

山岳トンネルにおける鋼製支保工遠隔建込み技術の開発

株式会社大林組 正会員 ○山下秀文, 藤岡大輔
マルマテクニカ株式会社 非会員 吉井隆伸
株式会社カトウ 非会員 加藤欣吾

1. はじめに

山岳トンネルの発破掘削における一般的な作業は、穿孔（せんこう）・装薬・発破・ずり出し・コンクリート吹付け・鋼製支保工建込み・ロックボルト打設の一連のサイクルとなる。すべての作業において、専用の機械と複数の作業員が狭い作業環境の中で共存することを余儀なくされている。さらに鋼製支保工建込みや装薬作業では、切羽直下での作業となる。このような山岳トンネル特有の作業環境において、重機災害や肌落ち災害の危険性を低減するため、筆者らは、切羽作業員が切羽に近づくことなく遠隔操作で鋼製支保工の建込みが可能な技術「クイックテレクター」を開発した。

本報では、クイックテレクターの概要説明と性能確認試験の結果について述べる。

2. クイックテレクターの概要

クイックテレクターは、専用のエレクターと、鋼製支保工を計画建込み位置まで誘導するガイダンスシステム、頂部の接続を遠隔で行うためのワンタッチジョイントから構成され（図-1）、切羽直下に作業員が立ち入ることなく鋼製支保工を建込むことが可能である。また、汎用性を高めるため、クイックテレクターは既存のエレクター付き吹付け機（以下、吹付け機）に後付することを前提に開発した。



図-1 全体構成

3. システム構成

(1) 専用エレクター

専用エレクターは上半鋼製支保工の上部を把持するメインエレクターと、脚部を把持するサブエレクターで構成している。

a) メインエレクター

メインエレクター（図-2）の特徴は、大断面トンネル（50～100 m²未満）の断面に対応し、H-200の鋼製支保工（600kg程度）まで把持することが可能である。ブームの先端（図-2A部）の突起部を手前の吹付け面に押し付けることで、ブーム自体の振れを抑制可能であり、突起部より先端に可動部を設けたことで、押し付け位置より先端の動きで接続や位置調整時の微調整を可能にした。

キーワード 山岳トンネル, 鋼製支保工, NATM, 遠隔化, 安全, 生産性向上

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティB棟 株式会社 大林組 TEL03-5769-1069

b) サブエレクター

メインエレクターだけでは鋼製支保工のたわみや揺れにより、脚部の位置調整が困難である。そこで、脚部調整用にサブエレクター（図-3）を開発した。サブエレクターは地面にサポートジャッキ（図-3A部）で支持することで、ブーム自体のたわみを抑制するとともに、コンクリート吹付け時に発生する振動を抑制する。また、各種油圧シリンダーを把持部から離れた位置に配置することで、サブエレクターで把持した状態で、鋼製支保工脚部をコンクリート吹付けで固めることが可能となった。

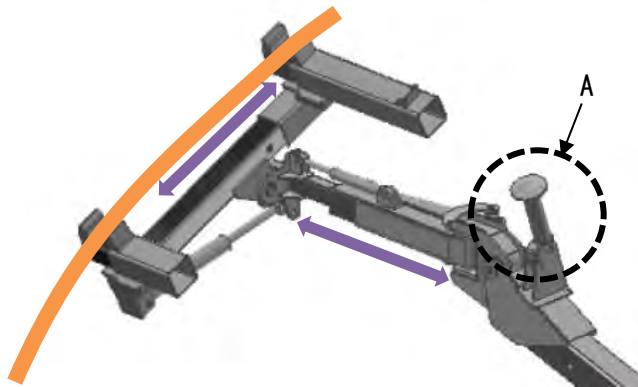


図-2 メインエレクター拡大図

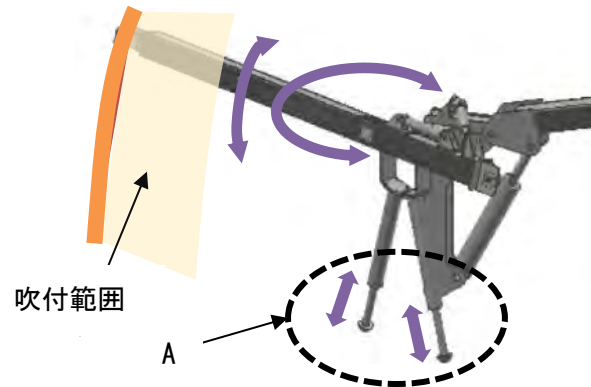


図-3 サブエレクター拡大図

(2) ガイダンスシステム

ガイダンスシステム（図-4）は人やモノの動きをデジタル化するモーションキャプチャーの技術を応用した。吹付け機本体に取り付けた赤外線4眼カメラ（図-4A部）で、鋼製支保工に取り付けた反射マーカ（図-4B部）を撮影することで、カメラの視差角から鋼製支保工の座標を計測する。計画建込み位置と現在の鋼製支保工の位置を比較することで計画建込み位置へ誘導する。ガイダンス画面では誤差を感覚的に把握できるように、平面図と正面図で位置関係を表している。誤差の許容範囲を設定することで、範囲内であることを、画面内で表示することが可能である。また、トータルステーションを用いて吹付け機本体の自己位置および姿勢を検出することで、絶対座標である計画建込み位置と鋼製支保工位置を相対的に表示できるようにした。

