

SfM による線状構造物の三次元形状復元と ICT 施工への展開

(株)砂子組 ○正会員 山本 公志

(株)砂子組 正会員 八戸 政人

HELICAM(株) 非会員 丹野 宏柄

(株)砂子組 非会員 千葉 大樹

(株)砂子組 非会員 阿部 和人

1. 背景と研究目的

Computer Vision 分野から発展した静止画像からの 3 次元形状復元手法の一つである,Structure from Motion(以下 SfM) 及び Multi-View Stereo(以下 MVS)は,安価な地形計測手法として急速に普及が進み,最早どここの施工現場でも UAV 測量は普通に行われているが,電線や鉄塔等の,線状・柱状構造物については,形状復元がキャンセルされ,欠測することが多い.しかし,施工現場においては,高圧線等の重要インフラの保護は課題の一つであり,ICT 施工においても,それらの空間的位置・形状の把握は重要である.SfM/MVS によって電線形状を復元し,3D データ化する手法が確立すれば,LiDAR 等の高価な機材を用いることなく,誰でも計測及びデータ作成が可能となり,その意義は大きい.

2. 高圧電線の形状復元

SfM では,各画像の特徴点抽出及びマッチング,Bundle 調整による再投影誤差の最適化がコア技術となるが,電線のような細く主に単色で構成される構造物は,マッチング処理の過程で誤判定扱いとなり,形状が再現されないことが多い.今回の目的である電線形状を再現するにあたっては,画像の解像度,カメラセンサーサイズ,撮影高度(対象物との距離),画像のラップ率の4つが重要なポイントとなり,これらの要素が最適な条件下で処理を行えば,原理上,電線形状の復元は十分に可能である.

3. 試験撮影および解析処理

高さおよそ 70m,最下段アーム高 40m,スパン長 250mの鉄塔 2 基及びその間の電線を対象とし,3種類の UAV 及びカメラを使用し,表 1 の条件で撮影を行った.

表 1 使用 UAV 及びカメラ一覧

ドローン	撮影高度	ラップ率	カメラ	センサーサイズ	画素数
Phantom4RTK	145m	95×90%	DJI FC6310R	1インチCMOS	2000万
Matrice210RTK			DJI X7	APS-C	2400万
Matrice600			Sony α 7R4	フルサイズ	6100万

SfM/MVS 解析処理の結果,フルサイズ一眼カメラを用いたデータが最も良好に電線形状を再現できた.画像中の電線幅を占めるピクセル数が 10pix 程度あり,センサーのダイナミックレンジが広いことから,画像間のマッチングにおいて他機種よりも良好な結果が得られたものと考えられる.また,垂直撮影のみのパターンよりも,斜め撮影を追加したパターンのほうが,電線形状の復元率が良好であった.今回の結果では,いずれの撮影パターンにおいても,電線形状は不連続に再現され,欠測箇所が多くみられたが,途中に存在するスパーサー部については,全てのパターンにおいて良好に形状が再現された.この結果を用い,電線のたわみを推定した 3D ポリラインで点群をトレースし,欠測部を補完した 3D オブジェクトを作成した(図 1).

