

## 浚渫土の減容化を支援するモニタリング技術の研究

岡山大学環境理工学部

学生会員

○伊藤 千夏

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

岡山大学環境生命自然科学研究科

学正会員

茨木 克博

株式会社セトウチ

非会員

田中 浩二, 土肥 広大

国土交通省中国地方整備局 宇野港湾事務所

非会員 井川 広之, 佐々木 隆之, 西林 孝明

## 1. 目的

港湾の機能を維持するためには、船舶の大型化等に併せて港湾の整備を進める必要がある。航路・泊地の増深や維持管理に伴って発生する浚渫土砂の処分場や埋立地が不足しており<sup>1)</sup>、新たな埋立地は環境問題等の地元調整の困難性から中々整備が進まないのが現状である。そのため、圧密沈下の促進による処分場の延命化や受入容量の増加を目的とした減容化施工が必要となる。このような状況の中で、減容化の効果や受入容量の把握が求められるが、現在の減容化施工のモニタリング手法は水位表を用いた人力による方法であり、水底地形の把握に限界がある。それゆえ、減容化施工を支える効率的かつ効果的なモニタリング手法の確立が求められている。また、最近では建設DXやICT技術の推進により、各工程において三次元でデータを管理することを目指しており、港湾分野においてもICT浚渫工の拡大やBIM/CIMの活用等の取り組みが実施・計画されている<sup>2)</sup>。このような背景から本研究では、減容化施工を支援する効率的かつ効果的なモニタリング技術の確立を目的として、様々な手法の中でも水中を透過する特性を持つグリーンレーザスキャナを搭載したUAV(Unmanned Aerial Vehicle)測量に着目する。検証内容は、調整点の設置が困難な土砂処分場の精度を確かめるため、調整点による補正なしの状態での精度検証を行う。また、現地土砂処分場の計測を実施し、土砂処分場の水質・底質・濁度の側面から計測結果をまとめ、活用方法並びに今後の課題について考察する。

## 2. 計測・使用機器概要

## 2.1 使用機器

表-2.1, 表-2.2に2種類のグリーンレーザスキャナの性能を示す。UAVグリーンレーザ測量はレーザを照射し反射した場所の距離をレーザスキャナが求め、3次元座標をデータとして得る。グリーンレーザスキャナ搭載のUAV測量システムは陸部だけでなく水部の地形を3次的に計測するので、地上から水面下までシームレスな計測が可能となる。また、航空機を用いる航空レーザ測深(ALB)と異なり、誰でも飛行させることができるので、低コストの計測が可能である。以上のことから、河川や港湾などの水部の計測が必要である対象地域での計測手法として期待されている<sup>3)</sup>。

表-2.1 グリーンレーザスキャナの性能(パターン1)

レーザ波長	532±1mm
レーザスキャンレート	60,000Hz/s
スキャン速度	30走査/s
ビーム広がり角	1.5mrad
本体重量	2.7kg

表-2.2 グリーンレーザスキャナの性能(パターン2)

レーザ波長	532±1mm
レーザスキャンレート	50,000~200,000Hz/s
スキャン速度	100走査/s
ビーム広がり角	設定可能
本体重量	9.8kg

キーワード UAV, グリーンレーザ, 浚渫, 減容化

連絡先 〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中3-1-1

TEL 080-9832-3271

## 2.2 計測概要

岡山県倉敷市玉島に位置する玉島ハーバーアイランド 4 号泊地土砂処分場において計測を行った(図-2.1)。令和 5 年現在、本土砂処分場では浚渫土量増加に伴う処分場の受入容量不足のため、PDF 工法による減容化で受入容量の増加が図られている。まず、パターン 1 のグリーンレーザスキャナを搭載した UAV の対地高度を 30m, 60m, 90m に設定し、計測を行った。そして、パターン 2 のグリーンレーザスキャナを搭載した UAV を用いて、ビーム発散角 1.0, 2.0, 4.0mrad に設定し、計測を行った。

