

山岳トンネルのロックボルト打設自動化に向けた取り組み

西日本高速道路(株) 正会員 ○石村昌也 畔津伸彦
戸田建設(株) 正会員 山口洋平 正会員 生島直輝
正会員 三上英明 正会員 若竹 亮

1. はじめに

高速道路をはじめとする日本の山岳トンネル工事での仕様・規格・施工管理基準を満たしたロックボルト自動打設機を開発し、新名神高速道路宇治田原トンネル東工事に2台導入した。通常のロックボルト打設作業は、モルタル充填、ロックボルト挿入などの作業はすべて人手に依存しており、切羽付近に立ち入っての作業や重量物を扱う作業が一般的であったが、同システムを使用することで切羽付近での作業をすべて機械で行えるため、マシン1台当たり1人のオペレーターで施工ができる。本報においては、本システムの特長と実施工で得られた効果について述べる。

2. 開発の背景

近年、作業員の高齢化や熟練作業員の退職が進み、山岳トンネル施工においても、山の地質状況を予測しながら施工ができる熟練技術者が不足してきている。実際の施工では、最外周発破孔や心抜き孔の削孔、長尺鋼管フォアパイリング工やロックボルト工等、トンネルの品質を確保する上で削孔作業の精度が必要とされる機会が多い。そのなかでも、通常のロックボルト打設作業は、モルタル注入、ロックボルト挿入など、すべて人手に依存しており、切羽下での作業や重量物を扱う作業から作業員を解放し、自動化を図ることが以前から期待されていた。



図-1 ロボルト施工状況

そこで、高速道路をはじめとする日本の山岳トンネルでの仕様・規格、施工管理基準を満たすロックボルト自動打設機械“ロボルト”（図-1 参照）の開発に至った。同システムを使用することで、一連のロックボルト作業を機械化し、マシン1台当たり1人のオペレーターで施工ができる。さらに、建設生産システム全体の生産性向上を図り、更に魅力ある現場を目指す取り組みである i-Construction 推進の一助となると考える。

3. システムの機構

本システムは、専用ブームにドリフタ、モルタル注入ホース、ロックボルトの施工本数を把持するシリンダー式ロックボルトマガジン（1台あたり1回の補給で最大8本搭載可能）および挿入用ロッドをガイドセルに集約する。一度機械をロックボルト打設位置にセットするとブームを動かすことなく、ガイドセルがアンカーを中心に同心円上で回転し入れ替わることで、連続的なロックボルト打設を可能とする（図-2 参照）。また、本システムに搭載したドリフタは、比較的安定した地質が少ない日本の地山に対応すべく検討を繰り返した。欧米の硬岩地山と比較し、孔荒れのないトンネルは皆無といえる。よって、通常のドリルジャンボ（打撃出力：20kW、打撃回数：4020回/分）に対して一発あたりの打撃エネルギーを14kWに抑え、打撃回数を6600回/分に増やすことで

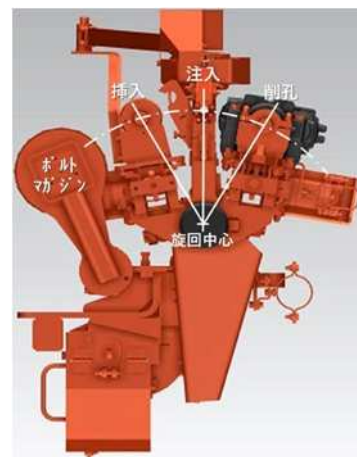


図-2 穿孔システム詳細

キーワード ロックボルト、自動打設、モルタル充填設備、安全性向上、品質管理、省力化

連絡先 〒607-8034 京都市山科区四ノ宮泓 37 西日本高速道路(株) 新名神京都事務所 TEL:075-595-4933

〒550-0005 大阪府大阪市西区西本町 1-13-47 戸田建設(株) 大阪支店 TEL:06-6531-6095

同等の削孔能力を確保することとした。すなわち、トータルの仕事量が同じ場合、一発あたりの打撃エネルギーは小さいほど孔周囲に及ぼす影響は少なく、地山に対しては優しいといえる。注入用モルタルは、ミキサーと流量計を装備した MAI ポンプを一体化することで、キャビン内のオペレーターが品質管理をしながら製造する（図-3 参照）。一方、多量の湧水でモルタルによる定着が困難と判断された場合には、摩擦式鋼管膨張型ロックボルトにも対応している。これらのシステムに加えて、精度の高いロックボルトを打設するために、オペレーターは本体 PC に表示されるガイダンスプランに基づいてロックボルト穿孔位置、角度を調整し穿孔する（本システムの穿孔位置は 2 cm、角度は 1°以下の精度を達成）。これにより、従来の穿孔位置をマーキングする作業は不要となり、穿孔位置と角度データを本体 PC に実績として記録・保存することができるため、品質管理を図る上で有効なトレーサビリティを確保できる（図-4 参照）。



図-3 モルタル充填装備



図-4 打設位置マシンガイダンス

4. システム導入効果

(1) 施工性：本システムを導入した新名神高速道路宇治田原トンネル東工事において、1 回の掘削（支保パターン：DI）あたり 19 本のロックボルト（L=6.0m）を安全で正確に打設できることを確認できた。

(2) 省人化：通常のトンネル現場は 5 人編成の班で施工を行っているが、本システムを導入することで、一連のロックボルト作業をマシン 1 台当たり 1 人のオペレーターで施工することができた。これにより一般的な山岳トンネルにおいて、マシン 1 台で施工する場合 80%の省人化が可能であることが確認できた。

(3) 生産性向上：1 サイクルあたりのロックボルト作業時間が 95 分から 57 分と 40%短縮（図-5 参照）することに成功した。（ロックボルト 1 本あたりの所要時間は 6 分程度）。

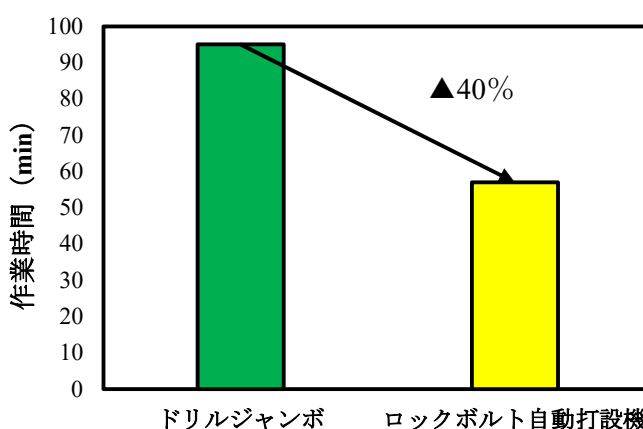


図-5 ロックボルト作業時間比較

5. おわりに

昨今、我が国の建設現場においては、ICT の導入による無人化や自動化の技術開発が進んでいる。山岳トンネル現場においてもそれは同様である。本施工装置をより効率化させるとともに、ロックボルトの施工に加え、掘削サイクル全体に対し、トンネル自動化技術の開発を進めていく。さらに、CIM モデル等の利用や切羽判定、発破設計などに人工知能 AI を用いることで解析データをフィードバックし、高品質かつより合理的な施工方法の開発¹⁾に努めていきたい。