

# 1周波ローコストGNSS受信機の測位性能に関する評価

## Evaluation of Positioning Performance for Low-cost Single Frequency GNSS Receiver

千葉 史隆 FUMITAKA CHIBA

三上 博 HIROSHI MIKAMI

掛橋 孝夫 TAKAO KAKEHASHI

アメリカのGPSやロシアのGLONASSなどの測位衛星を複数併用することにより、安価な1周波GNSS受信機においてもRTK測位を安定して利用できる可能性が高まっている。そこで、1周波ローコストGNSS受信機による測位試験を行い、性能を評価した。その結果、測位誤差は数cm以内に収束し、RTK測位用受信機としては十分な性能を有していた。しかしながら、受信開始後に誤差が数cmに収束するまでの時間にばらつきがあり、観測中に衛星数が増加した際は、一時的に精度が低下することを確認した。

**キーワード** : GNSS, RTK 測位, 1周波受信機, ソフトウェア受信機

The low-cost single frequency GNSS receiver will be able to be stable measurement by using multiple combination of positioning satellites, such as GPS and GLONASS. The purpose of this study is to verify the availability of the low-cost single frequency GNSS receiver positioning to real time kinematic positioning system. Experimental result showed that a low-cost single frequency GNSS receiver had high accuracy. However, it is not stable measurement, when the number of satellites increases.

**Key Words**: GNSS, RTK Positioning, Single Frequency Receiver, Software Receiver

### 1. はじめに

GPSをはじめとする衛星測位技術は、多くの建設工事において利用されている。中でも、移動体を数cm以内の誤差で計測するRTK測位は情報化施工で用いられており、施工精度、施工品質の向上に寄与している。近年では安全管理の一環として、クレーンの先端に設置したGPS受信機でブームの位置を計測し、作業範囲を監視するシステムに利用されている<sup>1)</sup>。今後もさまざまな利用用途が想定される反面、測位に使用する受信機が高価な2周波受信機であるため、多くの台数を導入するのが困難な状況である。今後、RTK測位を用いた新たなアプリケーションの開発に至っても、十分に対応できないことが想定される。そこで筆者らは、受信機の調達コストを抑える方法について検討した。

受信機の調達コストを抑える方法として、安価に調達可能な1周波受信機によるRTK測位がある。1周波受信機は測位計算処理に多くの衛星数を必要とするため、衛星数が少なかった頃は、RTK測位には不向きであるとされていた。しかし、近年では、GPSやGLONASSの他、EUのGalileo、中国のBeiDouが運用を開始しており、

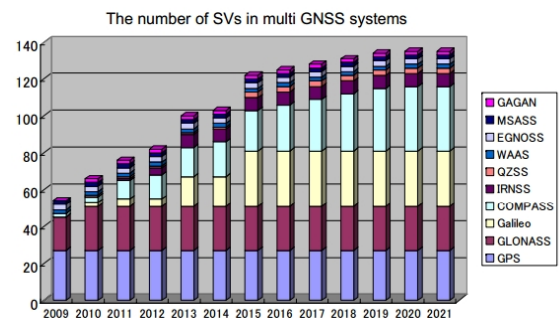


図-1 衛星数の変遷<sup>2)</sup>

今後もさらに多くの衛星を使用できる状況となっている(図-1)。マルチGNSS (Global Navigation Satellite System : 全地球測位システム) と呼ばれる複数の衛星を併用する測位環境が整備されたことで、1周波受信機においても、RTK測位用の受信機として十分な性能を発揮できる可能性がある。

本稿では、GPSとGLONASSを併用した1周波ローコストGNSS受信機による測位試験を実施し、測位精度と、観測中に数cm以内の誤差で観測した時間(有効測位時間)からRTK測位性能を評価した。

## 2. GNSS 受信機の構造と RTK 測位の原理

### (1) 受信機の構造

GNSS 受信機の構造は、大きく以下の3つの処理から構成されている(図-2)。

- ① 受信した衛星電波をデジタル信号に変換し、衛星ごとに信号の捕捉を行う処理。
- ② 衛星信号に含まれる疑似距離、搬送波位相、航法データといった生観測データを出力する処理。
- ③ 生観測データより測位計算を行い、結果を出力する処理。

