

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1325

June 2016

マルチコプターを利用した港湾施設・海岸保全施設の
点検に関する検討

野上 周嗣
山本 幸治
加藤 絵万
田中 豊

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, Japan

目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 検討の方針	5
3. 目視点検におけるマルチコプター適用の留意点	5
4. マルチコプターによる点検の実施に関する検討	5
4.1 検討の概要	5
4.2 港湾施設の撮影結果と考察	6
4.3 海岸保全施設の撮影結果と考察	10
4.4 目視点検の効率化に向けた提案	13
5. まとめ	13
6. あとがき	14
謝辞	14
参考文献	14
付 録	14

A Basic Study for Application of Multicopter in Visual Inspection of Port and Shore Protection Facilities

Shuji NOGAMI*

Koji YAMAMOTO*

Ema KATO**

Yutaka TANAKA*

Synopsis

The structures of port and shore protection facilities need to be well-maintained to ensure the required level of performance throughout their service lives. For this purpose, appropriate periodic inspection plays a crucial role in the series of maintenance tasks. In recent years, multicopters equipped with a GPS receiver and camera have been applied in the visual inspection of social infrastructures in many different fields. In the field of port and coastal facilities inspection, however, there are only a few examples of multicopter inspections to date. To achieve more effective maintenance of port and shore protection facilities, it is necessary to discuss how to apply multicopters to facilities inspections.

The authors discussed the possibility of multicopter-aided visual inspection of port and shore protection facilities from different perspectives. One result of field surveys was that with a multicopter it was possible to acquire photographic images of deformation and deterioration for evaluation of the degree of deterioration of each structure. Moreover, the parts that were deteriorated and required additional inspection could be easily identified in the photographic images. However, it was necessary to apply certain procedures facilitating identification of the position of the deterioration and measurement of the widths of concrete cracks.

In conclusion, applying multicopters for the visual inspection of port and shore protection facilities holds important potential to enhance the efficiency and safety of inspections.

Key Words: multicopter, drone, port facilities, shore protection facilities, efficiency improvement of visual inspection

* Researcher, Structural Mechanics Group, Structural Engineering Department

** Head, Structural Mechanics Group, Structural Engineering Department

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5059 Fax : +81-46-844-0255 e-mail:nogami-s852a@pari.go.jp

マルチコプターを利用した港湾施設・海岸保全施設の 点検に関する検討

野上 周嗣*・山本 幸治*・加藤 絵万**・田中 豊*

要 旨

港湾施設および海岸保全施設の安定的な機能維持には適切な維持管理が不可欠であり、定期的かつ適切な施設点検の実施がその根幹を担っている。しかし、点検の実施による施設利用への影響、著しい変状や被災施設での点検者の安全確保など多くの課題があるため、効率的そしてより安全な点検方法が必要とされている。

近年、点検が困難な施設や災害箇所などで GPS やカメラを搭載したマルチコプターが利用されているが、港湾および海岸分野での利用実績は少なく、利用方法に関する検討は十分には行われていない。そこで、本検討では、港湾施設および海岸保全施設の目視点検におけるマルチコプターの利用方法を提案するため、マルチコプターの利用の利点および課題を明らかにすることとした。

本検討で使用したマルチコプターで港湾施設および海岸保全施設を撮影した結果、施設や部材に発生した段差やずれ、ひび割れの有無など、変状の有無を確認できた。また、著しく劣化した施設の状況を安全に確認できた。しかしながら、栈橋上部工の下面側の確認やコンクリートのひび割れ幅の推定はできなかった。このことから、撮影が可能となる部材の位置および変状の数値的な評価に課題はあるが、詳細点検を実施すべき部材や箇所の選定、著しい変状や被災した施設など点検者の安全を十分に確保できない可能性がある施設の点検などにマルチコプターを利用することが効果的と考えられる。

港湾施設および海岸保全施設の目視点検にマルチコプターを利用することで、広範囲を短時間で俯瞰的に施設を確認することができ、点検中の施設の利用に与える影響の軽減や点検者の安全確保が可能になることから、効率的かつより安全な点検診断の実施につながるものと考えられる。

キーワード：マルチコプター、ドローン、港湾施設、海岸保全施設、目視点検

* 構造研究領域 構造研究グループ 研究官

** 構造研究領域 構造研究グループ長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5059 Fax：046-844-0255 e-mail:nogami-s852a@pari.go.jp

1. まえがき

港湾・海岸区域には、岸壁や防波堤など数百 m～数 km の延長を有する施設や、荷捌き地や砂浜など広大な面積を有する施設が複合的に存在している。これら施設の多くは 1960 年代中盤に整備されており、2030 年には港湾施設の係留施設で 58%¹⁾、海岸保全施設の堤防・護岸等で約 7 割²⁾が建設後 50 年を経過する状況となっている。今後、施設の機能を安定的に維持していくためには適切な維持管理が不可欠であり、定期的かつ適切な施設点検の実施がその根幹を担っている。そのため港湾施設については、港湾法において「技術基準対象施設の維持は、定期的に点検を行うことその他の国土交通省令で定める方法により行わなければならない。」(港湾法 第五十六条の二の二 2) と規定されている。また、海岸保全施設については、海岸法施行規則において「海岸保全施設の構造等を勘案して、海岸保全施設の定期及び臨時の点検を行うこと。」(海岸法施行規則 第五条の八 三)と規定されている。

港湾施設および海岸保全施設の点検において、劣化・変状の有無を確認する最初の方法は目視による点検である。目視による点検が実施されるのは、港湾施設の場合は日常点検や一般定期点検診断、一般臨時点検診断であり、海岸保全施設の場合は巡視(パトロール)や一次点検、異常時点検である。港湾施設の一般定期点検診断は、構造物の部材ごとに、陸上もしくは海上から目視により劣化・変状を把握し、適切な基準により劣化度を判定することが標準とされている³⁾⁴⁾。また、海岸保全施設の一次点検は、応急措置等の必要性の判断や二次点検で実施すべき場所の選別を主に陸上からの目視によって実施することとなっている²⁾。さらに、台風や津波などの荒天・災害発生後に実施する港湾施設の一般臨時点検診断や海岸保全施設の異常時点検は、目視によって変状の有無の確認を行う場合が多い³⁾。

利用中の施設では、点検者および施設利用者の双方に影響をきたすため、施設利用の一部もしくは全てを制限して点検する場合がある。利用制限は施設利用者に影響をきたすため、事前に管理者や施設利用者との調整が必要となる。また、著しい劣化・変状や被災した施設などでは、点検者の安全が十分に確保できない場合がある。さらに、技術者不足や厳しい財政状況といった社会的要素も含め、点検の実施には多くの課題があり、効率的そしてより安全な点検方法が必要とされている。

近年、様々な分野において GPS やカメラを搭載したマルチコプターが利用されている。マルチコプターは、遠隔操縦によって飛行可能な無人航空機(Unmanned Air Vehicle , UAV)の 1 つであり、3 つ以上のローターを搭載した回転翼

機のことである。なお、ドローンはマルチコプターだけでなく、無人潜水艦 (Unmanned underwater vehicle, UUV) や無人地上車両 (Unmanned ground vehicle, UGV)、無人水上艦 (Unmanned surface vehicle, USV) など、遠隔操縦または自律で移動する機器全般を指す場合が多い(図-1.1)。しかし、今ではマルチコプターをドローンと呼称することが一般的となっている⁵⁾。近年、センサやカメラを搭載したマルチコプターが多く開発されており、物流や建設分野など様々な分野において利用検討や運用⁶⁾が始まっている。

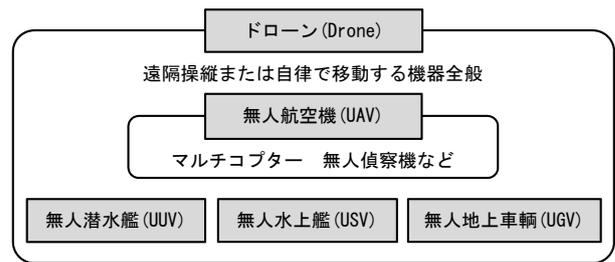


図-1.1 ドローンの分類

マルチコプターの特徴として、機動性が高いこと、上空から施設を俯瞰的に確認できること、そして人が近づけない場所においても足場や船舶などを使用せず画像等のデータを取得できることが挙げられる。例えば、建設分野では、カメラおよび GPS を搭載したマルチコプターを利用して、自然災害現場などの危険箇所⁷⁾、河川や橋梁等の点検困難な場所での点検⁸⁾、3次元測量などが行われている。

マルチコプターはその特徴から、広範囲を短時間で移動でき、俯瞰的に施設を確認することが可能である。港湾および海岸分野においてもマルチコプターを利用することで、広範囲を短時間で点検できる可能性があるため、点検の実施による施設の利用に与える影響を軽減できることが期待される。

また、著しい変状が生じたために点検者の安全を十分に確保できない可能性がある施設や、地震・台風等により被災した施設、人の接近が困難な施設や部材を点検する場合など、マルチコプターを利用することでより安全に点検を実施することが可能となると考えられる。しかし、現状では、港湾および海岸分野での利用実績は少なく、また利用方法に関する検討は十分には行われていない。そこで、本検討では、港湾施設および海岸保全施設の目視点検におけるマルチコプターの利用方法を提案するため、マルチコプターの利用の利点や課題を明らかにすることとした。

2. 検討の方針

現在、様々な機能を有するマルチコプターが存在する。マルチコプターを施設の目視点検に適用するには、要求される点検精度に加えて、点検時の安全の確保が重要である。そこで、港湾施設および海岸保全施設の目視点検へのマルチコプターの適用時の留意点についてとりまとめた(3章)。

また、マルチコプターにより港湾施設および海岸保全施設を撮影し、撮影された画像が「港湾の施設の点検診断ガイドライン」³⁾⁴⁾(以下、港湾ガイドライン)および「海岸保全施設維持管理マニュアル」²⁾(以下、海岸マニュアル)の内、港湾施設は日常点検および一般定期点検診断、海岸保全施設は巡視(パトロール)および一次点検での目視点検に適用できるかについて確認した。この結果から、施設の目視点検におけるマルチコプターの利用の利点および課題を抽出した(4章)。

3. 目視点検におけるマルチコプター適用の留意点

前述のとおり、マルチコプターを利用した点検では、短時間で俯瞰的に施設を確認できる、点検中の施設の利用に与える影響の軽減や点検者の安全確保などの利点を有する。しかし、マルチコプターによる目視点検を現地踏査などによる通常の見視点検の代替として利用することが難しい場合もある。例えば、港湾ガイドラインおよび海岸マニュアルに記載されている目視点検の項目に、一定幅以上のひび割れの有無の確認がある。ひび割れ幅の測定にマルチコプターを適用する場合、ひび割れ幅を特定するための画像解析が必要となる。つまり、通常の見視点検で実施されるクラックゲージ等を用いたひび割れ幅の測定よりも、点検時間や特定の技術を要することとなる。このため、マルチコプターは施設や部材に発生した劣化・変状の詳細な点検に利用するのではなく、施設や部材を俯瞰的に捉え、詳細点検を実施すべき部材や箇所を選定するために利用することが効果的と考えられる。つまり、点検項目によってはマルチコプターの利用が適さない場合があることに、留意する必要がある。

また、点検の実施にあたっては、施設を撮影するためのデジタルカメラ、揺れなどを制御し安定した映像を得るためのジンバルなど、点検の目的に応じた撮影機材を使用する必要がある。使用する撮影機材の大きさや重量は、マルチコプターの安定性や積載量(ペイロード)、稼働時間などに大きく影響する。最近では小型で高解像度の撮影機材が多く存在するため、微細な変状・劣化を捉えることが可能であるが、点検の目的によっては必ずしも高解像度で撮影

する必要がない場合もある。

なお、マルチコプターは、機体の誤操作や天候の変化等によって、墜落や施設への衝突など重大な事故を発生させる危険性がある。マルチコプターを施設の目視点検に適用する場合は、マルチコプターの操作性や周辺の安全確保などの配慮が必要であることは言うまでもない。

4. マルチコプターによる点検の実施に関する検討

4.1 検討の概要

(1) 検討の目的

港湾施設および海岸保全施設の目視点検におけるマルチコプターの利用の利点および課題を明らかにして利用方法を提案するため、港湾施設9箇所、海岸保全施設1箇所について、マルチコプターによる施設の撮影を行った。撮影した画像を用いて、港湾ガイドラインの日常点検および一般定期点検診断、海岸マニュアルの巡視(パトロール)および一次点検での劣化度の判定が可能か確認した。

なお、撮影は事前に施設所有者および施設管理者等と調整し、許可を得て実施している。実施時期は、2015年4月～12月(改正航空法施行前)である。いずれの撮影日も雨および風は無く、撮影および操作の支障となる天候ではなかった。

また、本章で記載している高度は離陸箇所を0mとしたものであり、実際の標高とは異なる。

(2) 使用機器

表-4.1 および写真-4.1 に使用したマルチコプターの主な仕様と構成を示す。

使用した機体は、GPSをはじめ各種センサを使って機体を安定させる機能、および通信に不具合が生じた際には離陸地点に自動で帰還する機能を有しており、操作性および安全性に配慮されている。カメラはジンバル搭載の4Kカメラが機体下部に設置されており、機体正面から機体直下まで詳細な画像を安定的に撮影することが可能である。最大稼働時間は約23分であり、撮影実施時点で存在するマルチコプターの中では比較的長い。

得られるデータは、静止画、動画、GPSによる飛行ログデータである。静止画には撮影位置のGPSデータ(緯度、経度、高度)が付与される。また、動画はGPSデータが付与されないが、連続撮影に適している。港湾施設や海岸保全施設は同一形状の構造物が連続するケースが多く、動画では撮影位置の特定が困難な場合もあったため、静止画を中心とした撮影を行った。

