

# 鋼製支保工建て込み 切羽無人化施工システムの試験施工報告

中村河川国道事務所 工務第二課 折田 拓哉  
中村河川国道事務所 工務第二課長 上岡 大悟  
中村河川国道事務所 建設監督官 吉香 英世

中村河川国道事務所では、建設現場における生産性と安全性の向上のため、ICT技術を用いた施工、新技術を導入した試験施工に取り組んでいる。取り組み現場の1つである国道56号窪川佐賀道路の平串トンネル工事（トンネル延長1,337m）は、NATMにより施工中である。NATMによる作業工程のうち、鋼製支保工建て込み作業において、鋼製支保工および施工機械を改良して切羽付近の無人化施工を実施し、生産性・安全性に与える影響を把握、評価する取り組み報告である。

キーワード 鋼製支保工, 切羽, 無人化, 遠隔操作, 生産性, 安全性

## 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、図-1に示すとおりトンネル工事全体の労働災害のうち、支保工建て込み作業時の労働災害が40%程度と多く発生している。平成28年12月には「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」が厚生労働省より公表され、労働者の切羽への立入りを原則として禁止し、切羽での作業は可能な限り機械化することが、事業者が行う望ましい対策として記載された。しかしながら、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、自動化・無人化対策が遅れているのが現状である。

これらを背景に、民間企業では、トンネル労働災害の最も多い切羽付近の無人化施工システムの実現に向けて技術開発を推進しており、本現場を試験フィールドにすることで、これらの技術開発を積極的に支援している。

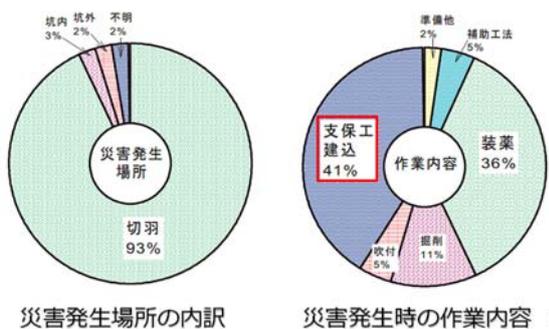


図-1 トンネルにおける労働災害に関する分析結果

## 2. 試験施工の概要

平串トンネル工事（トンネル延長1,337m）は、NATMにより施工中である。NATMによる作業工程のうち、鋼製支保工建て込み作業において、鋼製支保工および施工機械を改良して切羽付近の無人化施工を実施し、生産性・安全性に与える効果を把握、評価を行う。

表-1 工事概要

|      |                           |
|------|---------------------------|
| 工事名  | 令和2-5年度<br>窪川佐賀道路平串トンネル工事 |
| 路線名  | 国道56号窪川佐賀道路               |
| 工事場所 | 高知県高岡郡四万十町平串から見付          |
| 発注者  | 四国地方整備局中村河川国道事務所          |
| 受注者  | 戸田建設株式会社                  |
| 工事内容 | NATM L=1,337m             |

### (1) 試験施工の方法

試験施工は、受注者である戸田建設株式会社が技術開発している「鋼製支保工建て込み切羽無人化施工システム」により、一部区間において試験施工を行う。

表-2 試験施工時期・区間

|        |                                       |
|--------|---------------------------------------|
| 施工期間   | 令和4年2月28日～令和4年3月4日                    |
| 支保パターン | CII                                   |
| 施工量    | 18m(鋼製支保工15基)<br>終点側坑口から251.4-269.4m間 |

|      |  |
|------|--|
| 使用機械 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・エレクター一体型吹付機 1台</li> <li>・位置決めシステム 1式</li> </ul>                              |
| 使用材料 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼製支保工(改良型)</li> <li>・転倒防止アンカーボルト</li> <li>・金網</li> <li>・吹付けコンクリート</li> </ul> |

