

# 点検ロボの活用による港湾施設 における維持管理の効率化

高松港湾空港技術調査事務所 技術開発課 田中 瞭佑  
高松港湾空港技術調査事務所 技術開発課 秋山 知士

高度経済成長期に整備された施設については現在港湾施設の老朽化が進行しており、供用期間を既に過ぎた施設が散見される。維持管理の重要性は増していく一方で高齢化に伴う作業員の不足など各種施設の点検診断はより困難になり、点検自体に危険が伴う施設も少なくない。そこでドローンやROVといった安全かつ効率的に点検できる可能性のある機器(以下総称して点検ロボという)を使用し安全化・効率化を検討した。しかし、点検用に開発された機器については高価かつ流通量も少ないといった課題が見られた。本稿では港湾施設の点検に、既に流通している点検ロボを導入する際の選定過程及び現地実験で確認された適用条件や課題を報告する。

キーワード 施設点検, 維持管理, 点検ロボット

## 1. はじめに

港湾施設には様々な構造形式が存在するが、中でも栈橋式構造における点検診断には幾つかの課題が見られる。

現在の点検手法は、栈橋の下面にボートで進入し、直接目視による床版及び防食部の目視点検が一般的である。狭所かつ暗所での作業であることから危険を伴い、近年の作業員の不足も相まって施設の点検診断の安全化・効率化の確立が求められている。

既往の検討においては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、港空研)と四国地方整備局が共同で実証実験を行い、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。<sup>1)</sup>しかし、高性能な点検ロボは現時点では流通量が少なくかつ費用も高価である為、今後技術開発の進捗により安価になる可能性はあるものの、現時点で導入できる可能性は低い事が考えられた。本稿では、既に一般的に流通している点検ロボを用いて、現在改良工事中の徳島小松島港金磯-11m岸壁(以降、金磯岸壁)を利用し栈橋式岸壁の点検が可能かどうか検討を実施した。なお、本論文中に記載のあるシステム及び製品名は一般に各所の商標または登録商標である。



写真2-1 空中ドローン

## 2. 点検用機器の概念及び選定

栈橋式岸壁の維持管理において点検すべき項目は、港湾の施設の維持管理技術マニュアル(平成30年度、沿岸技術研究センター)<sup>2)</sup>より、表2-1の通りである。

よって本検討では、栈橋上部工下面の点検における既存点検機器の利用について考察する。現在市販されている、あるいはリースが可能である機器に限定して、既存点検機器の条件整理を実施した。それぞれの検討概要について以下に示す。選定条件としては、R2dに検討したROV<sup>3)</sup>と比較して安価かどうか、波浪による影響を受けず安定した調査が可能かどうか、目視点検と同程度の画質を有しているかどうかに着目した。

### (1) 空中ドローン

岸壁上部から栈橋下面に機器(写真2-1)を侵入させ、状況写真の撮影を実施する。一般的なドローンの場合、GPS環境下以外では誤作動の危険性があることや、栈橋下面のような閉鎖空間では、ドローン自体の風により動作不安定になる傾向がある。ただし、波による動揺がないため、GPS環境下以外においても、動作する機種があれば安定した撮影を実施できる可能性があるため、選定結果は○とする。

表2-1 維持管理項目(栈橋式岸壁)

対象施設	点検診断の項目	点検方法
直杭式横栈橋	上部工下面(PC)	目視
	上部工下面(RC)	目視
	上部工側面部	目視
	鋼管杭-被覆防食工	目視

## (2) 水中ドローン

主に水中を撮影するための小型、中型機器(写真2-2)であるが、上部にカメラを設置する改造を実施することで、水上での栈橋上部工下面の撮影も可能、波や潮流の影響を受けるため作業可能な条件としては波高1.0m以下かつ波速1.0m/s以下とされている。金磯岸壁の沿岸波高は1.0mを超える場合がある点、水面では機体が激しく動揺する等の課題が確認されている点<sup>1)</sup>を踏まえやや使用が困難であると判断されたため、選定結果は×とする。

## (3) ROV

港空研が製作したものに代表されるケーブルで接続された水上及び水中を撮影できる比較的大型の機器(写真2-3)。ケーブルで接続されているため、杭構造の場合は、ケーブルが杭に絡まる可能性がある、よって潜水士による補助が必要である。一般的に流通しているものでもコストが他のものよりもやや高く、水中ドローン程ではないが、波の影響を受ける。波高0.2m程度の海域であれば、安定した撮影ができることを確認している。<sup>1)</sup>本検討では価格が割高であるため×としている。

## (4) 固定カメラ

事前に栈橋に点検孔を設けておき、その孔の中に、360度見渡せるジンバル付き固定カメラを設置することで、ドローンやROVなどを使用せずに確認することが可能である(写真2-4)。カメラの解像度によっては、安全かつ簡易に維持管理が可能な方法であると考えられる。ただし、事前に点検孔を設けておく必要があり、本検討で使用される岸壁の条件として既設の岸壁においては使用が困難である為×としている。

