

鋼製支保工建込みロボットの開発

前田建設工業(株) 正会員 ○水谷 和彦, 坂下 誠
北澤 剛, 亀田 剛志
古河ロックドリル(株) 能代 泰範, 藤城 義信
マック(株) 正会員 宮原 宏史, 戴 昊

1. はじめに

切羽肌落ち災害は山岳トンネル特有の労働災害であり、統計上、鋼製支保工建込み作業中の被災事例が最も多いのが現状である¹⁾。災害防止対策として、地山の緩み抑制（鏡吹付けや鏡ボルトなど）や岩石落下の予測（切羽監視員の配置や切羽押出計測など）、設備的防護対策（マット設置やマンゲージガードなど）を複合的に実施し、災害発生確率を可能な限り下げる努力をしているが、抜本的な対策とは言い難いのが現状である。平成28年12月に厚生労働省より通達された「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」（平成30年1月改正）²⁾においては、機械化による事故防止対策が要望されており、そもそも切羽に作業員が立入ることがなければ被災することはない。そこで我々は、切羽に作業員が立ち入ること無く、山岳トンネル用鋼製支保工を設置可能な『鋼製支保工建込みロボット』を開発した。本報告では、開発した鋼製支保工建込みロボットの技術概要および機能について報告する。

2. 現行の施工方法

現行の建込み方法としては、オペレーター以外の作業員は切羽直下における作業となる（図-1）。特に、支保工脚部では鋼製支保工の位置合せ作業が必要となり、最も被災リスクの高い作業である（図-2）。また、支保工天端部では、天端ボルトナット締結やつなぎ材設置、溶接金網設置の為に、切羽立ち入り作業となる（図-3）。

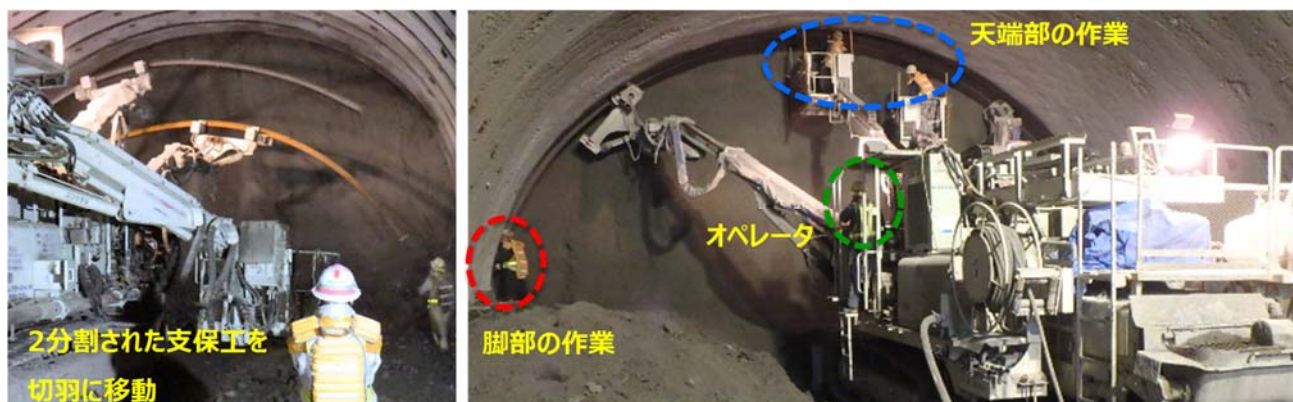


図-1 鋼製支保工の移動と建込み状況



図-2 鋼製支保工脚部における作業状況

キーワード 山岳トンネル, 切羽肌落ち災害防止, 生産性向上, 鋼製支保工, ロボット

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業(株) 土木事業本部 土木技術部 施工技術グループ
トンネル技術チーム TEL 03-5276-5166 FAX 03-5276-5268



図-3 鋼製支保工天端部における作業状況

3. 開発技術の概要

鋼製支保工建込みロボットの技術概念図を図-4 に示す。本技術は、鋼製支保工に装着した測量用プリズムや自動追尾型トータルステーションなどで構成された「支保工位置ナビゲーションシステム」と、鋼製支保工位置を微調整可能な「高性能エレクターマシン」により、運転席からの操作のみで高精度な支保工建込みを実現する。また、ワンタッチ式クイックジョイントを備えた「自動建込用鋼製支保工」による天端継手締結や支保工を把持しながらコンクリートを吹付けることにより、作業員の切羽立入を不要にする。

支保工建込み作業における標準的な施工では、少なくともオペレーター1名と切羽に立ち入る作業員3～4名必要となるが、本技術の導入により、オペレーター1名のみでの機械作業となるため、省人化と施工サイクル短縮による生産性向上を実現するとともに、切羽肌落ち災害撲滅が期待できる。

