

## 波浪観測ブイ開発に向けた GNSS 測位精度検証 GNSS Positioning Accuracy Verification for the Development of Wave Observation Buoys

○寺下大智・志村智也・山崎友也・今井優樹・久保輝広・田村仁・馬場康之・森信人・宮下卓也  
○Daichi TERASHITA・Tomoya SHIMURA・Tomoya YAMAZAKI・Yuki IMAI・Teruhiro KUBO・Hitoshi  
TAMURA・Yasuyuki BABA・Nobuhito MORI・Takuya MIYASHITA

This study evaluates GNSS positioning methods for ocean observation buoys. The rotating stand tests simulating ocean wave motions were conducted. This test confirmed that it is possible to reduce wave observation errors by eliminating long-period noise which is specific to satellite positioning. The developed buoy with GNSS positioning system was moored at Tanabe bay near Shirahama Observation Tower. The wave observation accuracy of the developed buoy was compared with a commercial buoy. The comparison showed the good agreement of significant wave heights and wave period between the developed buoy and the commercial one. The results from both tests contribute to understanding the performance and potential improvements for low-cost, accurate wave observation systems (112 words).

### 1. はじめに

近年、沿岸および外洋における高精度かつ安価な波浪観測の需要が高まっている。その背景には、学術研究や海岸工学、港湾工学、さらには海運業界や石油・ガス業界など、さまざまな分野でのリアルタイムの波浪データの必要性がある。しかし、現在市販されている波浪観測ブイは高価であり、その運用には専門知識と手間がかかるため、多くの公共団体や民間団体にとって導入の障壁となっている。

これらの課題を解決するため、低コストで精度の高い波浪観測ブイの開発が求められている。そこで本研究では衛星測位システム (GNSS) による安価かつ高精度な波浪観測システムの構築を目的とする。本研究では、回転スタンドテストと白浜田辺湾における波浪観測データの比較を通じて、GNSS 測位の精度を検証する。これにより、低コストでありながら高精度な波浪観測ブイの実現を目指し、広範な導入を可能にする技術開発に寄与することを目的とする。

### 2. 測位方法

本研究で使用する GNSS 測位方法は、単独測位、CLAS (Centimeter Level Augmentation Service)、MADOCA (Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis) の三つである。

#### (1) 単独測位

単独測位は、最も基本的な GNSS 測位手法であり、

一つの受信機で位置を推定する。GNSS の観測値のうち、コードによる距離測定を利用し、衛星から放送される軌道情報を基に衛星の位置や時計誤差を推定する。また、電離層や対流圏による遅延量を考慮しながら、受信機の位置と時計誤差を推定する。この方法では、最小二乗法などの統計的手法を用いて、誤差を最小化し、位置を推定する。オープンスカイでは、数メートルの精度で位置を求めることが可能である。

#### (2) CLAS

CLAS は、PPP-RTK (Precise Point Positioning – Real Time Kinematics) 方式に基づく補強信号サービスであり、準天頂衛星システム (QZSS) から提供される信号を使用して測位精度を向上させる。CLAS の測位精度は、水平方向で 6.9 cm (RMS) であり、初期化時間は 1 分程度で、Fix 解を得ることができる。このシステムは、日本全土およびその沿岸地域をカバーするが、サービス対象地域はこれに限られている。現在、CLAS は GPS, QZSS, Galileo 衛星に対応しており、特にリアルタイムでの高精度な測位が求められる場合に有効である。

#### (3) MADOCA

MADOCA は、PPP (Precise Point Positioning) 方式に基づく補強信号を生成するための精密軌道・クロック推定ソフトウェアである。MADOCA-PPP は、MADOCA が生成する補強信号を用いて高精度な測位を行うシステムであり、測位精度は約 10 cm (水平方向) である。初期化時間は 15~30 分程

度で、CLAS に比べて長い、そのサービス対象地域は日本周辺の海域およびアジア・オセアニア地域に広がっており、より広範囲に対応可能である。MADOCA は終始 Float 解を提供し、CLAS とは異なり、収束後も時間とともに変化するバイアス成分が残ることがある。このため、MADOCA は時間経過とともに測位精度が変動する可能性があるが、搬送波を利用した測位であるため、コード測位に比べて微小な移動にも高い追従精度を発揮する。