以上の技術について、目視点検と遜色ない確認ができるかどうか、実地の条件に耐えうるかどうか、価格はどの程度かを踏まえて一次選定を実施した結果を表2-2に示す。



写真2-2 水中ドローン



写真2-3 ROV

選定の結果、床版下面を撮影する機器については空中ドローンを選定した。水中ドローンやROVについては、現在流通している点検機器で一般的な目視点検と同レベルで点検しようとした場合、波浪による影響が考えられる。適用条件としてはカタログ値より波高1.0m以下での使用が確認されている。金磯岸壁付近の沿岸波高は0.5m～1.5m程度であり、水面付近では特に波浪による動揺が安定した撮影に影響する事が考えられる点を踏まえ、本検討では選定しなかった。また固定カメラについては、点検孔が設けられていないと設置することが出来ないため、本検討では選定には至らなかった。

次に、選定した技術内で二次選定を実施する。一次選定にて抽出された空中ドローンにおいて、現地への適用性を踏まえて、現在流通している機器の中から二次選定を実施した。選定結果については表2-3の通りである。栈橋下面はGPS範囲外のため、GPS環境下でない場合においても使用できる必要がある。また、床版下に入り込むには水面と上部工の間隔が必要なため、機体の大きさは小さい方が良いと考えられる。

表2-2 一次選定結果

種別	価格(円)	波の影響	画素	選定
空中ドローン	40～100万	受けない	2～4K	○
水中ドローン	30万～60万	受ける	4K	×
ROV	400～1000万 以上	受ける	4～6K	×
固定カメラ	5万～	受けない	4K	×

表2-3 二次選定結果

空中ドローン	特徴	選定
IBIS	GPSが不要。閉所、暗所で使用可能、風の影響を受ける。小型で軽量	○
Mavic3	GPSが必要。屋外でのひび割れ検知実績あり。中型	×
MATRICES 300	GPSが必要。屋外でのひび割れ検知実績あり。大型	×

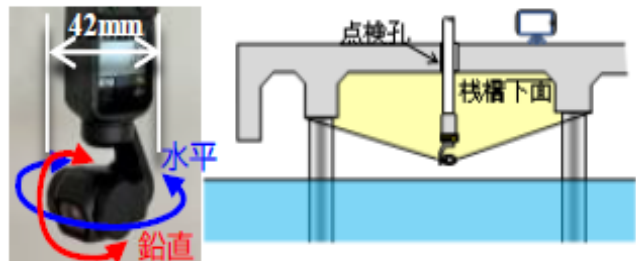


写真2-4 固定カメラ

以上より本稿では、栈橋式上部工下面における点検に最も適用性が高い機体についてGPSを不要とし、十分な画素数のカメラを取り付けることが可能かつ、上部工下面の狭い空間においても使用できる、空中ドローンIBISを選定した。

### 3. 実海域実験による性能確認

前項にて選定された機器を用いて、金磯岸壁の上部工下面の点検を実施する。

#### (1) 実験内容

選定した空中ドローンの画像取得能力、動作性能及び撮影能力の適用性を確認する。現地の位置図、平面図について。図3-1、図3-2に示す。

図3-3に示すように岸壁上からドローンを床版下に侵入させ、下面の撮影を実施する。

また、調査に使用したドローンのスペック及び岸壁の条件について表3-1、表3-2に示す。また、ドローン本体の写真及び撮影状況については写真3-1、写真3-2に示す。

#### (2) 空中ドローンにおける実験結果

当初予定していた岸壁上からドローンを床版下に進入させる計画については風の影響を踏まえ断念した。原因としては、当日の風速予報は機体が飛行できる風速の3.0m/sを切っていたが、岸壁上で風速を計測した結果3.0~5.2m/sと予報よりも強く風が吹いていた影響によるものである。

そこで、床版下の風速を計測したところ、1.0m/sを切っており、回収用のポートで床版下に入り込みそこから直接離陸する計画に変更した。

表3-1 ドローンのスペック

名称	IBIS
開発	Liberaware
サイズ	191*179*54mm
重量	185g
飛行時間	10分
カメラ	IBIS専用CMOSセンサー (FHD1980*1080)
画角	水平131° 垂直80° 対角144°
照明	LED照明

表3-2 岸壁の条件及び当日の気象状態

構造形式	直立式栈橋岸壁
潮位	H. W. L=C. D. L+1.8m L. W. L=C. D. L+0.0m
床板と水面の間隔	床版の底面高さ=C. D. L+2.3m 潮位=C. D. L+0.5m~1.6mであることから 0.7m~1.8m 調査時間8時~16時における干満差考慮
風速	3.0m/s~5.2m/s(上部工下面は1.0m/s以下)