表-4.1 使用したマルチコプターの主な仕様と構成

メーカー	DJI
製品名	Phantom3 Professional
対角線寸法	590mm(プロペラ含む)
重量	約 1.3kg
最大飛行速度	16m/s(約 58km/h)
最大稼働時間	約 23 分
カメラ ジンバル搭載 4K カメラ (動画・静止画)	センサ：1240 万画素 レンズ：FOV 94° 20 mm (35mm フォーマット同等) f/2.8, ∞ フォーカス 最大イメージサイズ：4000× 3000
位置測位	GPS/GLONASS(単独測位)
操作タブレット	iOS 系もしくは android 系 OS 対応 タブレット



写真-4.1 使用したマルチコプター

4.2 港湾施設の撮影結果と考察

各港湾施設の撮影結果と考察を以下に示す。なお、表-4.2～表-4.16 は付録 1、写真-4.2～写真-4.20 のカラー画像は付録 2 に掲載した。

(1) 水域施設

写真-4.2 および写真-4.3 は航路および泊地を撮影したものである。

港湾ガイドラインにおける水域施設の日常点検および一般定期点検診断の実施内容の 1 つとして、目視により船舶の航行および停泊に直接的に影響を及ぼす浮遊障害物の有無の確認を行うこととなっている。また、水域施設の点検診断の項目の判定基準は表-4.2⁴⁾となっている。

マルチコプターを利用することで広範囲の浮遊障害物の分布状況の確認を行えることから、港湾ガイドラインに基づく水域施設の点検診断は可能である。水域施設が陸域から離れている場合は、船舶にて点検対象施設へ移動し、船舶上からマルチコプターの離着陸を行うことで点検診断が可能になる。また、浮遊障害物を発見した場合は、マルチコプターの撮影位置情報を回収作業する船舶へ伝達することで、効率的な回収作業の実施が可能になると考えられる。



写真-4.2 航路(高度約 130m)



写真-4.3 泊地(高度約 60m)

(2) 外郭施設

① 防波堤の移動・沈下

写真-4.4 および写真-4.5 は防波堤を撮影したものである。いずれの画像とも、隣接する防波堤とのずれを確認できた。また、写真-4.4 からはケーソンの段差の有無も確認できた。

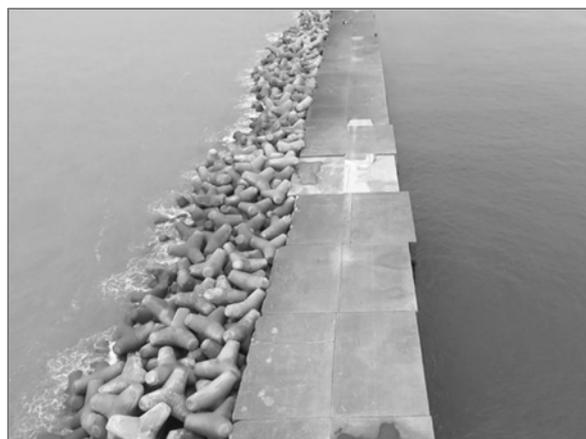


写真-4.4 防波堤のずれ(高度約 30m)

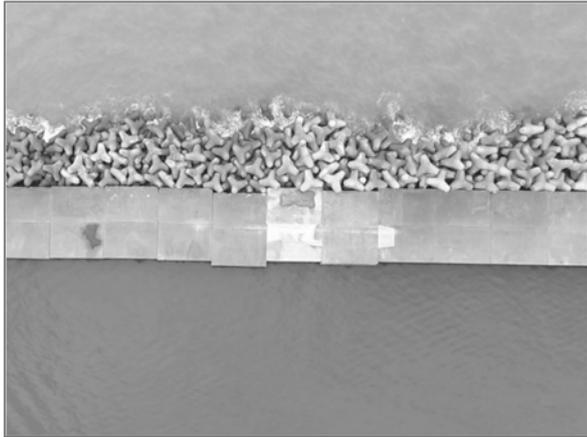


写真-4.5 防波堤のずれ(高度約 60m)

港湾ガイドラインにおける防波堤の移動・沈下に関する点検項目と劣化度の判定基準は表-4.3⁴⁾となっている。防波堤の幅など既知の寸法との対比からおおよそのずれもしくは段差を推定できるため、劣化度の判定は可能である。

② ケーソンおよび上部工

写真-4.6は防波堤のケーソンおよび上部工に生じた欠損、写真-4.7は防波堤の上部工に発生したひび割れを撮影したものである。港湾ガイドラインにおけるケーソンおよび上部工の点検項目と劣化度の判定基準は表-4.4⁴⁾および表-4.5⁴⁾となっている。従来では、現地踏査によりひび割れを確認・記録する方法が一般的であるが、マルチコプターを利用して真上から施設を撮影することで、延長の長い防波堤の上部工の状況を短時間で確認できた。

上部工の判定基準のうちひび割れ幅によるものについては、画像からひび割れ幅を推定できなかったが、ひび割れの有無を確認できた。また、ケーソンおよび上部工の欠損は、消波工で覆われていない水面上の部分について確認できた。



写真-4.6 上部工の欠損(高度約 10m)

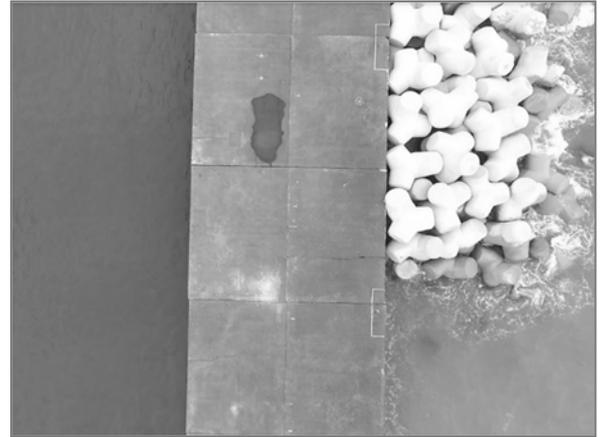


写真-4.7 上部工のひび割れ(高度約 50m)

写真-4.8は護岸の波返しを海側から撮影したものである。写真-4.8を拡大したところ、ひび割れの発生を確認できた。波返しの海側部分など海側からのみ目視が可能部位についても、マルチコプターの利用が有効と考えられる。



写真-4.8 上部工(波返し)(高度約 5m)

③ 消波工

写真-4.9は写真-4.6と同位置を若干遠方から撮影したものである。港湾ガイドラインにおける防波堤ケーソンおよび上部工の点検項目と劣化度の判定基準は表-4.6⁴⁾となっている。撮影時に波浪によってマルチコプターが飛沫を浴びる恐れがあったため、写真-4.9は消波工に対して上空から斜め方向に撮影したが、劣化度判定に資する画像を撮影できた。ただし、消波工の正面から撮影した方が、消波工断面の減少を確認しやすいと考えられる。

写真-4.10は、荒天により消波工が崩れた防波堤を撮影したものである。画像から、被災箇所の範囲や被災の程度を確認できた。



写真-4.9 消波工の一部移動(高度約 11m)



写真-4.11 栈橋の岸壁法線(高度約 16m)



写真-4.10 荒天で被災した防波堤(高度約 90m)

④ 外郭施設のまとめ

本検討で使用したマルチコプターでは、コンクリートのひび割れ幅を推定できなかったが、その他の一般定期点検診断の項目については確認できた。また、海上からの目視が必要となる消波工やケーソン、波返し工については、船舶を利用せずに陸上もしくは防波堤上から変状を確認できた。さらに、被災した施設の状況を確認できた。

防波堤や護岸は一般的に延長が長いので、現地踏査を伴う点検診断には多くの時間を要する。マルチコプターの利用によって施設全体を俯瞰的にとらえ、変状の発生の有無を確認するとともに、追加の詳細点検が必要となる箇所の選定が可能となると考えられる。

(3) 係留施設

① 岸壁法線

写真-4.11 は直杭式横栈橋の岸壁法線を撮影したものである。港湾ガイドラインにおける直杭式横栈橋の岸壁法線の点検項目と劣化度の判定基準は表-4.7⁴⁾となっている。栈橋の幅など既知の寸法との対比からおおよその凹凸、出入りを推定できるため、劣化度の判定は可能である。

② エプロンの沈下・陥没、およびコンクリート又はアスファルトの劣化・損傷

写真-4.12 および写真-4.13 は直杭式横栈橋背後の土留め(ブロック式)のアスファルト舗装を撮影したものである。また、写真-4.14 および写真-4.15 は直杭式横栈橋上のコンクリート舗装を撮影したものである。港湾ガイドラインにおける直杭式横栈橋のエプロンの点検項目と劣化度の判定基準は、表-4.8⁴⁾および表-4.9⁴⁾となっている。画像から、エプロンの沈下・段差・わだち掘れの発生の有無を確認できたが、それらの状態を数値的に評価できなかった。ただし、舗装のひび割れ度およびひび割れ率は、画像からひび割れの長さもしくはひび割れ面積を測定することで算定が可能だった。

現状では現地踏査により舗装のひび割れを確認する方法が一般的であるが、マルチコプターを利用して舗装面を真上から撮影することで、広範囲の状況を短時間で確認できる。このことは、点検による施設利用への影響を軽減することに繋がるものと考えられる。



写真-4.12 アスファルト舗装(高度約 7m)

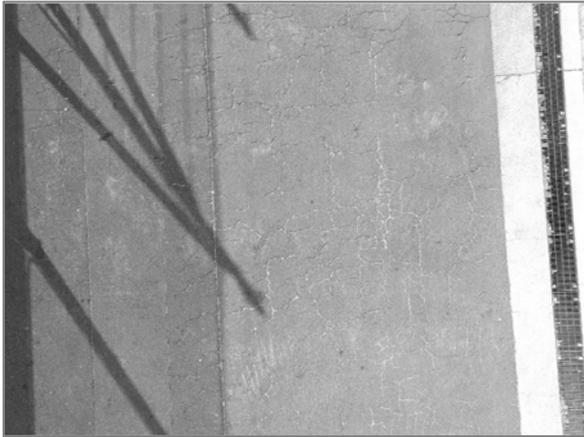


写真-4.13 アスファルト舗装(高度約 7m)



写真-4.14 コンクリート舗装(高度約 9m)

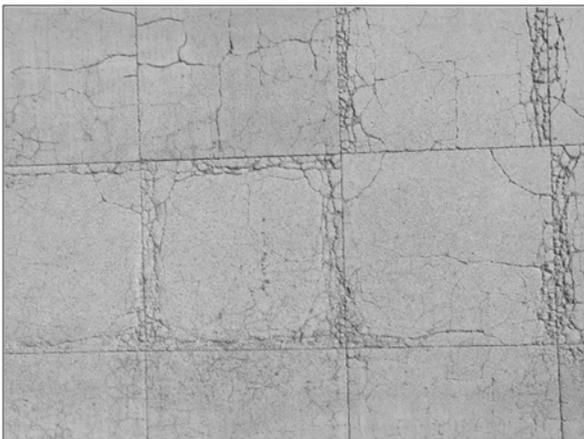


写真-4.15 コンクリート舗装(高度約 11m)



写真-4.16 上部工(左:棧橋, 右:ケーソン, 高度約 1m)

③ 上部工

写真-4.16 は直杭式横棧橋の上部工を撮影したものである。港湾ガイドラインにおける棧橋上部工の点検項目と劣化度の判定基準は表-4.10⁴⁾となっている。マルチコプターによる点検では、棧橋上部工の上・側面部の劣化・変状について確認できたが、下面については確認できなかった。棧橋上部工の下面側では、棧橋に含まれる大量の鉄筋や鋼管などの鉄材が磁気異常点⁹⁾となり、マルチコプターに搭載されている飛行を制御するセンサへ影響を与える可能性があるため、現状においてマルチコプターは下面側の点検に適さないと考えられる。

④ 鋼管杭および被覆防食工

写真-4.17 は直杭式横棧橋, 写真-4.18 はジャケット式棧橋の鋼管杭および被覆防食を撮影したものである。港湾ガイドラインにおける鋼管杭および被覆防食の点検項目と劣化度の判定基準は表-4.11⁴⁾および表-4.12⁴⁾となっている。マルチコプターによる点検では、前述のとおり棧橋上部工の下面側での点検には適さないため、最前列の海側に面した部分のみ確認できた。



写真-4.17 被覆防食(ペトラタム被覆, 高度約 1m)



写真-4.18 被覆防食(重防食, 高度約1m)

写真-4.19 は、鋼管杭の著しい劣化・変状により栈橋上部工が落下した施設を撮影したものである。人や船舶の接近が困難な状況の施設に対しても、安全に状況を確認できた。

なお、鋼管杭および被覆防食を撮影するためには海面近くを飛行する必要があるため、船舶や波浪、飛沫などに注意が必要である。



写真-4.19 鋼管杭の著しい劣化・損傷で落下した
栈橋上部工(高度約4m)

⑤ 附帯設備

写真-4.20 は附帯設備である係船柱, 防衝設備, 車止め, はしごを海側から撮影したものである。港湾ガイドラインにおける附帯設備の点検診断項目と劣化度の判定基準は表-4.13⁴⁾～表-4.16⁴⁾となっている。特に, 防衝設備およびはしごなど海側からのみ目視が可能な部材についてマルチコプターの利用が有効と考えられる。



写真-4.20 附帯設備(高度約1m)

⑥ 係留施設のまとめ

本検討で使用したマルチコプターでは、コンクリートのひび割れ幅の推定、鋼管杭および被覆防食工の最前列の海側に面した部分以外および栈橋上部工の下面側は確認できなかったが、その他の一般定期点検診断の項目については確認できた。また、海上からの目視が必要となる附帯設備の防衝設備およびはしごについては、船舶を利用せずに栈橋上から変状を確認できた。さらに、著しく劣化した施設の状況を安全に確認できた。

