

河川堤防法面における UAV 測定の精度検証

株式会社荒木組 正会員 ○長江健三
 株式会社荒木組 齋藤 衛
 株式会社荒木組 櫻田裕大
 岡山大学大学院 正会員 西山 哲

近年、UAV 測量が実際の土木工事現場において利用されているが、法面の出来形計測等では精度が出ない場合もあり、難易度が高くなる。そこで本研究では先行研究結果を参考とし、出来るだけ低コストで比較的簡単な方法を模索した。撮影方法等を工夫することにより UAV 測量で最も厳しい基準の出来形測量基準を満たすことができた。

はじめに

国土交通省の直轄工事現場等をはじめとして ICT 施工が普及している。測量時には UAV（無人航空機）による写真測量及び地上型レーザー測量などが使われていたが、近年では UAV レーザー測量、RTK-GNSS 搭載型 UAV 測量も利用が広まってきている。一方で初期導入コストが掛かり、出来形測量の基準が厳しく、地域差もあるが外注している業者が多い。原因はこれまでも研究が行われ課題も指摘されているとおりに一定の知識が必要になることである。

先行研究では田中ら¹⁾は標高差があるときに、地表面に平行飛行させることで精度が良くなることを検証している。また、菅井ら²⁾は固定したキャリブレーションでは精度が出ないことを指摘し、斜め撮影の有効性について検証している。さらに北川ら³⁾は固定したキャリブレーションの変換式の必要性を指摘し、ソフトウェアによって特徴が異なることも指摘している。そこで本研究では UAV の精度追求だけではなく、比較的 low コストかつ容易に出来る方法について、主に以下の 6 つの方法を用いて、河川堤防のり面の出来形について検討した。

UAV 測定の検証した堤防法面を図-1 に示す。

- 1) AUTO 撮影
- 2) 低高度撮影
- 3) 斜め撮影の追加
- 4) ホバリング撮影
- 5) 標定点間隔
- 6) カメラキャリブレーション



図-1 河川堤防法面 点群データ

1. 検証実験

ICT 普及の問題としてコストと難易度がよく挙げられる。そのため、今回の検証では低高度撮影をするなど多少の手間を掛けて低コストと単純化を優先した。

(1) 空撮に利用した UAV 及び周辺機器

本現場では「UAV を用いた公共測量マニュアル」に記載されている UAV 及びデジタルカメラの性能等を満たした小型汎用機である DJI 社製の MAVIC2PRO を採用した。自動飛行制御アプリは機能よりも使いやすさを考慮して DJI GS PRO(無料)を利用した。端末は大きさとコスト、またドローンとの相性を考慮して iPad を採用した。

iPad の通信には Wi-fi モデルとセルラータイプがある。飛行計画の撮影範囲設定時に対空標識の位置を現地で確認できるので GPS 機能を利用できるセルラータイプを利用する。

(2) 標定点及び検証点

標定点及び検証点に利用する対空標識は+型を利用した。色は白黒を採用した。大きさは低高度で撮影するため、40 cm角を利用した。材質は板ではなくビニル製を選択した。発注者から指定された基準点を利用しており、GNSS 梶田ら⁴⁾が指摘しているとおり3 cm程度の誤差を生む可能性がある。より精度を求めれば後処理が必要となってくるため、測量には土木現場では常備して高精度結果を得られる光波とレベルを利用した。

(3) 解析ソフト

Metashape を利用した。細かな設定ができ、利用者も多く、多数研究発表されて評価も高い。また、重要データである品質レポートの出力が日本語でわかりやすい。

2. 検討

河川の堤防築堤現場の法面を対象とした。UAV による出来形測量に要求される測定精度は±50 mm以内であり、起工測量等（100 mm）と比べて厳しい。安定した精度を保つため目標値を±25 mm以内に設定し検討した。

(1) 撮影設定の検討

a) 一眼カメラとの性能差

一眼カメラとドローンについているカメラとではレンズの大きさが全く異なり、光を取込む量が違う。

UAV 測量で推奨されている値に設定すると MAVIC2PRO では真っ黒な写真になる。

b) AUTO 撮影

UAV 測量ではマニュアル撮影又は F 値固定モードが推奨されている場合が多い。シャッタースピード優先を推奨している場合もある。

Metashape でも正確なレンズキャリブレーションを行い、キャリブレーション値を固定した場合には F 値固定の設定する必要があると考えられるが、撮影画像からキャリブレーションパターンを自動的に計算する方法（セルフキャリブレーション）では F 値の固定は必ずしも必要ではないと仮定する。十分な経験を有している場合はマニュアル設定でも可能ではあるが、F 値固定モードについてはドローン

