

6 m 継ぎロックボルト打設の高速自動化

2 ブーム ロックボルト自動打設機 ボルティンガー B22RL- i

片 桐 正 人・田 島 良 一・山 岸 隆 史

山岳トンネルの施工においてロックボルトの打設作業は、作業員の負担が大きいうえ、被災するリスクの高い作業の一つである。厚生労働省は「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係るガイドライン」を策定して、機械化により事故防止対策を求めた。また、国土交通省は i-Construction として最先端技術の活用による生産性の向上を求めている。その要望に対応して、ロックボルトの挿入孔の穿孔、定着用モルタルの注入、ロックボルトの挿入までの作業を機械化し、更に2ブーム化し生産性を向上したロックボルト打設機「ボルティンガー」を開発した。しかしロックボルト打設機は、駆動するアクチュエータが多い。そこで、誰でもが容易に操作できるように、ロックボルト打設作業の操作を自動化した、フルオート2ブームロックボルタを鹿島建設(株)と古河ロックドリル(株)が共同開発した。本報では、ロックボルト打設の機械化とその課題について説明したうえで、ロックボルト工の自動化について報告する。

キーワード：NATM 工法、生産性向上、省力化、自動化、安全性向上

1. はじめに

建設工事における、近年の最先端技術を活用した機械化と省人化による生産性の向上には目を見張るものがある。一方、山岳トンネルの標準工法である NATM 工法において欠かせないロックボルトによる支保の補強作業は未だ、崩落の危険性のある切羽近傍で、人力による作業が行われていた。本開発機は、このような作業者の負担を減らし、落盤事故などによる被災リスクを減らし、ヒューマンエラーによる品質の低下を抑え、自動化により省人化させ、打設専用機による急速施工を達成させるべく開発された。更に、ロックボルト孔の穿孔データを記録・保存することにより地質状況を把握して、岩判定や補助工法の選定に役立てる(図—1、表—1)。

表—1 本開発機の仕様(型式：B22RL- i)

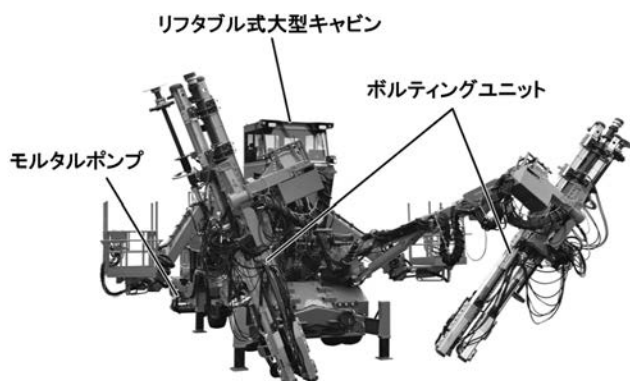
全長×全幅×全高(走行時)	18.29 × 3.14 × 4.02 m
総質量	54.5 t
ボルティンギング施工範囲	W 15.7 × H 10.19 m
穿孔ロッド	3.66 + 3.05 m
3 m ロックボルト格納数	12 本
ボルティンギングユニット全長	5.85 m

2. ロックボルト打設の機械化

これら3つの作業を機械化すべく、ロックボルト打設機が開発された。これは、3つの装置(穿孔装置、ボルト押し込み装置、モルタル注入装置)を1つのユニットとして、ブーム先端に取付される。アンカー部を切羽に固定させてユニットがズレないようにして、ブームを動かさないまま、各装置をローテーションさせて、作業を切り替える(図—2)。

更に、穿孔用継ぎ足しロッド着脱装置(ロッドセッター)、およびロックボルトの格納用マガジンとボルトクランプを備えたことにより、2本継ぎの6 m ロックボルト打設に対応させている(図—3)。

