

(10) リニューアル工事における 可搬型 3D マッピング技術の適用性検証

勝部 峻太郎¹・松元 和伸²・鈴木 亮汰³・天野 和人⁴

¹正会員 飛鳥建設株式会社 技術研究所 第一研究室 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472)
E-mail: shuntarou_katsube@tobishima.co.jp

²正会員 飛鳥建設株式会社 技術研究所 第一研究室 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472)
E-mail: kazunobu_matsumoto@tobishima.co.jp

³正会員 飛鳥建設株式会社 技術研究所 第一研究室 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472)
E-mail: ryouta_suzuki@tobishima.co.jp

³非会員 飛鳥建設株式会社 大阪支店 (〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町 3-4-10)
E-mail: kazuhito_amano@tobishima.co.jp

近年、社会インフラの老朽化に伴う戦略的な維持管理・更新が求められており、IoT・ICT技術を利用した維持管理技術開発による省力化・生産性向上が期待されている。維持管理に必要な対象構造物を認識するための基本情報となる三次元座標の取得においては、大きな省力化が図られる地上型 3D スキャナや MMS の活用が進められているが、鉄道や道路のような活線状態の補修工事には、作業時間の制約が大きく使用には適さない場合も多い。

そこで筆者らは、携行性・手軽さに優れた可搬型 3D マッピングシステムに着目し、適用性の検証を行った。標定点の配置パターン・計測ルートを変化させ、精度を検証した結果、標定点数が少なくても、機器を振らず急旋回を避け、単一方向に計測を行うことが精度確保につながる事が分かった。

Key Words: LiDAR, 3 dimensional scanner, point cloud data, accuracy

1. はじめに

近年、国土交通省は三次元データを活用した情報化施工や CIM の活用に基づいた「i-Construction」の運用を開始し、調査・測量から維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおける合理化・効率化が期待されている。

維持管理のプロセスにおいては、社会インフラの老朽化に伴う大量の社会資本に対して「事後保全」の考え方から「予防保全」の考え方を基本とする方針が打ち出されている²⁾。予防保全のための将来的なデータベース構築や実際のリニューアル工事では現況図の作成や補修数量の調査に労力がかかっており、このような課題に対して、地上型 3D スキャナや MMS (車載型レーザ計測システム) を利用した省力化・生産性向上が進められている³⁾⁴⁾。しかし、活線状況下での構造物の現況調査や補修工事は、通行遮断が必要であったり車両などの運行が止まっている夜間での作業であったりと、時間的制約が大きく特に狭隘な空間では、計測時間および座標測量のため

の盛替えの面で課題がある。

そこで、筆者らは、携行性・手軽さに優れた可搬型 3D マッピング技術に着目した。本稿では、弊社リニューアル工事現場の断面修復箇所の計測を行い、測定精度の検証を行った結果を報告する。

2. システム概要

検証実験で用いた計測機器「PX-80 (PARACOSM 社製)」を図-1 に示す。これは、LiDAR センサ・IMU



図-1 PX-80 外観および諸元

表-1 計測方法

計測パターン	1	2	3	4
計測ルート				
計測点数	約630万点	約660万点	約1350万点	約2590万点

表-2 標点組み合わせパターン

標点パターン	A	B	C
標定点	10点 No.1~3,5~9,11,12	8点 No.1,2,5~8,11,12	6点 No.1,2,5,8,11,12
検証点	2点 No.4,10	4点 No.3,4,9,10	4点 No.3,4,9,10

(Inertial Measurement Unit) ・360度カメラが一体となったシステムである。本機器を手に持って計測対象範囲周辺を歩行しながら計測することにより、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を用いて自己位置推定を行いながら同時に環境地図を作成し、取得した点群にカメラ画像を重ね合わせ、3D カラー点群を取得することができる。

3. 精度検証実験

(1) 計測方法

検証実験は、電車の運行が終了した深夜の駅構内にて行った。計測範囲は図-2 に示した天端部補修箇所（以下はつり箇所）を含む 20m×15m 程度である。駅構内の上下線通路壁面に各 6 点ずつ計 12 点の測量マーカーを設置し、解析時に標定点および検証点として使用することとした。図-3 に、測量マーカー設置状況を示す。

