

1. はじめに

近年、山岳トンネル工事では、ICTや自動化技術の導入により精度の高い掘削や施工管理が省人化と合わせて可能となってきているが、地山の計測管理や測量は依然として人員を要している。本稿対象のインバート施工での掘削床付け高さ確認は、測量定規を用いた従来手法(写真-1)が一般的である。その確認は、点での管理となることから局所的な掘削不足や過度な余掘りが懸念される。また、インバートの床付けは曲面形状となることから、直線的に見通すことができず、目視で正確な掘削深さを確認することは困難である。実施工では設計厚さを確保するために余掘りを行うが、余掘りはコンクリートの打設数量に直結し、コストの増加につながる。そのため、余掘り量の低減は現場管理において重要な課題である。また、測量定規を用いた従来の高さ確認は掘削箇所付近の床付け面に技能者が立ち入るため、重機と技能者との接触が懸念される。

このため、インバートの掘削精度確保と安全性向上を目的にLiDARスキャナを用いた計測を三重県で施工中の養老トンネル南工事で実施し、その有効性を確認したため、結果を報告する。



写真-1 測量定規を用いた方法

2. 概要

LiDARとはレーザー光を利用して物体までの距離を測定し、対象物の3次元形状を高精度に把握する計測技術である。インバートの掘削時、三脚に取り付けたLiDARスキャナを、掘削進行方向の反対側でスキャンを阻害するものがない場所に据えて計測を実施する(写真-2)。掘削不足や余掘りの結果は、重機内のタブレットに表示され、オペレータは現地と見比べながら掘削できる。

使用計測機器は主にトータルステーション、LiDARスキャナ、タブレットで構成される。スキャナ本体のハード構成を以下に示す。LiDAR360°×2、三脚専用金物(全長700mm、幅650mm)、1インチプリズム×3、Windows PC(計測アプリ)、重量は約3kgである。使用するLiDARの計測可能範囲は水平視野角360°、垂直視野角59°であり、スキャナを2台用いることで計測対象範囲の全域の余掘り量を計測した。

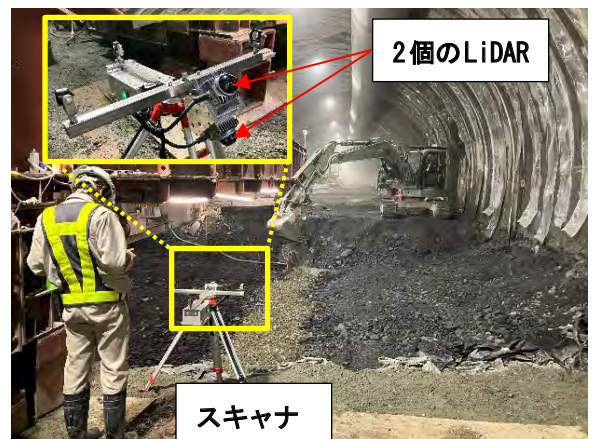


写真-2 LiDARを用いた計測実施状況

3. 計測フロー

計測手順を以下に示す。

- ① LiDARが搭載されている専用フレームに取り付けられた3点のプリズムをトータルステーションにて測量する。これよりフレーム本体に座標情報を付与でき、スキャン結果の点群データと現実空間の座標変換が可能になる。
- ② LiDAR計測の実施・出力を行う。スキャンの実施は約2秒、出力は約5秒で完了する。
- ③ 結果を専用のタブレットに取り込み、表示する(写真-3)。掘削不足部は赤色で表示される。余掘りとなる箇所は余掘り量が小さい箇所から大きい箇所にかけて緑～青で表示される。誤差は±20mmである。
- ④ 技能者(重機オペレーター)は写真-4のようにタブレットに表示された計測結果を見ながら、掘削不足が無く、余掘りが小さくなるよう掘削する。