と地上との高低差が一定の場合は有効ではあるが撮影対象が斜面であるため、難易度が高い。AUTO 撮影であれば人間の見た目にもきれいな写真になるので失敗する可能性がかなり低くなる。そのため今回の撮影方法は AUTO 撮影で行いその精度も検証する。ISO 値は値が大きいほどノイズが発生する、AUTO 撮影でも最低値の 100 で撮影できる。

(2) 対空標識

SfM 解析処理作業の一つに標定点・検証点を認識させるマーカ検出作業がある。写真枚数を減らすため、基準値を満たす範囲で高度を高く設定すると対空標識がぼやけて写り、その結果位置が微妙にずれて位置合わせに手間取る。経験上自動認識時に正確な位置を検出させ修正手間が掛からほど良い結果が得られているため、堤防天端から高度 20mの低空撮影とした。

(3) UAV 撮影の方法の検討

空中写真測量をおこなった場合必ずドローミング現象が起こる。それを抑えるために内部標定点があるが、上空からの写真と斜めからの撮影（カメラの角度を変えるだけで簡単）を利用した。

斜め撮影の設定については、構造物の再現性向上で長屋ら⁵⁾が検証した結果を参考にして 45° にした。ただし地形が平面の場合、45° は奥行きがあるので別途検証する必要がある。

(4) ローリングシャッター現象対策

DJI GS PRO には飛行設定モードでホバリング撮影を選択できる。MAVIC2PRO はメカニカルシャッターでなく電子シャッター方式のため記録方式に時差が生じ斜めに歪んだ写真になりやすい。そのため写真撮影箇所毎に一旦停止するホバリング撮影が必須となる。また、ドローンの飛行スピードは 3.0m/秒に設定した。

(5) 標定点の間隔を検討

外側標定点の設置間隔については外側 100m以内となる。これは要求精度 0.05m以内の場合となる。目標値をクリアするため外部標定点の設置間隔を 100mから 80mに設定した。

(6) カメラキャリブレーション

カメラ等のレンズは利用する機種毎ではなく、1台毎にキャリブレーションパターンが異なっている。非常に正確なキャリブレーションパターンが使用できる場合にはキャリブレーション値を固定した独立したキャリブレーションを利用する方法もあるが、その場合には北川ら³⁾が指摘しているように外注した場合でも変換式を作成する必要があり、手間が掛かる。レンズには熱膨張率の影響があり、飛行させる度に直前に計測する必要がある。Metashapeは撮影画像からキャリブレーションパターンを自動的に計算するセルフキャリブレーション機能があり、簡易自動レンズキャリブレーション機能もある。パソコン等の液晶モニターを利用しているのでその方法で行った。

(7) その他

a)記録方式

JPEGで撮影した。JPEGは圧縮されているため

誤差を生みやすいがRAW形式はデータ量が重く、写真確認はPHOTOSHOP等のソフトが必要になる。出来形写真測量は写真枚数が多くなるため実用向きではない。

b) 撮影時間帯

今回の撮影は太陽高度が低い冬の期間に撮影した。写真解析は影の影響を受けやすく、河川の場合水面からの反射が少なくなるように配慮した。特に今回は斜め撮影を行うので逆光にならないように計画した。撮影時間帯は10:00~14:00を目途にしている。

c) 各種設定

ラップ率は20mの真下撮影をオーバーラップ率90%にサイドラップ率60%に設定した。高度50m及び斜め撮影時にはオーバーラップ率80%、サイドラップ率60%に設定した。

3. 結果

様々な条件でUAV撮影し、結果を表-1に示す。

表-1 標定点及び検証点の評価結果

NO.	撮影高度 [m]	撮影角度 [°]	地上解像度 [mm/PIX]	カメラ位置座標	画像枚数 [枚]	標定点数	標定点 RMSE [cm]	検証点数	検証点 RMSE [cm]	最大誤差 [cm]	精度評価
A-1	47.5	90	10.3	利用	81	12	2.199	0	-	-	-
A-2	48.0	90	10.3	利用なし	81	8	3.507	4	8.814	10.4	×
A-3	138.0	45	10.1	利用	81	8	145.800	4	917.900	1178.1	×
B-1	30.8	90	6.32	利用	813	13	6.782	0	-	-	-
B-2	30.8	90	6.32	利用	813	7	8.927	6	9.342	8.9	×
B-3	31.0	90	7.10	利用なし	813	7	4.011	6	5.860	6.9	×
B-4	41.2	45	8.95	利用	282	7	6.545	5	5.989	7.1	×
B-5	41.4	45	8.96	利用なし	282	7	6.164	5	6.207	7.8	×
B-2,B-4	33.3	90+45	7.12	利用	1,095	7	7.173	6	5.478	9.7	×
B-3,B-5	33.5	90+45	7.68	利用なし	1,095	7	4.256	6	3.724	4.4	○
C-1	32.2	90+45	6.89	利用なし	848	8	1.624	6	1.475	2.2	○
D-1	31.7	90+45	9.95	利用なし	432	5	1.808	4	1.670	2.6	○
E-1	30.5	90+45	6.54	利用なし	305	5	1.022	4	1.282	1.3	○

