

8. 河川管理へのグリーンレーザドローンを用いた三次元点群の活用法 Application of Three-Dimensional Point Clouds Using Green Laser Drone to River Management

○秋山菜乃香，西山哲(岡山大学)

富田紀子(国土交通省中国地方整備局)

佐野ひかる，富井隆春(株式会社アミューズワンセルフ)

1. はじめに

近年，地球温暖化等の影響により，時間雨量 50mm を超える短時間強雨や総雨量が数百～数千 mm を超える大雨が多発しており，全国各地で毎年のように甚大な氾濫や堤防決壊による浸水被害が発生している．平成 30 年 7 月豪雨では，37 箇所では堤防が決壊し，甚大な被害が引き起こされ¹⁾，線状構造物である河川堤防は，1 箇所でも破堤すると甚大な被害が発生することがあらためて実証された．その他，線状降水帯のような豪雨をもたらす要因が増加する傾向を考慮すれば，膨大な延長距離にわたる堤防の健全性を綿密に点検することが，より一層重要になる．しかしながら現状の河川堤防の健全性は，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 ごとの定期縦断および横断測量の結果により判断されているのみである²⁾．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．さらに河川堤防は形状が一定になるように盛土を繰り返して築堤されており，地質構造の詳細は分かっていないので，形状の変化で健全性を判断するしかない．また中国地方は急勾配の河川によって真砂土が頻繁に運び込まれるので，植生の繁茂状態を含めて，現況河道の詳細な断面積の照査を詳細に行う必要がある．ところが，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，定量的なデータが無いために，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．そこで近年では，河川の定期縦横断測量の業務などにおいて，ICT 機器によって取得される三次元点群の活用が検討されている．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．この利点を含めて，ICT 機器による三次元データの活用は，河川管理の効率化・高度化を図ることができる³⁾．

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⁴⁾，グリーンレーザスキャナを搭載したドローン（以下：グリーンレーザドローンとする）測量に着目する．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/m² 以上の高密度で計測する．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⁵⁾．本論文では，これらの背景を鑑み，河川分野の DX を実現する手法であると期待されているグリーンレーザドローン測量の特性が発揮できる活用法の検討を目的とする．

2. 実験計測

図-1，表-1 に示すように，水中を透過する波長 532nm のグリーンレーザスキャナを搭載したドローンを使用する．ドローンには測位精度が水平に対して±10mm，標高に対して±20mm の GNSS システムが搭載されている．

図-2 に計測現場の概況を示す。図の赤枠で示した岡山県旭川 14.6-15.8k の約 1.2km 区間を対象として、2020 年 3 月、10 月、2021 年 4 月の 3 時期に計測を実施した。表-2 に計測方法の概要を示す。対地高度は、水面からの高度である。点密度による解析への影響を比較するため、3 時期目の計測方法を変更した。



図-1 グリーンレーザドローン測量システム



図-2 計測対象範囲

表-1 グリーンレーザスキャナの仕様

レーザ波長	532±1nm
レーザパルスレート	60,000Hz
ビーム拡がり角	1.0mrad
スキャン速度	30scan/s
重量(本体のみ)	2.6kg

表-2 計測方法の概要

	1時期目	2時期目	3時期目
対地高度	50m		100m
サイドラップ	75%		60%
飛行速度	2.5m/s		4m/s

3. システムの特性の解析

まず、点密度の解析を行った。航空レーザ測深(ALB)と 1 時期目のグリーンレーザ測量で再現した ALB 計測結果を図-3 に示す。それぞれを赤、緑の点群で表現している。ALB のレーザ点群間隔が約 0.7m、ドローン測量では約 0.1m であったことから、グリーンレーザドローン測量は、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、表-3 に 3 時期のグリーンレーザドローン測量の点密度を示す。1,2 時期目と 3 時期目では、対地高度の違いにより、点密度も 2~3 倍程度異なることがわかった。

次に、陸部における精度検証の結果をまとめる。現場には、データを補正するための調整点を 5 点、さらに測量精度を検証するための検証点を 5 点設置し、トータルステーション(TS)によって測量した結果と比較することで精度検証を行った。

