

# 山岳トンネルのロックボルト打設自動化を実現

山口 洋平・松本 啓志・三上 英明

戸田建設とサンドビック SMRT カンパニーは、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作業は、モルタル充填、ロックボルト挿入など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。本稿では、本システムの特長と実施工で得られた効果について紹介する。

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

## 1. はじめに

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技術者が不足してきている。今後は、マシンガイダンスやマシンコントロールのような自動施工による人力での作業を低減する技術の開発で補っていく必要がある。中でも、通常のロックボルト作業は、モルタル充填、ロックボルト挿入など、すべて人手に依存しており、切羽付近での作業や重量物を扱う作業から解放させるため、自動化を図ることが以前から期待されていた。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したロックボルト自動打設機械を開発した。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。

## 2. システムの特長

### (1) モルタル充填設備

練り混ぜ用ミキサーと流量計を装備した圧送ポンプを一体化させ、モルタル充填設備を本体に搭載した。また、キャビン内でモルタルの練り水調整や吐出の管理が可能になる。さらに、材料の供給部は可動式にすることで材料の投入供給を容易に実現した(写真一)。



写真一 モルタル充填設備（材料投入時）



写真二 モルタル充填設備（施工時）

移動時やモルタル充填時は車体の上部に格納し、材料投入時は下部に移動することができる(写真二)。

### (2) ドリフタ

本システムは地質が悪い環境下において孔荒れを防

止するという観点から、通常のドリルジャンボ（打撃出力：20 kW、打撃回数：4020分/回）に対して一発あたりの打撃エネルギーを14 kWに抑え、打撃回数を6600分/回に増やすことでドリルジャンボの削孔能力と同等の仕事量を確保した。

### (3) 穿孔ガイダンス

穿孔ガイダンスに必要な手順を以下に示す。

- i) 本体をロックボルト打設位置まで移動させる。
- ii) 本体を坑内測量システムとネットワーク通信させる。
- iii) 本体の前部と後部に取り付けられているプリズムを測量する（図—1）。
- iv) 取得した絶対座標はネットワークを介して本体に記憶される。
- v) 予め本体 PC に保存しているトンネル線形と取得した絶対座標を照合させる。
- vi) セット完了（図—2）。

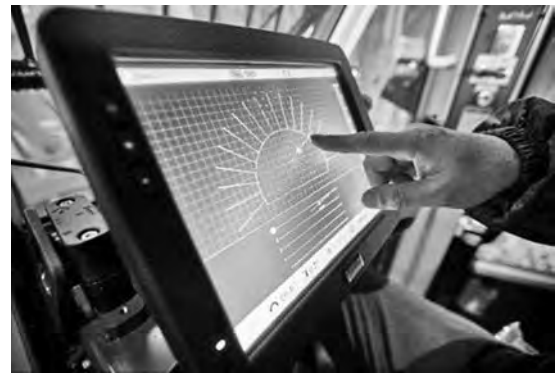
本体を設置後から穿孔ガイダンス開始までに要する時間は概ね1分30秒程度である。オペレーターは、精度の高いロックボルトを打設するために本体 PC に表示されるガイダンスプランに基づいてロックボルト



図—1 設定画面（機械の座標取得）



図—2 設定画面（ガイダンス設定完了）



写真—3 打設位置ガイダンス表示

穿孔位置、角度を調整し穿孔する（写真—3）（本システムおよび操作上の誤差を考慮しても穿孔位置は2 cm、角度は1°以下の精度）。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の確保が可能となる。

### (4) 安全性

フルキャビン方式を採用し、空調設備を搭載していることから、快適な作業環境を実現している。さらに、フルキャビンは落下物保護構造（FOPS/ROPS）対応であり、過去の実績として、スペインの鉱山における80tの落石災害時においてもオペレーターは無事であった実績があり、FOPS規格をはるかに上回ることから、安全性は非常に高い。また、天端付近等、ブームを最大リーチで穿孔する際は、キャビンを後方に10°傾けることで首、腰に負担をかけず、良好な視界を確保しながらの施工が可能となった。

## 3. 施工手順

本システムは、専用ブームにドリフタ、モルタル充填ホース、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ボルティングユニットに集約させている（図—3）。一度機械をロックボルト打設位置にセットすればブームを動かすことなく、ボルティングユニット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、以下の順番に施工工程を進める（図—4）。

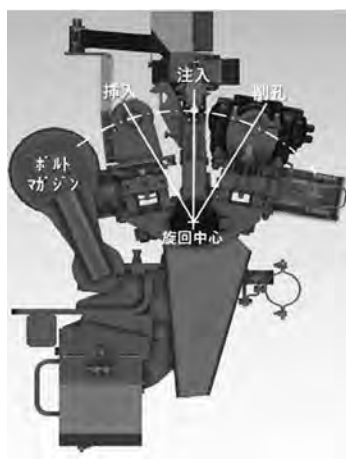
- i) ガイダンスプラン通りにブームを穿孔位置へ移動。
- ii) 回転軸となるアンカーを打設面に接地させる。
- iii) ドリフタで穿孔。



写真一 4 ロックボルト施工状況



図一 3 ボルティングユニット詳細



図一 4 ボルティングユニット回転機構

- iv) モルタル充填ホースを孔に挿入し、モルタルを充填させる。
- v) ロックボルトキャッチャーでボルトマガジンからロックボルトを掴む。
- vi) 挿入用ロッドでロックボルトを押し込む。

#### 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約6分程度）。

#### 5. おわりに

昨今，建設業においてICT技術導入の気運が高まっている。トンネル現場においてもそれは同様であり，各社が自動化技術を推進している状況である。

弊社は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以外でもトンネル自動化技術の開発を進めていく。また，AI等を利用することで施工時のデータを有効利用し，高品質かつより合理的な施工方法の開発に努めていく。

JCMA

##### 【筆者紹介】



山口 洋平（やまぐち ようへい）  
戸田建設㈱  
大阪支店 土木工事部 工事2室



松本 啓志（まつもと けいし）  
サンドビック㈱ SMRTカンパニー  
取締役執行役員社長



三上 英明（みかみ ひであき）  
戸田建設㈱  
大阪支店 土木工事部 工事2室  
作業所長