

宍道湖浅水域における UAV・SfM-MVS を用いた水面下地形測量の有効性に関する検討

山口大学大学院創成科学研究科 学生会員 ○大中 臨
 山口大学大学院創成科学研究科 正会員 赤松 良久
 株式会社 長大 正会員 安木 進也
 株式会社 長大 正会員 小野 香苗

1. はじめに

近年では, UAV(Unmanned Aerial Vehicle)による空撮と, SfM (Structure from Motion)・MVS (Multi-View Stereo) を実装したソフトウェアによる写真測量(本研究では, 以下 UAV 写真測量と称す)が注目されている。一方, UAV 写真測量による水面下の地形の把握においては, 水中における光の屈折によって見かけの点が真の位置より高く推定されてしまうという問題が生じる。そのため, 地形データを補正するための最適な水面屈折補正係数が提唱されており¹⁾²⁾, その水面屈折補正係数を使用して河川水面下の地形を把握する試みも行われている³⁾⁴⁾。しかしながら, この技術を宍道湖の浅水域に適用した例は皆無であり, 当該水面屈折補正係数を適用して得られた UAV 写真測量による地形データと横断測量結果を比較した例は少ない。このような状況において, UAV 写真測量を用いた水面下の地形把握と精度の確認についてはさらなる事例の蓄積が必要である。

従って, 本研究では, 湖沼における UAV・SfM-MVS を用いた水面下地形測量の有効性を検討することを目的として, 島根県の宍道湖の浅水域を対象に, 水面屈折補正係数を適用した UAV 写真測量にて得られた地形データと, 実際の横断測量の結果を比較した結果を報告する。

2. 調査対象域および調査方法

(1) 調査対象域

本研究の調査対象域は, 島根県北東部に位置する宍道湖である。宍道湖では, 沿岸における水環境改善を目的とした浅場造成事業が実施されており, 整備効果

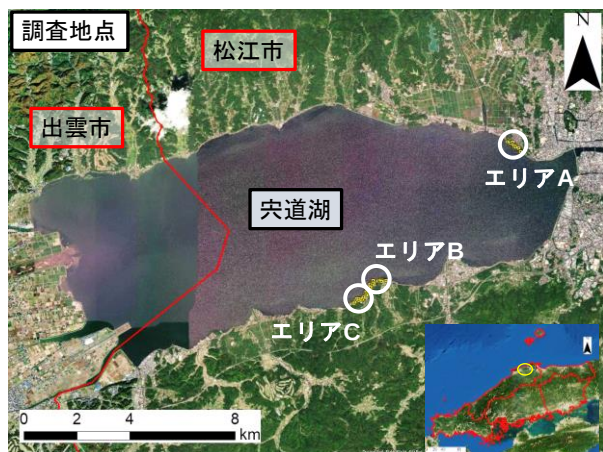
の確認や順応的管理のため, 定期的なモニタリング調査が行われている⁵⁾。本研究では, 浅場造成箇所及び予定箇所である宍道湖(図-1(a))のエリア A(図-1(b)), エリア B(図-1(c)), エリア C(図-1(d))を対象として図中の横断線における横断測量と UAV 写真測量を実施した。

