

有脚式離岸堤周辺における試験モニタリング ～水中ドローンを用いた施設点検の検討等～

佐々木健一¹

¹静岡河川事務所 蒲原海岸出張所（〒421-3104 静岡市清水区由比北田450）

駿河湾湾奥に位置する蒲原海岸では、高波を低減し、堆砂効果を期待した有脚式離岸堤を設置している。今回、従来から実施していた潜水土による点検を、水中ドローン等を用いた施設点検等の検討を実施した。

キーワード：有脚式離岸堤、水中ドローン

1. はじめに

駿河湾は、最も深いところで水深2,500mにも達する日本有数の急峻な湾であり、その湾口は太平洋に向かって南側に位置しており、昔から台風などの高波浪が減衰せずに進入しやすいという特徴を有している。

そのため、過去には大きな被害を受けてきた。富士海岸（蒲原工区）は昭和41年9月の台風26号による大災害を契機に昭和42年より直轄に指定され、海岸保全施設整備事業が進められてきた。現在、当出張所は富士海岸（蒲原工区）の延長約4.3kmを担当している。

当初は海岸堤防の整備を主に進め、それ以降順次、消波堤、ブロック式離岸堤を整備し、平成に入り当時、全国でも珍しい有脚式離岸堤を設置した。

有脚式離岸堤は、設置後30年以上経過しているものもあり、施設管理がより一層重要となっている。

現在、施設点検として、潜水土による目視による点検を実施している。

また、有脚式の構造物の特性から脚部の鋼管杭周辺の局所的な洗掘が懸念されており、洗掘深についても潜水土による計測を毎年実施している。

これら点検・計測の水中ドローン等による活用可能性について検討した。

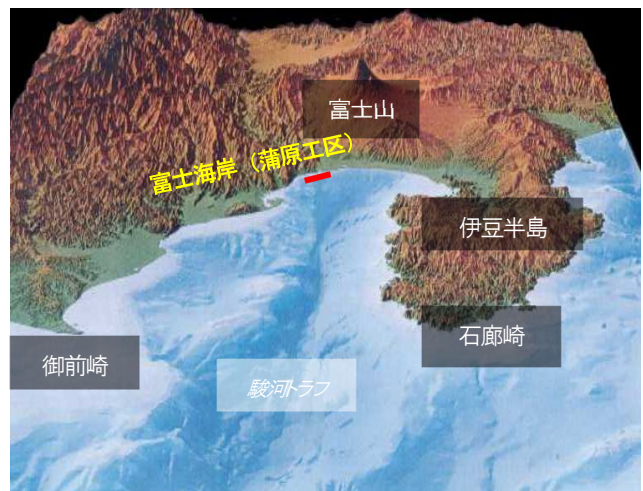


図-1 富士海岸（蒲原工区）位置図



図-2 富士海岸（蒲原工区）全体図

2. 水面・水中ドローン等の活用検討

(1) ラジコンボートおよびUAVによる3次元地形測量調査

有脚式離岸堤の施設点検手法の検討として、有脚式離岸堤(CALMOS1構造)を対象に、その周囲の海底～海底付近の構造物の状況を把握する(図-3)。調査はラジコンボートによるナローマルチビーム測量およびUAVによるグリーンレーザ測量を実施した。

1) 調査概要

図-3の調査範囲①においてラジコンボートによるNMB測量とUAVグリーンレーザ測量の成果を比較し、測深可能な水深の範囲を確認し、UAVグリーンレーザ測量の有脚式離岸周辺の洗掘進行状況を調査する手法としての有効性を検討する。また、有脚式離岸堤の天端高をUAVグリーンレーザ測量で計測し、維持管理で確認している有脚式離岸堤の変状調査の代替え調査手法となりうる可能性を検討する。

図-3の調査範囲②において船舶の侵入が難しく、適切な水深の把握が困難な消波堤～離岸堤間の地形変化実態を把握するための調査手法として、UAVグリーンレーザ測量の適用性を検討する。