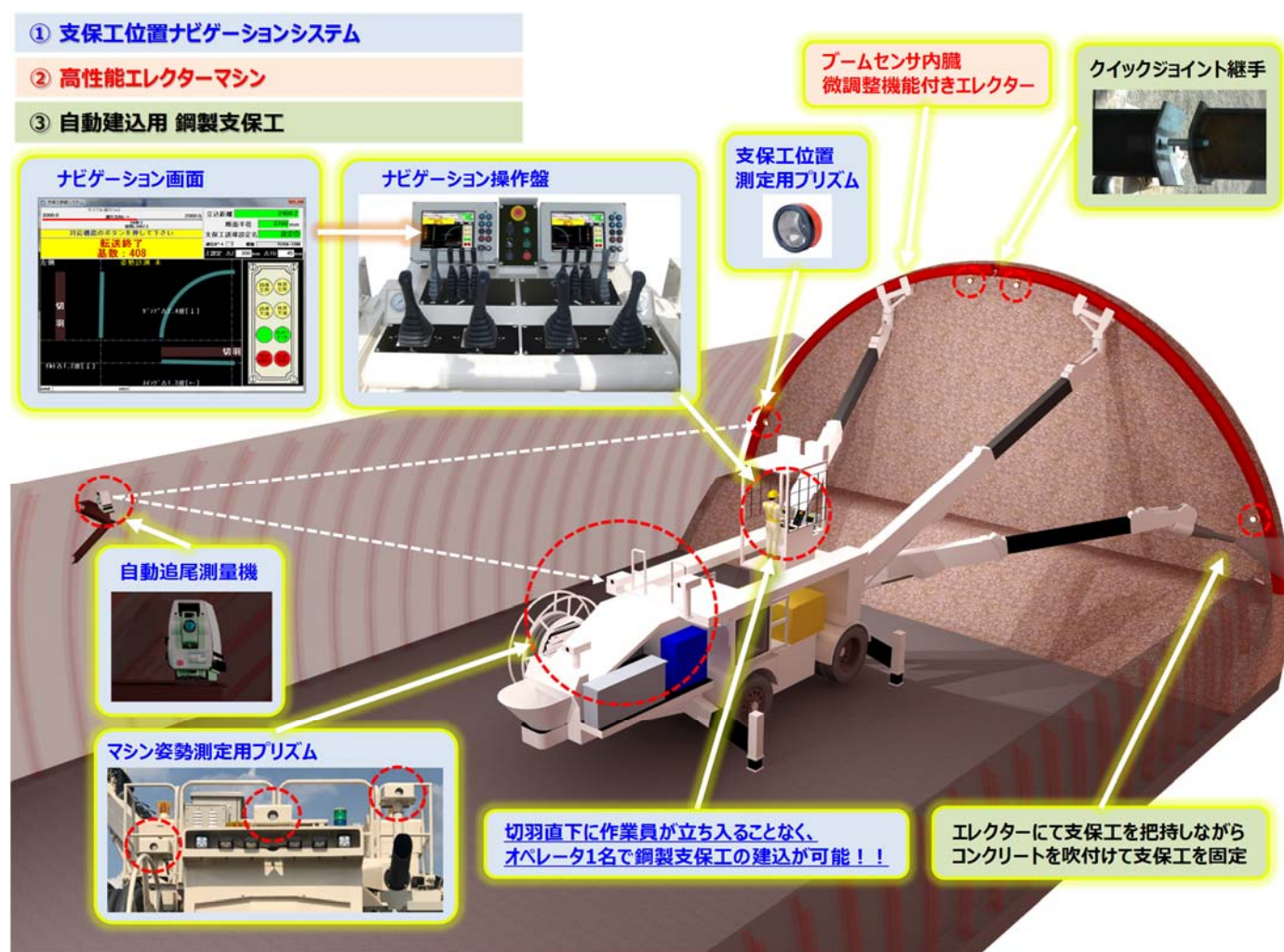


図-4 鋼製支保工建込みロボットの技術概念図

4. 新システムの機能

鋼製支保工建込みロボットは、支保工位置ナビゲーションシステム、高性能エレクターマシン、自動建込用鋼製支保工で構成される。

(1) 支保工位置ナビゲーションシステム

支保工位置ナビゲーションは、マシン姿勢測定機能、鋼製支保工角度表示機能、測定用プリズムによる鋼製支保工位置の詳細表示機能で構成される。

a) マシン姿勢測定機能

給電すると自動的にナビ画面が起動するとともにマシン姿勢位置を自動計測する（写真-1）。



写真-1 マシン姿勢測定機能

b) 鋼製支保工角度表示機能

マシン姿勢とブームセンサデータと合成計算し、エレクター位置をナビ画面でリアルタイムに把握できる（写真-2）。

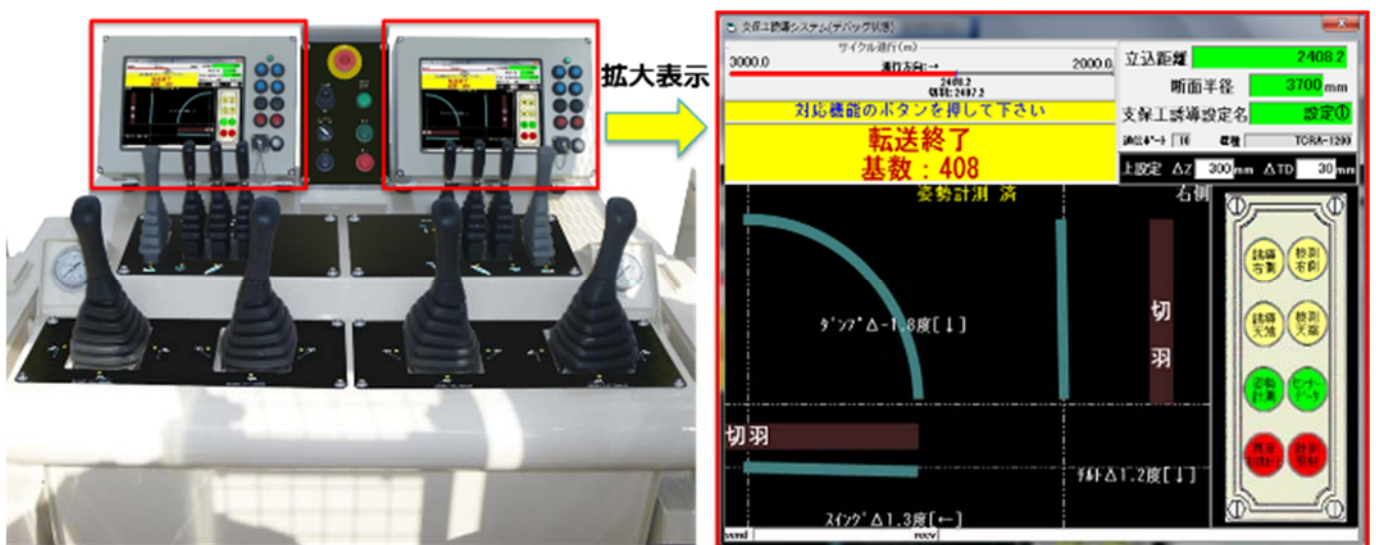
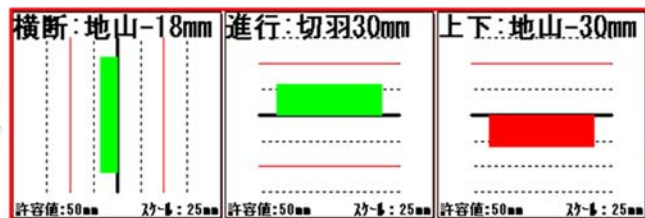