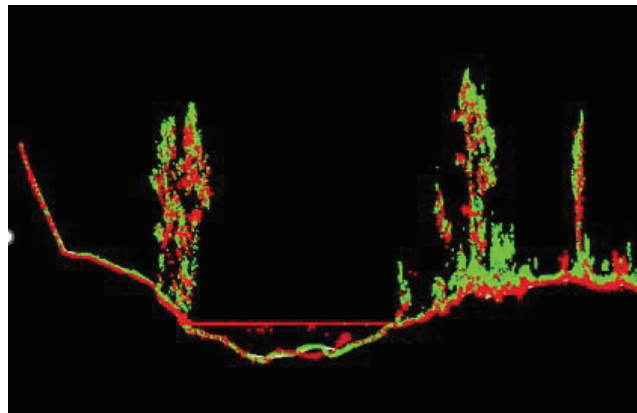


図-3 河道横断面図

表-3 3 時期の点密度

単位: 点/m ²	点群密度
1時期目	100~1200
2時期目	100~1000
3時期目	50~400

表-4 に 3 時期の測量精度検証結果を示す。表おける X と Y は水平方向、Z は標高方向を表す。グリーンレーザドローンと TS の座標値の差の平均および二乗平均平方根誤差(RMSE)である。3 時期ともに平均較差および RMSE が、平面で 50mm 以下、標高で 30mm 以下であったことから、良好な計測が可能であったことがわかる。グリーンレーザドローン測量の精度は、任意の調整点を用いることで、所望の精度が確保できることが実証された。また、「河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)」において、越水危険箇所抽出のための堤防高・形状の把握には、50mm 程度の計測精度が必要とされている²⁾。よって、調整点の使用により堤防高・形状の把握に必要な 50mm の精度を有する測量が実施できるとわかった。

表-4 3 時期の精度検証結果

単位:mm	1時期目			2時期目			3時期目		
方向	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
平均較差	0	13	8	8	-6	8	-4	-14	-1
RMSE	43	16	29	29	14	29	32	29	17

表-5 FTU 濁度と最大水深

	FTU濁度	最大水深
1時期目	0.8	2.0m
2時期目	3.12	1.0m
3時期目	2.45	1.7m

最後に、河川の透明度による河床計測への影響について解析した。現地で計測した透明度と計測できた最大水深を表-5 に示す。FTU 濁度 0.8 では、最大 2.0m の水深の計測ができたが、FTU 濁度 3.1 では、1.0m 以上の水深の地形測量は困難であった。これらの結果より、FTU

濁度 1.0 以下となる時期に、水深 2.0m 以下の測量に適用できると考えられる。さらに 3 時期の河道の横断面図の例を図-4,5 に示す。1~3 時期目の点群をそれぞれ緑色、赤色、青色の点群で表す。この位置では、20~50cm 程度の堆積が見られた。高密度の点群により河床の詳細な地形の再現が可能であることがわかる。



図-4 3 時期の河川横断面の例 1

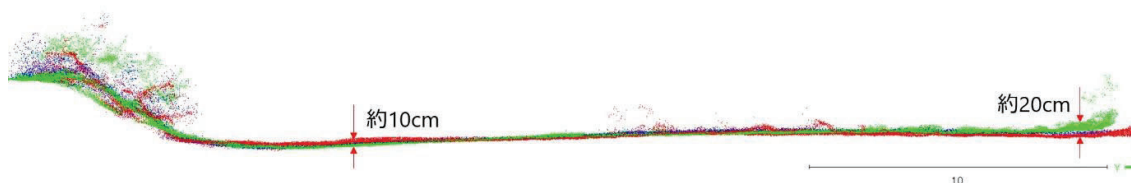


図-5 3 時期の河川横断面の例 2

4. 変状発生箇所の抽出

前述したように、グリーンレーザドローン測量によって、高密度の点群で計測対象区間の地形が詳細に再現されるため、ドローン測量データはビッグデータになる。延長の長い管理

