

鋼製支保工建込みロボットの開発

水谷 和彦*1・坂下 誠*2・能代 泰範*3・宮原 宏史*4

Development of Robot for Building Steel Arch Support

Kazuhiko MIZUTANI, Makoto SAKASITA, Yasunori NOSHIRO, Hirofumi MIYAHARA

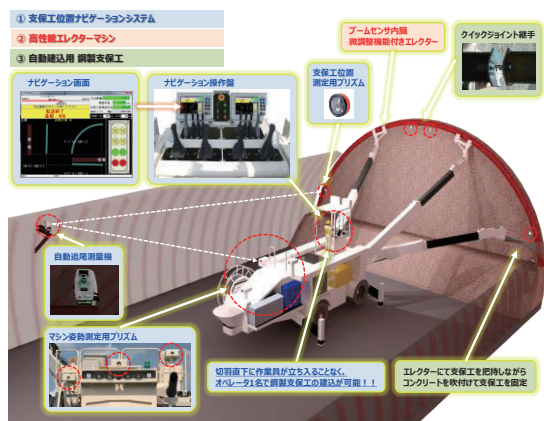


図-1 鋼製支保工建込みロボットのシステム構成概略図



写真-1 鋼製支保工建込みロボット全景

研究の目的

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。災害防止対策として、地山の緩み抑制や岩石落下の予測、防護対策を複合的に実施し、災害発生確率を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」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ち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。

技術の説明

自動追尾型トータルステーションなどで構成する「支保工位置ナビゲーションシステム」、支保工位置の微調整が可能な「高性能エレクター」、ボルトナットの締付を必要としない「自動建込用支保工」により、測量や支保工の位置合わせなど、従来は人が切羽で行っていた作業を機械化し、運転席からの操作のみで高精度な支保工の建て込みを実現する。トンネル切羽直下に人が立ち入ることなく、オペレーター 1 人で支保工の建て込みが可能となるので生産性と安全性が格段に向上する。

主な結論

開発したシステム構成は以下である。

(1) 支保工位置ナビゲーションシステム

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。

(2) 高性能エレクター

微調整可能な微速モード切替スイッチを装備し、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。

(3) 自動建込用鋼製支保工

エレクター操作のみで締結可能なクイックジョイントを鋼製支保工に溶接設置。

本技術は工場による検証を完了し、現在は現場検証段階である。現段階ではナビゲーション技術に留まっているが、完全自動化に向けて技術開発を推進する。

*1 本店 土木事業本部 土木技術部 施工技術グループ
*3 古河ロックドリル株式会社

*2 本店 土木事業本部 機械部 機械技術グループ
*4 マック株式会社

鋼製支保工建込みロボットの開発

水 谷 和 彦^{*1} 坂 下 誠^{*2}
能 代 泰 範^{*3} 宮 原 宏 史^{*4}

要 旨

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。災害防止対策として、地山の緩み抑制や岩石落下の予測、防護対策を複合的に実施し、災害発生確率を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」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。

自動追尾型トータルステーションなどで構成する「支保工位置ナビゲーションシステム」、支保工位置の微調整が可能な「高性能エレクター」、ボルトナットの締付を必要としない「自動建込用鋼製支保工」により、測量や支保工の位置合わせなど、従来は人が切羽で行っていた作業を機械化し、運転席からの操作のみで高精度な支保工の建て込みを実現する。トンネル切羽直下に人が立ち入ることなく、オペレーター1人で支保工の建て込みが可能となるため、生産性と安全性が格段に向上する。

キーワード 山岳トンネル／鋼製支保工建込み／切羽肌落ち災害防止対策／安全性向上／生産性向上

目 次

- | | |
|------------|----------------|
| 1. はじめに | 4. 新システムの構成と機能 |
| 2. 現行の施工方法 | 5. おわりに |
| 3. 開発技術の概要 | |

Development of robot for installing steel arch supports

Kazuhiko MIZUTANI
Yasunori NOSHIRO

Makoto SAKASITA
Hirofumi MIYAHARA

Synopsis:

In tunnel construction, rock fall events at the cutting face, are particularly characteristic of the types of accident that occur. Many of the labour accidents due to rock fall events happen when workers install steel arch supports in the cutting face during tunnel construction using the mountain tunneling method. So, we developed a robot that can install steel arch supports for mountain tunneling method, in which workers do not have to enter the cutting face

This robot consists of " navigation system for steel arch supports ", "high-performance erector machine", and " steel arch supports for automatic installation ". This robot can install steel arch supports with one operator, greatly improving productivity and safety.

