

シールド工法のAI化技術の開発 その2 (小口径用の自動計測システム)

戸田建設株式会社	正会員	○本合 弘樹
戸田建設株式会社	正会員	中村 太三
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

労働人口の減少や働き方改革が加速度的に進むなか、シールド工事においても業務をAI化し、効率化・品質向上・安全性の強化を図ることが求められている。シールド工事は、測量データ、セグメントデータ、シールド機械データ、裏込め注入データなどの数値化されたデータが数多くあり、これらの数値をもとに掘進管理を行っている。しかし、すべてのデータを網羅しながら土質に合わせた管理を行うのは困難である。そこで、工事で得られる膨大な数値を教師データとし、AIに機械学習させることで土質ごとの最適な判断を導き出し、自動測量で得られるデータをもとにシールド機姿勢を判断するAI Transform Shield®（以下、AIシールドと記述）を開発した。AIシールドの要素技術であるシールド坑内自動測量システムを開発した（写真-1）（令和2年年次学術講演VI-550で発表）が、 $\phi 4\text{ m}$ 以下では設置が難しいため、今回小断面用に3Dスキャナー（以下LiDAR）を使用した計測システムを開発したので、計測装置の概要と室内測定実験について報告する。



写真-1 坑内自動測量システム

2. LiDARによる計測システム概要

図-1にLiDARによる計測システム概要図を示す。シールドマシンにLiDARを設置、後方の基準点2点を計測し後方交会計算によりLiDAR座標を算出する。シールドマシンの姿勢は、LiDAR座標と掘進管理システムから得られる方位角、ピッチ角、中折れ角度を用いて演算処理を行い、管理点座標を演算し出力する。

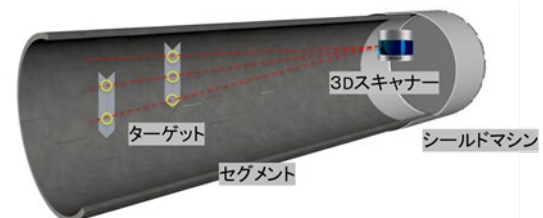


図-1 計測システム概要

システム採用にあたってのポイントは以下に示す。

- ・機材サイズがTSに比べコンパクトである
- ・水平状態に保てなくても計測が可能である
- ・水平維持装置（自動整準台）がなくとも計測が可能である
- ・システム組込時の自由度が高い
- ・機材が比較的安価である
- ・新規性が高い

使用したLiDARを写真-2に示す。サイズは $\phi 103.3\text{ mm} \times 86.9\text{ mm}$ とトータルステーションよりも大幅に小さいことから、 $\phi 4\text{ m}$ 以下の小断面の坑内自動測量に適する。



写真-2 LiDAR

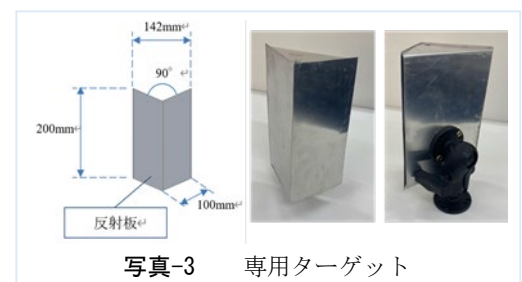


写真-3 専用ターゲット

3. LiDARによる計測システム室内測定実験

3.1 計測システム室内測定実験

キーワード：シールド、AI、自動測量、3Dスキャナー

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

計測システム室内測定実験をするにあたり、トータルステーションではターゲット（プリズム）をレンズで視準して計測を行うが、LiDARで計測するためにまず専用のV字の頂点座標を基準点座標として用いるV字形状のターゲットを考案した。（写真-3）

この専用ターゲットを視準し、LiDARで抽出したV字の点群データから外れるデータを除去し、2面のデータを直線化し交点計算することで頂点の位置を算出、座標化する。（図-2）

V字形のターゲットに高輝度反射材を採用することで、点群の中から反射強度の高い点群を抽出することで基準点の自動認識が可能となった。また処理スピードの高速化を図ることができた。

このターゲットを5m～15mの範囲で5m間隔にターゲットを配置（図-3）し、視準することで精度検証を行った。

1) 点間距離

ターゲット2本の点間距離誤差は30回の計測で概ね3mm以内であった。（表-1）

2) 座標計測

座標後方交会の計測結果を表-2に示す。計測の結果、10m、15mに配置されたターゲットを視準した際、最大60.5mmの誤差が確認された。

5m、10mに配置されたターゲットを視準した際の計測結果を図-4に示す。突発的に誤差の大きな計測値が存在することを確認した。

3.2 計測誤差要因と対策

1) 異常値

検証の結果、大きな誤差が出たケースでは、不完全なV字点群データで座標計算を行っていることを確認した。これに対し、V字点群の頂点座標検出プログラム内で異常値をはじくアルゴリズムを強化し、誤差の抑制を図った。

2) 反射強度による計測誤差、センサー固有の計測誤差

反射強度による計測誤差・センサー固有の計測誤差は連続計測の結果、ある程度の規則性があることを確認、連続計測の結果に基づき補正パラメータを設定することで精度向上を図った。

3) センサー内温度による計測誤差

温度差による計測誤差は、サーモプログラムを開発・実装することでLiDAR内温度を一定温度以上に保ち計測値のばらつきを抑制した。

以上の計測誤差の要因の対策を行い、現状で最大計測誤差を20mm以内に抑制することができた。

（30回連続計測結果）

4. おわりに

φ4m以下の小断面用にLiDARを使用した計測装置の概要と室内測定実験について報告した。今後は、さらに多くの計測試験、実際の現場環境での計測テストを重ね、多くの計測データを収集・分析することで、更なる精度向上を図って、より高精度な計測装置の開発、実用化に向けて取り組む予定である。

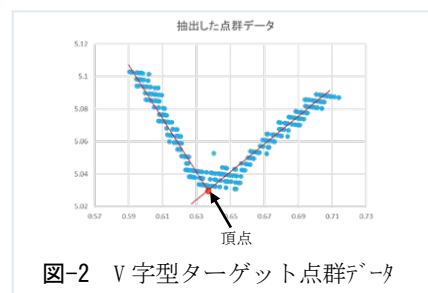


図-2 V字型ターゲット点群データ

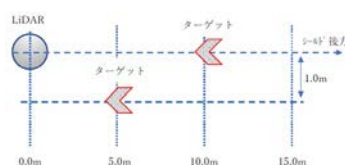


図-3 実験時ターゲット配置図

表-1 計測結果（点間距離誤差）

	標準偏差(mm)
5m&10m	2.9
10m&15m	2.8
15m&20m	2.8

表-2 計測結果（座標計測誤差）

	標準偏差(mm)		最大誤差(mm)		平均誤差誤差(mm)	
	進行方向	進行方向	進行方向	左右方向	進行方向	左右方向
5m&10m	1.4	2.3	-12.6	-15.4	-4.6	-8.6
10m&15m	3.1	28.7	-10.8	-60.5	-0.4	0.7
15m&20m	1.5	15.7	-24.6	-41.8	-20.9	-14.16



図-4 計測結果（測定回数と座標計測誤差）