*Aは堤防天端からの撮影高度を50.0mに設定,B~Eは撮影高度20.0mに設定

*高度20.0mの撮影角度90°(真下撮影)はオーバーラップ率90% サイドラップ率60%に設定

*高度50.0m及び撮影角度45°(斜め撮影)はオーバーラップ率80% サイドラップ率60%に設定

(1) カメラ位置座標の影響

表-1よりB-4とB-5を比較して写真枚数が少なければカメラ座標の影響は少ないが、B-2とB-3を比較して、写真枚数が多いほど誤差が大きくなった。

(2) 撮影高度の影響

表-1よりA-2とB-3を比較して高度が低い方が検証点誤差の少ない結果となった。

(3) カメラ角度による特徴

真下撮影のみだと平面精度は良いが、垂直の最大精度が10cm程度と悪く、斜め撮影だと全体に5cm程度の誤差がでた。真下撮影と斜め撮影を合わせて解析した場合に最も良い結果となった。

4. まとめ

地上解像度の基準範囲内でも飛行高度を高く設定した場合は全体に精度結果が最も悪くなり、低高度でも平行撮影だけの場合は高さの精度結果が悪くなり、斜め撮影だけでも全体に精度が悪くなった。低高度の平行撮影と低高度の斜め撮影を組み合わせることによって検証点精度で良好な結果が得られた。

(1) AUTO 撮影

ドローンは空中撮影のため、レンズを直接見て撮影毎に確認ができない。また風の影響も受けやすく手振れ状態での撮影といえる。被写体との距離が変わる場合はAUTO撮影も有効な選択肢となる。

(2) 低空飛行

できるかぎり地上解像度が良くなるように低空飛行した方がSfM解析時における対空標識の認識精度が上がり、その結果検証点精度が高くなる。

(3) 斜め撮影

現場の条件によって斜め撮影写真を加えることで精度が良くなる場合がある。しかし、高度を高く設定すると逆効果となる。

(4) ホバリング撮影

今回は失敗写真が1枚もなく写真撮影精度が向上したといえる。撮影毎に空中停止するので撮影時間

が増えるが、写真解析時には1枚でも失敗するとためなため必須といえる。

(5) 標定点の数と間隔

内側標定点を2点設けた場合、精度が良くなる。また、外側標定点間隔も距離が短い方が良い。

(6) カメラキャリブレーション

正確なカメラキャリブレーションは難易度が高いが簡易キャリブレーションを行うことによって精度の向上が見込まれる。

おわりに

本研究では比較的成本の掛からない機器等を利用しつつ、より簡単な方法を模索しながら精度を追求した。結果、小型汎用ドローンを利用しても十分な成果が得られる結果となった。今回は実際の土木現場での実験となったが、土木工事はすべてが現地一品受注生産と言われている通り同じ条件がなく、UAV測量も現地と撮影時期に合わせた工夫も必要になる場合もある。

参考文献

- 1) 田中龍児,外山泉,長山昭夫 (2018) : UAVによる写真測量技術の精度検証,第一工業大学研究報告第30号 PP39-44
- 2) 菅井秀翔・宮地邦英・中村孝之・南秀和・橘克巳 (2017) : UAVを活用した写真測量の精度検証, 国土地理院時報、P147-P157
- 3) 北川悦司・村木広和・吉永京平・山岸潤紀・津村拓実 (2018) : UAV空撮画像における3次元モデリング (SfM/MVS) ソフトウェアの形状特性比較に関する研究 土木学会論文集 F3 (土木情報学),VOL74,NO.2,II_143-II_148
- 4) 梶田洋規・北川淳・平城正隆 (2011) : 情報化施工に利用する衛星測量技術「RTK-GNSS」で取得したデータの特徴, 土木技術資料 53-5 P18-21
- 5) 長屋佑美・菊雅美 (2020) : UAV-SfM/MVS 測量における構造物の再現性向上のための最適条件の検討, 土木学会論文集 F3 土木情報学) VOL.76.NO.1,32-41