* 1 本店 土木事業本部 土木技術部 施工技術グループ
* 3 古河ロックドリル株式会社

* 2 本店 土木事業本部 機械部 機械技術グループ
* 4 マック株式会社

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ことが報告されている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。なお、本技術は、古河ロックドリル(株)とマック(株)との共同開発技術である。

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（写真-1）。特に、支保工脚部では鋼製支保工の位置合わせ作業が必要となり、最も被災リスクの高い作業である（写真-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に立入る作業となる（写真-3）。

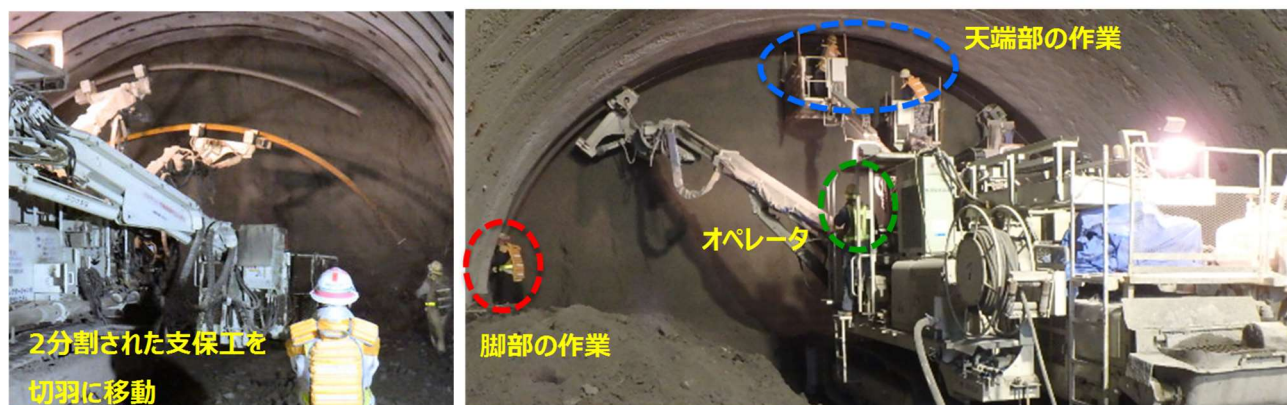


写真-1 現行のエクター搭載型吹付機による施工方法



写真-2 現行の鋼製支保工脚部における作業フロー（切羽左側）



写真-3 現行の鋼製支保工天端部における作業フロー

3. 開発技術の概要

鋼製支保工建込みロボットのシステム構成概略図を図-1に示し、マシン本体の基本仕様を表-1、図-2～4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」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可能とした。また、当社保有特許技術である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名のみで切羽直下に立ち入ることなく、機械作業での対応が可能となるため、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。

4. 新システムの構成と機能

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、自動建込用鋼製支保工で構成される。以下、各機能について説明する。

4.1 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。

(1) ロボット本体姿勢測定機能

給電するとトータルステーションによりロボット本体の位置を自動計測する（写真-4）。

(2) 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を合成計算し、エレクター位置をナビゲーション画面でリアルタイムに把握できる（写真-5）。

(3) 測定用プリズムによる支保工位置詳細表示機能

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、本機能を用いてミリ精度の位置合わせを行うことができる。カラーバーにより設計値と実測値の差を視覚的に把握することができる（写真-6）。

