

UAV による近接写真測量の精度検証

Accuracy verification of close range photogrammetry using UAV

田中 龍児¹・外山 泉²・石澤 直樹³
Ryoji TANAKA, Izumi TOYAMA, and Naoki ISHIZAWA

¹ 第一工業大学 (〒899-4332 鹿児島県霧島市国分中央 1-10-2)

E-mail: r-tanaka@daiichi-koudai.ac.jp

² 砂防エンジニアリング株式会社 (〒350-0033 埼玉県川越市富士見町 31-9)

E-mail: izumi8_toyama@saboeng.co.jp

³ RTK 研究会 (〒899-2513 日置市伊集院町麦生田 813-24)

E-mail: n_ishizawa1970@outlook.jp

This paper provides an overview of the close-range photogrammetry using unmanned aerial vehicle (UAV). Millimeter-width cracks of roadway surface, slope surface and dam wall surface were measured on the theory of close-range photogrammetry. Installation of the control scale and the calibration of camera lens were needed, but it was possible to measure cracks up to 1mm in width and its length. The use of UAVs can provide cost-effective and sustainable solutions for the infrastructure maintenance.

Key Words: Photogrammetry, Infrastructure, UAV

1. はじめに

我が国では、高度成長期以降に整備したインフラが急速に老朽化し、今後 20 年間で建設後 50 年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる見込みである¹⁾。インフラは、適切に点検・補修・修繕を行い、機能維持を図ることが望ましいが、なかには、財政的理由や労働者不足により、適切な点検・補修・修繕が実施されず、損傷程度が悪化し危険性が増し、供用することができなくなったインフラも出てきている。そのため、効率的にかつ経済的に点検することが重要であり、特に Unmanned Aerial Vehicle (UAV) の活用が期待されている。従来は数日かけて足場設置や高所作業車を使用していた近接目視作業を、UAV に置き換えることで、安全で正確な現状の確認が可能となる。

しかし、橋梁などにおいては近接目視でなければならぬといった法的な壁や、UAV による点検技術の研究は始まったばかりで、打音点検など、現在の人手による点検業務に技術的に追いついていないといった問題も指摘されている。また UAV 活用によるのり面の点検についても、藤田ら²⁾ (2017) などの先行研究があるが、十分な精度とは言えない。

本研究では、道路面、のり面、ダム壁面において、UAV の近接撮影によるひび割れ等の精密計測の可能性について検討した。

2. 近接撮影のための飛行計画

使用した UAV は、DJI 製の Mavic Air で、UAV の諸元と搭載カメラの諸元をそれぞれ表-1、表-2 に示す。

表-1 UAV の諸元

項目	概要
機体	DJI, Mavic Air, 430 g
操縦装置	DJI, Mavic Air 専用プロポ
最高速度	68.4 km/h
最大伝送距離	4,000 m

表-2 カメラ諸元

項目	概要
画角	84°
焦点距離	24mm / 35mm
有効画素数	1200万画素
センサーサイズ	1/2.3型(6.2mm × 4.7mm)

焦点距離 f は、35 mm フィルム換算値 24 mm で、図-1 における 35 mm フィルムの対角線長 L が 43.267 mm より、実際の焦点距離を計算すると、4.316 mm となる。

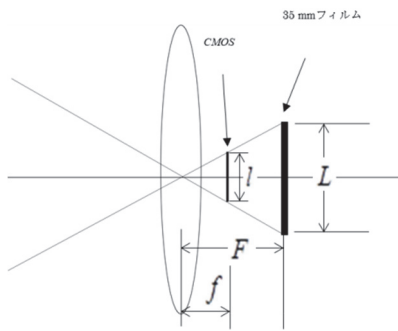


図-1 レンズ焦点距離の関係

写真縮尺 $1/m$, 焦点距離 f , 撮影高度 H とすると, 次式の関係になる.

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} \quad (1.1)$$

また, カメラセンサー1画素のサイズを s とすると, 地上画素寸法 S は,

$$S = s \cdot m \quad (1.2)$$

となる. S が1 mm程度になるときの撮影高度(被写体との距離) H を求めると, Mavic Airでは約3 mとなる. つまり, 被写体より3 m以下の位置で撮影すると, 1 mmの精度で計測できることになる.

