# UAV牽引型小型超音波測深機の ダム貯水池地形計測への適用と精度評価 APPLICATION AND ACCURACY EVALUATION OF COMPACT ULTRASONIC SOUNDER TOWED BY UAV TO DAM RESERVOIR TOPOGRAPHY MEASUREMENT

## 岡田 将治<sup>1</sup>・安田 晃昭<sup>2</sup>・田内 敬祐<sup>3</sup> Shoji OKADA, Teruaki YASUDA and Keisuke TAUCHI

1正会員 博士(工学) 高知工業高等専門学校 准教授 ソーシャルデザイン工学科 (〒783-8508 高知県南国市物部乙200-1)

<sup>2</sup> 非会員 学士(工学) (株)安田測量 技術推進室 (〒322-0001 栃木県鹿沼市栃窪1164-17)
<sup>3</sup>正会員 学士(工学) 国土交通省四国地方整備局大洲河川国道事務所(〒795-8512 愛媛県大洲市中村210)

We proposed a new topography measuring technique of a dam reservoir by combining UAV and compact wireless ultrasonic sounder. However, problems remained in terms of 1) communication distance limitation, 2) altitude setting during automatic navigation, and 3) measurement accuracy evaluation with RTK-GNSS and Narrow multi-beam sonar. Therefore, in this research, after improving the equipment and application, after conducting basic experiments on the measurement accuracy in the swimming pool, the field measurement was performed in the Ikeda Dam to comprehensively evaluate the practicability.

As a result, it was confirmed that the proposed measurement method has sufficient performance in practice under the measurement conditions implemented in this study.

*Key Words:* Compact ultrasonic sounder, Unmanned Aerial Vehicle, Dam reservoir topography, Measurement accuracy

## 1. 序論

ダム貯水池においては適切な管理を行う上で定期的な 地形測量は重要であるが、ナローマルチビームを用いて 詳細に計測されているダムは全国的には少数であり、特 に都道府県が管理するダムにおいては、財政的な面から も定期横断測量が十分に行われていないのが現状である.

著者ら<sup>1</sup>は、今後の技術者不足の影響も考慮して、ダ ム貯水池の地形測量を省人化および効率化、すなわち低 コスト化できる技術として、魚釣り用に開発された無線 小型魚群探知機(以下, Deeperと示す)をUAVで牽引し、 地形を計測する手法を提案した.高知県永瀬ダムにおい て試験計測を実施した結果、従来手法と同程度の精度を 確保しつつ、低コストで作業員の省人化ができ、可搬性 にも優れ、総作業時間も実際の測量作業を想定した条件 下において5割程度まで大幅に短縮できることを確認し た.

しかし、実用化に向けた課題として計測データを保存

するスマートフォンとWi-Fi 接続で通信するために,両 者の間に約100メートルの距離制限があること(課題①), 市販の汎用型自動航行アプリケーションでは,UAVの 高度が観測者よりも下方(マイナス側)になる条件の設定 ができないこと(課題②),DGPS魚探と同程度の計測精 度を有する<sup>1)</sup>と確認されたものの,RTK-GNSS+ナロー マルチビームを用いて高精度で,かつ詳細な計測された 地形と比較ができていないことが挙げられた.

そこで本研究では、上記3点の課題について改善し、 プールにおける計測精度に関する基礎実験を行った後、 池田ダムにおいて現地計測を実施して提案する計測技術 の実用性を総合的に評価した.

# 通信距離制限,自動航行時の高度設定に対す る改善策

## (1) 通信距離制限に対する改善策

課題①のWi-Fi接続による通信距離の制限に対して、使



図-1 スマートフォンをUAV本体に設置した状況



図-3 RTK-GNSSとDeeperの定点計測結果の比較

用するUAVを一般的に使用されるDJI社のPhantomを想定していたものの、積載可能重量がスマートフォンと Deeper本体(約100グラム)に浮体を加えて300グラムを超えることから、使用するUAVをより大型の機種(ここではDJI社製Matrice200、積載可能荷重約2.3kg)に変更し、 図-1に示すように、スマートフォンを防水ケースに入れてUAV本体の通信に影響の無い位置に設置することにより改善した。これによりDeeperで計測した位置および深度データがスマートフォンで受信・保存可能となった。