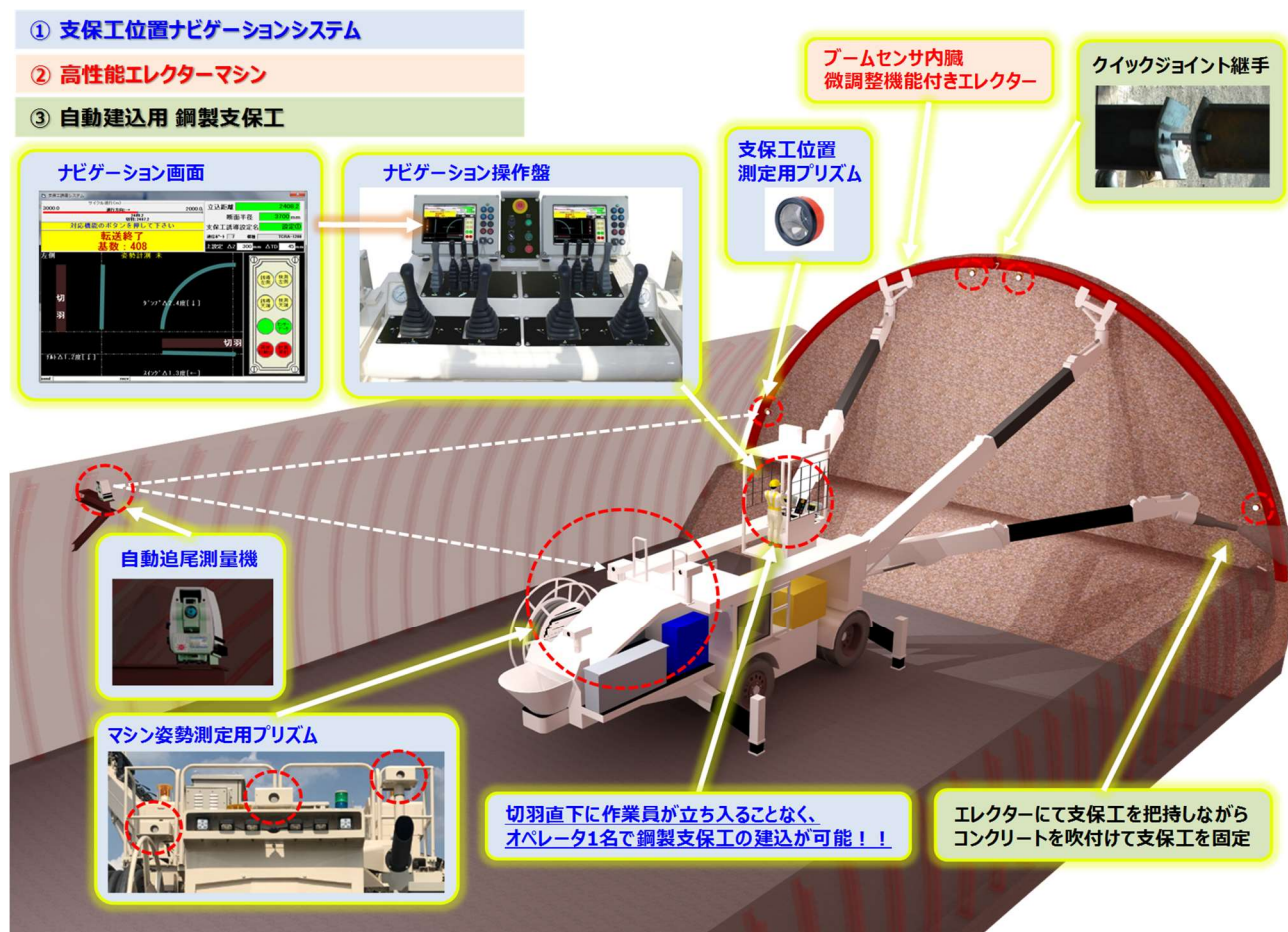


図-1 鋼製支保工建込みロボットのシステム構成概略図

表-1 鋼製支保工建込みロボット本体の基本仕様

主要仕様		エレクターブーム	
吹付けマニピュレータ	電動油圧、遠隔操作	ブーム長 伸長時	10550mm
コンクリートポンプ	吐出量 22m ³ /h、吐出圧8MPa	ブーム長 縮小時	6550mm
ゲージ	最大搭載荷重 250kg	ブームリフト角	上40° ～下25°
全長	16790mm	ブームスイング角	左45° ～右45°
全幅	3400mm	ブームスライド長	4000mm
全高	4390mm	クランプスライド長	215mm
ホイールベース	3500mm	クランプ範囲	H100～200mm
質量	49000kg	支保工最大荷重	1250kg
登坂能力	15°	作動範囲	幅13000mm × 高9100mm
最大走行速度	8km/h	質量	3300kg

