

(78) 低廉な GNSS 測位装置の測量実習への利用

西川 隼人¹・小林 大樹²・佐藤 空²

¹正会員 福井工業大学教授 工学部建築土木工学科 (〒910-8505 福井県福井市学園 3 丁目 6 番 1 号)

E-mail: nishikawa@fukui-ut.ac.jp

²非会員 福井工業大学 工学部建築土木工学科 (〒910-8505 福井県福井市学園 3 丁目 6 番 1 号)

本研究では大学等の測量実習で容易に GNSS 測位を行えるようにするために、低廉ながらセンチメートル級の測位精度を有する RTK-GNSS 測位装置を用いて位置情報を調べるとともに、測位精度を検証した。実習などの講義の際に、本学構内などで GNSS 測位を行うとともに、測位を行った地点でトータルステーションを用いた距離測量を行った。GNSS 測位で得られた緯度、経度を平面直角座標系に変換して計算した測位地点間の水平距離をトータルステーションによる結果と比較したところ、誤差は数センチメートル以下であった。

Key Words: RTK-GNSS, low price, surveying training

1. 序論

GNSS (Global Navigation Satellite System) は基準点測量などの公共測量に利用されている他、近年は国土交通省が進める建設分野の ICT (情報通信技術) 化の取り組み i-Construction¹⁾で広く利用されている。例えば、土工等の出来形管理や盛土の締固め管理などに利用されており、技術基準類がまとめられている。また、ICT 施工では、重機の位置情報を調べる際などに活用されており、位置情報の把握には、基準点が衛星から受信した位置情報を移動局に通信する方式や、固定された基準局を必要としない VRS 方式が利用されている。

以上のように従来の測量への利用だけでなく、建設工事への活用が進んでいる GNSS は国土交通省が進める i-Construction でも重要な役割を果たしているが、GNSS を含む ICT 関連の機器を使いこなすことができる技術者が不足しており、i-Construction を推進する上での課題の 1 つとなっている。このような問題を解決する 1 つの策として、大学等の建設系の学科で GNSS などを実習や卒業研究に取り入れることによる、建設 ICT 技術者の育成が考えられる。

しかしながら、GNSS 測位に必要な GNSS ローパーは価格が数 100 万円と高額であり、教育現場に容易に導入できるものではない。一方、近年、u-blox 社²⁾によって価格が数万円ながら、従来の一般的な GNSS 装置と同等の精度で測位が可能な GNSS アンテナが販売されており、

電気、電子工学の分野を中心に利用が進んでいる。

本研究では、u-blox 社製の GNSS アンテナなどから構成され、低価格ながら、センチメートル級の測位精度を有する DG-PRO1RWS³⁾を用いて、測位精度を調べ、大学などの測量技術者教育において利用可能か検証した。

本稿では、まず、本研究で使用した GNSS 測位装置を構成する GNSS レシーバー、GNSS アンテナの仕様を述べるとともに、RTK-GNSS で用いた基準局のデータを説明した。次に測位箇所と測位結果を示し、最後に GNSS 測位から得られた水平距離とトータルステーションによって測った水平距離を比較し、GNSS の測位精度を調べた。なお、使用した GNSS 装置は水平方向、鉛直方向の測位が可能であるが、本研究では水平方向の精度のみ調べた。

2. 測位装置と基準局のデータ

2 章では本研究で用いた、GNSS 測位装置の概要や測位用ソフトとその特徴、及び基準局として用いたデータについて説明する。

(1) 使用機器

本研究では、価格が 10 万円未満でありながら、センチメートル級の測位精度を有する GNSS レシーバー DG-PRO1RWS³⁾を用いて、GNSS 測位を行った。DG-



図-1 GNSS レシーバー（上）と GNSS アンテナ（下）⁴⁾

PRO1RWS は図-1 に示す GNSS レシーバーと u-blox 社製の GNSS アンテナから構成されている。

この測位装置は 4 つの GNSS 群（GPS+QZSS(みちびき), Galileo, GLONASS, BeiDou）の信号を同時に受信できるほか、みちびき SLAS 補強信号、SBAS 補強信号にも対応している。また、RTK Fix 時の水平位置精度は 1cm + 1ppm CEP である。GNSS レシーバーは Wi-Fi を内蔵し、Ntrip サーバー、Ntrip クライアントを単体で実行でき、測位結果（NMEA データ）出力用に TCP クライアントも内蔵している。TCP サーバーのアドレスを指定することで測位結果を Wi-Fi 経由で受信できるほか、DG-PRO1RWS の設定やデータを受け取るホスト（Android）との通信はすべて Bluetooth を介して行うことができる。