係留施設は一般的に面積が広いので、点検診断には多くの時間を要する。マルチコプターの利用によって施設全体を俯瞰的にとらえ、変状の発生の有無を確認するとともに、追加の詳細点検が必要となる箇所を選定が可能となると考えられる。また、現地作業を短時間で完了することが可能となるため、点検による施設利用への影響を軽減できると考えられる。

4.3 海岸保全施設の撮影結果と考察

海岸保全施設の撮影結果と考察を以下に示す。なお、表-4.17～表-4.25 は付録1, 写真-4.21～写真-4.34 のカラー画像は付録2に掲載した。

(1) 波返し工

写真-4.21 および写真-4.22 は護岸の波返し工を撮影したものである。なお、海岸マニュアルにおいて、各点検項目は表-4.17²⁾, 変状のランクは表-4.18²⁾となっている。本検討で使用したマルチコプターでは、点検項目のうちひび割れ幅を画像から推定できなかった。しかし、ひび割れの有無やその他の点検項目については確認できた。

また、変状のランクに対する評価のうち、ひび割れ幅の推定および部材深部での剥離・損傷については評価できなかったが、その他については評価できた。

(2) 天端・表法・裏法被覆工

写真-4.23 および写真-4.24 は天端・表法・裏法被覆工, 写真-4.25 は表法被覆工, 写真-4.26 は裏法被覆工, 写真-4.27 は植栽を撮影したものである。なお, 海岸マニュアルにおいて, 各点検項目は表-4.19²⁾, 変状のランクは表-4.20²⁾となっている。本検討で使用したマルチコプターでは, 点検項目のうち画像からひび割れ幅を推定できなかった。しかし, ひび割れの有無やその他の点検項目については確認できた。

また, 変状のランクに対する評価のうち, ひび割れ幅の推定, 部材深部での剥離・損傷, 空洞の有無については評価できないが, その他については評価できた。

(3) 消波工・根固工

写真-4.28 は消波工および根固工, 写真-4.29 および写真-4.30 は消波工, 写真-4.31 は根固工を撮影したものである。なお, 海岸マニュアルにおいて, 各点検項目は表-4.21²⁾, 変状のランクは表-4.22²⁾および表-4.23²⁾となっている。本検討で使用したマルチコプターでは, 各点検項目の確認および変状ランクの評価ができた。



写真-4.21 波返し工 (高度約 3m)



写真-4.22 波返し工 (高度約 8m)



写真-4.23 天端・表法・裏法被覆工 (高度約 7m)



写真-4.24 天端・表法・裏法被覆工 (高度約 16m)



写真-4.25 表法被覆工 (高度約 4m)



写真-4.26 裏法被覆工(高度約7m)

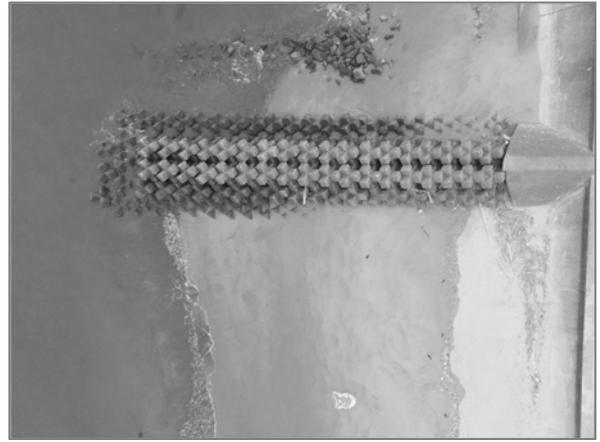


写真-4.29 消波工(高度約14m)



写真-4.27 植栽の状況(高度約12m)

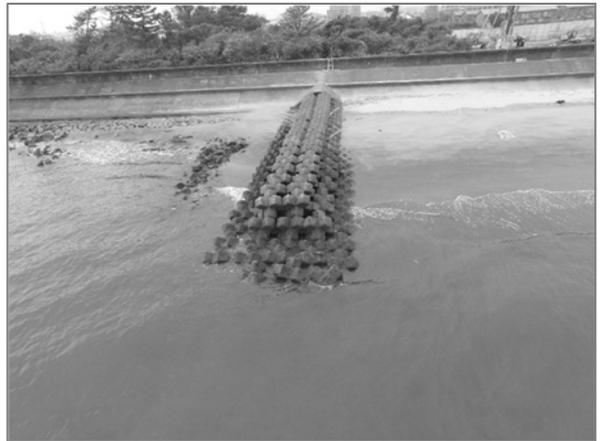


写真-4.30 消波工(高度約6m)



写真-4.28 消波工・根固工(高度約4m)



写真-4.31 根固工(高度約4m)



写真-4.32 砂浜(高度約100m)



写真-4.33 砂浜(高度約13m)



写真-4.34 海面の状況(高度約230m)

(4) 砂浜

写真-4.32 および写真-4.33 は護岸前面の砂浜を撮影したものである。なお、海岸マニュアルにおいて、各点検項目は表-4.24²⁾、変状のランクは表-4.25²⁾となっている。本検討で使用したマルチコプターでは、各点検項目の確認および変状ランクの評価ができた。

また写真-4.34 からは、漂砂と見られる状況を確認できた。

(5) 海岸保全施設のもつめ

本検討で使用したマルチコプターでは、点検項目のうちひび割れ幅を画像から推定できなかった。しかし、ひび割れの有無やその他の点検項目については確認できた。また、変状のランクに対する評価のうち、ひび割れ幅の推定、部材深部での剥離・損傷、空洞の有無については評価できなかったが、その他については評価できた。

海岸保全施設は一般的に広範囲かつ長距離に亘っていることが多いため、点検には多くの時間を要する。マルチコプターによって施設全体を俯瞰的にとらえ、変状の発生の有無を確認するとともに、追加の詳細点検が必要となる箇所を選定が可能となると考えられる。また、現地作業を短時間で完了することが可能となるため、点検による施設利用への影響を軽減できると考えられる。

4.4 目視点検の効率化に向けた提案

港湾施設や海岸保全施設は延長が長く、同一形状の構造物が連続するため、マルチコプターで撮影された画像の位置の特定が困難となる場合がある。静止画の場合は付与されているGPSデータから位置を特定することもできる。しかし、マルチコプターによる単独測位の場合は、本来の位置と数m程度異なる可能性がある(付録3)。撮影位置の容易な識別のため、例えば、防波堤上部工や護岸の波返し工、岸壁の係船柱などにスパン番号を明示し、視覚的に位置の特定を可能とすることが有効と考えられる。また、防波堤上部工の境界に帯状のマーキングや補助基準点を設置することで¹⁰⁾、隣接するケーソンとのずれが撮影画像から容易に確認できるようになる。これらの点検の工夫は、マルチコプターを利用する場合だけに限らず、現地踏査を基本とした従来の目視点検に対しても有効である。

5. まとめ

本検討では、港湾施設および海岸保全施設の目視点検におけるマルチコプターを利用した際の利点および課題を明らかにし、マルチコプターの利用方法を提案した。

本検討で使用したマルチコプターで港湾施設および海岸保全施設を撮影した結果、施設や部材に発生した段差やずれ、ひび割れの有無など、変状の有無の確認にマルチコプターを利用できた。また、著しく劣化した施設の状況を安全に確認できた。しかし、ひび割れ幅の推定、鋼管杭および被覆防食工の最前列海側以外および栈橋上部工の下面側などの確認にはマルチコプターを利用できなかった。

このことから、撮影が可能な部材の位置および変状の数値的な評価に課題はあるが、詳細点検を実施すべき部材や箇所を選定、著しい変状や被災した施設など点検者の安全確保が困難な施設の点検などにマルチコプターを利用することが効果的と考えられる。

港湾施設および海岸保全施設の目視点検にマルチコプターを利用することで、広範囲を短時間で俯瞰的に施設を確認することができ、点検中の施設の利用に与える影響の軽減や点検者の安全確保が可能になる。目視点検でのマルチコプターの利用は、効率的かつより安全な点検診断の実施につながるものと考えられる。

6. あとがき

2014年～2015年にかけてマルチコプターによる事件や事故が多く発生したことに端を発して関連法令が制定されるなど、現状ではマルチコプターの利用に対してのイメージは決してよい状況ではない。このため、マルチコプターによる撮影の調整段階において、一部の関係者から不安の声もあがっていた。しかし、マルチコプターによる撮影状況や画像を関係者に説明し施設の点検への利用の是非についてアンケート調査を実施した結果、多くの関係者が点検診断へのマルチコプターの利用に前向きであった(付録4)。

港湾施設および海岸保全施設の点検が義務化されたいま、マルチコプターの存在が施設管理者の点検意欲の向上に繋がることが期待される。これは、早期かつ軽微な段階で劣化・変状の発見に繋がるものであり、結果として、施設の維持管理費の縮減に寄与する可能性がある。本検討が、港湾施設および海岸保全施設の戦略的な維持管理の実現の一助となれば幸いである。

(2016年1月25日受付)

謝辞

本検討の実施にあたり、国土交通省ならびに港湾管理者の方々から多大なご協力と貴重なご意見をいただきました。ここに記し、深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省:維持管理等に関する現状把握, 第1回「港湾施設の維持管理等に関する検討会」, 資料2-1, pp.11, 2012

- 2) 農林水産省農村振興局防災課, 農林水産省水産庁防災漁村課, 国土交通省水管理・国土保全局海岸室, 国土交通省港湾局海岸・防災課: 海岸保全施設維持管理マニュアル, 2014
- 3) 国土交通省港湾局: 港湾の施設の点検診断ガイドライン, 第1部 総論, 2014
- 4) 国土交通省港湾局: 港湾の施設の点検診断ガイドライン, 第2部 実施要領, 2014
- 5) 河鐘基:ドローンの衝撃, 扶桑社, pp.14, 2015
- 6) 小林啓倫:ドローン・ビジネスの衝撃, 朝日新聞出版, pp.111-120, 2015
- 7) 国土交通省中部地方整備局: 御嶽山噴火への対応, 2015,
<http://www.cbr.mlit.go.jp/saigai/NEWS/MAIN/140927ontakefunka/03tec/tec.htm>
- 8) 日経BP社:UAVの土木力, 日経コンストラクション, No.596, pp.28-37, 2014
- 9) 田中敏成, 加藤絵万, 野上周嗣, 平林丈嗣:栈橋上部工点検用ROVの提案と現場実証実験によるその運用支援機能の検証, 港湾空港技術研究所資料, No.1303, 2015
- 10) 港湾空港技術研究所:「設計における施工及び維持への配慮」に関する事例,
<http://www.pari.go.jp/unit/lcm/sekkeijirei.html>, 2015

付録

- 付録1 本編第4章において参照する表
- 付録2 本編第4章に掲載した画像
- 付録3 使用するマルチコプターの精度検証
- 付録4 マルチコプターを利用した施設点検に関するアンケート調査

4.3 (1) 水域施設

表-4.2 点検診断の項目の判定基準⁴⁾

判定	点検診断の項目の判定基準	マルチコプターによる点検の可否
a	性能が著しく低下している状態	○可能
b	—	
c	—	
d	変状が認められない状態	

4.3(2) 外郭施設

① 防波堤の移動・沈下

表-4.3 防波堤の移動、沈下の劣化度の判定基準⁴⁾

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目	点検方法	劣化度の判定基準	マルチコプターによる点検の可否	
ケーソン式防波堤	I類	移動	目視(メジャー等による計測を含む, 以下同じ) ・水平移動量	a	ケーソンの一部がマウンドから外れている	○可能
				b	隣接ケーソンとの間に側壁厚程度(40~50cm)のずれがある	
				c	小規模な移動がある	
				d	変状なし	
	II類	沈下	目視 ・(目地ずれ,)段差	a	著しい沈下(1m程度)が確認できる	○可能
				b	隣接ケーソンとの間に数十cm程度の段差がある	
				c	隣接ケーソンとの間に数cm程度の段差がある	
				d	変状なし	

② ケーソンおよび上部工

表-4.4 ケーソンの劣化度の判定基準⁴⁾

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準	マルチコプターによる点検の可否
ケーソン式防波堤	I類	ケーソン	コンクリートの劣化, 損傷	目視 ・ひび割れ, 剥離, 損傷, 欠損 ・鉄筋露出 ・劣化の兆候 等	a 中詰材が流出するような穴開き, ひび割れ, 欠損がある 広範囲に亘り鉄筋が露出している b 複数方向に幅3mm程度のひび割れがある c 1方向に幅3mm程度のひび割れがある 局所的に鉄筋が露出している d 変状なし	△ひび割れ幅を推定することは不可能であるが, 変状の有無は確認可能

表-4.5 上部工の劣化度の判定基準⁴⁾

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準		マルチコプターによる点検の可否
					a	b	
ケーソン式防波堤	Ⅱ類	上部工	コンクリートの劣化、損傷	目視 ・ひび割れ、損傷 欠損 ・劣化の兆候 等	a	防波堤の性能に影響を及ぼす程度の欠損がある	△ひび割れ幅を推定することは不可能であるが、変状の有無は確認可能
					b	幅1cm以上のひび割れがある 小規模な欠損がある	
					c	幅1cm未満のひび割れがある	
					d	変状なし	

③ 消波工

表-4.6 消波工の劣化度の判定基準⁴⁾

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準		マルチコプターによる点検の可否
					a	b	
ケーソン式防波堤	Ⅱ類	消波工	移動、散乱、沈下	目視 ・消波工の天端、法面、法肩等の変形 ・消波ブロックの移動や散乱	a	点検単位長に亘り、消波工断面がブロック1層分以上、減少している	○可能
					b	点検単位長に亘り、消波工断面が減少している(ブロック1層未満)	
					c	消波ブロックの一部が移動(散乱・沈下)している	
					d	変状なし	
			損傷、亀裂	目視 ・消波ブロックの損傷、亀裂 ・欠損ブロックの個数	a	欠損しているブロックが1/4以上ある	○可能
					b	aとcの中間的な変状がある	
					c	欠損や部分的な変状があるブロックが複数個ある	
					d	変状なし	

