

UAV 搭載型グリーンレーザによる離岸堤の点検について

(株) ニュージェック ○ 阿部 廉太郎

論文要旨

離岸堤に対して、新技術(UAV に搭載したグリーンレーザ計測機器)を用いて陸上部・水中部の点検を実施し、従来技術である海上目視および潜水目視による点検との比較検討を行った。検討の結果、効率性、安全性、経済性の面で新技術が有利となることが明らかとなった。また、新技術の活用によって 100 点/m² 以上の点群が水中部を含め広範囲に取得可能であり、3次元の形状の把握によって詳細な点検が可能であることを示した。

キーワード：離岸堤，点検，UAV，グリーンレーザ測量

まえがき

離岸堤等の沖合施設は海象条件の影響を受けるほか、施設延長が長く施設の大部分が水中部に没しているため、陸上からの目視だけでは全体の把握が困難である。そのため、海上目視点検や潜水目視点検により変状の有無を把握する手法が一般的に用いられている。一方で、従来の手法では調査期間が長期になることや海中・海上作業に安全面のリスクがあることから、沖合施設の点検には多大な労力を要している。

そこで本研究では「海岸保全施設維持管理マニュアル(令和2年6月(令和5年3月一部変更))¹⁾」(以下、維持管理マニュアル)に記載のある新技術等による点検手法を参考に、離岸堤(図-1)の点検について適用可能な新技術を活用し、点検手法の評価を実施した。



図-1 離岸堤の鳥瞰写真

1. 離岸堤の点検項目および変状ランク

離岸堤の維持管理は維持管理マニュアルにより実施されている。表-1に離岸堤に対する評価項目および内容を示す。評価項目は、施設の防護機能の低下の要因となるブロックの移動・沈下・散乱及びブロックの破損が二次点検において「必ず実施する項目」として挙げられている。また、必要に応じて前面海底地盤の洗堀、基礎工の移動・沈下・散乱について調査を行う。

本研究で対象とした離岸堤では、基礎工は整備されていないため、堤体の移動・沈下・散乱、ブロック破損および前面海底地盤の洗堀の3項目について点検を実施した。

評価内容は堤体の変状、ブロックの損傷、前面海底地盤の洗堀の把握であり、確認される変状の程度によってa~dのランクで区分されている。

表-1 離岸堤に対する評価

変状現象		変状のランク(確認される変状の程度)			
		a	b	c	d
必ず実施する項目	堤体	堤体全体にわたって堤体断面がブロック1層分以上減少している。	堤体全体にわたって堤体断面が減少している(ブロック1層未満)	ブロックの一部が移動、散乱、沈下している。	わずかな変状がみられるか、変状なし。
	ブロック破損	破損ブロックが1/4以上ある。	破損ブロックは1/4未満である。	少数の破損ブロックがある。	小さなひび割れが発生しているか、ひび割れが発生していない。
必要に応じて実施する項目	前面海底地盤	広範囲で侵食があり、かつ捨石マウンドの法尻前面で深さ1m以上の洗堀がある。洗堀に伴うマウンド等への影響が見られる。	広範囲で侵食があり、かつ捨石マウンドの法尻前面で深さ0.5m以上1m未満の洗堀がある。	深さ0.5m未満の洗堀がある。	わずかな変状がみられるか、変状なし。
	(基礎工)	移動沈下散乱	流出又は破壊、欠損がある。	小規模な移動又は沈下がある。	-

2. 3次元点群データの計測方法

(1) 計測方法

本研究では従来の目視点検に代わり、UAVによる3次元点群測量により上記の点検項目を評価した。

UAVを活用した点群データの計測方法として、主に①写真を取得して画像を処理する方法、②レーザスキャナを搭載して点群を取得する方法の2種類がある。①の方法では、常に変化する波が画像処理に悪影響を及ぼし、②の方法では、水面下の堤体形状を把握することが困難であるという課題がある。そこで、水深数mまで計測が可能なグリーンレーザ

「TDOT3 GREEN」(図-2)を UAV に搭載し運用を試みた(以下、グリーンレーザ測量)。

一般的な UAV レーザ測量は、近赤外域のレーザを用いる。近赤外線レーザは安価で扱いやすい反面、水に吸収されやすく水面下の地形の取得が困難である。「TDOT3 GREEN」は緑色域の波長の短いレーザを照射するため、陸上と水中の地形測量が同時に可能となり、離岸堤の調査に適していると判断した。