図-2は, コース内の重なりオーバーラップと, コース間の重なりサイドラップの関係である. カメラセンサーのサイズを $a \times b$, オーバーラップ $P\%$, サイドラップ $Q\%$ とすると, 撮影間隔 B は(1.3)式で, コース間隔 C は(1.4)式で表される. $P = 90\%$, $Q = 60\%$ とし, Mavic Airのカメラ諸元で算出すると, 撮影間隔は0.4 m, コース間隔は1.3 mとなる.

$$B = m \cdot a \cdot \left(1 - \frac{P}{100}\right) \quad (1.3)$$

$$C = m \cdot b \cdot \left(1 - \frac{Q}{100}\right) \quad (1.4)$$

3. 計測結果

(1) 道路面の計測

図-3は道路面上方から見た撮影位置である. 路面との距離(対地高度)は3 m, 撮影間隔0.3 m, コース間隔1 mで撮影した. 道路面には図-4のように巻尺と標尺のコントロールスケールを設置した.

また, Structure from Motion (SfM) および計測ソフトは, Agisoft製のPhotoScanを用いた. SfMソフトでは通常カメラのひずみ除去は, セルフキャリブレーションで行われるが, 図-5(a)のようにコントロ

ールスケールの有無に関係なく全体が湾曲した. これに対して, 独立したキャリブレーションを設定すると, 図-5(b)のように湾曲がなくなり, キャリブレーションの効果が得られた.

UAVはマニュアル操縦で飛行させたが, 飛行計画に従って撮影しても, わずかなラップ率の低下で, SfMが途切れる場合があった(図-6参照).

以上のことに注意しながら撮影し, 図-7に示すように, 1 mm幅のひび割れの長さをSfMと静止画像で計測できた.

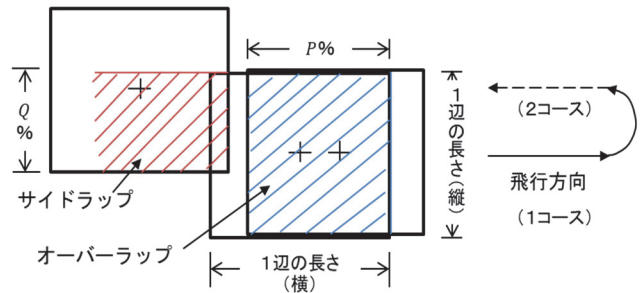


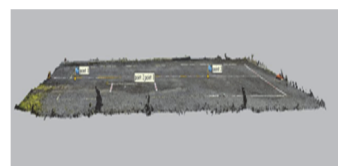
図-2 ラップの関係



図-3 道路面の撮影位置



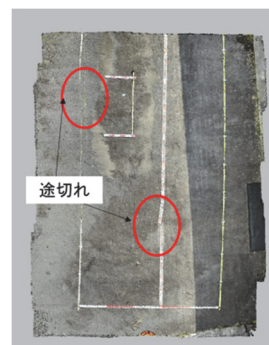
図-4 スケールの設置



(a)キャリブレーション前

(b)キャリブレーション後

図-5 キャリブレーションの必要性



静止画 302 枚使用



静止画 338 枚使用

図-6 撮影写真枚数による違い

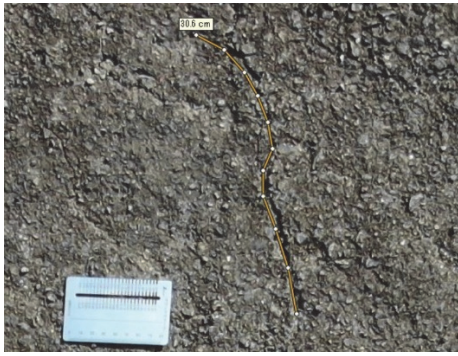


図-7 ひび割れ長 306 mm

(2) のり面の計測

図-8 は、のり面での計測の流れである。のり面に苔等が生えている場合は洗浄が必要である。撮影時はカメラを斜面に正対させるため、図-9 のように、カメラ角度は、斜面の傾斜角とほぼ同じ角度に設定した。

