

トンネル工事の省力化について

ロックボルトを搭載した多機能機械「マルチジャンボ」

株式会社フジタ ○野正 裕介
 浅沼 廉樹
 古河ロックドリル株式会社 能代 泰範

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との接触等、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発達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、省力化と新規人材の育成、現場状況に応じた計画は今後の課題となっていた。

そこで株式会社フジタでは、これらの問題を解決するべく古河ロックドリル株式会社と共同でロックボルトを搭載した多機能機械(以下、マルチジャンボ)の開発を行った。本稿ではマルチジャンボ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. マルチジャンボの開発検討

2.1 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。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、同一施工機械のドリルジャンボを使用した連続作業となっている。

しかし、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をドリルジャンボによる機械作業で行い、定着モルタル充填やロックボルト挿入は、切羽近傍でドリルジャンボのチャージングゲージ等を使用した人力作業となっており、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の確保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「ロックボルト」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「マルチジャンボ」の開発を行った。

	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

2.2 マルチジャンボに求められる機能

マルチジャンボを開発するにあたり、

- ① 施工サイクルの短縮
- ② 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。

(1) 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。

マルチジャンボの固定位置での施工

ロックボルトを打設後、施工機械であるマルチジャンボを次工程の装薬孔穿孔の為に移動せずに行う。

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、マルチジャンボのみで行う。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。(図-2, 図-3 参照)

(2) 作業者の安全を確保する

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少なくし、掘削面から岩石が落下することで作業員が被災するリスクを排除する。



図-2 定着モルタル注入作業



図-3 ロックボルト挿入状況

3. 基本仕様の検討

2.2 より求められた機能より、マルチジャンボ設計条件を以下のように決定した。

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マルチジャンボの切羽への据付位置を変更しないブーム配置とする。

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機械。

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。

マルチジャンボにて注入操作を行う

定着モルタルポンプの運転操作をマルチジャンボオペレータが自ら行う。

4. 概略設計

基本仕様検討により、鉱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。(図-4 参照)

マルチジャンボのセンターブームに「ロックボルタ」を搭載するに再設計を実施し、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
- ・切替え式セントラライザ
- ・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。



図-4 鉱山用ロックボルタ

4.1 ロックボルト格納マガジン

通常トンネルのロックボルト打設は、ドリルジャンボによるロックボルト挿入孔穿孔を行い、チャージングゲージにてロックボルト本体の運搬、穿孔ドリフタにてロックボルトの挿入を行う。ロックボルト格納マガジン(以下、ターレ

ット)は、このロックボルトを複数本ストックすることで、運搬時間の短縮と重量物運搬による作業員の作業負担を軽減する。

4.2 切替え式セントラライザ

ロックボルト打設は、挿入孔の穿孔・定着モルタルの注入・ロックボルト本体の挿入という流れで施工を行う。しかし、同一の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、機械操作時には合図者による誘導が必要であり施工サイクルの低下となっていた。

この為、挿入孔穿孔を行う穿孔用ドリルと定着モルタル注入ホース、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を、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安全性の向上を図る。(図-5 参照)

4.3 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を空けたあとにモルタルホース挿入者とモルタルポンプ操作者が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

かった。

この操作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の採用により、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が図れる。



図-5 切替え式セントラライザ(正面)

