

中小河川の地形把握のためのUAV写真測量と地上横断測量の コスト・精度等の比較検討に関する一考察

株式会社復建技術コンサルタント

正会員 ○市川健

(同) 正会員 那須野新、非会員 天谷香織、正会員 佐藤慶治

1. はじめに

自治体管理の中小河川において、洪水氾濫が頻発しており、洪水対策や治水安全度の把握ために適切な河川の流下能力の評価が求められている。しかし、自治体の財政的な事情により、流下能力を把握することは全国的に厳しい状況である。流下能力評価に必要な地表面の標高を把握する手法として、従来の地上横断測量や、Unmanned Aerial Vehicle (以下、UAV) とレーザーを組み合わせた UAV レーザー測量が開発されているが、計測費用が高価である。

それらに対し、UAV 搭載カメラで撮影した画像を用い、写真合成により3次元形状を復元する技術(以下、SfM: Structure from Motion)により地形を把握する UAV 写真測量はコスト的に優れている。しかし、植生繁茂下の地表面の標高を捉えにくいという欠点があるため、河道形状把握への UAV 写真測量の利活用が限定的となっている。

以上の課題に対し、国管理河川において、UAV 写真撮影方法や SfM から得られた3次元点群の処理方法の工夫により、植生繁茂下の地表面の標高や樹木繁茂量を推定できることが、著者ら現地実証で証明された²⁾。

一方、中小河川は、堤防上の樹木が河床をオーバーハングし上空から河道内が見えにくい区間、法勾配が5分の立ち護岸を有する堀込区間が存在する等の特徴がある。これらの特徴に対し、従来実施の垂直写真のみの写真合成では、流下能力評価に用いる地表面の標高や樹木情報の取得は困難であると想定される。

そこで本研究では、中小河川を対象に、異なる条件下で UAV 写真撮影(撮影時期、静止画撮影、垂直写真撮影と斜め写真撮影)を実施した。そして、得られた各画像から SfM により算出した3次元点群を用い地表面の標高や樹木情報を算出した。また実測値である地上横断測量を用いる従来手法を真値として、流下断面積や技術者に係る作業時間の比較を行った。

本論では、地上横断測量と UAV 写真測量に対するコスト、精度等についての比較検討結果を報告する。

2. 方法

(1) 検証サイト概要

本研究では、仙台市が管理する梅田川を検証サイトとした。検証の対象は、市街地を流下する延長約1.7kmの掘り込み河道の区間とした。川幅は5~10m程度、平均河床勾配は1/100である。河道の状況として、落葉樹のヤナギ等が繁茂しており、写真-1に示すように樹木が堤防をオーバーハングしている区間がある。また、護岸は5分程度の立ち護岸となっている。



写真-1 検証サイト河道状況 (著者ら撮影)

(2) UAV写真測量 (新手法)

Phantom4 RTK (DJI社製) を用い2018年12月13日にUAV 写真撮影を行った。飛行ルートは図-1に示す流軸に沿って自律飛行を行い、飛行速度約2m/sで撮影した。飛行高度やカメラ角度は図-2に示したとおりである。

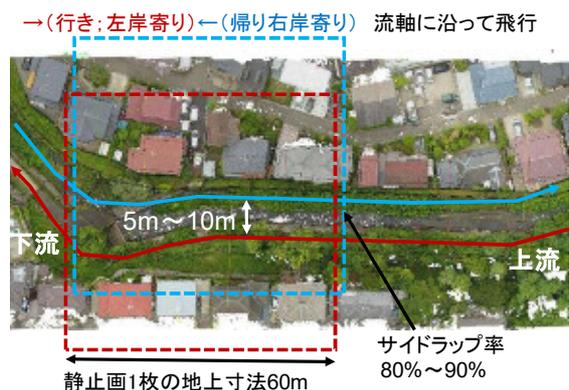


図-1 UAV 写真撮影の飛行ルート (平面図)

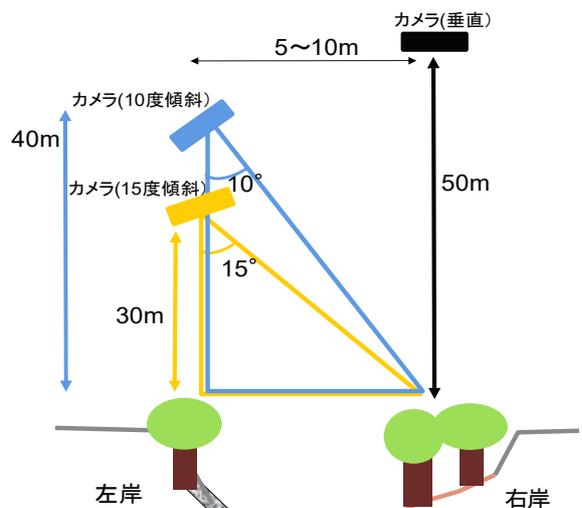


図-2 UAV 写真撮影のカメラ角度と対地高度 (横断面図)

キーワード UAV 写真測量、河道維持管理、中小河川、横断測量、流下能力評価、河川地形

連絡先 〒980-0012 仙台市青葉区錦町一丁目7番25号 Tel : 022-217-2045

(3) 地上横断測量（従来手法）

新手法の作業時間や精度の比較検証用として、従来手法である地上横断測量を実施した。地上測量は、2018年9月25～10月1日の5日間でトータルステーションを用いて実施した。測線は、事前のUAV写真測量から把握された川幅や河床の変化点を含む34断面とした。また、水位計算用に樹高や樹木の本数について、ポールを用いて計測する現地の樹木調査を別途実施した。