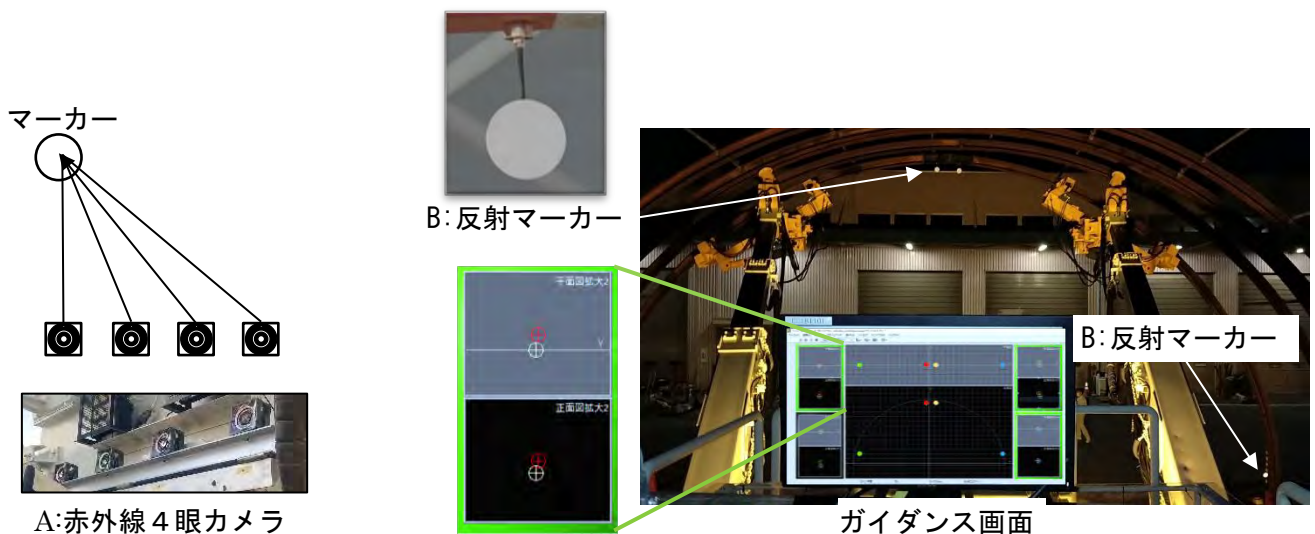


図-4 ガイダンスシステム概要

(3) ワンタッチジョイント

本試験で使用したワンタッチジョイント(図-5)は、ピンをボスに差し込み、ボス側に設置したボールプランジャーで固定する構造とした。ピン側先端とボス側入り口をテーパ状にすることで、ピンとボスのセンターが外れても挿入中に位置を合わせることが可能である。ワンタッチジョイントは、鋼製支保工建込み時の円周方向の余掘りを軽減するため、左右の鋼製支保工を前後にスライドして接続する方法を基本に開発した。ワンタッチジョイントの強度は曲げ試験を実施し、従来型ボルト継手と同程度の強度であることを確認している。

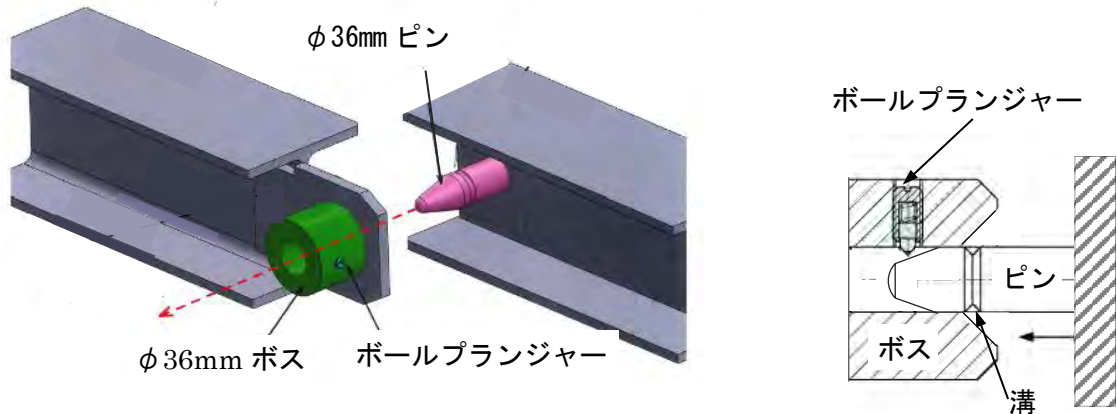


図-5 ワンタッチジョイント概要

4. 模擬トンネル試験

(1) 試験条件

模擬トンネルで鋼製支保工の遠隔建込み試験を実施した。模擬トンネルの構造を図-5 に示す。模擬トンネルの掘削断面を模した外周プレートは内空高さ 7.7m、内空幅 12.9m である。試験で建て込む鋼製支保工は掘削断面とのクリアランスが 50mm になる大きさとし、狭隘な空間での施工性を検証した。

