

LiDAR を活用したインバート工の出来形管理

(株)福田組 非会員 ○ 西村拓也
正会員 若月和人
正会員 椎谷成孝
非会員 大道康晴

1. はじめに

山岳トンネル工事では ICT・DX 活用によりマシンガイダンスや遠隔施工等による効率化が一部で実施されているものの、未だに作業員の経験や勘に依存する面もある。施工管理においても部分的には ICT 化されているが、複数人で手間のかかる測定を行う必要がある。

従来のインバート掘削過不足確認は、トンネル左右に高さ基準となる釘を設けて水糸を張り、そこからの下がりや定規（標尺または目印を付けた棒）で測定する方法であった（写真-1）。この方法では作業を一時中断することが多い。加えて面的管理ではなく点的な確認にとどまるため、測定箇所以外は確認できない。

また、インバートコンクリート厚さの出来形管理も手間のかかる作業が必要である（写真-2）。

上記管理の効率化が進まない要因としては、①非 GNSS 環境であるため、坑内では測量に GNSS が使用できないこと、②3次元レーザースキャナが費用対効果（価格、機器の取扱いや後処理の手間）の面で TS やレベル等に劣り導入が進まないことが挙げられる。したがって、低コストかつ簡便に 3次元データを取得し、即時の過不足判定が可能な“面的管理”の出来形確認手法の確立が望まれる。

本稿では、小型かつ比較的安価な LiDAR センサを用いた出来形管理システム（以下、本システム）の現場適用事例を報告する。

2. LiDAR を用いた出来形管理システムについて

2.1 システムの概要

本システムの概要を図-1 に示す。LiDAR 測定ユニットは、専用架台に LiDAR センサ×2、位置測量用



写真-1 従来方法による掘削出来形管理（掘削後）



写真-2 巻立空間確認（従来方法）

プリズム×3、無線機 BOX を搭載したもので、一般的な測量用三脚に取り付け可能である。センサへの点群取得の指示および取得結果の確認は Wi-Fi 通信によりタブレット PC の本システム専用ソフトで行う。

構成機器の仕様を表-1 に示す。LiDAR センサは価格が比較的安価かつ必要十分な精度を有する機種を採用した。ただしセンサの鉛直視野角が 59° と限定され、1つのセンサでは必要な測定範囲（1 スパン≒約 10m）が得られないことから、センサは下向きと水平方向に 2 個設置した。

2.2 測定方法

測定の実施フローを図-2 に示す。まず LiDAR 測定ユニットを三脚に取り付け測定したい箇所に設置す

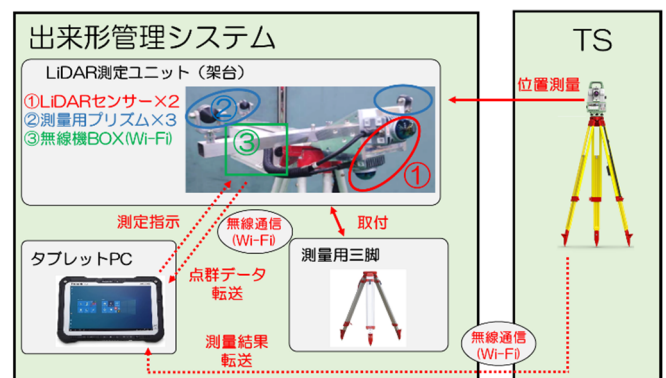


図-1 本システムの概要

表-1 構成機器の仕様

機器	機種名	主な性能
LiDAR センサ	Livox Mid-360 	水平視野角: 360° 鉛直視野角: 59° スキャン速度: 20 万点/秒 測定精度 (1σ): 2cm (≦10m)
タブレット	Panasonic FZ-G2 	OS: Windows 11 Pro CPU: Intel Core i5-10310U メモリ: 16GB 画面サイズ: 10.1inch 解像度: WUXGA (1920×1200)

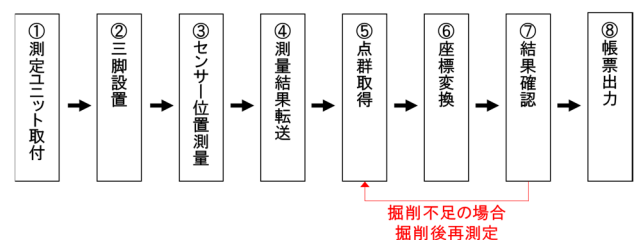


図-2 測定フロー図

る．設置が完了したらセンサの位置および姿勢を特定するために TS(トータルステーション)でプリズムを測量する．位置測量結果は坑内 Wi-Fi でタブレットの専用ソフトに転送され、点群取得を開始する．点群取得結果はタブレットに転送され、タブレットで絶対座標に変換する．最後に設計のトンネル形状と比較するために、絶対座標からトンネル中心を原点とした相対座標 (TD(坑口からの距離), 相対 Y, 相対 Z) を計算する．

