

ドローンを利用した出来形測量

土木本部 土木部 武田哲郎
土木本部 土木部 細江泰規

1. はじめに

国交省が推進する i-Construction 事業の中で、ICT を活用した様々な技術の開発と実用化が進んでいる。ドローンで上空から撮影した画像から SfM (Structure from Motion=構造物を三次元モデル化する技術) および MVS (Multi View Stereo=多視点画像により三次元化する技術) を使用して、被写体の位置・形状を計測する技術もその一つである。この技術は一般に出来形規格値の緩やかな ($\pm 5\text{cm}$ 程度) 土工事で既に標準化され、実用が進んでいる。この分野の技術発展は日進月歩で、いずれ他工種にも適用が進むと見られるが、数 mm の精度が要求される構造物工事への適用には、まだ時間を要すると予想していたのが一般的な認識であった。一方、当社では、構造物 (特に橋梁上部工) における出来形の不具合防止のため、工事検査員が客観的に実施できる計測方法を模索していたところ、数は少ないが、ドローンを利用して高精度な起工測量を行っている事例に行き当たった。また、ドローンは多くの現場で、定点写真の撮影等にも活用が進んでおり、この測量方法は、さらなる研究の積み重ねと、技術の進歩により、汎用性と高精度を併せ持つ方法として実現可能であり、工事検査等へ応用可能と考えられた。この測量方法を確立するため、モデルケースおよび実際の橋梁における試験測量と精度検証を繰り返し行った結果、一定の条件下であれば、最大誤差でも 10mm 以内 (大部分が 5mm 以下) の精度での測量が可能となる成果を得ることができた。本稿では、この精度を得るに至った研究の過程と、その成果を紹介する。なお、この研究はドローンを用いた資源調査に実績のある三菱マテリアルテクノ株式会社の協力を得ながら進めた。

2. 試験測量の実施

2.1 試験測量の概要

場 所 : 株式会社ピーエスケ関東機材センター

使用機材 : 業務用専用機 (DJI S900) および

汎用機 (DJI Phantom4pro) (写真-1)

作業内容と目的 : (表-1 のとおり)

表-1 作業内容と目的

No.	検討内容	目 的
1	平坦部に設置した測量点を対象とした解析・精度検証	要求精度を満たす最適な条件と解析方法を検討する。
2	エッジ部に設置した測量点を対象とした解析・精度検証	エッジ部の抽出方法について検討する。
3	自動抽出用マーカーの抽出可能高度・大きさの検討	自動抽出用マーカーが使用可能かどうかについて検討する。



写真-1 汎用機 (Phantom4pro)

2.2 モデルケースの設定

モデルケースは㈱ピーエスケ関東機材センター内の場内道路上に、橋梁の橋面に見立てた測点を 10m 間隔で設置し、小型橋から特大橋に至る 4 つのケースを想定した。(写真-2) さらにモデルケースから側方に離れた場所に、基準点として選択可能な測点を設けた。各測点については、事前に GNSS (=全地球衛星測位システム) 測量等により座標値が明確にされているので、どの測点も基準点として使用可能であり、また検証点 (測量精度を検証する測点) としても使用可能な状態であった。4 つの橋梁ケースの内訳は下記のとおりとした。

case01 : 小型橋モデル = 橋長 40m 程度

case02 : 中型橋モデル = 橋長 70m 程度

case03 : 大型橋モデル = 橋長 120m 程度

case04 : 特大型橋モデル = 橋長 190m 程度



写真-2 オルソ (正射投影) 画像によるモデルケース全景

2.3 撮影と解析

設定したモデルケースについて、各種撮影条件を組み合わせさせてドローンによる撮影を行った (写真-3)。

- ・使用機種 (専用機, 汎用機)
- ・オーバーラップ率, サイドラップ率, 撮影高度・・・等

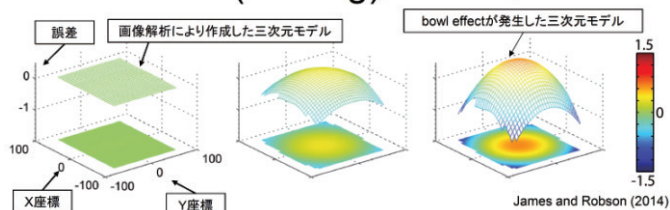
続いて、各解析条件により画像解析を実施した。

- ・解析範囲
- ・基準点の選択方法・・・等

2.4 精度検証

画像解析の結果から得られた各検証点の座標値と、事前の測量で得られている座標値の誤差を確認した。その結果、初回の試験測量では期待した誤差範囲に収まらず、水平誤差で±15mm程度、鉛直誤差に至っては数10cmを越えるようなケースも見られた。この鉛直誤差は、文献によると、bowl effect または doming (図-1) と呼ばれる現象により歪みが発生していると考えられたため、発生要因を取り除けるような撮影条件を検討した。

bowl effect (doming)について



- bowl effectとは三次元モデルを作成する際に、お椀状のモデルが作成される現象である(内山, 2014)。これは、レンズの自動歪み補正が機能しないことにより、モデルの歪みが補正されないことが原因である。
- 一方向からの画像を用いた際や、セルフキャリブレーションを解析に使用した場合に発生する(James and Robson 2014)。

