

新工法紹介 機関誌編集委員会

04-401	切羽安定度予測システム TFS-learning	安藤ハザマ
--------	-----------------------------	-------

概要

山岳トンネルの施工において、発破孔に爆薬を装填する作業や鋼製支保工を建込む作業は、切羽面からの落石や崩落などに対する危険が伴う。そのため施工現場では、素掘り状態の切羽に鏡吹付けコンクリートを施工し、肌落ち災害を防止する対策を実施している。また、更なる対策として、切羽面直下で作業を行う際には、切羽の安定度を目視で監視する切羽監視責任者を配置する現場が増えている。しかしながら、目視観察による確認だけでは、切羽監視責任者の経験に依存する部分が多く、切羽の不安定箇所を見落とし、災害につながるおそれがある。そのため、切羽の安定度を確実に把握し、安全対策を講じることは、切羽作業の安全性を確保する上で非常に重要である。

以上を踏まえ、当社は、2016年に発破孔の削孔時に得られる短尺の削孔データを用いて、切羽評価点を指標に発破後に露出する切羽の安定度を予測するシステム（TFS-learning：Tunnel Face Stability calculate system by machine learning）を開発した（図－1）。更に、2018年に長尺鏡ボルトや削孔検層などの長尺の削孔データ（図－2）を用いて、切羽前方の切羽評価点を予測し、地山等級を判定する機能などを追加した。

TFS-learningは、切羽から油圧削岩機で削孔する発破孔や削孔検層などから得られる削孔データ（削孔速度、打撃圧、回転圧、フィード圧）を使って切羽評価点を予測し、切羽の安定度を予測するものである。切羽安定度の評価指標に切羽評価点を用いるため、定量的で精度の高い予測が可能である。また、図－1に示す画面で、切羽安定度の予測結果をカラーコンター

図で表示させ、不安定箇所を暖色、安定箇所を寒色で表現することで、切羽の安定度を可視化し、切羽作業の安全性を確認する技術として、現在まで数多くの現場に適用してきた。

特徴

TFS-learningは、以下の3つの機能を有する。

①短尺削孔モード機能

発破孔の削孔データを用いて、発破後に露出する切羽（1.0～2.0 m 先）の切羽安定度を予測する機能である。発破孔の削孔データを使用するため、切羽面を網羅的に評価できる。

②長尺削孔モード機能

長尺鏡ボルトや削孔検層などの長尺削孔データを用いて、切羽前方（10～30 m）の切羽評価点を予測し、地山等級を判定する機能である。

③フェイスマッピング機能

TFS-learningの予測結果として出力されるカラーコンター図を、10,000ルーメン以上の明るさを有するプロジェクターにより切羽面へ投影する機能である。切羽に直接、カラーコンター図を投影することで、全ての切羽作業員が切羽の不安定箇所を確認することができる。

用途

- ・山岳トンネル施工現場での安全管理

実績

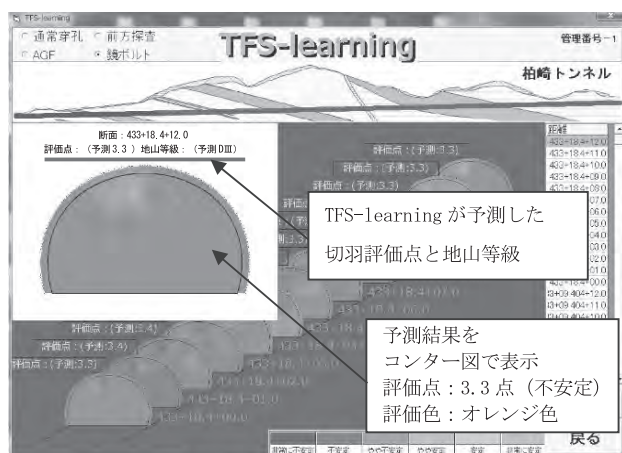
- ・国交省東北地整発注 国道108号新箱石地区道路工事
- ・国交省北陸地整発注 国道8号柏崎トンネル（山岳部）工事