3. 結果と考察

(1) UAV写真測量から求めた流下断面積と実測値の比較

流下能力評価に影響する洪水が流下する断面積について、UAV写真測量による方法と実測値である地上横断測量による方法とで実施した精度の比較を図-3に示す。地上横断測量を実施した34断面から堰や水門など複雑な構造物が測線にかかっている7断面を除外した27断面で両者を比較した。なお、各横断の流下断面積は計測した堤防天端高以下から地表面の標高までの面積としている。UAV写真測量による流下断面積は実測値に対し小さく、若干過小評価の傾向となっている。

UAV写真測量による誤差として、UAV写真測量の流下断面積と地上測量との差分値 ΔA を地上測量の流下断面積 A で除した値 $\Delta A/A$ の標準偏差は7.0%であった。これは、流量の浮子観測誤差（1割程度以上³⁾）より小さい誤差であり、粗度係数の丸め誤差（ $n=0.021$ と $n=0.02$ の流下能力の差は約5%）と同等の誤差である。

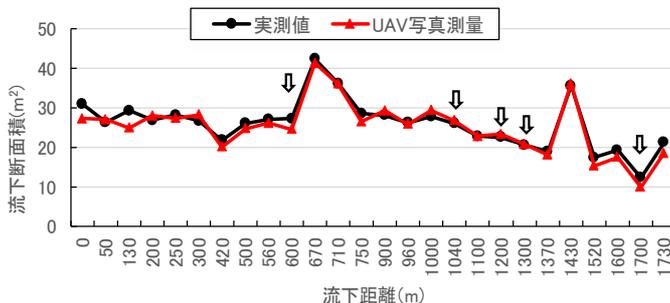


図-3 UAV写真測量と地上横断測量における流下断面積の比較 (◯：樹木の繁茂により、水位計算時に死水域設定が必要な断面を示す)

(2) UAV写真測量と地上測量の作業時間比較

UAV写真測量と地上横断測量について、実際に要した作業時間を表-1に示す。作業は現地計測の事前準備から流下能力計算に必要な横断図作成や死水域設定までの範囲とした。技術者が割く時間が人件費としてコストに直接影響することから人工を算定している。地上横断測量の30人工に対しUAV写真測量は11人工であり、約1/3のコスト縮減が図られる。特に、外業として現地の作業時間が大きく短縮される。

UAV写真測量は、雨天時や強風時は実施不可という課題があるが、作業員が河床上に立ち入る必要はなく堤防上から計測できるため、作業員の安全確保の観点から優れている。一方、横断図作成や死水域設定について、従来に対しUAV写真測量は同等の時間を要している。3次元点群の抽出について、抽出する作業をルール化させ

ルールに基づき作業を自動化させることにより、更なる作業時間の短縮が可能と考える。

表-1 UAV写真測量と地上横断測量における作業時間の比較

項目	地上測量	UAV写真測量
現地計測 (外業)	トータルステーションにより34断面の地上測量	自律飛行により写真撮影
事前準備	・8時間×2名 現地踏査及び選点作業 ・8時間×2名 GNSSによる基準点設置 【計：4人工】	・4時間×2名 支障物等現場確認 ・8時間×1名 飛行ルートの設定 許可申請等 【計：2人工】
実施作業	・32時間×4名 縦横断測量 ・8時間×4名 樹木調査 【計：20人工】	・8時間×2名 UAV写真撮影 【計：2人工】
横断図作成、死水域設定 (内業)	・現地地で得られたデータ（電子野帳）を測量CADに自動読み込み ・技術者が横断図を作成 ・現地写真および計測データから技術者判断により死水域を設定	・StMにより点群化し、技術者の手作業により、1)点群変動の最低点を抽出し横断図を作成、2)点群変動の最高点と最低点の差分値から死水域を設定
実施作業	・48時間×1名 計算、作図、整理	・16時間×1名 StM点群化、パソコンによる自動解析に要した120時間は含まない ・40時間×1名 点群から横断図及び死水域設定 【計：6人工】
合計人工	30人工	11人工

4. 今後の展望

本研究では、中小河川を対象に地上横断測量（従来手法）とUAV写真撮影（新手法）による横断図作成等のコストや精度に対する比較検討を行った。その結果、新手法であるUAV写真測量が従来手法の代替えとして活用できる可能性が示された。

しかしながら、UAV写真測量の精度やコストは、天候やGPS受信環境、点群処理技術等に大きく左右される。また、飛行障害となる鉄道や道路、送電線直近での撮影方法などの扱いがいまだ十分とはいえない状況にある。

熟練した測量技術者が全国的に減少する中、流下能力評価用に最適なUAV写真測量手法を開発することは有意と考える。今後もUAV写真測量に関する研究開発に積極的に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 齋藤正徳, 湧田雄基, 唐木正史, 市川健, 天谷香織, 那須野新: UAV写真測量による簡易な河川地形把握手法を活用した河道管理の検討, 河川技術論文集, 第23巻, pp.179-184, 2017.
- 2) 齋藤正徳, 市川健, 湧田雄基, 天谷香織, 那須野新, 小田嶋健太, 池内幸司, 石川雄章: UAV写真測量における多時期計測データを用いた河道管理手法の検討, 河川技術論文集, 第24巻, pp.257-262, 2018.
- 3) 原田靖生, 二瓶泰雄, 酒井雄弘, 木水啓: 浮子観測の洪水流量計測精度に関する基礎的検討, 水工学論文集, 第51巻, pp.1081-1086, 2007.