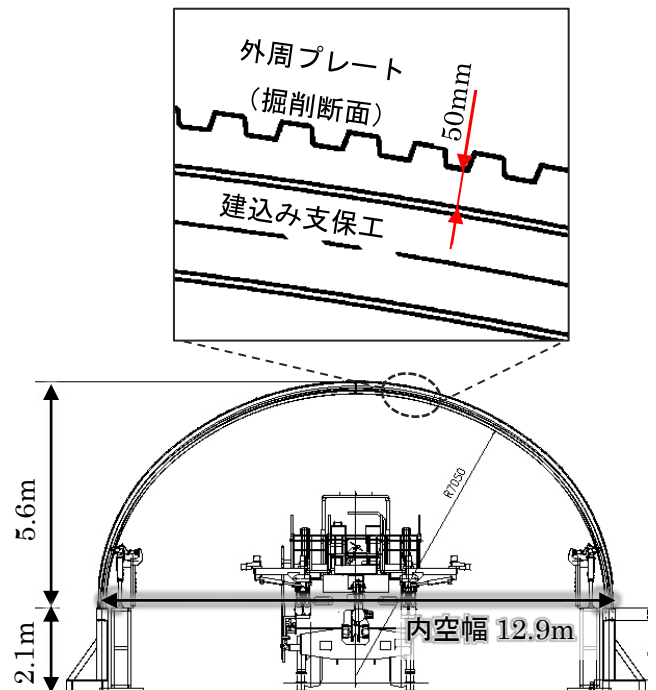


図-6 模擬トンネル試験状況

(2) 生産性向上

a) サイクルタイム

試験では、支保工建込み位置に吹付け機を設置した状態から、建込み完了までのサイクルタイムを計測した。計測結果を表-1に示す。建込み計画位置のガイダンスシステム上の許容誤差は全方向（横断方向，進行方向，高さ方向）で±20mmに設定した。サイクルタイムの結果を表-1に示す。作業開始から位置合わせ完了までの平均サイクルは8分47秒であった。従来方法の建込み時間（当社実績15分）と比較すると、建込み時間を41%短縮することができた。

表-1 サイクルタイム

	開始～接続完了	接続～建込み完了	合計
平均	3分53秒	4分54秒	8分47秒
最短	1分52秒	3分34秒	5分26秒

b) 建込み作業員数

従来方法の人力による建込み作業では把持装置の操作者2名，上部作業2名，脚部作業2名と計6名必要だが，クイックテレクターの導入により，把持装置の操作者2名のみで施工が可能になる。

(3) 鋼製支保工の建込み誤差

鋼製支保工の建込み誤差を検証するために，操作者がガイダンスシステムを用いて建込み後，鋼製支保工の位置をトータルステーションで計測し評価した。ガイダンスシステム上の許容誤差は全方向（横断方向，進行方向，高さ方向）で±20mmに設定した。

建込み誤差の結果を表-2に示す。最大誤差は横断方向26mm，進行方向23mm，高さ方向-23mmとなった。

鋼製支保工の出来形管理では，覆工の巻き厚を設計値以上確保することが求められる。そのため通常の施工では，鋼製支保工は50mm程度大きく製作するため，最大26mmの誤差は許容できると考えられる。

表-2 建込み誤差 (mm)

測定位置	計測回	横断方向 (右が+)	進行方向 (前が+)	高さ (上が+)
左天端	1回目	14	5	-13
	2回目	15	13	-9
	3回目	-10	5	-19
右天端	1回目	15	-14	-16
	2回目	11	11	-8
	3回目	-11	23	-23
左脚部	1回目	-7	10	19
	2回目	17	15	-9
	3回目	-9	12	0
右脚部	1回目	26	-4	-18
	2回目	21	11	-5
	3回目	20	-7	-8

5. おわりに

遠隔で鋼製支保工を建込み可能な「クイックテレクター」を開発し，模擬トンネル試験でサイクルタイム，建込み誤差を検証した。本試験で得られた知見を以下に示す。

- ・サイクルタイムが41%削減できることを確認した
- ・建込みにかかる作業員数を6名から2名に削減した
- ・遠隔化により安全性向上に寄与することを確認した
- ・建込み誤差が26mm以内で建て込むことができた

今後は実現場で検証を行い，実施工に対応できるよう開発を進める予定である。

また，建込み以外の作業についても安全性，生産性向上に取り組み，山岳トンネル工事全般で作業環境改善を目指したい。