

(34) 河川管理のための三次元点群技術の活用方法

茨木 克博¹・西山 哲²・秋山 菜乃香³・堺 浩一⁴・富田 紀子⁵

¹学生会員 岡山大学 環境理工学部環境デザイン工学科 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1)

E-mail: pze1mos@s.okayama-u.ac.jp

²正会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1)

E-mail: nishiyama.satoshi@okayama-u.ac.jp

³学生会員 岡山大学 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1)

E-mail: p02j21gl@s.okayama-u.ac.jp

⁴非会員 株式会社パスコ 新空間情報事業部 (〒153-0064 東京都目黒区下目黒 1 丁目 7-1)

E-mail: kioauk2610@pasco.co.jp

⁵非会員 国土交通省 中国地方整備局 (〒730-8530 広島市中区上八丁堀 6-30)

E-mail: tomita-n87ce@mlit.go.jp

近年、気候変動により記録的な降雨が多発しており、堤防の健全性を把握することがますます重要になっている。しかし、現状は国・自治体の技術者と予算の不足や従来の目視点検の特徴から、より詳細な点検作業を実施することが困難な状況にある。本論文では、三次元レーザ点群測量の今後の河川管理への適用と活用の検討を目的とするものである。三次元レーザ点群測量のうち、河川分野の DX を目指すために期待されているグリーンレーザスキャナを搭載したドローン測量に注目する。そして、グリーンレーザドローン測量の有用性と課題を整理し、特性が発揮できる活用方法の研究の成果を取りまとめ、考察する。

Key Words: river inspections, three dimensional laser point clouds, green laser, drone

1. はじめに

近年、地球温暖化などの気候変動により記録的な豪雨が多発しており、全国各地で毎年のように大規模な災害が発生している。このような現状の豪雨が増加する傾向を考慮すれば、堤防の健全性を綿密に点検することがより一層重要となる。しかしながら、国や自治体における技術者と予算の不足は深刻化しており、より詳細な点検作業を実施することが困難な状況にある。

また、従来の河川管理の点検は出水期、台風期、および出水後の徒歩による目視点検あるいは 200m ごとの定期縦断測量や横断測量により定性的に判断している¹⁾。この目視点検は経験に基づいた健全性の判断に依存しており、定量的なデータが無いために、対策する必要がある箇所を判断するための客観的な根拠が乏しいという課題がある。そこで、近年では航空レーザ測深 (ALB) に代表される、ICT 機器を用いて高密度三次元データを取得する測量方法である点群測量が注目されている。従来の測量では、1 点 1 点測量した「点」を繋ぎ合わせていたデータが、この測量により「面」として見えるデータ

を取得できるようになり、河川管理の効率化・高度化につながると考えられる。具体的には、縦横断測量の工程の短縮や費用の低減、2 時期の計測データから、地形や樹木等の面的な変化の把握が可能となる。しかし、航空機を用いる手法である ALB は対地高度 300m 以上の高度から高速度で計測を行うため、陸上で約 16 点/m²、水中部で 1 点/m² 程度のレーザ点群密度しか得られない。このような密度では護岸や護床などの河川構造物を詳細に把握することができないという課題があった。

近年、計測機器の小型化と軽量化が進み、グリーンレーザ搭載の水陸両用ドローン測量システムが開発された。グリーンレーザは水を透過する特性を持つため、水中を透過し、水面下の地形を把握することが可能である。グリーンレーザ搭載の水陸両用ドローンを用いることで、150m 以下の対地高度から陸上と水中部の地形を 100 点/m² 以上の高密度で計測することが可能である。また、航空機を用いる手法と異なり、誰でも飛行させることができるので、低コストでの計測が可能である。このような特徴をもつグリーンレーザ搭載の水陸両用ドローンはインフラ分野における DX を推進するものとして注目を

れており、局所的に調査・点検したい箇所への適用が期待されている。しかしながら、陸部での精度や河川の透明度の影響は明らかになっておらず、また、2 時期のレーザ点群から変状箇所を抽出する手法が構築されていないといった課題がある。本論文では、これらの背景を鑑み、河川分野の DX を実現する手法として期待されているグリーンレーザドローン測量における課題の解決策を明らかにし、特性が発揮できる活用法の研究の成果を取りまとめ、考察した結果を報告する。