GNSS アンテナに用いられている u-blox ZED-F9P は 2 周波対応 RTK であり、1 周波に比べると高速かつ広範囲で Fix することが可能である。なお、GNSS レシーバーには外部電源が必要なため、モバイル用のバッテリーを使用した。また、衛星からの信号の受信状態を良くするため、アンテナにグランドプレーンを着けた上でエレベーター三脚に装着した。

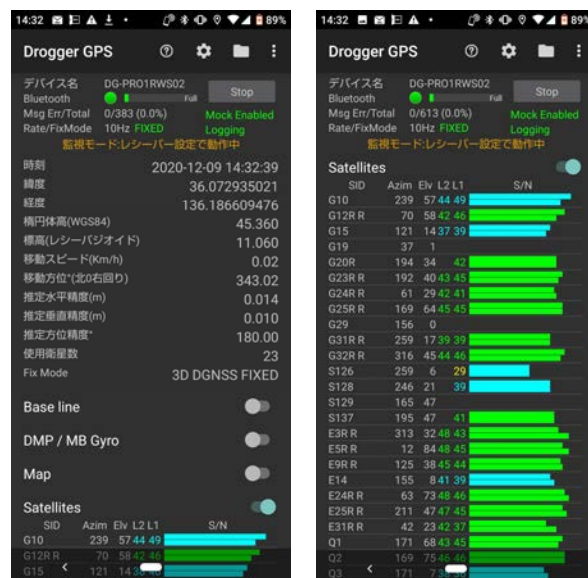


図-2 測位用アプリ画面

(2) 測位用アプリ

本研究では無償で提供されている測位用 Android アプリ（Drogger-GPS アプリ）を Android 端末にインストールして、測位に利用した。

Drogger-GPS は DG-PRO1 と DG-PRO1RWS(S)用に無償提供されている Android 用アプリであり、RTK の設定や通信機能、及び RTK 基準局を簡単に構築できる P2P 通信をサポートしている。

図-2 が測位用アプリの画面である。左画面が位置情報や精度、右の画面が人工衛星ごとの信号の強さなどを表している。

(3) 基準局のデータ

RTK-GNSS 測位を行うためには、精度の高い位置情報を配信する基準局のデータが必要である。基準局では GNSS での測位結果と実際の位置とのズレを補正データとして連続的に生成する。

本研究では、インターネット経由（Ntrip 方式）で位置情報に関する補正データを配信する有償の基準局データ提供サービス（ALES）⁵⁾を利用して、RTK-GNSS 測位を行った。

データ提供サービス（ALES）のリアルタイムデータ配信では、ソフトバンク株式会社から提供される独自基準点のデータを使用し「ALES 配信システム」で生成した補正情報を Ntrip 方式で、GNSS 受信機へ配信している。データの仕様⁵⁾は次のとおりである。

配信データ：ソフトバンク株式会社から提供される独自基準点のデータ

ALES への送信データフォーマット：NMEA0183-GGA

ALES からの配信データフォーマット：RTCM3.1,

RTCM3.2 MSM4, RTCM3.2 MSM5, RTCM3.2 MSM7

通信方式: Ntrip 方式

対応 GNSS 受信機及びアンテナ: RTK 測位が可能な 1 周波及び 2 周波対応受信機及びアンテナ

3. GNSS 測位と精度の検証

(1) 測位の概要

福井工業大学の工学部建築土木工学科の 2~4 年次の測量実習や演習科目、卒業研究などで RTK-GNSS 測位を行うとともに、トータルステーション (TS) を用いた距離測量を行って、GNSS 測位に基づいて計算した距離との比較を行った。測位箇所は福井県福井市大瀬町付近 6 地点と市内の福井工業大学構内 6 地点である。それぞれ、2020 年 12 月 9 日、2021 年 5 月 28 日に測位を行った。測位時間は 1 地点当たり、約 30 秒間~2 分 30 秒間とし、位置情報は 1 秒間隔で csv 形式で取得した。図-3 に福井市大瀬町付近における GNSS 測位の様子を示す。

表-1 に福井県福井市大瀬町付近、表-2 に福井工業大学構内で測位した際に記録した測位データの一部を示す。表の左から順に、測位時刻、緯度 (°)、経度 (°)、測位精度、測位に使用した衛星の数、水平方向の測位精



