支保工建込技術（T-支保工クイックセッター）を用いた山岳トンネルの施工

大成建設(株)　北信越支店　正会員　○檜山　将太　下野　正人
藤木　栄治　波多野　遼
水野　多嘉大
土木本部　正会員　宮本　真吾　丸山　修

1．はじめに

山岳トンネル工事では，トンネル先端部（切羽）において地山が露出しているため，切羽の肌落ち災害がたびたび発生している．また，災害が発生すると死亡災害や休業災害となり，発生した際の重篤度が高くなっている．厚生労働省からは「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」が公表されており，切羽を安定させるための鏡吹付け等の記載に加え，切羽に立ち入る機会を減らすことが記載されている．ガイドラインの第 5　事業者が講ずることが望ましい事項として，支保工建込み作業等の完全な機械化を積極的に進めることが記されている．支保工の建込作業は切羽掘削直後の切羽面に鏡吹付けを実施したあとに切羽に立ち入るが，天端継手板の連結作業など切羽に立ち入ることは，肌落ち災害に被災するリスクがある（**写真-1** 参照）．



写真-1　従来方式による支保工建込状況

上記の背景から，当社は切羽の支保工建込作業において切羽に人が立ち入らず，完全な遠隔作業にて支保工を建て込むことができる『T-支保工クイックセッター』を開発した．

本論文は上記の『T-支保工クイックセッター』について国土交通省　北陸地方整備局　利賀トンネル（2 工区）工事にて実施工を行った検証結果についてまとめたものである．

2．システムの概要

本技術はワンタッチ式継手ボルトによる支保工の天端締結と，ラインレーザー等による建込み位置明示，運転席からカメラによる建込み状況の遠隔確認から構成されている．また，本技術は大掛かりな改造や高性能なベースマシンを使用した専用機が不要な技術であるため，汎用性の高い技術である（**写真-2** 参照）．

各技術の詳細について以下に示す．

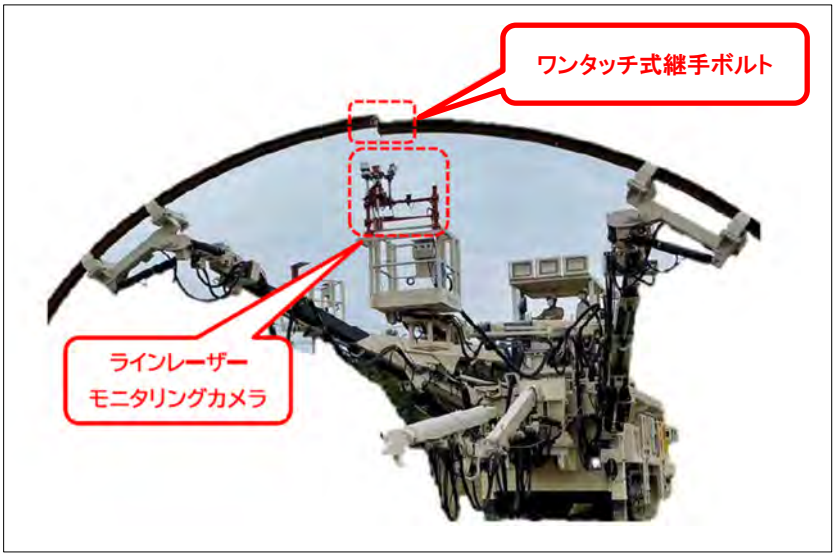


写真-2　『T-支保工クイックセッター』の概要

キーワード　山岳トンネル，NATM，支保工，建込，省人化，生産性向上，安全性向上
連絡先　〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設㈱本社土木本部土木技術部トンネル技術室 TEL03-5381-5271

(1) ワンタッチ式継手ボルト

切羽に立ち入らず，運転席からの機械操作のみで建込作業を行うことを可能とするため，従来の人力作業の天端継手ボルトに変わり，ワンタッチ式継手ボルトを開発した（**写真-3** 参照）．ワンタッチ式継手ボルトはボルト側面に爪を設置し，爪がボルト内部のバネにより出入りする構造である．本ボルトを事前に 2 分割された鋼製支保工の片側に溶接にて固定し，片側の天端継手板の孔に本ボルトを差し込むだけで鋼製支保工の締結が完了する構造とした．