調査範囲①での調査イメージを図-4に示す。(なお、調査範囲②でのイメージは図-4右側と同じ)

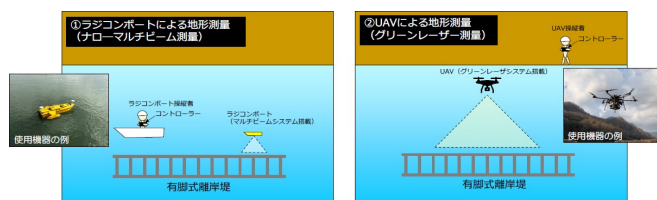


図-4 調査のイメージ図

調査期間は令和4年 6月16日(木) 8:00～15:00において実施した(図-5)。



図-3 有脚式離岸堤周辺の状況 空中写真出典：国土地理院タイル (<https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html>)

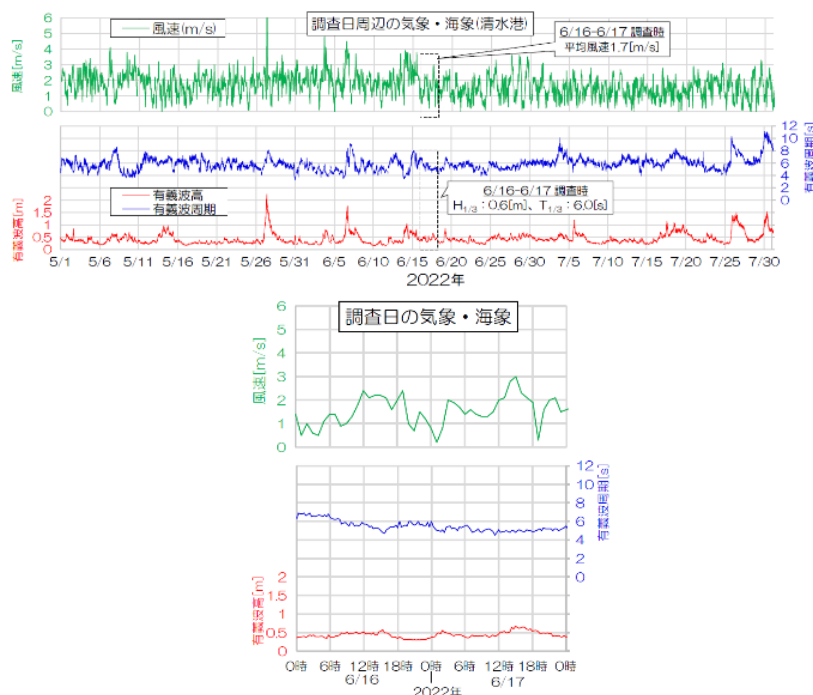
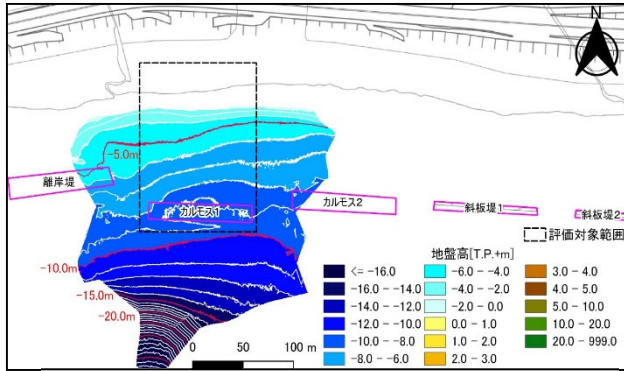


