト挿入」の一連の作業を機械化したボルティングユニット（図-2）を2台搭載し、それぞれをキャビン内から遠隔操作することにより、切羽直下に立入ることなく作業することができる。②従来5人で行っていた作業を3人（オペレータ2人、モルタルポンプ操作者1人）で行うことが可能で省人化を実現できる。③キャビン内のコントロールパネル（図-3）で穿孔位置およびモルタル注入量を確認し、高精度ナビゲーションに従ってブーム操作やモルタル充填を確実に行うことができるので、技能労働者の熟練度によらずロックボルト施工品質の均質化と出来形精度の向上を可能にする。

本機を使用し、安全性と生産性向上を達成するとともに、2車線道路トンネル（掘削断面積 77m²）のロックボルト施工において効率的に2ブームを稼働させるため、両ブームのうち片ブームのボルティングユニットを3m用、4m用の組合せで採用



図-1 2ブームロックボルト打設専用機

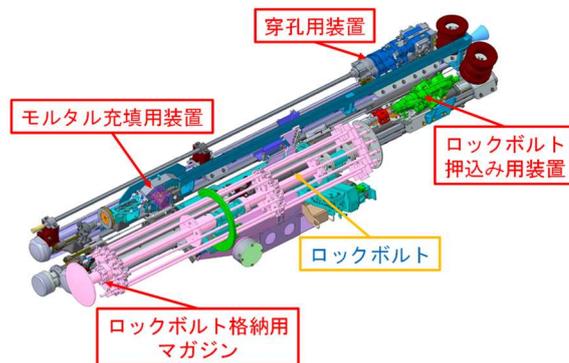


図-2 ボルティングユニット



図-3 コントロールパネル画面

した中断面仕様（3m 短尺ガイドシェル）へ改造した。また3Dシミュレーション（図-4）により打設順序の最適化を図った。

3. 現場実証結果

本機を現場導入し、高速道路会社の土木工事積算基準²⁾より算出したサイクルタイムと比較を行った。積算サイクルタイムはDIパターン（今回実証区間）でロックボルト13本打設するのに、39分である。

今回、現場実証に先立ち、2ブーム打設順序検討（図-5）を行った。これに基づいて実施工を行った結果、ロックボルト打設時間は35分となり、積算サイクルタイムに比較して10%短縮した（図-6）。また、高精度ナビゲーション機能により、事前のマーキングなどの準備作業がなくともロックボルト出来形精度【位置間隔： $\pm 20\text{mm}$ 以内、角度： $\pm 1^\circ$ 以内、穿孔深さ $+50\text{mm}$ 以内】を確保することができた。また、コントロールパネルには、モルタル注入量と打設本数が表示される。モルタルを設計注入量と比較することで確実な密充填が可能となり、デジタルエビデンスが残せる。さらに、実穿孔長がリアルタイムに表示されるため、過不足のない効率的な穿孔が可能となる。挿入するロックボルト延長以上の掘削が可能となり、確実なロックボルト打設ができる。従来施工のように人力作業が主体のロックボルト打設ではマンゲージに作業員が乗り、穿孔以外ほぼすべての施工時間が切羽直下作業であったのに対し、本機を用いることにより、切羽直下作業時間を0（プレート裏モルタル整形作業は除く）にすることができ、安全性と生産性の向上に大きく貢献できた。

図-7に今回施工箇所のロックボルト引抜き試験結果を示す。荷重-変位曲線が降伏することなく、弾性挙動を示している³⁾。これより、品質上の問題はなく、十分な定着力が確保できていることを確認した。

4. まとめ

2ブームロックボルト打設専用機を用いて、ロックボルト打設を行い、サイクルタイム確認と日常管理試験を行った。本報告で着目した安全性及び生産性向上が確認でき、さらに施工品質と出来形精度向上も実現することができた。今後は、更なる生産性の向上を目指し、運用現場での課題抽出・改善を行い、山岳トンネルの標準技術として広く展開していきたい。

参考文献

- 1) 山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策にかかわるガイドライン（平成28年12月26日基発1226第1号等、平成30年1月18日改正） pp.1
- 2) 土木工事積算基準令和2年度版 第19編 トンネル工9.爆破掘削方式（補助ベンチ付き全断面掘削工法） pp.19-12
- 3) 道路トンネル観察計測指針平成21年改訂版 p.66,pp.175-176

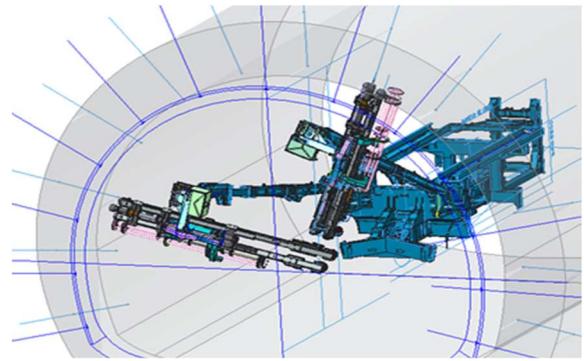


図-4 3Dシミュレーションによる打設順序検討

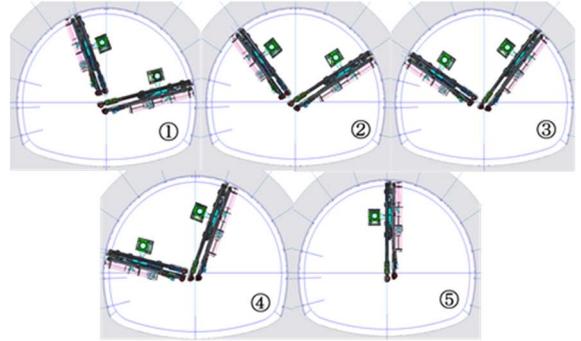


図-5 2ブーム打設順序検討

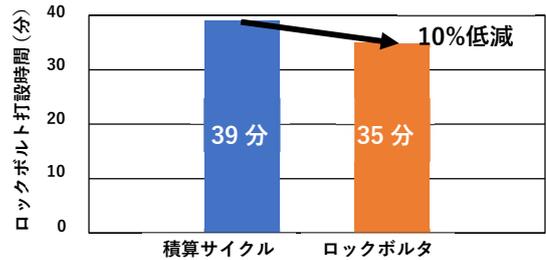


図-6 ロックボルト打設時間比較

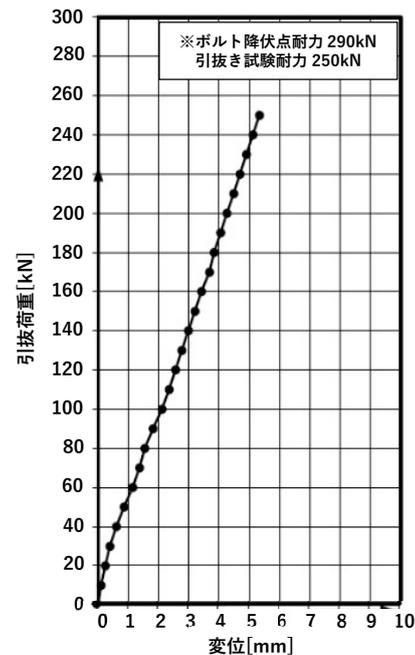


図-7 荷重-変位曲線