

柴山港二重円筒ケーソン式防波堤の維持管理手法の検討

梶谷 卓美*・佐藤 昌宏**・久保田 崇仁***・山野 智志****・安達 昭宏*****

- * (一財) 沿岸技術研究センター 調査役
- ** (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主席研究員
- *** (株) 日本港湾コンサルタント 関西支社 技術第二部 技術第二部長
- **** 国土交通省 近畿地方整備局 舞鶴港湾事務所 保全課長
- ***** 国土交通省 近畿地方整備局 舞鶴港湾事務所 所長

柴山港二重円筒ケーソン式防波堤は、荒天時に航行船舶が安全に避難できる水域を確保する目的で整備されている。防波堤は大水深かつ冬季風浪による厳しい波浪に耐えるとともに山陰海岸国立公園であり、景観に配慮する必要があるため、二重円筒ケーソンという特殊な構造を採用している。この二重円筒ケーソンという特殊な構造のため、据え付け後に点検診断を行うことは容易ではない。そこで、既設二重円筒ケーソン式防波堤の安全で効率的な維持管理を目的として実施した点検診断方法について報告する。

キーワード：二重円筒ケーソン式防波堤，計測調査，維持管理計画，プレストレスト・コンクリート

1. はじめに

柴山港二重円筒ケーソン式防波堤は、平成6年に1号函が設置されてから、現在までに9函が設置されており、事業期間が当初想定していた期間より長期化していることから、既設の二重円筒ケーソン式防波堤に対して適切な維持管理を実施する必要がある。

柴山港二重円筒ケーソン式防波堤は、一般的なケーソン式防波堤とは異なり、その二重円筒ケーソンの形状は底版の上に鉛直の二重円筒壁を有する構造である。また、外円筒壁上部に開口部を設けて透過性とし、不透過な内円筒との間をドーナツ状の遊水部とし、外・内円筒壁にはPC構造を採用している。

一般的なケーソン式防波堤の点検診断については港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン¹⁾が適用できる。しかし、この二重円筒ケーソンの形状が特殊でPC構造を採用しているため、一般的なケーソン式防波堤の点検診断方法をそのままでは適用できない。また、継続的な維持管理のためには、調査点検が必要になるが、沖合かつ高所での作業となるため、より安全で効率的な調査点検手法が求められる。

そこで、柴山港二重円筒ケーソン式防波堤の点検方法において、気中部の点検機器として無人航空機（以下UAV：Unmanned Air Vehicle）と橋梁点検ロボットカメラの使用を検討した。水中部については潜水土による点検を実施した。また、診断方法としては、PC構造部材については劣化度の判定基準として「ひび割れの有無」に着目した判定を実施した。設置後24年が経過している1号函を対象に点検診断を実施した。その概要について以下に報告する。

2. 施設の概要

2.1 施設位置及び標準断面図，現況写真

柴山港二重円筒ケーソン式防波堤の位置図，標準断面図をそれぞれ図-1，図-2に示す。また，現況写真を写真-1～4に示す。



図-1 位置図

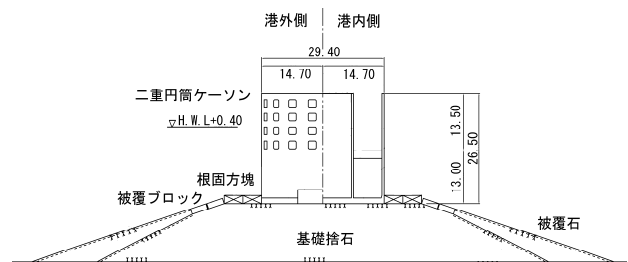


図-2 標準断面図



写真-1 二重円筒ケーソン式防波堤



写真-2 荒天時の状況



写真-3 二重円筒ケーソン構造の概要



写真-4 遊水部の状況

(写真-1~4 は国土交通省近畿地方整備局舞鶴港湾事務所 HP より引用)

3. 現地踏査

3.1 UAVによるテスト飛行

現地調査に先立ち二重円筒ケーソンについて UAV(機種: PHANTOM4 PRO)を用いたテスト飛行を実施した。

① 二重円筒ケーソンの磁場による影響

二重円筒ケーソン上においてはケーソン内の鉄筋による磁場の影響が強く、直接、内円筒天端上から UAV を離着陸させることは出来なかった。しかし、UAV を手で持ち上げた状態(磁場の影響を緩和すること)で離着陸させることは可能であった(写真-5 参照)。



写真-5 UAV 作業状況

② 開口部(窓部)の影響

二重円筒ケーソンの港外側には開口部(窓部)が 18 箇所ある。開口部付近は風の乱れが強く UAV の操作にも影響が出る。しかし、風速 5m/s 以下程度であれば、開口部付近においても UAV の飛行は可能であることを確認した。

③ 遊水部内での飛行

UAV が遊水部内に降下する場合 GNSS 衛星の補足数が不足し位置精度の低下や自動操縦が難しくなることが考えられた。しかし、今回、UAV を目視確認しながら操縦を行うことによって飛行することが可能であった。