4.3(3) 係留施設

① 直杭式横栈橋の法線

表-4.7 栈橋法線の劣化度の判定基準⁴⁾

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準		マルチコプターによる点検の可否
					a	b	
直杭式横栈橋	Ⅰ類	栈橋法線	凹凸 出入り	目視 ・移動量 ・沈下量	a	隣接する上部工との間に20cm以上の凹凸がある	○可能 凹凸、出入りの数値は画像内の既知の寸法との対比から推定
					b	隣接する上部工との間に10~20cm程度の凹凸がある	
					c	上記以外の場合で、隣接する上部工との間に10cm未満の凹凸がある	
					d	変状なし	

②-1 直杭式横棧橋のエプロンの沈下、陥没

表-4.8 エプロンの劣化度の判定基準^①

対象 施設	点検診断 項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準		マルチコプターに よる点検の可否
		エプロン	沈下 陥没		a	b	
直杭式横棧橋	I類	エプロン	沈下 陥没	目視	a	土留部背後の土砂が流出している 土留部背後のエプロンが陥没している 車両の通行や歩行に重大な支障がある	△エプロンの沈下 (段差)の状態を数値的 に評価することは できないが、変状の 有無は確認可能
					b	土留部目地に顕著な開き、ずれがある エプロンに3cm以上の沈下(段差)がある エプロンと後背地の間に30cm以上の沈下(段差)がある	
					c	土留部目地に軽微な開き、ずれがある エプロンに3cm未満の沈下(段差)がある エプロンと後背地の間に30cm未満の沈下(段差)がある	
					d	変状なし	

②-2 直杭式横棧橋のエプロンのコンクリート又はアスファルトの劣化、損傷

表-4.9 エプロンの劣化度の判定基準^①

対象 施設	点検診断 項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準		マルチコプターに よる点検の可否	
		エプロン (通常の場合)	コンクリート 又はアスファ ルトの劣化、損 傷		a	b		
直杭式横棧橋	II類	エプロン (通常の場合)	コンクリート 又はアスファ ルトの劣化、損 傷	目視 ・コンクリート 又はアスファ ルトのひび割れ、損 傷	a	コンクリート舗装でひび割れ度が2m ² 以上である アスファルト舗装でひび割れ率が30%以 上である 車両の通行や歩行に支障があるひび割れ や損傷が見られる	○可能 ひび割れ度およびひ び割れ率は画像から 読み取り算定する	
					b	コンクリート舗装でひび割れ度が0.5～ 2m ² である アスファルト舗装でひび割れ率が20～ 30%である		
					c	若干のひび割れが見られる		
					d	変状なし		
			エプロン (コンテナターミ ナル等利用制限 が厳しい場合)	舗装の段差、わ だち掘れ、ひび 割れ	目視 段差、凹凸、 わだち掘れ	a	車両走行に危険な段差、陥没、わだち掘 れ、ひび割れ等がある 15mm以上の段差がある 10mm以上のわだち掘れがある 幅3mm以上のひび割れがある	△エプロンの段差等 の状態を数値的に評 価することはできな いが、変状の有無は 確認可能
						b	10～15mmの段差がある 幅3mm未満のひび割れがある	
						c	10mm未満の段差がある 10mm未満のわだち掘れがある 微小なひび割れがある。	
						d	変状なし	

③ 直杭式横棧橋の上部工

表-4.10 棧橋上部工の劣化度の判定基準⁴⁾

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目	点検方法	劣化度の判定基準	マルチコプターによる点検の可否			
直杭式横棧橋	I類	上部工 (下面部) (PCの場合)	目視 ・ひび割れの発生状況 ・錆汁の発生状況	a	ひび割れがある 錆汁がある	×不可能		
				b	—			
				c	—			
				d	変状なし			
	II類	上部工 (下面部) (RCの場合)	コンクリートの劣化、損傷	目視 ・ひび割れの発生方向 ・ひび割れの本数、長さ、幅 ・かぶりの剥落状況 ・錆汁の発生状況 ・鉄筋の腐食状況	a	【スラブ】 網目状のひび割れが部材表面の50%以上ある かぶりの剥落がある 錆汁が広範囲に発生している 【はり・ハンチ】 幅3mm以上の鉄筋軸方向のひび割れがある かぶりの剥落がある 錆汁が広範囲に発生している	×不可能	
					b	【スラブ】 網目状のひび割れが部材表面の50%未満である 錆汁が部分的に発生している 【はり・ハンチ】 幅3mm未満の鉄筋軸方向のひび割れがある 錆汁が部分的に発生している		
					c	【スラブ】 一方向のひび割れ若しくは帯状又は線状のゲル吐出析出物がある 錆汁が点状に発生している 【はり・ハンチ】 軸と直角な方向のひび割れのみがある 錆汁が点状に発生している		
					d	変状なし		
		上部工 (上・側面部)		目視 ・ひび割れ、剥離、損傷 ・鉄筋腐食 ・劣化の兆候等	a	係船岸の性能を損なうような損傷がある		△ひび割れ幅を推定することは不可能であるが、変状の有無は確認可能
					b	幅3mm以上のひび割れがある 広範囲に亘り鉄筋が露出している		
					c	幅3mm未満のひび割れがある 局所的に鉄筋が露出している		
					d	変状なし		

④-1 直杭式横棧橋の鋼管杭

表-4.11 鋼管杭の劣化度の判定基準⁴⁾

対象 施設	点検診断 項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準		マルチコプターに よる点検の可否
		鋼管杭	鋼材の腐食、 亀裂、損傷				
直杭式横棧橋	I類	鋼管杭	鋼材の腐食、 亀裂、損傷	目視 ・開孔の有無 ・表面の傷の 状況	a	腐食による開孔や変形、その他著しい損傷がある	△最前列海側の変状 のみ確認可能
					b	—	
					c	—	
					d	腐食による開孔や変形はない	

④-2 直杭式横棧橋の被覆防食工

表-4.12 被覆防食の劣化度の判定基準⁴⁾

対象 施設	点検診断 項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準		マルチコプターに よる点検の可否
		被覆防食工 鋼管杭					
直杭式横棧橋	II類	被覆防食工 鋼管杭	塗装	目視 ・錆やふくれ ・塗膜のはがれ	a	広範囲に錆やふくれが認められる 錆を伴うはがれや割れが広範囲に発生している 欠陥面積率が10%以上である	△最前列海側の変状のみ確認可能
					b	大きな錆やふくれがある 錆を伴うはがれが広い範囲に発生している 欠陥面積率が0.3%以上10%未満である	
					c	錆やふくれが点在している 塗膜のはがれや割れが点在している 欠陥面積率が0.03%以上0.3%未満である	
					d	初期状態とほとんど変化なく、健全な状態である 欠陥面積率が0.03%未満である	
			重防食被覆	目視 ・被覆の劣化	a	重防食被覆の劣化が著しく、鋼材が腐食している状態	△最前列海側の変状のみ確認可能
					b	一部に鋼材まで達する被覆の劣化が生じ、鋼材の腐食が認められる	
					c	鋼材まで達しない被覆の損傷が多く見られる	
					d	変状なし	
			超厚膜形被覆	目視 ・被覆の劣化	a	超厚膜形被覆の劣化が著しく、鋼材が腐食している状態	△最前列海側の変状のみ確認可能
					b	一部に鋼材まで達する被覆の劣化が生じ、鋼材の腐食が認められる	
					c	鋼材まで達しない被覆の損傷が多く見られる	
					d	変状なし	
			耐食性金属被覆	目視 ・被覆の劣化	a	耐食性金属被覆の損傷が著しく、鋼材が腐食している状態	△最前列海側の変状のみ確認可能
					b	一部に鋼材まで達する被覆の損傷が生じ、鋼材の腐食が認められる	
					c	鋼材まで達しない被覆の損傷が多く見られる	
					d	変状なし	

表-4.12 被覆防食の劣化度の判定基準⁴⁾

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準	マルチコプターによる点検の可否		
直杭式横棧橋	Ⅱ類	被覆防食工	鋼管杭	水中硬化形被覆	目視 ・被覆の劣化	a	水中硬化形被覆の劣化が著しく、鋼材が腐食している状態	△最前列海側の変状のみ確認可能
						b	一部に鋼材まで達する被覆の劣化が生じ、鋼材の腐食が認められる	
						c	鋼材まで達しない被覆の損傷が多く見られる	
						d	変状なし	
				ペトロラタム被覆	目視 ・保護カバー ・ボルト、ナット	a	保護カバーが脱落し、ペトロラタム系防食材が露出または脱落し、鋼材表面に錆が出ている	△最前列海側の変状のみ確認可能
						b	保護カバーや当て板に亀裂がある ボルト、ナット、バンド材に腐食が見られる	
						c	保護カバーが変色または白亜化している 保護カバーの表面に微細なクラックが見られる ボルト、ナット、バンド材等にゆるみがある 端部シールの部分的剥離が見られる	
						d	変状なし	
				モルタル被覆	目視 ・保護カバー ・モルタルの劣化、損傷	a	保護カバーが広い範囲で脱落している モルタル表面に、錆汁が認められる モルタルが欠落し、鋼材表面に錆が発生している (カバー材およびモルタル層を除去したとき)、鋼材の肉厚の減少が確認される	△最前列海側の変状のみ確認可能
						b	保護カバーや取付け材にひび割れが見られ、一部に保護カバーの剥がれが見られる 軽微な錆汁は見られるが、錆の流れ出しはない (カバー材を除去したとき)モルタルに多数のひび割れが発生し、錆汁が見られる	
						c	保護カバーに変色や白亜化等が見られる 表面にクラックが認められるが、その範囲は1%以下である ボルト、ナット、バンド材等の保護カバー取付け材に緩み等がある	
						d	変状なし	

⑤-1 係船柱及び係船環

表-4.13 係船柱及び係船環の劣化度の判定基準⁴⁾

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準		マルチコブターによる点検の可否
					a	b	
附帯設備等	Ⅲ類	係船柱	係船環	目視(メジャー等による計測を含む, 以下同じ) ・損傷, 変形 ・塗装の状態	a	破損, 損傷等により使用できない状態である	○可能
					b	—	
					c	係船柱の損傷や変形, 塗装のはがれ等がある	
					d	変状なし	

⑤-2 防衝設備

表-4.14 防衝設備の劣化度の判定基準⁴⁾

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準		マルチコブターによる点検の可否
					a	b	
附帯設備等	Ⅲ類	防衝設備	本体の損傷, 破損, 取付金具の腐食等の状態	目視 ・ゴム部の損傷 ・取付金具の錆や傷	a	本体(ゴム): 欠落, 永久変形がある 取付金具: ゆるみ, 抜け, 曲がり, 切断がある	○可能
					b	—	
					c	本体(ゴム): 欠損, 亀裂, チッピングがある 取付金具に発錆がある	
					d	変状なし	

⑤-3 車止め

表-4.15 車止めの劣化度の判定基準⁴⁾

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準		マルチコブターによる点検の可否
					a	b	
附帯設備等	Ⅲ類	車止め	本体の損傷, 塗装, 腐食	目視 ・損傷, 変形 ・塗装の状態 ・腐食	a	欠損している 性能上支障となる損傷, 変形がある	○可能
					b	—	
					c	本体の損傷や変形, 塗装のはがれや腐食がある	
					d	変状なし	

⑤-4 はしご

表-4.16 はしごの劣化度の判定基準⁴⁾

対象施設	点検診断項目の分類	点検診断の項目		点検方法	劣化度の判定基準		マルチコブターによる点検の可否
					a	b	
附帯設備等	Ⅲ類	はしご	本体の損傷, 塗装, 腐食	目視 ・損傷, 変形 ・塗装の状態 ・腐食(鋼製の場合)	a	欠落している 損傷, 腐食が著しく, 使用上危険である	○可能
					b	—	
					c	本体の損傷や変形, 塗装のはがれや錆がある	
					d	変状なし	

4.3(4) 海岸保全施設

①波返し工

表-4.17 波返し工の点検項目²⁾

点検位置	巡視(パトロール)			一次点検			
	変状現象	確認される変状の程度	マルチコプターによる点検の可否	点検項目	確認する項目	目的	マルチコプターによる点検の可否
天端高	-	-	-	天端の高さ	必要高さに対する不足	防護機能の把握	○可能 隣接施設との天端高の比較による
(胸壁については堤体工) 波返し工	ひび割れ	部材背面まで達しているおそれのあるひび割れ・亀裂が生じている(幅5mm程度以上).	△ひび割れ幅を推定することは不可能であるが、変状の有無は確認可能	ひび割れ	ひび割れの有無	吸出しによる空洞の発生の可能性の把握	○可能
	-	-	-	剥離・剥落・欠損	剥離・剥落・欠損の有無		○可能
	-	-	-	鉄筋の腐食	錆汁、鉄筋露出の有無		○可能
	目地の開き、相対移動量	堤体の大きな移動や欠損があり、目地部の開きやずれが大きい。	○可能	隣接スパンとの相対移動	隣接スパンとの高低差、ズレ、目地の開きの有無	天端の沈下の把握	○可能
	-	-	-	修繕箇所状況	修繕箇所における変状の発生の有無	修繕の適切性の把握	○可能

