

# 地上型レーザスキャナと UAV を用いた道路構造物の 3 次元計測の実践

西臯太郎・何 啓源・窪田 諭

## Practice of Three-dimensional Measurement for Road Structures Using Terrestrial Laser Scanning and UAV with Photogrammetry Kotaro NISHI , Chiyan HO , and Satoshi KUBOTA

**Abstract:** In road maintenance, it is necessary to construct an environment that manages three-dimensional data and maintenance information for its effectivity and efficiency. The primary objective of this research is to support road maintenance work using three-dimensional data constructed by terrestrial laser scanning, unmanned aerial vehicles (UAV) with photogrammetry, and compact camera. In this research, the use cases of three-dimensional data were organized and proposed. They are visualization of damage and inspection results and information and location management of damage, inspection, and landslide. Three-dimensional data were created for pavement, bridge, landform and tunnel. The three-dimensional data for the road structures could be used to develop a road maintenance management system that accumulates data and refers to the inspection results and repair information in three dimensions.

**Keywords:** 3次元データ (three-dimensional data), 点群データ (point cloud data), 地上型レーザスキャナ (terrestrial laser scanner), UAV (unmanned aerial vehicles), 道路維持管理 (road maintenance)

### 1. はじめに

道路は土工, 橋梁, トンネルで構成される。我が国の道路の総延長は, 国土交通省 (2018) によると約 1,279,511km あり, 橋梁は約 73 万橋ある。これらの橋梁のうち建設後 50 年以上経過する橋長 2m 以上の割合は, 2023 年には 39%, 2033 年には 63%になる。トンネルは約 1 万 1 千本であり, 建設後 50 年を越える割合は 2023 年には 27%, 2033 年には 42%になる (国土交通省, 2014)。これらの既存構造物は更新されるより維持管理が主となるが, 建設後長期間にわたって運用された道路構造物では, 設計図や完成図が残っていない

ことや図面が現在の状況に一致していないことがあり, 点検や補修に支障を来す要因となる。従来の維持管理では 2 次元データが用いられたが, それでは維持管理において関係者間で十分な理解を得られず, 作業の工期の延長という問題が発生する可能性がある。高度な維持管理を実現するためには, 視覚的表現に優れ, 情報共有が可能な 3 次元データの利用が有効である。

国土交通省は 2016 年度より 3 次元データを活用した「i-Construction」政策を推進して, 調査・設計・施工・維持管理までのあらゆるプロセスにおいて情報化による効率化と高度化を推進している。この背景の下, 道路構造物の点群データの取得にはモバイルマッピングシステム (Mobile Mapping System : MMS) が用いられることが多い。

---

西臯太郎・何 啓源・窪田 諭

関西大学大学院理工学研究科環境都市工学専攻

E-mail:k815474@kansai-u.ac.jp

しかし、MMS の特性として、対象物を高精度かつ高密度な点群データを取得可能であるという反面、導入に手間がかかり、コストが高いため、地方道路では導入が難しい。また、レーザスキャナを車両上部に搭載するため、車両が走行不可の場所や、土砂災害・道路の陥没などで道路そのものが使用不可能になった場合では使用できない。そのため、少ない作業手順で計測し、精度の良い3次元データを構築することが必要である。

本研究では、高度な道路維持管理を実現するために、道路維持管理における3次元データの活用場面を考案し、地上型レーザスキャナ、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) やカメラを用いて実現場にて3次元データを計測し、その適用可能性を検討する。

## 2. 道路維持管理における3次元データの活用場面

道路構造物の維持管理における3次元データの活用場面として、構造物の空間的な位置把握と情報の統合管理を目的に、CIMモデル作成仕様【検討案】<道路編><橋梁編> (国土交通省, 2016) と維持管理での利用を想定した橋梁の3次元データモデルの標準 (山岡ほか, 2015) を用いて整理した。その結果、(A)不可視部分の可視化と地下埋設物の位置把握、(B)輻輳箇所、作業スペース、経路や検査路の確認、(C)点検箇所と点検結果の可視化、(D)損傷箇所とその度合いの可視化、(E)点検と損傷の情報の一元管理、(F)斜面の変状の把握、(G)異なる時期に計測・構築した3次元データの重ね合わせによる災害時の状況把握、(H)地元説明、協議を抽出した。活用場面(C)(D)(E)を図-1に示す。本研究では、既存の道路構造物を複数の機器によって外部から計測するため、活用場面のうち(C)～(G)を対象とする。

