

## 鋼製支保工建て込み切羽無人化施工システムの開発

戸田建設(株) 正会員 ○内藤 将史 正会員 関根 一郎  
 正会員 辻川 泰人 正会員 若竹 亮  
 正会員 内藤 雅人

### 1. はじめに

山岳トンネル工事の鋼製支保工建て込み作業では、掘削直後の切羽直下に作業員が立ち入るため、トンネル工事全体の労働災害のうち、肌落ちによる労働災害が半数近く発生している。また、山岳トンネル工事は、地山変化に応じて臨機応変な施工が求められるため、比較的、自動化・無人化対策が遅れているが、近年、作業員の高齢化や熟練作業員不足の課題に対応して、安全性向上、施工の省人化、自動化、生産性向上が強く求められている。これらを背景に、鋼製支保工建て込みの切羽無人化施工システムの開発に取り組んだ成果として、システムの概要・特長、性能確認結果について報告する。

### 2. 切羽無人化施工システムの概要・特長

本システムは図-1 に示す①～④の要素技術から構成される。要素技術の概要・特長は以下の通りである。

#### ①鋼製支保工の継手構造変更

従来の鋼製支保工の接合は、作業員が切羽直下に立ち入り、横断方向にボルト・ナットで接合するが、本システムでは左右H形鋼の継手部にせん断ピン付きみぞ形鋼を配置し、前後方向で重ね合わせ、切羽正面からボルト締め付け作業ができる構造としている(図-2 参照)。

#### ②遠隔ボルト締め装置

鋼製支保工組み立て後は、開発した遠隔ボルト締め装置を用いて切羽正面から締結作業を行う。本締め装置は施工機械本体の搭乗用バスケット台座に搭載し、位置・角度調整機構を有するナットランナでオペレータがカメラモニターを見ながら遠隔でボルト締め付けが実施できる(図-3、写真-1 参照)。

#### ③把持装置の長尺化

把持装置を長尺化(従来 1m⇒5m)することで、位置決め移動時の支保工ブレを抑制するとともに、把持装置に直接、プリズムミラーを設置(図-1 参照)することで、自動追尾式トータルステーション(以下、TS と略称する)で測定した鋼製支保工の位置をリアルタイムでモニタリングできる構造とした。

#### ④位置決めナビゲーション

エレクトラ動作については、支保工位置の微調整が容易な微調モードを付加し、上記 TS による鋼製支保工の位置をモニタリングしながら、精度よく設計

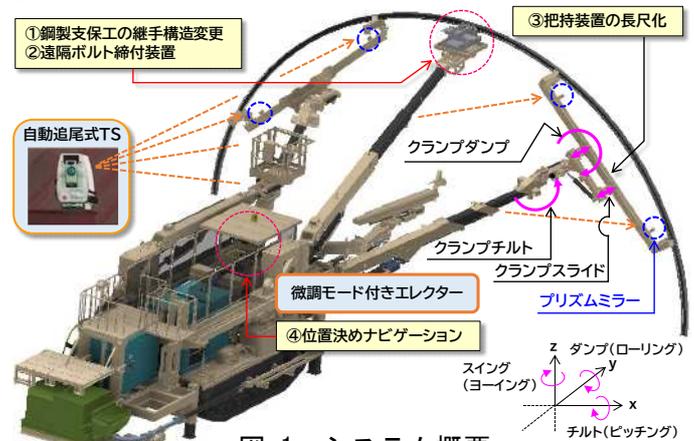


図-1 システム概要

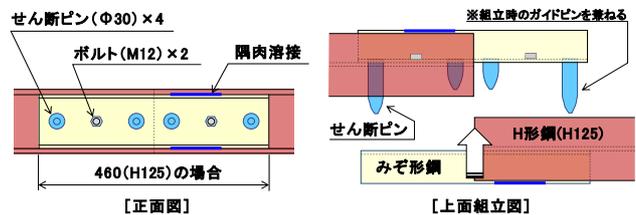


図-2 新たな継手構造

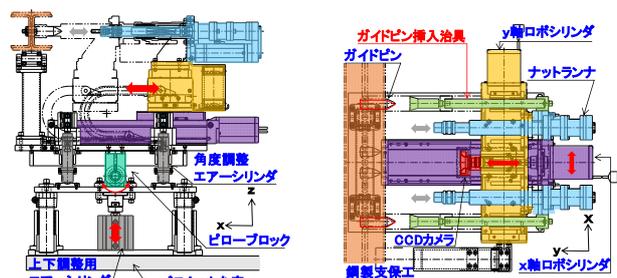


図-3 遠隔ボルト締め装置側面図(左)、平面図(右)



写真-1 遠隔ボルト締め装置(左)、操作画面(右)

キーワード 鋼製支保工, 切羽無人化施工, 継手構造, 遠隔ボルト締め装置

連絡先 〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-8-5 戸田建設株式会社 TEL 050-3818-4884