2.3 測定結果の確認

測定結果の表示例を図-3 および図-4 に示す．測定結果はトンネル展開図や断面図により掘削の過不足の状況をすぐに確認することができる．掘削不足の場合はタブレットに表示された掘削不足箇所を掘削した後、すぐに再測定を行い掘削が完了したか確認する．

コンクリート厚さは掘削完了後とコンクリート打設後の 2 回測定し、その差分により計算する．

3. 実現場での導入結果について

3.1 導入結果

弊社施工の 2 車線道路トンネル工事にて本システムを活用して、インバートの掘削過不足確認および出来形管理を実施した．

本システムを導入した結果、ワンマンでの掘削出来形確認が可能となった (写真-3) ．また、1 回の測定で 1 スパン (10.5m) 以上を一括して取得でき、取得直後に三次元点群から過不足の可視化および即時判定が行える．これにより作業中断時間を削減できた．

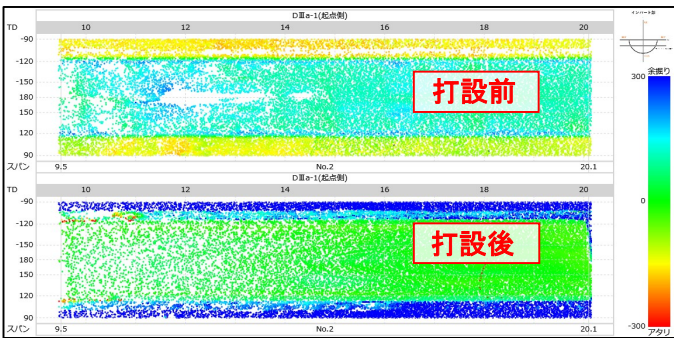


図-3 点群取得結果表示例 (トンネル展開図)

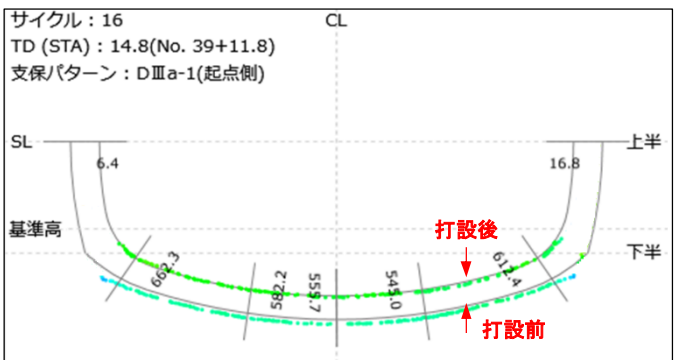


図-4 点群取得結果表示例 (トンネル断面図)

また、打設前の出来形管理項目である巻立空間確認においても、従来の水系を用いた点測定に比べ作業時間を大幅に短縮できることを確認した (表-2) ．加えて、面的に取得したデータにより任意位置での確認が可能となり、再作業低減に効果があることを確認した．

3.2 課題と対策

当現場ではトンネル全線に Wi-Fi 環境を整備しているものの、場所によっては不安定な通信状態となる．これにより測定が不能となるまたは、時間を要する事象が度々生じた．アクセスポイントを増やすなど、坑内 Wi-Fi 環境を改善することが必要である．

また、点群データの変換作業においてタブレット PC の処理落ちも頻繁に発生したことから、点群の間引きや PC の高性能化を検討したい．

4. おわりに (今後の展望)

本稿では、インバートに対する本システムの現場適用結果を示し、ワンマン運用・面的把握により、従来の水系 + 点測定に比べて作業中断時間が短縮できることを確認した．一方で坑内の Wi-Fi 通信状況等により測定が滞ることがあるなど、運用上の改善余地も見られた．

今後は本システムの適用範囲をトンネルアーチ部にも拡大し、覆工コンクリート出来形管理を実施したい．



写真-3 LiDAR 測定状況

表-2 巻立空間確認 作業時間の比較

従来の測定		LiDAR による測定		
準備	5 分	①計測ユニット 取付	1 分	8 分
		②三脚設置	1 分	
		③位置測量	5 分	
		④測量結果転送	1 分	
測定	20 分	⑤点群取得	2 分	
データ整理	30 分	⑥座標変換	2 分	4 分
		⑦結果確認	1 分	
		⑧帳票出力	1 分	
片付け	5 分	片付け	5 分	
合計	60 分	合計	19 分	