

3次元レーザースキャナを搭載した四足歩行ロボットによる覆工コンクリートの出来形管理の有効性の検証

五洋建設 土木技術部 正会員 ○坂元 秀行, 持田 新太郎, 前田 智之
ペンタテクノサービス 佐藤 功一 鈴木 雅登

1. はじめに

従来の山岳トンネル工事における覆工コンクリートの出来形管理は、基準高さ、内空幅の測定と1施工単位(10.5m)ごとに妻部、中間部それぞれ7箇所、施工延長40~100mごとに天端もしくは肩部で検測孔によるコンクリート厚さの確認を行う。これらの測定項目はスチールテープ、レベルおよびトータルステーション(以下、TSとする)を用いて技術員が直接測定するため、時間と手間を要する。また、抜き取り検査であるため測定箇所以外の出来形を確認できないのが現状である。

本検証では、覆工コンクリートの面的な管理による出来形管理の高度化と省力化を目的に、3次元レーザースキャナが搭載された四足歩行ロボットの有効性を検証した。

本検証は2022年度国土交通省「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」によるものである。

2. 検証概要と使用器具

(1) 使用器具

本検証では測定装置としてBoston Dynamics社製の四足歩行ロボット「SPOT」にニコン・トリンブル社製の地上設置型3次元レーザースキャナ(以下、TLSとする)「X7」を搭載した自動巡回ロボットを用いた。取得した点群データの合成と座標を付与するためにスフィア(直径23cmの基準点)を採用した(写真-1参照)。

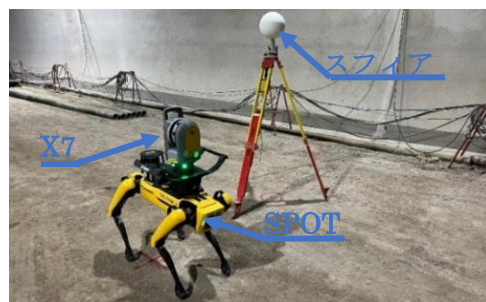


写真-1 使用器具

(2) 検証概要

本検証では従来の出来形管理の1つである覆工コンクリートの厚さ、基準高さおよび内空幅に着目して以下の検証を行った。使用したX7はTLSであるため、測定時にはロボットを静止させた。点群の演算処理には、汎用性を考慮してオープンソース化されているソフトウェア「CloudCompare」を用いた。

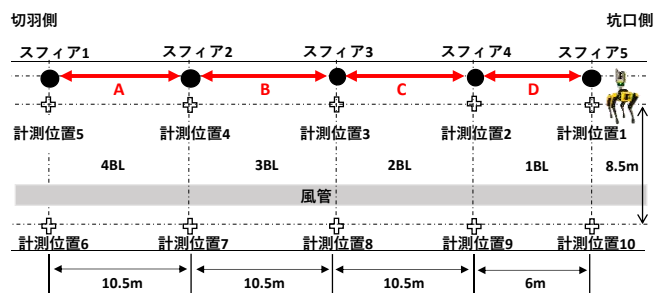


図-1 トンネル坑内での測定時の配置図

a) 計測機器の精度確認

使用した計測機器の測定精度を確認するため、TSの測定結果から得られた各スフィア間距離(A~D)と自動巡回ロボットで取得した点群から求めた距離の差を比較した(図-1, 2参照)。

b) 測定手法の精度と再現性の検証

今回行った測定手法の信頼性を確認するため、吹付けコンクリートの仕上がり面と覆工コンクリートの仕上がり面の5測点においてTSで測定した結果と自動巡回ロボットで測定した結果を比較した。

c) 点群データ取得率

トンネル坑内にある仮設備などの障害物によってTLSでは測定できない範囲が生じることが想定されるため、覆工コンクリートを面的に測定した際の点群データの取得率を確認した。

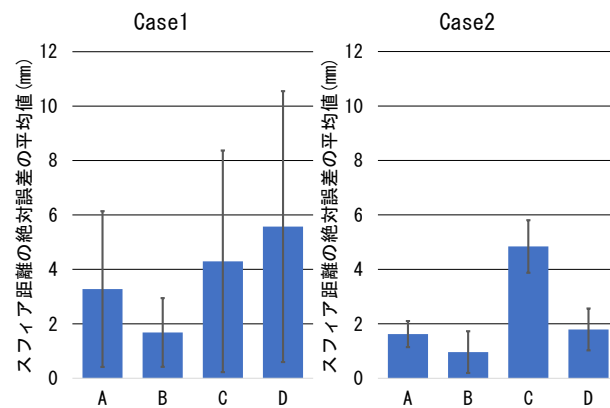


図-2 スフィア間距離の差の平均値と標準偏差

キーワード 山岳トンネル, 覆工コンクリート, 地上設置型3次元レーザースキャナ, 出来形管理

連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8 五洋建設(株) 土木本部 土木部門 土木技術部 TEL 03-3817-7531

