

UAVと3Dレーザースキャナを組み合わせた 道路舗装の維持管理手法の提案

鍋島 康之¹・森 誉光²

¹明石工業高等専門学校 都市システム工学科 (〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡679-3)

²(株)エムアールサポート (〒616-8372 京都市右京区嵯峨天龍寺広道町7-9) .

道路舗装の維持管理にかかる人力ならびに費用は膨大である。省力化，コスト削減の観点から道路舗装の維持管理業務を効率化する技術として，UAV (Unmanned Aerial Vehicle : 無人機) とTLS (Terrestrial Laser Scanner : 地上型3Dレーザースキャナ) を用いた道路舗装の維持管理手法を提案する。TLSは非常に高精度の点群データとして道路舗装の凹凸を短時間で計測することができるが，高分解能の画像データを取得することが困難である。一方で，UAVには高分解能のカメラを搭載して上空から舗装面の画像を入手することが可能である。そこでUAVにより取得した道路舗装の空中写真を点群データと重ね合わせることにより，詳細な道路舗装面の情報が得られる。この手法を用いることにより，道路舗装面の凹凸ならびにひび割れ等の路面状況を詳細に把握することができ，維持管理の効率化を図る。

キーワード UAV, TLS, 道路舗装, 維持管理

1. はじめに

土工では測量・設計から，施工，管理に至る全プロセスにおいて，ICT技術の全面的な導入を目指した新基準 (i-Construction) が進んでいる。まずUAVによる三次元測量を行い，設計・施工計画には三次元測量データを活用し，施工・施工管理では設計図面と比較して，その差分を施工量として自動的に算出，それをもとに作成された設計データをICT 建機を自動制御し，最終的な出来形についてもUAVによる測量を活用する。さらに検査だけでなく，維持管理・更新までの全てのプロセスにおいてICT技術を導入することを目指している。

道路の維持管理においてはICT技術の導入が進められており，市販のビデオカメラやスマートフォン，加速度センサー，ドライブレコーダー等を搭載した点検車両で道路を走行することにより，道路状況の情報を収集することができ，収集した情報の解析により，路面性状の把握と正確な位置の特定を行う技術¹⁾ が開発されており，道路パトロールにより収集されるデータをもとに道路舗装の簡易的な点検手法ができる。

今回の報告ではTLSで道路舗装面について高精度の点群データを採取し，UAVにより取得した道路舗装の空中写真を点群データと重ね合わせることにより，詳細な道路舗装面の情報が得られたので，本手法の維持管理への適用性について検討した。

2. UAVとTLSの組み合わせ

(1) UAVによる測量

写真-1は本研究で使用したUAVを示している。交通量が多い道路ではUAVを同一地点で一時的に待機させて複数枚の写真を撮影する。交通量が多い場合，撮影した写真には走行している多数の車両が写っていることがあり，路面の状況を把握するためには走行車両によって欠落する箇所が無いように写真を撮影することが重要である。



写真-1 使用した UAV (DJI Inspire 1 Pro)

次に，UAVで連続写真を撮影し，写真解析によって被写体を点群化する。UAVで連続撮影された写真をもとに三次元形状を復元する方法としてSfM (Structure from Motion) 解析がある。この解析方法を用いて被写体の位置情報を解析する。しかしながら，SfM解析の課題とし

て、被写体のXY座標を高精度にすると、Z座標が低精度になることである。一般にUAVの自動操縦プログラムは単純に指定された範囲を巡回してその間に等間隔で写真を撮影するだけである。この方法は、走行車両が少ない場合には有効であるが、走行車両や停車車両が多い場合には必要な情報を取得できない可能性があり、問題がある。図-1は道路直上からUAV直下のみを撮影した場合で、自動操縦のみの場合である。この場合の写真をもとにSfM (Structure from motion) を用いて三次元に再現した画像が図-2である。この画像では、街路樹下部などで画像が欠落している。このため、自動操縦に加えて図-3に示すように停車車両が移動するまで待機させ、街路樹の下も狙って撮影を行った写真をSfMで三次元化した画像が図-4である。明らかに街路樹下の路面が改善されている。上記のように、自動操縦による道路直上からのみの撮影では交通量の多い市街地では撮影画像に欠損箇所が生じることがあり、路面状況を正確に把握することができない。このため、正確な路面状況を把握するためには、手動操作による斜め方向からの撮影や停車車両が移動した後の撮影が欠かせない。