問合せ先

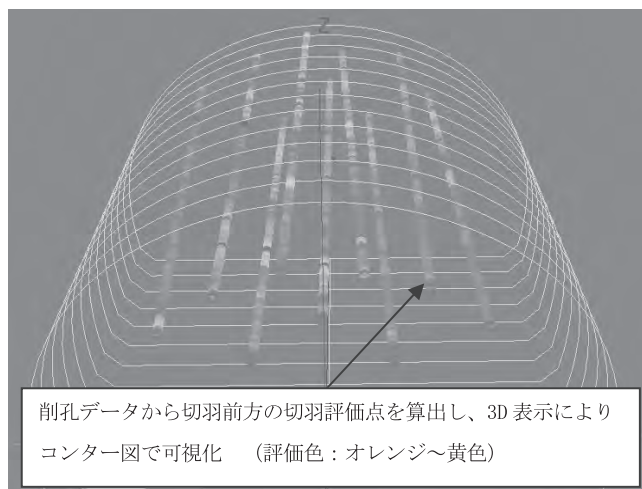
㈱安藤・間 建設本部土木技術統括部技術第三部

〒107-8658 東京都港区赤坂6-1-20

TEL：03-6234-3673



図－1 TFS-learningのシステム画面



図－2 長尺鏡ボルト 削孔データの一例

新工法紹介

04-403	Te-S アシスタント	福田組 NEC NECソリューションイノベータ 演算工房
--------	-------------	---------------------------------------

▶ 概 要

山岳トンネル工事における掘削作業では、設計断面を確保するために適正な形状で掘削がなされているかを確認する必要がある。通常は、作業員の目視により過不足を確認しているため、掘削が足りていない場合は、トンネル断面が確保できない恐れが発生し、逆に掘削しすぎた場合は、作業手間のロスや、吹付けおよび覆工コンクリート等のロスにつながる。特に、切羽での目視確認は切羽に接近して行うため、切羽崩落災害に巻き込まれるリスクも付きまとう。このため、効率的かつ手軽に掘削形状を確認する手法が求められていた。

そこで、山岳トンネルにおける施工管理の効率化を目的とし、SfM (Structure from Motion) 技術を活用した写真測量によりトンネル掘削時の仕上がり状況を可視化しガイダンスする「Te-S (ティーエス) アシスタント」を開発した(図-1)。このシステムは、切羽およびインバート等の掘削箇所を撮影した画像を用いて点群データを生成し(図-2)、掘削形状と設計図面とを比較表示できるため(図-3)、作業員はリアルタイムかつ面的に掘削の過不足を把握でき、無駄の少ない効率的な作業を行うことができる。

▶ 特 徴

① オンサイトでのリアルタイム管理

撮影画像は無線 LAN 環境のもとでタブレットパソコンに自動転送され、点群化から掘削状況の評価までワンタッチで高速(約2分程度)に処理することにより、オンサイトでのリアルタイム管理を実現する。



図-1 Te-S アシスタント システム概要

② 出来形管理の効率化と省力化

画像撮影時以外は作業中断の必要がないため、掘削作業を行いながらの出来形管理が可能である。また、画像撮影とタブレット操作を同一人員で行えば、ワンオペでの出来形管理が可能である。