### 3. 回転スタンドテスト

本研究では、京都大学宇治キャンパス E 棟屋上にて、波浪の軌道を模倣した回転スタンドを用いて、三つの GNSS 測位手法の精度検証を行った。回転スタンドは、一定周期で回転する円軌道を描く装置であり、その周期や半径、および使用する GNSS 受信機の種類を変更しながらテストを実施した。図 1 に、回転スタンドテストによって得た楕円体高の長周期ノイズを除去する前（青）と除去した後（赤）の比較を示す。図 2 に、回転スタンドテストによって得られた位置データのプロットと推定される円軌道を、長周期ノイズを除去する前後で比較した。得られた位置データを基に、回転スタンドが描く円軌道を推定し、各位置データから円軌道までの距離を算出した時系列データを図 3 に示す。これを用いて、各測位手法の位置精度を定量的に評価した。

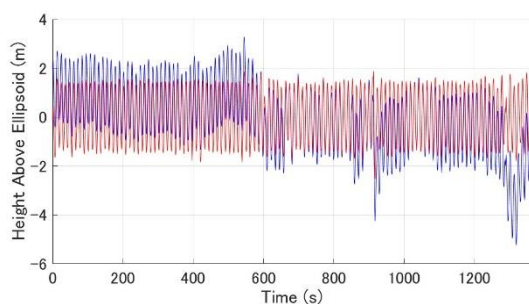


図 1 楕円体高の長周期ノイズ除去前後の比較  
(青：除去前，赤：除去後)

### 4. 田辺湾における係留テスト

田辺湾の田辺中島高潮観測塔付近において、商用ブイと自作の波浪観測ブイを係留し、自作ブイの精度を検証した。係留テストでは、両方のブイを同じ場所に設置し、波浪データを比較することで、自作ブイの測位精度や安定性を評価した。商

用ブイの観測データと比較して、自作ブイとの誤差を測定した。

### 5. 結論

本研究では衛星測位特有の長周期ノイズを除去することにより、誤差を小さくすることが可能であることが確認された。さらに、田辺湾での係留テストでは、商用ブイと自作の波浪観測ブイの波高および周期の波浪観測について良好な一致をみた。本研究により、安価かつ高精度な波浪ブイ実現可能性を示した。

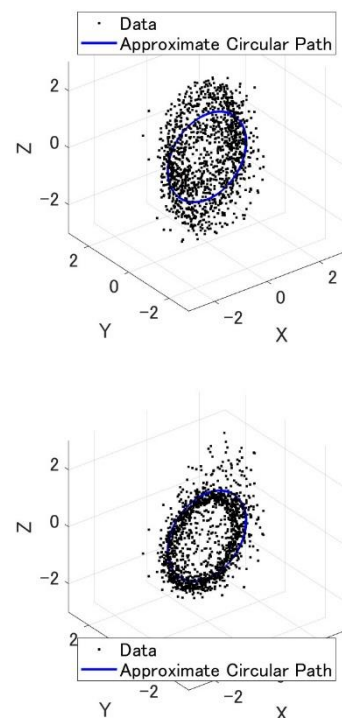


図 2 単独測位による位置データの長周期ノイズ除去前後の比較（上：除去前，下：除去後）

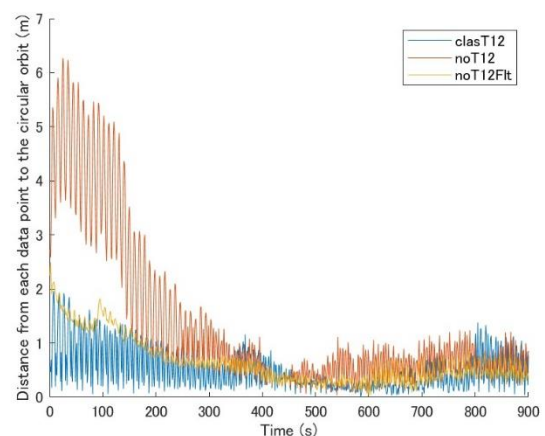


図 3 円軌道から各点までの距離の時系列データ