

# 機能を拡張した 6m 継ぎロックボルト打設装置「ボルティンガー」による生産性向上

大成建設(株) 東北支店 正会員 ○橋本 祥吾 森島 伸吾  
鈴木 光嘉 渡辺 貴之  
土木本部 正会員 宮本 真吾

## 1. はじめに

山岳トンネル工事では、削孔・装薬、発破、ズリ出し、支保工建込、吹付、ロックボルトの一連作業を繰り返しながら掘削作業が行われる。中でも、ロックボルト工は地山の状況に合わせ 3~6mの長さのロックボルト（異形棒鋼）を地山に縫い付ける作業であり、地山補強効果・内圧効果・吹付け支持効果等を有し、トンネルの安定性を確保するための重要な支保部材の一つである。その作業は、垂直に切り立った切羽近傍で行われるとともに、削岩機で削孔した孔に狭隘なマンケージバスケットに搭乗した作業員が高所にて最長 6 m（重量：約 20 kg）のロックボルトを人力で挿入するという、危険かつ重労働である(図-1)。

当社は、この過酷な労働環境の改善による安全性の向上と、生産性の向上を目的として、ロックボルトの削孔から打設作業までの完全機械化に主眼を置き、過年度において既存の打設装置の問題点を解消し「BOLTINGER」初号機（以後 1 号機）を開発した(図-2)。本稿では、初号機で生じた課題の解消に加え、機能を拡張した改良機（2 号機，3 号機）を現場にて実施工した検証結果を述べる。

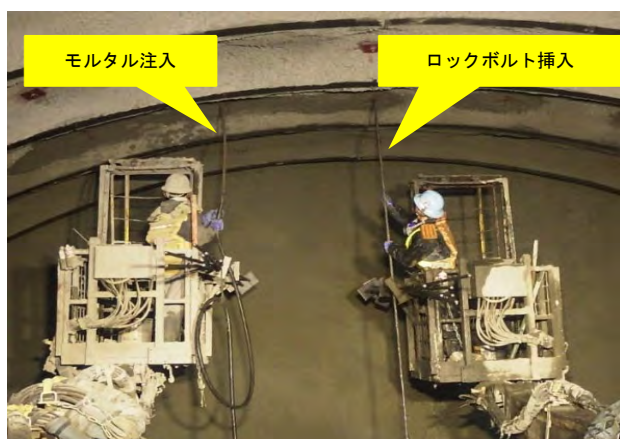


図-1 人力によるロックボルト打設作業



図-2 ロックボルト打設専用機 BOLTINGER

## 2. 1号機からの機能拡張

### 2. 1 モルタル供給装置の一体化

1号機ではロックボルト専用機として、削孔と打設に関しては可能となったものの、モルタル充填を行うためには、従来の施工方法と同様に、打設機械の横にモルタルポンプ、モルタル供給装置とこれを搭載する車両を配置し、専任の作業員がポンプを操作してモルタルを供給する必要があった(図-3)。改良機ではモルタルを供給するサイロと練り混ぜポンプを機体本体の後方に搭載し、ポンプの運転を運転席からのボタン操作で可能な仕様とした(図-4)。モルタル供給装置を一体化させる事で、専用機1台ですべてのロックボルト作業が完結する仕様とし、従来使用していたモルタル台車・専用操作作業員を削減することができた。なお機械後方に機械を搭載したことで全長が長くなり車体走行時の不陸走路への干渉が懸念されたため、後方設備をリフト式で昇降な仕様とし、走行時に上昇させて、機体を切羽にセットした段階で下降させる仕様とした。この際の動作も運転席から視認できるように、機械後方には複数台のカメラを設置し、安全面で配慮している。

キーワード 山岳トンネル， NATM， 支保工， ロックボルト， 継ぎ， 機械化

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株)本社土木本部土木技術部トンネル技術室 TEL03-5381-5271



図-3 従来の機械配置 (1号機施工時)



図-4 モルタル供給装置の一体化

## 2. 2 削孔ガイダンス機能

1号機では、ベースマシンを通常ドリルジャンボとしていたが、改良機では削孔位置をガイダンス可能なコンピュータジャンボを採用した。これにより、機体の姿勢計測を行うことで、コンピュータのガイダンスに基づきロックボルトを施工できるようになり、従来行っていた施工位置マーキング作業が不要になった。また、削孔した孔に打設装置（ロックボルト）の中心を合わせるのが難しいという1号機における課題に対応するため、削孔実績を記録し、孔の位置情報を三次元的に確認しながら打設装置を孔に正確に合わせることができるよう仕様に改良を行った(図-5, 6, 7, 8)。