2. グリーンレーザ搭載ドローン測量の概要

(1) 使用機器

図-1 にグリーンレーザドローン測量システムの外観を、表-1 にグリーンレーザスキャナの仕様を示す。前述のように、グリーンレーザは水中を透過する特性を持ち、水面下の地形を面的に把握することが可能である。また、陸上部分に関しても従来の近赤外線レーザを用いた測量と比較して、ほぼ同じ精度の測量が可能になることから、地上から水面下までの連続した三次元データを取得できる手法として期待されている。

(2) 計測現場と計測作業の概要

図-2 に三次元レーザ点群を取得した計測現場の概況



図-1 グリーンレーザドローン測量システムの外観

表-1 グリーンレーザスキャナの仕様

レーザ波長	532 ± 1nm
レーザ反射角	90°
レーザスキャンレート	60,000Hz/s
スキャン速度	30scans/s
ビーム拡がり角	0.3mrad
重量	2.6kg

を示す。図の赤枠で囲まれた岡山県旭川 14.6-15.8k の約 1.2km 区間を対象として、2020 年 3 月と 10 月の 2 時期に計測を行った。両時期とも対地高度 50m、サイドラップを 75%、飛行速度 2.5m/s とした。

3. 陸部での精度検証結果

精度検証は現場にデータを補正するための調整点と、測量精度を検証するための検証点を 5 点ずつ設置し、検証点をトータルステーション (TS) で計測した値と比較することで実施した。測量精度検証結果を表-2 に示す。表-2 にはグリーンレーザ搭載ドローンとトータルステーション (TS) の座標値の差の平均および二乗平均平方根誤差 (RMSE) の値を示している。国土交通省が示している「河川管理用三次元データマニュアル (案)」によると、越水危険箇所抽出のための堤防高の計測には 50mm の計測精度が必要とされている²⁾。両時期とも平均較差と RMSE が、水平方向で 50mm 以下、標高方法で 30mm 以下であった。このことから、グリーンレーザドローン測量の精度は、調整点を用いなければ 50mm 以上の系統誤差を含んでしまうが、任意の調整点を用いることで、必要な精度を確保できることが示された。

4. 河床計測に対する河川の透明度の影響

ここでは、河床計測に対する河川の透明度の影響を確



図-2 計測現場

表-2 陸部の精度検証結果

単位(mm)	2020年3月		2020年10月	
	水平	標高	水平	標高
平均較差	36	8	14	8
RMSE	42	29	19	29



図-3 計測範囲の再現結果

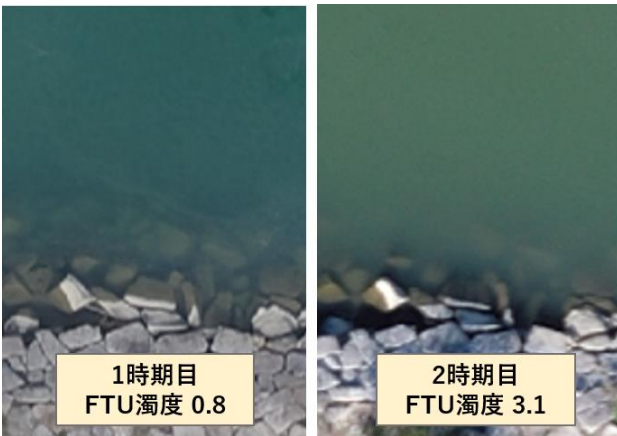


図-4 2時期間の透明度の違い

かめた結果を報告する。図-3に1時期目における計測結果を示す。この結果より、河道内にレーザ点群が取得できなかった箇所があることがわかる。点群が取得できなかったのは水深が約 2.0m 以上の箇所であった。また、現地でも計測した透明度を FTU 濁度で表すと図-4 の通りであった。1 時期目は FTU 濁度が 0.8 であり、2.0m の水深の計測が可能であったが、FTU 濁度が 3.1 の 2 時期目においては水深 1.0m 以上の地形測量は困難であった。以上の結果を踏まえると、FTU 濁度が 1.0 以下となる時期に、水深 2.0m 以下の測量に適用可能だと考えられる。