機体後方にはモルタルポンプを搭載し、キャビンから操作することにより、従来よりも省人化および安全性を向上させた。



図—1 2 ブームロックボルト自動打設機

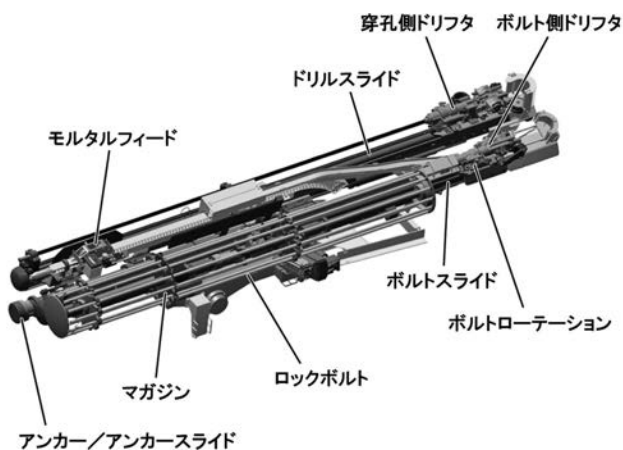


図-2 ボルティングユニット

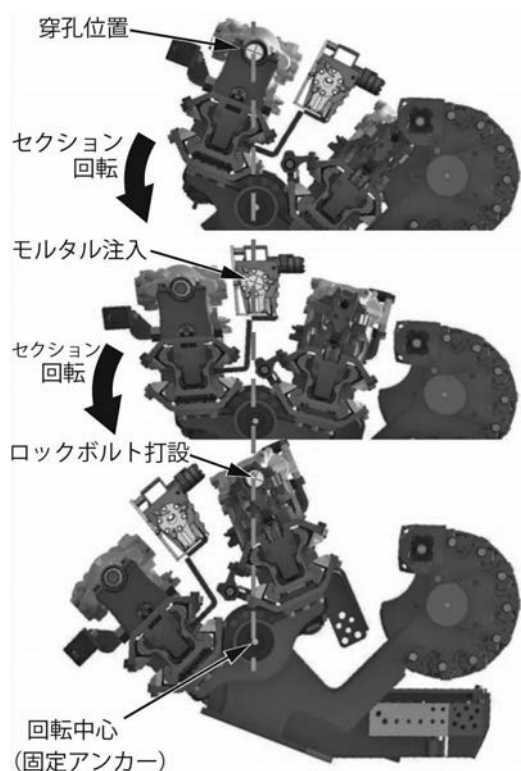


図-3 ボルティングユニット作動図

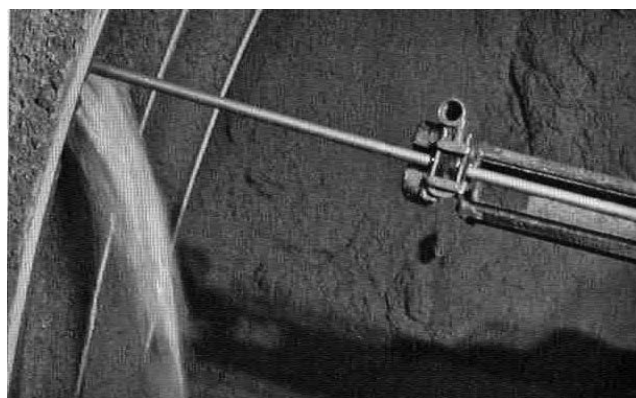
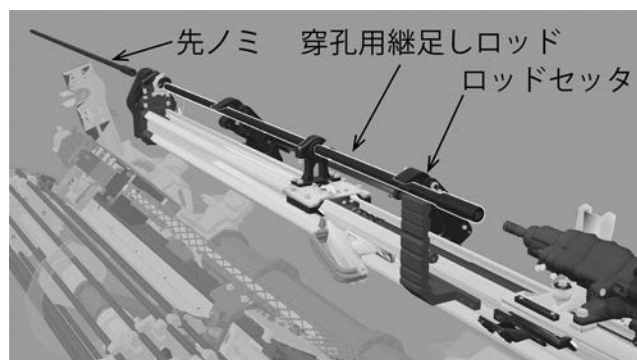
図-4 ロックボルト打設孔の穿孔¹⁾

図-5 穿孔ユニット

写真-1 モルタル注入する作業員¹⁾

3. ロックボルト打設の手順の機械化

山岳トンネルの NATM 工法において主に 9 つの工程がある (①穿孔, ②装薬, ③発破, ④ずり出し, ⑤アタリ取り, ⑥ 1 次吹付, ⑦支保工建込み, ⑧ 2 次吹付, ⑨ロックボルト打設)。これらの中で, ②装薬と ⑦支保工建込み, ⑨ロックボルト打設作業では, 切羽に近付いて作業しなければならない, 安全性と省人化が課題であった。特に, ⑨ロックボルト打設は, 軟弱地盤や大断面の場合, 打設本数が増え, 長尺化されるので, 迅速且つ確実な施工が求められた。

ロックボルト打設作業は, 3 つの作業に分けられる

(ロックボルト打設孔の穿孔, ロックボルトを定着させるモルタル充填, ロックボルトの挿入)。

ロックボルト打設孔の穿孔は, 装薬孔の穿孔機により, 同じく穿孔径 45 ~ 65 mm で行われることが多い (図-4)。

近年の自動穿孔技術の活用により, 穿孔圧力を自動調整しながら穿孔できるようになった。継足しロッド用ロッドセッタにより, 6 m 穿孔にも対応している (図-5)。

