

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

PROPOSAL OF EFFICIENT TOPOGRAPHY MEASUREMENT TECHNIQUE IN DAM RESERVOIR COMBINING THE UAV AND COMPACT WIRELESS ULTRASONIC SOUNDER

岡田将治¹・安田晃昭²・松山海人³・松岡直明⁴

Shoji OKADA, Teruaki YASUDA, Kaito MATSUYAMA and Naoaki MATSUOKA

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)

²非会員 学士(工学) 株式会社 安田測量 (〒322-0001 栃木県鹿沼市栃窪1164-17)

³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)

⁴正会員 学士(工学) 高知県土木部幡多土木事務所 (〒787-0010 高知県四万十市古津賀4-61)

Periodic topography surveying is important for proper management of the dam, but it is not implemented sufficiently in prefectural management dams due to the budget constraint.

In this research, we proposed a new topography measuring technique of a dam reservoir by combining UAV and compact wireless ultrasonic sounder. As a result of test measurement at the Nagase dam in Kochi prefecture, the measurement accuracy of compact wireless ultrasonic sounder has comparable with general ultrasonic sounder, and it is confirmed that total working time can be drastically shortened to about 50% by using proposed measurement system under the assumed actual survey condition.

Key Words: Topography measurement, UAV, Compact wireless ultrasonic sounder

1. 序論

豪雨によって発生した上流域からダム貯水池への土砂の流入・堆積は、ダムの貯水容量に影響を及ぼすため、適切な管理を行ううえで定期的な地形測量は重要であるが、特に都道府県が管理するダムにおいては十分に行われていないのが現状である。また、これらの作業は測量業者により、ボートに艀装した音響測深機等で実施するのが一般的であるが、昨今の技術者不足の影響もあり、専門業者の数も地方から年々減少している。

近年、i-Consturctionの推進により、UAVを用いた3次元地形測量が多く行われるようになったものの、水中の測量に関してはナローマルチビームやグリーンレーザー等の高価な観測機器に頼らざるを得ない^{1),2)}。

そこで、本研究ではUAVと小型ワイヤレス超音波測深機を組み合わせ、ダム貯水池内の湖底形状を従来の手法に比べ、低コストで省人化および迅速化が期待できる新しい測量技術を検討した。はじめに、一般に使用されているDGPS測深機と小型ワイヤレス超音波測深機の計

測精度と比較するため、高知県が管理する永瀬ダム貯水池において、ボートに2つの測深機を並べて設置して地形計測を実施し、出力される航跡と湖底形状を比較する。さらに、実務での活用を想定し、提案するDeeperをUAVで牽引しながら計測する手法と従来の方法を一般的な測量業務の条件下で比較し、機器コスト、計測精度、作業人数、総作業時間等から提案する手法の有効性を総合的に評価し、その他の計測への応用についても考察した。



