

鋼管膨張型ロックボルトの機械打設システムの開発

杉 本 憲 一・青 木 宏 一

山岳トンネル工事における切羽作業の無人化・遠隔化・機械化の一環として、鋼管膨張型ロックボルトである「RPE ロックボルト」を利用した機械打設システムを開発した。現在施工中のトンネル工事で試験施工を実施し、効果の確認を行った。

キーワード：山岳トンネル、ロックボルト、鋼管膨張型、機械化、省力化

1. はじめに

山岳トンネル工事では、機械化による作業の省力化と安全性が図られているものの、依然として切羽付近における事故の発生の可能性は高く、重大災害に繋がることが多い。

(株)熊谷組では2015年より山岳トンネルの切羽作業に関して、効率化・安全性の向上を目的とし、施工サイクル一連の遠隔化・自動化を目指して技術開発に取り組んでいる。これまでに長崎県雲仙普賢岳や阿蘇斜面の災害復旧工事で当社が培ってきた「無人化施工技術」を取り入れ、既往の技術の改良を行いながら爆薬の遠隔装填システムや遠隔吹付け技術などの開発を行っている。

山岳トンネルの切羽作業の中で、ロックボルトの打設作業は、写真—1に示すように、人力による苦渋作業かつ切羽近傍の高所での危険を伴う作業であり、改善すべき作業のひとつである。本稿では、ロックボ

ルトの施工性の向上を目的として、ボルト挿入から定着作業までを機械化するシステムを開発し、試験施工を行った結果について報告する。

2. システム構成

今回の開発対象としたロックボルトは、一般的に用いられているモルタル等による定着式ではなく、主に湧水対策や早期の支保性能発揮を期待する場合に用いられる鋼管膨張型ロックボルト「RPE ロックボルト」とした。図—1に示すように、膨張前の折りたたまれた状態の鋼管内に、高圧水を注入して膨張させることによって孔壁と密着させて所定の摩擦力を得る摩擦定着式である。

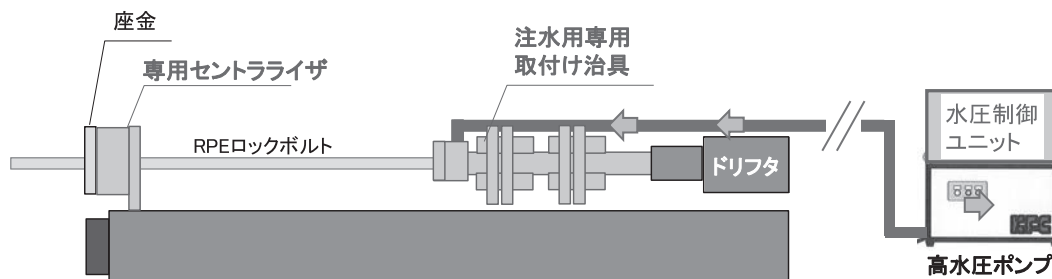
従来どおりドリルジャンボによるロックボルト孔の削孔後に、ボルトの挿入と高水圧ポンプによるロック



写真—1 人力によるロックボルト打設作業（注水拡張）



図—1 鋼管膨張型ロックボルト¹⁾



図ー2 システム概念図

ボルトの拡張作業を専用治具により機械化し、人力作業を介さない一連の作業となるよう開発を行った。

システムの概念図を図ー2に示す。

鋼管膨張型ロックボルトの機械打設のため、注水用専用取付け治具と水圧制御ユニット、専用セントラライザを新たに開発した。

(1) 注水用専用取付け治具

注水用専用取付け治具は、写真ー2に示すように、ボルト拡張のための注水ヘッドとボルト挿入のための角度調整用バネ（2箇所）で構成され、これをドリフタに連結する。この専用治具の注水ヘッドにボルトをセットし、水圧によりボルトを把持した状態で、削孔した孔へボルトの挿入を行う。