図-1 bowl effect(doming)について

その後、再び試験測量を実施したところ、図-2 のように実用化の目安と考えていた誤差範囲±10mm 以内を満足できる撮影・解析条件を把握することができた。この精度検証では、誤差の指標として「最大誤差」と誤差の代表値として「RMSE」=平均二乗誤差を用いた。

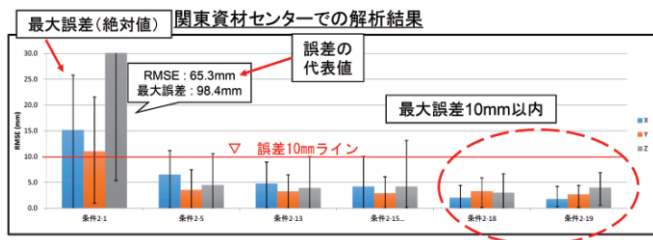


図-2 関東機材センターにおける解析結果

2.5 エッジ部の抽出・測定について

検討内容・目的の2に挙げた、エッジ部の抽出・測定については、機材センター内に置かれた機材のエッジ部にマーカーを設置して抽出を試みた。その結果、誤差は平坦部に設置した検証点と比較して大きくなる傾向が見られた。平坦部と同等な精度を確保するためには、今後も検討課題として対処する必要がある。

2.6 自動抽出マーカーの検証

検討内容・目的の3に挙げた自動抽出用マーカーの検証については、今回使用した十字マーカー(設置式20cm□, 写真-4)の視認性は良好で、自動抽出が可能であることが確認でき、作業現場での実用化の可能性が示された。しかし誤抽出の発生も認められ、完全な自動抽出に向けては、更なる改良が必要である。今後は、マーカーの自動抽出の研究を進め、業務効率化や判読誤差の減少に取り組むたい。



写真-3 測量状況

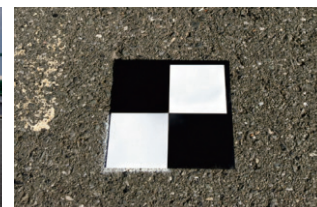


写真-4 設置式十字マーカー

3. 実橋における検証

関東機材センターにおける成果をもとに、同様の測量を供用前の実橋梁(A橋:橋長=81m, 写真-5)でも実施し、測量精度の検証を行った。また、その結果を比較した。

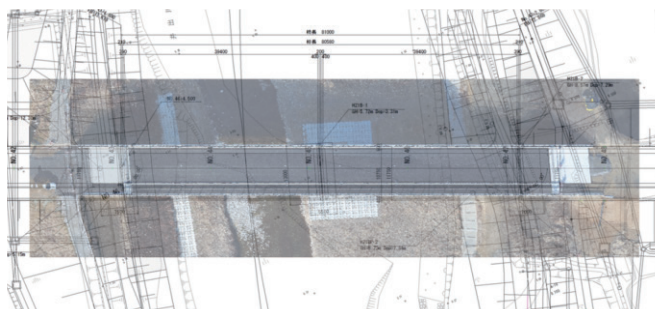


写真-5 A橋の画像データと線形データを比較(イメージ)

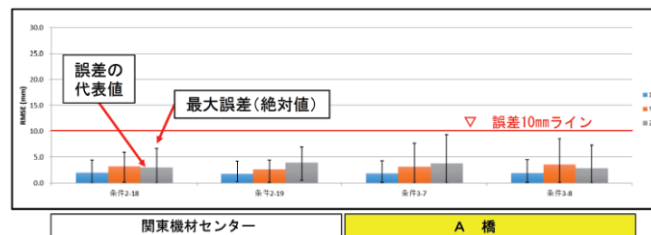


図-3 関東機材センター及びA橋における解析結果の比較

図-3に示すように、A橋においても関東機材センターでの測量と同様に、最大誤差10mm以内(大部分が誤差5mm以内)の結果が得られたため、今回の撮影・解析技術を施工現場に適用できる確信を得た。

4. まとめ

現状のドローンによる測量技術は下記の2点での活用が考えられ、実用化を進めている。

- ①不具合防止対策のため、工事検査員による出来形精度確認用ツールとして
- ②多重チェックによる、社内管理値の信頼性向上と、発注者へのアピール(技術提案として)

一方で、今後も同技術の検討・検証は継続し、更なる高精度化と、適用範囲の拡大を進めて行きたい。

Key Words: UAV, ドローン, SfM, MVS, i-Construction



武田哲郎



細江泰規