図-5 調査日の風浪・波浪条件

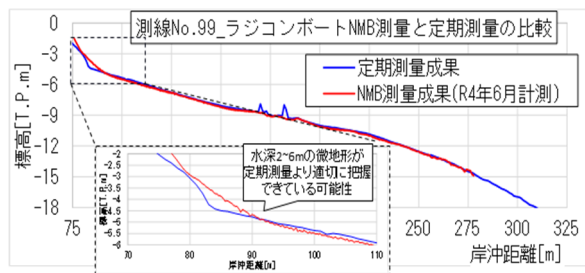
2) 調査結果と手法比較

調査範囲①のラジコンボートによるNMB測量結果を図－6に示す。NMB測量では水深-3m～水深-30mまでの地形が計測されていることが分かる。



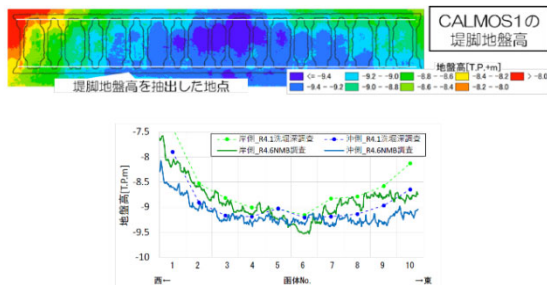
図－6 ラジコンボートによるNMB測量結果

調査範囲①のラジコンボートによるNMB測量と既往定期測量（令和4年1月船舶によるNMB測量）の比較を図－7示す。水深2～6mの微地形が深浅測量より適切に把握できている可能性が確認された。



図－7 ラジコンボートによるNMB測量と定期測量の比較

調査範囲①のラジコンボートによるNMB測量と既往施設点検（令和4年1月潜水士による点検）および既往定期測量（令和4年1月船舶によるNMB測量）との有脚式離岸堤における堤脚地盤高の比較を図－8示す。ラジコンボートによるNMB測量により、有脚式離岸堤の洗掘状況の確認に活用できることが分かった。



図－8 有脚式離岸堤の堤脚地盤高

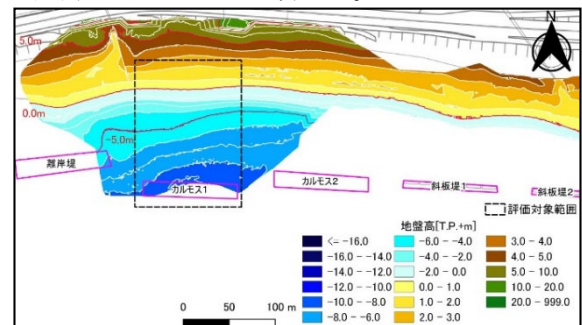
船舶によるNMB測量に対して調査範囲①のラジコンボートによるNMB測量の長所と短所をまとめると表－1のとおりである。

有脚式離岸堤の洗掘状況の確認や、施設端部などの船舶からはNMBが届かない地点の補充測量に使用可能であることを確認した。

表－1 ラジコンボートによるNMB測量の長所と短所

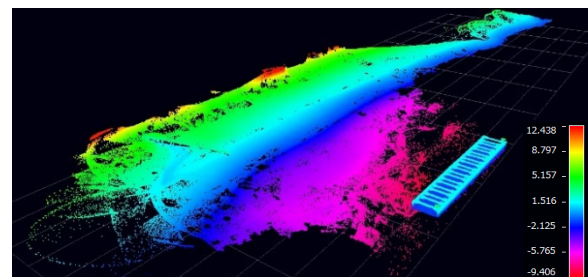
項目	説明（○は長所、×は短所を示す）
取得可能な範囲	○水深2m～20mであり、定期測量と同等である。
測量精度	○直近の定期測量と概ね同程度の地形が計測できている。
作業性	○小回りが利く。 ○ゴムボート等があれば、別途船のチャーターが不要である。 ×水温補正が必要なため、ゴムボート等を別途出す必要がある。 ×波高が大きい離岸堤の沖側や開口部等では、ゴムボート等での曳航が必要である。 ×ラジコンボートのバッテリーが海上で切れた場合、バッテリー交換が困難である。
コスト	△今回調査した範囲（150m×50m）では60万円程度である。