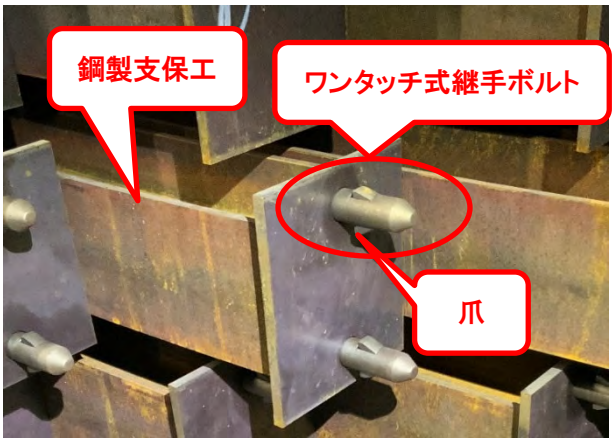


写真-3 ワンタッチ式継手ボルト

なお，本ボルトは SS400，M25 相当のボルト強度（引張・せん断）を有しているため，従来の天端継手ボルトと同様に国内の山岳トンネルに使用することができる．また，当現場ではワンタッチ式継手ボルトの溶接固定の精度を確保するため，支保工加工時に工場にて溶接固定を実施して現場に搬入している．

(2) ラインレーザー等による建込み位置明示

鋼製支保工のトンネル軸方向の建込位置は設計で決められた建込間隔にて鉛直に支保工を建て込む必要がある．そこで本技術では，建込位置をレーザーで明示するガイダンス装置（**写真-4** 参照）を開発し，マンケージに装備した．ガイダンス装置は，鉛直を保持できるジンバル架台上に 360° 照射のラインレーザーを取付けることで，常に鉛直断面方向にレーザーを照射できるようにした．さらにガイダンス装置を取付けたマンケージブームのスライドレール部後方にレーザー距離計を取付け，マンケージブームのトンネル軸方向のスライド距離を計測できるようにした．このガイダンス装置におけるジンバルによる鉛直精度の確保とレーザー距離計による建込間隔の確認により，設計で決められたトンネル軸方向の鉛

