

## 河川管理のための三次元点群データ活用法

岡山大学環境理工学部 学生会員 ○上野 真衣  
 岡山大学学術研究院環境生命自然科学学院 正会員 西山 哲  
 株式会社アミューズワンセルフ 非会員 富井 天夢, 佐野 ひかる

## 1. 目的

近年、地球温暖化等の影響により、記録的な豪雨が多発し、全国各地で毎年のように大規模な災害が発生している。ところが、現在の河川管理では、出水期、台風期、出水後の徒歩による目視点検または200mごとの定期縦横断測量の結果により判断されているのみである<sup>2)</sup>。また、技術者と予算の不足は深刻化しており、点検作業の詳細化や回数の増加を図ることは不可能である。主に実施されている目視点検では、経験に基づいた健全性の判断に頼っており、定量的なデータがないため、必要な箇所を優先的に対策するための客観的な根拠に乏しいのが実情である。そこで近年、ICT機器によって取得される三次元点群測量の活用が検討されている。この測量により地形を連続的な「面」として可視化できるので、詳細な点検・調査が実現する。この利点を含め、ICT機器による三次元点群の活用は、河川管理の効率化・高度化を図ることができる<sup>3)</sup>。

本研究では、三次元点群測量システムに用いられる様々な手法の中でも<sup>4)</sup>、UAVグリーンレーザに着目する。水中を透過するグリーンレーザスキャナを搭載し、150m以下の対地高度から陸上と水中部の地形を100点/m<sup>2</sup>以上の高密度で計測する。地上部分も従来の近赤外線レーザを用いた測量と比較して、同程度の精度での測量も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。このような特徴はDXを推進する手法として注目されており、局所的な箇所への詳細な調査・点検の適用が期待される<sup>5)</sup>。これらの背景を鑑み、UAVグリーンレーザの特性や課題をまとめ、河川管理への適用と活用法の検討を目的とする。

## 2. 実験計測

## 2.1 使用機器

本研究では、表-1に示すように、水中を透過する532nmのグリーンレーザスキャナを搭載したUAVを用いる。測位精度が水平に対して±10mm、標高に対して±20mmのRTK-GNSSシステムが搭載されている。

## 2.2 計測現場と作業概要

図-2に三次元点群を取得した計測現場を示す。図の赤枠で囲まれた岡山県旭川14.6~15.8kの約1.2km区間、水色枠で囲まれた右岸側14.8~15.4kの約600m区間、黄枠で囲まれた左岸側15.2k付近の150m×50mの区間で計測を実施した。3、4章では、赤枠(1~3時期目)と水色枠(4時期目)の区間で、表-2に示す作業概要にて計測した結果と2019年2月にALBにより計測した結果を用いて解析を行う。

表-1 スキャナの性能

照射レート	60,000Hz
スキャン回転数	30回転/s
FOV(視野角)	90° (±45°)
レーザ拡散角	1.0mrad



図-2 計測現場

表-2 計測方法の概要

	1時期目	2時期目	3時期目	4時期目
計測日	2020年3月	2020年10月	2021年4月	2021年11月
対地高度		50m	100m	50m
サイドラップ		75%	60%	75%
飛行速度		2.5m/s	4m/s	2.5m/s

キーワード UAV, グリーンレーザ, 三次元点群

連絡先 〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1 岡山大学環境理工学部棟

TEL 086-251-8152

表-3 精度検証結果

単位：mm	調整前								調整後							
	平均格差				RMSE				平均格差				RMSE			
	ΔX	ΔY	ΔXY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔXY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔXY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔXY	ΔZ
1時期目	-0.3	0.5	15.2	0.3	14.8	8.4	17.0	27.3	0.0	12.8	36.3	7.7	39.6	14.8	42.3	26.7
2時期目	-0.2	-0.2	13.8	-0.4	16.7	4.5	17.3	20.0	8.3	-6.3	24.9	8.3	26.9	12.4	29.6	26.1
3時期目	0.0	0.5	32.5	0.3	29.5	17.2	34.2	6.5	-3.5	-13.7	36.1	-0.5	27.7	25.3	37.5	14.9
4時期目	-0.5	0.0	6.6	0.5	6.5	1.0	6.6	13.5	-36.0	-8.5	38.2	-7.5	37.4	14.3	40.0	8.7