## (2) 鋼製支保工建て込み切羽無人化施工システムの概要

従来の鋼製支保工建て込み作業は、照射レーザーを基準に切羽直下の作業員の目視確認・指示によりオペレーターが操作する。これに対し、本システムは図-2に示す長尺化（従来 1m→5m）した把持装置を備えたエレクター一体型吹付機に位置決め測定用プリズムを設置し、写真-1に示す後方の自動追尾式トータルステーションで測定した鋼製支保工の位置をモニタリングしながら、微調整機構を用いて、精度よく計画位置に建て込むものである。鋼製支保工は長さが10m程度の部材であるため、従来の把持装置では移動設置時の部材端部のブレが大きく継手接合の作業性低下や施工精度の低下が懸念されたこと、また、鋼製支保工に測定用プリズムを設置すると撤去時に切羽近接作業が必要となることから、把持装置を長尺化して支保工全体を把持するとともに、測定用プリズムを把持装置に設置してプリズム回収作業を省略している。

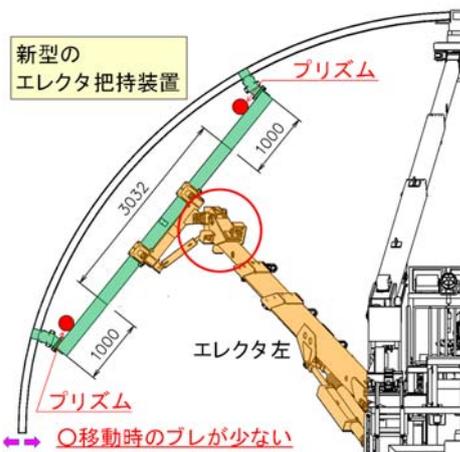


図-2 長尺化した把持装置を備えたエレクター一体型吹付機



写真-1 自動追尾トータルステーションと操作モニター

## (3) 鋼製支保工の改良

鋼製支保工における従来の継手接合は、作業員が切羽直下に立ち入り軸方向にボルト・ナットで接合する。本システムでは写真-2に示す左右H形鋼の継手端部にそれぞれ軸方向ピンとさや管をセットで配置した継手機構を採用し、軸方向で突合せ、ピン先端の溝にD字状のフックが収まることによりワンタッチで固定される構造としている。本接合方法とすることで継手接合作業の遠隔化と接合時間の短縮が図れる。継手機構は、写真-3に示す室内による曲げ試験により従来継手と同等以上の強度性能を発揮することを確認している。



写真-2 継手機構



写真-3 曲げ試験

## (4) 鋼製支保工間隔保持部材の改良

従来の支保工建て込みは、一次吹付け後、支保工建て込みを行うが、作業員が切羽付近に立ち入り、脚部の高さ調整用の皿板設置による位置決めおよびさや管につながる材を差し込み間隔保持を行っている。本システムでは、図-3、写真-4に示す転倒防止アンカーボルトを鋼製支保工の脚部と天端部にあらかじめ取り付けを行い、一次吹付け後に鋼製支保工をエレクター一体型吹付機で建て込み・位置決めを行う。その後把持した状態で、転倒防止アンカーボルトを取り付けている脚部と天端部に吹付け