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-6,図-7 参照) マルチジャンボへの搭載を行った。

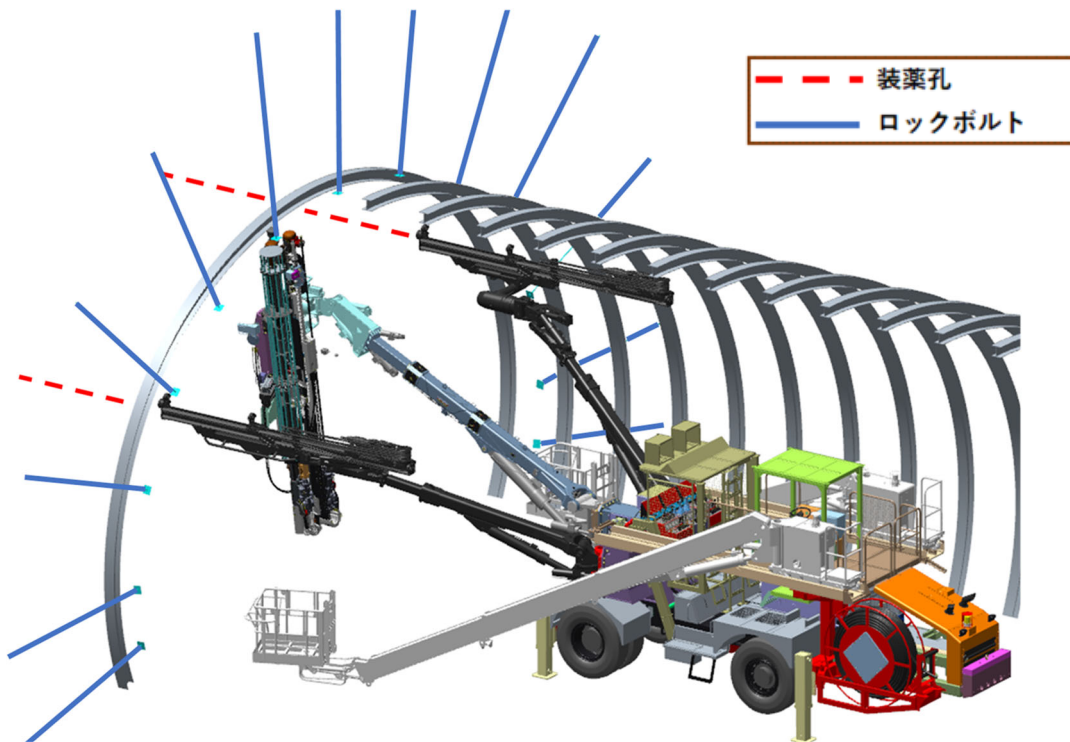


図-6 マルチジャンボ施工イメージ図

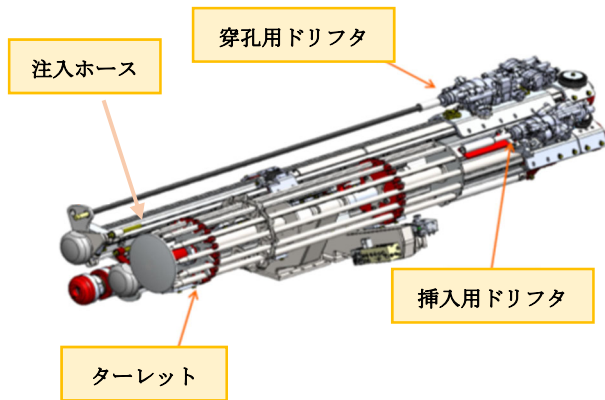


図-7 切替式セントラライザ（当初）

5. 機械仕様

マルチジャンボの機械仕様を以下に示す。

(図-8 参照)