また、角度調整用バネは2箇所設けることで、削孔した孔中心と挿入するボルトの軸心を一致させやすくし、ボルト挿入・注水拡張作業をスムーズかつ正確に行えるようにした。

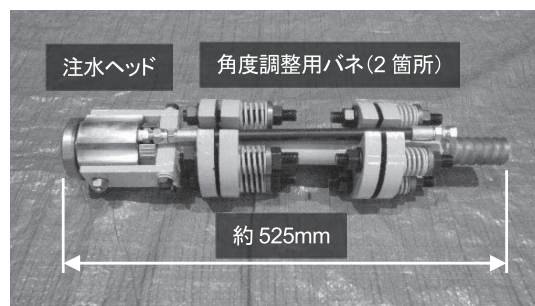
(2) 水圧制御ユニット

ボルト把持のための水圧は、鋼管膨張型ロックボルトの拡張に必要な水圧（通常 25 MPa）より小さく、かつボルト拡張が生じずにボルト把持が確実にできる水圧（10 MPa）とした。

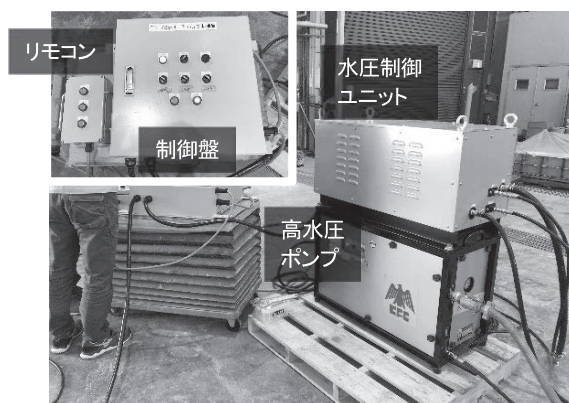
水圧制御ユニット（写真ー3参照）は、通常の高水圧ポンプに接続することで 10 MPa でも水圧を保持できる機構を備え、10 MPa と 25 MPa の2段階の水圧を設定できる。

従来、切羽近傍で作業員がボルト端部に注水アームをセット後、レバーを引いて注水ポンプを稼働し、ボルトを膨張させ定着させていた。

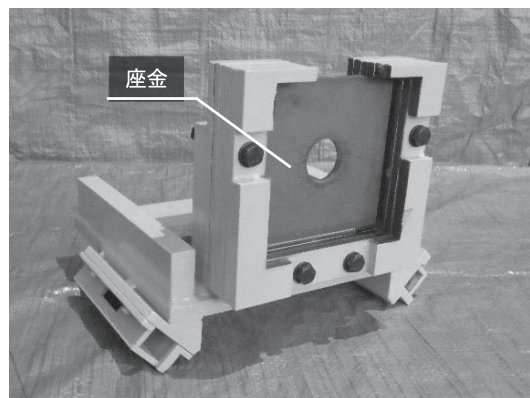
本システムの注水によるボルト拡張作業は、ドリルジャンボの操作室で削孔・ボルト挿入を終えたオペレータがリモコン操作により行うことができるため、地上でロックボルトをドリフタにセットする作業員とドリルジャンボのオペレータの2人で打設作業を進めることができる。



写真ー2 注水用専用取付け治具



写真ー3 水圧制御ユニット



写真ー4 専用セントラライザ（座金セット）

(3) 専用セントラライザ

専用セントラライザは、写真ー4に示すように、あらかじめ角座金（150 × 150）をセットできる構造とした。

座金は、セントラライザに磁石により取り付けられ、ボルト挿入時には注水専用取付け治具の先端の注水ヘッドによりセントラライザからボルト挿入とともに押し出されて、吹付けコンクリート壁面に設置される。

3. 試験施工

現在施工中のトンネル工事にて、施工性（作業性や打設時間）、品質（所定の位置へのロックボルトの挿入、プレート設置、注水による定着、引抜耐力）、専用治具の耐久性の確認のための試験施工を行った。