③ 面的な出来形管理の実現

評価結果は、コンター図および断面図として表示されるため、面的管理が実現できるだけでなく、出来形の過不足が一目瞭然となる。

④ 特殊な機器を使用しない安価なシステム

画像から点群データを生成する SfM 技術を活用することにより、カメラ、タブレットパソコンおよび解析ソフトウェアのみにより構成される安価なシステムである。

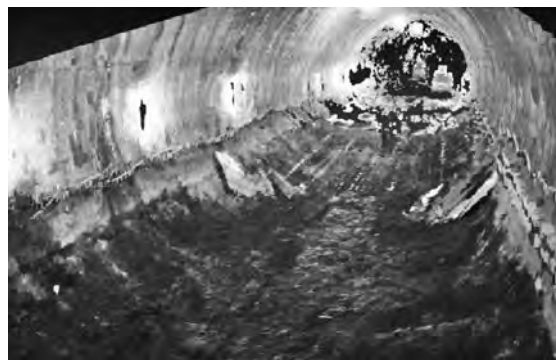


図-2 生成した点群データの例

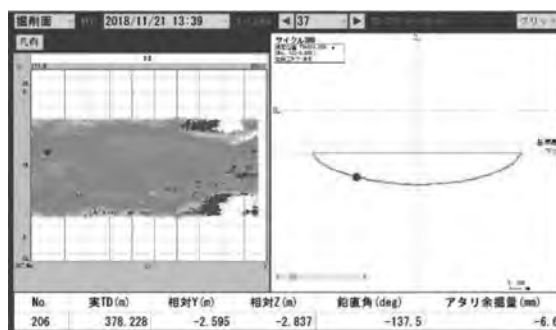


図-3 掘削出来形の評価結果の例

▶ 用 途

・山岳トンネル工事, 他

▶ 実 績

・山岳トンネルのインバート掘削 (一部区間に試験導入)

▶ 問 合 せ 先

(株)福田組 総務人事部総務部 赤川, 永原, 石井
〒951-8668 新潟市中央区一番堀通町3番地10
TEL: 025-266-9121

新工法紹介

04-404	遠隔立会システムによる 山岳トンネル ICT 施工管理	清水建設
--------	--------------------------------	------

▶ 概 要

山岳トンネル工事では、発注者の工事事務所が現場から離れているケースが散見される。そうした現場では、品質・出来形検査に立会う検査員は長時間を掛けて現場まで移動するとともに、施工者側には待機時間が発生する。そこで、発注者、施工者双方の検査・管理業務の生産性向上のため、タブレット端末を用いたリアルタイム遠隔立会システムを開発した。これにより、双方のロスタイムを減らすとともに、遠隔地の端末上で施工状況の確認から記録写真・帳票の承認に至る一連の検査プロセスを完結できる。本システムを稼働中の山岳トンネル現場にて実証し、適用性と有効性を確認した（図－1）。



図－2 遠隔立会状況（吹付けコンクリート厚さ検測）

▶ 特 徴

本システムは、テレビ会議機能と検査値入力・立会写真撮影機能を備えた遠隔検査ソフト、施工者用のタブレット端末、発注者の工事事務所に設置する閲覧用 PC、サーバー PC、トンネル内無線通信網等で構成される。

システム利用時は、発注者工事事務所の閲覧用 PC とトンネル坑内のタブレット端末をインターネットにつなぎ、タブレット端末から配信する坑内映像および施工者が入力する検査結果を両方で共有しながら、品質・出来形検査を進める（図－2）。

施工者が電子黒板付き立会写真を撮影し、発注者側が承認ボタン（スタンプ）を押下することで承認手続きが完了する。承認後、施工者タブレット画面には承認済 OK ボタンが明示され（図－3）、これを押下することによって、発注者様式に自動変換された立会写真・帳票データが、サーバー PC に即座に保存され、WEB 上で閲覧・ダウンロードが可能となる。

本システムにより、施工者は検査結果のリアルタイムなデータ保存・帳票出力まで行えるので、記入・転記ミスを無くし、データ管理の簡略化・書類作成の負荷が軽減できる。また、従来の現場立会と比較して立会時間は概ね同等であり、従来の現場立会と同様の流れで品質・出来形の立会検査が可能であることを実証した。



図－3 遠隔立会時発注者閲覧画面

▶ 用 途

・山岳トンネル工事全般

▶ 実 績

- ・湯浅御坊道路 川辺第一トンネル北工事
（発注者 西日本高速道路㈱ 関西支社）
- ・トンネル延長 2,641 m、内空断面積 55 m²

▶ 問 合 せ 先

清水建設㈱ 土木技術本部 開発機械部
〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1
TEL：03-3561-3886

新工法紹介

06-19	縦取り式スリップフォーム工法	佐藤渡辺
-------	----------------	------

▶ 概 要

コンクリート舗装は、アスファルト舗装に比べて長寿命化が期待できることから重交通路線、幹線道路やトンネル内で積極的な採用が検討されている。スリップフォーム工法による連続鉄筋コンクリート舗装（以下、CRCP）の施工は、一般的に生コンクリート（以下、生コン）の供給を横取り機（横取り供給方式）で受けるようになっていたため、二車線相当の作業スペースが必要である。このため多くの場合、施工中は車両の通行ができないなどの制約が多い工法である。