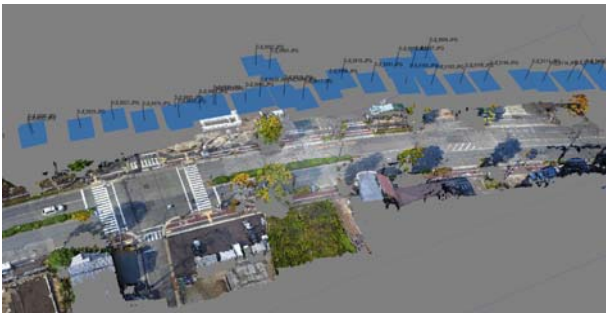


図-1 自動操縦のUAVによる写真撮影



図-2 自動操縦の写真から作成した三次元画像

さらに、マスク機能²⁾を使用すれば作業は大幅に改善できる。走行車両が少ない場合にはPhoto Scan等のソフトでは走行車両をノイズとして自動削除する機能があるが、駐・停車車両がある場合や渋滞等で走行速度が遅い場合には自動削除することができず、マスク処理が必要となり、作業効率が落ちる。今回も駐・停車車両の除去にマスク処理を行っている。

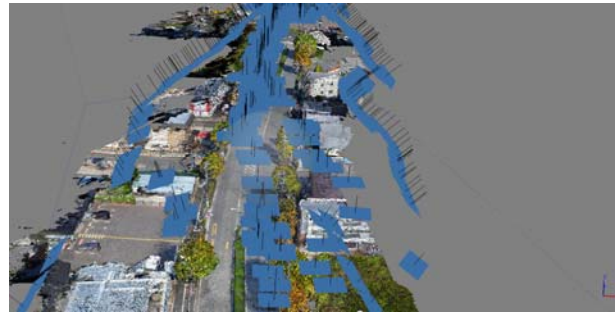


図-3 手動操縦のUAVによる写真撮影



図-4 手動操縦の写真から作成した三次元画像

(2) TLSによる位置情報の取得

TLSはスキャナーから照射されたレーザーによって、対象物の空間位置座標を取得する計測器で、離れた位置から非接触、ノンプリズムで大量点群データを取得するのが特徴である。従来のトータルステーションによる測量と比較して、短時間に大量の点群座標を取得することができる。TSLは短距離から長距離間瀬の幅広い距離レンジで測量が可能で、しかも水平360°、鉛直270°のフルドームでのスキャンができる。その反面、TSLには色彩情報取得センサ(内蔵デジタルカメラ)が搭載されているが、図-5に示すような非常に低画質の画像しか取得できない上に、道路舗装面を撮影する際には不適切なカメラアングルになる。



図-5 TLSに搭載されているカメラの画像

図-6はTSLで計測した点群データに内蔵カメラの画像をもとに作成した画像である。区画線等の視覚要素が不明瞭で様々なノイズを含んだ画像であり、道路舗装面のデータとしては適用できない。また、TSLは夜間でも点群データを取得することは可能であるが、夜間撮影の画像は低解像度のため使用できないという問題がある。



図-6 TLSの画像から作成した路面状況



図-9 UAVとTLSを組み合わせたハイブリッドデータ

(3) UAVとTLSの組み合わせ

前節で述べたように、TSLの色彩情報取得センサが非常に低解像度であるため、高精度な空間位置情報のみを取得することに利用し、道路舗装面の画像情報はUAVで取得することにして、両方を組み合わせて道路舗装面の三次元データを構築することにした。図-7はUAVで取得した画像をもとに作成した画像データである。平面制度を重視した設定で撮影している。図-8はTLSで取得した点群データである。これらを合成して作成したハイブリッドデータが図-9である。画像にゆがみもなく、舗装路面の性状を正確に把握できるだけでなく、位置情報も正確なデータが作成できていることがわかる。この手法を適用することで、高精度の位置情報と視認性に優れた画像情報を併せ持つハイブリッドデータが作成可能となった。



図-7 UAVで取得した画像（平面精度に特化）

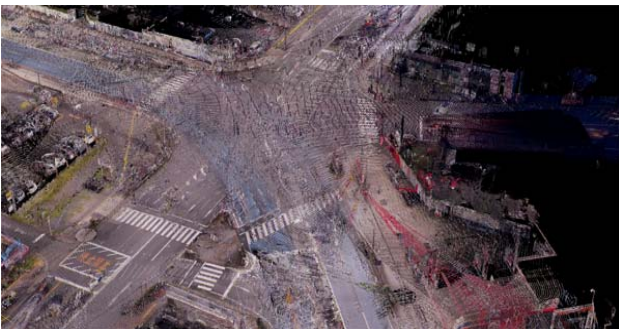


図-8 TLSによる点群データ

3. 舗装路面維持管理への適用

前章で述べた手法を舗装路面の維持管理に適用した事例について紹介する。

(1) 夜間観測での活用事例

2.(2)で述べたようにTSLは夜間でも点群データを取得することが可能であり、日中の交通量が多く走行車両によりレーザーが遮蔽されるなど日中にTSLで点群データを取得することが困難な場合に夜間観測が行われる。図-10はTSLによる夜間観測のデータである。夜間観測であるため色彩情報は非常に低解像度であり、路面状況がよくわからない。図-11は夜間観測画像を補正したハイブリッドデータを示している。舗装路面の解像度が明らかに向上し、夜間観測でも舗装路面の状況を識別できることがわかる。