図-3 GNSS 測位の様子

表-1 福井市大瀬町付近の測定の測位データ

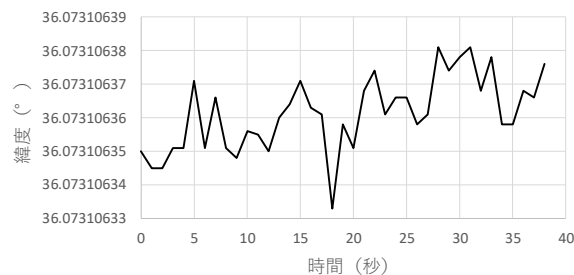
time	latitude(°)	longitude(°)	fix	usedSatellite	horizontalAcc(m)
2020-12-09T14:39:04.500+09:00	36.07310635	136.1865157	3D DGNSS FIXED	22	0.014
2020-12-09T14:39:05.500+09:00	36.07310635	136.1865157	3D DGNSS FIXED	22	0.014
2020-12-09T14:39:06.500+09:00	36.07310635	136.1865157	3D DGNSS FIXED	22	0.014
2020-12-09T14:39:07.500+09:00	36.07310635	136.1865157	3D DGNSS FIXED	22	0.014
2020-12-09T14:39:08.500+09:00	36.07310635	136.1865157	3D DGNSS FIXED	22	0.014
2020-12-09T14:39:09.500+09:00	36.07310637	136.1865157	3D DGNSS FIXED	22	0.014
2020-12-09T14:39:10.500+09:00	36.07310635	136.1865157	3D DGNSS FIXED	22	0.014
2020-12-09T14:39:11.500+09:00	36.07310637	136.1865157	3D DGNSS FIXED	22	0.014
2020-12-09T14:39:12.500+09:00	36.07310635	136.1865157	3D DGNSS FIXED	22	0.014
2020-12-09T14:39:13.500+09:00	36.07310635	136.1865157	3D DGNSS FIXED	22	0.014

表-2 福井工業大学構内の測定の測位データ

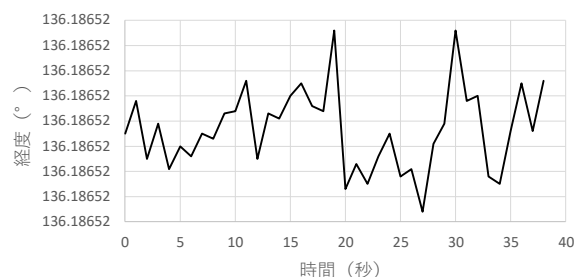
time	latitude(°)	longitude(°)	fix	usedSatellite	horizontalAcc(m)
2021-06-05T15:55:05.200+09:00	36.06992798	136.1957997	3D DGNSS FIXED	26	0.014
2021-06-05T15:55:06.200+09:00	36.06992796	136.1957996	3D DGNSS FIXED	25	0.014
2021-06-05T15:55:07.200+09:00	36.06992795	136.1957996	3D DGNSS FIXED	26	0.014
2021-06-05T15:55:08.200+09:00	36.06992797	136.1957997	3D DGNSS FIXED	26	0.014
2021-06-05T15:55:09.200+09:00	36.06992797	136.1957996	3D DGNSS FIXED	26	0.014
2021-06-05T15:55:10.200+09:00	36.06992798	136.1957996	3D DGNSS FIXED	26	0.014
2021-06-05T15:55:11.200+09:00	36.06992798	136.1957996	3D DGNSS FIXED	26	0.014
2021-06-05T15:55:12.200+09:00	36.06992795	136.1957997	3D DGNSS FIXED	26	0.014
2021-06-05T15:55:13.200+09:00	36.06992796	136.1957996	3D DGNSS FIXED	25	0.014
2021-06-05T15:55:14.200+09:00	36.06992796	136.1957996	3D DGNSS FIXED	26	0.014

度 (単位: m) を示している。いずれの表も測位精度が最も高く、Fix 解が得られる状態で測位したデータである。図-4 と図-5 は測位開始時刻を 0 秒とした場合の測位時間と緯度、経度の関係である。緯度、経度ともに小さな範囲で変動している。

表-3 と表-4 に 2 つの測位箇所における各測位地点の緯度、経度、及び、平面直角座標系 (6 系) ⑨の X 座標、Y 座標を示す。緯度、経度の値は、各地点で水平方向の測位精度が最も高かった時の値の算術平均値である。