図-1 GPS測深機とDeeperによる地形計測状況

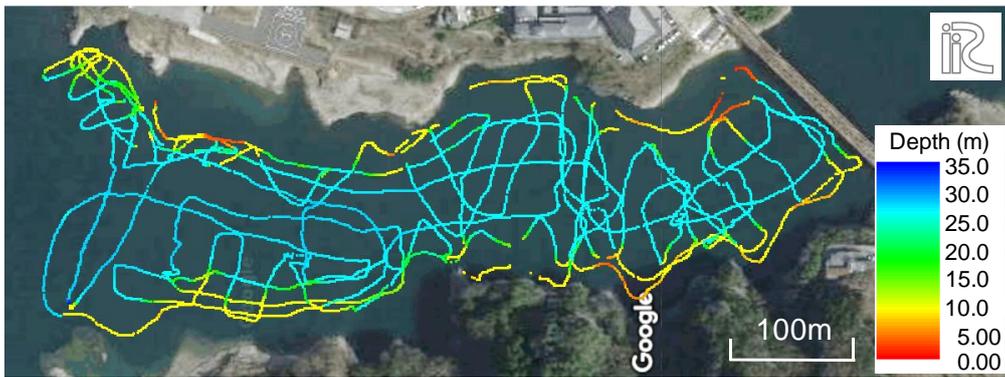


図-2 GPS測深機で計測した航跡と湖底までの水深



図-3 Deeperで計測した航跡と湖底までの水深

2. GPS小型ワイヤレス超音波測深機の概要

本研究では魚釣り用に開発されたワイヤレス型の小型魚群探知機(以下、Deeperと示す)を使用した。この機器は直径65mmの球状の浮体(重さ約100g)に超音波による測深機能(水深は約0.5~80mまで)とGPS(最上位機種のみ)を搭載しており、計測したデータをWiFi経由でスマートフォンやタブレット等に通信(100m程度まで)し、専用アプリケーションで描画・保存することができる。しかし、この機器はあくまでも魚釣り用に製作開発されているため、通常では計測された位置や深度の情報を外部に出力させることはできない。そこで、メーカーの了承を得て専用アプリケーションを改良し、スマートフォン等の内部に記録された時刻、緯度、経度および水深のデータを出力できるようにした。

3. ダム貯水池における計測精度の検証

Deeperの計測精度を検証するため、2017年6月に高知県が管理する永瀬ダム貯水池内において比較計測を実施した。図-1に示すように、ボートにGPS測深機(LOWRANCE社HDS5)と浮体を取り付けたDeeperを並べて設置し、船外機ポートにより毎秒1メートル程度の移動速度で曳航しながら550m×200mの範囲の湖底地形を計測した。図-2、図-3にそれぞれGPS測深機とDeeperで計測した航跡と湖底高を示す。計測範囲内の水深は、0.5mから約35mであり、GPSによる位置情報、あるいは

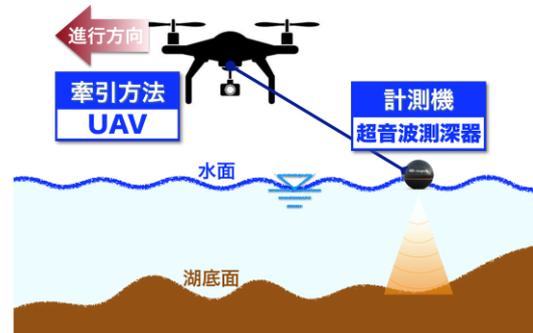


図-4 UAVとDeeperを組み合わせた計測方法の模式図

データ抜けが生じている点も確認できるが、両機器の計測結果を比較して同様な湖底形状が得られたことから、同程度の計測精度を有していることが確認できた。

4. UAVとDeeperを組み合わせた貯水池地形計測法

(1) 従来手法の課題

従来手法では計測機をボートに艀装して行われるため、その運搬には大型車等が必要となり、運搬費を要する大掛かりな作業となる。また、現地到着後も組み立てや計測箇所への資機材の運搬等の準備作業により、2時間程度の時間を要することもある。さらに、作業員がボートに同乗するため、転落の危険性もある。そこで近年発展著しいUAVを用いて計測機を牽引・計測することを試み、従来手法との比較を行った。