コンクリートを施工し、支保工安定後に把持を解除する。

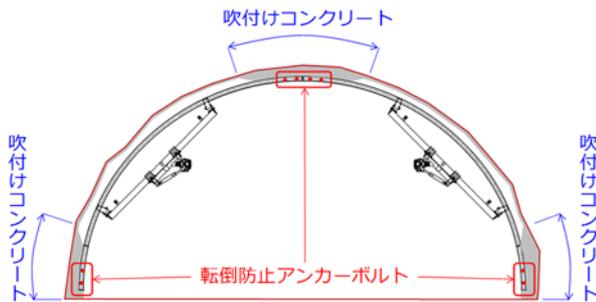


図3 間隔保持部材の改良



写真4 転倒防止アンカーボルト

(5) 施工手順

施工は図4に示す手順で行う。

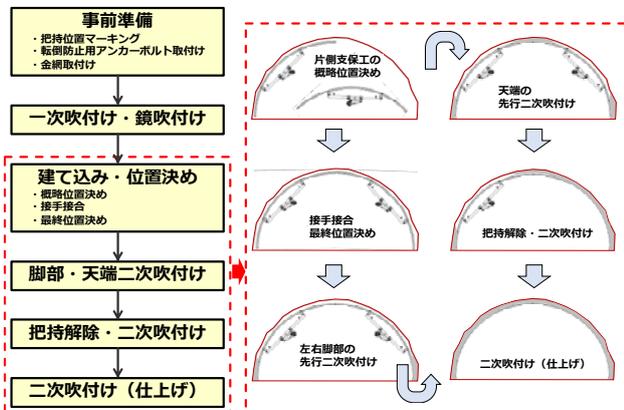


図4 施工手順

a) 事前準備

鋼製支保工に、転倒防止アンカーボルトを1基当り4箇所（左右で8箇所）および金網を天端90° 範囲に金網を取付ける。エレクター体型吹付機で把持する位置にマーキングを行い、エレクタで鋼製支保工を把持する。

c) 一次吹付け・鏡吹付け

掘削面の一次吹付けおよび鏡面の吹付けを行う。

d) 建て込み・位置決め

左右の鋼製支保工部材を既設支保工に接触しないように所定の建て込み位置まで移動させる。プリズム測定に先立ち、チルト（道路進行方向の傾き）およびダンブ

（道路横断方向の傾き）の角度を所定の値に合せ、鋼製支保工の鉛直度を保つ。把持装置に取り付けた測定用プリズムを後方に設置したトータルステーションを用いて自動追尾測定を行い、鋼製支保工の位置をモニタリングする。片側支保工の概略位置決めを行った後に、オペレータは目視にて天端継手を連結し一体化を行う。モニタを確認しながら支保工位置の微調整を行い、最終位置決めを行う。

e) 脚部・天端二次吹付け

転倒防止アンカーボルトを取付けた左右の脚部および天端継手部の二次吹付けを先行して行い、鋼製支保工の転倒防止を行う。従来行っている鋼製支保工脚部の高さ調整用の皿板設置を行わないため、鋼製支保工底盤と上半地盤との空気が大きくなっており、吹付け充填を確実にを行うよう留意する。

f) 把持解除・二次吹付け

片側のみ把持装置を解除し二次吹付けを行う。鋼製支保工が固定されていることを確認し、もう一方の把持装置を解除して残り範囲の二次吹付けを行う

g) 二次吹付け（仕上げ）

全周にわたり仕上げの二次吹付けを行う。

3. 試験施工の課題抽出と対応

(1) 鋼製支保工の改良

改良された鋼製支保工の継手は、遠隔操作時にスムーズな接合作業が行うことができ、施工後の変位も従来と変化はなく構造的な問題は無かった。ただし、従来のボルト構造に比べコストは1.10~1.15倍に増加する。転倒防止アンカーボルトによる間隔保持は、脚部・天端部の1次吹付完了後の把持解除時に鋼製支保工の倒れ込み、吹付けコンクリートのクラックも発生しておらず、遠隔操作でも安定した建込作業が可能であった。金網は写真-5に示すとおり鋼製支保工に取り付けを行い同時に設置する方法をとったが、金網を取り付けた状態で建て込み作業を行うと、既設支保工や地山への接触により簡単に变形してしまった。この課題を解消するには、遠隔で作業可能な代替え構造などの検討が必要となった。



写真5 金網の取り付け状況

## (2) 施工機械の機能・操作性

建て込み作業の生産性と施工機械の機能・操作性を確認するため、建て込み時間を計測した結果を図-5に示す。金網を事前に支保工に取り付けた初回のNo.242では、金網が既設支保工等との接触による変形の発生と既設金網とのラップが容易に出来なかったため、以降の作業では一次吹付け後の支保工建て込み前に設置することに変更し、金網設置は今後の課題となった。No.242～No.248の建て込みに多くの時間を要した。機械には微調整機構が搭載されているが、これを使用すると移動が低速となる。作業を急ぐオペレータが、微調整機構を使用していなかったため逆に位置調整時間が多くなってしまった。オペレーターへの微調整機構を使用した操作熟度を上げる必要がある。位置決めガイドシステムの自動追尾トータルステーションは、当初1台で計測を行ったが、左右の把持装置の計測が必要なことから、1台では多くの時間を要したため、2台の計測に変更することにした。微調整機構の使用と自動追尾トータルステーションの台数変更により、No.250～No.253の建て込みでは時間短縮が可能となった。