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×HD220/1×HD90

1×HD30

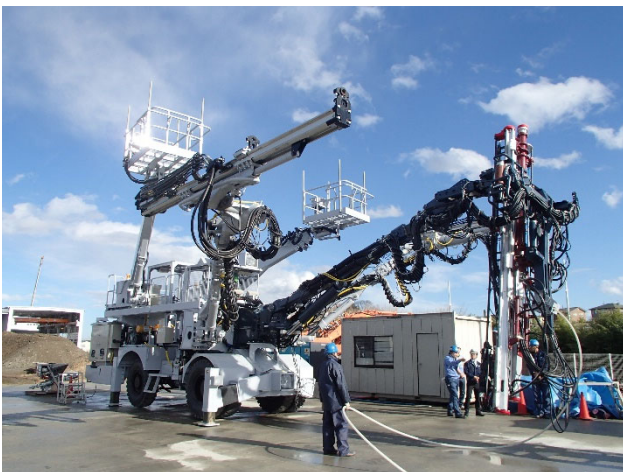


図-8 マルチジャンボ全景

6. 現場導入の成果

マルチジャンボ完成後、現場導入状況と実施工における施工結果を以下に示す。

導入現場は以下の通りとなる。

現場名：国道17号(仮称)新三国トンネル工事

発注者：国土交通省関東地方整備局

工事場所：群馬県利根郡みなかみ町永井

～新潟県南魚沼郡湯沢町三国

導入期間：2019年4月～2019年9月

工事概要：トンネル延長 L=1,283.8m、

トンネル仕上がり内空断面積 約 58.5 m²

6.1 現場搬入・組立

マルチジャンボは、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

(内訳)本体組立・調整 2日

ロックボルト NAVI 調整 1日

現場搬入状況を図-9、組立完了した状況を図-10に示す。



図-9 ロックボルト用ブーム搬入状況

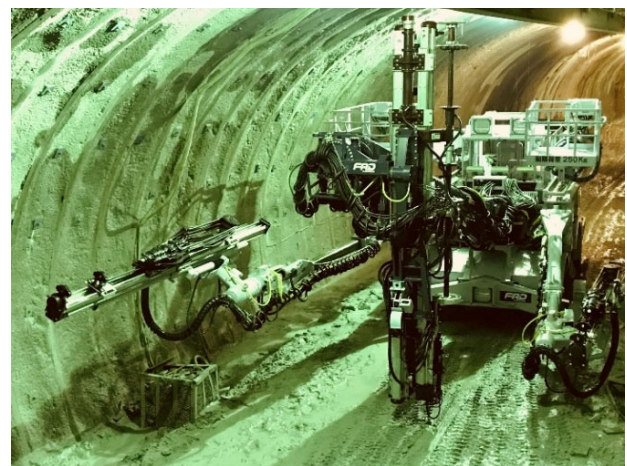


図-10 坑内組立完了

6.2 実証実験

組立完了後、実証実験を運用開始前に行った。

(図-11、図-12 参照)。

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



図-11 施工状況 1

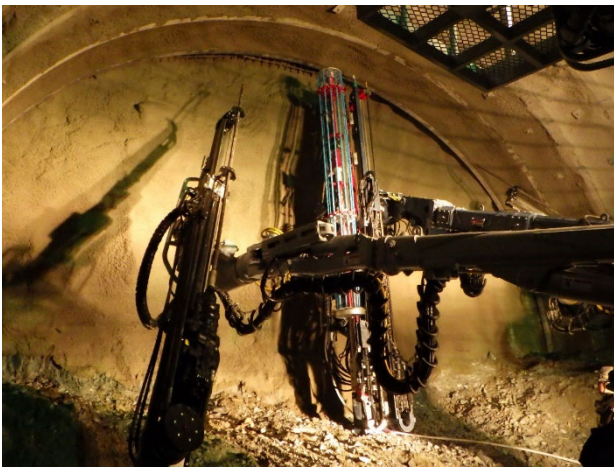


図-12 施工状況 2

6.3 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。

(1)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、挿入途中で止まる事が頻繁に発生した。また、注入ホースの送り出し状況が、オペレータから見え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っすぐにする事で改善を行った。（図-13 図-14 参照）

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。（図-15 参照）

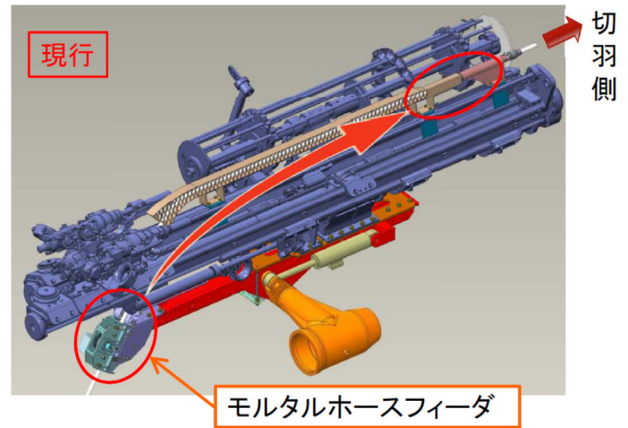


図-13 モルタルホースフィーダ位置変更



図-14 ホースガイド変更



図-15 モルタルホース視認窓増設

(2)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。（図-16 参照）

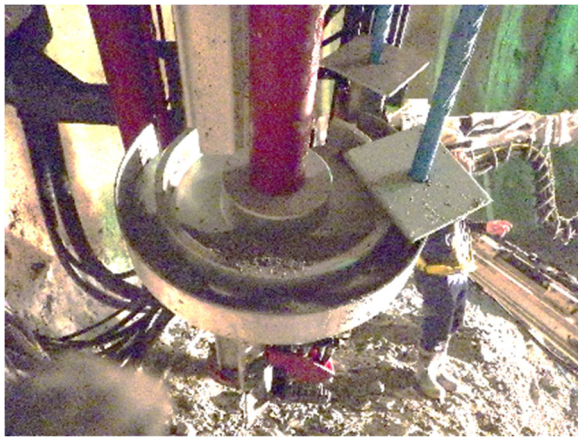


図-16 ターレット下板ズリ堆積状況

<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を塞いでいた為、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. マルチジャンボ導入結果

実証実験を経て、マルチジャンボの現場運用を行った結果、以下の事が確認された。(図-17 参照)

<マルチジャンボの特長>

- ・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。
- ・マルチジャンボ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:D I)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を確認された。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)と 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-18 参照)



図-17 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)

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、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、当社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。

最後に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の方々に心から感謝いたします。本当にありがとうございます。

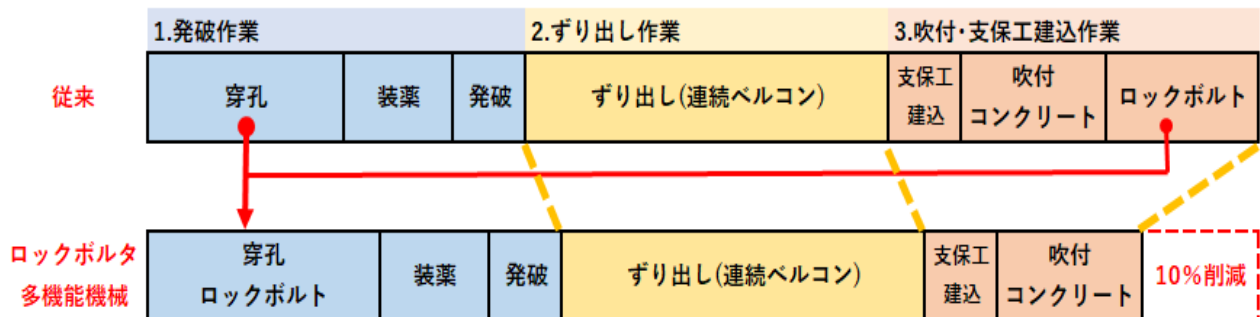


図-18 1サイクル当たりの作業時間比較