3. 実証実験結果

(1) 計測機器の精度確認

図-2 に TS の測定値から算出したスフィア間距離（A～D）と TLS で取得した点群から求めたスフィア間距離との差の平均値と標準偏差を示す．図-2 の Case1 は各測点（10 測点）単体の点群データから，Case2 は 10 測点分の点群を合成した後の点群データからスフィア間距離を算出したものである．

Case1 では，TS と TLS の差は 1.5～6mm 程度であったのに対して，Case2 では 1～5mm 程度であった．また Case2 のほうが標準偏差が小さいことから，差のばらつきが少ないといえる．これは，点群データを合成することでスフィアの球心を求める際に使用する点群データ量が増加したため，Case2 の精度が向上したと考える．

(2) 測定手法の精度と再現性の検証

表-1 に吹付けコンクリート面と覆工コンクリート面の 5 測点（①～⑤）を TS と TLS で測定した値の差を示す．再現性の確認を目的に計 4 断面（断面番号 1～4）で測定値の差を算出した．

覆工コンクリート面の断面番号 3，4 の測点①は，他測点に比べて測定値の差が大きい．これは，測点箇所が障害物の影になった影響で測点近傍の点群が取得できなかったことが要因と考える．その他の測点での差を平均すると 1cm 程度であることが確認できた．TLS での出来形測定では，高さや幅の測定時には約 1cm の差，吹付けコンクリート面と覆工コンクリート面の差分で算出する厚さは約 2cm の差が生じる可能性がある と判断する．誤差範囲は 0.2～3.5cm であった．

(3) 点群データ取得率

TLS での測定時に，どの程度吹付けコンクリート面や覆工コンクリート面の点群データを取得できているかを検証した（図-4 参照）．表-2 に結果を示す．検証はトンネル片側からの測定とトンネル両端からの測定で行った．点群データの取得率は，ロックボルトの位置と数を断面ごとに確認し，トンネルの周長に対する比率から算出した．

データ取得率は，片側からの測定の場合 84～87%に対して，トンネル両側から測定した場合に約 90%と向上することが確認できた．

4. 結論

本実証の結果，TLS と TS での測定結果の差が 1cm 程度あり，①TLS による測定は従来手法と比べて実用的な精度であることが確認できた．また，②使用する点群や対象断面が異なる場合でも誤差範囲が 0.2～3.5cm 程度であることから再現性の確認もできた．③点群データの取得は対象エリア付近の両端から実施することで 90%程度のデータ取得が可能であり，面的な出来形管理の手法として実用レベルであると考ええる．

5. おわりに

本検証では，TS と TLS の測定を行い，覆工コンクリートの出来形管理を行った際に生じる差や点群座標の取得率から自動巡回ロボットの有効性を検証した．今後も覆工コンクリートの出来形管理にレーザースキャナが施工性と安全性の観点から有効であるのかを検討するとともに，実用化に向けて検証を継続する予定である．

表-1 TS と TLS の測定値の差（cm）

測定面	断面番号	①	②	③	④	⑤
吹付け	1	1.3	0.9	1.8	1.3	1.0
コンクリート	2	2.5	1.5	0.3	1.6	1.5
覆工	3	3.0	0.2	0.9	1.3	1.5
コンクリート	4	3.5	2.9	0.9	0.5	0.9

表-2 TLS による点群データの取得率

測定位置	取得率（%）
トンネル片側（A,B）	84.1～87.0
トンネル両端	90.0

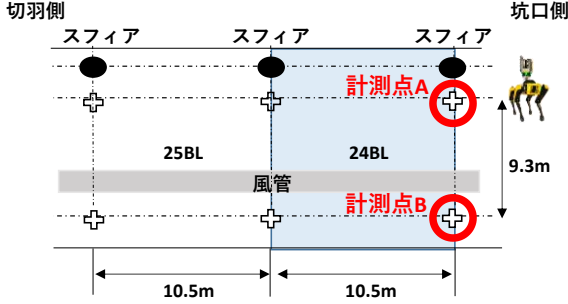


図-4 測定時の配置図

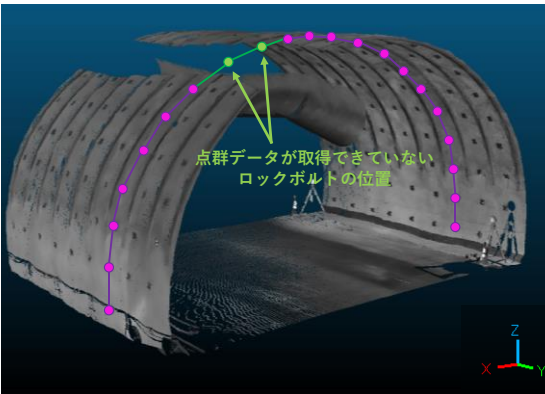


写真-2 ロックボルトの本数確認時の写真