調査範囲①のUAVグリーンレーザ測量結果を図－9に示す。T.P. +10m～+9mまで、陸域・海域の地形がシームレスに計測できていることが分かる。

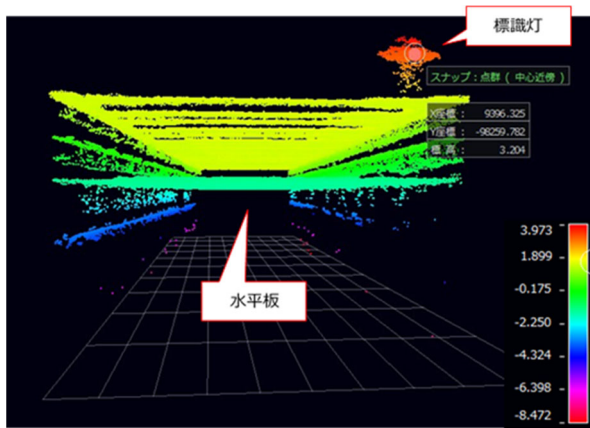


図－9 UAVグリーンレーザ測量結果

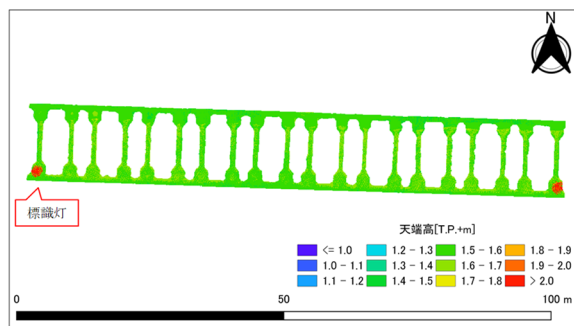
また、下記のとおり調査範囲①のUAVグリーンレーザ測量結果（図－10）から有脚式離岸堤の天端高や水平板の状況を確認することができた（図－11）。グリーンレーザの反射の仕方によって、取得できる値にムラはあるが、躯体ごとの施設のゆがみや不等に沈下している状況が把握可能であることを確認できた（図－12）。地震後の離岸堤の沈下状況などの確認に活用可能であると考えられる。



図－10 UAVグリーンレーザ測量結果（有脚式離岸堤背後を上空から）



図ー 1 1 UAVグリーンレーザ測量結果
(有脚式離岸堤を西から東へ)

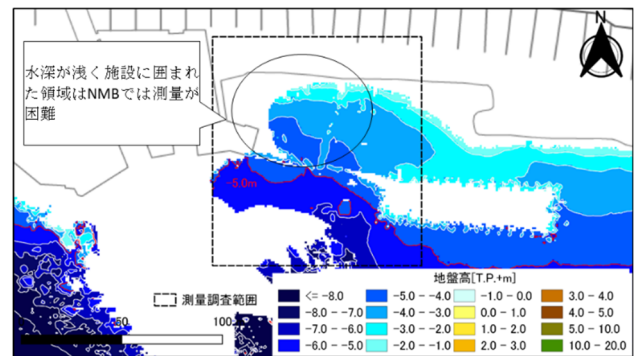


図ー 1 2 UAVグリーンレーザ測量結果
(有脚式離岸堤の天端高)