3.2 UAV と橋梁点検ロボットカメラによる比較

UAV と橋梁点検ロボットカメラについて、陸上ヤードにて据付前のケーソンを用い模擬ひび割れを設置し、撮影可能かどうか、また、どの程度までひび割れが確認できるかの事前検討を行った。

その結果、UAV については動画撮影において良好な作業条件(風速 5m/s 以下)であれば 0.2 mm 程度以上のひび割れが確認可能であることがわかった。UAV の撮影は移動や揺れにより、動画の撮影解像度は落ちるが、作業効率の点から動画による目視点検が最適と考えられる。

また、橋梁点検ロボットカメラは、静止画においてクラックスケールを画面内に内挿でき 0.2mm~0.7mm 程度のひび割れ幅を確認できた。しかし、手すり等の固定装置が必要であり、また作業効率はよくなかった。

3.3 水中部の状態

事前調査で内円筒天端から水中カメラを投入し、二重円筒ケーソンの外円筒内壁及び内円筒壁の状況を確認した。その結果、大量の藻やフジツボが多数付着していることがわかった(写真-6 参照)。この状態でひび割れの確認を行うことは不可能で、潜水士等による付着物のケレンが必要であることがわかった。

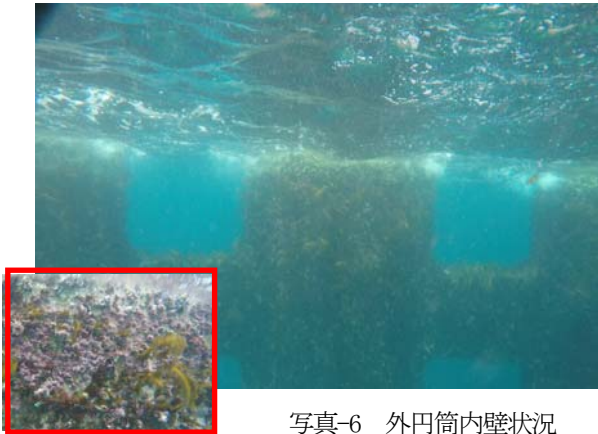


写真-6 外円筒内壁状況

4. 点検方法について

二重円筒ケーソン式防波堤は、ケーソン部がPC構造で有りひび割れの有無の確認が重要であること、足場の利用が困難な状況にあること、さらに、劣化状況を早期に把握する必要があることから、劣化状況を適切に判断できる最適な調査方法を提案する目的で、気中部と水中部の目視調査を実施した。

4.1 気中部の目視調査

二重円筒ケーソン式防波堤の気中部の目視調査においては、UAVと橋梁点検ロボットカメラを用いた目視調査、ならびに船上からの目視調査も実施した。その結果、ひび割れの有無の目視調査はUAVによる調査方法が、安全性、効率性の観点から、最適と判断した。なお、UAV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個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²⁾。

4.2 水中部の目視調査

二重円筒ケーソンの水中部の開口部付近の流れが速い点を考慮し、構造上留意すべき(部材応力が大きい箇所や水中部のPC定着部など劣化が生じた場合に構造上懸念のある)箇所に調査個所を絞って、ケレン個所を設定した。その結果、ケレンを実施した個所について変状は確認されていない。

なお、海生生物が強固に付着しており、完全除去を行うことは作業自体が困難で、手間・コストともに莫大になると考えられる。通常、同じような自然条件化にあり、

通常ケーソンの水中部において目立った変状・劣化は生じにくいと言われている。

4.3 点検方法

気中部に関してUAVは、船上からの目視調査を含めた調査が可能であるため、全体的に目視調査が実施できる方法として適している。今後、UAVで全体を調査しひび割れが確認された場合、補修か詳細調査の必要性を検討し、詳細調査の場合は、進行性のひび割れかどうかを判断するため、橋梁点検ロボットカメラ等にてひび割れの測定を行うのが最適と考えられる。また、水中部における本土工の点検に関しては、調査の必要性の有無について検討する必要があると考える。

5. 診断方法について

現在、事業期間が当初想定していた期間より長期化していることを踏まえ、既設の二重円筒ケーソン式防波堤の適切な維持管理を行うことを目的に、点検診断方法の検証を行う。

5.1 点検診断の実施

(1) 判定基準

対象である二重円筒ケーソンの構造形式は表-1に示すように、5号函以降の内円筒鉛直方向を除き、PC構造となっている。このため、円筒壁全体として「ひび割れを許容する」ことは壁体の劣化に繋がると考え、「ひび割れを許容しない構造」とした。

また、本土工(壁全体、ピラスター部及び定着部、円筒壁上面、窓部、水中部)における部材の劣化度の判断基準として、「ひび割れの有無」についての判定を実施するものとした。本土工における判定基準を表-2に示す。なお、本土工以外の判定基準に関しては、文献³⁾に沿った一般的な防波堤の診断方法を準用する。

表-1 各ケーソンの構造形式一覧表

函体番号	外円筒：円周方向 内円筒：円周方向	外円筒：鉛直方向	内円筒：鉛直方向
1, 2号函	フルプレストレス	フルプレストレス	フルプレストレス
3, 4号函	パーシャル プレストレス	パーシャル プレストレス	パーシャル プレストレス
5号函以降	パーシャル プレストレス	パーシャル プレストレス	RC構造