## 3. 実現場における次元データの計測

### 3.1 使用機器

本研究では、何ほか (2018) で用いた地上型レ

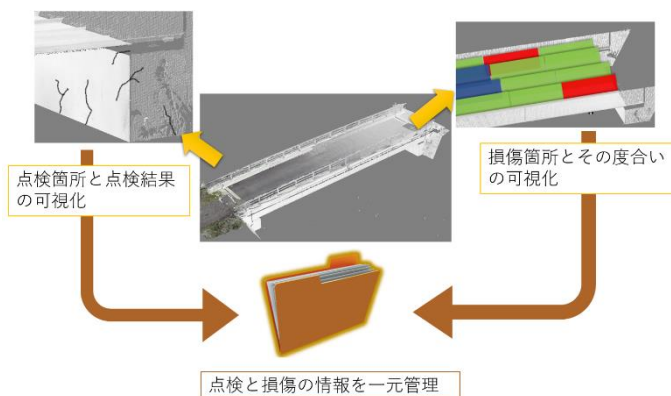


図-1 (C)(D)(E)の活用場面

ーザスキャナとカメラ搭載 UAV に加えて、地上を歩行しながらカメラで撮影した画像から点群データを生成する SfM (Structure from Motion) 技術を用いて3次元データを構築する。地上型レーザスキャナとして FARO 社製の Focus3D X 330, UAV として DJI 社製の Inspire2, その搭載カメラは ZENMUSE X5S, 歩行で用いるカメラとして GoPro Hero6 Black を用いる。斜面では、地上型レーザスキャナで斜面を計測すると、レーザが届いても入射角が低く精細なデータを取得できないことがあるので UAV を用いる。舗装面は UAV に搭載されたカメラや歩行で用いるカメラでは SfM 処理するための特徴点が得られないため、地上型レーザスキャナを用いる。橋梁は上下部工を計測する必要があるため、上空からカメラ搭載 UAV, 地上からレーザスキャナにて計測する。トンネルは、地上型レーザの設置には人や車の交通が障害となり、UAV を飛行させることは不可能であるため、歩行にてカメラで計測する。

### 3.2 斜面の計測と処理結果

カメラ搭載 UAV を用いた斜面の計測を 2018 年 9 月に長野県軽井沢町の白糸ハイランドウェイにて行った。UAV 写真測量では動画から得られた写真を SfM 処理した。SfM 処理には Agisoft 社製の PhotoScan を用いた。2017 年と 2018 年に構築したデータを点群データ編集ソフト Cloud Compare により重ね合わせて断面形状を比較した(図-2)。

これより、構築した3次元データは、斜面の上部の状態を把握できること、災害が発生した場合に過去のデータと比較して被災規模を把握することができるので、維持管理における(F)(G)の場面で活用できると考える。

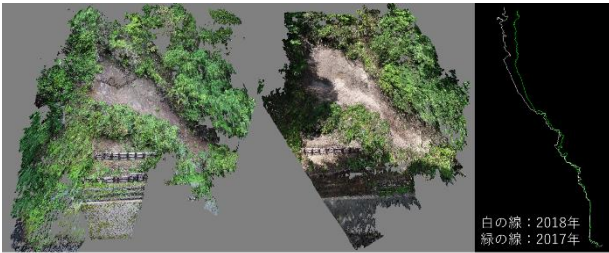


図-2 2018年(左)と2017年(右)の斜面の点群データと断面

### 3.3 道路舗装面の計測と処理結果

地上型レーザスキャナを用いた道路舗装面の計測を2018年9月に白糸ハイランドウェイにて行った。FAROがアスファルトなどの舗装面を高密度に計測可能な範囲は約10mであるため、半径約10mを基準に20mおきに13箇所計測を行った。

計測したデータを結合した結果を図-3に示す。構築したデータの点数は205,375,900点で、構築した道路舗装面の延長は約300mである。計測データの結合にはソフトウェアのFARO SCENEを使用した。複数の計測データを結合するためには、データ間で同一と認識できる特徴点が必要であるが、道路舗装面には特徴点が少なく、周辺の樹木の特徴的な部分やガードレールをソフトが同一であると認識するまで手動で指定する作業を行った。舗装の計測では、データを結合する作業の負担を軽減するために、特徴となるサインスタンド(立札)を置く工夫を行う必要がある。13箇所の計測データの結合箇所における点間距離の平均誤差は約3.700mmであった。これはFocus3D X330の精度である $\pm 2\text{mm}$ の2倍以内であり、計測精度に影響する通行車両などを考慮すると、機器の精度を満たすと考える。