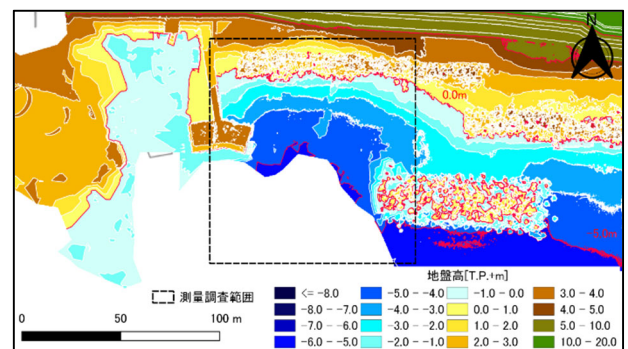
次に調査範囲②のUAVグリーンレーザ測量結果と同地点における既往定期測量（令和4年1月船舶によるNMB測量結果を下記に示す。

既往定期測量で丸枠囲い部分は、水深が浅く放水路前面の流れが急であるため船舶が進入することができず、船舶によるNMB測量（図ー 1 3）は困難であるが、UAVグリーンレーザ測量（図ー 1 4）は計測できていることが確認できる。

UAVグリーンレーザ測量は、水深が浅かったり、障害物があるような船で近づきにくい箇所の測量に適している。施設被害時等にも活用可能と考えられる。



図ー 1 3 既往定期測量

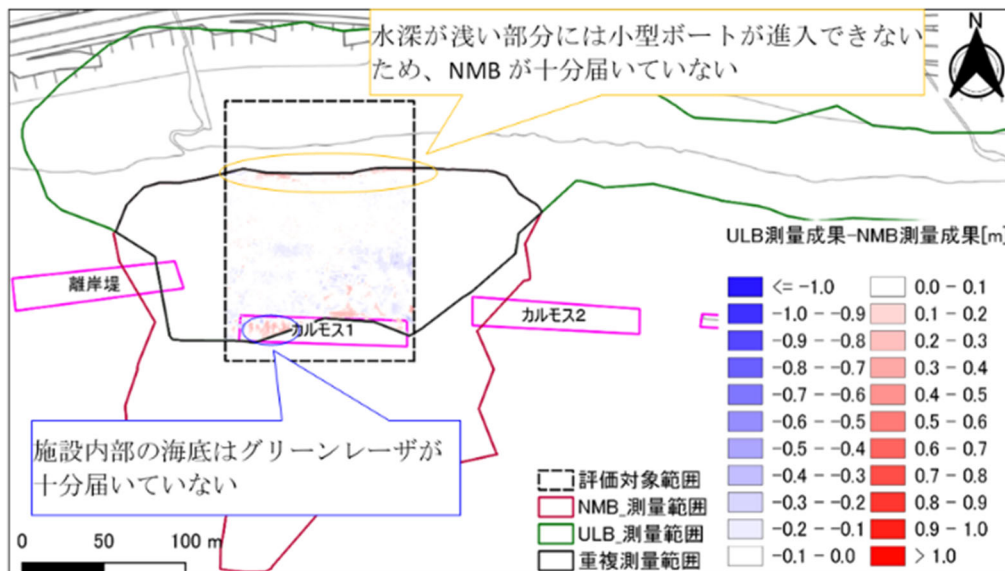


図ー 1 4 UAVグリーンレーザ測量結果

船舶によるNMB測量に対して調査範囲①のUAVによるグリーンレーザ測量の長所と短所をまとめると表ー 2のとおりである。コストに課題はあるものの、浅海部の地形把握等においては優位な方法であり、高波浪時の地形変化や施設被災時の洗堀状況把握等への活用が考えられる。

