

3D スキャナを用いた小口径用の自動測量システム実証実験

戸田建設株式会社 正会員 ○本合 弘樹, 中村 太三, 古賀 稜也
 戸田建設株式会社 非会員 山崎 友誉
 株式会社きんそく 非会員 山田 泰史

1. はじめに

当社では、AI プログラムによりシールドマシンの運転を行う AI Transform Shield®の開発を進めており、その要素技術の一つとして掘進中の自動測量システムの開発がある。いかなるシールド現場でも本技術を導入するためには、自動追尾式 TS を設置できないような小口径断面でも自動測量を行う必要がある。本稿では、前稿¹⁾で開発した小口径用の自動測量システムの現場実証実験を実施したので、結果について報告する。

2. 計測システムの概要

本システムの概要を図-1 に示す。本システムは、シールドマシンに 3D スキャナ（以下、LiDAR と記述）を設置し、セグメントに取り付けた専用ターゲットを 1 リング掘進中に複数回視準することで、シールド管理点の座標をその都度演算するものである。なお、システムの詳細については前稿¹⁾で説明しているため、本稿では現場設置状況について述べる。送排泥管・セグメント搬

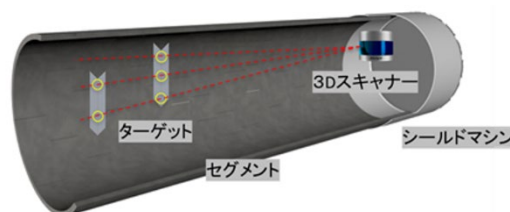


図-1 計測システム概要図 1)

送ビームなどの坑内設備や作業員の作業範囲を考慮すると、LiDAR とターゲットの設置可能場所が写真-1、2 に示す位置に限定されていたため、初回導入時は写真の位置に機器を設置して実験を行うこととした。また、LiDAR の性能上、LiDAR とターゲット間が 15m 以上離れると正確なスキャンができなくなってしまうため、掘進の進捗に応じて半日～1 日ごとにターゲットの盛替えを行う必要がある。



写真-1 LiDAR 設置状況

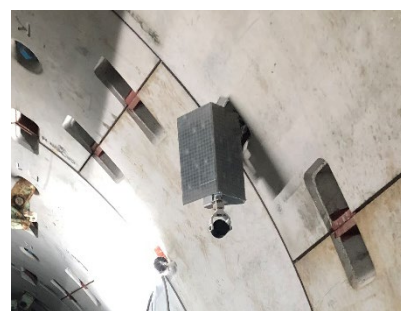


写真-2 ターゲット設置状況

3. 現場実証実験

3.1 第一回現場実証実験

(1) 計測について

現場実証実験は、セグメント内径 3,350mm の泥水式シールド現場にて実施した。前述のとおり、初回実験は写真-1、2 に示す位置に機器を設置して計測を行った結果、計測成功率が 49.2%（成功回数 155 回／総試行回数 315 回）と 50%に満たなかった。計測エラーとなった原因を調査したところ、後方のターゲットを LiDAR から視準できていないことが原因のほとんどであると判明した。図-2 に示すように、現状の LiDAR とターゲットの位置関係では盛替え初期は後方のターゲットまで視準できるものの、掘進が進むと LiDAR とターゲットがほぼ一直線に並ぶことで後方のターゲットが前方のターゲットに隠れて LiDAR から視準不可となることが主要要因として考えられた。そこで、第二回の実験では、ターゲットを鉛直方向に千鳥配置にして対応することとした。

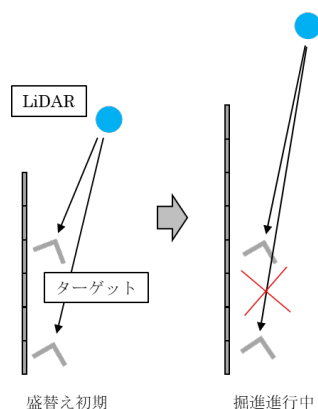


図-2 LiDAR とターゲットの位置関係

キーワード シールドトンネル, 自動測量, 3D スキャナ

連絡先 戸田建設株式会社 東京都中央区八丁堀 2-8-5 TEL0120-805-106 FAX03-3551-8912

(2) 計測精度について

前稿¹⁾で報告した室内実験での計測精度は最大誤差 $\pm 20\text{mm}$ （最終目標精度 $\pm 10\text{mm}$ ）であったのに対し，第一回現場実証実験では片番ごとの手動測量と比較して最大誤差 $\pm 60\text{mm}$ （標準偏差 19mm ）となった（図-3 上）．室内での再現テストを実施した結果，現場実証実験・室内再現テスト共に誤差が一方向に寄る傾向が確認された．

