

『無線式 LAN ボート(仮称)』を用いた 港湾構造物の点検・診断システム

五洋建設株式会社 本社 船舶機械部 本山 昇

国内の港湾構造物は、長きにわたり我が国の産業の発展を支えてきた一方で、近年では老朽化が深刻な問題となっており、早急に適切な維持管理を行う必要がある。しかしながら、膨大な施設数と点検・調査に従事する労働者不足などの課題を抱えており、従来手法より効率的・効果的な維持管理手法の構築および社会普及が強く求められている。これらの背景から、当社は港湾構造物の新たな維持管理手法として『無線式 LAN ボート(仮称)』を用いた港湾構造物の点検・診断システムを開発した。本報では、システムの概要と、実際の栈橋に適用し、システムの有用性について検証を行った結果を報告する。

1. はじめに

国内の港湾構造物は、老朽化が進行しており、2030年には建設から50年以上経過した施設が60%以上になることが予想されている。効率的・効果的な維持管理手法の構築および社会普及は、喫緊の課題である。維持管理を行っていく上で、施設の現況を把握するため、目視による点検・調査が基本となる。しかしながら、供用している港湾施設での点検・調査は、潮汐や船舶の接岸状況などによって、作業時間が制約され、十分な作業スペースを確保することが困難である。また、近年では作業に従事する労働者不足といった課題を抱えている。

栈橋上部工の点検・調査においては、専門知識を有する点検者(例えば、海洋・港湾構造物維持管理士やコンクリート診断士などの有資格者)が、小型船に乗り込み、栈橋下部へ進入して、船上からの目視によって上部工下面を観察する手法が一般的である(写真-1)。船上での作業は、航跡波などによる船体の動揺によって受ける身体への負荷が大きく、使用する小型船の手配と点検者の確保には相応の時間とコストが必要である。また、劣化度の診断は、専門技術者が点検・調査によって得られた、ひび割れ図や写真などの情報を基に、4段階(a、b、c、d)の判定基準に沿って目視判定するため、技術者の主観的な評価になり、技術者によって診断結果に差異が生じるといった課題がある。

これらの背景から、専門知識を有する点検者が構造物の下部に進入することなく、点検・調査および劣化診断が可能な、『無線式 LAN ボート(仮称)』を用いた港湾構造物の点検・診断システムを開発した。本報では、開発したシステムの概要と、建設から45年経

過した栈橋に適用し、本システムの有用性について検証を行った結果を報告する。



写真-1 一般的な栈橋下面の点検・調査状況

2. システム概要

本システムは、「無線式 LAN ボート(仮称)」(以下、「ボート」と記す。)によって、構造物の撮影を行う「点検・調査システム」と、それによって得られた構造物の画像を用いて、画像解析によって構造物の劣化診断を行う、「自動劣化度判定システム」の2つのシステムによって構成される。

2-1 「点検・調査システム」

「点検・調査システム」は、これまで小型船上から点検者が目視で行っていた従来の点検・調査手法の代替となる新たな手法である。ボートを遠隔操作し、構造物下部に進入させ、搭載したカメラで撮影することにより、点検者に代わって点検・調査を行うことが可能である。

2-1-1 「無線式 LAN ボート(仮称)」

ボートは、市販の小型ラジコンボートをベースに、カメラや無線機などの各機器を船体に搭載している。全長 2.2m、全幅 1.1m、全高 0.65m、質量約 57kg であり、船首に搭載した操船用カメラの映像を見ながら、陸上より無線遠隔操作することが可能である(写真-2)。構造物を撮影する撮影用カメラは、高性能なジンバル(動揺抑制装置)を介して搭載しており、波浪によるカメラの動揺を抑えて安定した撮影が可能である(写真-3)。また、栈橋下部では船舶接岸時などによって日射が入り難くなる場合があり、施設の構造や状況によって得られる光量は都度異なる。そのため、船体周りには LED 照明を搭載し、撮影環境に適した照度を得ることが可能である。