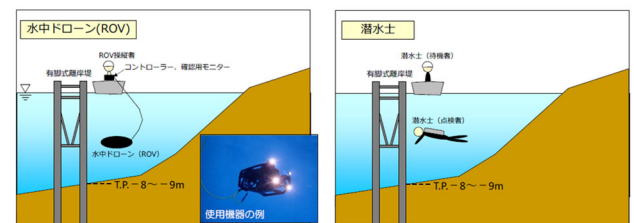
表ー 2 UAVグリーンレーザ測量の
長所と短所

項目	説明（○は長所、×は短所を示す）
取得可能な範囲	○陸上～水深 10m までの地形データがシームレスに計測可能である。 ○水深が浅く、定期測量では把握できていない、消波堤前面の浅海部の地形も把握可能である。 ×有脚式離岸堤の脚部の水深 7.5m は計測できていない。
測量精度	○直近の定期測量と比較すると概ね同程度の精度の地形が計測できていると考えられる。 ×流れが速い場所や濁りがある場所では、データの取得が難しい。 ×当日の濁りによって取得可能な水深範囲が異なる。
作業性	○陸上からのみの操作で計測が可能である。 ○今回の計測範囲の測量を 4 時間で完了しており、電池等の制約はあるものの効率的な調査も可能である。
コスト	×今回調査した範囲 30,200m ² (A:160m×120m、B:110m×100m) では 400 万円程度（間接費込み）である。 調査が従来の測量に比較して高額なことがネックとなる。
その他	×グリーンレーザを搭載した UAV は高額であるため、所有者に限りがある。



図ー1 5 グリーンレーザー測量とNMB測量
差分図 (グリーンレーザー-NMB)

調査範囲①においてラジコンボードによるNMB測量とUAVグリーンレーザ測量の成果を比較した差分図を図ー1 5に示す。評価対象範囲（黒点線）内において、NMB測量とグリーンレーザ測量の測量手法の違いによる差分は±0.2m程度であった。図ー1 5の青囲いに示した有脚式離岸堤の内部は天端や水平板にグリーンレーザが遮られ、十分に点群データを取得できていないためNMB測量との違いが大きいと考えられる。また、図ー1 5の橙囲いに示した陸側の端部は水深が浅くラジコンボートが隣接できていないため、NMBを密に照射することが困難であり、違いが大きいと考察できる。



図ー1 6 調査イメージ

2) 調査結果と手法比較

調査範囲①での水中ドローンによる点検ビデオの切り抜きを示す(図ー1 7)。潜水土による撮影と遜色ないのであった。

(2) 水中ドローンおよび潜水土による施設点検調査

1) 調査概要

有脚式離岸堤の施設点検手法の検討として、前述の調査範囲①において水中ドローンによる動画撮影および施設点検を実施する。調査に際しては、安全管理と通常の施設点検手法との比較のため、潜水土による目視観察および施設点検を併せて実施する。

調査期間は令和4年 6月17日(金) 8:30~13:00において実施した。

調査範囲①での水中ドローンおよび潜水土による調査イメージを図ー1 6に示す。



図ー1 7 鋼管杭点検の様子

調査範囲①における水中ドローンと潜水土による点検項目と結果および作業時間を表－3に示す。なお、作業時間のみ水中ドローンに関しての記述であり、他は水中ドローン、潜水土とも同じ結果であった。

表－3 点検項目と結果および作業時間

部材	点検項目	評価指標	作業時間	変状ランク			
				函体3 (岸側)		函体8 (岸側)	
				今回調査 (R4)	既往調査 (R2)	今回調査 (R4)	既往調査 (R2)
コンクリート上部工 (水中)	コンクリートの劣化・損傷	・欠損 ・ひび割れ	15[分/函体] ※1基10函体で構成	異常なし (d)		異常なし (d)	
鋼管杭	鋼管杭の劣化・損傷 洗掘の発生	・腐食穴やひび割れ、小規模な欠損 ・表面の錆	10[分/本] ※1函体4本で構成	予防保全段階 (b)		予防保全段階 (b)	
鋼製ジャケット	鋼製ジャケットの劣化・損傷	・腐食穴やひび割れ ・小規模な欠損 ・表面の錆	10[分/函体]	異常なし (d)		異常なし (d)	
隅柱	隅柱の現存状況の確認	・隅柱の欠落、全消耗 ・隅柱取付に不具合	10[分/函体]	異常なし (d)		異常なし (d)	