計測点群密度の違いによる測定精度の違いを評価するため、また、IMUによる自己位置推定誤差の累積の影響を評価するため、表-1 に示した四つのパターンで計測を行った。図中の赤色矢印は計測ルート、青色網掛部分ははつり箇所を示している。パターン2および4では、2m ごとに静止し機器を前後に傾け、複数の方向から対象領域の計測を行った。また、標定点数が測定精度に与える影響を評価するために、標定点数を変更した解析も実施した。表-2 に、解析時の標定点・検証点の組み合わせパターンを示す。

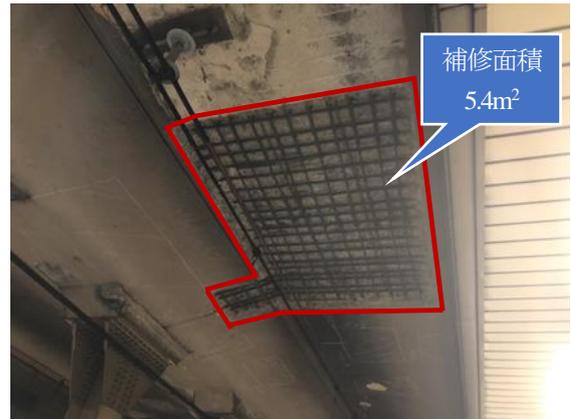


図-2 はつり箇所

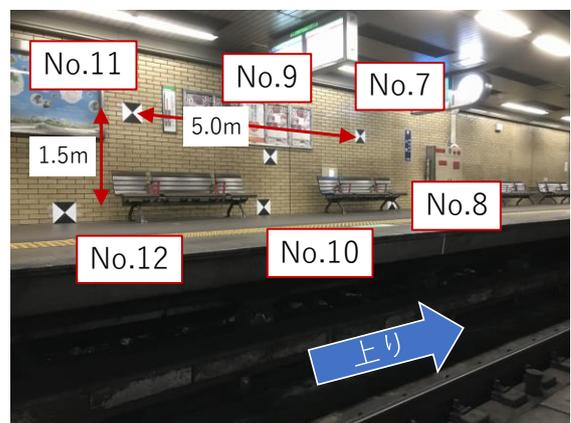
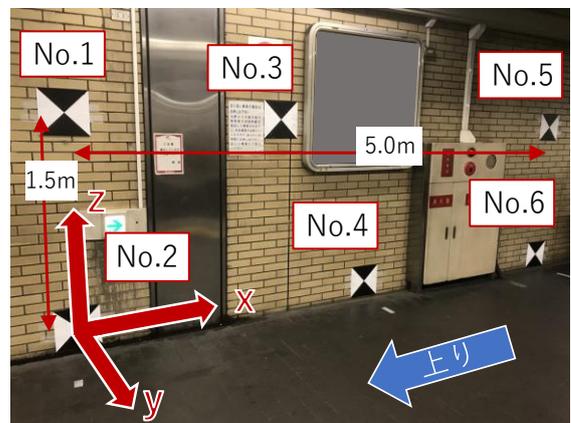


図-3 測量マーカー設置状況

(2) データ処理

点群処理ソフト「TREND-POINT（福井コンピュータ社）」上で標定点に座標値を与え、ヘルマート変換を行った。補正後の計測点群データの検証点座標を解析値とし、真値との差を確認することで、精度検証を行った。マーカー座標値については、事前測定の結果を真値とした。

