

低価格 RTK-GNSS の精度検証

Precision verification of low-cost real-time kinematic GNSS

田中 龍児¹・外山 泉²・石澤 直樹³
Ryoji TANAKA, Izumi TOYAMA, and Naoki ISHIZAWA

¹ 第一工業大学 (〒899-4332 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2)

E-mail: r-tanaka@daiichi-koudai.ac.jp

² 砂防エンジニアリング株式会社 (〒350-0033 埼玉県川越市富士見町 31-9)

E-mail: izumi8_toyama@saboeng.co.jp

³ RTK 研究会 (〒899-2513 日置市伊集院町麦生田 813-24)

E-mail: n_ishizawa1970@outlook.jp

In recent years, low-cost and highly precise Global Navigation Satellite Systems (GNSSs) receiver has been marketed. In addition the receiver supports the Quasi-Zenith Satellite System (Michibiki), GPS, GLONASS, BeiDou. We can easily get longitude, latitude and altitude values with the system as Realtime Kinematic (RTK) and open source software (FOSS) package called RTKLIB. In this paper, we propose a new approach to simultaneous localization and mapping (SLAM).

Key Words: RTK-GNSS, GCP, UAV

1. はじめに

国土交通省は、ICT を活用した土工事のために、「RTK-GNSS を用いた出来形管理要領 (案)」¹⁾ を定めており、国土地理院も「UAV を用いた公共測量マニュアル (案)」²⁾ に RTK-GNSS (Real Time Kinematic-GNSS, 以下 RTK) 法による標定点及び検証点の測量を認めている。ところで、UAV を用いた SfM (Structure from Motion) 写真測量は、UAV 機体の安定した操縦性と搭載カメラが高性能になったことにより急速に普及している。

UAV 空撮写真から作成されたモデル座標を地上座標に変換し測量の精度を高めるためには、地上に標定点が必要である。従来の有人航空機による写真測量においては、航空機に RTK と IMU (Inertial Measurement Unit) を搭載し、標定点を大幅に減らす工夫がなされてきた。しかし、小型の UAV には重量の重い RTK や IMU などは搭載できないため、地上に標定点や精度を確認するための検証点が必要となる。標定点及び検証点の測量には TS による方法と RTK による方法等があるが、TS による方法は測量に習熟した技術者でないと設置が難しい。これに対して、RTK による方法は熟練技術者でなくても、一人でアンテナポールを立てるだけで、1 点当たり約 10 秒で観測可能である。最近では、測量専用 GNSS 受

信機の約 1/10 の低価格高感度受信機が開発され、運転支援ガイダンスや投雪装置の自動制御システムの実証実験も行われている。ここでは低価格 GNSS 受信機とオープンソースソフトウェア「RTKLIB」³⁾ による出来形計測と、UAV 標定点及び検証点計測のための精度検証について述べる。

2. RTK の原理と観測方法

RTK の主な構成要素は、図-1 の既知点に設置した基準局 (Base Station)、データ伝送システム、および図-2 の移動局 (Rover Station) である。また、図-3 は RTK の原理図であるが、既知の固定点に設置された基準局の受信機では、常時可視衛星からの電波を受信し、搬送波位相の積算値データを測定する。そして、それらのデータを含む測位用データをインターネットや無線装置で移動局に伝送する。移動局でも同様に搬送波位相を測定し、基準局から伝送されてきた測位用データと共に使用して、実時間で移動局の三次元位置が求められる。基準局からの距離が 10km 以内なら、1cm の精度で移動局の位置を求めることができると言われている。一方、測位衛星は年々増えており、ビル街や山間部といった上空視界に制約がある地域でも計測できることが期待されている。

また、基準局と移動局の観測データや補正データの送受信をインターネット経由で実現するための仕組みとして、NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) が必要であり、一般に NTRIP Caster によるデータ配信サービス (図-4) を利用することになるが、本研究では、継続的で安定した運用のために専用の NTRIP Caster を構築した。

観測の方法は、アンテナと受信機にパソコンを接続し解析する。解析に要する時間は 2 周波受信機の場合、Fix 後 10 秒で観測点を移動しながら観測解析する。

3. 固定基地局の座標決定法

RTK-GNSS 測位では、基地局と移動局の相対的な位置関係を求めるため、固定基地局のアンテナ中心の地球上の座標を決定する必要がある。基地局の位置誤差はそのまま、移動局の位置誤差となって現れる。したがって、基地局の位置データは正確であることが重要であり、一般には、次のような方法で求められる。

