

インバート掘削管理システムを応用した3次元情報生成システムの開発

五洋建設 土木技術部 正会員 ○持田 真輝, 坂元 秀行
非会員 前田 智之

1. はじめに

山岳トンネルのインバート工における掘削出来形管理は、トータルステーションで掘削面を直接ノンプリズムで計測する方法もあるが、一般的には高さの基準線を設け、トンネルセンターからの離れに応じた下がり高さで管理を行っている(写真-1)。この方法では、オペレーターだけで高さの確認ができないことから、掘削作業時に補助員が必要である。また、トンネル掘削のずり出し中は多くのダンプトラックが作業エリア直近を通行し、ほかの作業時も工事車両が断続的に通行することから安全確保や基準ラインを設置できない等の制約がある。加えて、施工範囲を連続的かつ面的に管理できないため掘削不足や余掘りが大きくなりやすい等の問題もある。そこで筆者らは、これらの問題を解決するため、3D LiDARを利用した「インバート掘削管理システム」を開発した¹⁾。

本稿は「インバート掘削管理システム」の概要および実用化に向けた現場実証実験において誤差が生じた原因の分析結果、今後の展望について報告するものである。

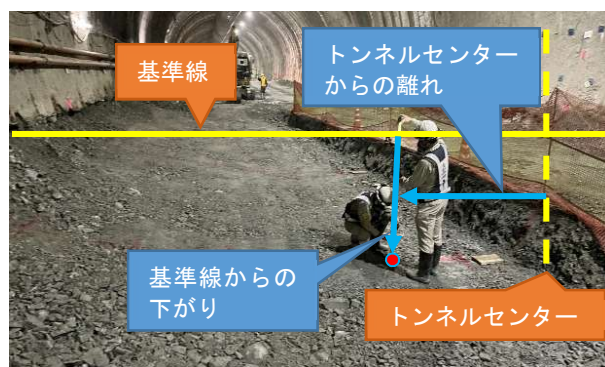


写真-1 インバートの掘削出来形管理

2. インバート掘削管理システムの概要と試行結果

(1) システム概要

本システムの概要図を図-1に示す。本システムは3D LiDARで掘削中の形状点群データ（インバート掘削面）を取得し、事前に作成した設計データとの差分を連続的に算出し、出力するシステムである。算出した差分結果をバックホウの運転席に取り付けたタブレットに表示することで、オペレーターが運転席に座ったままの状態でも掘削過不足の状況を把握できる。3D LiDARでの点群データ取得、パソコンでの演算、タブレット画面の情報更新までの時間はほぼリアルタイムであるため、オペレーターは常に掘削高さを確認できる。

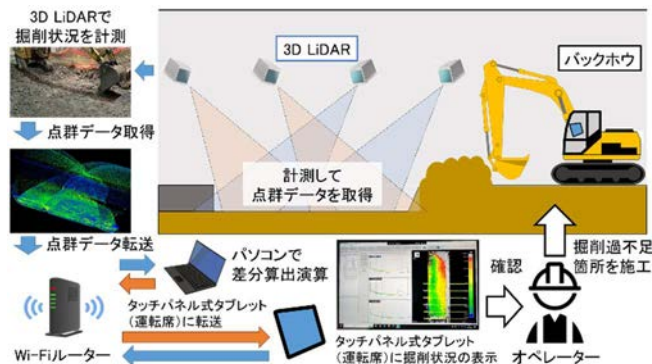


図-1 施工中のシステム概要図

(2) 実証実験結果

本システムを現場で実用化するにあたり現場実証を行い、測定精度と現場で運用するための課題等の確認を行った。実験概要図を図-2に示す。実験の結果、本システムを用いることで、オペレーター1名での施工が可能となり、掘削中に必要な管理人員を2名削減できた。また、工事車両通行時やトンネル掘削のずり出し等の作業状況による管理のタイミングに制約を受けることなく掘削作業を行うことができた。補助員等が重機作業範囲に入ることもないため、安全確保にも有効であった。

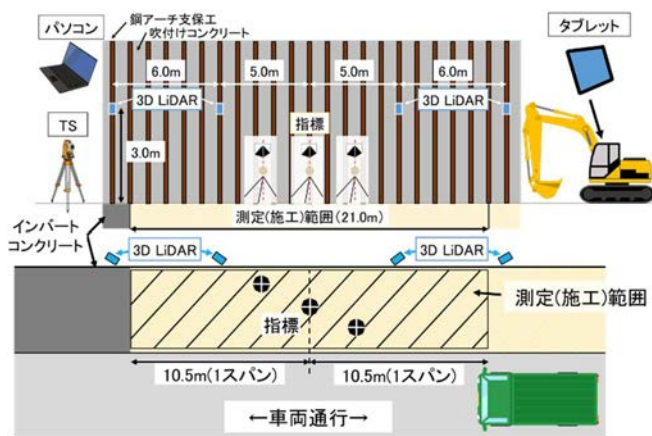


図-2 実験概要図

キーワード 山岳トンネル, インバート, 3D LiDAR, 連続管理, 自動化

連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8 五洋建設株式会社 土木本部 土木技術部 TEL 03-3817-7531