## 3. 減容化施工への適用

### 3.1 対地高度別精度検証

国土交通省が公表している「UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案)」によれば、オリジナルデータの位置及び標高の精度を検証および調整するために、計測範囲内に調整点を設置することが定められており、データが要求精度を満たさない場合、満たさない要素に対して補正量としてシフト調整を行うことで、精度が確保されている<sup>4)</sup>。しかし、土砂処分場のような水部のみでの計測では調整点の設置が困難である。そのため、調整点での補正なしの状態での精度を把握する必要がある。現地の検証点の位置と使用した対空標識の外観を図-3.1 に示す。本研究では、減容化施工において重要となる標高方向の精度に着目する。地上測量で得られた検証点のデータとオリジナルデータで得られたデータの較差平均と RMSE(二乗平均平方根誤差)を求めることで精度の検証を行った。検証点での精度検証結果を図-3.2 に示すが、すべての高度において±70mm 以内の精度を満たすことが確認できた。以上のことから、



図-2.1 計測現場

UAV グリーンレーザ計測技術は調整点の補正なしで、±10cm 以内の精度が要求される減容化施工の起工測量に適用可能だと考えられる。

### 3.2 現地計測の結果

図-3.3 にパターン 1 における現地処分場の断面図を示す。断面図から水面や水底地形の点群が取得されておらず、どの位置においても水深 40cm 以深で欠測していた。また、水深 20cm から 40cm の箇所では横一線の点群が取得された。オリジナルデータの座標と実際の水面・水底の位置を比較した結果、これらの点群は水面と水底の中間に位置していたため、ノイ

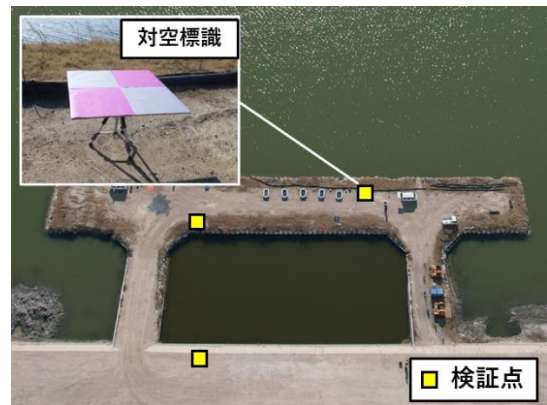


図-3.1 現場の検証点の位置

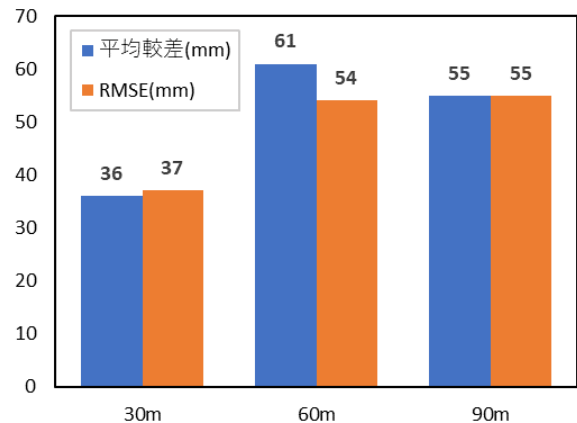


図-3.2 検証点での精度検証結果

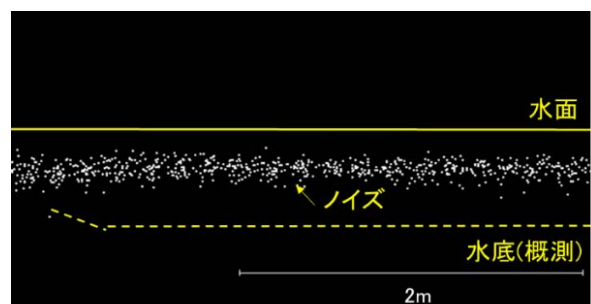


図-3.3 現地処分場断面図(パターン 1)

ズだと判断できる。このように、グリーンレーザは水面下の形状を面的に把握できる特徴を持つが、パターン1の計測においては水底地形の取得が困難であった。

### 3.3 水質・底質・濁度による測深能力の検証

パターン1において、水底地形が所得できなかつた要因として、水質、底質、濁度の面から UAV グリーンレーザの特性について検証した。これらの影響を調べるために土砂処分場にある陸地の部分に水質、底質、濁度の条件を変えた試験プールを設置し、測深能力への影響を考察した。ここで、試験プールには現地の海水を使用し、試験プールの水深はすべて 30cm 以上 40cm 未満とした。試験プールの概要と条件ごとの水底点密度の測定結果は表 3-1 に示しており、図-3.5 は上図が濁度 5.2NTU、下図が濁度 19.6NTU の場合の点群取得結果を示している。これらの結果から、底質の違いにより水底の点密度の違いは見られなかったため、底質による影響は小さいと考えられる。それに対して、堆肥の投入と濁度の増加に伴い、水底の点密度の減少していることが確認できる。この要因としては、堆肥に含まれるフミン酸によってレーザが吸収されること