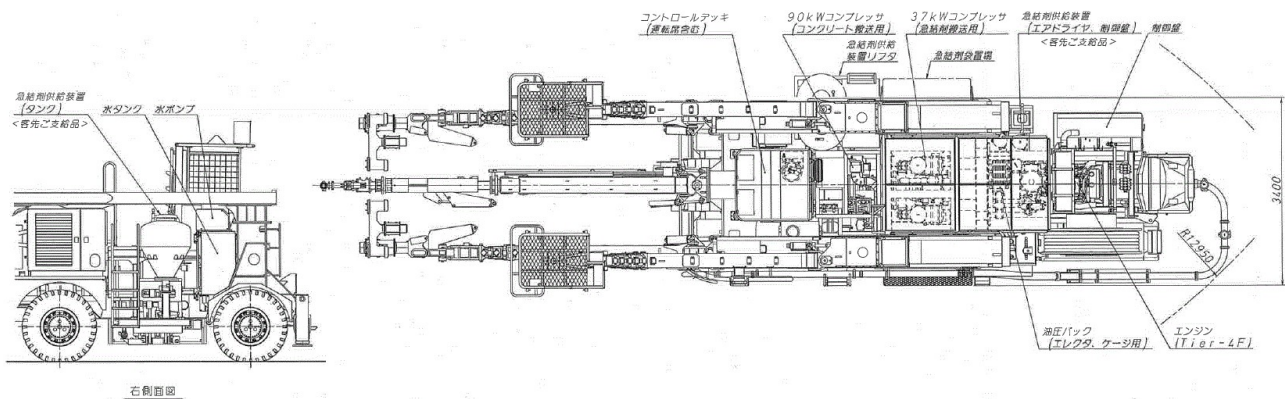


図-2 本体寸法図（1）

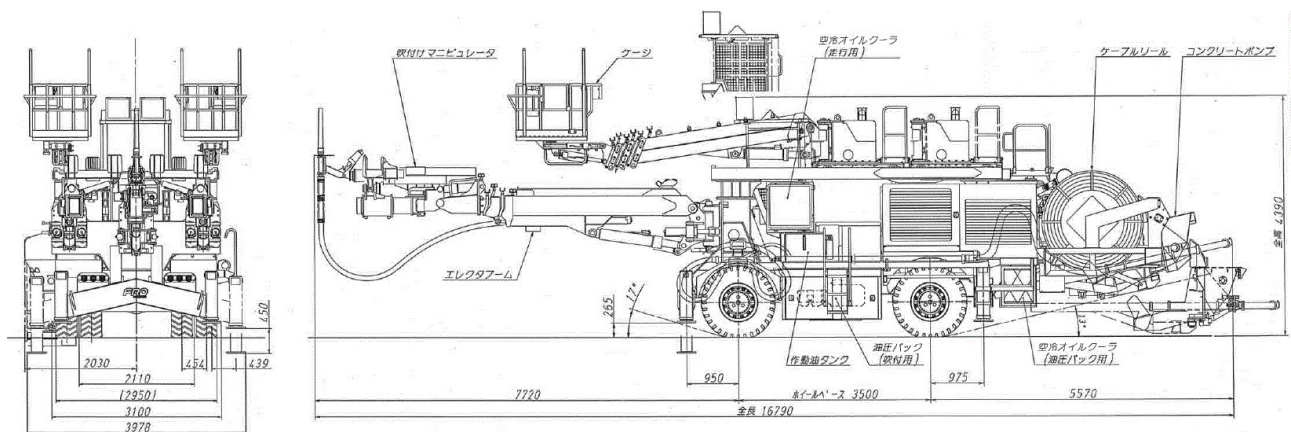


図-3 本体寸法図（2）

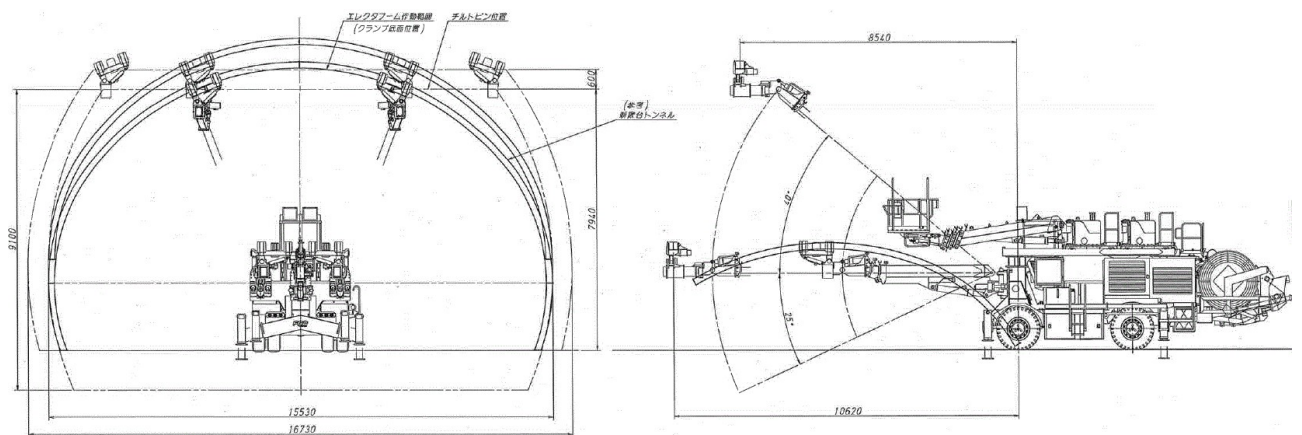