取得点群データと測量データの差で精度検証を行った結果を表-1に示す。一部誤差が大きくなったが、位置を表すX,Y座標では95%が30mm以下であり、高さを表すZ座標では全測点が20mm以下であった。高さ誤差20mmは、九州地方整備局の出来形管理基準²⁾や、NEXCOの土工施工管理要領³⁾に示されている管理値 $\pm 50\text{mm}$ を十分に満足している。インバートの掘削管理として採用可能な精度であり、本システムはインバート掘削の高さ管理手法として有効であると考えられる。

3D LiDARを4台使用したことで重機の影もほとんどなく点群データを取得できた(図-2参照)。一方で、3D LiDARの台数が多いことで機器の設置や点群データの合成に手間と時間がかかることになり従来の掘削高さの管理と比べて、掘削作業中の手間を削減できたが、準備に時間を要することがわかった。実用化に向けて、キャリブレーションの簡略化および自動化を図りたい。

表-1 精度検証結果

測点	X座標差分値 (mm) (トンネル軸方向)	Y座標差分値 (mm) (トンネル軸直角方向)	Z座標差分値 (mm) (高さ方向)
①	-4.0	26.0	-10.0
②	17.0	7.0	0.0
③	-1.0	13.0	20.0
④	-15.0	7.0	5.0
⑤	-11.0	0.0	-4.0
⑥	12.0	-26.0	-17.0
⑦	26.0	69.0	-10.0
⑧	26.0	-1.0	5.0
⑨	-3.0	6.0	-13.0
平均	12.8	17.2	9.3

3. 誤差が生じる要因の分析

現場実証では4台の3D LiDARで点群データを取得し、それらを合成することで1つの点群データとした。山岳トンネル工事は明かり工事と異なり、特徴点が少ないため、点群データを合成する際の目印となるよう指標を設置した。本実験での指標の配置は図-3に示すように直線的であった。直線的に配置された場合、その直線を軸として回転方向に誤差が生じ、点群データを合成する際に誤差が生じたことが考えられる。その他にも3D LiDARの取得点群データの密度が不足し、点と点の間隔が空くことで点群データを合成する時に選択した指標の頂点がずれたことが考えられる。指標の配置は高さおよび平面的配置を直線的にならないように配置することである程度、解決可能であると考えられる。また、点群データの合成は人力で行っており、合成を行う人によって精度に差が生じることも要因であると考え、人為的誤差を無くす方法の検討を進める。

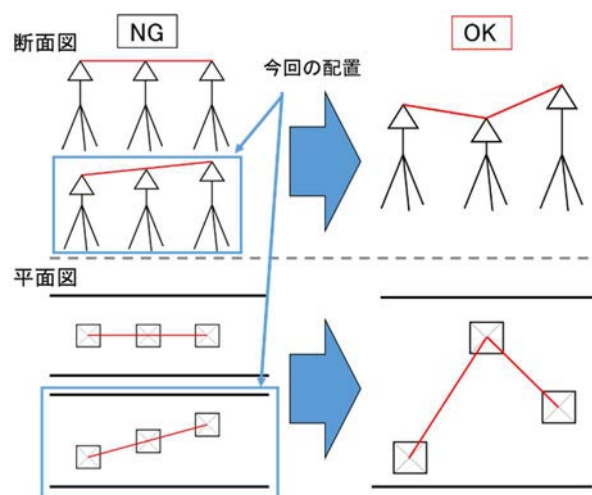


図-3 指標の配置

4. まとめ

今回改良したインバート掘削管理システムを現場で長期運用することで、実用化に向けてさらなる課題の抽出と改良を加えていく。また、本システムを利用して出来形の帳票や出力結果を、自社開発のBIM/CIMを活用した施工情報の収集共有システムであるi-PentaCOL⁴⁾に自動集約し、施工から帳票出力までを自動化する三次元情報生成システムの開発を目指す。

謝辞: 本技術の開発及び現場実証実験においては、ニシオティーアンドエム(株)の協力を得て行ったものであり、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 持田真輝, 前田智之: 3D LiDARによるインバート掘削管理システムの開発 2022年度最新トンネル技術講演会。
- 2) 国土交通省 九州地方整備局: 出来形管理基準および規格値, pp. I-4, 平成28年4月。
- 3) 東・中・西日本高速道路株式会社: 土工施工管理要領, pp9-3, 令和2年7月。
- 4) 五洋建設株式会社: BIM/CIMを活用した施工情報の収集共有システム(五洋施工情報収集共有システム(i-PentaCOL/3D)), 2020.3.23, <https://www.penta-ocean.co.jp/news/2020/200323.html>。