表-4.18 波返し工(胸壁については堤体工)に対する評価²⁾

変状現象	変状のランク(確認される変状の程度)				マルチコプターでの評価判定の可否	
	a	b	c	d		
防護高さの不足	防護高さを満足していない。	-	-	防護高さを満足している。	○可能 隣接施設との天端高の比較による	
必ず実施する項目	ひび割れ	部材背面まで達するひび割れ・亀裂が生じている(幅5mm程度以上).	複数方向に幅数mm程度のひび割れがあるが、背面までは達していない。	1方向に幅数mm程度のひび割れがあるが、背面までは達していない。	△ひび割れ幅を推定することは不可能であるが、変状の有無は確認可能	
	剥離・損傷	広範囲に部材の深部まで剥離・損傷が生じている。	表面だけでなく部材の深部まで剥離・損傷が及んでいる。	広範囲であっても表面の剥離・損傷が生じている。	△剥離・損傷の有無のみ確認可能	
	目地の開き 相対移動量	転倒、あるいは欠損がある。	移動に伴う目地の開きが大きい。目地部より水の浸透がある。	目地ずれがあるが、水の浸透はない。	目地部にわずかなずれ、段差、開きが見られるか、段差、開きが見られない。	○可能
必要に応じて実施する項目	鉄筋の腐食	浮き錆が多く、鉄筋断面積の有意な減少が全域にわたっている。	浮き錆が多く、鉄筋表面の大部分あるいは全周にわたる腐食が広範囲に認められる。	錆汁が多く、鉄筋腐食が広範囲に認められる。	一部に錆汁、点錆が見られるか、錆汁、点錆が見られない。	○可能

② 天端・表法・裏法被覆工

表-4.19 天端・表法・裏法被覆工の点検項目²⁾

点検位置	巡視(パトロール)			一次点検			
	変状現象	確認される変状の程度	マルチコプターによる点検の可否	点検項目	確認する項目	目的	マルチコプターによる点検の可否
天端被覆工(水叩き工を含む) ・表法被覆工 ・裏法被覆工	ひび割れ	部材背面まで達しているおそれのあるひび割れ・亀裂が生じている(幅5mm程度以上).	△ひび割れ幅を推定することは不可能であるが、変状の有無は確認可能	ひび割れ	ひび割れの有無	吸出しによる空洞の発生の可能性の把握	○可能
	—	—	—	目地部、打継ぎ部の状況	目地材の有無、隙間・ずれの有無		○可能
	—	—	—	剥離・損傷	剥離・損傷の有無		○可能
	沈下・陥没	水たまりができるほどの沈下や陥没がある.	○可能	沈下・陥没	沈下・陥没の有無	天端の沈下及び吸出しによる空洞の発生の可能性の把握	○可能
	—	—	—	漏水	漏水の痕跡の有無		○可能
	—	—	—	植生の異常(繁茂等)	植生の異常(繁茂等)の有無		○可能
	—	—	—	修繕箇所 の状況	修繕箇所における変状の発生の有無		○可能

表-4.20 天端・表法・裏法被覆工(水叩き工を含む)に対する評価²⁾

変状現象	変状のランク(確認される変状の程度)				マルチコプターでの評価判定の可否	
	a	b	c	d		
防護高さの不足(天端被覆工のみ)	防護高さを満足していない.	—	—	防護高さを満足している.	○可能 隣接施設との天端高の比較による	
必ず実施する項目	沈下・陥没	陥没がある.	沈下による凹部が目立つ.	部分的な沈下が見られるか、沈下が見られない.	○可能	
	ひび割れ	部材背面まで達するひび割れ・亀裂が生じている(幅5mm程度以上).	複数方向に幅数 mm 程度のひび割れがあるが、背面までは達していない.	1方向に幅数 mm 程度のひび割れがあるが、背面までは達していない.	1mm 以下のひび割れが生じているか、ひび割れが生じていない.	△ひび割れ幅を推定することは不可能であるが、変状の有無は確認可能
	目地部、打継ぎ部の状況	目地部、打継ぎ部のずれが大きく、堤体土砂の流出が見られる.	目地部、打継ぎ部より水の浸透がある.	目地部、打継ぎ部にずれがあるが、水の浸透はない.	目地部、打継ぎ部にわずかなずれ、段差、開きが見られるか、段差、開きが見られない.	○可能
	剥離・損傷	広範囲に破損、または流出している.	表面だけでなく部材の深部まで剥離・損傷が及んでいる.	広範囲であっても表面の剥離・損傷が生じている.	ごく小規模の剥離・損傷が生じているか、剥離・損傷が生じていない.	△剥離・損傷の有無のみ確認可能
必要に応じて実施する項目	吸出し・空洞化	防護機能や安全性に影響のある大規模な空洞がある.	部分的に防護機能や安全性に影響のある空洞がある.	—	防護機能や安全性に影響のある空洞なし.	×不可能

③ 消波工・根固工

表-4.21 消波工・根固工の点検項目²⁾

点検位置	巡視(パトロール)			一次点検			
	変状現象	確認される変状の程度	マルチコプターによる点検の可否	点検項目	確認する項目	目的	マルチコプターによる点検の可否
消波工 根固工	—	—	—	移動・散乱	ブロックの移動・散乱の有無	吸出しによる空洞の発生の可能性の把握	○可能
	—	—	—	破損	ブロックのひび割れ・損傷の有無		○可能
	—	—	—	沈下	消波工の天端と波返工等の高低差の異常の有無		○可能

表-4.22 消波工に対する評価²⁾

変状現象		変状のランク(確認される変状の程度)				マルチコプターでの評価判定の可否
		a	b	c	d	
項目 必ず実施する	移動・散乱及び沈下	消波工断面がブロック1層分以上減少している。	消波工断面が減少している(ブロック1層未満)。	消波ブロックの一部が移動、散乱、沈下している。	わずかな変状が見られるか、変状なし。	○可能
	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。	○可能

表-4.23 根固工に対する評価²⁾

変状現象		変状のランク(確認される変状の程度)				マルチコプターでの評価判定の可否
		a	b	c	d	
実施する項目 必要に応じて	移動・散乱及び沈下	石、ブロックが大規模又は広範囲に移動、散乱又は沈下している。	石、ブロックが沈下、移動又は散乱している。	部分的にごく小さな移動(ずれ)がみられる。	わずかな変状が見られるか、変状なし。	○可能
	ブロック破損	破損ブロックが多数あり配置の乱れが生じている。	破損ブロックは多数あるが、配置の乱れは少ない。	小さなひび割れが発生している。	わずかな変状が見られるか、変状なし。	○可能

④ 砂浜

表-4.24 砂浜の点検項目²⁾

点検位置	巡視(パトロール)			一次点検			
	変状現象	確認される変状の程度	マルチコプターによる点検の可否	点検項目	確認する項目	目的	マルチコプターによる点検の可否
砂浜	侵食・堆積	広範囲にわたる浜崖の形成がある。顕著な汀線の後退や汀線後退に伴う堤体基礎部の露出がある。	○可能	侵食・堆積	砂浜の侵食, 浜崖形成の有無, 浜幅の減少	吸出しによる空洞の発生の可能性の把握	○可能

表-4.25 砂浜に対する評価²⁾

変状現象	変状のランク(確認される変状の程度)				マルチコプターでの評価判定の可否	
	a	b	c	d		
必ず実施する項目	侵食・堆積	<p>侵食により基礎工が浮き上がり堤体土が既に露出している。</p> <p>侵食により前面の砂浜が消失し, 基礎工下端・止水矢板が露出している。</p> <p>堤防・護岸等の防護機能が損なわれるほど, 堤防・護岸等の前面の砂浜の侵食が進んでいると認められる場合。</p>	<p>堤防・護岸等の防護機能が将来的に損なわれると想定されるほど, 堤防・護岸等の前面の砂浜の侵食が進んでいると認められる場合。</p>	<p>汀線の後退もしくは浜崖の形成が認められる。</p>	<p>わずかな変状が見られるか, 変状なし。</p>	○可能

付録2 本編第4章に掲載した画像

4.2 (1) 水域施設

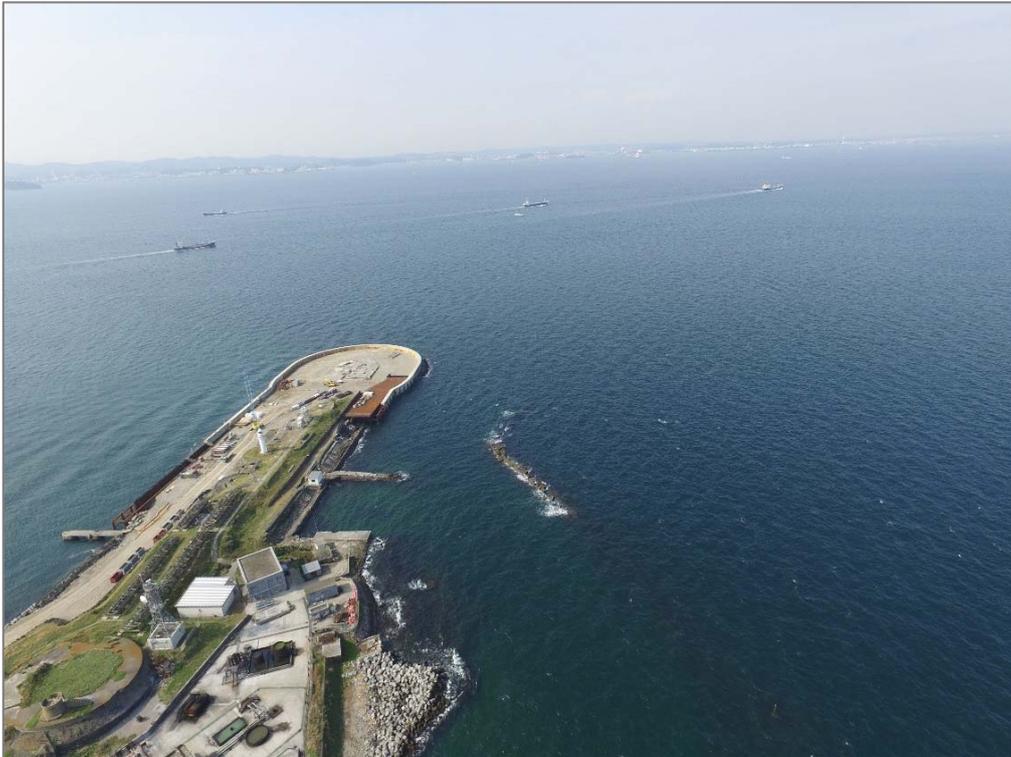


写真-4.2 航路(高度約130m)

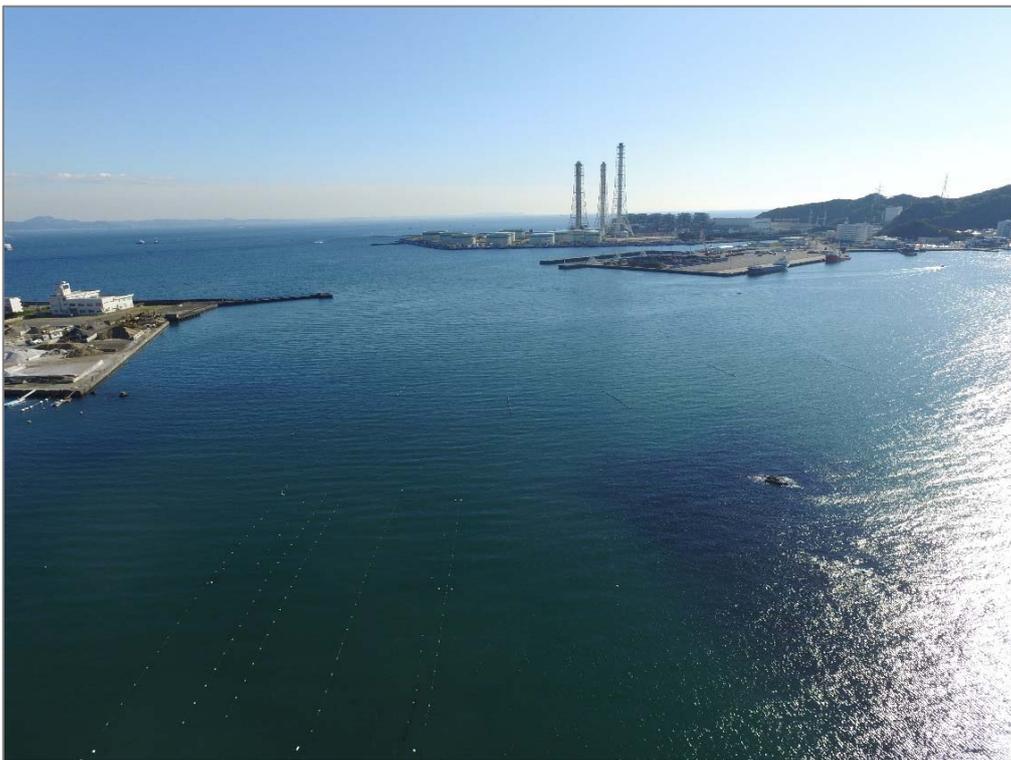


写真-4.3 泊地(高度約60m)

4.2 (2) 外郭施設



写真-4.4 防波堤のずれ(高度約30m)



写真-4.5 防波堤のずれ(高度約60m)



写真-4.6 上部工の欠損(高度約10m)