本文は、この状況を解消するため自社開発による「縦取り機（縦取り供給方式）」を用いたスリップフォーム工法によるCRCPの施工について紹介するものである。

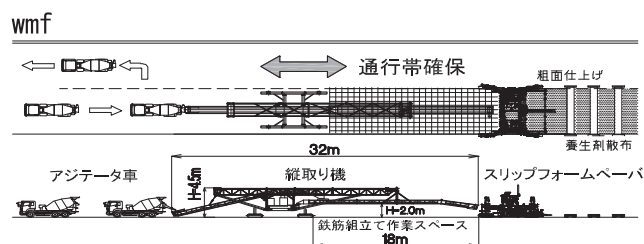
[NETIS 登録番号 KT-170048-A]

▶ 縦取り機の仕様および機械編成

本縦取り機は、スリップフォームペーバ（ヴィルトゲン MF600）をベースとして、トラスフレームおよび生コン供給用ベルコンを装備した構造である（表—1、図—1）。また、供給用ベルコン直下に鉄筋組立てスペース（L = 18 m）を確保し、鉄筋運搬台車を牽引できる構造となっている。

表—1 縦取り機の仕様

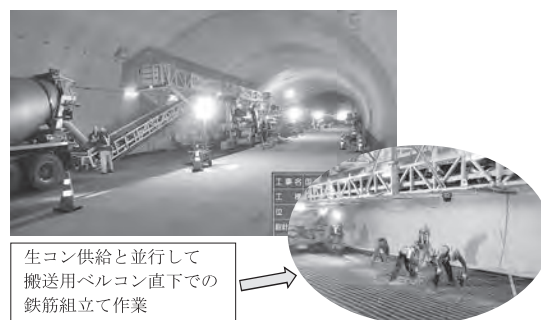
機械諸元	長さ	32 m
	高さ	4.5 m
	全 幅	3.5 ～ 6.25 m（施工時）
機械性能	走行速度	0 ～ 4.5 m/min（施工時）
	生コン搬送能力	60 m ³ /h
	コンベア速度	60 m/min
	水平ベルコン揺動	約 ± 2.5 度（水平振り角度）
	鉄筋組立てスペース	18 m



図—1 施工機械編成

▶ 特 徴

- 1) 二車線中一車線での施工が可能となり、一車線（隣接車線）を通行帯として利用できる（図—1、写真—1）。
- 2) 施工区間が一車線となり隣接車線が通行帯として利用できることにより他区間での他工種の施工が可能である（工程短縮）。
- 3) 材料運搬車（アジテータ車）の搬入、荷下ろしがスムーズに行える。待機時間が少ない。1日当たりの施工量の増大が見込め、生産性の向上が期待できる。
- 4) ベルコン直下のスペースで生コン供給と並行して鉄筋組立て作業が行えるため施工前の鉄筋の運搬（間配り）の必要がなく準備工の省力化が図れる。事前の鉄筋組立て日数の短縮ができる（工程短縮、残業の短縮）。
- 5) 生コン供給、鉄筋組立て、打設、養生作業が一車線内で一連の作業となるため作業間の錯綜がないことから安全性が向上する。



写真—1 縦取り式スリップフォーム工法による施工状況

▶ おわりに

今後の課題として、「縦取り機の組立て、解体」の場所の確保とその時間が必要となることから、組立て・解体が容易となる構造や縦取り機が適用できる補修方法、用途の検討を行っている。

▶ 用 途

- ・連続鉄筋コンクリート舗装
- ・橋梁の鋼繊維補強コンクリート（SFRC）による鋼床版補強工事

▶ 実 績

- ・中部横断富士栂根地区舗装工事他多数

▶ 問 合 せ 先

(株)佐藤渡辺 工事本部技術部

〒106-8567 東京都港区南麻布 1-18-4

TEL：03-3453-7358