図3-1 位置図

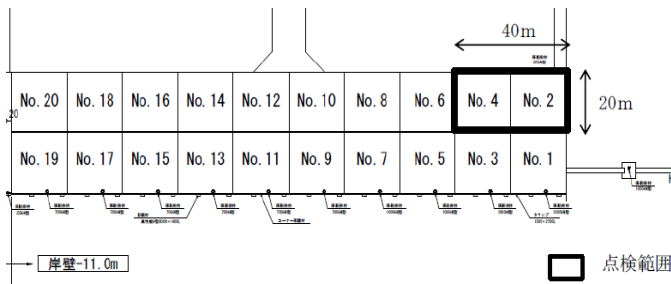


図3-2 平面図



写真3-1 ドローン本体及びプロポ

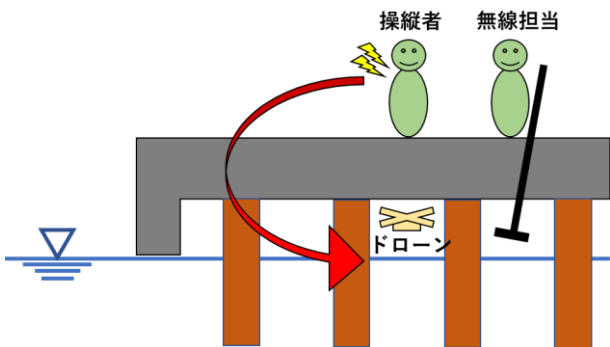


図3-3 空中ドローンによる調査



写真3-2 空中ドローンによる撮影状況

今回の調査で得られたドローンによる撮影能力(撮影時間、撮影面積)について表3-3の通り整理する。また、床版のNo.については図3-4の通りである。本調査では、床版一面を撮影する毎に機体を回収、バッテリーを充電し、再度フライトを実行したが、最大飛行可能時間は10分であり、ドローン飛行体制が2機あればフライトの間、複数個のバッテリーを充電、交換することで、棧橋上から進入しても15分で50m<sup>2</sup>程度を調査可能と考えられる。

画素数については、写真4-1の通り、1画素当たりの寸法が0.63mmであると確認できた。よって維持管理技術マニュアルに記載のある3mm程度のひび割れ幅であれば十分に確認できる事を確認した。

#### 4. 実験結果の考察

本実験の点検能力は表4-1、積算単価は表4-2のとおりであった。1日の稼働時間を6時間とした場合、能力及び積算単価共に従来の目視点検と同程度の結果が得られた。

表3-3 ドローンの撮影能力

撮影No	撮影時間	撮影時間間隔	撮影面積
No. 4-2	1分57秒	14分	36m <sup>2</sup>
No. 4-3	2分16秒	11分	36m <sup>2</sup>
No. 2-1	2分6秒	12分	36m <sup>2</sup>

※撮影時間間隔についてはバッテリー交換時間、機体セッティングなど、準備にかかる時間を全て含んだもの

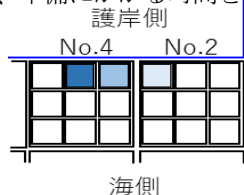


図3-4 床版No

表4-1 空中ドローンの点検能力

項目	1時間当り	1日6時間当り
床版下	200m <sup>2</sup> /h	1,200m <sup>2</sup> /日 (0.97)

※()書きは参考値(1,240 m<sup>2</sup>/日)の積算基準<sup>3)</sup>との比率

表4-2 空中ドローンによる点検単価

項目	標準積算(ボート)	ドローン使用
価格	130 円/m <sup>2</sup>	128 円/m <sup>2</sup>



写真4-1 画素数計算

課題として、今回の調査では、棧橋下にボートで進入し、そこからドローンを離発着させたが、棧橋上部から床版下面に入り込むには穏やかな気象状況でない限り難しいことが確認できた。気象が安定しない場合は、例えば棧橋上部から簡易な発着場を床版下まで吊り下げてそこから離陸するなどの対策が必要である。

またGPS環境がない床版下の調査は無線エクステンダーと呼ばれるアンテナを床版下に入れる必要があり、アンテナから100m以上離れると安定した飛行が難しいため、前垂れが水中に没している棧橋への適用が難しい点等の課題も確認できた。

今後について画素数については目視による点検と同じレベルの確認が出来る程度の品質を得ることが出来たことから、本調査にて撮影した写真をSFMによる三次元データ化することにより、ひび割れ幅の点検を行い、点検で得られたデータをCIMモデルの属性情報に格納することで、変状を定期的に点検し、許容値以上のひび割れを早期に発見することが可能になると考えられる。

#### 5. まとめ

実海域実験より標準的な点検機器として空中ドローンを用いても、目視点検と同程度のレベルで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。また水中ドローンは波浪による動揺の影響から、当該岸壁の調査には適さないと判断した。課題も確認できたが、ドローン等の点検機器の導入により作業員等を省人化でき、安全性や効率性の向上を図ることができると考えられる。現在ドローン等を施設の維持管理に適用した事例は港湾施設ではまだ少ない。本実験の結果から実海域での空中ドローン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認知させ、さらに今回撮影した写真から3次元モデルを作成し、CIMモデルに属性情報として格納す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今後の施設点検の安全化・効率化までの与力になれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 中澤祐飛、西森忍、岡智哉、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(四国地方整備局管内技術研究会論文集)
- 2) 港湾の施設の維持管理技術マニュアル、沿岸技術研究センター、沿岸技術ライブラリーNo. 49
- 3) 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.mlit.go.jp/kowan/kowan\\_fr5\\_000019.html](https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000019.html) (2023年6月5日アクセス)