| 区分           | 作業          | NO.242 | NO.245             | NO.248 | NO.250 | NO.253 |  |
|--------------|-------------|--------|--------------------|--------|--------|--------|--|
| 事前準備         | 金網（事前準備時取付） | 8      | →変形により建て込み前取り付けに変更 |        |        |        |  |
| 建て込み<br>位置決め | 金網（建て込み前取付） | —      | 3                  | 2      | 4      | 3      |  |
|              | 接手接合        |        | 7                  | 10     | 8      | 5      |  |
|              | 位置決め        | 39     | 28                 | 41     | 4      | 8      |  |
| 合計           |             | 47     | 38                 | 53     | 16     | 16     |  |

図-5 建て込み時間

建て込み精度については、管理基準値は無いが、遠隔操作による建て込み精度を把握するため、設置計画位置に対する目標値として、従来の自動化に係る施工機械の位置決め精度が±50mm程度の誤差の発生があることを参考に、より小さい±30mmと設定した。建て込み精度の確認結果を図-6に示す。位置決めシステムのモニタ表示に従い施工を行ったが、目標値に対する誤差が大きくなるケースがあった。これは把持位置の誤差、チルト・ダンプの傾斜計のズレなどの要因と考えられる。把持位置を正確にするためには、鋼製支保工製作時にあらかじめマーキングを行うかストッパー等で一定位置で把持できるような検討と十分なキャリブレーションによる誤差調整などが必要であった。

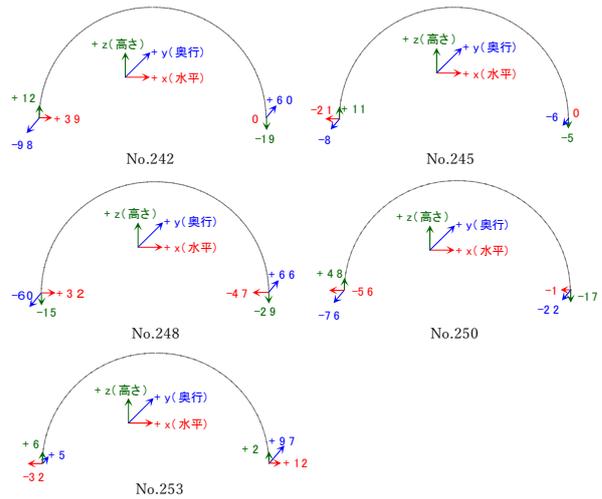


図-6 建て込み精度

## (3) 施工手順

計画した施工手順については、(1)にあるように鋼製支保工に金網を設置すると建て込み時に変形があったため、今回の試験施工においては完全な無人化ができない大きな要因となった。また、(2)にあるように位置決めシステムの設置誤差が大きい場合があったことから、把持位置のマーキングは現地作業では誤差が生じるため、鋼製支保工製作時にあらかじめマーキングを行うかストッパー等で一定位置で把持できるような手順変更の検討が必要である。

## 4. 今後の展望

試験施工の結果、金網の遠隔操作設置に課題を残し、検討が必要である。一方で、四国地方整備局設計便覧の標準支保パターンでは金網を設置することとしているが、高速道路株式会社が施工するトンネルでは高強度吹付けコンクリートを採用した金網不要の支保パターンが標準採用されている。金網不要の支保パターンを採用することが可能とすれば、金網の遠隔操作設置が不要となることから、本システムによる切羽無人化施工が可能となることも考えられる。遠隔操作による設置時間の短縮や精度向上については、施工機械・ICT技術の開発や、新技術の活用により、さらなる向上が期待出来る。切羽付近の無人化施工を実現するには、今回試験施工を実施した戸田建設のみならず、トンネル施工に携わる業界による協力と官民連携が求められる。

## 参考文献

- 1) (独)労働安全衛生総合研究所：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