図-2 グリーンレーザ計測機器 (TDOT3 GREEN)

(2) グリーンレーザの精度・要件

グリーンレーザを用いた測量は、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)²⁾」および「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)³⁾」を参考とした。消波ブロックの形状を適切に捉えるため、データ取得に係る要件を以下のように設定した。

要件①: 点密度は 100 点/m² 以上 (陸部のみ)

要件②: 水平方向の計測精度は 15cm 以内

要件③: 高さ方向の計測精度は 10cm 以内

以上の要件を満たす対地高度や飛行速度、飛行コース等を設定した(表-2, 図-3)。

表-2 飛行・計測諸元

項目	パラメータ設定値
対地高度	50m
飛行速度	3.0m/sec
コース間重複度	50%
パルスレート	60,000Hz/sec
レーザ走査角	視野角 90° (±45°)
スキャン回数	30 走査線/sec
ビーム径	3.0mrad

グリーンレーザ測量にあたり、計測精度を確保・検証する為、調整点および検証点である対空標識(図-4)を設置した。離岸堤周辺では対空標識の設置が困難であるため、海浜部まで計測範囲を拡張した。

調査時期は、比較的潮位の低い時間帯とし、気象条件や海

象条件を総合的に判断した上でグリーンレーザ測量を実施した(図-5)。

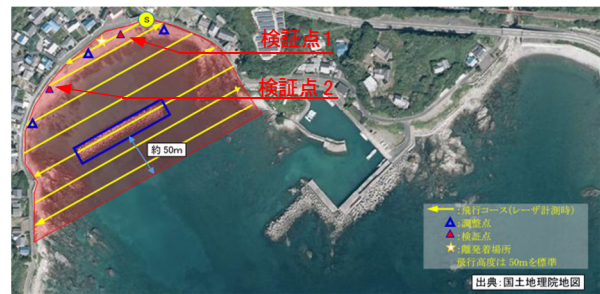


図-3 飛行コースの設定



図-4 対空標識

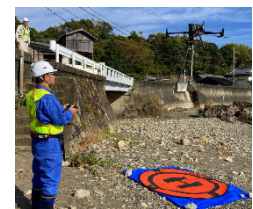
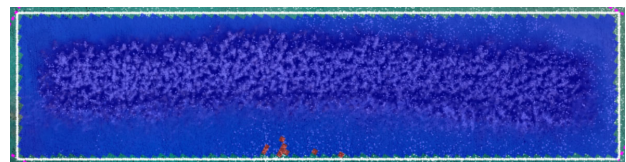


図-5 測量状況

(3) 3次元点群データの精度検証

取得データの点密度および計測精度の検証を実施した。

点密度は点群データを一定の格子間隔で区切り、ひとつの格子内に含まれる点の数により検証した。図-6に検証結果を示す。水深の深い箇所では 100 点未満の格子があるものの、離岸堤の陸部及び水深が浅いほとんどのエリアで要件①を満足した。



■ : 1.0m×1.0m の範囲に 100 点以上

■ : 1.0m×1.0m の範囲に 100 点未満

図-6 点密度の検証結果

計測精度は、検証点の計測座標と測量観測(標高は水準測量、水平方向はネットワーク型 RTK)の座標を比較することで検証した。表-3に検証結果を示す。比較の結果、要件②および要件③を満足した。

表-3 検証点の検証結果

検証点	較差 ΔH (m)	判定
1【水平方向】	0.040 < 0.150	OK
1【高さ方向】	0.019 < 0.100	OK
2【水平方向】	0.028 < 0.150	OK
2【高さ方向】	0.016 < 0.100	OK

3. 3次元点群データによる点検結果

(1) グリーンレーザによる取得データの取りまとめ

グリーンレーザ測量で取得した3次元点群データ(図-7)より、ノイズ等のエラー計測点や水面等の遮蔽物部分のデータを除去し、海底地盤の標高を示すグラウンドデータを作成し、3次元モデル(図-8)を構築した。

