

SLAM 技術を用いた携帯型レーザースキャナーと高精度測位サービスによるマッピング技術の構築と検証

石川 紀明・武石 洋平・澤田 麻美 (株式会社イメージ ワン)
山下 利之 (功研ジオシステムサービス)

1. はじめに

近年、生活や経済活動の基礎である土木構造物の老朽化が大きな課題となっている。早急な構造物点検及び対策が求められており、そのベースとなる三次元計測も同時に需要が高まっている。三次元計測の主な手法の一つとして、ドローン搭載型もしくは地上設置型のレーザースキャナーが挙げられるが、遮蔽物が多く機材の取り回しが難しい屋内構造物などは計測が困難なケースが多い。一方で、歩行しながら取得した点群データをSLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術により統合することが可能な携帯型レーザースキャナーが存在する(以下SLAMスキャナー)。屋内構造物の計測に対する有用性は高いが、精度管理が難しい場合が多い。

そこで、非GNSS環境を含む対象に対してもマッピング及びそれによる精度管理を可能とするため、SLAMスキャナーと高精度測位サービスを用いた計測システムについて検証した。その特徴について取りまとめ、非GNSS環境を含む対象の計測と精度評価を試みた。

2. マッピングシステムの構築

2.1 背景と目的

一般的な三次元測量の手法として、ドローン搭載型もしくは地上設置型のレーザースキャナーが挙げられる。ただし、屋内構造物などの遮蔽物が多く複雑な形状を持つ非GNSS環境を対象とする場合、ドローン搭載型は対応が難しく、地上設置型においても煩雑な作業と多大な時間を要する事が多い。そこで、屋内構造物

などの非GNSS環境を含む対象に対しても三次元測量と精度管理をより容易に、より短時間で行うための手法として、既存のSLAMスキャナーと高精度測位サービスを併せた計測システムの構築について検討した。SLAMとは、複数の点群をソフトウェア処理により自動的に統合し、自己位置推定とマッピングを同時に行うアルゴリズムである。この計測システムは、主な計測対象となる非GNSS環境の構造物と、その周辺の屋外に設定した標定点を併せて三次元計測を行い、測位サービスによる位置情報を用いて、独自のデータ処理手法により公共座標変換を行う。住宅地など衛星通信状態が不安定な場所における標定点、検証点の座標計測の安定性と、ハードウェアの可搬性も考慮し、フレキシブルに運用可能なシステムの構築を目指した。

2.2 システムの概要

i. SLAMスキャナー

GeoSLAM Ltd.製ZEB-HORIZONを用いた。主な仕様を表1に示す。

ZEB-HORIZONは、最大測定距離100m、本体重量3kg程度のSLAMスキャナーである。計測時は、機材を手で固定し歩行することで周辺環境の三次元計測を行えるため、計測作業の自由度が高く取り回しが良い。また、計測中にZEB-HORIZONを任意の場所で数秒静止させることで、三次元計測と同時に、その位置を任意座標として記録することができる。この機能により、標定点や検証点の任意座標をピンポイントで取得することが可能となる。ただし、SLAM技術の特性上、計測開始地点と計測終了地点

表1 ZEB-HORIZONの主な仕様一覧

	測定距離	100m
	レーザークラス	クラス1
	レーザー波長	903nm
	FOV	360° x270°
	防塵防水等級	IP54
	計測点群数	300,000点/秒
	重量	2.7kg

を一致させたクローズドループ経路で計測を行う必要がある。ハードウェアの仕様上、一度の計測時間は20分まで、徒歩計測における経路距離は約1km程度まで、という制限も存在する。

一般的なレーザー測量においては、標定点や検証点を計測する際、標識となる複数のターゲットを設置し、計測中はその位置を固定する必要がある。一方で、ZEB-HORIZONにおいては、標定点や検証点を計測する際、上記の機能により標識となるターゲットの設置を必要とせず、簡易なマーカーの利用で代用ができる。そのため計測作業においてフレキシブルな運用が可能である。

ii. 高精度測位サービス

ソフトバンク(株)が提供する高精度測位サービス「ichimill」を採用し、通信機能を備えたGNSS受信機(LC01)と、測定結果を確認するためのWEBアプリケーションである「見える化サービス(WEB-UI)」を利用した。LC01の仕様を表2に示す。

ichimillはGNSSから受信した信号を利用してRTK測位を行い、誤差数センチメートルの測位を可能とするサービスである。PCやスマートフォンのブラウザから計測時刻と測位結果を確認する事ができ、また1Hz～8Hzで記録された位置座標及び測位状況などの詳細情報も出力が可能である。機材として小型軽量であり、可搬性に優れている。