- (1) 他の基地局を参照して RTK で求める方法
- (2) 電子基準点を利用した PPK (Post Processing Kinematic : 後処理キネマティック) 測量による方法
- (3) PPP Static (Precise Point Positioning Static : 精密単独測位によるスタティック) モードで、数日間測位した状態にして測位データを取得する方法
- (4) TS や VRS (Virtual Reference Station : ネットワーク型 RTK-GNSS サービス) による測量

それぞれに長短があり、年間数 mm から数 cm 程度移動する地殻変動なども考えると、実際には基地局の位置を 1 cm の精度で求めることは困難である。

(1) の方法は、最も簡単であるが、基地局が 10 km 以内でない場合は、精度が悪くなる。(2) の方法は、確実に精度も高いが、24 時間以上の観測が必要で、後処理も複雑で面倒である。(3) の方法は時間が掛る上に、最終的には数 10 cm 以内の精度でしか測位できない。(4) の方法は、確実にあるが、それなりの経費が必要である。

本研究では、上記 (1) ~ (4) の方法の問題点を解決する方法として、次の方法を検討・検証した。測量の方法としては独自の方法ではあるが、TS で測量された現地座標と整合性が取れることを確認した。

①第 1 固定基地局 (RTK 研究会において最初に設置した第一工業大学始良局) の位置を上記 (2) の方法で求める。

②①で求められた固定基地局の座標値を仮座標として、近傍の基準点の座標を移動局で測位する。

③②で測位した座標と基準点の座標差を①の第 1 固定基地局の仮座標に補正して、第 1 固定基地局の座標を確定する。

第 1 固定基地局近傍の基準点座標 (2 級基準点) は、基準点自体が持つ測量誤差、測量方式の違い、あるいは、地殻変動などにより、GNSS で求めた基地局とは、ズレがある。建設工事などは、国家基準点や公共基準点に基づき実施されるため、なるべく基準点座標に合わせる必要がある。

④第 2 固定基地局以下は、それ以前に求められた固定基地局 (なるべく距離の近い固定基地局) より仮座標を求め、②③の手順で、近傍の国家基準点や公共基準点より観測し仮座標に補正確定する。

4. 検証結果

図-5~図-7 は、TS 観測で設置した工事基準点及び標定点となる既知点について、RTK で時間を変えて 5 回観測し、RTK の観測座標値から TS の観測座標値を差し引いた XYH の較差である。RTK の基準局は現場中心付近より約 500m 南東に離れた基準点 (図-5 の HT-2 側) に設置した。XY 座標の較差は、平均 3cm 程度で、最大値と最小値の差は 10cm 程度であった。また基準局から離れるにしたがって右上がりになる傾向が見られた。標高値の差は 1 回目の観測で全点に渡り大きく、特に点 HT-4 で 35cm と極端に大きかった。ミス Fix の可能性がある。他の観測では、最大値と最小値の差は 3 cm 程度であった。

図-8 は、1 回目の RTK 観測値により求めた各点の水平位置のずれをベクトル図で表したものである。点 HT-14 は基準局より最も離れているが、最初の 3 点を除き、基準局から離れるにつれてずれの量が大きくなること、南東方向から反時計回りに回転しながらずれる傾向があることより、TS 座標系と RTK 座標系の違いによる影響があると考えられる。図-9 は東端の点 HT-2、中央の点 HT-8、西端の点 HT-14 を基準として、X 方向移動量 : +4 mm, Y 方向移動量 : -10mm, 回転角 : -20", 伸縮率 1.000003 でヘルマート変換を施したベクトル図である。変換後は全体的に 10mm 程度のずれに収まっている。

図-10 は、河道掘削工事現場でアンテナポールを保持して、約 1m/s の速さで 1 時間歩きながら計測した点群データより GIS で処理した三次元図である。また、図-11 は、それをベースに CAD で仕上げたものである。