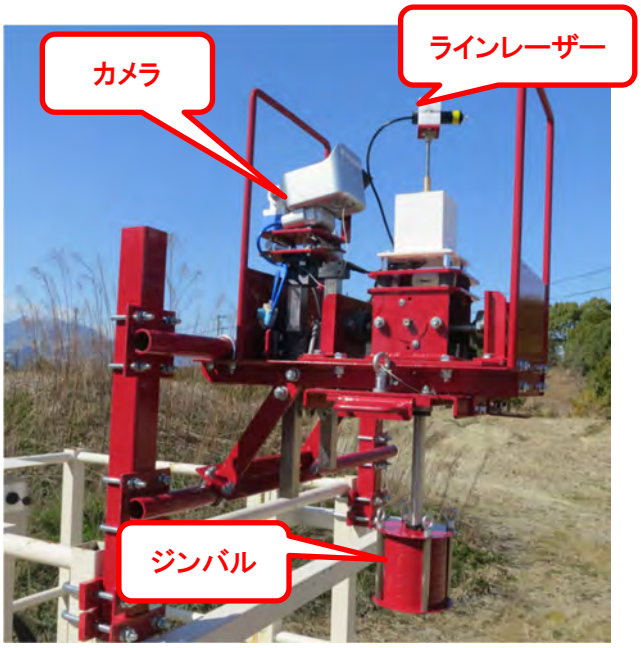


写真-4 ガイダンス装置

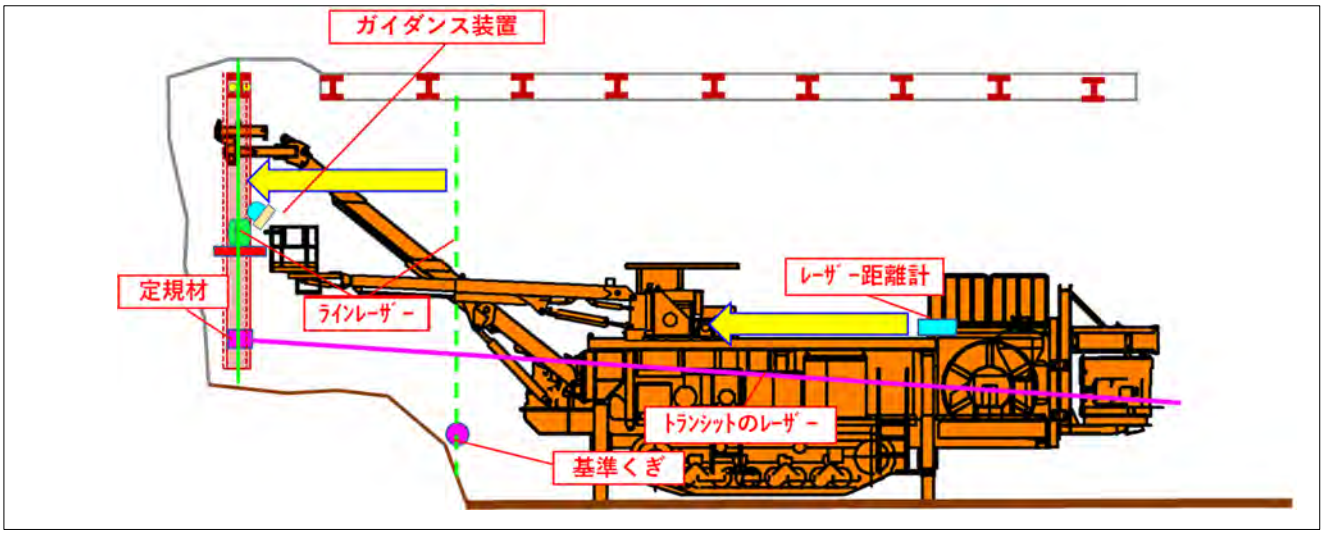


図-1 建込位置明示概要図

直断面位置に鋼製支保工を建て込むことが可能となった（**図-1** 参照）．

鋼製支保工のトンネル横断方向の建込位置合わせは，切羽から 50m 程度離れた位置に設置した常設用トランシットから照射されるレーザーを作業員が切羽に立ち入り鋼製支保工に定規材を当てることで横断方向の位置を合わせていた．本技術では定規材を予め鋼製支保工に配置して置くため，マグネット式のターゲットとし，ターゲットにロープを設置しておき，吹付完了後に離れた場所から取り外し可能な仕様としたことで作業員が切羽に立ち入らなくても建込位置合わせが可能となった（**写真-5** 参照）．

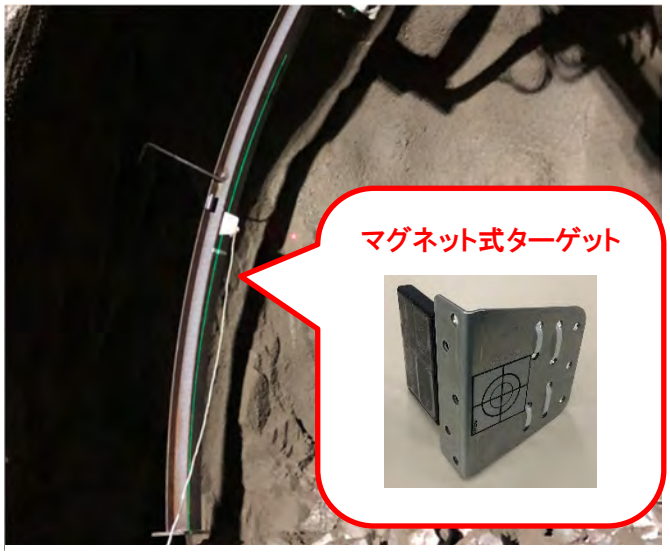


写真-5 マグネット式ターゲット

(3) 運転席からのカメラを用いた建込み状況の確認

天端締結時やトンネル軸方向の位置合わせは基本的に運転席から目視により行うが，運転席で建込の詳細状況を確認できる建込用モニター（**写真-6** 参照）を設置した．ガイダンス装置にカメラと LED ライトを設置し，運転席にモニターを取付けた．天端締結の際は，カメラを支保工天端部に近接させ，ボルトの挿入や締結状況の詳細映像をモニターで視認できるようにした．