図-4 エレクター可動範囲図



写真-4 マシン姿勢測定機能

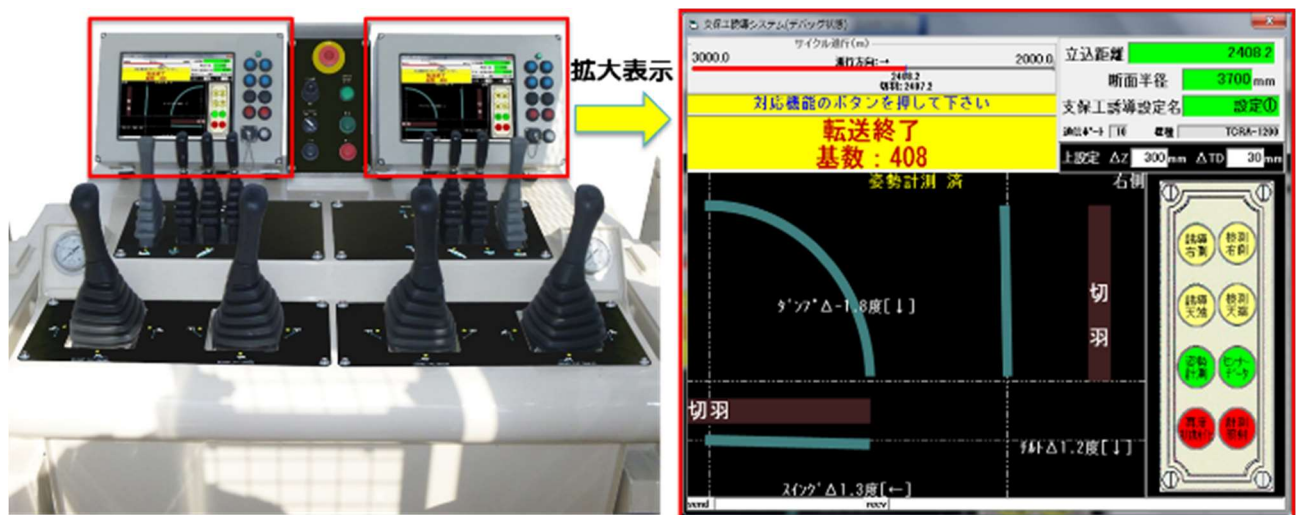
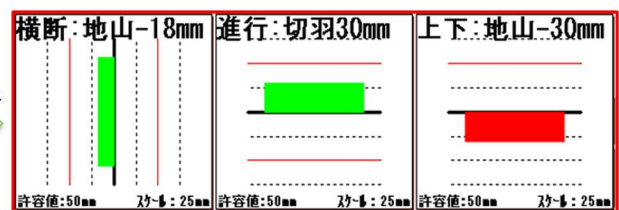
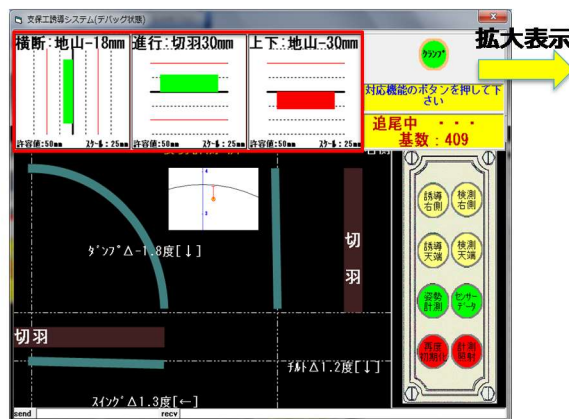