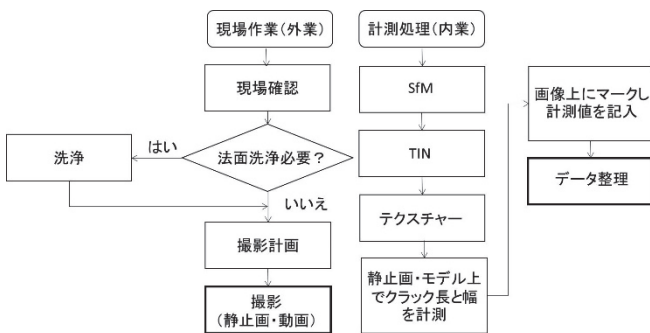


図-8 のり面計測の流れ

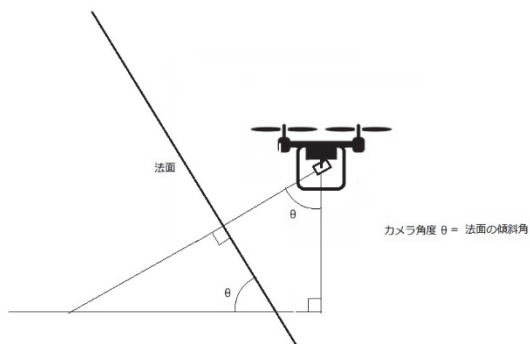


図-9 カメラの角度

図-10 は、計測のイメージである。マニュアル操作のため、計算上のラップよりやや大きく設定し、のり面との距離は 2 m、撮影間隔 0.3 m、コース間隔 1 m で撮影した。のり面との距離 2 m で、UAV の障害物センサーが作動し始めるので、計測中は安全のために横方向から UAV を監視する必要がある。

計測方法としては、SfM を拡大してひび割れ等を計測し、さらに静止画を選択拡大して点検計測した(図-11 参照)。

のり面は草や苔が生えている部分が多くひび割れは視認できなかったが、計測結果は、図-12、図-13

に示す通り、SfM と静止画像上で、約 50 mm のパイプの直径をミリメートルの精度で計測できた。

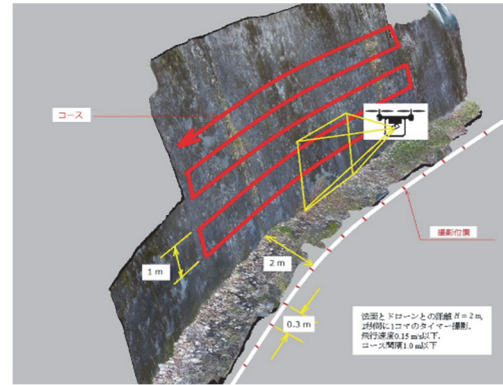


図-10 のり面の計測イメージ

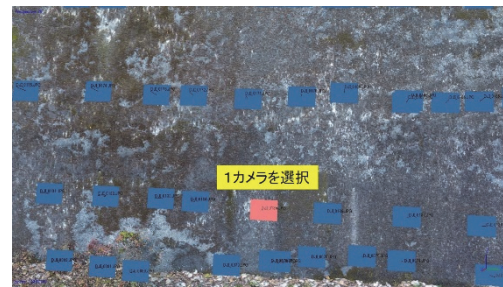


図-11 SfM 拡大画面で1カメラ選択



図-12 モデル上での計測



図-13 静止画での計測

(2) ダム壁面の計測

図-14 はダム壁面での計測の流れである。壁面は南方向に面しており、苔等はほとんど視認されなかった。

図-15 の青色のラインは、ダム壁面撮影の撮影位置である。壁面との距離は 3 m、撮影間隔 0.3 m、コース間隔 1 m で撮影した。撮影範囲は、横方向 20 m、縦方向 6 m で、約 200 枚の静止画を撮影し、SfM を作成した。