表-3.1 試験プールの概要

底質,水質	濁度(NTU)	水底点密度(点/m <sup>2</sup> )
砂(茶)	5.6	37.3
泥質土(黒)	5.3	42.7
泥質土(黒),堆肥	5.2	13.3
泥質土(黒),堆肥	19.6	1.3

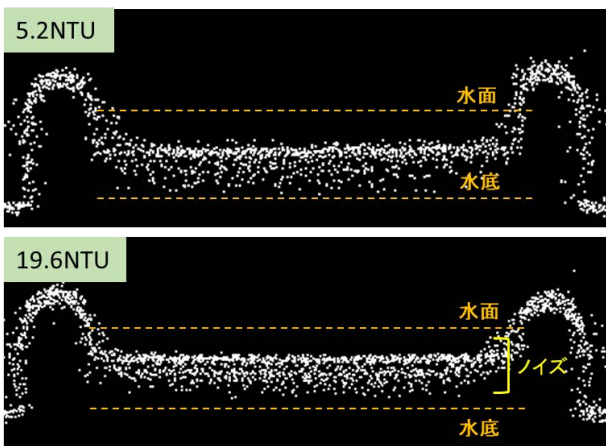


図-3.5 試験プール点群取得結果例

と、濁った水部では浮遊物質の層にレーザが散乱されることが考えられる。以上のことから、土砂処分場の計測においては、底質による影響は受けない一方で、水質によるグリーンレーザの吸収と強い濁度による浮遊物質の影響を受けることが明らかになった。

### 3.4 対地高度による測深能力の比較

図-3.5 に現地処分場と試験プールの計測結果を対地高度別に示す。高度 30m を青色、60m を緑色、90m を赤色で表示している。図より、対地高度が高いほど深い箇所の点群を取得できていることが確認できる。対地高度が低いほど陸部・水部に照射するレーザの強度が増加するが、強度は処分場での計測において測深能力に影響しないことがわかった。対地高度により測深能力が向上する要因として、グリーンレーザのビームスポット径が影響していると考えられる。図-3.6 のように、グリーンレーザは拡がりながら進行し、対地高度の高度化に伴い陸部・水部に届くビーム径も増大する。このとき、ビーム発散角は 1.5mrad に固定していた。表-3.2 に本計測のビームスポット径の大きさを示すが、対地高度 30m と 90m ではビームスポット径に 90mm の差が生じていることが分か

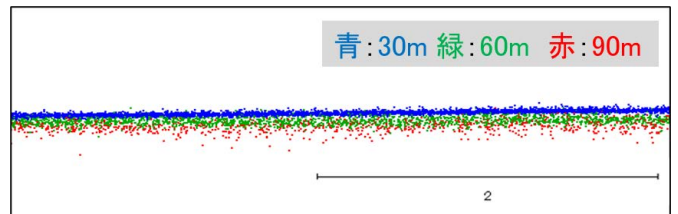


図-3.5 現地土砂処分場計測結果

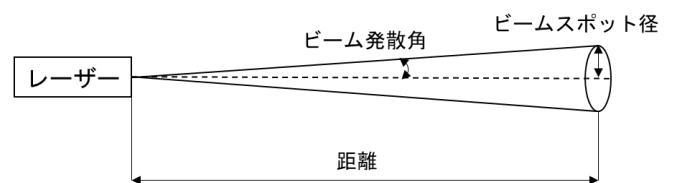


図-3.6 発散角とビームスポット径の関係

表 3-2 高度別ビームスポット径

対地高度[m]	ビームスポット径[mm]
30	45
60	90
90	135

る。そのため、高度化に伴い測深能力が向上したのは、ビームスポット径が大きくなることで、懸濁物質を通過するレーザの割合が増加するためだと考えられる。次節では、ビームスポット径の大きさの影響の検証として高度を固定し、ビーム発散角を変化させたものについて述べる。