#### (2) 自動航行時の高度設定に対する改善策

つぎに、課題②の自動航行の際の高度設定に対して、 一般に使用されるDJI社のアプリケーションGSP(Ground Station Pro)では、飛行する高度をホームポイント(離着陸 地点)との比高差として設定するため、本観測手法のよ うに高度が観測者よりも低くなる場合には設定ができな い.そこで、GSPのような汎用型の自動航行アプリケー ションの機能に加え、高度を標高で設定できるようにア プリケーションを別途改良した.これにより、はじめに 計測対象範囲の状況確認作業を兼ねてマニュアルモード でダム貯水池の水面まで飛行させて水面の標高を確認し た後、自動航行を行う高度を設定することができる.

# 3. Deeperの平面座標の計測精度に関する基礎実 験

既報<sup>1)</sup>では、高知県永瀬ダムにおいてDeeperとD-GPS



図-2 プールにおける定点・移動計測実験



図-4 RTK-GNSS計測点からの距離の相対頻度分布



図-5 RTK-GNSSとDeeperの移動計測結果の比較

測深機を並べてボートで曳航させながら地形計測を行い、 平面座標がほぼ同じの位置にプロットされたことから、 D-GPS程度の計測精度を有していることを示した.ここ では、図-2に示すような高知高専の競泳用プールにおい て、高精度のRTK-GNSSを用いて計測した平面座標と定



図-6 池田ダムにおける改良後の計測状況



図-7 ナローマルチビームを用いて平成30年12月に計測した 貯水池地形(出典:水資源機構池田総合開発所資料)





図-8 自動航行およびマニュアル航行によるDeeperの計測結果 (1秒毎にデータを出力するため、1-2mピッチで地形高が得られる)

点・移動計測した座標を比較することにより,計測精度 を評価した.なお,Deeper本体には電源スイッチはなく, センサー部が水に接すると自動的に電源が入る仕組みに なっている.また,深度が約1.3mを超える条件から測深 を開始するため,バケツに水を入れた程度の水深では実 施することができず,プールで実施することとした.

#### (1) 定点計測による計測精度評価

図-2に示すようにダムで実際に計測する場合と同様に 浮体をつけ、同じ位置で計測するために両側からロープ で引っ張り固定する.はじめに、RTK-GNSSによりより、 正確な位置座標を計測した後、Deeperを同じ場所で固定 し、約10分間の計測を3回実施した.

図-3に計測結果の比較図を示す.着水直後は計測位置 が安定しないため、はじめの2分間分のデータは省いて いる.RTK-GNSSの計測値を正とすると、どのケースも 1mから2mの範囲にプロットされている.得られた900 データに対して、RTK-GNSSの計測値からの距離を算出 し、相対頻度を図-4に示す.距離が1m未満のデータは 全体の38%であり、標準偏差は1.13mであった.

#### (2) 既知点間の移動計測による精度評価

つぎに、プール中央部の13m区間を約0.5m/sの速度で 往復移動させて実際の移動経路と比較した.その結果、

図-9 Deeperとナローマルチビームで 計測した地形高の比較



図-10 Deeperとナローマルチビームで計測した地形高の差 (ナローマルチビーム — Deeper)の相対頻度

図-5に示すように移動する状況であっても、Deeperで計 測される平面座標は移動経路から概ね2mの範囲に収 まっており、この程度の計測精度を有している考えるこ とができる.

## 4. 吉野川池田ダムにおける試験計測

技術な課題①および②を改善し,吉野川池田ダムにおいて実際に測量作業を行う条件を想定した試験計測を実施した.図-6に計測状況を示す.ダム堤体近傍の見通しの良い箇所を離着陸地点とし,はじめに浮体に装着した

Deeperを5mのロープに付けてUAV本体と繋げ,水面上 2m,速度1m/sを目安としてマニュアル操作で牽引させ ながら安定性や貯水位を確認した.その後,目視確認が できる範囲(離着陸地点から直線距離で約450m)において, 自動航行によるデータ取得が問題なく行えることを確認 した.当日の風速は1m/s以下の天候状況であったが, UAV本体を大型化したことにより,より安定した航行 が可能となった.また,計測に際しては、プールにおけ る定点計測結果を参考に,貯水池中央部に移動し、2分 間程度ホバリングして,GPSの衛星捕捉状況を向上させ た後に計測を開始した.