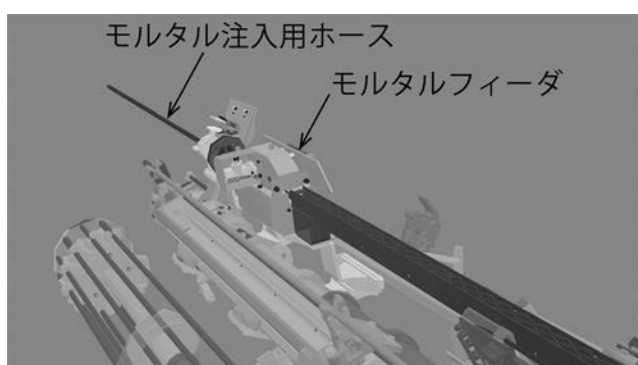
モルタル注入は, 従来, 作業員が注入ホースを挿入して行ってきた。作業者は垂れてきたモルタルを被ることもあったうえ, 別車両のモルタルポンプの操作者

と合図でやりとりする必要があった（写真—1）。

モルタル注入ユニットにより、注入作業を機械化できた。注入ホースの後退速度を調整することにより、注入量を調整できる（図—6）。

ロックボルト挿入は、従来、作業員が手で押し込んでいた。2本継ぎ6mロックボルトは、約20kgにもなり、大きな負担だった。挿入の途中で孔壁に引っ掛かった場合、ハンマーを使って打ち込まなければならなかった（写真—2）。

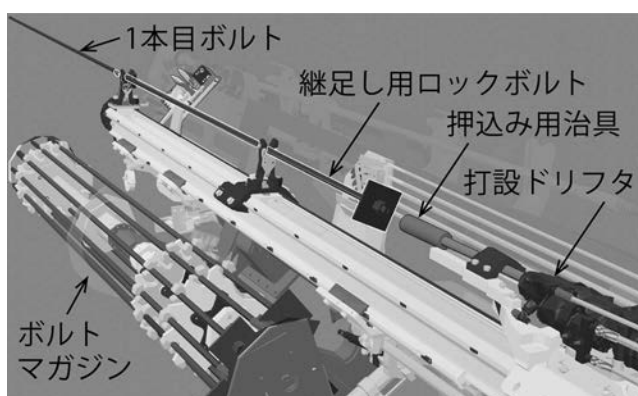
打設作業を、ロックボルト打設ユニットにより機械化できた。ロッドマガジンには、継足し用ロックボルトと次の打設用ロックボルトを12本格納できるので、



図—6 モルタル注入ユニット



写真—2 ロックボルト打設¹⁾



図—7 ロックボルト打設ユニット

連続打設できる。打設用ドリフタ先端の押込み用治具は、ロックボルトの種類に合わせて交換する（図—7）。

4. ロックボルト打設機操作の全自動化

ロックボルト打設機により作業は機械化および遠隔化され、切羽から離れたキャビンから、安全に施工できるようになった。一方、ボルティングユニットには多数の油圧シリンダなどのアクチュエータが搭載され、打設孔位置など施工前の設定を除いても、操作するレバーが3本、ボタンが29個、ダイヤルが2個以上にもなった（図—8）。

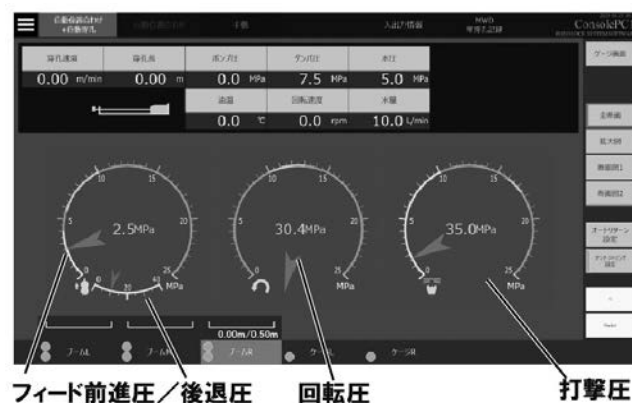
タッチパネルでは、打撃圧とフィード前進圧のメーター部をタッチして設定値を調整する（図—9）。

これらの全操作回数は56回以上になる。そこで、操作回数を減らすため、ロッドの着脱など一連の操作は制御システムにより、プログラムに従って連続作動できるようにした（シーケンスボタン）。