### 3.5 ビーム発散角による測深能力の検証

対地高度による測深能力の比較からビーム発散角の拡大が有効と考えられるためビーム発散角を変化させて点群取得状況を検証した。図-3.7のビーム発散角毎の点群取得結果を見ると、ビーム発散角が1.0mradの場合は最大で水深0.3mの測深能力であるのに対し、ビーム発散角が2.0mradの場合は水深0.6m、ビーム発散角が4.0mradの場合は水深0.9mまで点群が取得できていることが分かる。このような結果が得られたのは、やはりビーム発散角の拡大によりビームスポット径が大きくなり、懸濁物質を通過するレーザの割合が増加することにより測深能力が向上するからだと考えられる。

## 4. 結論と今後の課題

本研究では、減容化施工を支援する効率的かつ効果的なモニタリング手法の確立を目的として、UAVグリーンレーザ計測技術を用いた調整点なしでの精度検証と浚渫土砂処分場の測量を行った。

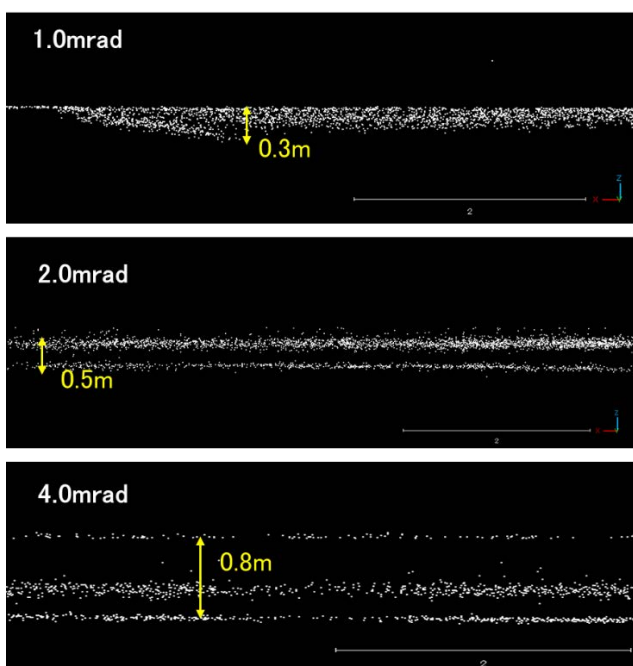


図-3.7 ビーム発散角毎の点群取得結果

調整点なしでの精度検証結果から、調整点の設置が困難な土砂処分場での計測において、すべての高度で標高方向±70mm以内の精度を満たすことが確認できた。このことから、調整点を用いずに、±10cmの精度が要求される減容化施工の起工測量への適用が可能であると考えられる。

パターン1の断面図から、水深40cm以深における欠測と水中の中間層でノイズが確認され、現地処分場の水底地形が取得できていなかった。試験プールによる検証の結果、水質によるグリーンレーザの吸収と濁度による水中のノイズの増加が水底地形を取得できない原因であると考えられた。一方で底質による影響は少ないことがわかった。

対地高度の高度化とビーム発散角の拡大により、測深能力が向上することがわかった。このことから、ビームスポット径を大きくする手法が土砂処分場の計測には効果的であることが明らかになった。

今後の課題はさらに具体的な計測条件を明らかにすることと、水中の精度を把握することが挙げられる。ビームスポット径を大きくするほど、スポット径の大きさに起因する誤差の影響が大きくなると考えられるためである。今後も減容化のモニタリング技術の確立に向けて検討を行っていく。

## 参考文献

- 1) 春日井康夫, 清野聡子, 森信哉, 井上絵里奈, 善功企, 高橋浩二: 浚渫土砂を利用した干潟・浅場等造成に関する考察, 沿岸域学会誌, Vol.26, No.1, pp.39-51.
- 2) 国土交通省: 国土交通省 大臣官房技術調査課: インフラ分野のデジタル・トランスフォーメーション(DX)施策, 2021.
- 3) 富井隆春: ドローン搭載型グリーンレーザーの活用, 別刷 計測と制御, Vol.60, No.10, 2021.
- 4) 国土交通省国土地理院: UAV 搭載型レーザスキャナを用いた公共測量マニュアル(案), 2020.