表-4 点密度

点/m <sup>2</sup>	ALB	UAVグリーンレーザ			
		1時期目	2時期目	3時期目	4時期目
点密度	1~100	50~600	50~400	25~150	100~500

表-5 FTU濁度と最大水深

	ALB	UAVグリーンレーザ		
		1時期目	2時期目	3時期目
FTU濁度	1.8	0.8	3.7	2.6
最大水深	4.0m	2.0m	1.0m	1.7m

### 3. 三次元点群解析

#### 3.1 陸部における精度検証

調整点を用いた場合、用いなかった場合、それぞれのトータルステーション (TS) と UAV グリーンレーザの測量結果を比較した精度検証結果を表-3 に示す。X と Y は水平方向、Z は標高方向を表し、表における値は UAV グリーンレーザと TS の差の平均および二乗平均平方根誤差 (RMSE) である。調整前・調整後ともに4時期で、平均あるいは RMSE で±50mm 以内の精度に収まっていたことから、RTK-GNSS により良好な計測が可能であった。

#### 3.2 点密度

航空レーザ測深 (ALB) と4時期の UAV グリーンレーザ測量の点密度を表-4 に示す。ALB の点群間隔が約 0.7m、UAV では約 0.1m であったことから、UAV グリーンレーザ測量は、ALB と比較して高密度に点群を取得できることがわかる。また、対地高度等の計測方法の違いにより、点密度は大きく異なる。ALB や3時期目の点密度は、堤防のような大きな対象物においては問題ないが、河川構造物等の小さな対象物には点密度が小さすぎるため、詳細な形状の把握には向いていない。

#### 3.3 河床計測結果

ALB と1~3時期の計測日の FTU濁度と最大水深の関係を表-5 に示す。2, 3時期目は、FTU濁度が2.0以上であり、水質が良好ではなかったため、最大水深が1時期目より浅くなったと推測する。しかし、1時期目は、FTU濁度1.0以下で水質は良好であったが、最大2.0mまでの計測となった。ALB と UAV グリーンレーザの測深能力の違いは、レーザ出力等の機器性能の違いと考えられる。

### 4. 2時期データの变状抽出

前述したように、UAV グリーンレーザ測量では、高密度の点群により計測対象区間の地形が詳細に再現されるため、ビッグデータになる。延長の長い管理区間では、数十万点以上の点群にもなり、その中から、変状発生箇所を簡便に検知できるデータ処理技術がなければ、詳細な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、ICP (Iterative Closest Points) を応用した点群解析を開発し、その有用性を検証した。ICPとは、SLAM技術を用いたスキャンマッチングの1つである。図-3に示すように、2時期目の点群を回転や平行移動を繰り返すことによって、1時期目の点群に重ね合わせる技術である。最終的に重ね合わせができなかった箇所を変状発生箇所と推定する。点の移動量と向きを変位ベクトルとしてみなせるため、変状を定量的に表せ、点群のまま解析できる。

堤防天端、法面、河床においてフィルタリング前後の点群についてそれぞれ解析を行った。図-4に変状抽出結果の位置を示す。赤枠で囲まれた位置で堤防天端、緑枠で囲まれた位置で堤防法面、水色の枠で囲まれた位置で河床の変状抽出を行った。

