

# 多機能機械「マルチジャンボ」の開発

## 山岳トンネルでの切羽作業の安全性と生産性の向上を目指す

野 正 裕 介・浅 沼 廉 樹・能 代 泰 範

山岳トンネルの施工は、①発破（装薬孔穿孔，装薬，発破），②ズリだし，③支保工（鋼製支保工建て込み，吹付けコンクリート，ロックボルト打設）の繰り返しが基本作業となる。これらの作業の中で，ロックボルト打設の次工程が装薬孔穿孔となり，同一機械のドリルジャンボを使用した連続作業となる。このため，ドリルジャンボの3ブームを有効活用し，これらの作業の効率化を図るためにロックボルト打設と装薬孔穿孔を同時に行えるマルチジャンボ（以下「本開発機」という）の開発を行った。

本開発機は，ブームが3本あるドリルジャンボの中央ブームにロックボルト打設用のロックボルトを搭載することにより，トンネル支保部材であるロックボルトを遠隔にて打設しながら，左右のブームで火薬を詰めるための装薬孔を穿孔することが可能となる多機能機械である。本開発機を運用する事で作業の効率化とともに，ロックボルト打設時の切羽近傍での人力作業も回避することができ，安全性の向上が可能となった。本稿では切羽作業の安全性と生産性を向上させる本開発機の開発について報告する。

キーワード：山岳トンネル，切羽作業，安全性向上，生産性向上，ドリルジャンボ，多機能化

### 1. はじめに

トンネル工は特殊技能を要し，狭い坑内で地質の変化，湧水による落盤や重機と人の接触等，常に危険と隣り合わせの作業となっている。近年では，これらの課題を掘削技術や坑内設備の改良により改善がなされているが，熟練技能員の高齢化による離職で人手不足は深刻であり，

- ・トンネル施工の省力化と新規人材の育成
- ・現場状況に応じた施工計画の策定

は今後の課題となっていた。

そこで，これらの問題を解決すべくドリルメーカーと共同でロックボルトを搭載した多機能機械（以下，本開発機）の開発を行った。本稿では本開発機の開発から現場導入の成果及び今後の課題について報告する。

### 2. 本開発機の開発検討

#### (1) 現状のトンネル工のサイクル課題

山岳トンネルの切羽作業は，掘削方式によって若干異なるが，

- ①掘削・削孔装薬
- ②ズリ出し
- ③吹付け・支保建て込み
- ④ロックボルト打設

上記作業の繰り返しが基本作業となっている。この時に使用される施工機械は各作業により異なっており，機械入替えによる手間や施工方法の複雑化の要因となっていた。図-1に施工サイクルによる機械配置を示すが，機械掘削では自由断面掘削機を使用する為，施工サイクル上で同一の機械を使用する事はないが，発破掘削ではこれらの作業の中で④ロックボルト打設作業と次施工サイクルでの①掘削・削孔装薬作業が，同一施工機械の本開発機を使用した連続作業と

	①	②	③		④	
作業内容	掘削・削孔装薬	ズリ出し	一次吹付け	支保建て込み	二次吹付け	ロックボルト打設
発破掘削	ドリルジャンボ	ホイールローダ バックホウ 重ダンプorベルコン	吹付け機	エレクタ台車 or エレクター付き吹付け機	吹付け機	ドリルジャンボ
機械掘削	自由断面掘削機		エレクター付き吹付け機			

図-1 施工サイクルによる機械配置

なっている。

この2つの作業は、施工機械の据付位置が異なる事から④と①の作業毎に施工機械の移動や盛替えが必要となり、個々に独立した作業と認識されていた。また、④のロックボルト打設は、

ロックボルト挿入孔穿孔作業

⇒ドリルジャンボによる機械作業

定着モルタル充填やロックボルト挿入

⇒切羽近傍で人力作業

となっており、切羽掘削面から岩石落下により作業者が被災するリスクがあり、切羽作業時の安全性確保等の更なる対策が求められていた。

これらの対策として、ドリルジャンボの多機能化の検討を行い、センターブームにロックボルト打設専用ブーム「ロックボルタ」を装着することでロックボルト打設と装薬穿孔を同時施工可能とした多機能機械「本開発機」の開発を行った。