(2) 調査方法

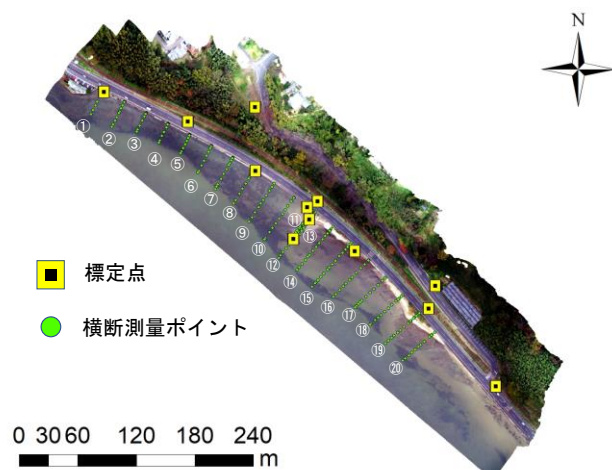
UAV による空撮は, 風速が小さく, 年間で透明度が比較的高かった 2019 年 11 月 23 日, 横断測量は, 2019 年 11 月 27 日, 28 日に行った。横断測量は, 既設の測点を踏査, 点検後, レベル, トータルステーションおよびスタッフを用いて測点より決められた側線方向の地形・地物の変化点について図-1(b), 図-1(c), 図-1(d)に示す横断線について実施した(合計 29 線, 368 点)。UAV 写真測量は, UAV の空撮領域に図-1(b), 図-1(c), 図-1(d)に示す箇所に対空標識を設置し, X,Y,Z の 3 次元位置座標を仮想基準点方式のネットワーク型 RTK-GNSS 測量(Trimble R4-3s)および UAV による空撮を行った。撮影に使用した UAV は DJI 社の Phantom 4 ProV2 を用いた。各地点とも重複率はオーバーステップ, サイドステップともに 80%に設定した。なお, 対空標識の設置間隔は, 国土交通省のマニュアル⁴⁾を参考にし, 100m 以内に収まるようにした。しかし, 水域部に関しては評定点を配置することが困難であったため, なるべく沿岸に近い場所に配置した。空撮によって得られた画像より, Metashape(株式会社 オーク)にて SfM・MVS を行い, 以下の手順で当該地区のオルソ画像および DSM を作成した。①画像間のマッチング, ②評定点の座標, 標高データを GCP(Global Control Point)として入力, ③バンドル調整によるカメラパラメータの最適化, ④点群データ

キーワード UAV 写真測量, SfM・MVS, 宍道湖, 水面屈折補正係数, 浅水部

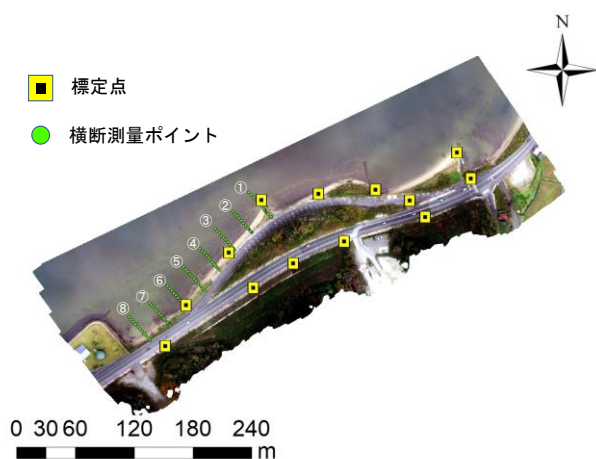
連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 機械・社建棟 B804 TEL 0836-85-9339