吉野川池田ダムでは定期的にRTK-GNSS+ナローマル チビームを用いた湖底地形計測を実施しており、この計 測結果と比較するため、水資源機構池田総合管理所の協 力をいただいて図-7に示す平成30年12月に実施した湖底 地形(1mグリッド)データを提供いただいた.なお、四国 地方においてナローマルチビームを用いて定期的に湖底 地形測量を実施しているダムは、池田ダムのみであった. 図より、左岸側近傍の地盤高が右岸側に比べて低くなっ ており、右岸側には河床波のような地形が確認できる.

図-8に自動航行およびマニュアル航行により計測された地形高を示す.データは1秒毎に出力されるため、航行速度を1m/sで設定すれば、1mピッチで河床高データを取得できる.縦断方向への測線においては、400mを超える距離のデータを取得することができている.また、航行速度を2m/s程度まで上げて計測した区間もあるが、問題なくデータ取得ができている.

つぎに、Deeperとナローマルチビームで計測された地 形高を比較する.ここでは、前章において平面座標の計 測精度が概ね2mであることが確認できたため、Deeper で計測された平面座標から2mの範囲にある図-7のグ リッドの地形高の平均値と比較することとした.

図-9にDeeperとナローマルチビームで計測した地形高 の関係を示す.なお、計測した時間帯の池田ダム水位が 88.0mであり、計測した区間において水深は3mから11m の範囲であった.図より、バラツキは確認できるものの、 両者は1対1の直線上に多くプロットされている.

さらに詳細に比較するために、ナローマルチビームで 計測した地形高とDeeperで計測した地形高の差のヒスト グラムを図-10に示す.データ総数2171の相対頻度は、 ±0.1m未満および±0.3m未満はそれぞれ全体の31.4%、 59.4%となる.同様に、±0.5m未満が72.6%、±0.7m未 満が80.8%となる.なお、計測された水深の平均値が 6.9mで、5m~9mのデータが全体の85%を占めている. 水深に対する両者の差の割合を計算すると、±5%未満 のデータが全体の49.5%、同様に±10%未満のデータは 全体の85.4%であることから、提案する手法が実務にお いても適用可能な計測精度を有していることが確認できた.

計測手法の再現性,地形が大きく変化する区間における計測精度等,今後さらに計測データを追加して同様な 比較を行うことにより,提案する手法の計測性能・精度 を検証していく予定である.

## 5. 結論

本研究で得られた成果を以下にまとめる.

- 既報で明らかとなった通信距離制限および自動航行時の高度設定に関する課題に対して、UAV本体の大型化および高度を標高で設定できるアプリケーションに改良することにより解決した。
- 2) 平面座標の計測精度を把握するために, 競泳用プー ルにおいて定点および移動計測を行い, RTK-GNSS の計測結果と比較した結果, 概ね2mであることを 示した.
- 3) 吉野川池田ダム貯水池において、目視できる範囲において、自動航行(速度1m/s)により安定してデータが取得できることを確認した.また、航行速度を2m/sに挙げてもデータが取得できていたことから、1回のフライトで1200m以上の計測が可能であることがわかった.
- 4) 吉野川池田ダムでRTK-GNSS+ナローマルチビーム で計測された地形と提案する手法による計測結果を 比較して精度評価したところ,水深に対する両者の 地形高の差が全体の49.5%で±5%未満,同じく全体 の85.4%で±10%未満であった.これにより,本研 究で実施した計測条件下において実務上十分な性能 を有していることが確認できた.この技術の実用化 により,定期浅深測量業務において大幅な生産性の 向上に寄与できると考えられる.

謝辞:本研究を実施するにあたり,水資源開発機構池田総合管理所には,データの提供や現地調査に際してご配慮いただいた.記して謝意を表する.

#### 参考文献

 岡田将治,安田晃昭,松山海人,松岡直明:UAVと小型ワイヤレス超音波測深機を組み合わせた効率的なダム貯水池地形計測技術の提案,土木学会河川技術論文集,第24巻, pp.25-28,2018.

(2019.4.2受付)