

# UAVを活用した防波堤(二重円筒ケーソン式)の調査点検の可能性について

竹下 航<sup>1</sup>・山野 智志<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 舞鶴港湾事務所 保全課 (〒669-6544 兵庫県美方郡香美町香住区香住1702)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 舞鶴港湾事務所 保全課 (〒669-6544 兵庫県美方郡香美町香住区香住1702)

柴山港は兵庫県北部に位置し、冬季における日本海の厳しい海象条件に対し、沖合を通航する貨物船の緊急避難用の港として位置付けられ、防波堤と避難泊地の整備を行っている。防波堤は大水深かつ冬期風浪による厳しい波浪に耐えるため、二重円筒ケーソン式という特殊な構造が用いられた大規模なコンクリート構造物である。しかし、1号函据付から20数年経過し、劣化部分が確認されるなど、継続的な維持管理のための調査点検が必要となっている。そこで、沖合防波堤上での安全かつ確実な調査点検手法のひとつとして、無人飛行機(UAV:Unmanned Aerial Vehicle)を用いた調査点検の可能性について報告する。

キーワード 柴山港, UAV, iConstruction, 維持管理

## 1. はじめに

兵庫県北部、日本海に面した柴山港は、海岸線の入り組んだ天然の良港であり、カニ等の水産資源の漁業基地となっている。また、近年においては、多様な地形・地質・風土と人々の暮らしが体験できる山陰海岸国立公園<sup>1)</sup>として、京都府、兵庫県、鳥取県の民間団体や行政機関が連携<sup>3)</sup>し、ジオパーク活動を進めることによって、観光地としても脚光を浴びている。

柴山港の位置する日本海沿岸海域は、北日本～西日本～九州を結ぶ重要な航路筋であり、航行船舶も多い海域である。一方、冬季は気象海象条件が非常に厳しく、柴山港は、突発的な荒天状況下において船舶が安全に避難する場所である“避難港<sup>4)</sup>”として位置付けられており、港内静穏度を確保するための防波堤や、船舶が港内で避難するための泊地の整備を行っている。図-1に柴山港の整備計画を示す。2017年現在、泊地の浚渫は完了し、防波堤の計画延長450mのうち、240mまで完了している。

柴山港の防波堤は、図-2に示すように、外洋に面した沖合に整備されており、大水深かつ冬期風浪による厳しい波浪に耐えることを前提とした、二重円筒ケーソン式防波堤を採用している。また、図-3に示すように、1函あたりの大きさは直径30m、高さ26.5m、重量約14,000tであり、大規模かつ特殊な構造物となっている。二重円筒ケーソンの特徴としては、波を曲面で受けるため、全作用波力を低減できることや、壁体の開口部により、反射波を抑えることができることなどがあげられる。

しかしながら、1号函据付から既に20年数年が経過しており、劣化箇所が確認され、補修が必要な所も出てきている。今後の継続的な維持管理のためには、調査点検が必要となるが、沖合かつ高所での作業となるため、より安全かつ確実な調査点検手法が求められている。

本報告では、その手法のひとつとして、デジタルカメラを搭載した無人飛行機(以下UAV:Unmanned Aerial Vehicle)による調査点検の可能性について検証するため、陸上製作ヤードでのテスト撮影及び撮影画像とSfM(Structure from Motion)ソフトによる三次元モデルの作成を行った。



図-1 柴山港の整備計画



図-2 外防波堤(西)現況

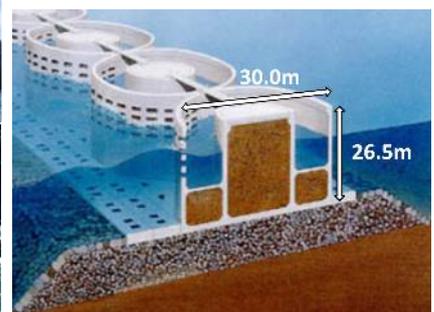


図-3 防波堤断面イメージ

## 2. テスト撮影の概要

### (1) テスト撮影の実施場所

テスト撮影は、二重円筒ケーソンの製作場所である、陸上製作ヤードにて、過年度工事にて製作済のケーソン(9号函)を用いて行った(図-4)。

### (2) 使用したUAVシステム

本撮影に用いたUAVは、Amuse Oneself社製のα-UAVである(図-5)。本UAVは、GNSS制御にて自動での飛行・撮影ができる機種である。UAVに搭載したカメラは、Panasonic社製のGX7である。UAV本体およびカメラの諸元をそれぞれ表-1, 2に示す。