5. 2 時期データ変状箇所の抽出技術の開発

グリーンレーザドローン測量では、高密度のレーザ点群によって計測対象区間の地形が詳細に再現される。一方で、ドローン測量のデータは約 500 点/m² のビッグデータになり、管理区間によっては数十万点以上の点群になる。このようなデータの中からどこに変状が発生しているのかを検知できるデータ処理技術がなければ、詳細に地形を再現しても計測結果を有効に活用できない。そこで本研究では、自動運転車の分野で物体検知の用途として利用される ICP (Iterative Closet Points) を応用したレーザ点群解析を開発し、その有用性を検証した³⁾。ICP は図-5 に示すように、1 時期目のレーザ点群からなる図形

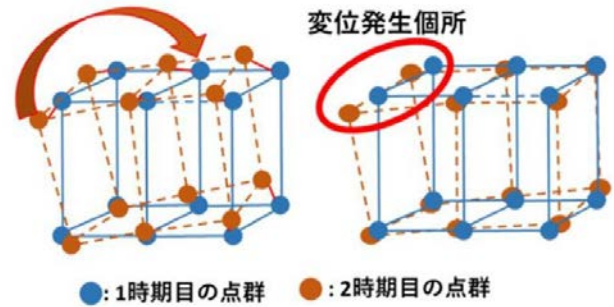


図-5 ICP による変状箇所抽出技術

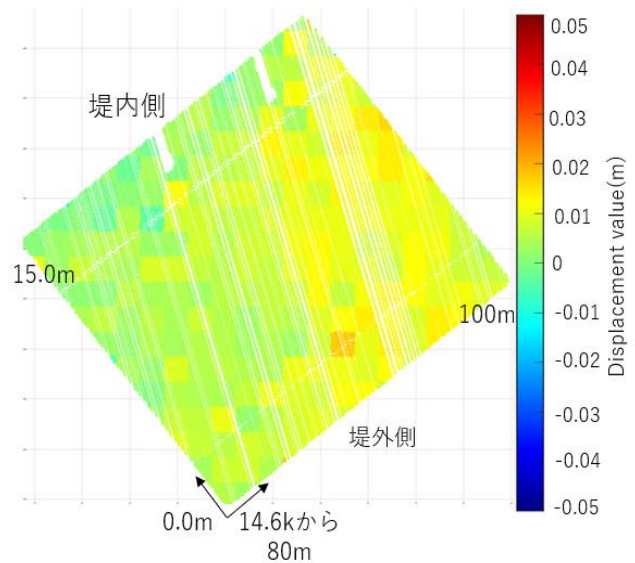


図-6 堤防天端の変状抽出の例

に、2 時期目のレーザ点群からなる図形を重ね合わせる技術である。まず、2 時期間で最も近い点を対応付け、その次に回転移動と平行移動を行い、これらを繰り返すことでマッチングを行うアルゴリズムである。点の移動量と向きを変位ベクトルとしてみなすことができるため、変状を定量的に表せ、点群のまま解析できる。点群データから TIN モデル等を作成することなく、両時期のデータを直接重ね合わせる処理なので、リアルタイムの解析が可能である。

堤防天端における Z 方向の変状抽出結果の例を図-6 に示す。カラースケールにより変状を表現している。堤防天端では、変状が 5cm 未満であったことから、沈下や隆起は起こっていないと考えられる。以上のように、2 時期間における変状をカラースケールにより表すことが可能である。