一般的な GNSS 受信機は、一連の処理を受信機内部の基板で処理しており、RTK測位性能を左右する測位計算の処理内容を公開していない。一方で、今回使用した1周波受信機は、信号捕捉から生観測データの出力に1周波対応の受信機組込み用の基板を使用し、測位計算をパソコン上のソフトウェアで行っている。ソフトウェアには RTKLIB2.4.2 を使用しており、フリーのオープンソースプログラムである点が特徴として挙げられる<sup>3)</sup>。RTK LIB は処理内容が公開されているため、1周波でのRTK測位に最適な処理に書き換えることが可能である。また、フリープログラムであるため、コストを大幅に削減することが可能となり、調達コストは一般的な2周波受信機の1/2～1/3程度である。

### (2) RTK 測位の原理

RTK測位は、衛星と受信機間の距離を、衛星電波の波数に波長(L1波=19cm)を乗じることで、数cm以内の測位誤差で位置を特定している。ここで、受信開始直後の波数のうち、小数部は観測できるが整数部は未知数のままである。受信機は生観測データを測位計算処理することで波数整数部を推定しており、波数整数部を実数で推定した場合を Float、整数で確定すると Fix と呼ばれる測位状態となる。精度は Float で十数 cm～1m程度、Fix で 5mm～20mm であり、RTK測位では Fix の結果のみを使用する。

波数を推定する処理は初期化と呼ばれ、初期化に要する時間、初期化の正確性がRTK測位では重要である。初期化は受信開始直後のほか、衛星数が4衛星を下回った際に行なわれ、上空視界が良好な地点では Fix を継続して得ることが可能である。

## 3. 1周波受信機によるRTK測位性能の評価

1周波ローコストGNSS受信機によるRTK測位を行い、RTK測位用受信機としての性能を以下の3項目から評価

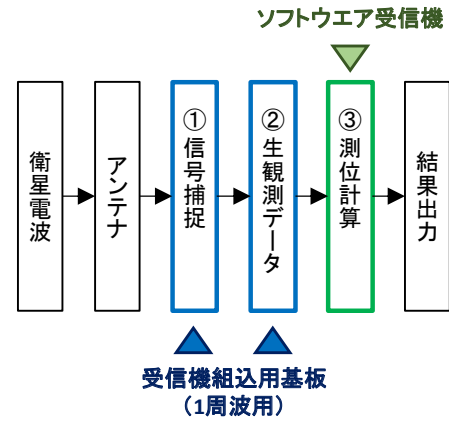


図-2 1周波受信機の構造

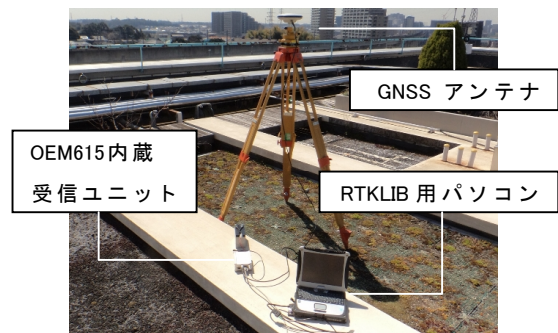


図-3 観測状況

した。

- ① 測位精度 (XY平面)
- ② 初期化時間 (受信開始から初期化が完了するまでの時間)
- ③ 有効測位率 (全観測時間のうち、cm精度の結果が得られた時間の割合)

今回使用した1周波受信機のうち、信号捕捉と生観測データを出力する受信機組込み用基板に、NovAtel社製のOEM615を使用している。なお、生観測データをパソコン上のRTKLIBに入力するため、パソコンとの接続に必要な端子を備えた受信ユニットに、基板を組込んで使用した。1周波ローコスト受信機による観測状況を図-3に示す。

### (1) 測位精度

評価に使用した観測データは、上空視界が良好な地点において、100分間静止した状態で観測した結果である。測位精度は観測結果のうち、Fixで得られた結果を評価対象とした。

図-4は測定箇所の真値を中心とするXY平面であり、測定値のばらつきを示している。観測の結果、水平方向のばらつきは±20mm以内に収束していることが確認され、測定値の平均値と真値との較差はX方向で-2.5mm、