また、点群計測時に撮影したUAV写真データから、オルソ画像(図-9)を作成した。以上のデータを用いて、施設の評価を実施した。

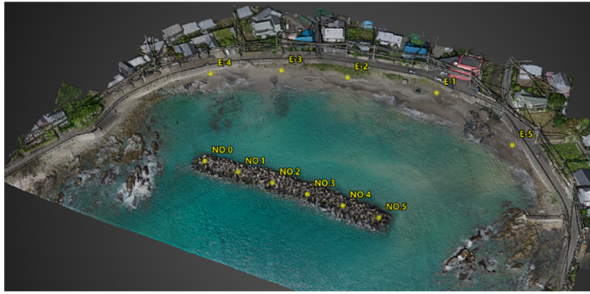


図-7 取得した3次元点群データ

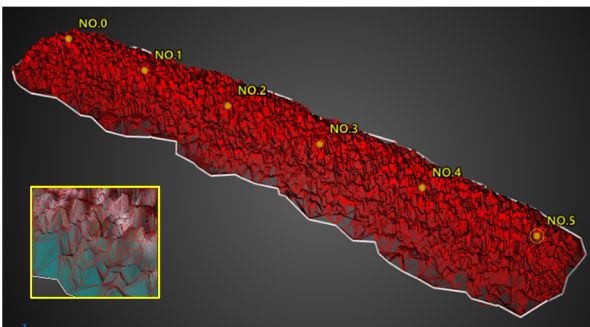


図-8 3次元モデル(TINデータ)



図-9 オルソ画像

(2) 堤体(ブロックの移動・沈下・散乱)の評価

ブロックの移動・沈下・散乱に対する調査は、3次元点群データ及び3次元モデルの断面形状から評価を実施した。点群からの計測断面は1mの幅を持たせて点群の上側を抽出する設定とした(図-10~図-12)。これは、消波ブロックの隙間などの局所的に低い点を抽出してしまい、沈下・散乱等の評価に誤認が生じることを防ぐためである。

断面図からは若干の移動が確認された。維持管理マニュアル上の評価基準である「ブロック層分以上減少しているか」、「ブロックが移動、散乱しているか」が判別可能である。

従来技術である「潜水士による潜水目視」、「消波ブロッ

ク上での水準測量」と比較して、潜水作業が不要でありブロック上への立ち入りを回避できることにより、現場作業の効率化及び安全性の向上が期待できる。

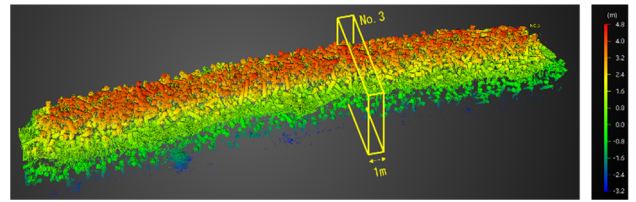


図-10 断面計測位置(No.3)

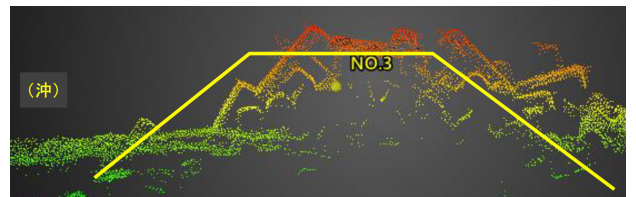


図-11 断面図(3次元点群データ)

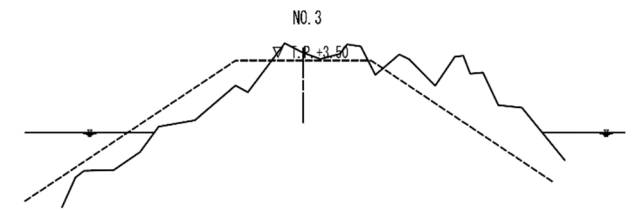


図-12 断面図(3次元モデル)

(3) 堤体(ブロック破損)の評価

ブロックの破損に対する調査は、空撮写真及び作成したオルソ画像から技術者の目視により評価を実施した(図-13)。オルソ画像からは堤体の一部破損が生じていることが判別できる。海中における破損を写真や点群から判別することは困難であるが、評価基準である「少数の破損ブロックがあるか」、「破損ブロックが1/4を超えているか」等を把握するには十分な計測精度であると考えられる。

グリーンレーザ測量は、従来技術である「船舶による海上目視」、「潜水士による水中目視」と比較して、現場作業が効率的であることに加え、オルソ画像は全体の形状が把握しやすいため、破損位置の抽出や整理作業を効率的に実施可能というメリットがある。