2.3 計測とデータ処理の手順

本システムの計測及びデータ処理の手順は以下のとおりである。

- ① ZEB-HORIZONを用いて、非GNSS環境を含む対象及びその周辺に対し三次元計測を行い、任意座標の点群データを取得する。同時に屋外に設置した標定点及び検証点の任意座標を計測する。
- ② ichimillを用いて、同標定点及び同検証点の公共座標を計測する。
- ③ ZEB-HORIZONによる任意座標の標定点と、ichimillによる公共座標の標定点を利用

表2 ichimill専用端末(LC01)の主な仕様一覧

	対応衛星システム	QZSS, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
	アンテナ	内蔵 外付けアンテナ
	座標記録周期	1Hz～8Hz
	防水防塵等級	IP67
	寸法	129×90×50mm
	重量	298g

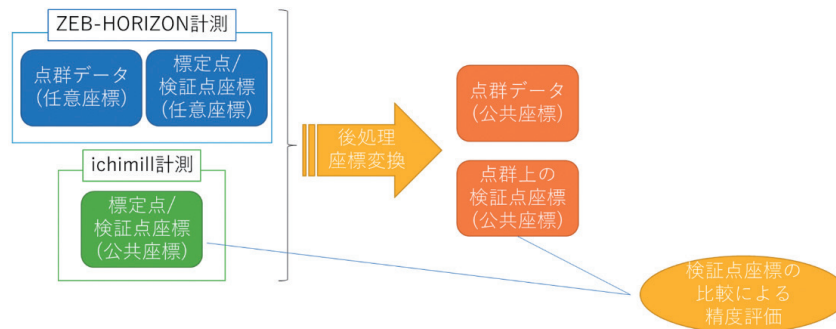


図1 本システムの計測及びデータ処理の手順

し、各測定点の較差が最小となるよう三次元計測点群の座標変換を行う。

- ④ 公共座標の点群データと、点群データ上での検証点座標を得る。
- ⑤ ichimillで計測した検証点の公共座標と、座標変換により得た点群データ上の検証点座標を比較し、精度管理を行う。

3. 適用事例と精度評価

本システムを利用して三次元計測情報の取得が可能であることを確認し、その精度を検証するため、遮蔽物が多く複雑な形状を持つ非GNSS環境を含む地下横断歩道と高架橋下の河川堤防の計測を行った。

3.1 地下横断歩道への適用事例

住宅地に位置する延長約50m、幅約2mの地下横断歩道、及び東西の出入り口周辺環境を対

象に本システムを用いて計測を行った。主となる構造物は非GNSS環境である地下横断歩道であり、そのジオロケーションのため、周辺の屋外に3点の標定点と2点の検証点を設定した（図2）。これら5点は、広場や公園付近など、住宅地の中でも比較的開けた場所に設定し、ichimillを用いて衛星測位状況に問題が無いことを確認した。

計測においては、ZEB-HORIZONを用いて、図3内の赤線で示したクローズドループ経路により三次元計測と同時に標定点及び検証点の任意座標を記録した。更に、ichimillにより同標定点及び同検証点のRTK測位を行った。ZEB-HORIZONの計測に要した時間は6分、ichimillの計測は各点1～2分程度であり、全体として15分程度であった。その後、3点の標定点座標を利用して、取得した点群データの座標変換を行った。RTK測位の結果を安定させるため、各点において一分間連続して計測を行っ