この誤差についてさらに精査したところ，誤差の程度が LiDAR とターゲット間の距離に依存することが判明した．そこで，第二回の実験では機器設置後にターゲット位置を変えながら予備計測を実施し，キャリブレーションを行って対応することとした．なお，第一回の実験にて本キャリブレーションによる補正シミュレーションを行うと，最大誤差 $\pm 36\text{mm}$ （標準偏差 15mm ）まで精度が上がるのが推定された（図-3 下）．

3.2 第二回現場実証実験

(1) 計測について

第二回実証実験では，前述のようにターゲットを鉛直方向に千鳥配置（写真-3）とすることで，LiDAR からの視認性を確保した．結果としては，計測成功率が 74.9%（成功回数 212 回／総試行回数 283 回）まで上昇し，ターゲット視準不可による計測エラーを減少させることができた．計測エラーとなった要因としては，LiDAR とターゲット間の距離が 15m を超えたことや，セグメント搬送作業でレーダーが遮られたことなどシステム外の原因が主であった．

(2) 計測精度について

第二回実証実験では，手動測量と比較して最大誤差 $\pm 16\text{mm}$ （標準偏差 11mm ）まで精度が向上した（図-4）．この要因として，機器設置時のキャリブレーションに加え，ターゲット固定治具の改良が考えられる．第一回実証実験にて，ターゲット設置時に LiDAR とターゲットが正対していない場合，誤差を生じることが報告されていた．これを踏まえ，LiDAR に対して常に同じ水平方向でターゲットを固定できるようにした（写真-3 参照）．これにより，ターゲットの向きによる誤差を解消できたことが精度向上に寄与したと考えられる．

4. おわりに

二度の現場実証実験により，本システムの測量精度を $\pm 16\text{mm}$ 程度まで向上させることができた．現状の機器ではこれ以上の精度向上（最終目標精度 $\pm 10\text{mm}$ ）は難しく，より高性能な LiDAR の使用が必要になると考えている．また，配置を千鳥状に変更することでターゲットの設置にさらに労力を要することや，掘進の進捗に応じてターゲットの盛替えが必要になること，搬送中のセグメントや作業員とターゲットが接触してしまうことなどが課題として残っている．今後は，これらの課題を解決すべく検討を進めていく予定である．

参考文献

- 1) 本合弘樹，中村太三，山崎友誉，山田泰史：シールド工法の AI 化技術の開発その 2（小口径用の自動測量システム），土木学会第 77 回年次学術講演会，VI-86，2022

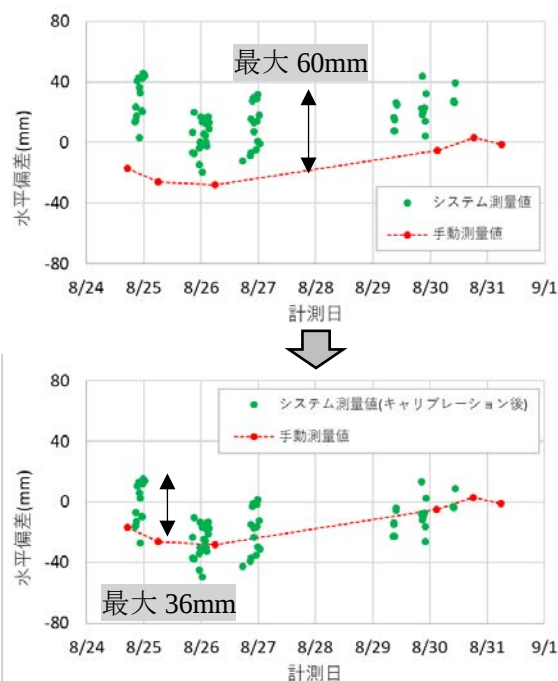


図-3 上：第一回実証実験結果

下：キャリブレーション後

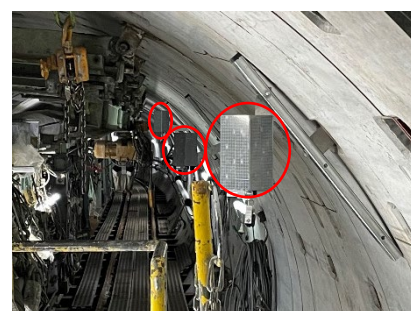


写真-3 千鳥配置状況

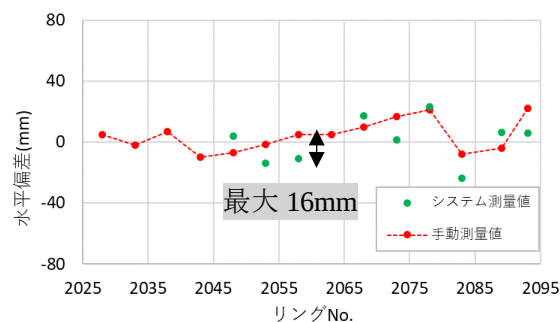


図-4 第二回実証実験結果