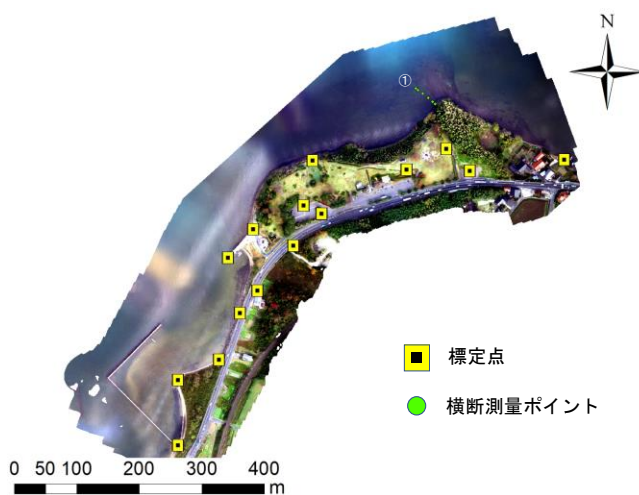
(a) 宍道湖における調査地点



(b) エリア A における評定点と横断線



(c) エリア B における評定点と横断線



(d) エリア C における評定点と横断線

図-1 調査地点および各地点の評定点と横断線の位置

の生成, ⑤DSM (Digital Surface Model : 数値表層モデル) の作成, ⑥水域部の DSM を, ArcMAP (Esri 社) のトレンド機能およびラスタ演算機能と水面屈折補正係数 (1.420) を用いて補正. ここで, バンドル調整とは, 3次元座標の推定に必要なカメラパラメータを, 評定点を元に各画像の撮影の位置, 向き, 内部パラメータ, 対応付けられた特徴点の 3次元座標を関連付ける連立方程式を出来るだけ満たし, かつ評定点の座標の推定値が実測値と出来るだけ一致するように求める作業である. 各地点における撮影画像枚数および解析の設定パラメータは表-1 に示している. 国土交通省は, UAV 写真測量で得られた地形データの精度 (地理情報レベル 250 として使用する場合) として, 評定点との標準偏差が 0.06 以下, 最大残差が 0.12 m 以下と定めている⁴⁾が, 全てのエリアにおいて上記

表-1 各エリアにおける解析パラメータ

	エリアA	エリアB	エリアC
撮影画像枚数	236枚	148枚	432枚
キーポイント制限	100000	350000	350000
タイポイント制限	30000	30000	30000
最大残差 (m)	0.097	0.057	0.046
残差平均 (m)	0.045	0.026	0.024
標準偏差 (m)	0.025	0.014	0.012

条件が満たされていることが分かる.

3. 調査結果

図-2(a), (b), (c)はそれぞれ, 図中に赤線で示した横断線における横断測量の結果と, UAV 写真測量で得られた DSM のデータを比較したグラフである. 水