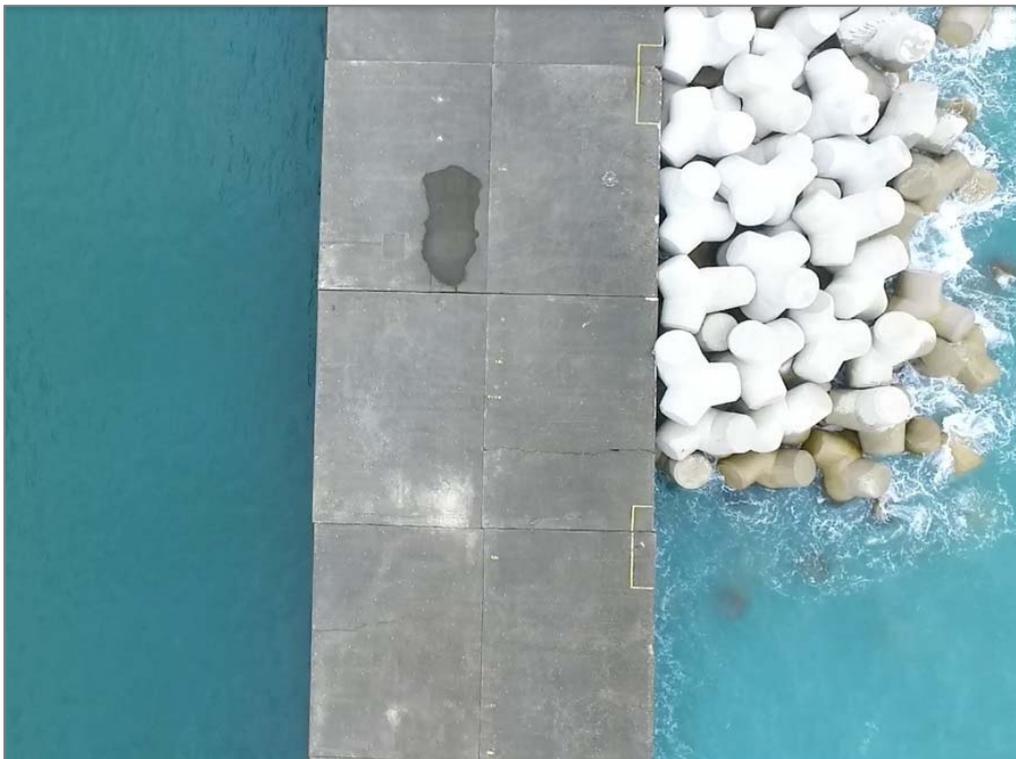


写真-4.7 上部工のひび割れ(高度約50m)



写真-4.8 上部工(波返し)(高度約5m)

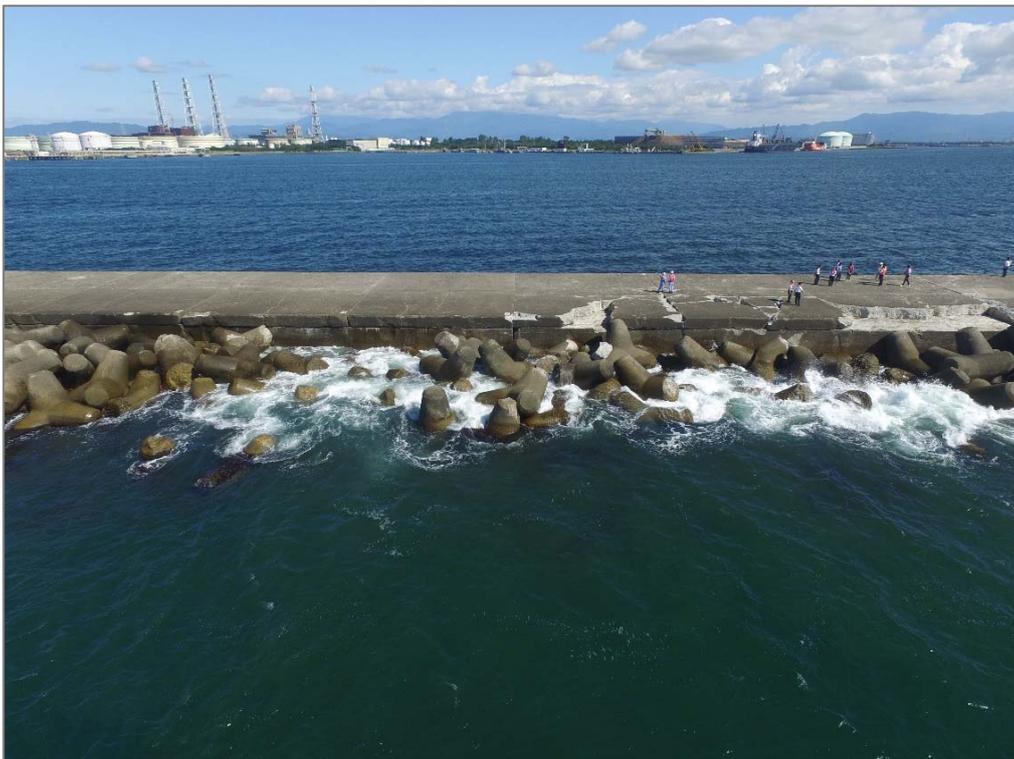


写真-4.9 消波工の一部移動(高度約11m)

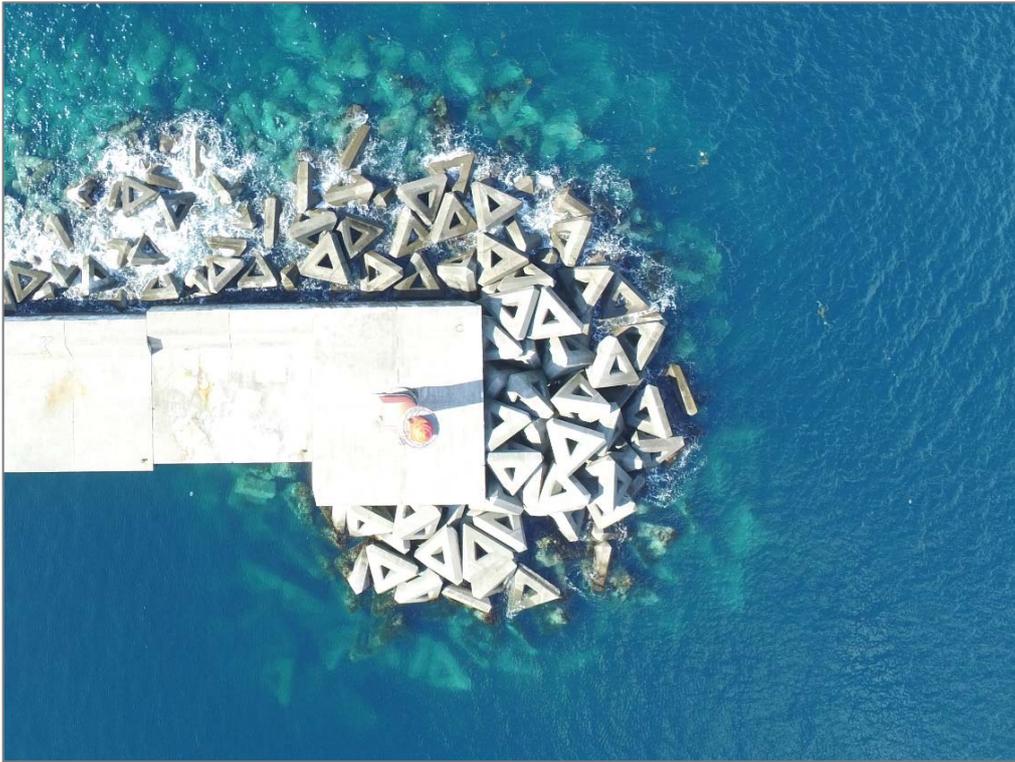


写真-4.10 荒天で被災した防波堤(高度約90m)

4.2 (3) 係留施設

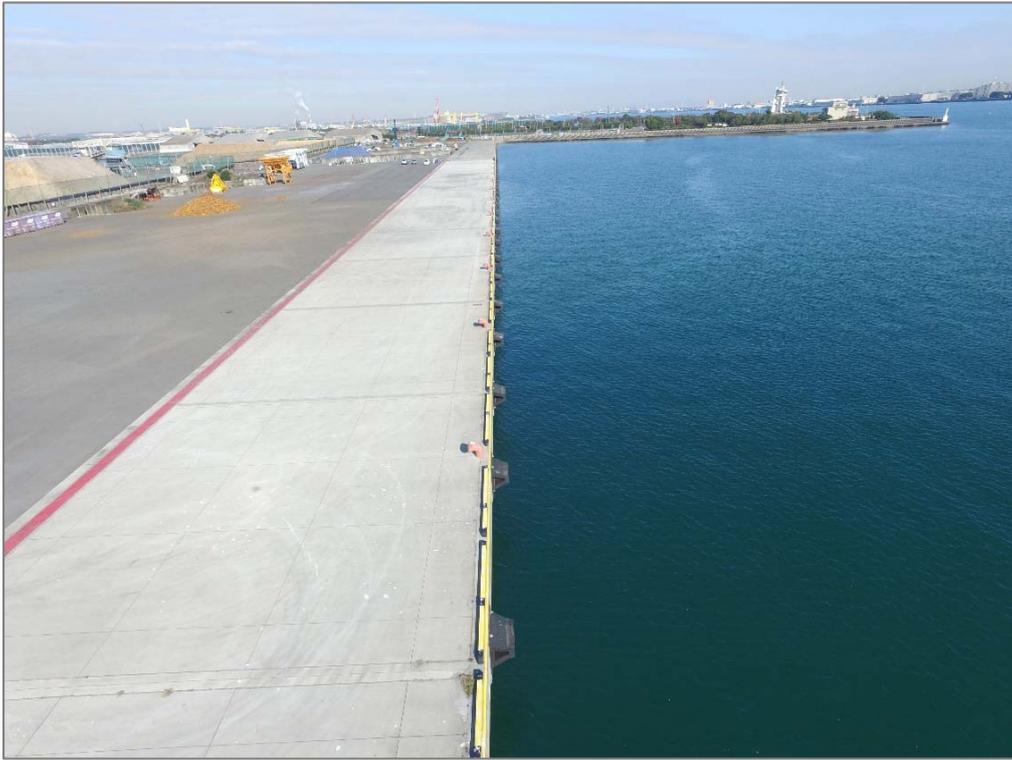


写真-4.11 棧橋の岸壁法線(高度約16m)

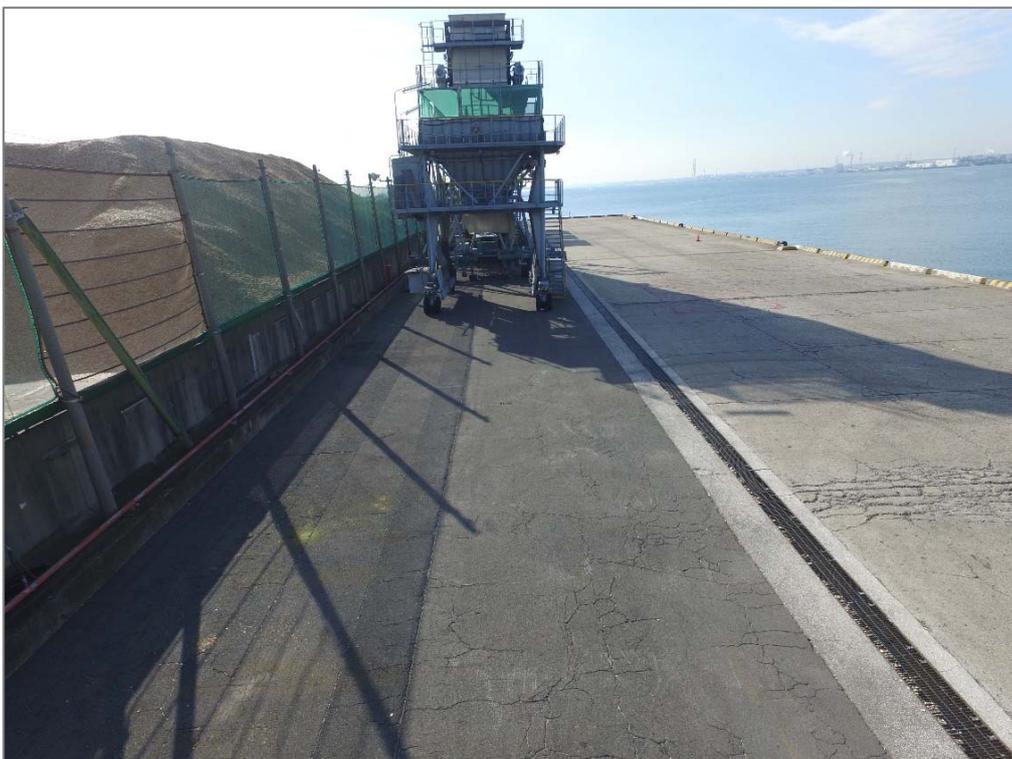


写真-4.12 アスファルト舗装(高度約7m)



写真-4.13 アスファルト舗装(高度約7m)