本開発機では、2ユニット機でのオペレータの負担と、施工ミスの削減および省人化するため、3つの作業を全自動で行えるようにした。穿孔準備位置にあるボルティングユニットは、施工開始ボタンをタッチすると、



図—8 コンソール



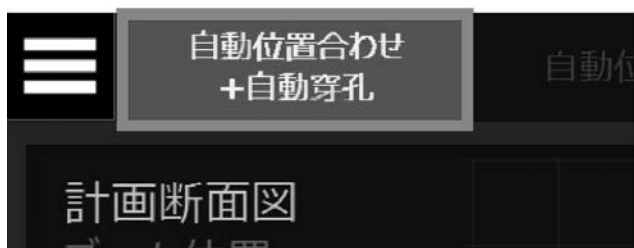
図—9 タッチパネル

ロックボルト打設操作手順

手順	作業内容	操作部品	レバー	操作	※
1	ブーム操作選択スイッチを選択します。	セグメントブーム	ブーム(スライド)		
2	ブームを操作し、ボルト打設位置に合わせます。	ブーム操作各種			
3	アンカーを伸ばし、着座させます。	アンカースライド	レバースイッチ	前	
4	ドリルスライドを伸ばし着座させます。	ドリルスライド	レバースイッチ	前	
5	穿孔ドリフタでボルト打設用の孔を穿孔します。	穿孔各種操作			
6	穿孔終了後、穿孔ドリフタを最後端まで後退させます。	フィード	フィードレバー	後	
7	ドリルスライドを後退させます。	ドリルスライド	レバースイッチ	後	
8	マガジン正回転スイッチを押して、ロックボルトを所定位置(センタライザ)にセットします。	マガジン	マガジンスイッチ		①
9	モルタル操作選択スイッチを選択して、セクションをモルタル装します。				

操作回数 56 回 (最低)

画面タッチ 1 回だけ (全自動化)



図—10 ボルティングユニット操作手順

打設位置合わせ、穿孔、モルタル注入、ボルト挿入する各装置の切替も含めて、自動で行える (図—10)。

5. ロックボルト打設の自動位置合わせ

従来、ロックボルトを打設する位置は作業者がスプレーでマーキングしていた。高所で壁面に近付くので、被災リスクがあった (図—11)。

また、マーキング位置と穿孔位置を合わせなければならないが、オペレータから見づらい場合、打設の位置と角度を正確に合わせるのが難しいという課題があった。

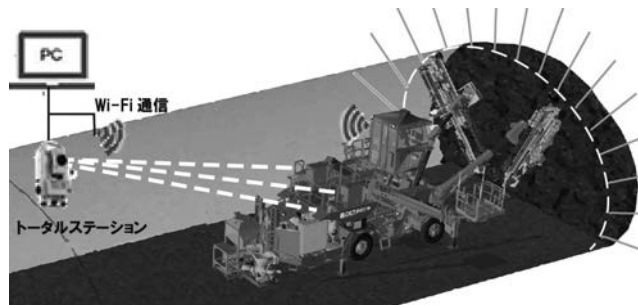
本開発機には、自動位置合わせ (ポジショニングアシスト) 機能が搭載されており、正確に打設位置と角度を合わせることが可能である。



図—11 従来の打設位置マーキングと打設精度



図—12 打設位置設定画面



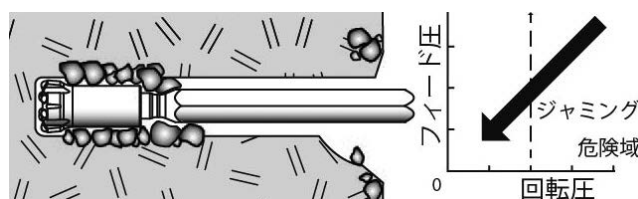
図—13 穿孔位置の自動位置合わせシステム

使用するには、まず施工前に打設位置の計画をオフィス PC にて入力し、それを機体のメイン PC に送信する (図—12)。

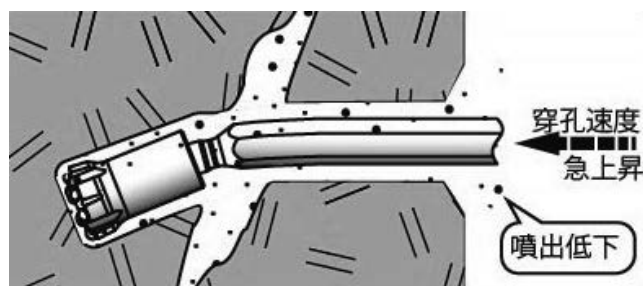
次に坑内トータルステーションにより機体を測量し、機体の位置と方向や角度を取り込み、予め計画された打設位置と角度で、ボルティングユニットを自動的にポジショニングする (図—13)。