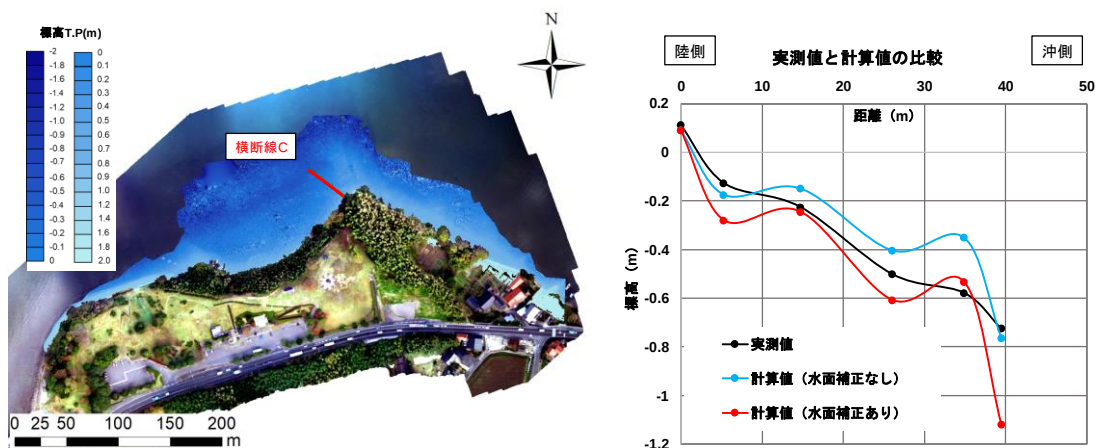
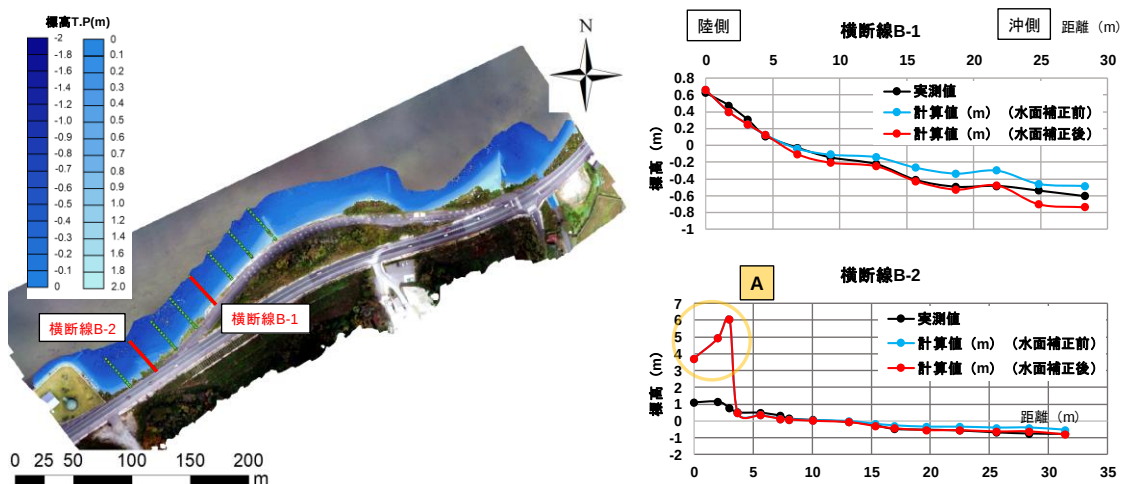
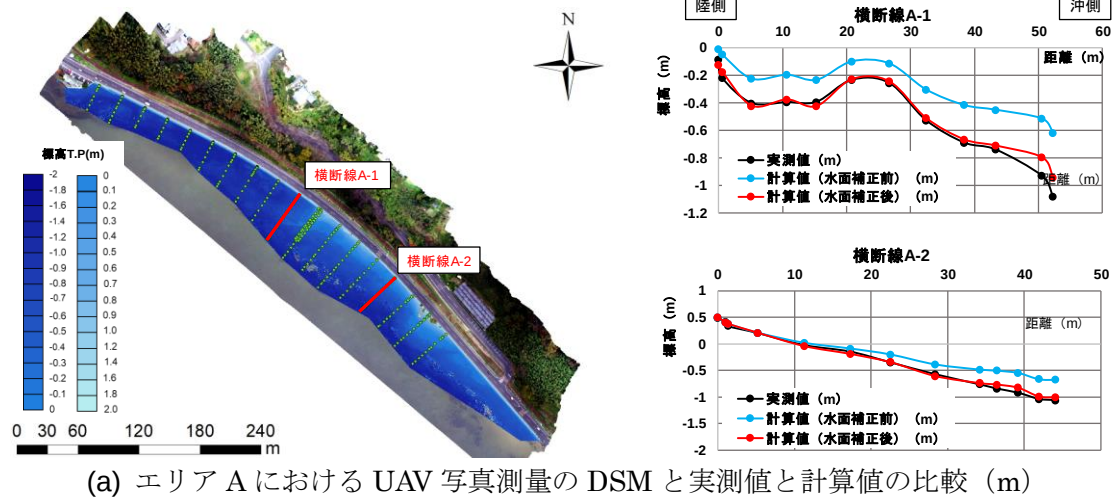


図-2 調査地点および各地点の評定点と横断線の位置

面補正前の UAV 写真測量によって得られた DSM は、横断測量の結果と大きく外れているが、水面補正後は、概ね一致していることが確認できる。しかし、図-2(c)