位置に建て込むことができる。

### 3. 性能確認実験

#### 3.1 継手曲げ試験

本システムにおける継手性能の確認を目的に従来型継手と改良型継手の供試体を用いて4点曲げ試験を実施した。試験概要図を図-4に示す。

曲げ試験結果の荷重～変位曲線を図-5に示す。荷重～変位曲線より算出した塑性エネルギーを保有耐力とすると、改良型継手は従来型継手の約4倍の曲げ耐力を有する結果となった。

#### 3.2 鋼製支保工建て込み実験

本システムにおける各種機器、装置、ナビゲーションソフトウェア等の性能確認と、これらによる建て込み時間および建て込み精度の検証を目的に、屋内ヤードに模擬トンネルを構築して鋼製支保工の建て込み実験を実施した(図-6, 写真-2参照)。

模擬トンネル規模は高さ6.5m, 幅13.5mの上半断面とし、建て込み時間15min, 建て込み精度±30mmを管理目標値として、施工機械の切羽到着から建て込み完了までの施工を繰り返し実施した。

建て込み実験結果における作業時間は、継手接合および最終位置決めにかかり、目標値に対して平均2.2倍の作業時間となった。一方、建て込み精度は、目標建て込み精度±30mm内となるよう最終位置決めを実施したため、全て目標値をクリアする結果となった(表-1参照)。なお、遠隔ボルト締付装置については、手前の既設支保工との接触を回避するため、慎重な移動操作に若干の時間ロスが生じるものの、継手部前面まで移動した後の装置の姿勢・位置決め、ボルト締結は問題なく実施できた。

これらの建て込み実験結果を踏まえ、今後のシステム課題を列記すると以下のとおりである。

- ①従来型継手の強度性能を確保しつつ、継手接合の時間短縮が図れる継手構造の見直しを行う。
- ②ブーム操作時に各々のクランプ角度のずれ補正を行うため作業時間が増えている。このため、ブーム操作に応じて所定角度を保持するクランプ動作の同調機構を付加する。

### 4. おわりに

上記課題を含め実工事に適用するためのシステムを構築し、現場施工を積み重ねて、切羽無人化施工システムの完成を目指していく所存である。

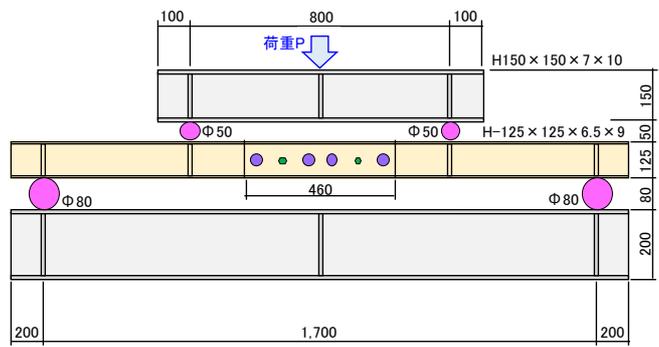


図-4 継手4点曲げ試験概要図

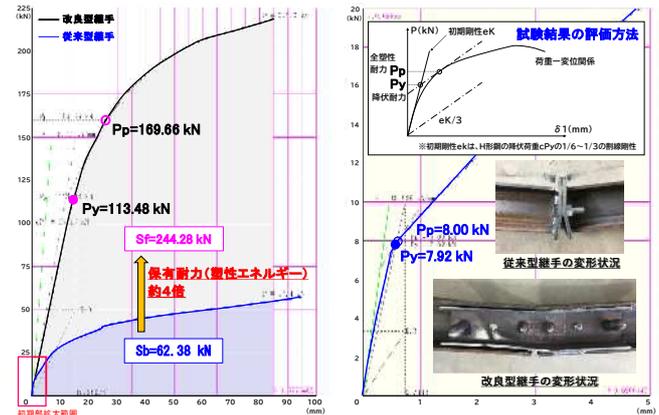


図-5 4点曲げ試験の荷重～変位曲線

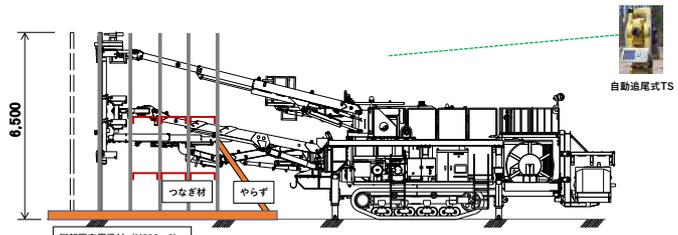


図-6 鋼製支保工建て込み実験概要図(側面図)



写真-2 建て込み実験状況

表-1 建て込み実験結果

	作業内容	作業時間(min)			建て込み精度(mm)		
		最小	最大	平均	最小	最大	平均
①	切羽到着～継手接合	8	14	12	—	—	—
②	ボルト締め付け	5	10	8	—	—	—
③	最終位置決め	9	17	13	—	—	—
	合計	22	41	33	11	25	16
	目標値に対する比率	1.5	2.7	2.2	0.4	0.8	0.5