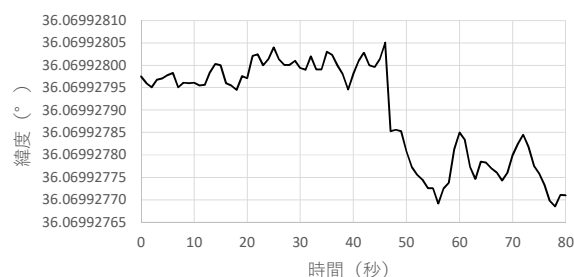


(a) 緯度

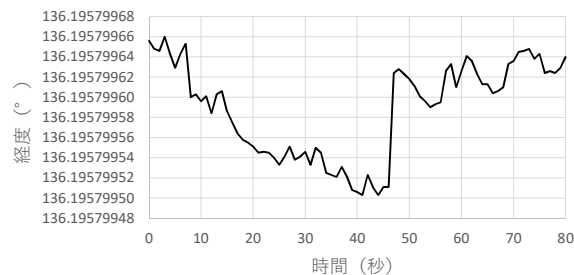


(b) 経度

図-4 福井市大瀬町付近の測位結果の時間変化



(a) 緯度



(b) 経度

図-5 福井工業大学構内の測位結果の時間変化

表-3 福井市大瀬町付近の測点の緯度、経度、及び、平面直角座標系の X 座標、Y 座標

測点	緯度(°)	経度(°)	X座標(m)	Y座標(m)
O1	36.072952	136.186647	8110.085	16811.585
O2	36.073106	136.186516	8127.148	16799.735
O3	36.073258	136.186381	8143.969	16787.538
O4	36.073230	136.186354	8140.875	16785.134
O5	36.073082	136.186481	8124.458	16796.592
O6	36.072935	136.186609	8108.154	16808.217

表-4 福井工業大学構内の測点の緯度、経度、及び、平面直角座標系の X 座標、Y 座標

測点	緯度(°)	経度(°)	X座標(m)	Y座標(m)
F1	36.069856	136.195870	7768.148	17643.056
F2	36.069834	136.196060	7765.822	17660.135
F3	36.069738	136.195907	7755.094	17646.392
F4	36.069816	136.195870	7763.792	17643.034
F5	36.069712	136.195869	7752.183	17642.992
F6	36.069678	136.195781	7748.466	17635.016

(2) 測位精度の検証

本研究では RTK-GNSS で測位した緯度、経度から変換した、平面直角座標系 (6 系) の X 座標、Y 座標を用いて、測点間の水平距離を求め、TS による測量結果との比較を行った。

表-5 と表-6 に GNSS と TS で測った測線長と、それらの測線長の誤差を示す。これらの表を見ると、福井市大瀬町付近の誤差は 0.001~0.068m、福井工業大学構内では 0.001~0.049m であった。

以上の結果から、今回用いた低価な GNSS 測位装置でもセンチメートル級の精度が得られ、高価な機器を導入せずとも、測量実習などの講義で学生が GNSS 測位を学ぶことができると考える。

4. 結論

本研究では、教育現場での GNSS の利用を容易にするために、低価な GNSS 測位装置による測位を行い、測位結果に基づく水平距離を、トータルステーションによる水平距離と比較することで精度を検証し、GNSS 測位装置の有用性を調べた。

今回は 2 箇所で 6 つの測線、合計で 12 の測線を対象に上記の検討を行った結果、GNSS とトータルステーションによる水平距離の差が最大で 0.068m であり、センチメートル級の測位精度が得られた。

以上の結果から、今回用いた低価な GNSS 測位装置でもセンチメートル級の精度が得られ、高価な機器を導入せずとも、測量実習などの講義で学生が GNSS 測位を学ぶことができると考える。

ただし、今回、対象とした測線は最大で 20m 程度であるため、より長距離の場合も GNSS 装置が利用できる

表-5 福井市大瀬町付近の測線長の比較

測線	GNSSによる距離(m)	TSによる距離(m)	誤差(m)
O1O2	20.774	20.706	0.068
O2O3	20.778	20.779	-0.001
O3O4	3.918	3.921	-0.003
O4O5	20.020	19.987	0.033
O5O6	20.024	20.057	-0.033
O6O1	3.882	3.903	-0.021

表-6 福井工業大学構内の測線長の比較

測線	GNSSによる距離(m)	TSによる距離(m)	誤差(m)
F1F2	17.236	17.243	-0.007
F1F3	13.474	13.452	0.022
F2F3	17.434	17.435	-0.001
F4F5	11.609	11.654	-0.045
F4F6	17.297	17.286	0.011
F5F6	8.799	8.750	0.049

かを調べる必要がある。また、本研究では水平方向の測位精度のみ調べたが、今後は鉛直方向の測位精度も検証する予定である。

謝辞：本研究は、令和 2 年度金井学園若手研究者育成研究費の助成を受けて実施したものです。また、測位の際は本学の 2 年生、3 年生に協力していただきました。記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：i-Construction，
<https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000028.html>，(入手 2021.6.14)。
- 2) u-blox ホームページ：<<https://www.u-blox.com/en>>，(入手 2021.7.20)。
- 3) ビズステーション株式会社ホームページ：
<https://www.bizstation.jp/ja/drogger/dg-pro1rws_index.html>，(入手 2021.6.14)。
- 4) ビズステーション株式会社ホームページ：
<https://www.bizstation.jp/ja/drogger/dg-pro1rws_index.html?tab=function>，(入手 2021.6.14)。
- 5) ALES 株式会社センチメートル級測位サービス：<<https://ales-corp.co.jp/service/>>，(入手 2021.6.14)。
- 6) 国土地理院ホームページ：経緯度を換算して平面直角座標、子午線収差角及び縮尺係数を求める計算，
<<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/algorithm/bl2xy/bl2xy.htm>>，(入手 2021.6.14)。