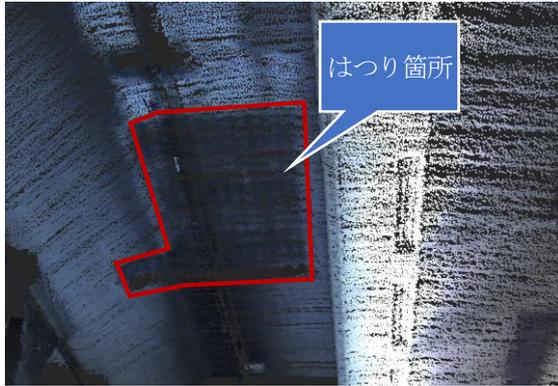


図-4 点群データ

表-3 精度検証結果

標点パターン	計測パターン	検証点	$\Delta x(m)$	$\Delta y(m)$	$\Delta z(m)$
A	1	No.4	0.001	0.002	-0.014
		No.10	0.008	-0.001	-0.011
	2	No.4	-0.019	0.010	-0.037
		No.10	0.028	0.008	-0.043
	3	No.4	0.009	0.008	-0.043
		No.10	0.010	-0.005	-0.035
	4	No.4	0.017	0.007	-0.021
		No.10	-0.057	0.011	-0.036
B	1	No.3	0.026	-0.007	-0.045
		No.4	-0.015	-0.002	-0.017
		No.9	-0.001	0.004	-0.011
		No.10	0.020	0.000	-0.028
	2	No.3	0.017	-0.008	-0.045
		No.4	-0.023	0.000	-0.050
		No.9	0.010	0.002	-0.056
		No.10	0.046	0.009	-0.047
	3	No.3	-0.006	-0.016	-0.044
		No.4	-0.010	0.006	-0.021
		No.9	0.027	0.001	-0.030
		No.10	0.027	-0.001	-0.038
	4	No.3	0.000	-0.011	-0.046
		No.4	0.007	0.001	-0.029
		No.9	-0.058	-0.001	-0.023
		No.10	-0.039	-0.003	-0.044
C	1	No.3	0.020	-0.002	-0.058
		No.4	-0.037	0.012	-0.037
		No.9	-0.013	-0.004	0.015
		No.10	0.000	-0.012	0.041
	2	No.3	0.042	-0.004	-0.042
		No.4	-0.023	0.004	-0.064
		No.9	0.041	-0.001	-0.016
		No.10	0.038	0.000	-0.002
	3	No.3	0.011	-0.005	-0.068
		No.4	-0.023	0.013	-0.059
		No.9	0.022	-0.010	0.015
		No.10	0.001	-0.010	0.003
	4	No.3	-0.004	-0.009	-0.068
		No.4	0.002	0.009	-0.053
		No.9	-0.009	-0.009	0.004
		No.10	0.011	-0.010	0.004

(3) 精度検証結果

はつり箇所を含む点群データを図-4 に示す。また、精度検証結果を表-3 に示す。同表において、各標点配置パターンの中で二乗平均平方根誤差（RMSE）が最小となる計測パターンを橙色、最大となる計測パターンを青色で強調している。

計測パターン1においては、標定点が多いほど誤差が小さくなるという傾向が見られたが、その他の標点パターン・計測パターンにおいては、標定点数・計測密度と計測精度には関係が見られなかった。

標点パターンC・計測パターン3および4のケースにおいて、検証点No.3のz方向誤差は-68mmとなり、誤差は最大でもセンチメートル単位に収まることが確認できた。また、標定点数とRMSEの関係を表したグラフを図-5に示す。RMSEは式(1)によって算出した。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{3n} \sum \{(\Delta x_i)^2 + (\Delta y_i)^2 + (\Delta z_i)^2\}} \quad (1)$$

ここで、iは検証点番号、nは検証点数を示している。

計測パターン3および4で精度が向上しなかった理由としては、計測時に方向転換することによりIMUセンサにおいてz軸回転方向の誤差が生じ、点群がずれて重ね合わされたためと考えられる。例として、計測パターン1・4における標点No.1の解析画面を図-6に示す。

