

# 港湾施設の点検診断における 点検ロボットの実用性検討について

高松港湾空港技術調査事務所 技術開発課 中澤 祐飛  
高松港湾空港技術調査事務所 調査課 西森 忍  
高松港湾空港技術調査事務所 調査課 岡 智哉

港湾施設は高度経済成長期頃に集中的に整備されたものが多く、老朽化が進行した施設が増加しており、定期的な点検診断による維持管理が重要となっている。点検診断を必要とする施設が増加する一方で、少子高齢化による労働者の減少に伴い潜水士等の人員不足が懸念されている。港湾施設の栈橋上部工や海中部分の部材の点検診断は危険かつ施設の利用に支障をきたすことから安全で効率的な点検方法の現場導入が求められている。本稿では港湾施設の栈橋上部工や海中部分の部材の点検診断に点検ロボットを導入する際の適用性について室内実験及び現地実験を行い確認された適用可能条件や課題等について報告する。

キーワード 施設点検, 維持管理, 点検ロボット

## 1. はじめに

港湾施設では老朽化によって利用制限をかけ、利用に支障が発生している施設がある。今後、このような施設は増加する傾向にあり、これに伴う点検診断も増加することが予想される。しかし、港湾施設の栈橋上部工や海中部分の部材の点検診断は有人調査による目視点検が一般的であるが、点検現場は暗く狭い海上・海中であるため危険である。また、点検中に施設の供用を一時制限するなど利用面での問題もあり、施設の点検診断の迅速化、安全性向上に資する点検手法の確立が求められている。

本実験では、今回、初めて四国の港湾を対象に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（以下、港湾空港技術研究所とする。）と四国地方整備局が共同で実証実験を行い、港湾施設の栈橋上部工や海中部分の部材の点検診断において点検ロボットの画像取得能力や動作能力等の確認を行った。実験より確認された適用可能条件や課題等について報告する。

## 2. 点検ロボットの概要

本実験では港湾空港技術研究所が開発し所有する栈橋上部工点検用ROV（以下、点検用ROVとする。）と市販品である水中ドローンの2種のROVを使用する。本稿ではそれぞれ点検用ROVと水中ドローンとして呼称する。

### (1) 点検用ROV

点検用ROVは、栈橋下部の海面上から栈橋上部工下面の劣化度判定に資する写真を取得することを目的とした遠隔操作型の無人調査ロボットである。<sup>1)</sup>

GPSの利用できない栈橋下においてセンサーを利用した測位機能を有するほか、障害物に対する自動衝突回避機能などの遠隔操作支援機能を具備しており、当該作業を安全かつ確実に効率よく実施することが可能である。

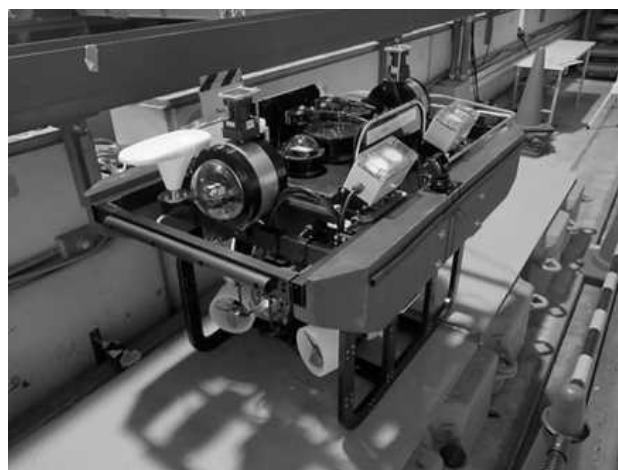


図-1 点検用ROV

### (2) 水中ドローン

当該水中ドローンは、水中部の部材の撮影を目的とした遠隔操作型の無人調査ロボットである。撮影機器やセンサー等の増設が可能のため、本機には小型カメラ1台とレーザーマーカ4基を増設している。レーザーマーカは水中ドローンと撮影対象物との離隔距離の確認や撮影対象物

の概寸測定に活用することが可能である。



図-2 水中ドローン

### 3. 室内実験による性能確認

#### (1) 実験内容

港湾空港技術研究所内にある「水中作業環境再現水槽」内に設置した模擬栈橋を用いて、点検用ROV及び水中ドローンの動作性能及び撮影能力の実海域適用性を確認する。以下に実験ケースを示す。

ケース1：波浪及び流れによる外乱のない環境

(波浪なし、潮流なし)

ケース2：実海域程度の波浪及び潮流

(波高0.2m、潮流0.02m/s～0.03m/s)

ケース3：水槽で再現可能な最大の波浪及び潮流

(波高0.5m、潮流1.0m/s程度)