## (2) 本開発機に求められる機能

本開発機を開発するにあたり、

- ・施工サイクルの短縮
- ・作業者の安全性確保

上記を基本方針として開発を行った。

### (a) 施工サイクルの短縮

施工サイクル短縮に求められる機能条件を以下に示す。

#### ①本開発機の固定位置での施工

ロックボルトを打設後、施工機械である本開発機を次工程の装薬孔穿孔の為に移動せずに行う。

#### ②ロックボルト施工の機械化

チャージングゲージを使用し、作業員が行っていた定着モルタル充填作業を、本開発機のみで行う。同じくチャージングゲージに可搬・穿孔ドリフタにて挿入していたロックボルトを、機械にて保持することでロックボルトを挿入できるようにする(写真一1,2参照)。



写真一1 定着モルタル注入作業



写真一2 ロックボルト挿入状況

### (b) 作業者の安全性を確保する

安全性の確保として、ロックボルトの挿入孔穿孔後、作業員が切羽近傍に入っていた人力作業を極力少なくし、掘削面から岩石が落下して作業者が被災するリスクを排除する。

## 3. 基本仕様の検討

2.(2)より求められた機能より、本開発機設計条件を以下のように決定した。

### ①同時穿孔可能なブーム配置

ロックボルトの挿入孔穿孔と、次断面の装薬孔穿孔を本開発機の切羽への据付位置を変更しないブーム配置とする。

### ②ロックボルト動作を連動する

ロックボルトの挿入孔穿孔、定着モルタル充填、ロックボルト挿入の一連作業を連続して行うものとする。

### ③ロックボルトのストック化

ロックボルトをチャージングゲージで運搬していたが、専用のロックボルトフォルダを複数本保持して運搬する。

### ④本開発機にて注入操作を行う

定着モルタルポンプの運転操作を本開発機オペレータが行う。

## 4. 概略設計

基本仕様検討により、鉾山機械にて使用されているロックボルト打設専用機「ロックボルタ」に着目した(写真一3参照)。

本開発機のセンターブームに「鉾山用ロックボルタ」を山岳トンネル用に再設計を実施し、装置の構成を要素の異なる次の3つに分けて検討し、各ユニットの開発を行った。

- ・ロックボルト格納マガジン
- ・切替え式セントライザ



写真—3 鉱山用ロックボルト

・遠隔式モルタルホース注入ユニット  
以下に個々の機能を説明する。

### (1) ロックボルト格納マガジン

山岳トンネルでのロックボルト打設は、

- ・ロックボルト挿入孔の穿孔 ⇒機械作業
- ・ロックボルト本体の運搬 ⇒人力作業
- ・ロックボルトの挿入 ⇒機械作業

上記手順で、機械と人力の繰り返し作業をロックボルト打設作業1本毎に行う必要がある。

このロックボルト運搬作業を、鉱山用ロックボルトと同様に「ロックボルト格納マガジン（以下、ターレット）」を採用する事で、ロックボルト施工開始前に予め複数本ストックが可能となり、運搬時間の短縮と高所での重量物運搬による作業員の作業負担を軽減する。

### (2) 切替え式セントラライザ

ロックボルト本体の挿入手順としては、

- ・挿入孔の清掃 ⇒機械作業
- ・定着モルタルの注入 ⇒人力作業
- ・ロックボルト本体の挿入 ⇒機械作業

という流れで施工を行う。

しかし、同一の穿孔穴位置に施工を行うには全て目視による位置合わせが必要であり、機械操作時にはオペレータと別に切羽近傍で合図者による誘導が必要となっており、施工サイクルの低下と安全性が問題となっていた。