の A に示すように、植生の下などの横断測量をした箇所の上に遮光性の高い物体がある場合や、図-2(d)に示すエリア C の時のように、水面反射もしくは水

面の揺れの影響によるアライメントの失敗によって、大きく実測値と外れている箇所も存在した。そのため、本研究では横断測量と UAV 写真測量で得られた DSM の誤差を調べる際、当該横断測量における各点の横断測量の結果と UAV 写真測量で得られた DSM データとの標準偏差で、当該箇所の誤差を除いた値が 3 以上の箇所は外れ値と判断して、削除した場合での検討も行った。表-2 には各エリアにおける、横断測量で得られた地形データと UAV 写真測量で得られた地形データの平均誤差を示している。水面補正を行った状態では、エリア A、エリア B、エリア C の平均誤差はそれぞれ、外れ値を含む場合は、0.1062m、0.095m、0.123m、外れ値を除去した場合は 0.0510m、0.058m、0.069m の値となった。なお、水面補正を行っていない状態では、エリア A、エリア B、エリア C の平均誤差はそれぞれ、外れ値を含む場合は、0.228m、0.340m、0.109m、外れ値を除去した場合でも、0.153m、0.249m、0.094m であり、完全に補正が出来ていない箇所も複数点存在するが、本研究で採用した水面屈折補正係数（1.420）によって、UAV 写真測量によって得られた DSM の水域部を補正すると、精度が大幅に改善されることが示された。したがって、UAV 写真測量によって得られた DSM の水域部における真値との誤差は、1.420 を当該水域部の水深に乗じて補正計算を行うことで概ね改善されることが示唆された。本研究では外れ値を横断測量と UAV 写真測量で得られた DSM の値から判定したが、横断測量を実施しない場合でも、オルソ画像や現地の様子から概ね除去することが可能と考えられる。また、本研究の UAV 写真測量で得られた DSM の値は、水深 2m 以内の箇所では、外れ値の発生は少なかったことから、宍道湖の浅水域では透明度の高い時期に 2m 程度の水深まで UAV 写真測量が適用できる可能性がある。

4. 結論

宍道湖における浅場造成箇所及び予定箇所を対象に、横断測量と UAV 写真測量を実施し、横断測量を実施した 29 線、全 368 点で、横断測量で得られた地形データと、UAV 写真測量と SfM・MVS によって作成した DSM を比較した。外れ値を除去した上で、DSM の水域部の値を水面屈折補正係数で補正しな

表-2 各エリアにおける実測値と計算値の平均誤差

	平均誤差 (m)			
	水面補正前		水面補正後	
	外れ値 除去前	外れ値 除去後	外れ値 除去前	外れ値 除去後
エリアA	0.228	0.153	0.106	0.051
エリアB	0.340	0.249	0.095	0.058
エリアC	0.109	0.094	0.123	0.069

った場合の誤差は、全点で 0.165m、補正した場合の誤差は、全点で 0.059m であった。このことから、本手法は湖沼における浅水域の DSM の補正に有効であり、UAV 写真測量によって得られた DSM の水域部における真値との誤差は、1.420 を当該水域部の水深に乗じて補正計算を行うことで概ね改善されることが示唆された。また、宍道湖の浅水域では透明度の高い時期に 2m 程度の水深まで UAV 写真測量が適用できる可能性がある。

参考文献

- 1) 掛波優作, 神野有生, 赤松良久, I GD Yudha Partama, 乾隆帝: UAV-SfM 手法を用いた高解像度かつ簡便な河道測量技術の検証, 河川技術論文集, Vol.22, pp.79-84, 2016
- 2) 神野有生, 米原千絵, I GD Yudha Partama, 小室隆, 乾隆帝, 後藤益滋, 赤松良久: UAV と SfM-MVS を用いた河床冠水部の写真測量のための水面補正係数に関する検討, 河川技術論文集, Vol.24, pp.19-24, 2018.
- 3) 清水隆博, 秋田麗子, 野間口芳希, 米倉瑠里子, 佐藤隆洋, 炭田英俊: 河川管理における UAV の活用方策に関する現地実証試験, こうえいフォーラム, Vol.26, pp. 59-65, 2018.
- 4) 大中臨, 赤松良久, 佐藤領星, 山口皓平, 小室隆, 乾隆帝: 耳川におけるダム通砂が土砂動態及びアユ現存量に及ぼす影響の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.75, No.2, I_391-I_396, 2019.
- 5) 国土交通省中国地方整備局出雲河川事務所: 浅場造成事業 (宍道湖・中海), <https://www.cgr.mlit.go.jp/izumokasen/jimusho/jigyos/asaba-souzei/index.html>, 2020 年 4 月 6 日閲覧.
- 6) 国土交通省国土地理院: UAV を用いた公共測量マニュアル (案), pp.16-23, 2016.3.
- 7) 内田治: SPSS による回帰分析, オーム社, pp.15, 2013.