写し込まれたダムの水位標を計測すると、3 m ± 0.314 m と誤差が大きかったので、ダムの水位標を利用して 3 m のコントロールスケールを設定した。設定後、再び SfM を作成し計測すると、精度は 3 m ± 0.000 m となった。

SfM 上でひび割れを確認計測後、静止画上でも計測した。計測結果は、図-16、図-17 に示す通り、静止画上 $10^{-2} \sim 10^{-1}$ ミリメートルの精度で、ひび割れの最大幅と長さを計測できた。

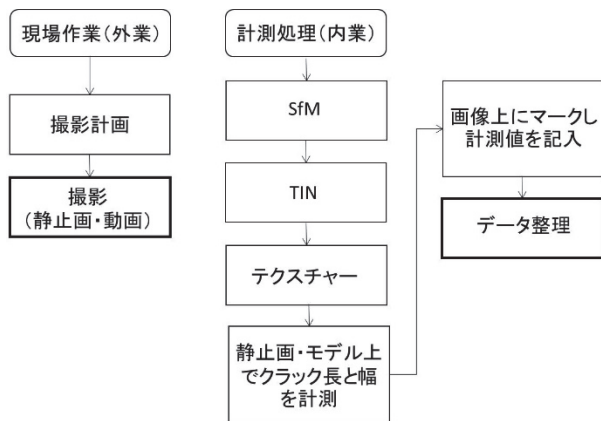


図-14 ダム壁面の計測の流れ



図-15 ダム壁面の撮影

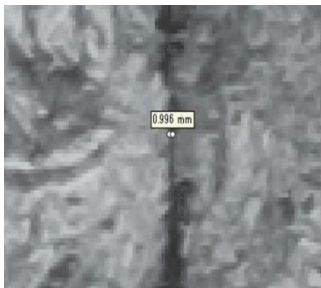


図-16 ひび割れ幅

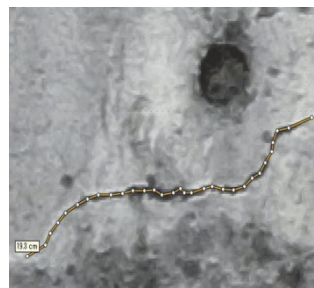


図-17 ひび割れ長

5. まとめ

対象物に接近させるため、UAVは障害物センサーが必須であり、常に機体を直視しながら操縦する必

要がある。

また、本研究で使用したUAVのカメラレンズはひずみが大きく、セルフキャリブレーションではなく、独立したキャリブレーションを行う必要があった。SfMはコンピュータビジョンやロボットビジョンからきた概念であり、バンドル法を用いることなど基本的な部分は従来の写真測量の解析法と同じである。しかし、それと大きく異なるのは、カメラの位置・姿勢推定(外部標定)が自動で行われることである。また、内部標定も自動で行うことが多い。そのため、同じ静止画を用いても、使用するソフトにより、あるいは、わずかな条件の違いでも精度が大きく異なる場合があり、その挙動は複雑である。公共測量マニュアル(案)では、カメラキャリブレーションに関して、「セルフキャリブレーションを標準とし、独立したカメラキャリブレーションは必ずしも求めない。」となっており注意を要する。

UAVの1回あたりの飛行時間は実働15分程度で、面的に広い範囲の計測には適さない。のり面に苔が繁茂している場合は、洗浄の必要があり、そのための足場の設置が必要になる。

以上のような問題点もあり、今後さまざまな実証実験が必要であるが、従来の目視計測に劣らない十分な精度の計測結果が得られた。

謝辞：本研究は、(公財)鹿児島県建設技術センター及び砂防エンジニアリング(株)の助成により実施された。ここに記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省.国土交通白書, 2014.
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h25/hakusho/h26/>,
(参照 2018-12-10)
- 2) 藤田・宇次原ほか: UAVによる撮影と多視点写真測量技術を用いたのり面構造物点検手法の適用性の検討, 平成29年度砂防学会研究発表会, 2017.