写真-6 モニター

3．施工手順

(1) 準備・建込機設置

① ラインレーザーの基準となる基準くぎを左右の土平に設置する．

② エレクターにワンタッチ式継手ボルトを溶接固定した鋼製支保工をセットする．（**写真-7** 参照）

③ 鋼製支保工にマグネット式ターゲットを設置する．

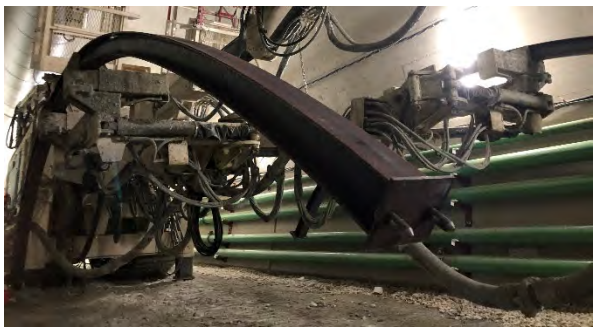


写真-7 鋼製支保工セット状況

(2) 支保工天端締結

① エレクターを操作し，建込位置付近まで鋼製支保工を移動させる．

② エレクターを操作し，ワンタッチ式継手ボルトを天端継手板の穴に挿入し締結する（**写真-8** 参照）． 締結状況を運転席からモニターにて確認を行う．



写真-8 継手ボルト接続状況

(3) 建込位置ガイダンス

① ラインレーザーを取り付けたマンケージをトンネルセンター付近に移動させ，レーザーを照射する．

② ブームの伸びとマンケージの回転を使用してラインレーザーを左右に設置した基準くぎに合わせ，スライド距離計をゼロセットする（**写真-9** 参照）．

③ ラインレーザーを取り付けたマンケージ側のヨークを運転席に設置した距離計モニターを確認しながら規定距離前進させる．（ヨークの前進距離を使用している理由は，エレクター付き吹付機がトンネル軸に対しておおよそ平行に配置されていることを前提としている．）



写真-9 基準くぎへのラインレーザー照射状況

(4) 建込位置調整

① エレクターを操作し，ラインレーザーに合わせて鋼製支保工の縦断方向の位置を合わせる．

② トンネル壁面に取り付けたトランシットなどにより，レーザーを照射し，鋼製支保工に事前設置したマグネット式ターゲットにレーザーが合うようにエレクターを操作し位置を調整して横断方向の位置を合わせる（**写真-10** 参照）．

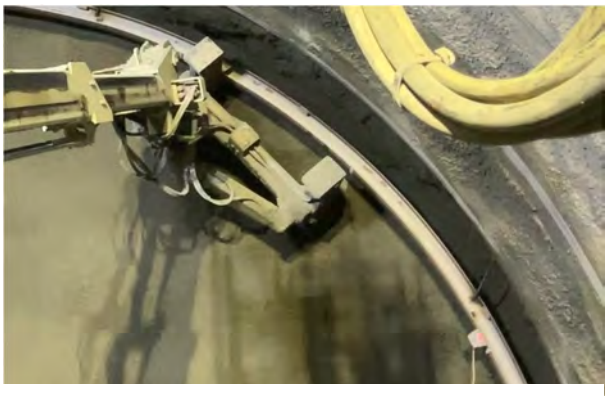


写真-10 横断方向調整状況

(5) 建込完了

① ラインレーザーの距離計モニターの数値確認及び鋼製支保工の位置の再確認．

② マグネット式ターゲットへのトランシットレーザーの照射位置の再確認．

4．現場での活用効果

本技術を現場で活用した結果について以下に示す．

(1) 初期導入

建込はエレクターの運転席からのマシン操作のみで実施し，従来5名程度（オペレーター1人＋作業員4人）で実施していた建込作業をマシンオペレーター1 名のみで実施することができるため，省人化につながった．また，天端ボルトの締結に必要であった作業員の切羽への立ち入りが不要となったため，切羽近傍での作業を完全に排除することができ，安全性が向上した（**写真-11** 参照）．