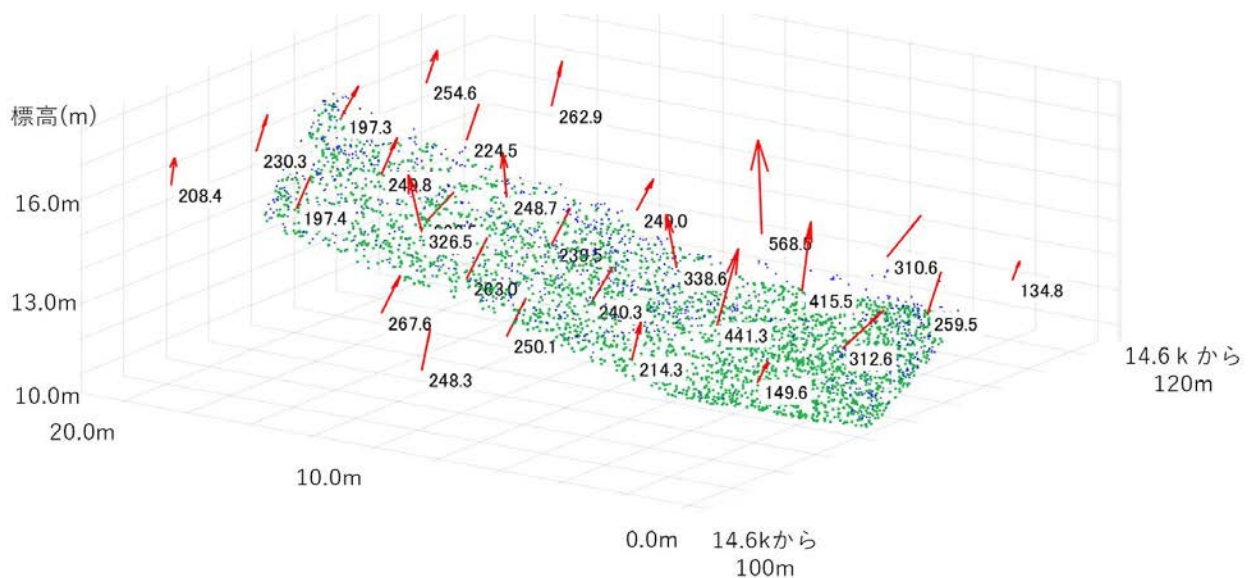


図-7 堤防法面の変状抽出の例

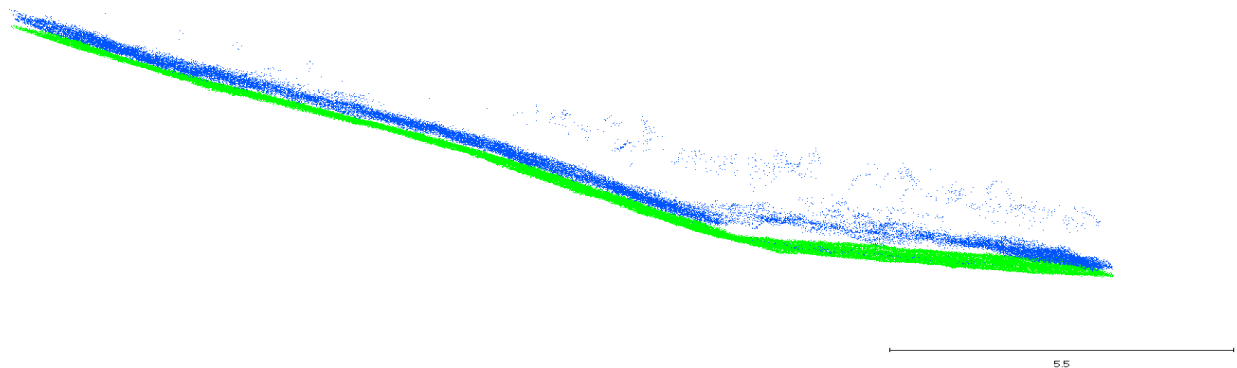


図-8 2時期における堤防法面の再現結果

また、図-7 に堤防法面の変状抽出結果を、図-8 に 1,2 時期目の点群をそれぞれ緑色と青色で示す。堤防法面では 2m 以上の変状が確認できる。これは図-8 より、2 時期間の植生の成長であることがわかる。したがって、局所的な範囲での変状の把握が可能であると示される。

6. 結論

水中を透過する特性を持つグリーンレーザを用いたドローン測量の活用方法の成果を整理する。

- 1) 調整点と検証点を用いることで、50mmの精度を確保することができた。このことから、50mmの計測制度を有する越水危険箇所抽出のための堤防高の計測が可能である。
- 2) FTU濁度により水中透過能力を把握でき、FTU濁度が1.0以下の場合に約2.0mより浅い箇所に適用するのが有効である。
- 3) グリーンレーザ搭載のドローン測量のデータはビッグデータとなるため、複数の時期の測量データ

から変状発生箇所を抽出処理に労力を要し、測量手法の利点が発揮できない課題があった。本研究で開発した2時期のレーザ点群を重ね合わせる手法は、リアルタイムに変状発生箇所を検知できることが実証された。

以上、陸上・水中でのドローンの使用法および解析手法に関する研究成果を報告した。今後、フィルタリング技術で植生を除去した後の堤防や河床の変状抽出も検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保安局 河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領，pp. 1-5, 2019.
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川環境課 河川保全企画室：河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)，2020.
- 3) 堺浩一，間野耕司，西山哲：グリーンレーザドローンの計測精度と計測特性の把握に関する研究，応用測量論文集，Vol.31，pp. 99-110, 2020