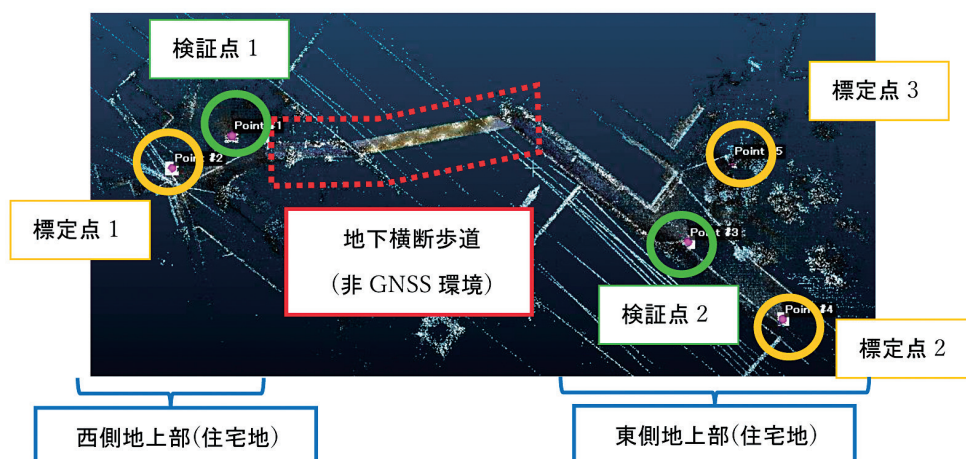


図2 地下横断歩道及びその周辺環境に対する三次元計測結果と位置関係（俯瞰図）

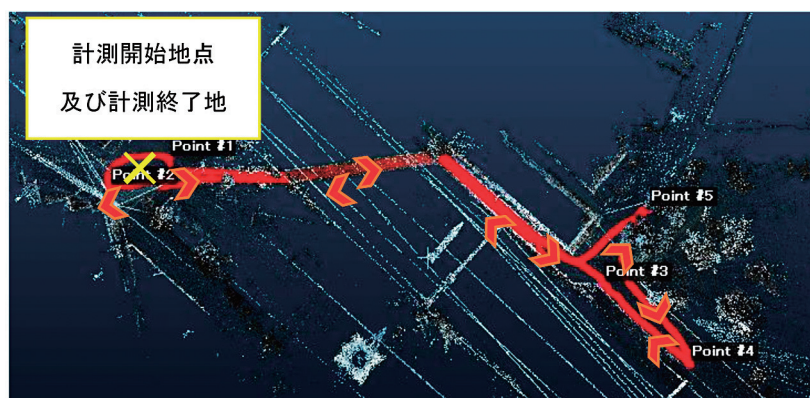


図3 地下横断歩道及びその周辺環境に対する三次元計測結果と計測経路（俯瞰図）

ており、その中から測位状況の良い30データの平均値を算出し、座標変換に用いる値とした。

3.2 地下横断歩道の精度評価

2点の検証点に対し、ZEB-HORIZONで計測した任意座標を公共座標に変換した値と、ichimillで計測した30データの平均による公共座標を算出し、比較を行った。結果を表3に示す。2つの値の差分、すなわち較差がXYZそれぞれ5cm以内に収まっていた。

3.3 高架橋下の河川堤防への適用事例

続いて、2本の高架橋周辺及びその下に位置する河川堤防を対象に本システムを用いて計測を行った。河川堤防は幅約15m、延長約50mのコンクリートブロック護岸を対象とした。高架橋の幅はそれぞれ約25mと約10mであり、河川堤防に対する高さは約10mであった。主となる構造物である河川堤防のほぼ全域が非GNSS環境であるため、その外周に標定点を2点、辛うじてRTK測位が可能であった2本の高架橋間

に標定点1点と検証点1点を設定した(図4)。また、検証点付近に距離標杭点(基準点)が存在し、国土地理院の提供する基準点成果等閲覧サービスにより公共座標を得ることが出来た。基準点の任意座標については、点群の形状から判断し座標を求めた。

地下横断歩道と同様の手順で計測とデータ処理を行った。計測経路を下図の赤線で示す。ZEB-HORIZONの計測に要した時間は6分、ichimillの計測は各点1～2分であり、全体として15分程度であった。

3.4 高架橋下の河川堤防の精度評価

1点の検証点に対し、ZEB-HORIZONで計測した任意座標を公共座標に変換した値と、ichimillで計測した30データの平均による公共座標を算出し、比較を行った。また、1点の基準点に対し、ZEB-HORIZONの座標変換後の座標値と、基準点成果等閲覧サービスより取得した公共座標との比較を行った。結果を表4に示す。検証点の較差はXYZそれぞれ1cm以内、