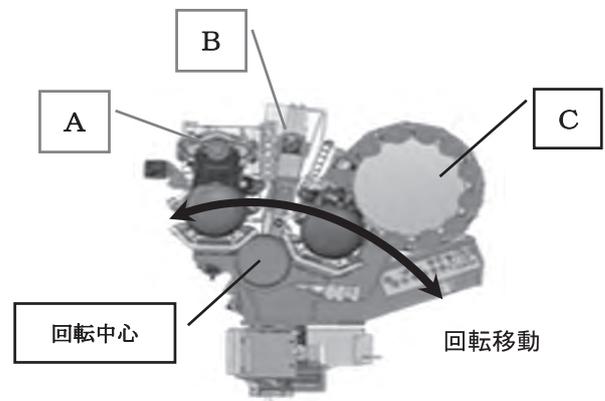
この対策として、

- A. 挿入孔穿孔を行う穿孔用ドリル
- B. 定着モルタル注入ホースユニット
- C. ロックボルトをターレットから引き出し挿入する挿入用ドリル

これらの3つの機能を有し、同一挿入孔にロックボルト打設可能な「切替え式セントラライザ」の開発を

行った。

本装置の採用により、ロックボルト打設作業を連続的に行う事が可能となり、施工時間の短縮だけでなく切羽近傍に合図者を入れる必要がなくなり、安全性の向上が可能となる（図—2 参照）。



図—2 切替え式セントラライザ（正面）

### (3) 遠隔式モルタルホース注入ユニット

定着モルタルの注入作業は、

- ・穿孔ドリフタにて挿入孔 ⇒オペレータ
- ・モルタルホース挿入 ⇒切羽作業員
- ・モルタルポンプ操作者 ⇒ポンプオペレータ

3名の人員で合図を行い注入作業を行う。この時、切羽機械の死角や騒音から合図が視認できず定着モルタルのロスや誤操作が多く発生する。

この作業を先の切替え式セントラライザに装備した注入ホースユニットとモルタルポンプへの遠隔操作ユニットを組み込むことで、機械オペレータ単独での操作を可能とする「遠隔式モルタルホース注入ユニット」を開発。人力で行っていた定着モルタル充填作業を機械オペレータ操作と連動することが可能となり、定着モルタルのロスや切羽作業の削減を図る。

以上の設計条件をもとに、山岳トンネル用「ロックボルト」を開発（図—3、4 参照）。本開発機への搭載を行った。

## 5. 機械仕様

本開発機的全景（写真—4 参照）と機械仕様を以下に示す。

全長：16,720 mm／全幅：3,140 mm

全高：4,190 mm／質量：49,000 kg

油圧ドリフタ：2 × HD220（装薬孔穿孔用）

1 × HD90（ロックボルト穿孔用）

1 × HD30（ロックボルト挿入用）

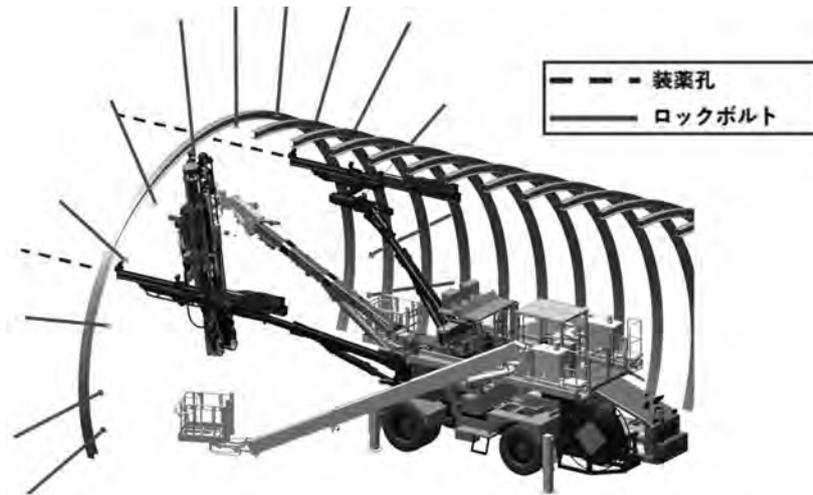


図-3 本開発機施工イメージ図

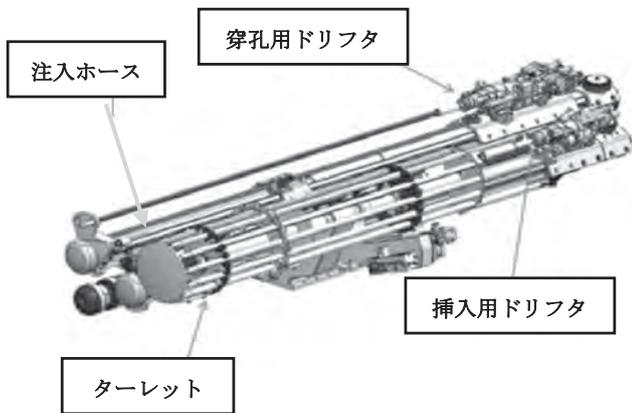


図-4 切替え式セントラライザ (当初)