表-2 本土工における判定基準

部材の劣化度	部材の劣化度の判定基準	備考
a	ひび割れが確認できる	ひび割れが発生した状態の部材の性能が著しく劣化している状態とする。
b	水シミ、エフロレッセンスが確認できる	ひび割れ前の「水シミ」や「エフロレッセンス」などの水の浸透に関する変状とする(気中部のみ)
c	-	-
d	変状が確認できない	-

(2) 劣化度判定と性能低下度の評価

二重円筒ケーソン式防波堤における劣化度の判定及び性能低下度の評価における実施単位は、一般的なケーソン式防波堤を参考に、表-3 の通り劣化度判定の実施を考えた。ここで、窓部付近についてはすでに劣化が進んでいる部分も見受けられ、施設全体の劣化に直接的に影響を及ぼすことは少ないと考えⅡ類に設定した。

二重円筒ケーソンの外円筒の延長は約90m×2（外壁、内壁）、内円筒の延長が約50m程度で、全体として250m程度の延長となり1函毎の表面積は非常に広い。そのため、判定個所の外円筒を12分割、内円筒を8分割、高さ方向に2分割と細分化し評価した。図-3 に二重円筒ケーソンの細分化モデル図を示す。

また、性能低下度の評価に関しては、文献⁴⁾に記載のある係留施設の評価判定の準用が妥当と考え評価した。今回、本体工における各部材の判定結果として表-4 が得られた。

表-3 本体工における診断方法

施設の種類等	分類	部材の劣化度の判定 (a, b, c, d)	劣化度判定 (a', b', c', d')	総合判定 (A, B, C, D)
防波堤	二重円筒ケーソン式	以下の部位に細分化	ケーソン1函毎	1施設毎(今回は判定無し)
		Ⅰ類 ・壁全体 ・ピラスター部及び定着部付近 ・中間床板部、構造上懸念される箇所 ・円筒壁上面		
		Ⅱ類 ・窓部付近 ・水中部		

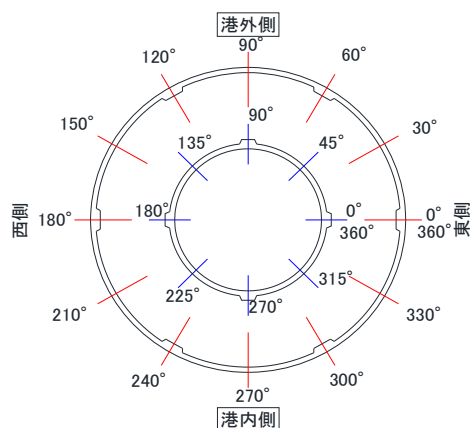


図-3 二重円筒ケーソンの細分化

表-4 本体工における各部材の判定結果

本体工	部位毎の判定
壁全体	d'
ピラスター部・定着部	b'
円筒壁上面	b'
窓部	a'
水中部	d'

6. まとめ

二重円筒ケーソン式防波堤の1号函を対象として気中部はUAVを用い、また、水中部は潜水土により点検と診断を実施した。その結果、以下の結論を得た。

- ・UAVによる動画撮影は良好な作業条件(風速5m/s以下)で可能であり、コンクリート表面に生じている0.2mm程度以上のひび割れ確認が可能である。
- ・ひび割れが確認され、経過観察が必要な場合には橋梁点検ロボットカメラ等によるひび割れ幅の測定を行うのが最良と考えられる。
- ・水中部に関して変状は特に見られなかった。水中部のコンクリートの劣化は生じにくいことが一般的に判明しており、今後は調査計画を立案する際、手間・コスト等も考慮に入れる必要がある。
- ・診断方法としては、本体工に関しては延長が長いので細分化を実施し、各部材毎に評価を実施した。本体工の各部材毎の判定結果として表-4が得られたが、今後さらに検討していく必要がある。

7. おわりに

港湾施設は厳しい自然条件下に置かれることから、部材の性能低下が生じる場合もある。今後ともに、維持管理の重要性はますます高まっており、如何に安全・効率的に維持管理を行うかが重要となる。

今回、最初に設置された1号函について点検診断を実施したが、残りの既設二重円筒ケーソンについても点検診断を進めて行くことにより、さらにより良い点検診断方法を確立する必要がある。

謝辞

本報告は、近畿地方整備局舞鶴港湾事務所発注の柴山港二重円筒ケーソン式防波堤維持管理手法検討業務の成果の一部をまとめたものである。検討にあたっては、港空研・構造研究グループ 加藤グループ長、川端主任研究官から貴重なご意見・ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 港湾局:港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン, 平成27年4月
- 2) 野上周嗣, 山本幸治, 加藤絵万, 田中豊:マルチコプターを利用した港湾施設・海岸施設の点検に関する検討, 港空研資料, No.1325, 2016.6
- 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, 平成26年7月
- 4) 加藤絵万, 川端雄一郎, 岩波光保:係留施設の機能低下評価手法に関する研究, 港空研報告, 第51巻, 第1号, 2012.6