なお、試験施工では、通常の支保機能を損なわないよう、標準支保パターンのロックボルトを打設した箇所の中間位置に、試験施工用のロックボルトを打設することとした。

試験施工の順序を下記に示す。

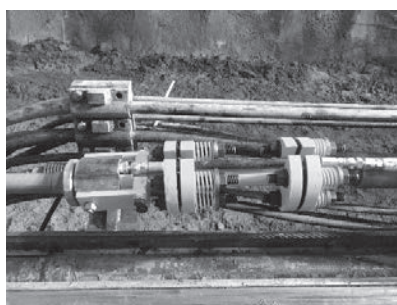
- ①従来工法と同様に、ドリルジャンボの左右ブームでロックボルト孔を削孔する。

- ②中央ブームに設置した専用治具に、ボルトをセットする。角座金をガイドセルに取り付けた専用セントラライザに、マグネットにより取り付ける。
- ③リモコン操作により、注水ポンプを起動させ、ボルトを把持するための注水（注水圧 10 MPa）を開始する。
- ④注水圧 10 MPa は保持したまま、削孔誘導技術などにより、ガイドセルを所定の打設位置に誘導する。
- ⑤ドリフタと接続した注水用専用取付け治具によりボルトの挿入と同時に、専用セントラライザにセットした座金を吹付けコンクリート壁面に設置する。
- ⑥ボルト挿入完了後、リモコン操作により注水ポンプを稼働させ、ボルト拡張に必要な注水圧（25 MPa）でボルトを定着させる。注水完了後、自動的に注水ポンプは停止する。
- ⑦ドリフタとガイドセルを移動させ、ボルト打設完了。

試験施工の状況を写真—5に示す。試験施工後に



(a) ボルト・座金セット状況



(b) 注水用専用取付け治具



(c) 専用セントラライザ



(d) 水圧制御ユニット



(e) 水圧制御ユニットのリモコン操作



(f) ボルト挿入状況



(g) ボルト挿入・座金設置状況



(h) ボルトの注水拡張状況



(i) 打設完了

写真—5 試験施工状況

引抜き試験による品質確認を行ったが、いずれもロックボルトの品質基準を満足することが確認できた。

試験施工では、いずれも 30 ～ 40 秒程度でスムーズなボルト挿入が行え、挿入後のボルト拡張も含めて、概ね 90 秒程度で打設完了した。

また、写真—6 に示すように、ドリフタに取り付けた専用治具と挿入したボルトの軸心が多少ずれた場合でも、想定どおり角度調整用バネと注水ヘッド部の水圧把持により、漏水することなく、確実に注水拡張を行えることがわかった。

4. おわりに

今回の開発は、鋼管膨張型ロックボルトを対象に、ロックボルト専用機械でなく、従来どおりドリルジャ

ンボに専用治具を取り付けるだけで、ボルト挿入・摩擦式による定着作業を機械化し、人力作業を介さない一連の作業をスムーズかつ効率的に行えたものと考える。

また、今回開発したシステムは、鋼管膨張型だけでなく、モルタル等による定着式のロックボルトへの応用も可能と考えている。

さいごに、山岳トンネルの切羽作業に対し、特徴的な災害である落盤・土砂崩壊災害リスクを回避するため、当社で培ってきた無人化施工における遠隔操作技術を活用し、切羽作業の遠隔化・自動化を図るとともに、更なる効率化・省力化を目指して、今後も技術開発を進めていく所存である。

J C M A

《参考文献》

- 1) ケー・エフ・シー：RPE ロックボルト カタログ, <https://www.kfc-net.co.jp/products/cat02/07.html>

【筆者紹介】

杉本 憲一（すぎもと けんいち）

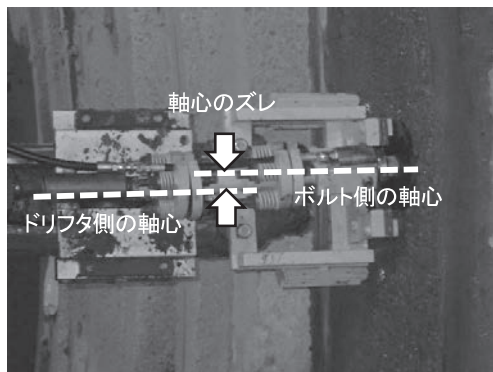
（株）熊谷組

土木事業本部 土木技術統括部 トンネル技術部
部長

青木 宏一（あおき こういち）

（株）熊谷組

土木事業本部 土木技術統括部 トンネル技術部
副部長



写真—6 ボルトの注水拡張状況