(内訳) 本体組立・調整 2日  
 ロックボルト NAVI 調整 1日  
 現場搬入状況を写真-5、組立完了した状況を写真-6に示す。



写真-5 ロックボルト用ブーム搬入状況



写真-4 本開発機全景



写真-6 坑内組立完了

## 6. 現場導入の成果

### (1) 現場搬入・組立

本開発機は、汎用のドリルジャンボと同様に分割されて現場搬入される為、本機械も現地にて組立調整を行った。

組立・調整日数：約3日

## (2) 実証実験

組立完了後、実証実験を運用開始前に行った（写真一7、8参照）。



写真一7 施工状況1



写真一8 施工状況2

実施内容は以下の項目であり、個々に①の項目を解決したあとに②③の項目を行った。

〈実施項目〉

- ①各ユニットの単独動作確認
  - ・穿孔ドリフタ運転
  - ・定着注入ホース運転
  - ・ターレット及びロックボルト挿入確認
- ②総合動作確認
- ③装薬孔穿孔とロックボルト打設の同時穿孔確認

## (3) 実証実験結果

実証実験を実施した結果、以下の問題点が生じ改良を行った。

### (a) モルタルホース送り装置の不具合

定着モルタル注入作業では、挿入孔穿孔を行った後、定着モルタルを充填する為に注入ホースの挿入孔への送り出し・注入しながらの引き出しを行う。この

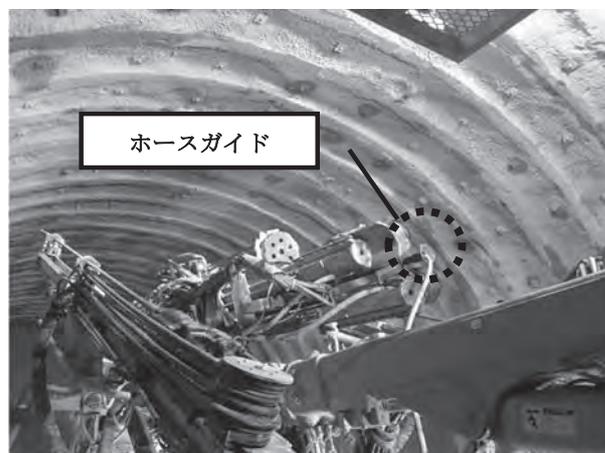
注入ホースがホース送り装置からスムーズに出ず、挿入途中で止まることが頻繁に発生した。また、注入ホースの送り出し状況が、オペレータから見づらく注入完了の視認が困難だった。

〈対策〉

当初、定着モルタルホース送り装置の駆動部（モルタルホースフィーダ）をロックボルトユニット後部に設けていたが、駆動部を前方へ移設し、ホースガイドを現状の下向きから真つぐにする事で改善を行った（図一5、写真一9参照）。



図一5 モルタルホースフィーダ位置変更



写真一9 ホースガイド変更

モルタルホースの視認性の向上としては、ホース先端部の形状変更やホース視認窓の増設にて対応を行った（写真一10参照）。

### (b) ターレットからの送り出し不良

ターレットからのロックボルト挿入用ドリフタへのロックボルトの送り出しは、ターレット自体が旋回する事で装着が可能となっているが、挿入孔穿孔時にターレット下板に穿孔ズリが堆積する事や挿入用ドリフタへの押込みガイドが短い事から、施工当初にロックボルトの装着不良や脱落が発生した（写真一11参照）。