しかし，ラインレーザー照射及び鋼製支保工の固定における課題が生じた．





写真-11 建込状況

(2) 初期導入時の課題

a)ラインレーザーの照度について

鋼製支保工の縦断方向の位置合わせで使用するラインレーザーの出力が弱く，切羽の照明を使用している場合（実測 500lx 以上）はラインレーザーが薄くなり，運転席から確認が困難であるため，縦断方向の建込確認に 10 分程度の時間を要することが分かった．エレクターに搭載した切羽照明を消すことでラインレーザーの視認性を向上させ，位置合わせの時間を短縮することはできたが，切羽の照度低下により建込精度が低下したため，ラインレーザーの改良が必要となった．

b)鋼製支保工の固定について

本技術では継ぎ材を使用せずに鋼製支保工の建込を実施していたが，2 次吹付後に鋼製支保工のケレン作業を重機にスクレーパーを付けて行った際，重機の力で支保工が動いてしまう問題が生じた．

(3) 課題の対策

a)ラインレーザーの改良型

初期導入時の課題を踏まえ改良型を開発した．改良型ではラインレーザーの照度を確保するため，ラインレーザーを複数個重ねることを検討した．検討の結果，ラインレーザーの光を 3 個重ねることで切羽での照度を確保することができた（**写真-12** 参照）．その結果，エレクターの運転席からのラインレーザーの視認性が向上し，建込時間の時間短縮につながった（**写真-13** 参照）．



写真-12 改良型ラインレーザー

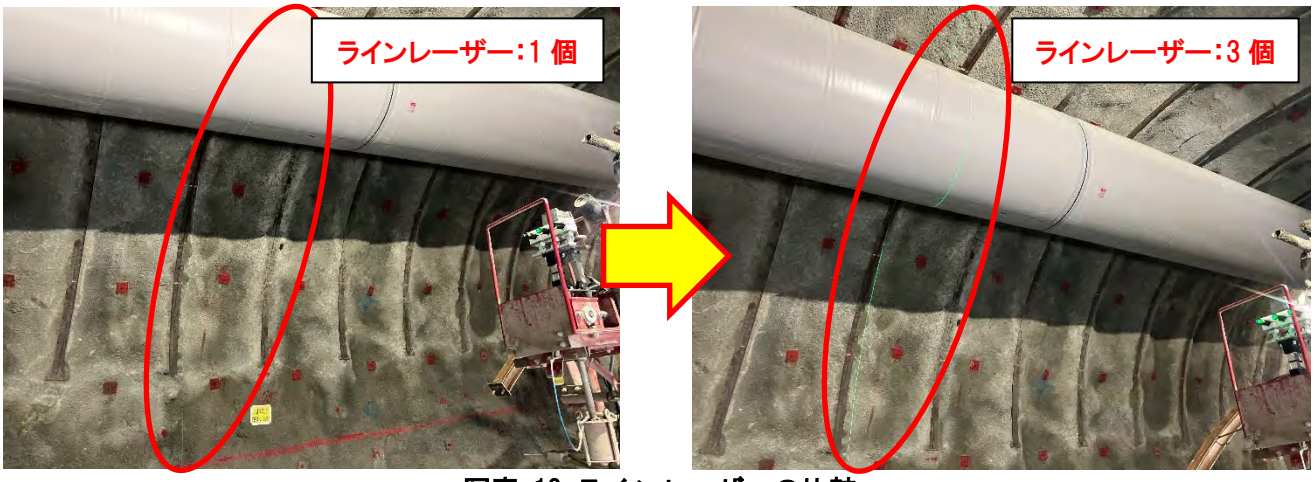


写真-13 ラインレーザーの比較

b) 鋼製支保工の固定について

鋼製支保工と吹付けコンクリートとの定着を向上させるため，鋼製支保工にあらかじめアンカー筋を設置した．アンカー筋は天端付近と根足付近の片側 2 ヵ所ずつに設置した（**写真-14** 参照）．これにより鋼製支保工に設置したアンカー筋が 2 次吹付後に吹付けコンクリート内に固定されることで，吹付けコンクリートとの定着が向上し，ケレン時に鋼製支保工が動くことがなくなり，健全な支保を形成することに成功した．