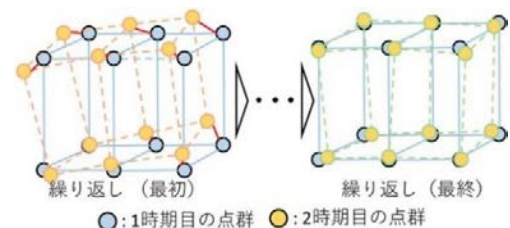


図-3 ICPによるデータ処理

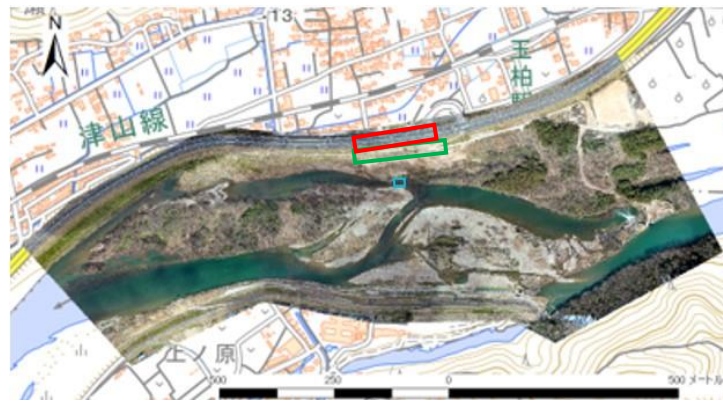
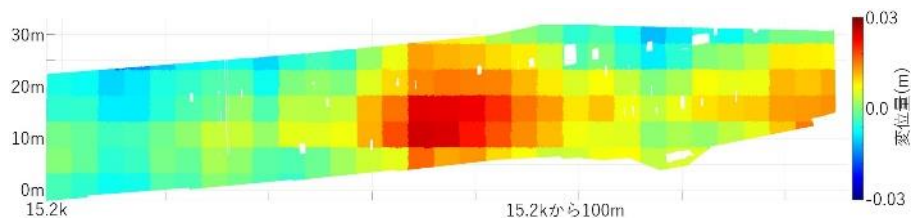
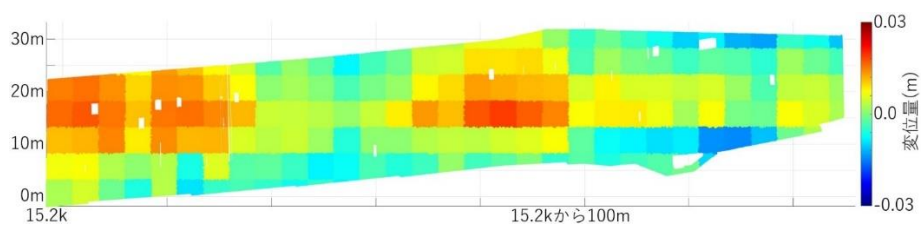


