

UAV と高画素カメラを用いた SfM による既設橋梁の 3 次元計測

株式会社大林組 正会員 ○近藤 岳史
 株式会社大林組 正会員 山口 貴志
 株式会社大林組 正会員 日暮 一正

1. はじめに

近年、全国各地で供用開始から約 50 年を経過した高速道路橋のコンクリート床版取替工事（高速道路リニューアル工事）が頻繁に行われるようになった。同工事の設計には供用中の橋梁の 3 次元出来形形状を高精度に取得する必要があるが、そのためには高速道路上を一部規制しての測量作業が必要となり、道路利用者への負荷と共に規制帯の設置・撤去等の危険作業が伴う。そこで本稿では高速道路上を交通規制せずに橋梁の 3 次元計測を高精度（絶対位置座標 ± 10mm 未満）で実施する一手法として UAV(Unmanned Aerial Vehicle)と高画素（1.5 億画素）カメラを用いた SfM

（Structure from Motion）による 3 次元計測の実証実験を実施したのでその結果を報告する。なお、市販の機器を用いて国土交通省の空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）に準拠した空撮方法（オーバーラップ率 80%，サイドラップ率 60%，地上解像度 10mm/px）及び SfM 解析によって得られる絶対位置座標の精度は通常 ± 50mm 程度と言われている。

2. 実験概要

実験は大阪府枚方市にある当社の西日本ロボティクスセンターにて実施した（DID 地区飛行許可取得済）。実験状況を図-1 に示す。使用機器を表-1 に示す。計測対象は図-1 に示す既設のコンクリート床版片で、当社で施工中の床版取替工事において撤去したものである。概略寸法は縦 1m×横 1m×長さ 2m である。床版片に対するカメラの地上解像度（UAV 飛行高度）、UAV 飛行角度、及び SfM 解析に利用する空撮写真の exif 情報（カメラ撮影位置）の組み合わせから図-2 に示す 5 ケースを比較した。また地上型 3D レーザスキャナによる計測も同時に実施し、同計測結果を真値として SfM による解析結果の比較検証を行った。なお目標計測精度は当社設計施工の複数の床版取替工事の実績から、図-3 に示す主桁フランジ上の調整コンクリートの出来形寸法許容範囲を満足する絶対位置座標 ± 10mm 未満とした。



図-1 実証実験の様子

表-1 機器及び仕様

| 機材名 | 画像 | 仕様 |
|---------------------------------|----|--|
| Phase One iXM-RS150F (55mm レンズ) | | センサーサイズ：53.4 x 40 mm 画素数：14,204 x 10,652 px IFov：0.068 mrad 分解能 1mm/px 時の撮影距離：14.6m シャッタースピード：1/4,000sec - 60mins ISO 感度：50 - 6,400 ダイナミックレンジ：14.5stop 色深度：14bit |
| DJI M600 Pro | | 対角寸法：1,133 mm 重量：9.5 kg (カメラ搭載時約 14kg) 最大離陸重量：15.5 kg 最大風圧抵抗：8 m/s 運用限界高度：2,500 m 動作周波数：2.4~2.483 GHz |
| KLAU PPK | | 対応衛星： GPS: L1 C/A, L1C, L2C, L2P, L5 GLONASS: L1 C/A, L2C/A, L2P, L3, L5 Galileo: E1, E5 alt BOC, E5a, E5b, E6 BeiDou: B1, B1C, B2, B2a, B3 QZSS: L1 C/A, L1C, L2C, L5, L6 シャッター-信号計測制度：1/1000 秒 |

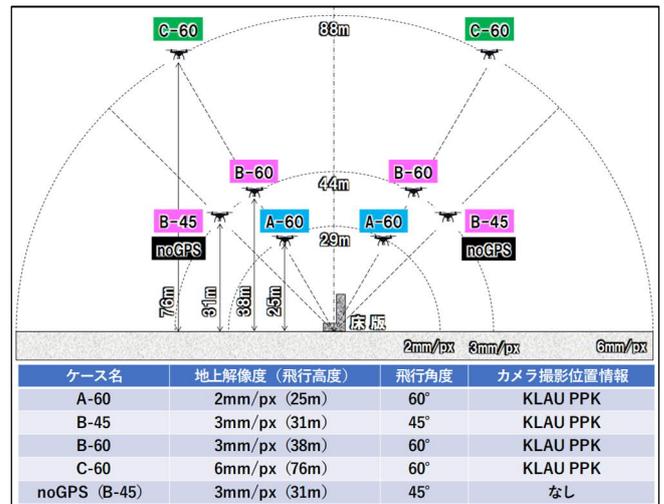


図-2 計測ケース一覧

キーワード UAV, 高画素カメラ, KLAU PPK システム, SfM, 既設橋梁, 3 次元計測, 高速道路

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組 生産技術本部 先端技術企画部 TEL 03-5769-1253