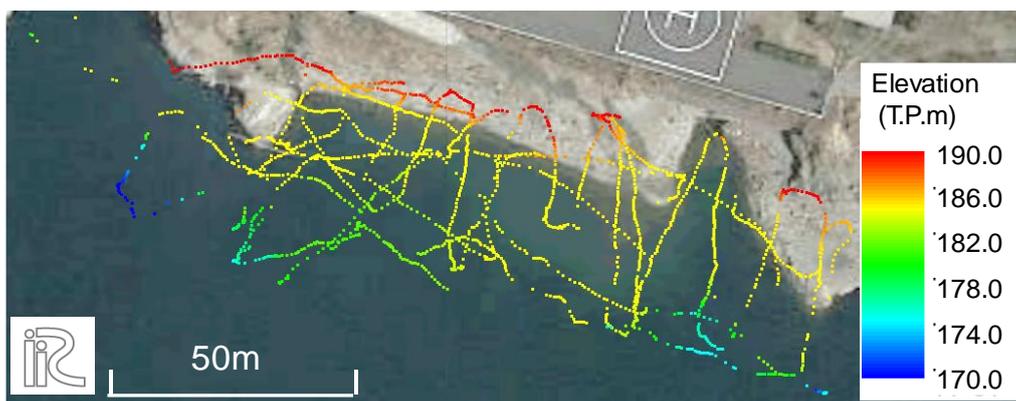


図-5 UAVでDeeperを牽引しながら計測した航跡と湖底高

表-1 従来方法と提案する手法の性能比較

比較項目	従来方法	提案方法
使用機材	超音波測深機 (数十～数百万円) + 小型船舶 (数十～数百万円)	Deeper (数万円) + UAV (数十万円)
作業員数	3名 (水上 2名(操縦者, 観測者)+陸上 1名(補助者))	2名 陸上: 2名 (操縦者, 安全監視員)
運搬手段	大型車等 (トラックやクレーン)	通常の車両で運搬可能
移動速度	1～1.5 m/sec 程度 (一般部)	1～1.5 m/sec 程度 (一般部)
準備時間	2時間程度 (①運搬車両から小型船舶下ろし, ②湖面への運搬, ③エンジン取付け, ④燃料供給, 初期補正等を行う)	10分程度 (①UAVの飛行準備, ②Deeperと記憶媒体の 接続確認, ③UAVとDeeperとの接続確認)
燃料	約2時間作業可能 (携行缶による供給で連続運転も可能)	約25分/本 (電池交換が必要)

(2) UAVを用いた計測方法

ここでは汎用性の高いUAV (ドローン) であるDJI社製Phantom 4 Proを用いて計測機を牽引し, 計測することとした. 図-4の模式図に示すように, UAVと浮体に取り付けたDeeperを約2mの紐状の物で接続した. UAVの揚力, 推進力と水の抵抗力の釣り合いにより, UAVと水面の比高差が上下したが, 測機側の紐の端部にリングを付けることにより, 上下動に対して自由度を持たせることができ, UAVの墜落や計測機の浮き上がりを防止することができた. なお, Phantomのペイロード(積載可能重量)は一般に約400グラムとされており, 検証時には風速が毎秒2メートル程度あったが, 特に問題なく離陸地点から水面までの間を運搬することができた.

近年ではラジコンボートに計測機器を搭載する手法も提案されているが, 計測範囲が目視可能範囲に限られることや水面まで運搬するための手間を考慮すると, 本手法のようにUAVのカメラやGPSにより位置および進行方向が把握でき, 水面まで空中を移動する点で, 計測範囲の大幅な拡大や作業時間の短縮が可能となる.

(3) 計測概要と結果

約150m×約50mの範囲を対象として, 計測した航跡と湖底高の結果を図-5に示す. 計測時間帯にダム貯水位が変化したため, ここでは水深から標高表示に変更してい

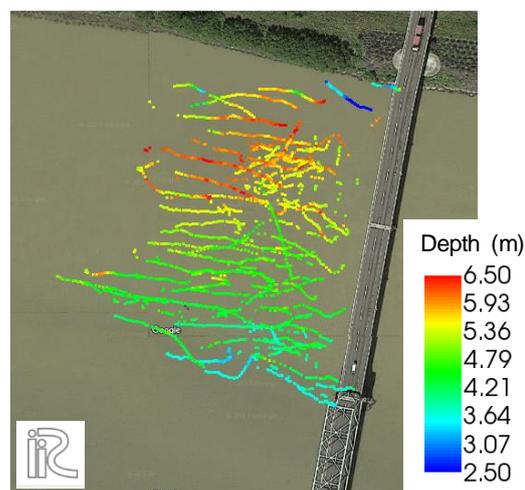


図-6 Deeperによる出水時の河床形状計測のイメージ
(2017年5月に石狩川で実施した試験計測)

る. WiFi通信を保持するため, UAV操縦者とDeeperの距離に注意し, 陸上を移動しながら, 計3本のバッテリーを用いて計測を行った. 移動速度については, 観測感度を考慮し, 精度検証時のボートの移動速度と同じ1m/sec程度で行った. その結果, 他の方法と同様の地形情報を取得することができた. また, バッテリー1本で約25分間, 計測距離は1500m程度可能であることがわかった.