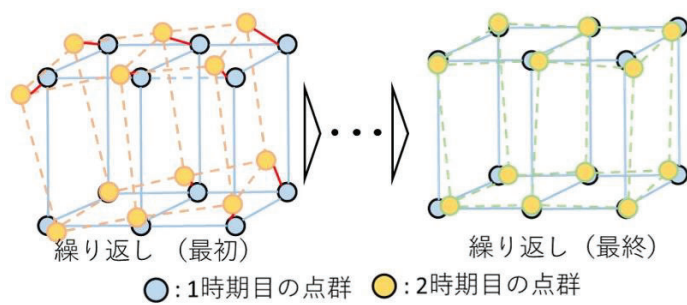


図-6 ICPによるデータ処理

区間では数十万点以上の点群にもなり、その中から、どこに変状が発生しているのか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⁹⁾。ICPは図-6に示すように、1時期目の点群に、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、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が存在した場合は、その箇所に変状が発生したことによってと推定する。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。点群データからTINモデルなどを作成することなく、2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。堤防天端や法面を任意の大きさのメッシュに区分けし、各メッシュ内の変状の平均値を天端はカースケール、法面はベクトルで表す。天端は1mメッシュ、法面は5mメッシュとした。

図-7,8は、1,2時期、1,3時期目の堤防天端のZ方向の変状抽出結果の例である。また、1,2時期目、1,3時期目の堤防法面の変状抽出結果の例を図-9,10に示す。図-11,12は、1,2時期、1,3時期の点群をそれぞれ緑と青色で示している。堤防天端では、変状が5cm以内であったことから、堤防は沈下していないと判断した。また、堤防の法面では、2m以上の変状が見られた。これは、図から2時期間の植生の成長によるものだとわかる。よって、局所的な変状を取得することが可能である。また、点密度による大きな影響は見られなかったことから、点密度が違うデータでも変状箇所の抽出は可能であることがわかる。