6. コンピュータジャンボの自動穿孔技術

ロックボルトを挿入する孔を穿孔する時、破碎帯などを穿孔すると、孔壁が崩壊したり、孔が詰まって練り粉が排出されず、ロッドとピットが抜けなくなることがある (ジャミング現象)。本開発機では、穿孔状況に応じて穿孔油圧が自動調整されるように設定しておけば、回転圧が上昇したり、孔詰まりによりフラッシング流量が低下してジャミングが発生したのを感知すると、穿孔ドリフタの送り圧力 (フィード前進圧) や打撃圧を自動的に低下させる。しきい値を越えた場合、一旦、ドリフタを後退させてから再穿孔する (図—14)。



図—14 ジャミングと穿孔圧制御



図一 15 空隙と孔曲がり

穿孔時に空隙に入ると、打撃音が高くなり、穿孔速度が速くなる。空隙通過後、空隙壁面に穿孔ビットが斜めに当たった場合、穿孔孔を曲げたまま穿孔してしまうことがある。穿孔ロッドを曲げたまま穿孔すると、回転圧が上がり、ロッドのネジを締め過ぎてしまい、2本目の穿孔ロッドのネジが緩められなくなり、自動運転できなくなってしまう。穿孔後には、ロックボルトが挿入時に引っ掛かり易くなる。空隙を穿孔し始めた場合、一旦、前進を止めるか、前進速度を低下させるべきである。だが、空隙に入っても、回転圧が上昇したり、フラッシング流量が低下しないことがあるため、穿孔が極めて順調なのか、空隙に入ったのか自動判別が難しい場合がある。しかし、監視者が自動穿孔中、穿孔モニタおよび打撃音、孔口からの吐出の量や色の変化に注意していれば孔曲がりを回避できる（図一 15）。

7. 結果

2ブームロックボルト打設機の自動化により、以下の効果が確認できた。

(1) ロックボルト打設作業の省人化

切羽付近で、打設位置のマーキングや、モルタル注入、ロックボルト挿入作業する人員を削減した。また、自動化により、2ブームボルティングユニットのワンマンオペレーションを実現した。

(2) 切羽付近の作業を無くし、安全性を向上、作業環境を改善

被災リスクが高く、未固結のモルタルが垂れることがある切羽付近での作業を機械化および自動化した。

(3) オペレータの熟練度に頼らずに打設精度を向上

打設位置の自動位置合わせ機能、穿孔の自動調整、モルタル注入およびロックボルト打設までの自動操作化により、熟練者でなくても、精度の高い打設作業を実現した。

(4) 施工時間の短縮

ボルティングユニットを左右両ブームに搭載したことにより、1ブームユニット機に比べて施工量を倍増化した。

このような効果を持つ本開発機は新技術情報システム NETIS に登録され（登録番号：KT-220225-A）、活用の促進が期待される。

8. おわりに

2ブームロックボルト打設機を自動化することにより、急速施工が可能となり、工程及び作業員の負担を減らし、落盤などによる被災リスクを低減し、建設業界の高齢化や人材不足の解消に貢献可能となった。自動化施工により、人為的な施工ミスを減らし、記録・保存された施工データを次の施工計画に反映することにより、これまで経験豊富なベテランしか持っていなかったノウハウを活かせるようになり、生産性を高めることが可能となった。今後、長尺ロックボルトが多用される、不良地山での大断面トンネルの施工において活用が期待される。

一方、施工される岩盤の状況は様ではなく、予めセットされた自動施工プログラムを手動設定に切替しなければならない場合も想定される。施工データを集積し、解析方法の確立を進めて、ロックボルト打設作業を無人化するべく、今後とも活動して行く。

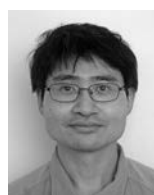
JCMMA

《参考文献》

- 1) 溝淵 利明, 見学しよう工事現場 2 トンネル, ほるぷ出版, p.26-27, 2011

【筆者紹介】

片桐 正人（かたぎり まさと）
古河ロックドリル(株)
高崎吉井工場 搭載機設計二課
主任技師



田島 良一（たじま りょういち）
古河ロックドリル(株)
営業本部 営業企画部
技師長



山岸 隆史（やまぎし たかふみ）
鹿島建設(株)
土木管理本部 土木工務部
トンネル統括部長