図4 陸上製作ヤード



図-5 UAV姿図



図-6 カメラ

表-1 UAV諸元

項目	諸元
重量	3.6kg
大きさ	1.0m×1.0m×0.3m
ペイロード	3.5kg(バッテリー含む)
飛行可能時間	約20分
自動飛行範囲	水平:半径1,000m, 高さ300m
耐風性	約6m/s

表-2 カメラ諸元

項目	諸元
重量	489g(バッテリー, メモリーカード含む)
センサー	4/3型 Live MOSセンサー
画素数	1,684万画素
焦点距離	42.5mm(35mm版換算85mm)

### (3) 撮影手法の検討

今回の撮影では、カメラをUAVの下部に斜め45°の角度をつけて設置し、斜め撮影を行った(図-7)。また、UAV飛行の安全性を考慮し、ケーソン天端の20mの高さから撮影した。このため、カメラからケーソンまでの距離はおよそ28mとなり、画像の解像度約2.5mmを確保するため、撮影には焦点距離42.5mmのレンズを用いた。

### (4) 撮影コースの設定

撮影のコースは、ケーソンの外壁だけでなく、内外円筒の間も撮影できるように、斜め中心向きと斜め外向きに撮影できるコースを設定し、4回のフライトを行った。

撮影位置をプロットした飛行軌跡を図-8に示す。

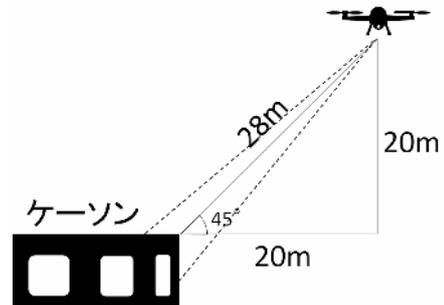


図-7 斜め撮影イメージ



(Flight 1)

(Flight 2)



(Flight 3)

(Flight 4)

図-8 飛行軌跡

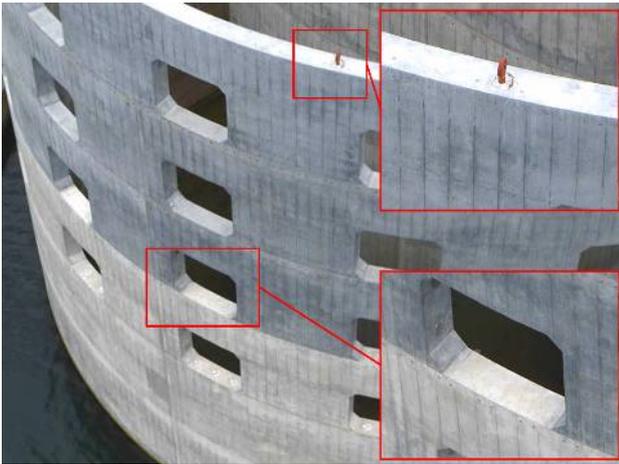


図-9 撮影写真

### 3.撮影結果

#### (1) 撮影した写真

今回の撮影は、2016年7月21日に実施した。撮影した写真を図-9に示す。吊り筋や施工目地が明瞭に確認できることが分かる。

また、港湾の施設の点検診断ガイドライン<sup>9)</sup>において、ケーソンの劣化度の判定基準として、「幅3mm程度のひび割れがある。」と定められており(表-3参照)、今回撮影した解像度2.5mmの画像から、点検診断ガイドラインに沿った調査点検ができることが分かる。