図-13 ブロックの破損

(4) 海底地盤(洗堀)の評価

海底地盤に対する調査は、3次元点群データ(グラウンドデータ)から評価を実施した(図-14)。視認性向上のため、海底面である標高-0.5m~-5.0mを着色した。

グラウンドデータから海底地盤の標高は、概ね-1.0mから-4.0mに収まっていることが確認できる。設計当初や過年度の測量結果と比較することで、評価基準である「深さ0.5m未満の洗堀」、「広範囲で侵食」等の判別が可能である。当該施設では、洗堀の傾向はないと評価した。

従来技術である、「潜水士による水中目視」、「深浅測量調査」と比較して、広範囲な領域で海底地盤を可視化することで、評価の効率化及び精度の向上が期待できる。

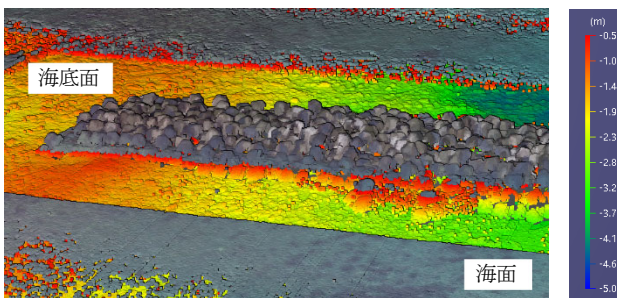


図-14 海底地盤の標高データ

4. 従来技術との比較検討

従来技術である「船舶による海上目視」、「潜水士による水中目視」と新技術である「グリーンレーザを搭載したUAVによる3次元点群測量」について取得データ、効率性、経済性、安全性について比較する。また、グリーンレーザ測量の運用における留意点についても整理する。

(1) 取得データ

従来技術の場合は、目視点検による変状の写真、簡易計測による計測値が取得可能である。それに対して新技術の場合は、水中部の点群データ、オルソ画像が取得できる。これらのデータは、ひび割れ幅等の計測は困難であるが、3次元の形状の把握によって、離岸堤の破損や沈下等の広域的な評価が可能である。なお3次元モデル(TINデータ)に関して、消波ブロックの隙間等細かな部分もモデル化されるため、ブロックの不足量の算出が容易となるモデル形状とはならなかった。構造物の種別に応じて、モデル化の設定等を勘案する必要がある。

(2) 効率性・経済性

効率性については施設数及び調査面積によって変動する。1施設(L=150m)のみの場合では、従来技術と新技術の双方で1日程度の作業時間となり効率性に大きな差は生じないが、広域の場合は、UAVによって現場作業時間を大幅に短縮することが可能となる。

経済性についても、機器が高額となるため、施設数が少ない場合は従来技術に経済性で劣る可能性がある。しかし広域の場合は、従来技術よりも効率よく安価に点検が可能である。

(3) 安全性

安全性については、従来技術の場合、船舶による離岸堤への接近や測量のための上陸が生じ、波浪の影響を受けるため安全面のリスクが高い。新技術はこれらの危険箇所への立ち入りを回避できることから、作業の安全性が高いといえる。

(4) 新技術の運用における留意点

グリーンレーザを運用する際の留意点について、以下に列挙する。

- ・計測水深は水の濁り、波浪の状態に依存。
- ・雨天及び風速5m/sec以上の場合、作業不可。
- ・ドローン飛行に関する法令の確認が必要。
- ・構造物の種別や点検の目的により、点群密度や計測精度などの要件の設定が必要。

あ と が き

本論文では、海上目視や潜水目視を主体として実施してきた離岸堤の点検について、3次元点群データを活用した点検方法を検討した。UAVに搭載したグリーンレーザ計測機器を活用することで、より広域な領域において効率かつ安全に点検を実施できることが明らかとなった。

今後の課題として、さらなる新技術の導入促進のため、環境負荷や働き手不足解消効果などを含めた総合的な導入価値について、VFM等の手法から定量的に示すことが求められる。

技術の側面からは、水の濁りや波浪等の測量への影響を最小限に抑えた、より安価なレーザ計測機器の開発が望まれる。また、AIによるひび割れの自動検出などの技術との同時運用についても、検証が必要である。

執筆に際して、和歌山県東牟婁振興局の野口様にご協力を賜りました。心から感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 海岸保全施設維持管理マニュアル改訂検討委員会：海岸保全施設維持管理マニュアル，農林水産省農村振興局防災課他，R.5.3.
- 2) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)，R.4.3.
- 3) 国土交通省：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) R.2.3.
- 4) 和歌山県東牟婁振興局：すさみ海岸外海岸整備(長寿命化計画更新)業務報告書 R.6.3.

※マニュアル類は当時の最新版である