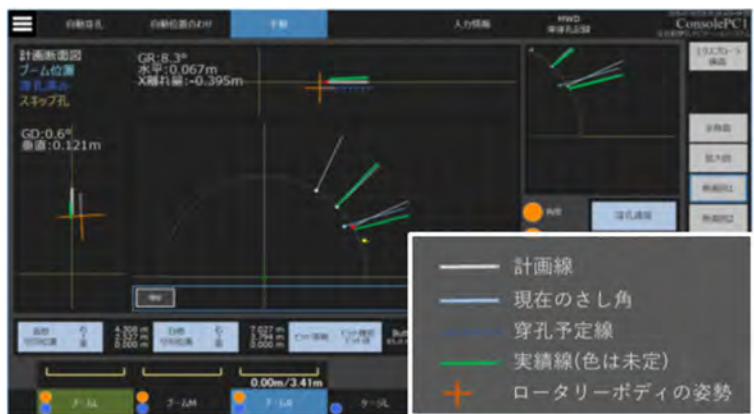


図-5 削孔ガイダンス概要



図-6 運転席操作画面



図-7 施工状況



図-8 施工状況

### 2. 3 削孔データのBIM/CIMモデル統合

ベースマシンをコンピュータ化した事で、削孔時の情報を取得できるようになった事から、当該データをBIM/CIMモデルに統合させ、三次元的に地山情報を把握する事が可能となった(図-9)。掘削を行わない周方向の地山性状が可視化されることで、切羽の状況と合わせて三次元的に地山性状を把握できるようになり、岩判定や補助工法の選定等の判断材料として活用を行っている。

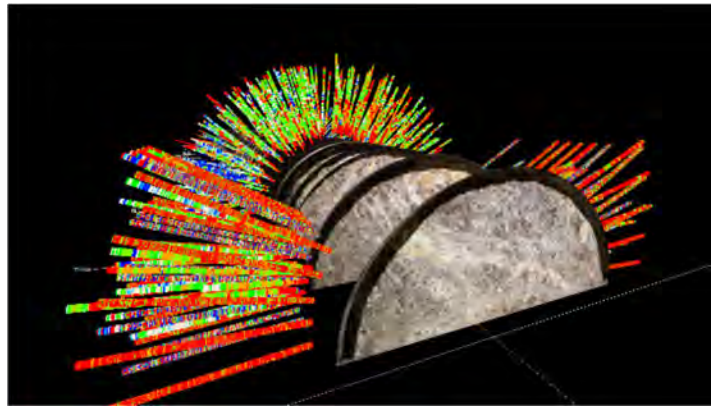


図-9 BIM/CIMモデルへの削孔データ統合

## 3. 現場での活用効果

### 3. 1 省力化と生産性の向上

改良機にて実施工した結果、従来の構成ではオペ2名、高所作業2名、モルタル操作1名の計5人体制だったものが、従来施工及び1号機施工時に配置していたモルタル専用作業員が不要となり、ロックボルト作業をオペレータ2名で作業が可能となった。専用機を用いない従来施工と比較して作業人数を5名から2名に削減し、生産性が2.5倍に向上した(図-10)。



図-10 施工状況全景

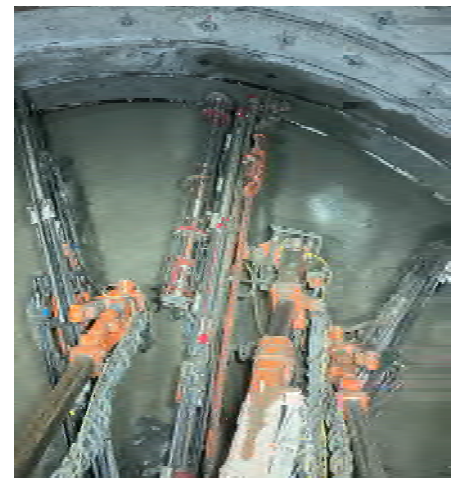


図-11 ガイダンス施工

また、コンピュータによるガイダンス機能を用いることで、従来ロックボルト作業の前に行っていた、打設位置を明示するマーキング作業が不要になった。危険な切羽近傍での高所作業に従事する時間を削減することができたことも安全上の効果の一つである。(図-11)



図-12 従来のモルタル専用台車

### 3. 2 車両災害リスク低減

従来のモルタル専用台車は、荷台にサイロ・ポンプを搭載したもので、モルタルを取り扱う性質上、汚損が激しく、後方視認性、またバランス上の走行安定性に課題があった(図-12)。

今回は機体後方にこれら機能を一体搭載することで、坑内を走行する車両の数を削減し、狭隘かつ暗所のトンネル内を走行する車両を削減できたことで、車両と作業員の接触防止災害防止の観点から安全性が向上出来たと考える。