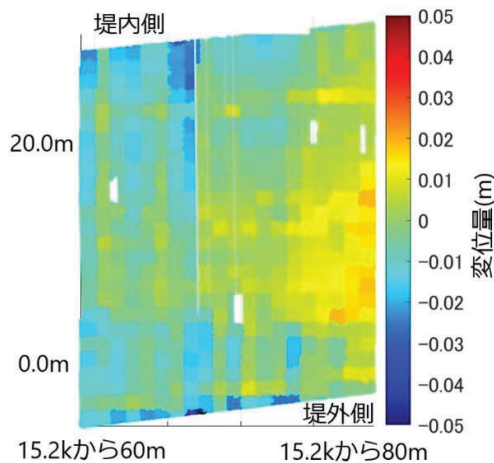


図-7 1,2時期目の堤防天端の変状抽出

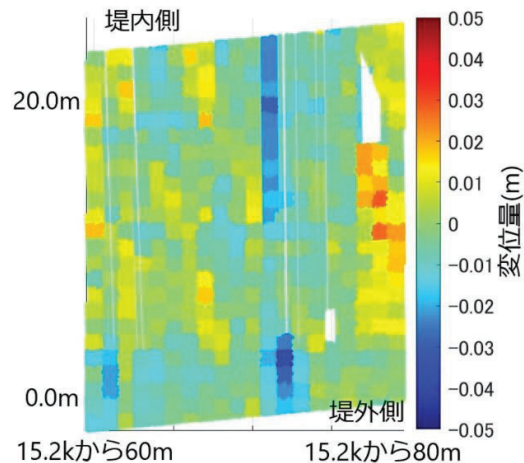


図-8 1,3時期目の堤防天端の変状抽出

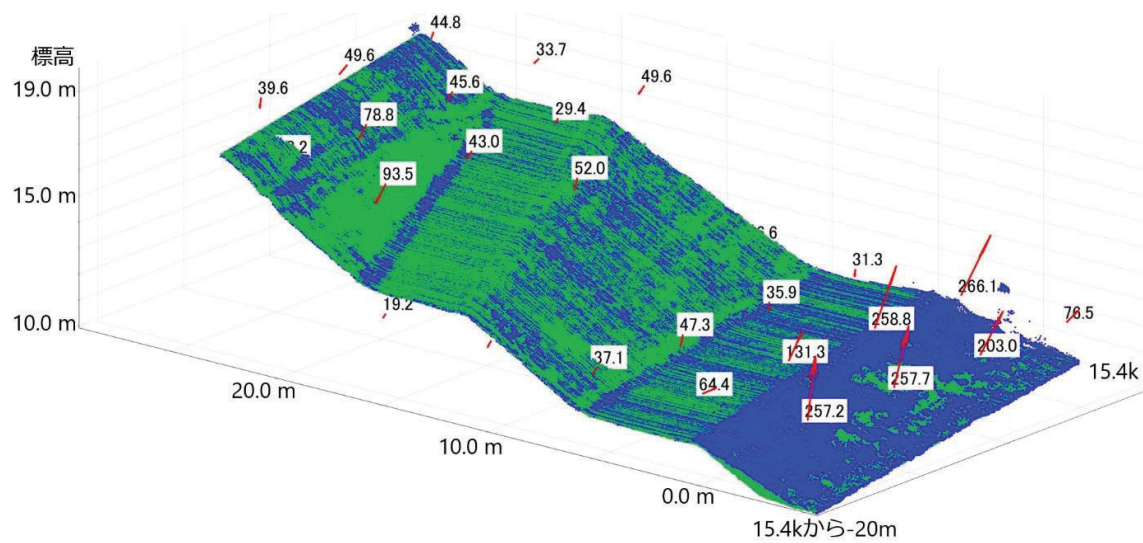


図-9 1, 2 時期目の堤防法面の変状抽出

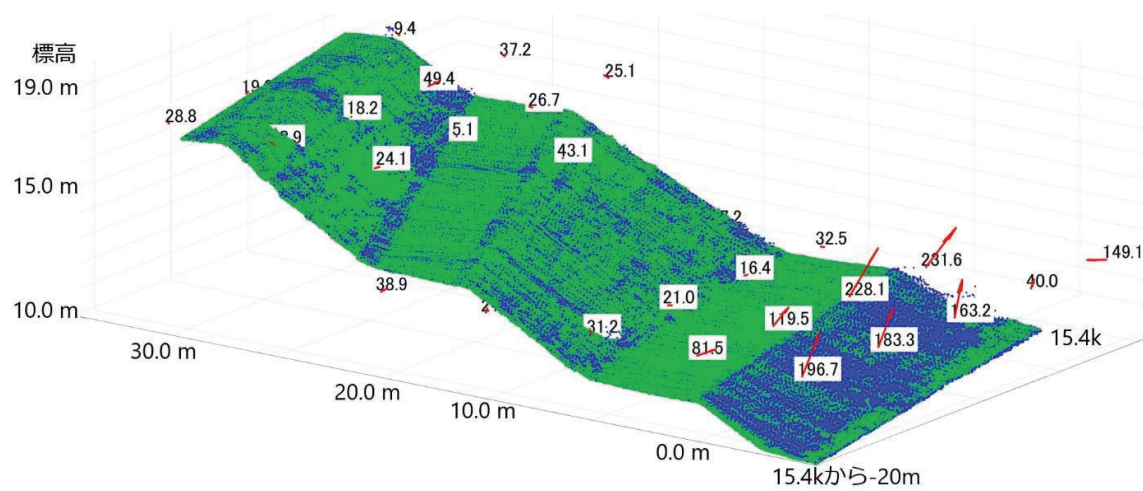


図-10 1, 3 時期目の堤防法面の変状抽出

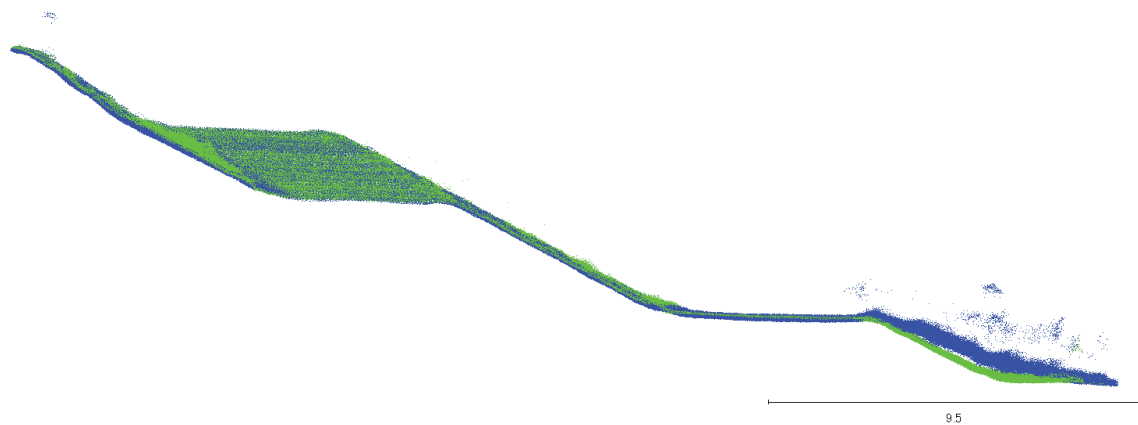


図-11 1, 3 時期目の堤防法面の点群

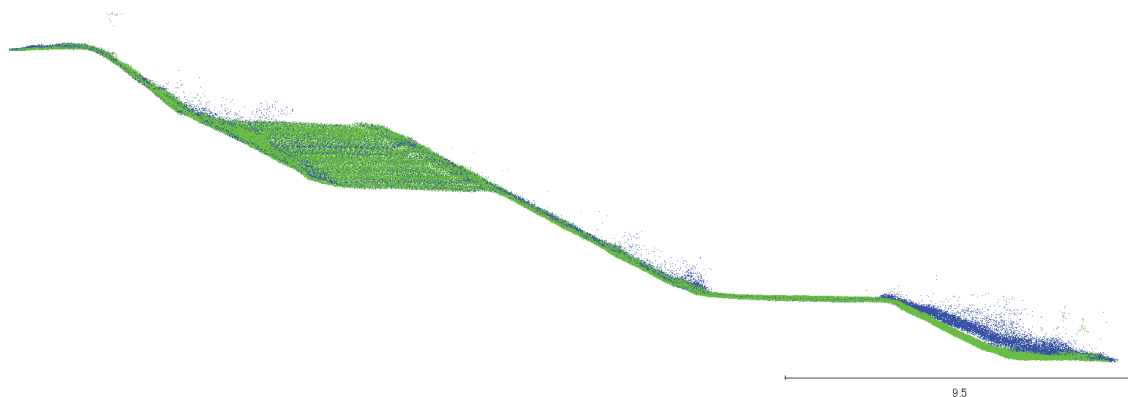


図-12 1,3 時期目の堤防法面の点群

5. 結 言

本論文は、河川分野の DX を実現する手法であると期待されているグリーンレーザドローン測量の特性が発揮できる活用法の検討を行った。以下に河川管理への活用方法をまとめる。

(1) 対地高度やサイドラップ、飛行速度によって、得られる点密度が変化する。計測対象にあわせて点密度を変化させる必要があるが、計測対象ごとの解析に必要な点密度はわかっていない。今後、堤防や河床等に必要な点密度を検討していく。

(2) 任意の調整点を用いることで、50mm 以内の精度が得られた。このことから、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。

(3) FTU 濁度により計測可能な水深が把握できる。FTU 濁度が 1.0 以下であり、水深が約 2.0m 以下の浅い箇所の地形の測量に適用するのが有効である。また、高密度の点群により河床の詳細な地形の把握が可能である。

(4) 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表現できたことから、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。また、点密度による大きな影響は見られなかった。今後、河床やフィルタリングによる植生除去後の堤防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・国土保全局：水害レポート 2019, pp.5-6, 2019.
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局 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.
- 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.
- 6) 友納正裕：SLAM 入門：ロボットの自己位置推定と地図構築の技術, オーム社, 2018.