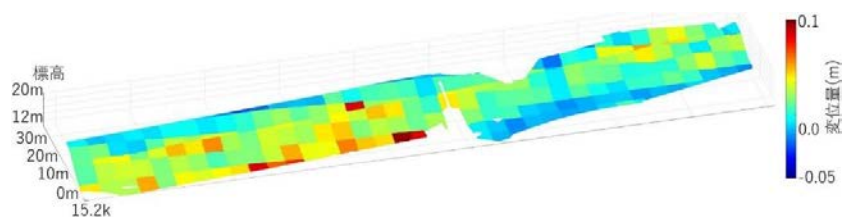
図-4 変状抽出結果の位置



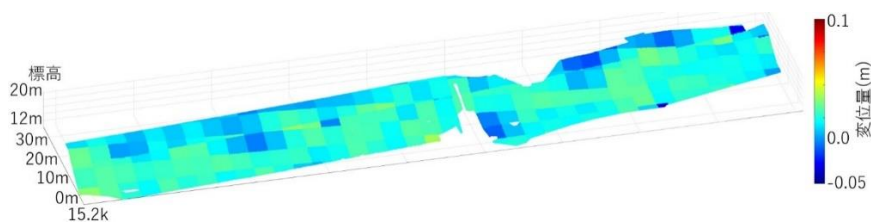
(a) 1, 2 時期目の堤防天端



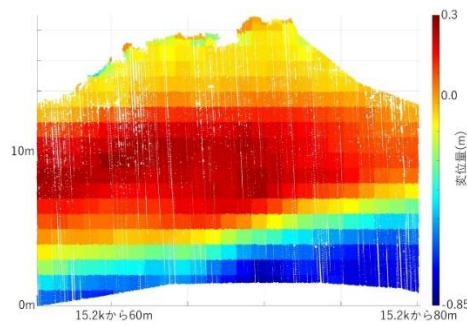
(b) 1, 4 時期目の堤防天端



(c) 1, 3 時期目の堤防法面



(d) 1, 4 時期目の堤防法面



(e) 1, 4 時期目の河床

図-5 フィルタリング後の変状抽出結果

フィルタリング前の解析では、道路を走る車両や植生、水面や浮遊物質による影響があったため、解析前にフィルタリング処理を行う必要があるとわかった。ここでは、フィルタリング後のそれぞれの変状抽出結果の例を図-5に示す。各メッシュ内の変状の平均値をカラースケールで表し、Z方向（標高方向）の結果を示す。堤防天端、法面は5mメッシュ、河床は1mメッシュとした。堤防天端では、変状が3cm以内であったことから、沈下や隆起は起こっていないと判断した。また、法面の舗装部では5cm以内の変状であったが、植生部では10cm程度の変位がみられた。植生のフィルタリング後に、点密度が小さくなったことが影響していると考ええる。この結果から、法面自体の変状を把握するには、植生の少ない時期または植生を伐採した後の計測が有効である。河床では、約0.1~0.8m程度の堆積・流出があった。ただし、水部における精度検証は行っていないため、解析結果の数値を信用することはできないが、河床の堆積や流出箇所を検出するのに有効であると考えられる。

## 5. 結論

本研究では、河川分野のDXを実現する手法として期待されている、UAVグリーンレーザを用いて、河川管理への適用と活用法の検討を行った。以下に河川管理への活用法をまとめた。

- (1)調整点を用いて調整を実施しなくとも、RTK-GNSSの使用により、陸部において50mm以内の精度が得られたことから、越水危険箇所抽出のための堤防高・形状の把握に必要な精度を有する測量が可能である。
- (2)ALBと比較して、高密度に点群を取得でき、河川構造物の詳細な形状の把握に有効である。
- (3)FTU濁度が1.0以下となる時期に、水深2.0m以下の

浅い河川の地形測量に適用できる。

- (4)植生の繁茂状況によって、地表面の点群を取得できない場合があるため、植生の少ない時期または植生を伐採した後の計測が効果的である。
- (5)本研究で用いたICP技術の応用により、定量的に変状発生箇所を抽出できたことから、リアルタイムに河川の局所的な変状発生箇所を把握でき、効率化が期待できる。しかし、フィルタリング処理が必要になるため、前処理に時間がかかる可能性がある。点密度の違いによる影響はほぼ見られなかったが、植生のある箇所においては、計測の段階で2時期データ間の点密度を同程度に調整する必要がある。
- (6)UAVグリーンレーザ計測は、濡れた地表面においても乾いた地表と変わらない点密度で河川全体を網羅する測量が取得できた。また、RTK-GNSSの使用により、調整点の設置が困難な現場や災害直後の現況地形の取得において、有効な計測手法であると言える。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局:水害レポート2019, pp.2-6, 2019.
- 2) 国土交通省 水管理・国土保安局 河川環境課: 堤防河川管理施設及び河道の点検・評価要領, pp.1-5, 2019.
- 3) 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.
- 4) 国土交通省 CIM導入推進委員会: CIM導入ガイドライン(案)第1編 共通編, pp.35-41, 2017.
- 5) 堺浩一, 間野耕司, 橘菊生, 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.