(4) 作業効率の向上

従来手法と提案手法の作業効率を比較するために、一般的な測量業務を想定した条件下（平均横断幅：200m、測線数：10本）において時間を試算した。

前述の計測結果に基づいて、従来の手法と提案する手法の性能について表-1で比較する。従来手法では、作業前の準備時間に2時間程度を要することもあるが、提案手法では10分間程度の準備時間で計測作業に着手可能となる。また、計測時の移動速度は共に超音波を用いた計測機器の場合、同程度と考えられるため、計測時間は従来手法で80分間程度、提案手法ではバッテリー交換を含めて90分間程度で作業が完了すると見込まれる。それらを合算した現場での総作業時間は、従来手法で約200分間、提案手法では100分間程度と想定され、5割程度の作業効率の向上が見込まれることがわかった。

さらに、ダム貯水池内での測量作業を想定した場合、ボートで牽引する場合は流木止めや残地木等の障害物の迂回が必要となるが、UAVの場合は迂回せずに飛び越すことが可能となり、試算以上の作業時間が短縮できる場合も想定される。

5. 本計測手法の河川分野への応用

本研究で提案した計測手法は、ダム貯水池のような静水面を対象としたが、今後は河川計測分野に応用できる可能性が高い。例えば、洪水時の河床形状を計測する手法として、木下³⁾は約30年前に魚探のセンサーを有線浮体(2本の竹竿を十字に重ねて四隅を鉄線で張ったもの)に取り付け、橋上からロープをつけてケーブルとともに流下させる方法を提案している。当時はデータの記録を橋上で行い、流下距離は50m程度、観測時間は数名で一測線当たり2-3分間要しているが、Deeperにより、さらに広範囲で簡易に計測が可能となる。

図-6に石狩川の融雪出水期に試験的に実施した河床形状計測結果を示す。釣竿とリールにより、魚釣りの要領で浮体に付けたDeeperを流下させて計測を行い、出水中の河床形状の平面分布を1名の作業員で(複数の作業員がDeeperを1台ずつ用いて同時に)計測できることを確認している。

また、DeeperのGPS機能に着目すれば、GPS浮子としても活用が可能である。過去の実施事例では、谷ら⁴⁾は信濃川岩沢観測所を対象にGPSを搭載した浮子を橋上から投下し、流観時の浮子の流下軌跡を確認している。さらに、相澤⁵⁾らは、信濃川臼井橋において投下したGPS浮子を電動リールで回収する手法で、浮子の流下状況を横断的に簡易に把握している。これについても、上述の

河床形状計測と合わせて同時に計測ができる本手法の方が汎用性は高く、これらの計測法についても現在検討を進めている。

6. 結論

提案するUAVでDeeperを牽引して計測する手法では、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、UAVの操縦は計測箇所によっては国土交通省への許可申請を要し、水上での低空飛行は安定性を欠きくため、高度な操縦技術を要することがわかった。そのため、今後の課題として、予め設定した飛行ルートでUAVを自動飛行させることにより、さらなる業務の効率化が図れないか検討を進めている。それが実現できれば、毎年、定位置で行われる浅深測量業務での生産性の大幅な向上に寄与できると考えられる。

また、Deeperの位置の計測精度の向上やWiFi通信の範囲に制限されない計測方法の改善についても課題として明らかになったことから、今後も引き続き検討を進めていく予定である。

謝辞：県管理ダムにおける定期測量の実施状況ヒアリングにあたり、栃木県 県土整備部 矢板土木事務所および高知県河川課から貴重な情報提供をいただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：マルチビームを用いた浅深測量マニュアル(浚渫工編)(平成30年4月改定版)、平成30年3月
- 2) 岡部貴之、坂下裕明、小澤淳真、下村博之、蒲恒太郎、宮作尚宏、川村裕、浅沼市男：ALBの河川縦横断測量への適用性の研究、河川技術論文集、第20巻、pp.55-60、2014。
- 3) 木下良作：洪水時の河床形態の変化、第33回水工学論文集、pp.439-444、1989。
- 4) 谷茂行、田中陽三：GPS浮子等を用いた流量観測の検証について、平成24年度国土交通省北陸地方整備局事業研究発表会資料、Bグループ/Iイノベーション(全般)、No.23、2012。
- 5) 相澤朗徳、星野政一、土屋純也：赤外線カメラ画像等による高水流量観測の検討について、平成25年度国土交通省北陸地方整備局事業研究発表会資料、Bグループ/Iイノベーション(全般)、No.10、2013。

(2018. 4. 3受付)