3. UAVによる空撮の手順

UAVによる空撮は次の手順で行った。①撮影範囲に映り込む位置に標定点を設置（当該位置のXYZ座標は別途光波測距機にて計測）。②機器をセットしたUAVをマニュアル操作にて離陸させ、各ケースの飛行高度まで上昇させる。③所定の高度に達した後、予め設定しておいた飛行経路に沿って自動飛行しながら空撮を行う。その際の進行方向ラップ率は80%とした。またこの時、KLAU PPKシステムの仮想基準点を用いた後処理キネマティック方式（Post Processing Kinematic）により、空撮後にカメラシャッターとGPS内部時計を精密に同期し、1ms以内で正確なシャッター信号を取り出すことで、写真のexif情報に空撮時の絶対位置を $\pm 3\text{cm}$ 以内の高い精度で付与することができる。これによってSfMにより生成される3次元モデルがより均一なものとなり、計測結果の精度向上が図れる。④空撮完了後、マニュアル操作にて飛行高度からUAVを降下させ、着陸させる。

4. 計測結果

各ケースにて得られた写真にSfM上で地表に設置した標定点の3次元座標を付与して解析を行い、3次元点群を生成した。図-4にケースB-60の3次元点群を示す。非常に微細な部分まで鮮明に再現できることが判明した。各ケースで床版片から同じ断面を抽出し（図-4）、当該断面内の複数個所のZ座標（鉛直方向）について3Dレーザースキャナ（scn）の計測結果（真値）との差分を比較した（図-5の①～⑦）。同図からA-60、B-45、B-60で今回の目標値である絶対位置座標 $\pm 10\text{mm}$ 未満を担保できた。これは1.5億画素カメラによる地上解像度 $3\text{mm}/\text{px}$ 以下の空撮とKLAU PPKシステムによってUAV位置情報が高精度で取得できたことで、SfM解析による3D点群モデルがより均一で精度の高いものとなったためと考えられる。

5. まとめ

UAVと高画素カメラを用いたSfMによる3次元計測の実証実験を実施した。その結果、地上解像度 $3\text{mm}/\text{px}$ （飛行角度 $45^\circ \sim 60^\circ$ 、対象物からの距離約 44m ）以下の条件であれば、 $\pm 10\text{mm}$ 未満の精度で対象物の絶対位置座標を得ることが可能と判明した。本技術を利用するによって、供用中の高速道路において、交通規制を実施することなく床版取替工事の設計に必要な路上の絶対位置座標を得ることができる可能性がある。今後は実橋梁において本技術の実用性を検証し、社会的ニーズへの対応を試みていく所存である。

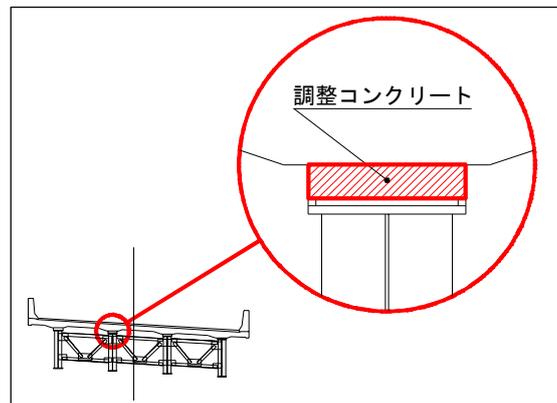


図-3 床版取替工事の標準的な断面図



図-4 空撮写真及びSfMにより生成した点群

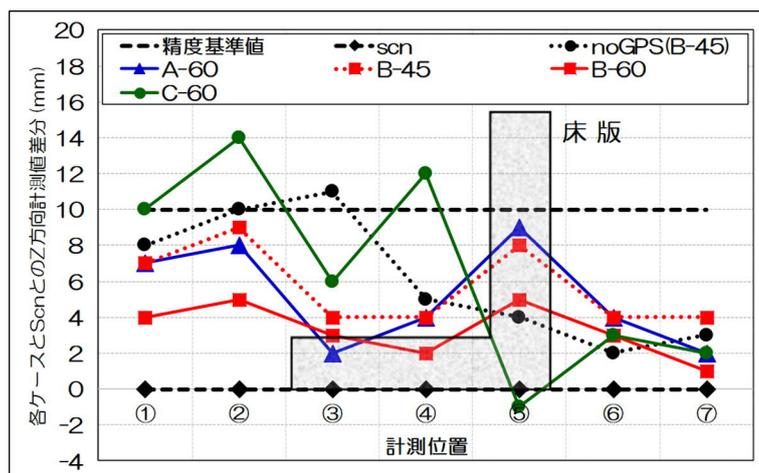


図-5 各ケースの計測結果比較