#### a) 点検用ROVの実験内容

点検用ROVでは、表-1に示すように栈橋下面の撮影状況を模した水槽実験を実施する。実験は5mの等間隔で正方形に設置された鋼管杭4本からなる栈橋模型の上部工下面の撮影を実施する。なお、写真は約2秒毎の自動撮影（インターバル撮影）で取得する。

#### b) 水中ドローンの実験内容

水中ドローンでは、表-1に示すようにケーソン式や矢板式等を想定した水槽壁面と長さ5.5mの鋼管杭表面の撮影を実施する。また、ケース1-Bにおいて水中ドローンの操作方法を法線平行方向と法線鉛直方向の2方向で行い撮影時間の比較を行う。

表-1 実験条件及び内容

実験内容			実験条件		
			ケース1	ケース2	ケース3
点検用 ROV	A	水槽内に設置した模擬栈橋での動作及び撮影能力の確認	○	○	—
水中ドローン	B	水槽底面～水面における動作及び撮影能力の確認（ケーソン式や矢板式等を想定）	○	○	○
	C	水槽内に設置した模擬栈橋の鋼管杭での動作及び撮影能力の確認（栈橋鋼管杭を想定）	○	○	○

#### (2) 実験結果

##### a) 点検用ROVの実験結果

実験結果を表-2に示す。

表-2 点検用ROVの実験結果

実験条件	撮影時間	撮影枚数
ケース1	73秒	33枚
ケース2	85秒	40枚

ケース2の所要時間はケース1の16.4%増、撮影枚数はケース1の21.2%増であった。これらの要因としては、波浪による測位の乱れが考えられる。外乱によって所要時間や撮影枚数の増加が認められたものの、撮影漏れなく所定の撮影を完遂することが出来た。また、ケース2の流況条件では操作をする上でほとんど影響を感じることはなかった。このことから実海域程度の条件下で適用可能であることが確認できた。

##### b) 水中ドローンの実験結果

実験結果を表-3及び表-4に示す。

表-3 水中ドローンの実験結果（実験内容B）

実験条件	操作方向	撮影時間
ケース1	法線鉛直方向	219秒
ケース1	法線平行方向	179秒
ケース2	法線平行方向	158秒
ケース3	法線平行方向	撮影不可

表-4 水中ドローンの実験結果（実験内容C）

実験条件	撮影時間（1面）	移動時間
ケース1	22秒	43秒
ケース2	21秒	37秒
ケース3	撮影不可	移動不可

表-3よりケーソンや鋼矢板式岸壁などの壁面形状の部材を撮影する場合、法線平行方向に操作した方が効率よく撮影できる結果となった。操作方向が法線鉛直方向は3方向であるのに対して法線平行方向は2方向である。1方向少なくなることで操作の効率が良くなっていると考えられる。これより水中ドローンの移動方向は、撮影する部材形状に合わせて操作が極力少なくなる向きを設定した方が良いと考えられる。

表-3、表-4よりケース1とケース2ではほぼ同程度の撮影時間となり実海域程度の条件下で適用可能であることが確認できた。ケース3では水面付近は波浪によって水

中ドローンが著しく動揺し、操縦者が意図しない方向へ移動させられたため、水槽壁面や鋼管杭の状態を把握できる画像は取得できなかったが、水深4m以深では操作や撮影に支障となる動揺はなくなった。このことから実海域実験を行う際に航跡波など一時的に高い波浪が発生する場合は、水中ドローンを可能な限り深く潜航させて、波浪が収まるまで待機するよう対応を行う。

#### 4. 実海域実験による性能確認

##### (1) 実験内容

点検ロボットの画像取得能力、動作能力等を実海域において確認し、現場導入する際の課題を明らかにすることを目的とし実施する。

##### a) 点検用ROVの実験内容

点検用ROVは、図-3に示すNo.1栈橋及びNo.2物揚場の栈橋上部工を対象に実験を実施する。

##### b) 水中ドローンの実験内容

水中ドローンは、図-3に示すNo.2物揚場（鋼管杭、鋼矢板）、No.3栈橋（係留索）、No.4護岸（ケーソン）で実験を実施する。鋼矢板、ケーソンについては法線平行方向に水面から海底まで撮影を行う。係留索については、潜航しながら係留索に沿って着底水深まで撮影を行う。