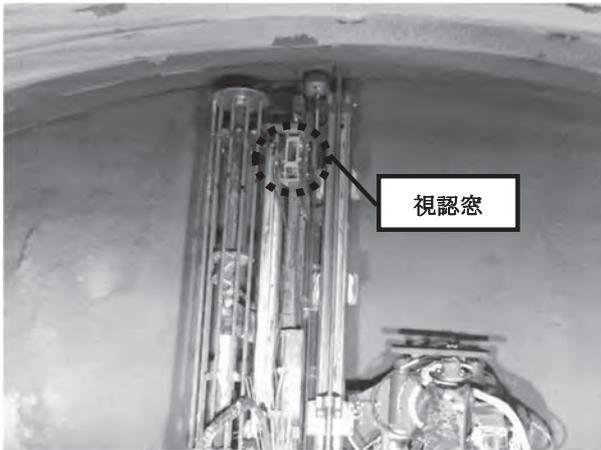


写真-10 モルタルホース視認窓増設



写真-12 改良後のユニットの施工状況  
(左右：穿孔ブーム, 中央：ロックボルトブーム)



写真-11 ターレット下板ズリ堆積状況

〈対策〉

ターレット下板への穿孔ズリ堆積は、ロックボルト天端施工で頻繁に発生しており、下板ガイドレール部の下板底部にズリ抜け用の開口を設け、合わせてガイドレール端部の拡張を行った。また押し込み不良に関しては、挿入用ドリフトと押し込みガイドを延長する事でロックボルトの装着不良や脱落を改善した。

7. 本開発機導入結果

実証実験を経て本開発機の現場運用を行った結果、以下の事が確認された(写真-12 参照)。

〈本開発機の特長〉

- ・ロックボルトの収納マガジン(ターレット)にロックボルトを最大8本装填し、遠隔でロックボルト打設が可能。
- ・穿孔、モルタル充填、ロックボルト挿入の一連動作を作業者が切羽近傍に入ることなく施工が可能になり安全性が向上。
- ・本開発機の左右のブームを使用し、次工程の発破孔の同時削孔が可能になり生産性が向上。

〈導入結果〉

トンネル掘削(支保パターン:DI)で1回の掘削当たり、13本のロックボルト(L=4.0m)を安全で正確に打設できることが確認された。また、ロックボルト打設と装薬孔穿孔を同時穿孔で行うことにより、

- ・20%の省人化(5→4人編成に変更)
  - ・10%の作業時間削減
- を実現し、生産性の向上につながった(図-6 参照)。

8. おわりに

トンネル熟練技能員の高齢化による離職で人手不足は深刻であり、省力化が求められる中、本開発機マルチジャンボの開発を行った。

その結果、20%省力化と10%の作業時間の短縮、切

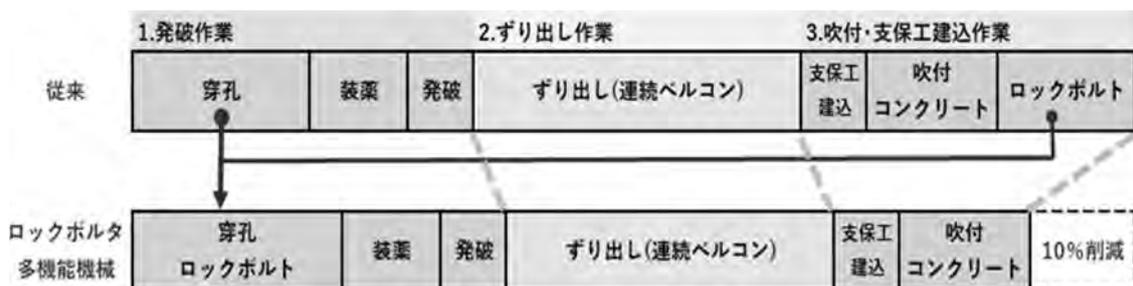


図-6 1サイクル当たりの作業時間比較

羽に作業員が立ち入らなくなったことによる安全性の向上が可能となった。更なる改善を行うことにより、省力化・安全性がさらに向上すると考えられる。今後、トンネル現場に投入し、更なるブラッシュアップを実施していく。

### 謝 辞

最後に本開発機マルチジャンボ開発に当たり、多くの助言・ご指導をいただいた関係各位に誌面を借りて心から謝意を申し上げます。

J C M A



#### [筆者紹介]

野正 裕介 (のまさ ゆうすけ)  
㈱フジタ 機械部



浅沼 廉樹 (あさぬま なおき)  
㈱フジタ 機械部  
上級主席コンサルタント



能代 泰範 (のしろ やすのり)  
古河ロックドリル㈱  
生産本部 開発設計部  
主席技師長