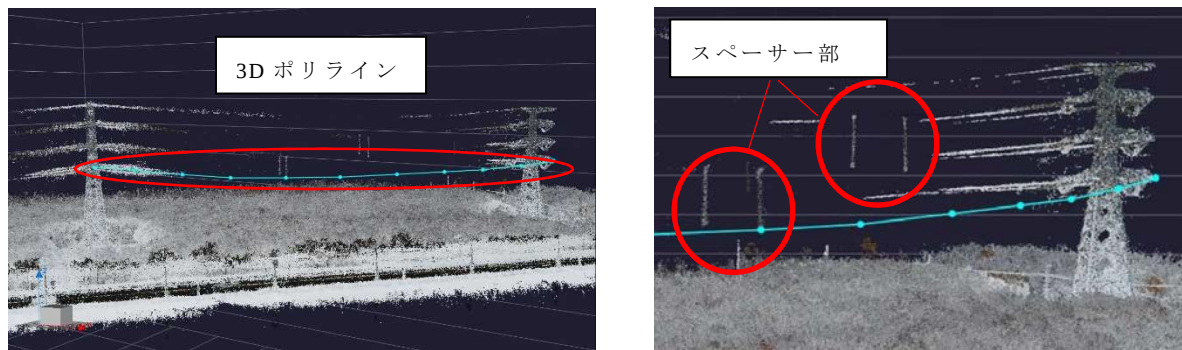


図 1 SfM/MVS で再現された点群と 3D ポリライン

4. 精度検証

地上型レーザスキャナ（TLS）による計測データを真値とし、再現された電線位置の座標値を検証したところ、計測値の差分の標準偏差は 0.10m と、SfM で再現される電線位置は、実用にあって問題の無い精度が得られることがわかった（表 2）。

表 2 TLS との位置座標値差分

標本数	平均(m)	標準偏差(m)	最小(m)	最大(m)
10	+0.03	0.10	+0.02	+0.19

5. ICT 施工への応用

実施工においては、高圧線直下での作業時、事前に電力会社との協議を行い、安全な離隔距離を具体的な数字で示されることが多い。3 で作成した 3D オブジェクトを用い、離隔距離を再現した半円筒状の離隔エリアを設定し、ICT 建機にインポートした結果、ジオフェンスを用いた従来より安全明瞭な施工管理を実現できることが解かった（図 2、図 3）。

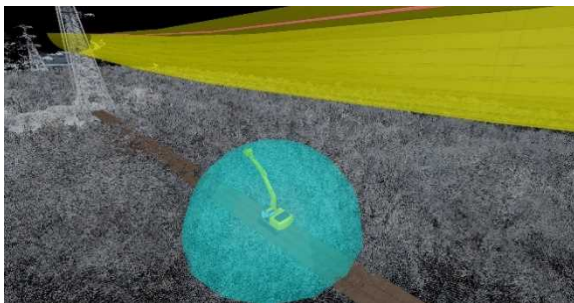


図 2 離隔確保用ガードデータ

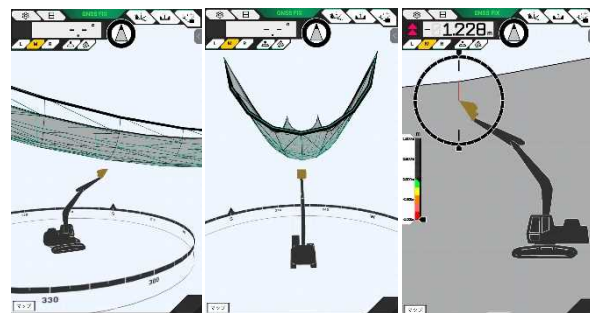


図 3 コマツ レトロフィットキット コンソール画面

6. 課題とまとめ

今回の実験では、一部電線形状の完全な復元が出来なかったが、今後は Catmull-Rom スプラインを用いた画像処理技術や、各種 SfM ソフトに実装されている電線検出機能を援用することにより、よりクリアなデータ取得が可能になると思われる。また、撮影コースやカメラアングルを工夫することで、Phantom シリーズのような小型カメラにおいてもある程度良好に電線形状を復元できる可能性がある。今回の結果により、SfM/MVS を用いて安価に得られる地物点群データは、準備段階におけるフロントローディングのみならず、施工管理に直接用いることも可能であることが示唆された。

参考文献

- 1) 日本写真測量学会:三次元画像計測の基礎-バンドル調整の理論と実践- 東京電機大学出版局 2016
- 2) 新井，景山，石沢，高橋，末廣，高橋，小林，石井：“UAV データを用いた 3 次元復元による送電線・樹林間の離隔計測法の開発”，日本素材物性学会平成 30 年度年会 A-18 (2018)