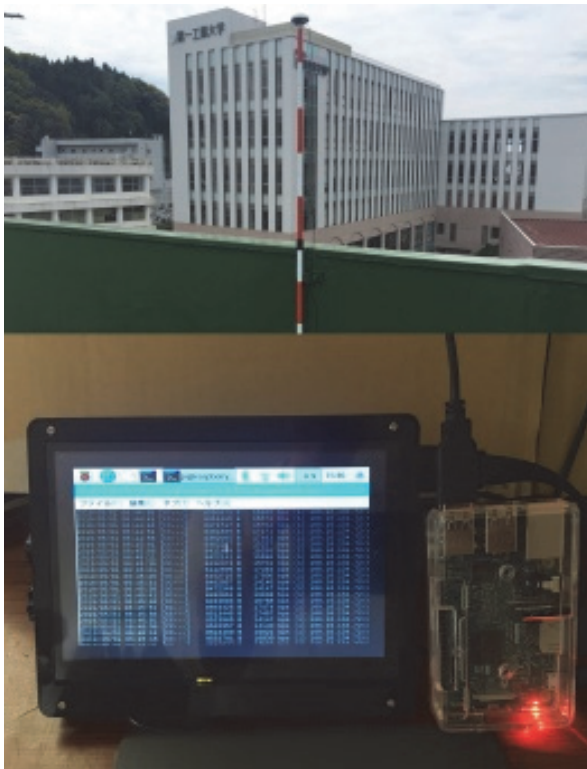


図-1 Base Station



図-2 Rover Station

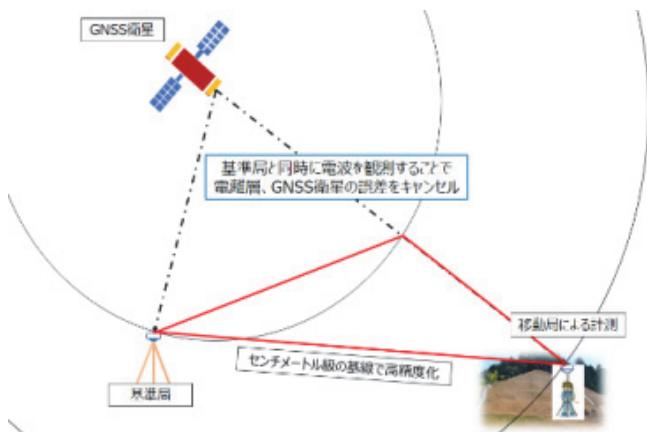


図-3 RTK の原理

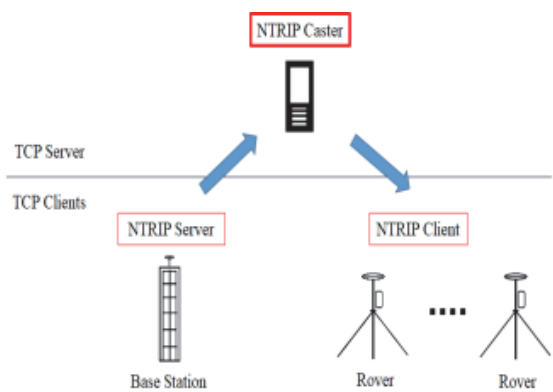


図-4 NTRIP の仕組み

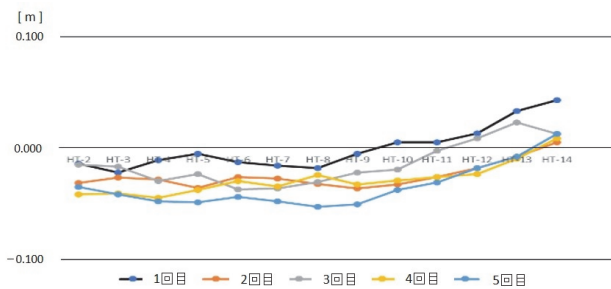


図-5 TS 観測と RTK 観測の X 座標の較差

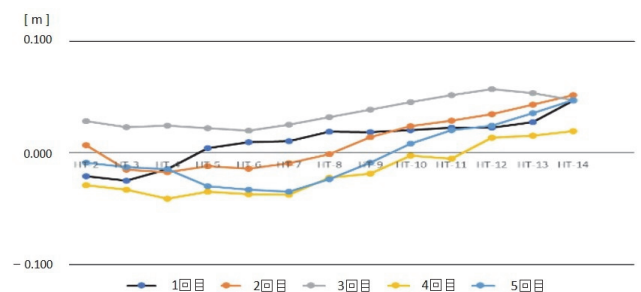


図-6 TS 観測と RTK 観測の Y 座標の較差

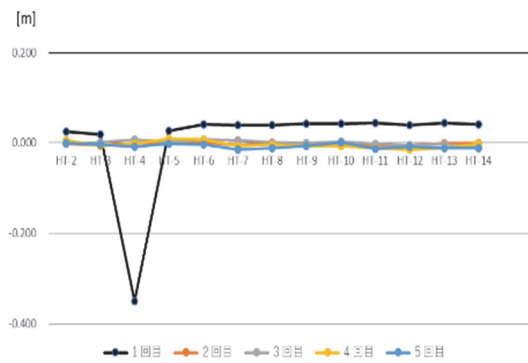


図-7 TS 観測と RTK 観測の H (標高) の較差

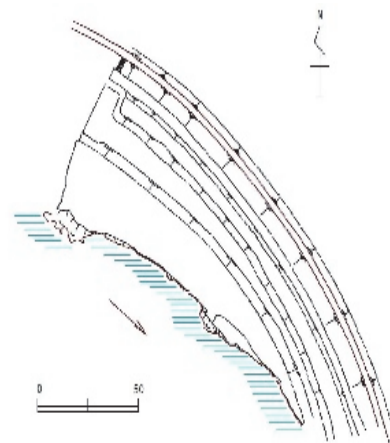


図-11 CAD 仕上げ

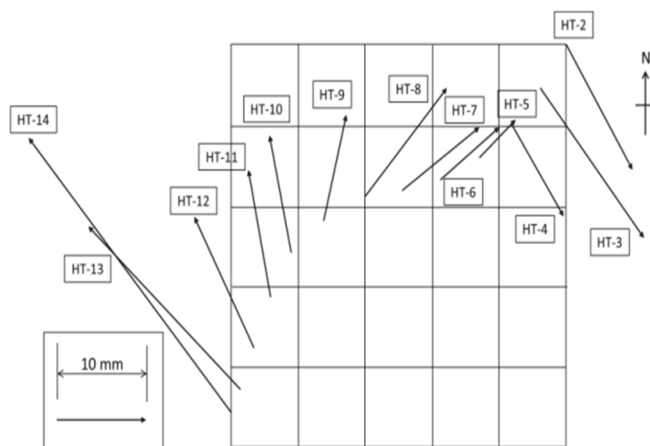


図-8 TS 観測と RTK 観測の水平位置のずれ

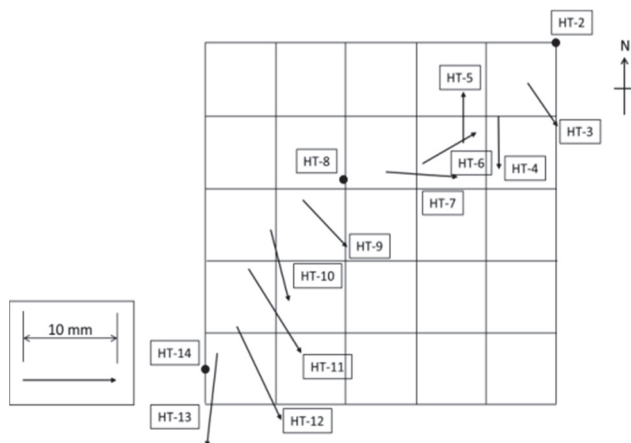


図-9 ヘルマート変換後

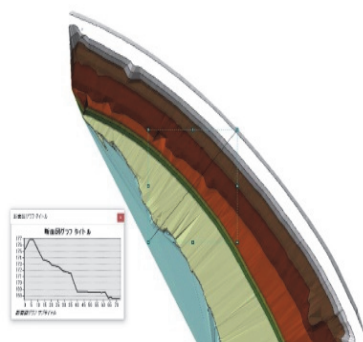


図-10 RTK による点群計測

5. おわりに