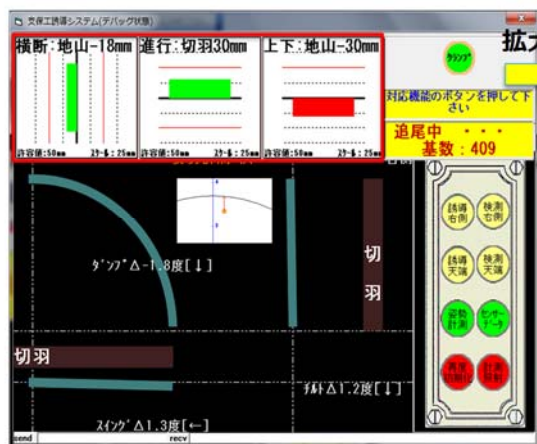


写真-2 運転席およびナビゲーション画面

c) 測定用プリズムによる鋼製支保工位置の詳細表示機能

トンネル線形管理については、従来施工で用いている掘削管理システムを基本とし、鋼製支保工へのミラー設置位置など初期設定を事前入力する。鋼製支保工を仮置きしている時点で所定の位置に測定用プリズムをマグネット装着し、本機能を用いて測量精度の位置合わせを行う。カラーバーにより設計値と実測値の差分を視覚的に把握することができる（写真-3）。

右側天端ミラー自動追尾測定時



カラーバーにより設計値との差分を表示



鋼製支保工

マグネット

測定用ミラー

写真-3 測定用プリズムによる鋼製支保工位置の詳細表示

(2) 高性能エレクターマシン

微調整可能な微速モード切替スイッチを装備し、支保工を把持したまま、前後移動が可能な関節を新たに設けた（写真-4）。また、クランプ姿勢を把握するため、各関節にブームセンサーを内蔵した（図-4）。