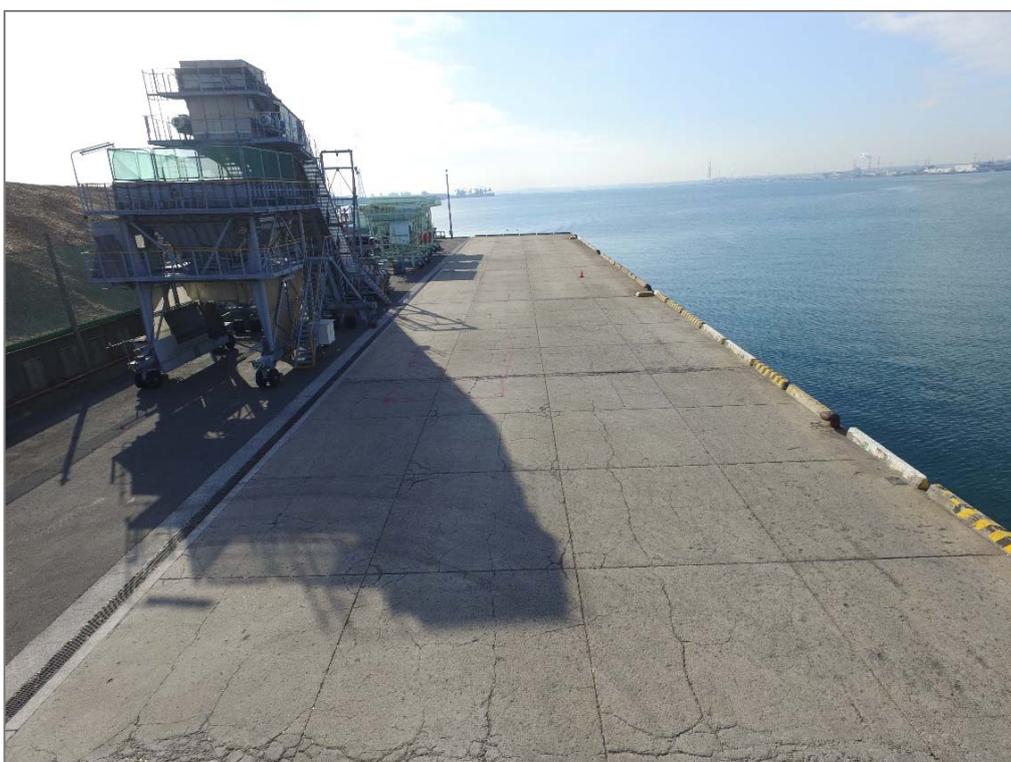


写真-4.14 コンクリート舗装(高度約9m)



写真-4.15 コンクリート舗装(高度約11m)



写真-4.16 上部工(左: 棧橋, 右: ケーソン, 高度約1m)



写真-4.17 被覆防食(ペトロラタム被覆, 高度約1m)



写真-4.18 被覆防食(重防食, 高度約1m)



写真-4.19 鋼管杭の著しい劣化・損傷で落下した栈橋上部工(高度約4m)



写真-4.20 附帯設備(高度約1m)

4.3 海岸保全施設



写真-4.21 波返し工(高度約3m)



写真-4.22 波返し工(高度約8m)



写真-4.23 天端・表法・裏法被覆工(高度約7m)



写真-4.24 天端・表法・裏法被覆工(高度約16m)



写真-4.25 表法被覆工(高度約4m)



写真-4.26 裏法被覆工(高度約7m)



写真-4.27 植栽の状況(高度約12m)



写真-4.28 消波工・根固工(高度約4m)



写真-4.29 消波工(高度約14m)



写真-4.30 消波工(高度約6m)



写真-4.31 根固工(高度約4m)

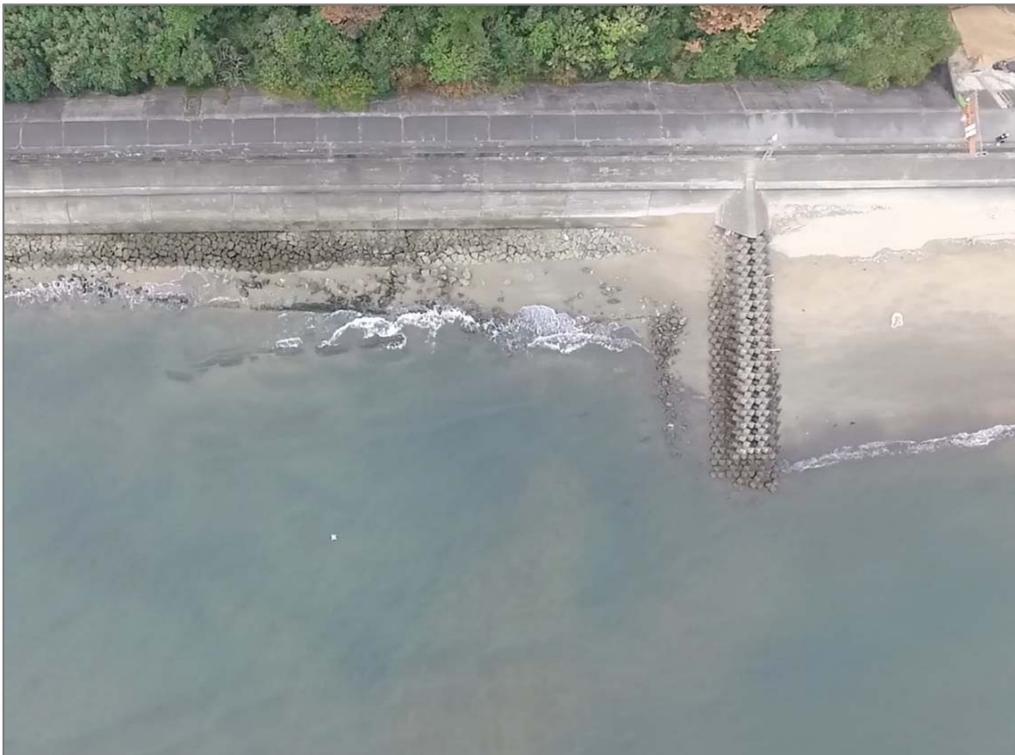


写真-4.32 砂浜(高度約100m)



写真-4.33 砂浜(高度約13m)



写真-4.34 海面の状況(高度約230m)

付録3 使用するマルチコプターの精度検証

3.1 目的

本検討で使用したマルチコプターには GPS が搭載されており、飛行の補助や静止画撮影場所の位置(緯度, 経度, 高度)などの計測に利用されている。そこで、GPS によって計測される緯度, 経度および高度の精度を検証した。

(1) 緯度, 経度の検証

機体に搭載された GPS によって計測される緯度, 経度の精度を検証した。検証は、既知の基準点にマルチコプターを 15 分間設置し、測定で得られた緯度, 経度と既知点の緯度, 経度との差を算定した。結果を表-3.1 に示す。最小でも 7m 程度の誤差を含んでいた。検討に使用したマルチコプターの GPS 測位方式が単独測位のため、誤差が大きくなったと考えられる。

表-3.1 マルチコプターに搭載されている GPS の緯度経度測定精度の検証結果

	X 座標	Y 座標	既知点との差
既知点(3 級基準点)	-85,573.8500	-10,507.9810	-
既知点との差が最大	-85,566.7570	-10,509.7852	7.320m
既知点との差が最小	-85,573.6521	-10,509.0104	1.048m

※計測時間：15 分 計測時間中の GPS 衛星数：最大 14 基, 平均 12 基, 最小 10 基



写真-3.1 マルチコプターに搭載されている GPS の緯度経度測定精度の検証状況

(2) 高度の検証

機体に搭載された GPS によって計測される高度の精度を検証した。検証は、高さ方向に設置した測量用リボンテープを任意の高度で撮影し、撮影される際に画像に記録される GPS の高度との差を確認した。結果を図-3.2 に示す。高度が高くなると GPS とリボンテープとの差異が大きくなる傾向となった。

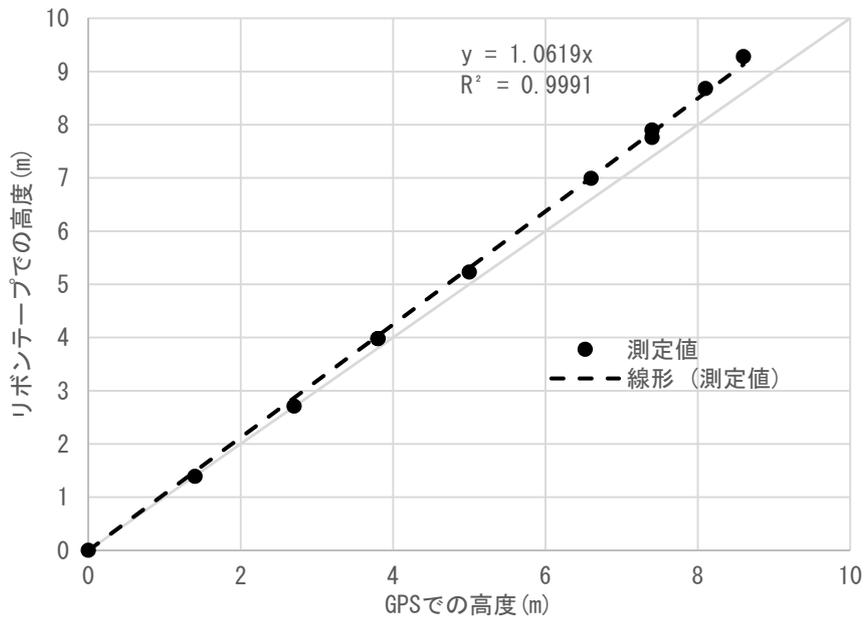


図-3.2 マルチコプターに搭載されている GPS の高度測定精度の検証結果

※実施時間：5分 計測時間中の GPS 衛星数：最大 13 基、平均 11 基、最小 6 基

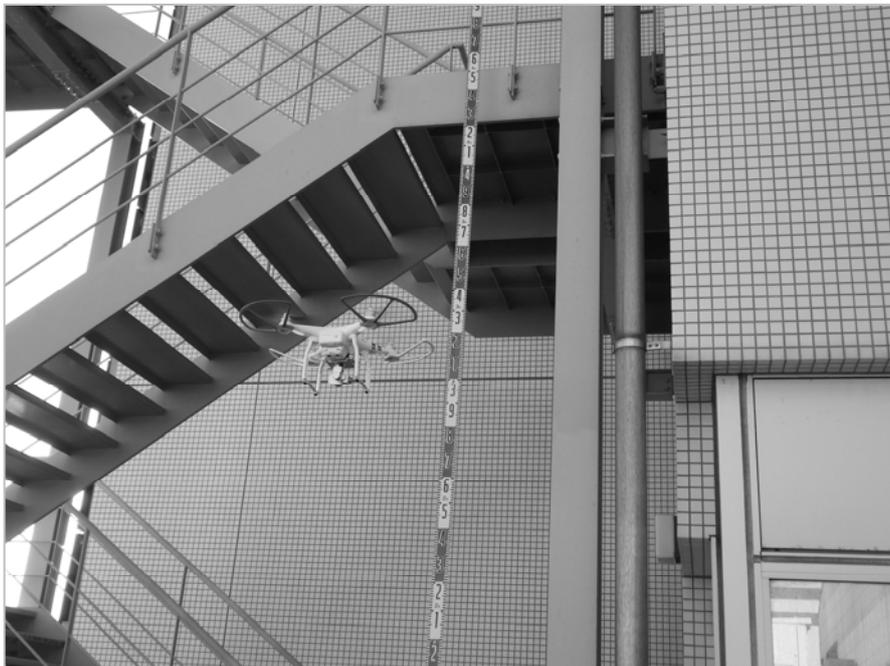


写真-3.2 マルチコプターに搭載されている GPS の高度測定精度の検証状況

付録4 マルチコプターを利用した施設点検に関するアンケート調査

4.1 アンケート調査の目的および項目

マルチコプターを利用して施設を撮影する際、撮影施設の保有者や管理者(港湾管理者)等を対象に、マルチコプターを利用した施設点検に関する説明を実施している。説明後、マルチコプターに対する印象、施設点検へのマルチコプターの利用の是非などのアンケート調査を実施した。アンケート調査の項目および内容を表-4.1に示す。なお、アンケート項目の(2)～(4)については、説明後のマルチコプターに対する印象の変化を確認するため、説明前についても同内容にてアンケート調査を実施した。

表-4.1 アンケート調査の項目および内容

アンケート項目	アンケート内容
(1) アンケート回答者に関する情報	アンケート回答者の所属および主な業務, マルチコプターの認知度
(2) 施設点検へのマルチコプターの利用に関するアンケート	施設点検にマルチコプターを利用したいか否か, およびその理由
(3) マルチコプターを利用したい点検の種類に関するアンケート	マルチコプターを利用したい点検の種類, およびその理由
(4) マルチコプターを利用して施設点検を実施する場合の実施者に関するアンケート	マルチコプターを利用して施設点検を実施する場合の実施者, およびその理由
(5) 施設点検以外のマルチコプターの利用方法に関する意見	アンケート回答者が考える施設点検以外の利用方法に関する意見

4.2 アンケート調査結果

各項目のアンケート調査結果を下記に示す。アンケートは、施設保有者および港湾管理者等から28名の回答があった。

(1) アンケート回答者に関する情報

アンケート回答者の所属と主な担当業務の割合を図-4.1～図-4.3に示す。施設保有者のうち8%, 港湾管理者のうち37%が維持管理業務を担当していた。

マルチコプターに関する認知度を図-4.4に示す。回答者の86%がテレビ・新聞報道やインターネットを通じて認知していたとの回答であった。

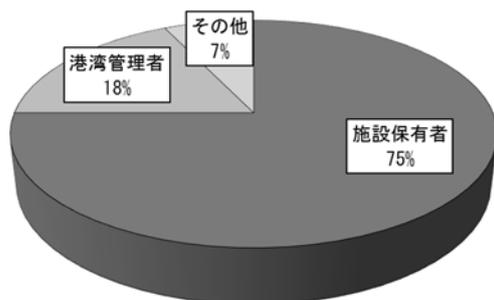


図-4.1 アンケート回答者の所属

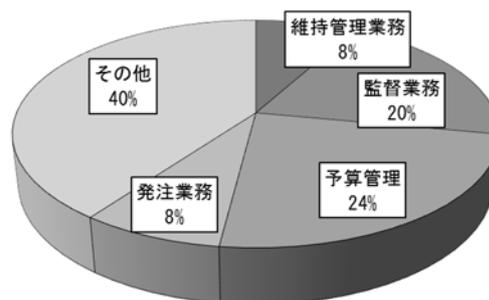


図-4.2 アンケート回答者の主な担当業務(施設保有者)