表－4 水中ドローン調査と潜水土調査の比較

項目	説明 (○は潜水土と比べた長所、△は同等、×は短所を示す。)
調査可能な項目	△錆の有無や外観調査は可能である。 ×表面の海生生物を除去できないため、細かいひび割れ等は点検不可能である。
調査可能な範囲	○水深が深い箇所の調査でも、潜水時間の制限なく調査が可能である。 ×調査中は船舶を係留する必要があるため、波が高い場合に施設沖側は調査不可能である。
作業性	×限られた視野の中で、計器類を頼りとした計器航行をしつつ機体を制御する必要がある。 ×アンビリカルケーブルで有線接続されているため、ケーブルが絡まないよう、構造物への出入りは正確に進入ルートを辿るような操作が必要であり、航行ルートに制限がある。
作業時間	×1函体2時間程度時間がかかるため、1基 (10函体) の調査に2～3日を要する。(潜水土の場合は、1基/日程度)
必要人数	△調査には最低3人 (オペレーター1人、支援員2人) が必要である。
コスト	×作業時間が潜水土の数倍かかること、ROV機材損料が発生することから、潜水調査に比べてコスト大である。
その他	○台風や津波等で被災した崩壊の恐れのある施設の状況等についても、安全に点検作業を行うことができる。 ○潜水土の資格を持たなくとも、船上でモニターを見ながら、海中部の施設点検が可能である。 ○潜水観察は属人的な作業となるが、動画を撮影できるため、不確実な部分は複数人で確認することが可能である。 ×現時点では位置情報が水中では把握できないため、自動航行や画像データからの3Dモデル化は困難である。 ○現在、ケーブルの無線化や音響測位技術開発が進められており、今後の活用場が広がることに期待ができる。

3. まとめ

水中ドローンを用いた有脚式離岸堤周辺の点検調査について、潜水土観察との比較結果を表－4に示す。作業性や作業時間が潜水土に劣るため定期点検には不向きだが、被災施設の点検調査に活用可能である。

ラジコンボートによるNMB測量、UAVによるグリーンレーザー測量、水中ドローンによる点検・計測の活用場面、課題及び今後の活用予定を表－5に示す。

表－5 各モニタリング手法の活用場面、課題、今後の活用 (案) 整理結果

モニタリング手法	地形モニタリング			施設点検	活用場面	課題	今後の活用 (案)
	汀線	水深10m未満	水深10m以上				
ラジコンボート (NMB測量)	×	△	△ Or ×	-	・有脚式離岸堤の洗掘状況の確認 ・施設端部などの船舶からはレーザが届かない地点の補充測量	・波が高い海域での測定が困難である。 ・ゴムボート等による補助が必要である。 ・波が高い場所 (施設の直近や沖側) では自律走行による計測が難しい。(ゴムボート等による曳航すると計測可能)	[船舶立ち入り困難な海域]での活用
UAVグリーンレーザー測量	○	△	×		・水深が浅いため、船舶が進入することができず測量できない地点の測量	・測量当日の海の濁りや流れの状況によって、計測可能な水深が変わる。 ・コストが高い。 ・対応可能な業者に限りがあある。	[船舶立ち入り困難な海域]での活用
水中ドローン	-	-	-	△	・被災時の有脚式離岸堤の施設点検	・潜水土による目視観察と比較して、準備や点検調査に時間がかかるため、効率性では劣る。 ・アンビリカルケーブルで有線接続されているため、構造物への出入りルートに制限がある。	[安全性が懸念される海域][水深が深い海域]での活用

○：適用可能、△：適用可能であるが留意点あり、×：適用不可、-：対象外

参考文献

- 令和4年度駿河蒲原海岸津波対策検討業務報告書
- 国土交通省中部地方整備局静岡河川事務所：第14回駿河海岸保全検討委員会、
https://www.cbr.mlit.go.jp/shizukawa/coast/committee/pdf/hozen/14_s2.pdf