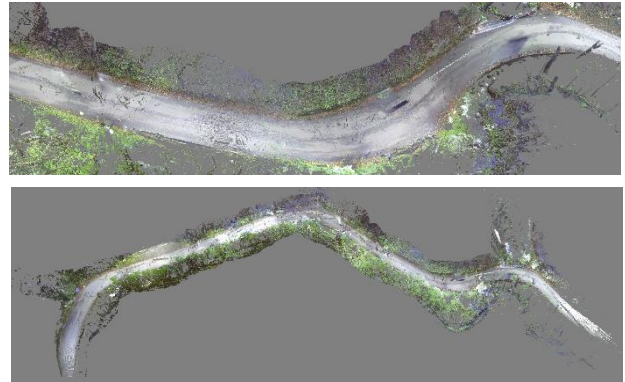


図-3 白糸ハイランドウェイの点群データ

### 3.4 橋梁の計測と処理結果

地上型レーザスキャナとカメラ搭載UAVを用いた計測を大阪府泉南市にある童子畑橋にて行った。地上型レーザスキャナによる計測では3箇所から計測した複数の点群データの特徴点を合わせて、間引き処理を施し、1つのデータにした。SfM処理は斜面の計測と同様に、点群データを生成した。2つの点群データをCloudCompareにより、各データの特徴的な箇所を選択して結合した(図-4)。その結果、UAVだけでは計測できない橋梁の下部工を含む3次元データを構築した。3次元データの橋長と幅員の長さを対象に精度を検証した結果、設計条件における橋長は22.200m、有効幅員は4.000mであり、3次元データの橋長は22.212m、有効幅員が4.019mである。したがって誤差は橋長が12mm、有効幅員が19mmであった。



図-4 童子畑橋での地上型レーザスキャナとUAVによる3次元点群データ

### 3.5 トンネルの計測と処理結果

トンネルの計測を2018年12月に童子畑橋付近

にて行った。台車に高さ約 1m の三脚を置き、その上にカメラを正面に向けて固定し、トンネル内の中心を一往復して動画を撮影した。さらに、カメラを右 45 度、および、高さ約 2.5m の延長ポールに右 45 度に固定して、壁面に沿って往復した。それぞれの条件設定を表-1 に示す。SfM 処理では 6 つパターンの計測データを用いて点群データを生成した。パターン 1 の生成結果を図-5 に示す。パターン 1 ではトンネル全体の 3 次元データを構築することができた。パターン 3 ではトンネル形状を構築できなかった。これはカメラが右側を向き、似た形状の画像が連続したため、トンネル内の画像の特徴点を認識できず、カメラ位置を把握できなかったためと考えられる。

以上の舗装面、橋梁、トンネルの 3 次元データは、点検箇所と損傷箇所を可視化できること、それらの情報を構築した 3 次元データに付属させることでそれらの情報を一元管理できるので、維持管理において(C)(D)(E)の場面で活用できると考えられる。

表-1 計測の条件設定

	カメラの設置方向	カメラの高さ	進行方向
パターン 1	正面	1m	往路
パターン 2	正面	1m	復路
パターン 3	右 45 度	1m	往路
パターン 4	右 45 度	1m	復路
パターン 5	右 45 度	2.5m	往路
パターン 6	右 45 度	2.5m	復路



図-5 パターン 1 の点群データ

#### 4. おわりに

本研究では、道路構造物の維持管理における 3

次元データの活用場面を検討して、地上型レーザスキャナ、UAV と歩行して撮影するカメラによって、斜面、道路舗装面、橋梁とトンネルの 3 次元データを構築した。その結果、データを処理する留意点と活用場面における 3 次元データの適用可能性を示唆した。今後は、小型で携帯可能なレーザスキャナ (LiDAR: Light Detection and Ranging, Laser Imaging Detection and Ranging) から得られたデータに SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を適用して 3 次元データを構築する方法を検討する。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、株式会社白糸ハイランドウェイの関係各位にご支援を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 何啓源, 窪田諭(2018): 道路維持管理のための地上レーザスキャナとカメラ搭載 UAV による 3 次元データの構築, 土木情報学シンポジウム講演集, 土木学会, Vol.43, pp.21-24.
- 国土交通省(2018) 道に関するデータ集 [http://www.mlit.go.jp/road/soudan/soudan\\_10b\\_01.html](http://www.mlit.go.jp/road/soudan/soudan_10b_01.html), 2019 年 7 月 24 日確認.
- 国土交通省(2014): 社会資本の老朽化の現状と将来予測, [http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02\\_01.html](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html), 2019 年 7 月 24 日確認.
- 国土交通省(2016): CIM モデル作成仕様【検討案】<道路編>.
- 国土交通省(2016): CIM モデル作成仕様【検討案】<橋梁編>.
- 山岡大亮, 青山憲明, 谷口寿俊, 藤田玲, 重高浩一(2015): 維持管理での利用を想定した橋梁の 3 次元データモデルの標準の策定, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.71, pp.I\_204-I\_211.