#### (2) SfMソフトによる画像解析

撮影した写真画像とPix4D社製「Pix4Dmapper」を用いて、各フライトの解析及び三次元モデルの作成を行った。

三次元モデル化の工程は、まず撮影された複数枚の画像から、ソフトにより自動生成された特徴点(キーポイント)のマッチングを行う。この特徴点とGNSSによる画像の撮影位置情報を用いて、三次元点群データを作成していく(図-10参照)。この作業により作成した点群データを高密度化し、三次元モデルを生成する(図-11参照)。また、撮影した画像をテクスチャとして貼り付けることで、より鮮明な三次元モデルを作成することもできる(図-12参照)。

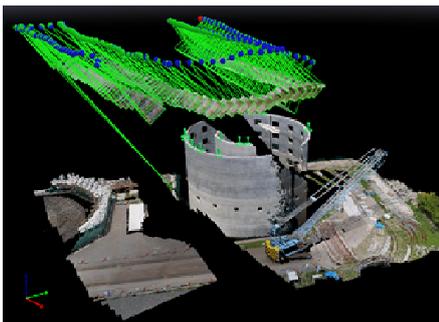


図-10 Pix4Dによる処理結果

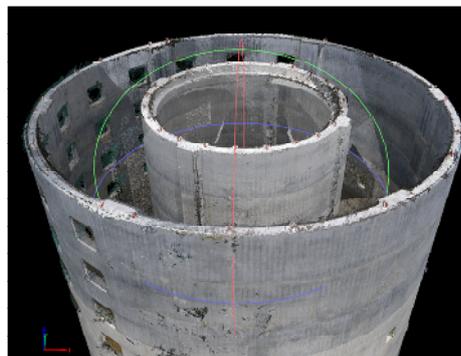


図-11 三次元点群データ

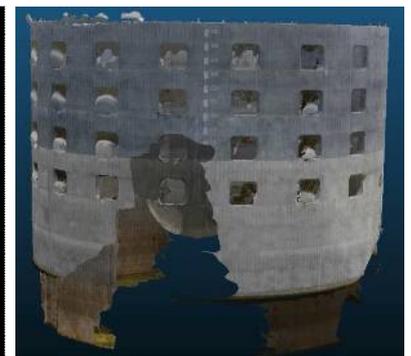


図-12 テクスチャ貼付結果

表-3 ケーソンの劣化度の判定基準

対象施設	点検診断項目	点検方法	劣化度の判定基準	
ケーソン式防波堤	コンクリートの劣化、損傷	目視 ・ひび割れ、剥離、損傷、欠落 ・鉄筋露出 ・劣化の兆候	a	中詰材が流出するような穴空き、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

表-4 防波堤の移動、沈下の劣化度の判定基準

対象施設	点検診断項目	点検方法	劣化度の判定基準	
ケーソン式防波堤	移動	目視 ・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
			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
	沈下	目視 ・段差	a	著しい沈下(1m程度)が確認できる
			b	隣接ケーソンとの間に数10cm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

しかし、Sfmソフトによる画像マッチングの場合、複数の画像を合成し処理しているため、ひび割れのような微細な状況は、処理の過程で失われてしまい、三次元モデルから微細なひび割れ等の確認ができないという課題があることが分かった。

#### (3) 天端高さや水平性の確認

解析結果より、設置されたケーソン天端の水平性を確認した。結果を図-13に示す。また、表-4にガイドラインにおける、防波堤の移動、沈下の劣化度の判定基準を示す。

今回の撮影では、ケーソン天端の水平性を高い精度で確認することができた。また、得られた三次元データから、任意の点の三次元座標を求めることができるため、現地に標定点を設置して撮影を行えば、ケーソンの沈下量、水平移動量についても確認することができる。