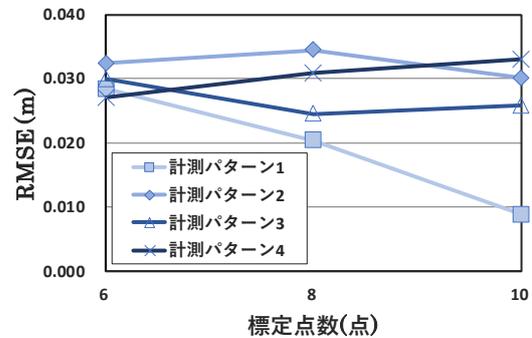


図-5 標点設置パターン・計測パターンとRMSEの関係

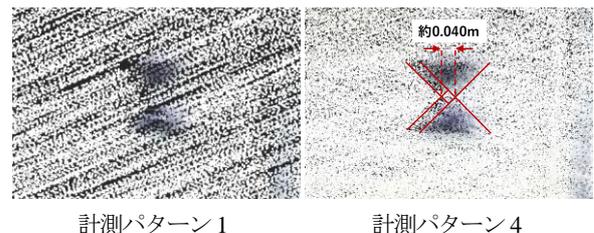


図-6 ずれて重ね合わされた点群

以上のことから、精度を確保する上では、計測パターン1のように、方向転換を行わず、機器を振らず、単一方向に計測を行うことが重要であることが分かった。

4. はつり箇所面積評価

計測パターン 1~4 の中で、IMU センサの累積誤差の発生が小さいと考えられる計測パターン1および2について、標定点数の相違によるはつり箇所面積評価結果を表-5および図-7に示す。

標定点数が少ない標点パターンCにおいても、計測パターン1において面積比-0.8%程度、計測パターン2において面積比 4%程度の誤差となっており、概略図作成程度の利用であれば、現状のシステムの適用は十分可能と考えられる。

表-5 はつり箇所面積評価結果

計測パターン1			
標点パターン	A	B	C
標定点	10点	8点	6点
はつり部面積(m ²)	5.457	5.399	5.359
誤差(%)	1.056	-0.019	-0.759

計測パターン2			
標点パターン	A	B	C
標定点	10点	8点	6点
はつり部面積(m ²)	5.568	5.538	5.597
誤差(%)	3.111	2.556	3.648

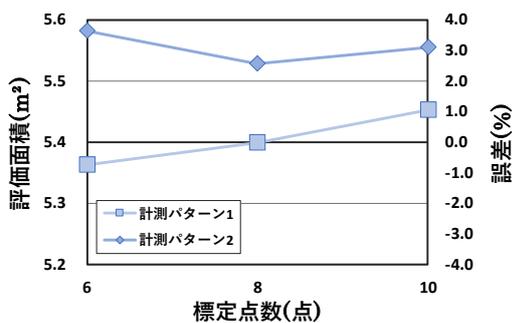


図-7 標定設置パターン・計測パターンとはつり箇所面積評価精度の関係

5. 結論

本実験において以下の結果が得られた。

- 20m×15m 程度の領域での計測においては、標定点 6点・20秒程度の計測で、センチメートル単位の精度が十分確保できる。補修数量の算出には十分な精度であるといえる。
- 累積誤差が小さいと考えられる計測パターン1および2において面積評価を行ったところ、誤差 4%以内に収まった。
- 精度を確保する上では、標定点が少ない中でも、機器を振らず、急旋回を避け、単一方向に計測を行うことが重要である。

以上より、リニューアル工事において、可搬型 3D マッピング技術を用いた計測が可能であることが示された。しかし、測量マーカーの設置、解析時のマーカー中心の手動抽出、はつり面の手動位置合わせなど、手間・時間のかかる作業が多く課題が残った。

今後は、測量マーカー中心の自動抽出あるいはマーカーレス化、解析の自動化、CAD 図面の自動作成など、より簡便な運用が可能な手法について検討する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction ~建設現場の生産性革命~、< <https://www.mlit.go.jp/common/001137123.pdf> >, (入手 2020.05.28).
- 2) 内閣府：デジタル技術の進展を踏まえた規制の総点検 インフラの老朽化と新技術・データ活用について、< <https://www8.cao.go.jp/kisei-kaikaku/kisei/meeting/wg/seicho/20191211/191211seicho02.pdf> >, (入手 2020.05.28).
- 3) 何啓源，窪田諭：道路維持管理のための地上レーザスキャナとカメラ搭載 UAV による 3次元データの構築，土木情報学シンポジウム論文集，Vol.43，pp.21-24，2018.
- 4) 山本悟，三井善孝，宮原宏史：車載式トンネル 3D スキャニングシステムの開発，土木学会第 73 回年次学術講演会，pp.103-104，VI-052，2018.