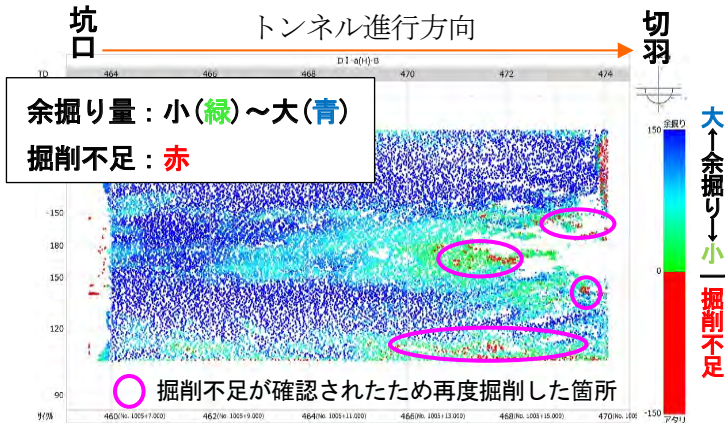


写真 - 3 スキャン結果



写真 - 4 スキャン結果表示状況

4. 計測結果

従来の手法で高さ確認をした掘削面(46BL~50BL)と LiDAR 計測を用いて管理した掘削面(51BL~55BL)の平均余掘り量を比較した(表-1)。比較は従来の手法における掘削も完了時に LiDAR 計測を行うことで平均余掘り量を算出することで実施した。また、両手法の平均余掘り量と実際に打設したコンクリート量を以下に示す(表 - 1)。

表 - 1 比較結果

	① 従来の手法	② LiDAR を用いた方法	差分
余掘り (mm)	91	58	33
コンクリート設計量(m ³)	61.3	61.3	-
コンクリート打設実績(m ³)	78.1	73.2	4.9
ロス率(%)	27.4	19.4	8.0

以上の結果から、従来の手法と比べて LiDAR 計測を用いた高さ確認では平均余掘りが 33mm 小さくなったことが確認された。また、実際に打設したコンクリート量を 8.0%低減することができ、コスト削減につながった。

次に作業効率として、それぞれの計測方法で 1BL (10.5m)あたりにかかった時間を比較した(図 - 1)。

従来の手法では、測量定規を持つ作業に 2名の人員で、合計 120 分間の作業時間を要していたが、LiDAR 計測を用いた方法では測量器を設置する 15 分のみとなり省人力化を実現した。

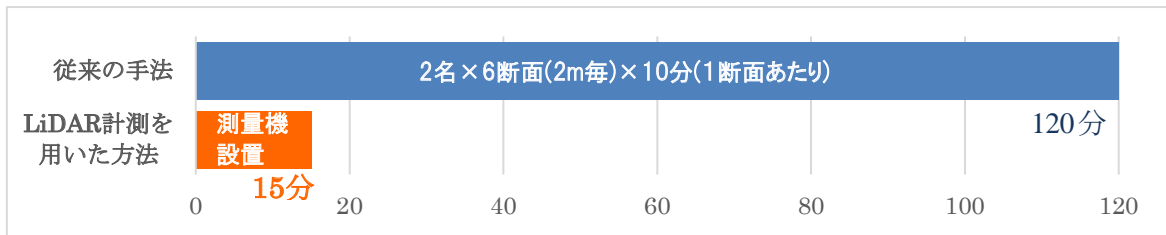


図 - 1 1BL あたりの計測に要する時間の比較

図 - 1 から LiDAR 計測を行うことで作業時間を 105 分短縮できた。LiDAR 計測を行うことで、重機が稼働する掘削床付け面に技能者が立ち入る時間が大幅に削減され、労働災害の予防としても有効であることが確認された。

5. まとめ

山岳トンネル工事におけるインバートの床付け作業に LiDAR 計測を適用することにより、掘削不足が無く、かつ余掘りを低減することができた。従来は測量定規を用い、任意の数カ所の高さを確認する「点での管理」を行っていたが、LiDAR 計測を用いた高さ確認を行うことにより「面での管理」が可能となり、掘削精度が向上し、品質を確保できた。また、コンクリートの打設量を減らすことでコストの削減や、技能者の生産性向上、掘削面に立ち入らないことによる安全性の向上も確保できた。

今後は、コンクリート打設高さの管理への展開や、更なるサイクルタイムの短縮と掘削精度向上に向けた取り組みを行う所存である。