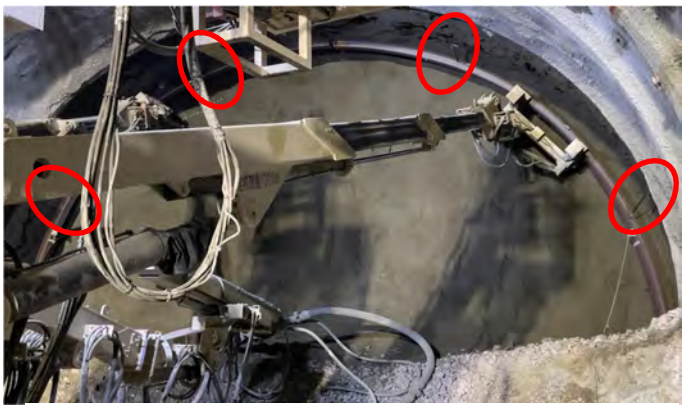


写真-14 アンカー筋設置状況

(4) 施工時間の考察

当現場において本技術を用いて約 450 基（CII-b パターン）の支保工建込を実施した．従来の建込方法では 15 分程度かかっていた建込作業が，現場の実績の平均では 11 分程度で建て込むことができ，4 分程度短縮することができた．建込を順調に実施した場合は 5 分程度で支保工建込を完了することも確認できた（**図-2** 参照）．

本技術における建込では，施工当初は 15 分程度かかることが多かったが，現在は 8 分程度で建込を完了することができるようになってきている（**図-3** 参照）．現場の施工においては，当初，ワンタッチ式継手ボルトの挿入完了までの時間が 5 分程度かかっていたが，回数を重ねることでカメラの画像を確認せずに締結が可能となり，ワンタッチ式継手ボルトの挿入時間が短縮され，最近では 3 分程度で挿入を完了することが可能となった．また，建込のラインレーザーの照度の改善も行ったことや回数を重ねたことにより，鋼製支保工の位置調整時間が 10 分程度から 5 分程度に短縮されている．