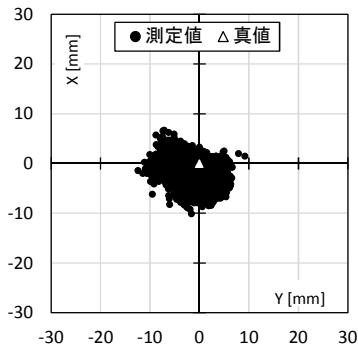


図-4 観測結果のばらつき

表-1 観測結果

較差[mm]		標準偏差[mm]	
X	Y	X	Y
-2.5	-0.3	2.4	3.3

表-2 初期化結果

観測日	1月20日	1月28日	3月17日
初期化時間 [s]	0	0	189
エポック数	1	1	945
衛星数	9	8	8
HDOP	1.3	1.5	2.5

Y方向で -0.3mm であった (表-1)。

1周波受信機は2周波受信機と比較して、初期化の信頼性が低いとされているが、今回の観測では、誤った波数で確定したミス Fix と呼ばれる現象も確認されていない。測位精度についてはRTK測位用受信機として十分な性能を有していることが確認された。

### (2) 初期化時間

初期化時間は、受信を開始してから最初の Fix を得るまでの時間を評価に用いている。比較対象として3日分の観測結果を使用しており、各観測とも、観測場所、測位に使用する衛星の選択条件は同一である。なお、測定間隔は5Hzである。

初期化の結果を表-2に示す。2015年1月20、28日の観測では、受信開始直後に Fix が得られ、瞬時に初期化が完了した。測位計算に使用した RTKLIB の初期化アルゴリズムは、観測環境が良好な条件下では1回分の観測データ (エポック) で初期化を完了することが可能であり、1エポック (0.2秒) で初期化が完了した。なお、初期化時の測位誤差は良好であり、正常に初期化が完了している。一方、3月17日の観測では、初期化に時間を要する結果が得られ、初期化に189秒 (945エポック) を要している。各観測とも、日時以外の観測条件は同一であるため、初期化時間にばらつきが生じた原因は、衛星配置などの測位環境によるものと考えられる。実際に、衛

星の配置を原因とする精度の低下率を示す指標 (HDOP) を比較すると、初期化に時間を要した3月17日の値が2以上を示している。一般的にHDOPは2.0以下が良好とされており、他の観測日と比較して衛星配置が悪い状況下での観測であった。現段階では衛星配置と初期化時間の関係性は不明であるが、1周波ソフトウェア受信機の初期化時間は、ばらつきがあることが確認された。

### (3) 有効測位時間

全観測時間に占める Fix の割合を、有効測位時間として評価した。1月20日の観測において、測位に使用する衛星の最低仰角を10度とした観測では、Fix率は91.4%であり、大部分の時間でRTK測位が利用することができた (表-3)。測位状態の時間推移を確認すると、1月20日の観測は初期化が瞬時に完了しているため、初期化状態を示す Float を観測中に取得したことが確認できる。一般的に、初期化完了後に再度初期化する状況として、可視衛星数が4衛星以下となった場合や、マルチパスと呼ばれる建物や地面に反射した衛星電波を受信した場合がある。しかしながら、本観測は上空視界が良好な地点での測位であるため、可視衛星数が4衛星を下回ることがなく、マルチパスの影響が小さいと考えられる。そのため、今回確認した再初期化は、1周波受信機特有のものであると考えられる。今回取得した Float の発生状況を分析すると、測位に使用する衛星数が影響していることが明らかとなった。図-5は測位状態と衛星数のエポックの推移を示しており、衛星数が増加したエポックと、測位状態が Fix から Float に変化するエポックが同一で

表-3 有効測位時間の割合

測位状態	観測エポック数	測位率 [%]
Fix	27487	91.4
Float	2602	8.6
Single	0	0
Total	30089	100

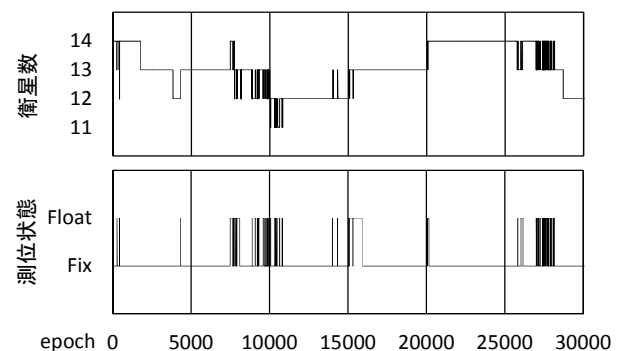


図-5 衛星数と測位状態の時間推移

あることが確認できる。したがって、良好な測位地点において再初期化した要因は、測位計算に使用したRTKLIBの特性であり、衛星数が増加した際に再初期化するアルゴリズムが原因であると推察される。