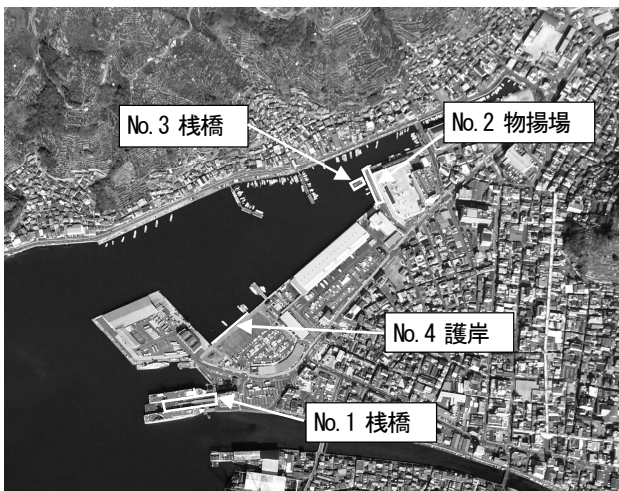


図-3 実験対象となる港湾施設位置

##### (2) 点検用ROVの実験結果

本実験の動作能力は表-5のとおりであった。1日の稼働時間を6時間とした場合、能力は総じて積算基準（有人調査）を上回る結果となった。

表-5 点検用ROVの動作能力

項目	1時間当り	1日6時間当り
No.1 栈橋	529.10 m <sup>2</sup> /h	3,174.6 m <sup>2</sup> /日 (2.6)
1日目	436.36 m <sup>2</sup> /h	2,618.2 m <sup>2</sup> /日 (2.1)
2日目	616.43 m <sup>2</sup> /h	3,698.6 m <sup>2</sup> /日 (3.0)
No.2 物揚場	858.00 m <sup>2</sup> /h	5,148.0 m <sup>2</sup> /日 (4.2)

※()書きは参考値(1,240 m<sup>2</sup>/日)の積算基準<sup>2)</sup>との比率

##### a) No.1栈橋の実験結果

図-4に栈橋の撮影結果を用いた写真の合成結果を示す。

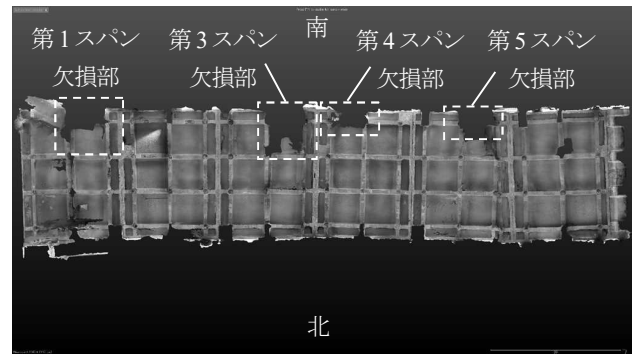


図-4 No.1栈橋の合成結果

第1スパン、第3～5スパンの栈橋南側の一部で大きな欠損部が確認できる。これらの箇所は逆光で写真が不鮮明となっていることや塗装や太陽光の水面反射により床版下面のコントラストが著しく低下している。合成画像の歪みが主に欠損部位の周辺で生じていることから欠損部位を減らすことで、合成画像の歪みも低減できる可能性があると考えられる。

逆光やコントラストの低下を防ぐため、太陽光の入射方向や時間帯に配慮し、環境光に影響されないよう調査を実施することで対策が可能であると考えられる。



図-5 第1スパン南側の欠損部の写真

##### b) No.2物揚場の実験結果

物揚場では撮影を2回実施した。各回の撮影結果の合成結果を図-6に示す。

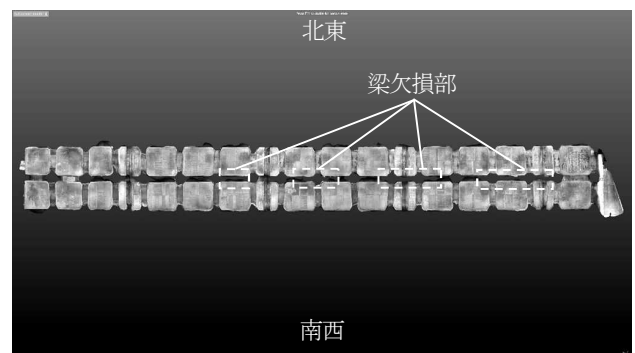


図-6 No.2物揚場1回目と2回目の合成結果

図-6では大きな異常・欠損箇所は見られない結果となった。各回の撮影結果ではそれぞれ異常・欠損箇所があったが、合成することで各回の欠損部位を相互に補完したものと考えられる。しかし、梁部分の部分欠損が見受けられる。これは合成に必要な写真の重複（オーバーラップ）が得られなかったものと考えられる。

対策として潮位の下がる時間帯を選んで写真の撮影範囲を拡大したり、インターバル撮影の間隔を短縮して撮影頻度を増加し、写真のオーバーラップ率を向上させることで合成の成功率が上がるものと考えられる。

### (3) 水中ドローンの実験結果

本実験における動作能力は表-6のとおりであった。1日の稼働時間を6時間とした場合、ケーソンや鋼矢板について積算基準（有人調査）を上回る結果となった。なお、表-6の作業能力は撮影対象間の移動時間を含む（No.2鋼矢板とNo.3係留索は撮影時間のみ）。表-7に室内実験ケース2の動作能力と実海域（撮影時間のみ）の動作能力を示す。

