

## 模擬トンネルを活用した完全自動鋼製支保工建込みシステムの開発

前田建設工業（株） 正会員 ○五味 春香 正会員 水谷 和彦  
 正会員 小笠原 裕介 正会員 下山 悠  
 坂下 誠 正会員 浅井 秀明

### 1. はじめに

前田建設は、山岳トンネル工事における安全性の向上と省人化・省力化を目的として、「完全自動鋼製支保工建込みシステム（以下、自動建込みシステム）」<sup>1)</sup>を開発し、現場適用に向けて屋外試験を重ねてきた。従来の試験においては、支保工を建て込む際のブーム動作自動制御プログラムを作成した。また、支保工天端の継手には、ワンタッチ式のクイックジョイントを採用し、継手締結作業を自動化できることを確認した。

そこで筆者らは、現場適用に向けた次の段階として、閉鎖空間におけるシステムの動作検証とトンネル断面より過大な動きの有無を確認する必要があると考えた。

当社は、山岳トンネル工事に関わる技術開発を加速させるため、茨城県取手市にあるICI総合センター敷地内に模擬トンネルを設置した。本稿は、模擬トンネルを活用し、自動建込みシステムの試験実施結果を報告する。

### 2. 試験概要

#### (1) 模擬トンネル概要

##### 【概要】

場 所：前田建設工業（株）

ICI 総合センター敷地内（図-1）

延 長：L=29.570m（図-2）

断面積：固定部 A=50.7m<sup>2</sup>，移動部 A'=55.2m<sup>2</sup>

備 考：トンネル先端部（約6m）はスライド可動式

##### 【設置目的】

設置目的を以下に示す。

#### 1) トンネル施工に関わる技術の開発

山岳トンネルの切羽や坑内で試験を行う際に生じる時間や場所の制約を取り払い、技術開発を加速するため、実験・検証を模擬トンネルで実施すること。

#### 2) 社内社外に対する教育・体験の場を提供

社内および協力会社の研修や安全教育に活用すること。また、近隣住民に対し、見学会や閉鎖空間を利用したイベントを実施し、地域貢献すること。

#### (2) 使用機械

本試験に使用した機械は、エフティース株式会社製エレクター一体型吹付け機「ヘラクレス」（以下、エレクタ）である。本開発にあたり、エレクタのブーム等に



図-1 模擬トンネル位置図（イメージ）

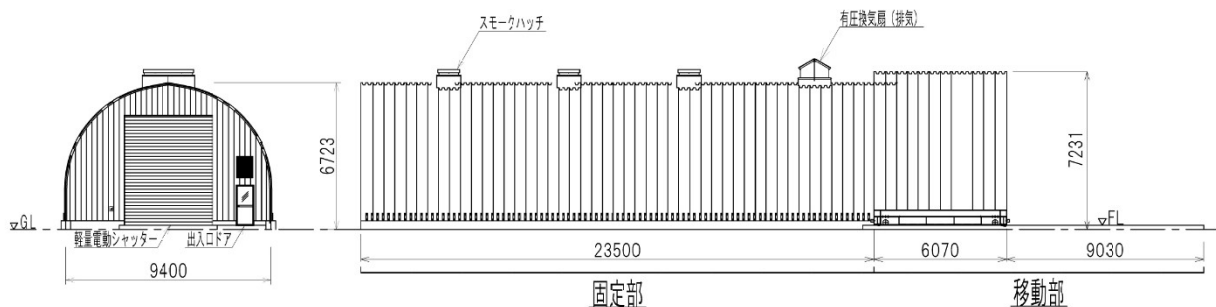


図-2 模擬トンネル概要図

キーワード 山岳トンネル，鋼製支保工，模擬トンネル，完全自動鋼製支保工建込みシステム

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） TEL：03-5276-5551

センサを備え付け、自動建込みシステム仕様に改造を行った。それにより、自動建込みシステムでブームとチルトの制御を可能にした。

### (3) 試験環境

試験に使用した支保工の大きさは、模擬トンネル移動部の断面と同等である。試験においては、坑壁と支保工の接触を防ぐため、先端の移動部をスライドさせ、トンネルを部分的に開口させた位置で試験を行った（写真-1）。その際、開口部には水糸を設置し、トンネル内空を可視化した。

自動建込みシステムに必要な測量機器は、本試験においては坑外に三脚で据え置きし、坑内の基準点を使用して、エレクタと左右支保工に設置したミラーでそれぞれの位置座標を取得する。得られた位置座標は、自動建込みシステムを制御するタブレットで即座に把握できる（写真-2）。

### (4) 試験の検証内容

試験においては、1) 断面より過大な動作の有無、2) 効率的な動作の検証、3) 締結精度の検証を行った。



写真-1 模擬トンネル開口範囲における試験状況



写真-2 タブレットによる自動建込み確認状況

### 3. 試験の検証結果

検証内容に基づき、結果を以下に示す。

#### 1) 断面より過大な動作の有無

過去のシステムでは、支保工締結時に左支保工がトンネル断面よりも左側に 20 cm 程度、過大に動作していた。クイックジョイントのボルト長が約 10 cm のため、ボルト長以上の離隔が必要である。そのため、右支保工のプレートから 15 cm 離隔をとった位置から締結できるようにプログラムを再構築し、建込みに必要な余堀りを減らした。

#### 2) 効率的な動作の検証について

開発当初の自動建込みシステムは、ブーム動作の指示がプログラム内で細かく区切られており、左右ブームの同時操作およびブーム制御・チルト制御の同時動作が困難であった。開発当初の建込み時間は、6 分程度である。

そこで、左右ブームの同時動作に加え、1 ブームで最大 6 動作（ブーム上下左右および伸縮、チルト上下左右および回転）を可能にするプログラムを構築した。以上の改良により、3 分半～4 分で建込みが完了する。

#### 3) 締結精度の検証について

本試験における締結精度は 5 割程度である。締結失敗時の状況は、クイックジョイントの穴端部からボルト径 (M22) 1 本分が坑口側もしくは切羽側にずれていた。原因は、各関節のガタつきや油温が影響していると考えられる。この影響により、油圧制御に誤差が生じたため、左右支保工を建て込む設計位置に対して数センチの誤差が発生した。締結精度を向上させるため、設計位置ではなく、実測位置座標に配置された右支保工に近づけるように左支保工を建て込むプログラムを検討し、今後、模擬トンネルで検証する。

### 4. おわりに

今後は、自動建込みシステムを完成させ、現場適用を図る。また、システムを活用した施工方法を確立し、山岳トンネル工事の生産性向上や減災に寄与することを目指す。

### 参考文献

- 1) 土木学会令和 3 年度土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会論文集, VI-914, 完全自動鋼製支保工建込みロボットの開発