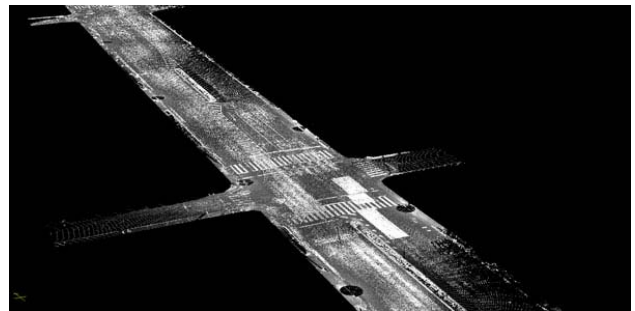


図-10 TSLによる夜間観測データ



図-11 夜間観測ハイブリッドデータ

(2) 轍の判別に適用した事例

次に、TSLの点群データを用いて、轍ぼれの箇所を視覚的に判りやすく表現する方法について提案する。まず、取得した点群データから舗装端部、舗装センターおよび、反対側の舗装端部のデータを抽出し、結線してTINを形成する(図-12)。これが舗装路面のセンターと端部を直線的に結んだ傾斜を示すことになる。そして、縦断方向の3DサーフェスマodelとTSLで取得した舗装路面の点群データの標高差を算出する(図-13)。図-13では赤い部分がセンターラインと端部を結ぶ直線よりも舗装面が高い箇所、緑色の部分が低い箇所を示している。その標高差を出力したファイルを段彩表示する(図-14)と、轍が色分けされて表示される。図-14では青い部分が低い箇所を示しており、縦方向に青い箇所が連続しているゾーンが轍を示しているものと考えられる。

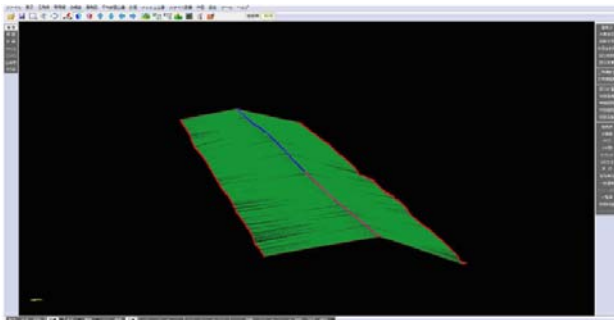


図-12 センターラインと端部を結線したTINデータ

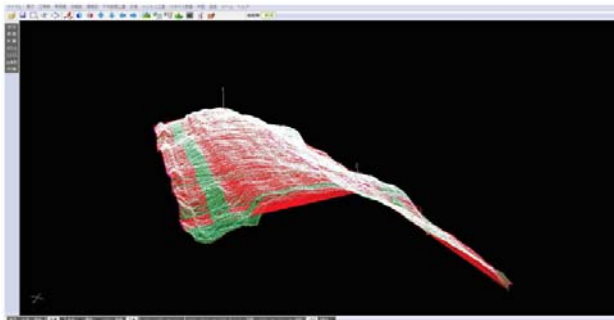


図-13 舗装点群データとTINデータの標高差

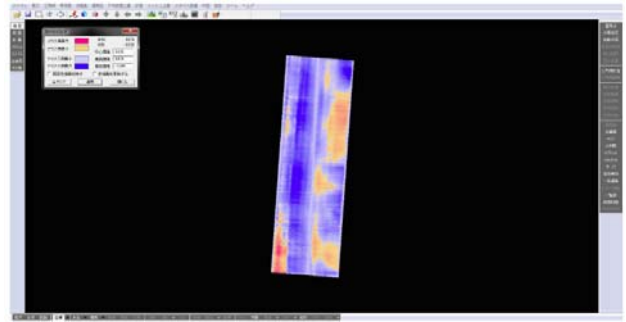


図-14 舗装路面の標高差

このように標高差ファイル化することで、舗装路面データを単純に段彩表示やコンタ線表示するだけでは対応できなかった箇所を抽出することが可能になった。他にも急な方勾配や起伏のある路線においても凹凸情報を得ることができるため、全体的な作業を省力化し、損傷の激しい箇所の調査に注力することができる。

4. 最後に

本研究では、省力化、コスト削減の観点から道路舗装の維持管理業務を効率化する技術として、UAVとTLSを用いた道路舗装の維持管理樹法を提案した。TLSの高精度の点群データとUAVによる高分解能の空中写真を重ね合わせるにより、詳細な道路舗装面の情報が得られることを示した。また、この手法を用いることにより、道路舗装面の凹凸ならびにひび割れ等の路面状況を詳細に把握することができ、維持管理の効率化が期待できることを示した。

参考文献

- 1) 村上, 島田, 谷, 葛西: 社会インフラの効率的な維持管理の実現～道路の簡易点検から始める長寿命化～, FUJITSU, Vol.64, No.6, pp.630～637, 2013.
- 2) 鍋島, 草木, 森: マスク機能を用いた車両除去による路面情報の抽出, 会報, Vol.42, 2018. (印刷中)