表-6 水中ドローンの動作能力

項目	1時間当り	1日6時間当り
No.2 鋼管杭（栈橋）	108 m/h	648 m/日
No.2 鋼矢板（栈橋護岸）	288 m <sup>2</sup> /h	1,728 m <sup>2</sup> /日 (1.4)
No.3 係留索（浮栈橋）	180 m/h	1,080 m/日
No.4 ケーソン（護岸）	360 m <sup>2</sup> /h	2,160 m <sup>2</sup> /日 (1.8)

※〇書きは参考値（1,200 m<sup>2</sup>/日）の積算基準<sup>2)</sup>との比率

表-7 実海域と室内実験の水中ドローンの動作能力

項目	実海域	室内実験
No.2 鋼管杭（栈橋）	396 m/h	1,872 m/h
No.2 鋼矢板（栈橋護岸）	288 m <sup>2</sup> /h	612 m <sup>2</sup> /h
No.3 係留索（浮栈橋）	180 m/h	
No.4 ケーソン（護岸）	648 m <sup>2</sup> /h	612 m <sup>2</sup> /h

#### a) No.2物揚場（鋼管杭、鋼矢板）の実験結果

物揚場（鋼管杭、鋼矢板）では室内実験と比べ動作能力は低下した。実海域での栈橋下は暗く濁りや浮遊物があり、鋼管杭や鋼矢板を視認することが困難な場合があった。これにより、外観の確認や鋼管杭間の移動に時間を要したことから、動作能力が低下したと考えられる。

#### b) No.3栈橋（係留索）の実験結果

栈橋（係留索）は他の施設と比べて最も低い動作能力となった。ケーソンや鋼管杭の撮影では水中ドローンを一直線上に操作するのに対して、係留索では前進と潜航の繰り返し操作が必要となり水中ドローンの移動に時間を要したことから、低い動作能力になったと考えられる。

#### c) No.4護岸（ケーソン）の実験結果

護岸（ケーソン）での動作能力は室内実験と同程度の

結果となった。実験箇所の水域は静穏であり透明度が高かったためと考えられる。

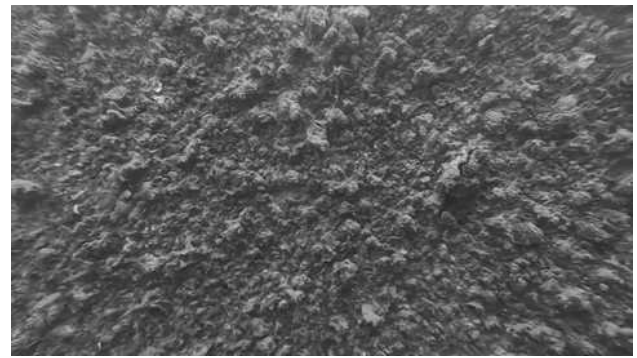


図-7 護岸（ケーソン）の撮影画像（水深3m地点）

これらの結果から点検対象の形状、水中環境により動作能力が左右されるが水中での視認性が悪い場合でも近距離まで近づくことで施設の部材を捉えることが可能であることを確認した。また、水中ドローンは有線のため本実験中に複数回ケーブルが引っ掛かることがあった。そのため潜水士を配備しておくなどの引っかかり対策を講じておく必要があることを確認した。

## 5. まとめ

実海域実験より点検対象の形状や水中環境に左右されるが概ね点検対象の画像を取得することが可能であることが確認できた。また、ほとんどの施設で積算基準<sup>2)</sup>を上回る動作能力であることから点検ロボットが十分に活躍できる環境を見極めることで、効率化を図ることができると考えられる。加えて、点検ロボットの導入により潜水士等を省人化でき、安全性向上を図ることができると考えられる。

現在は点検ロボットの実用性が十分に認知されていないため点検ロボットが使用された例はほとんどない。本実験の結果から実海域での点検ロボットの実用性を確認することができたが、次のステップとして今回の実験結果を広く認知させ、点検ロボットを導入できる環境を整えることが必要であると考えられる。本実験を実施することで得た知見が点検ロボット導入までの与力になれば幸いである。

### 参考文献

- 野上周嗣、加藤絵万、田中敏成：栈橋上部工点検用ROVおよび点検診断支援ソフトによる点検作業の効率化、第74回土木学会年次学術講演会講演概要集
- 国土交通省港湾局 HP：維持管理計画策定のための現地調査積算基準、[https://www.ml.it.go.jp/kowan/kowan\\_fr5\\_000019.html](https://www.ml.it.go.jp/kowan/kowan_fr5_000019.html)（2020年6月17日アクセス）