表3 地下横断歩道における検証点を用いた精度評価表

名称	項目	X座標 [m]	Y座標 [m]	Z座標 [m]
検証点1	ZEB-HORIZON_座標変換後	-12442.420	-53221.795	2.155
	ichimill_30データ平均値	-12442.392	-53221.797	2.160
	較差	0.028	-0.003	0.006
検証点2	ZEB-HORIZON_座標変換後	-12368.057	-53239.064	2.419
	ichimill_30データ平均値	-12368.103	-53239.109	2.453
	較差	-0.046	-0.045	0.033

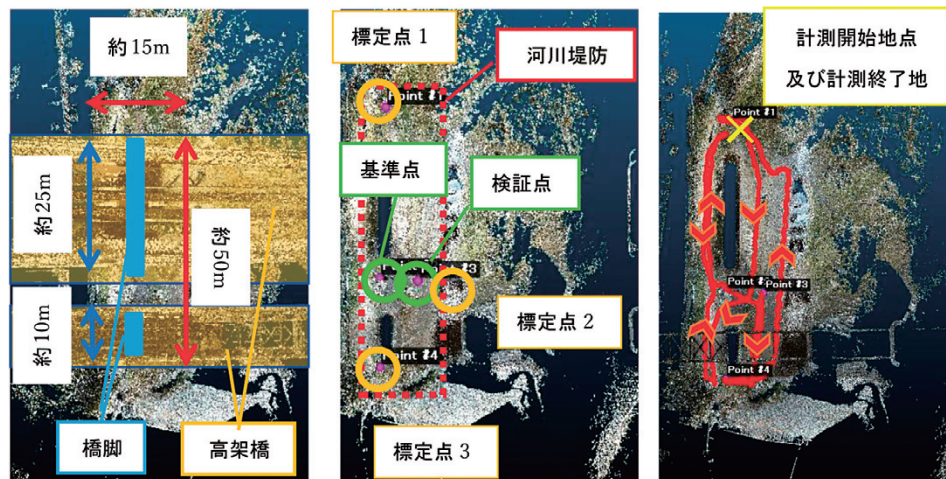


図4 高架橋下の河川堤防及びその周辺環境に対する三次元計測結果と位置関係
(左：高架橋を含む点群俯瞰図、中：高架橋より下部の点群俯瞰図、右：計測経路図)

表4 高架橋下の河川堤防における検証点と基準点を用いた精度評価表

名称	項目	X座標 [m]	Y座標 [m]	Z座標 [m]
検証点	座標変換後の点群上位置	-18794.423	-43130.768	10.753
	ichimill_30データ平均値	-18794.418	-43130.772	10.743
	較差	-0.005	0.005	0.010
基準点	座標変換後の点群上位置	-18793.947	-43130.591	11.262
	公共測量による計測座標	-18793.973	-43130.581	11.272
	較差	0.026	-0.010	-0.010

基準点の較差は3cm以内に収まっていた。

4. まとめ

非GNSS環境を含む対象に対してもマッピングと精度評価を容易に行える事を目標とし、ZEB-HORIZONとichimillを併せた計測システムについて検証した。本システムは可搬性に優れ、計測作業の自由度が高く、また簡易なデータ処理により住宅地においても安定したRTK測位が可能である。住宅地内に位置する地下構造物と、高架橋下の河川堤防を計測し、検証点を用いて精度評価が可能な三次元計測情報を得ることが出来た。その結果、各検証点における較差はXYZそれぞれ5cm以内に収まった。

今後も、市街地の屋内施設や地下構造物など、従来法では計測が難しい非GNSS環境を含む様々なケースに対して、本システムを利用した計測を行い、データの蓄積と分析を継続したいと考えている。

参考文献

- 1) GeoSLAM: Accuracy Report Assessing the performance of GeoSLAMs handheld laser scanners, GeoSLAM Ltd., 2021
- 2) 国土地理院ウェブサイト：基準点成果等閲覧サービス (<https://sokuseikagisl.gsi.go.jp/top.html>)

執筆者

石川 紀明 (いしかわ のりあき)

株式会社 イメージ ワン

(共著者)

武石 洋平 (たけいし ようへい)

株式会社 イメージ ワン

澤田 麻美 (さわだ あさみ)

株式会社 イメージ ワン

山下 利之 (やました としゆき)

功研ジオシステムサービス