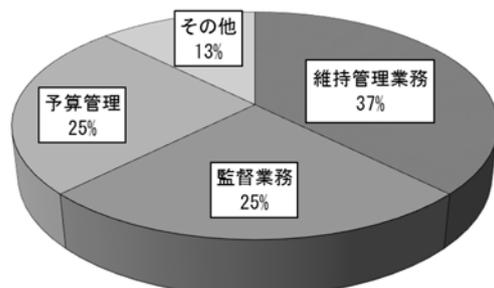


図-4.3 アンケート回答者の主な担当業務(港湾管理者)

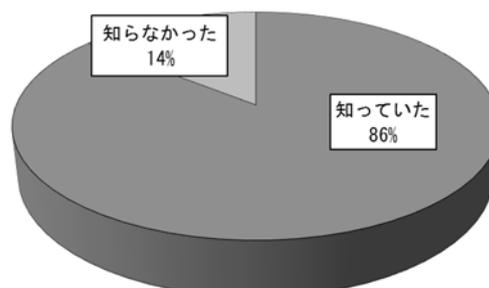


図-4.4 マルチコプターの認知度

(2) 施設点検へのマルチコプターの利用に関するアンケート結果

施設点検にマルチコプターを利用したいか否かについて、その理由も併せてアンケートを実施した。結果を図-4.5に示す。説明後、「⑤その他」の回答が減少し、「③点検業務等の受注者に利用を促したい」の回答が2倍になった。

施設点検にマルチコプターを利用したいと思いますか？（複数回答可）

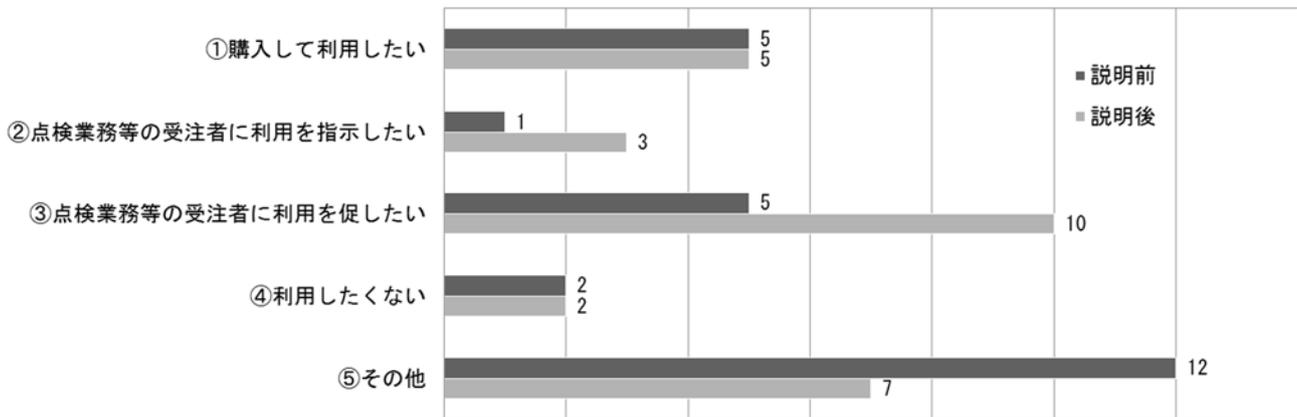


図-4.5 施設点検へのマルチコプターの利用に関するアンケート結果

回答を選択した主な理由を表-4.2に示す。説明前は「①購入して利用したい」と回答していた回答者の内2名が、説明後は「④利用したくない」に変更した(No.1, 2)。しかし、他の回答者はマルチコプターの利用を前提とした理由(説明後)が多かった。

表-4.2 回答を選択した主な理由

No.	説明前	説明後	回答者
1	⑤その他：利用できるなら利用してみたい 防災時、人が立ち寄れないところなどを確認できないかと思っていた	④利用したくない：想像より、使い勝手が悪そうだった	施設保有者
2	①購入して利用したい：(コメントは特になし)	④利用したくない：広域大災害であれば実際に上空から目視できる有人ヘリやセスナの方が有効と考えられるため、広域でない災害であれば、上空からの情報収集は必要ないため	港湾管理者
3	④利用したくない：落下事故等のニュースが多数報道されており、操作、安全性、プライバシー上の問題があると感じていたため	①購入して利用したい：施設状況を把握する一次点検程度には使えると思われるため	施設保有者
4	④利用したくない：どういった成果が得られるのかがよくわからず、高価な印象があるため	③点検業務等の受注者に利用を促したい：(コメントは特になし)	施設保有者
5	③点検業務等の受注者に利用を促したい：(コメントは特になし)	①購入して利用したい：施設点検以外の多目的な利用が可能	港湾管理者
6	⑤その他：飛行性能や画質が不明なため判断できない	③点検業務等の受注者に利用を促したい：画質が良いのに驚いた。調査には十分	施設保有者
7	⑤その他：点検に利用できるという認識がなかった	②点検業務等の受注者に利用を指示したい：飛行能力や画像の解像度などが高く、点検では定性的でも状況把握ができると思う	施設保有者

(3) マルチコプターを利用したい点検の種類に関するアンケート結果

マルチコプターを利用したい点検の種類について、その理由も併せてアンケートを実施した。結果を図-4.6に示す。説明後、「②定期的（3～5年に1回）に実施する一般定期点検診断」の回答が1.5倍に増えた。また、「③被災後に実施する一般臨時点検診断」の回答は説明後でも全体の1/3以上の回答数を占めていた。

施設点検にマルチコプターを利用する場合、どの種類の点検に利用したいと考えていましたか？
(複数回答可)

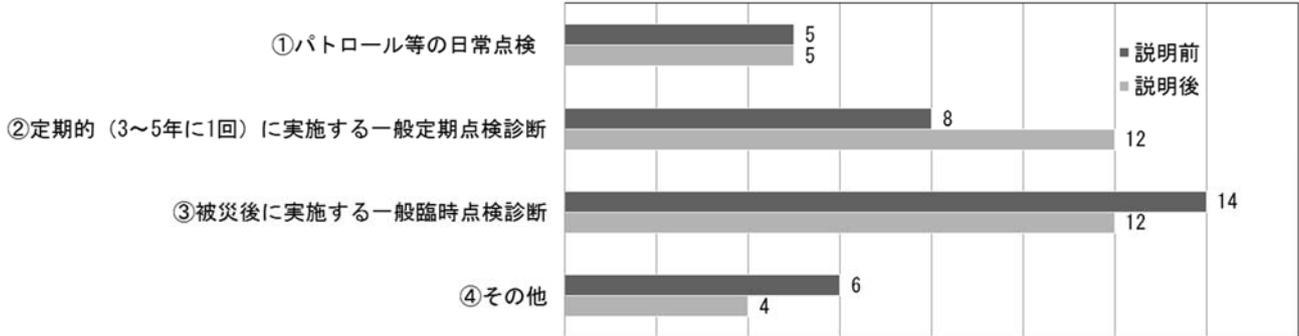


図-4.6 マルチコプターを利用したい点検の種類に対するアンケート結果

回答を選択した主な理由を表-4.3に示す。説明前は1種類の点検への利用しか想定していなかった回答者が、説明後は複数種類の点検への利用を想定していた。

表-4.3 回答を選択した主な理由

No.	説明前	説明後	回答者
1	①パトロール等の日常点検：点検の効率化や投入人員の削減などの効果が見込められると思われるため	②定期的（3～5年に1回）に実施する一般定期点検診断：ランニングコスト等の課題があり、日常的な用途での導入は難しいと思われるため	施設保有者
2	④その他：点検に利用できるという認識がなかった	①パトロール等の日常点検：これまでの点検に比べ現地作業の手間が減る。防波堤で波が高く人が近づけないような時でも遠隔操作で撮影可能。	施設保有者
3	③被災後に実施する一般臨時点検診断：津波等で沿岸部に近づけない場合に被災状況調査が可能のため	②定期的（3～5年に1回）に実施する一般定期点検診断：断然、現場での被災状況調査の需要が大きいと思う。	施設保有者
4	③被災後に実施する一般臨時点検診断：船上や人力で限界がある箇所調査に有効と考えられる	③被災後に実施する一般臨時点検診断：船上や人力で限界がある箇所の調査に有効と考えられる。基本は直接人の目で！	施設保有者
5	①パトロール等の日常点検、②一般定期点検診断、③一般臨時点検診断：利用できるものには利用したい	②一般定期点検診断、③一般臨時点検診断：異常の疑いがあった際に箇所限定で利用できればよい	港湾管理者
6	④その他：特段の意識はなかった	①パトロール等の日常点検、②一般定期点検診断、③一般臨時点検診断：スピーディで安全な点検に資すると考えられるため	施設保有者
7	②一般定期点検診断、③一般臨時点検診断：同じアングルで撮影することで、経年劣化や被災箇所の特定に利用出来るのではないかと	②一般定期点検診断、③一般臨時点検診断：同じアングルで撮影することで、経年劣化や被災箇所の特定に利用出来るのではないかと	施設保有者

(4) マルチコプターを利用して施設点検を実施する場合の実施者に関するアンケート結果

マルチコプターを利用して施設点検を実施する場合の実施者について、その理由も併せてアンケートを実施した。結果を図-4.7に示す。説明前後で大きな変化は無かった。また、全体の約1/3が「①マルチコプターを使用できるのであれば自分で点検したい」となった。

施設点検にマルチコプターが利用できる場合、ご自身で点検を実施したいと考えていましたか？
(複数回答可)

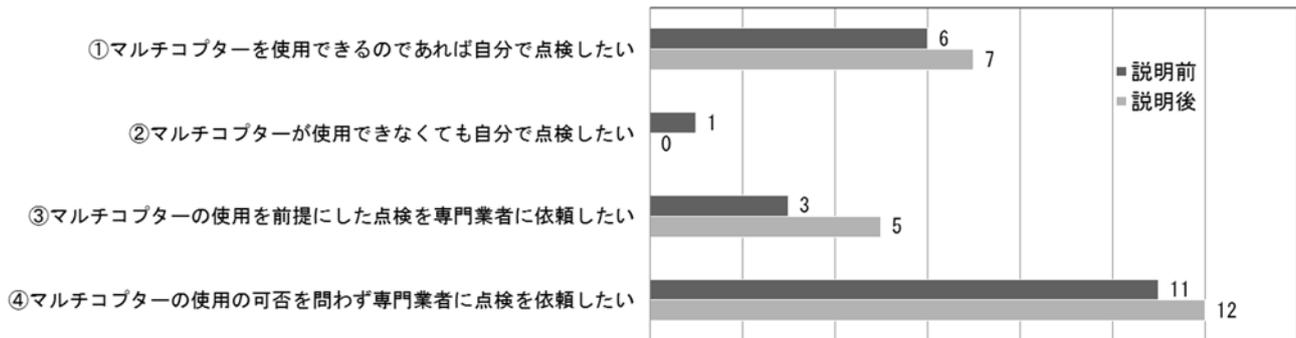


図-4.7 マルチコプターを利用して施設点検を実施する場合の実施者に関するアンケート結果

回答を選択した主な理由を表-4.4に示す。「③マルチコプターの使用を前提にした点検を専門業者に依頼したい」もしくは「④マルチコプターの使用の可否を問わず専門業者に点検を依頼したい」を選択した理由の多くは、マルチコプターの操作に関する内容であった。

表-4.4 回答を選択した主な理由

No.	説明前	説明後	回答者
1	①マルチコプターを使用できるのであれば自分で点検したい：(コメントは特になし)	①マルチコプターを使用できるのであれば自分で点検したい：点検結果の診断をしたい	港湾管理者
2	④マルチコプターの使用の可否を問わず専門業者に点検を依頼したい：点検に利用できるという認識がなかった	③マルチコプターの使用を前提にした点検を専門業者に依頼したい：点検で利用するには操作の習熟が必要と思う	施設保有者
3	③マルチコプターの使用を前提にした点検を専門業者に依頼したい：点検で利用するには操作の習熟が必要と思う	③マルチコプターの使用を前提にした点検を専門業者に依頼したい：(コメントは特になし)	施設保有者
4	④マルチコプターの使用の可否を問わず専門業者に点検を依頼したい：(コメントは特になし)	④マルチコプターの使用の可否を問わず専門業者に点検を依頼したい：費用対効果をふまえて使用の可否を判断すべきと思われるため	施設保有者
5	④マルチコプターの使用の可否を問わず専門業者に点検を依頼したい：操作が簡単ではないから	④マルチコプターの使用の可否を問わず専門業者に点検を依頼したい：操作が簡単ではないから	施設保有者
6	④マルチコプターの使用の可否を問わず専門業者に点検を依頼したい：発展途上の機器であり、所有することのメリットが無いため	④マルチコプターの使用の可否を問わず専門業者に点検を依頼したい：(コメントは特になし)	港湾管理者
7	④マルチコプターの使用の可否を問わず専門業者に点検を依頼したい：専門的な知見、判断が必要と考えるため	④マルチコプターの使用の可否を問わず専門業者に点検を依頼したい：専門的な知見、判断が必要と考えるため	施設保有者

(5) 施設点検以外のマルチコプターの利用方法に関する意見

施設点検以外のマルチコプターの利用方法についての意見を以下に示す。主に、漂流物や油流出時の回収支援、津波等の波浪監視、広報への利用に関する意見が多かった。

① 漂流物や油流出時の回収支援等への利用

- ・海洋環境整備船におけるゴミ、油回収の支援（上空からの流出状況の確認等）
- ・出水時などに流出する濁り拡散状況の確認

② 津波等の波浪監視への利用

- ・高波浪時の越波、越流状況の把握、津波監視

③ 広報への利用

- ・パンフレットやホームページ等に掲載する写真・動画などの撮影への利用(目新しいものが撮れて効果的ではないかと感じた)

④ SOLAS 区域等の監視

- ・アラートが出た際に飛ばして確認する等

港湾空港技術研究所資料 No.1325

2016.6

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2016) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



古紙配合率70%再生紙を使用しています