写真-5 運転席およびナビゲーション画面

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

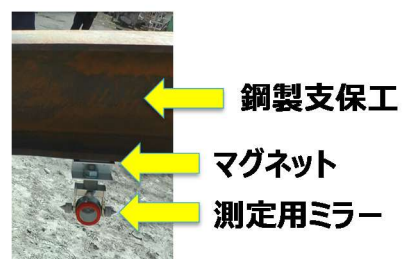


写真-6 測定用プリズムによる鋼製支保工位置の詳細表示

4.2 高性能・高精度エレクター

エレクター操作は、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スライド機構を新たに設けた（写真-7）。また、クランプ姿勢を把握するため、各関節に姿勢を把握するためのセンサー（ブームセンサー）を内蔵した（図-5）。

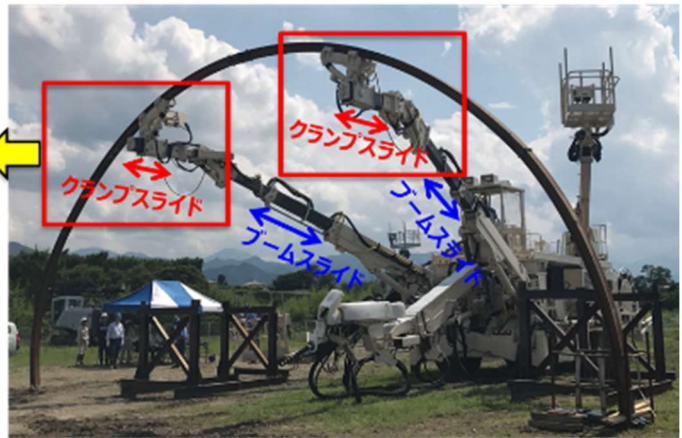


写真-7 クランプ部のスライド機構

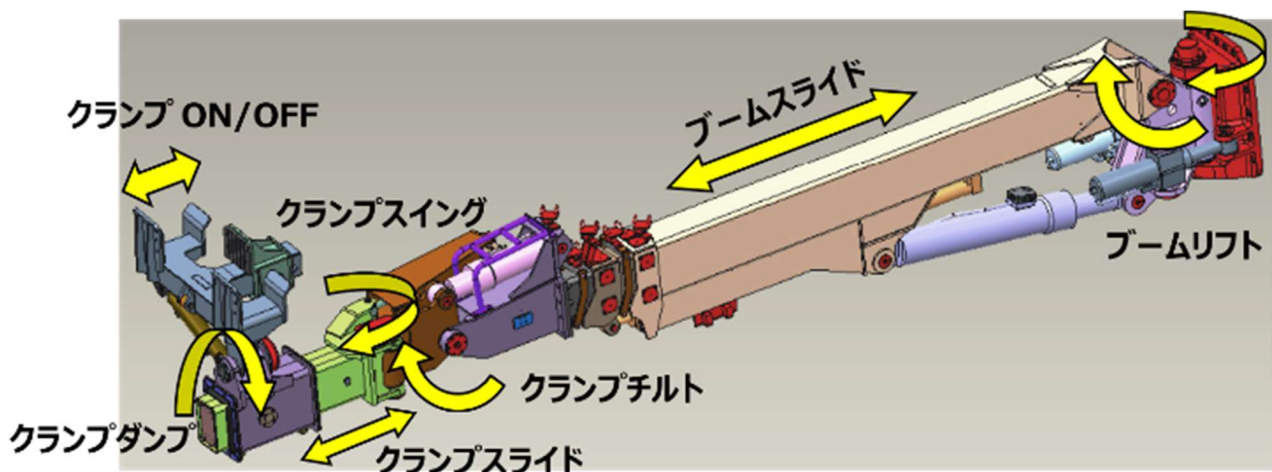


図-5 各関節のブームセンサー位置図

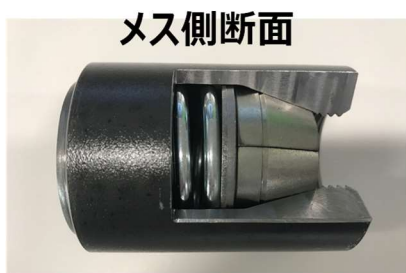
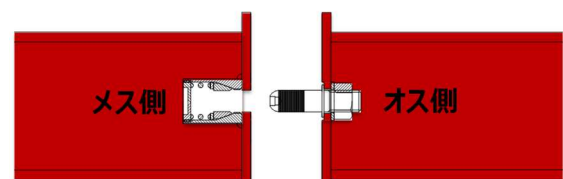