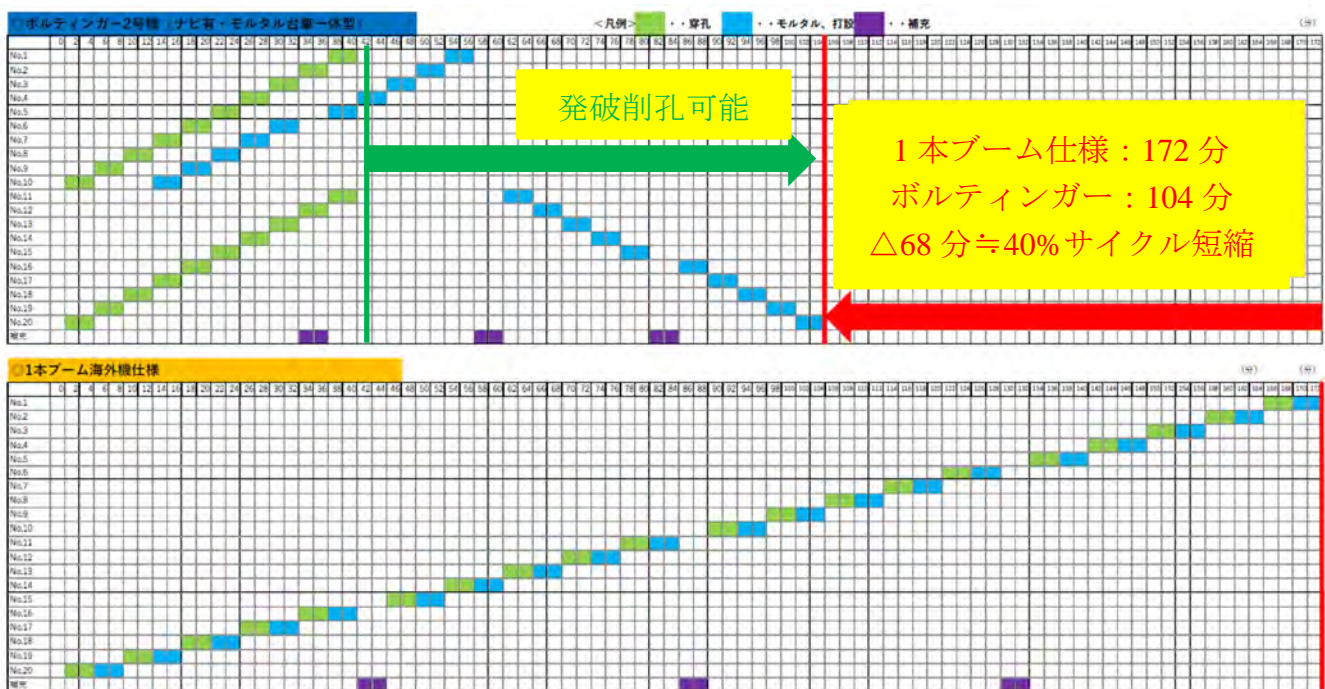
図-13 ロックボルト専用機例(1本ブーム)

### 3. 3 施工時間の短縮

ガイダンス機能の追加で位置合わせがスムーズになったことで、当現場の地質条件での実績として、穿孔4分/本、モルタル・打設4分/本程度で施工しており、補充時間を含めて6mロックボルト20本あたり104分(5.2分/本)程度の時間での施工となっている。これは従来人力にて施工していた時間と同等であると同時に、海外を中心に展開している1本ブーム仕様の機械(図-13)で施工した場合(継ぎ仕様が存在したと仮定)と比較して、約40%のサイクル短縮効果が確認できた。

また、掘削サイクルの中で、発破削孔時は切羽作業員が立入禁止となるため、ロックボルト施工(人力打設)完了後、発破削孔を開始する流れとなっているが、ロックボルト打設専用機を使用する場合、切羽に作業員が立ち入らないことから、ロックボルト打設サイクルの中で発破削孔を行うことも可能である。具体的にはまず左右のブームで削孔を先行させ、削孔した孔を追いかける形で、中央ブームでモルタル充填、ロックボルト打設を行っていく。削孔は2ブーム、打設は1ブームなので、削孔が先行して終了することから、後半は中央の打設ブームのみがロックボルト作業を継続する。この間に左右のブームで発破削孔を同時並行させれば、次工程の発破削孔工程とラップさせる形で、サイクルタイム短縮が可能となる。当現場ではこのような工夫を行うことで掘削サイクル全体で、更なる施工時間の短縮を達成している(表-1)。

表-1 施工サイクルタイム比較 (N=20本の場合)



### 4. まとめ

今回、1号機からの機能追加により、機械性能を向上させることで、作業性の向上と省力化・生産性向上を実現することができた。使用を重ねていく中でまだまだ細部に改良の余地はあるが、現場の声を取り入れながら更なる使用性の向上を目指していきたい。

1号機の開発から丸2年、様々な改良を重ねながら山岳トンネルで十分に使用できるレベルまで技術を磨き上げてきた。当機械は22年7月下旬より外販を開始している。今後はより多くの作業員に操作を習熟してもらい、ロックボルト作業の標準機械として、トンネル工事に普及していくことを期待するとともに、開発を行った企業として、引き続き更なる使用性の向上に努めていきたい。