このことから、得られた三次元データを用いて、防波堤の移動、沈下の劣化度についての調査点検を行うことができると言える。

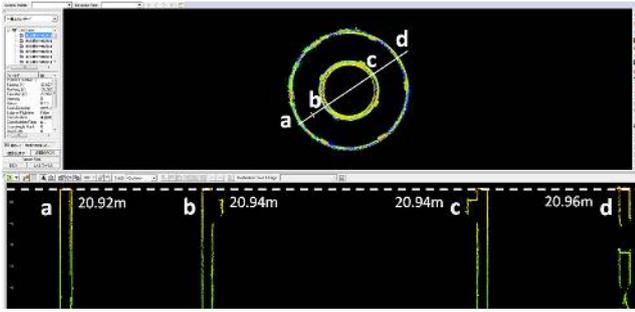


図-13 ケーソンの水平性確認

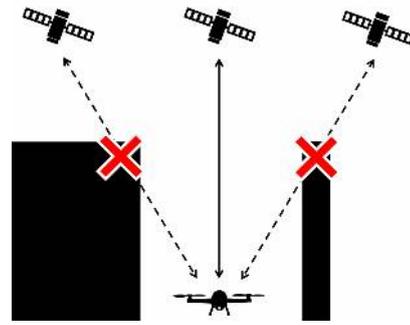


図-14 UAVのGNSS衛星補足イメージ

#### 4. 課題と活用方法

まず、先に挙げた三次元モデル化の課程における、ひび割れ情報の損失という課題がある。これについては、得られた生画像から目視にて確認することはできるが、現状では処理に時間を要してしまう。画像処理ソフト等で処理するためには、画像内に基準点が含まれている必要があり、ケーソン壁面にマーキングを施す必要がある。これについては、今後検討していく必要がある。

UAVを用いることによる課題としては、以下の2つの点が挙げられる。1つ目に撮影場所が沖合にあることから、離発着場所の確保についての課題がある。近隣の島とした場合、飛行距離の増大による、撮影時間の短縮や墜落のリスクがある。また、ケーソン上を離発着場所とした場合には、ケーソンの鉄筋が磁化していることが考えられ、UAVの磁気センサーに与える影響を考慮する必要がある。2つ目に二重円筒内の撮影についての課題がある。UAVが円筒内に降下した場合、図-14に示すように、上空視界が狭まることから、GNSS衛星の補足数が不足し、位置精度の低下や自動操縦ができなくなるといった影響がある。

1つ目の課題については、UAVの技術は近年急速に進歩しており、今後解決されることが想定される。また、2つ目の課題については、橋梁点検用のポールカメラが既に実用化されており、これによる撮影と、UAVによる撮影を組み合わせることで、円筒内等、UAVによる撮影が困難な箇所についても必要なデータを得ることが可能であると考えられる。

今回は、UAVを用いて気中部分の確認を行った。一方で、防波堤の調査点検は水中部についても必要である。これについて、現状では潜水士による目視調査や水中ビデオカメラによる調査が行われているが、今後は、無人水中航走体(UUV: Unmanned Underwater Vehicle)による点検も可能になると思われ、水中部についても、安全な調査点検の可能性はある。

#### 5. おわりに

本テスト撮影では、UAVを用いてケーソンの劣化状況確認のための撮影及び解析を試みた。撮影した解像度2.5mmの画像とSfM技術を用いた三次元モデルの作成を行い、以下の結論を得た。

- UAVとデジタルカメラを用いて、調査点検に必要な画像を撮影できることが確認できた。
- ケーソン天端から20mの高さでの撮影で、ケーソンの施工目地や吊り筋が明瞭に確認できた。
- 得られた画像は解像度2.5mmであり、3mm程度の大きさのものであれば目視にて判別が可能である。
- 解析結果から、ケーソンの水平性について、精度よく捉えられることが確認できた。

以上の結論から、UAVを用いて、沖合防波堤上での安全かつ確実な調査点検の可能性について、確認することができた。

なお、本論文作成にあたり、国際航業株式会社にご協力いただきました。ここに深く謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 環境省HP：山陰海岸国立公園 (<https://www.env.go.jp/park/sanin>, 2015.5)
- 2) 先山徹 他：山陰海岸におけるジオパーク活動—大地と暮らしのかかわり— (地質学雑誌, 118, pp.1-20, 2012)
- 3) 山陰海岸ジオパーク推進協議会HP：山陰海岸ジオパーク (<http://sanin-geo.jp/>, 2017.5)
- 4) 港湾法第一章第二条9項、港湾法施行令第一章第一条
- 5) 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】