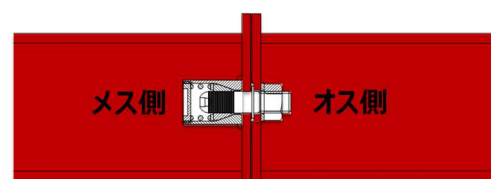


写真-8 クイックジョイント



天端締結前



天端締結後

図-6 天端締結概念図

5. おわりに

古河ロックドリル(株) 吉井工場にて、支保工建込み試験を行い、オペレーター操作のみで、天端継手締結と支保工位置合わせが可能であることを確認した（写真-9～13）。現在、本システムは当社の2つの現場にて稼働中である。今後は導入効果を検証し、システムの改善および更なる完全自動化技術への改良を推進する計画である。



写真-9 工場試験状況



写真-10 自動追尾測量機架台設置状況



写真-11 自動追尾測量機設置状況



写真-12 測定用プリズム設置状況

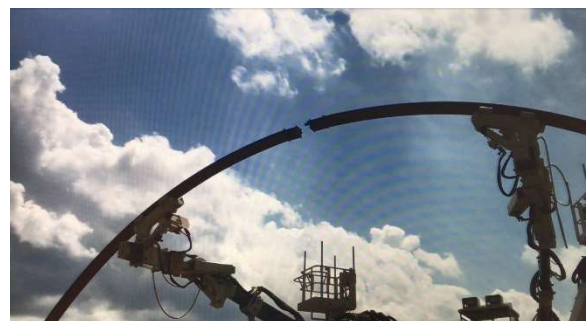


写真-13 天端継手試験状況

参考文献

- 1) 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,労働安全衛生総合研究所
- 2) 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,厚生労働省