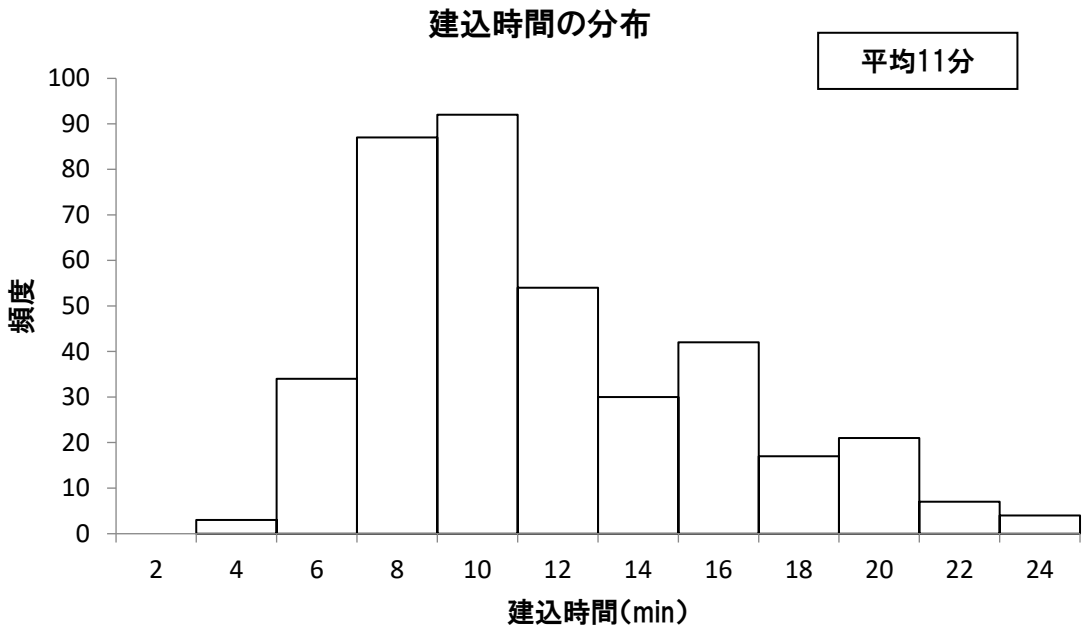


図-2 建込時間の分布

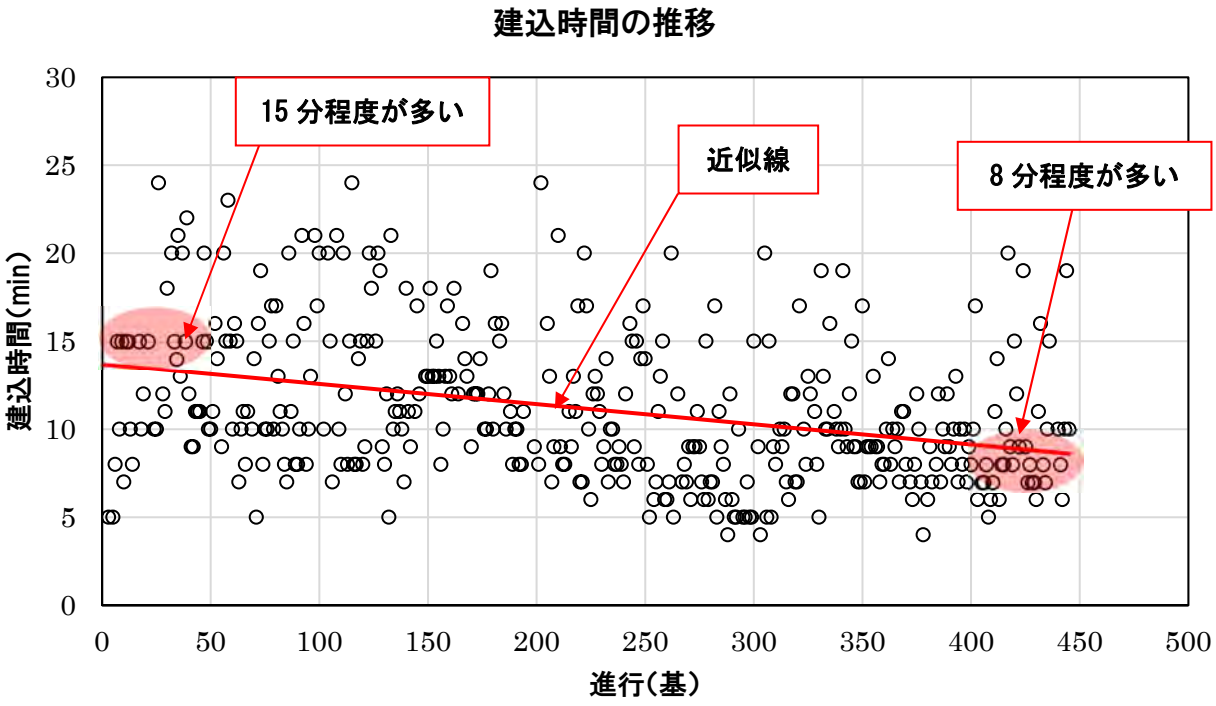


図-3 建込時間の推移

５．まとめ

本技術（T-支保工クイックセッター）により，切羽に立ち入る機会を減らすことができ，肌落ち災害防止対策として有用であることが確認できた．さらに，鋼製支保工の建て込み作業における省人化・生産性の向上を実現することができた．当現場における掘削作業においては残り約 1800m を予定しているため，使用を重ね，技術の精度向上や使用性の向上を図り，さらなる施工時間短縮につなげていきたい．また，切羽崩落による災害を発生させないため，建込時の切羽直下への作業者の立入を排除し，安全作業にて施工を行っていく．