衛星増加を起因とする再初期化を防ぐ方法として、以下の2つの方法が考えられる。

- ① 衛星数の変化が少ない条件で測位する方法。
- ② ソフトウェア（RTKLIB）を同時に2台稼働させ、衛星が増加するタイミングを意図的にずらす方法。

提案手法を検証した内容を以下に示す。

**a) 衛星数の変化が少ない条件による測位**

観測地点から見て天頂付近にある仰角の高い衛星は、長時間連続して観測することが可能であり、衛星数の変化が少ない。そこで、1月20日に観測した生観測データを用いて、測位計算に使用する衛星の最低仰角を20度、30度に設定した条件の下、有効測位時間の割合を後処理解析により求めた。仰角を高くした結果、仰角10度の観測と比べ衛星数の変化回数が減少し、有効測位率が100%に近い値を示した（図-6）。長時間連続して観測し続けられる衛星を選択して観測することは、有効測位時間を増やす方法として有効であることが明らかとなった。しかしながら、観測環境が変化する移動観測では、観測地点ごとに最適な衛星選択条件が異なり、画一的に設定した条件では、効果が十分に発揮されないことが懸念される。また、衛星増加時に再初期化する症状の改善には至っていないことから、他の対処法と組み合わせる必要がある。

**b) RTKLIBを2台稼働した測位**

測位計算に使用したRTKLIBはパソコン上で動作するソフトウェアであるため、生観測データをパソコン上に立ち上げた複数のRTKLIBにデータを入力すると、複数台の受信機で測位することが可能となる。衛星選択条件が異なるRTKLIBを複数台動かすことで、仰角を高く設定した場合よりも、さらに安定した測位が可能になると考えられる。そこで、設定仰角が異なる2つの観測結果を使用し、どちらか一方の観測でFixであればFixとみなして、複数台動かした状況を模擬した。最低仰角10、20、30度の3つのデータをそれぞれ組み合わせた結果、すべての組み合わせで有効測位率が99.9%以上となった（表-4）。同時に衛星数が増加し、再初期化した時間も確認されたが、再初期化に要したエポック数は最大で24エポックであり、初期化時間を100分の観測中に5秒まで抑えることができた。

衛星選択条件が異なる複数の受信機を稼働させること

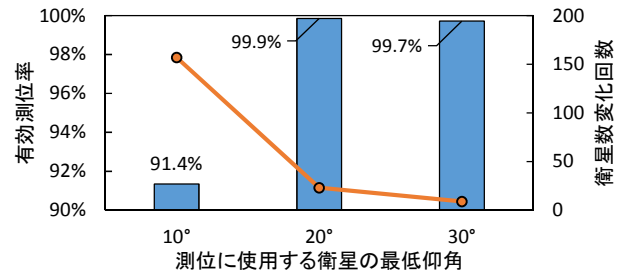


図-6 仰角ごとの有効測位率と衛星数の変化回数

表-4 2台のRTKLIBによる有効測位率の割合

仰角の組合せ	10&20	10&30	20&30
有効測位率 [%]	99.9	99.9	100
初期化エポック数	7	24	0

は、最適な衛星選択条件が変化する移動測位においても有効的な手法であると考えられる。

**4. おわりに**

本稿では、1周波ローコストGNSS受信機によるRTK測位性能について評価した。以下に結果を述べる。

- ① 位誤差は数cm以内に収束し、2周波受信機とほぼ同等の性能を示した。
- ② 初期化時間にはばらつきがあり、観測地点や観測時の衛星配置などが影響を及ぼしていることが推察された。
- ③ 測位に使用する衛星によって有効測位時間に顕著な差が確認された。また、衛星数が増加した際に再初期化する特性を確認した。
- ④ 再初期化を防ぐ方法として、2つの受信機を同時に稼働する方法は効果的であり、移動観測などにも対応することができると想定される。

今回の検証は静止観測による評価であったため、実際の環境下においては異なる結果が示されることが想定される。今後の対応として、今回得られた安定して利用するための対処法を様々な観測環境下で検証し、1周波ローコストGNSS受信機の展開を目指していく予定である。

**参考文献**

- 1) 三上博, 千葉史隆, 伊達峰司: 3D クレーンブーム位置監視システムの実用化, 建設機械施工, 783号, pp19-23, 2015,5
- 2) アジア・オセアニア地域におけるマルチGNSSの状況: [http://qz-vision.jaxa.jp/USE/is-qzss/QZSSUM\\_05\\_04.pdf](http://qz-vision.jaxa.jp/USE/is-qzss/QZSSUM_05_04.pdf)
- 3) RTKLIB ホームページ: <http://www.rtklib.com/>