RTK 測量は GNSS 衛星からの微弱な電波を利用するため、樹木や山崖あるいは建物により電波が遮られる場合がある。また、山や建物などに反射して複数のルートを通って伝播するマルチパスや、天候あるいは衛星の配置が観測精度に影響する。本検証においても、複数の観測でそれらの影響と考えられるミス Fix があった。国土交通省の出来形管理要領にもあるように、工事基準点上で初期化を行い、初期化直後の計測値に大きな誤差が無いことを確認するようになっている。つまり、4 級基準点と同等以上の基準点との較差が、水平方向 20mm 以上または鉛直方向 10mm 以上（面管理の場合は 30mm 以上）ある場合は、再度、初期化を行う必要がある。標定点及び検証点の計測においても同じである。本検証により、低価格 RTK でも TS 観測と同等の精度で計測できることが確認された。しかしながら、現段階では、アンテナや受信機などの測量機器は、国土地理院での検定などクリアしなければならない。本検証で用いた RTK は低価格で簡単に、効率良く計測できることがメリットであり、普及のためには、法的な基準や検定の方法などの緩和が望まれる。

謝辞：本研究は、国土交通省 2019 年度データを活用して土木工事における施工の労働生産性の向上を図る技術に認定され助成を受けて実施された。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：RTK-GNSS を用いた出来形管理要領（案），2018 年 3 月。
- 2) 国土地理院：UAV を用いた公共測量マニュアル（案），2017 年 3 月改正。
- 3) 岡本 修：1 センチ追跡移動制御，トランジスタ技術 2018 年 1 月号，pp.36-120。