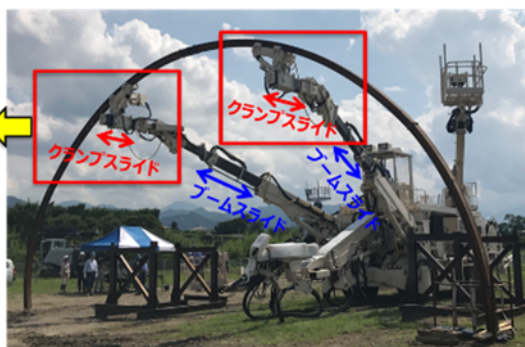


写真-4 クランプ部の水平スライド機能

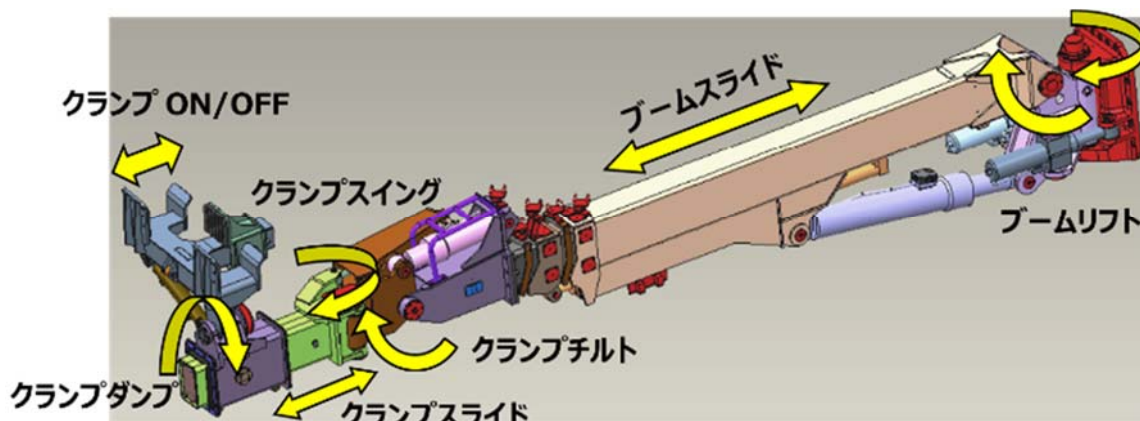


図-4 各関節のブームセンサー位置図

(3) 自動建込用鋼製支保工

従来の作業員による天端ボルトナット締結を無くすことを目的に、エレクター操作のみで締結可能なクイックジョイント（写真-5）を鋼製支保工に溶接設置した（図-5）。

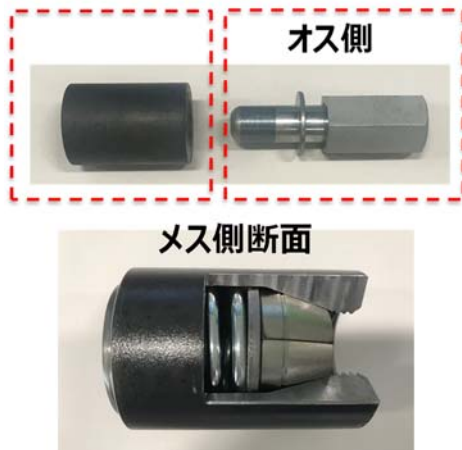


写真-5 クイックジョイント

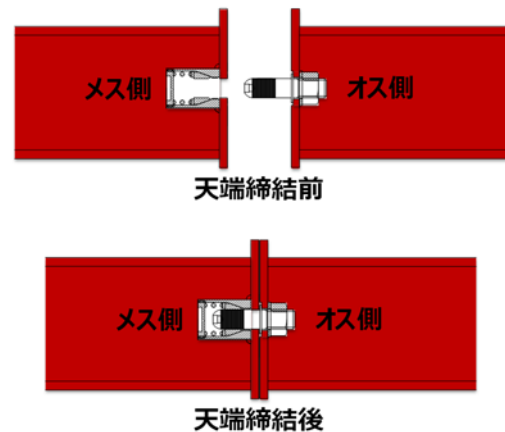


図-5 天端締結の概念図

5. 工場試験

古河ロックドリル 吉井工場にて、本システムの基本性能を確認した（写真-6）。



試験状況（後方より）



自動追尾トータルステーション



自動追尾トータルステーション



試験状況（前方より）



測量用ミラー



鋼製支保工継手

写真-6 工場試験状況

6. おわりに

現在、本システムは2現場で稼働中である。今後は導入効果を検証し、システムの改善および更なる自動化技術への改良を推進する計画である。

参考文献

- 1) 労働安全衛生総合研究所: トンネル切羽からの肌落ちによる労働災害の調査分析と防止対策の提案, 2012
- 2) 厚生労働省: 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, 2018