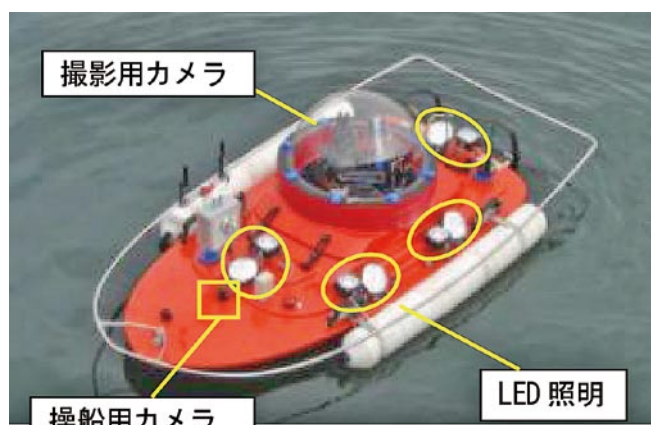


写真-2 「無線式 LAN ボート(仮称)」



写真-3 撮影用カメラおよびジンバル

2-1-2 点検・調査方法

点検・調査は、ボートの操船者と、構造物を撮影する点検者との 2 名体制で行う。操船用カメラと撮影用カメラの映像は陸上のモニタへ無線伝送し、それらの映像を見ながら、操船と撮影を行う(写真-4、写真-5)。なお、構造物の撮影は、撮影用カメラによる動画撮影によって行い、ボートで構造物全体を航行しな

がら撮影を行う。



写真-4 操船用カメラ映像



写真-5 撮影用カメラ映像

2-2 「自動劣化度判定システム」

「自動劣化度判定システム」は、ボートで撮影した構造物の画像から、画像解析によってデータ処理を行い、構造物の劣化診断を行うソフトウェアシステムである(図-1)。また、得られた変状画像や、変状箇所などの関連情報をデータベース化し、劣化の経時変化を管理することで、構造物のモニタリングを行うことが可能である。

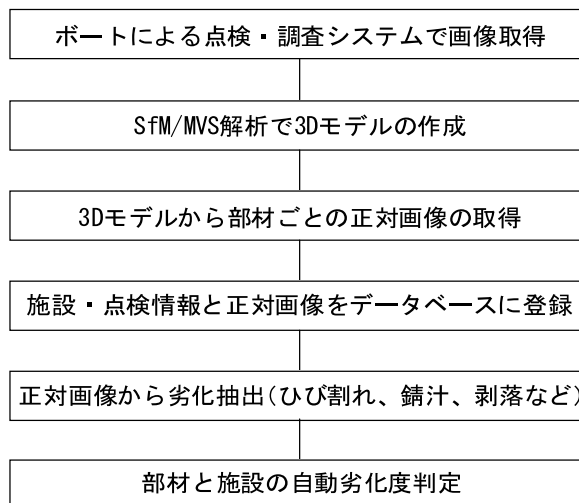


図-1 データ処理フロー

2-2-1 3Dモデルの作成

3Dモデルの作成には、SfM/MVS(Structure from Motion/Multi View Stereo)解析を採用した。SfM/MVS解析とは、異なる位置から撮影した大量の画像を使用して、画像上の特徴点を抽出し、特徴点から複数の画像を結びつけ、3Dモデルを構築する画像解析技術である。これによって、ボートで撮影した動画データから、構造物の大量の静止画を切り出し、SfM/MVS解析によって構造物全体の3Dモデルを得ることが可能である。また、3Dモデルを作成することによって、あおり補正された部材毎の正対画像を得ることが可能となる。

2-2-2 変状の抽出

3Dモデルから各部材の正対画像を抽出し、画像上のひび割れなどの変状の抽出を行う。変状の抽出には、西村ら¹⁾のひび割れ半自動抽出と、ひび割れ近傍の濃淡分布から幅を算定する手法を採用した。半自動抽出とは、撮影した画像上のひび割れのおおよその位置を手動で範囲指定し、範囲内の各画素に含まれる濃淡レベルから、自動でひび割れ部分のみを検出し、それをCAD図として描画する手法である(図-2)。

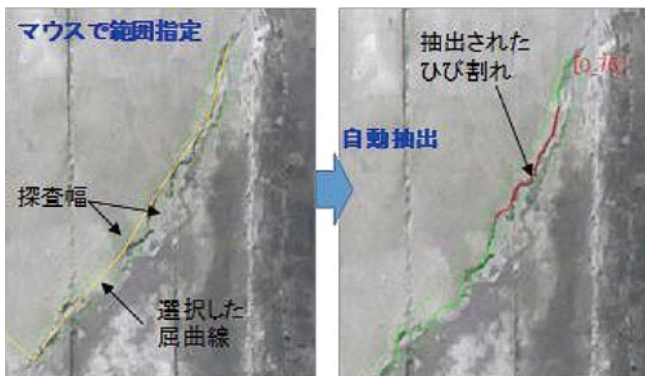


図-2 ひび割れ抽出イメージ

2-2-3 劣化度判定

劣化度の判定は、各部材より抽出した変状から、「港湾の施設の点検診断ガイドライン」²⁾に記載の判定基準に沿って数値基準を設定し、ソフトウェアによって自動で行うことが可能である。また、各部材の劣化度を集計し、構造物全体の劣化診断も自動で行うことが可能である。

3. 現場実証試験

建設から45年が経過した、全長80m×全幅20mの栈橋上部工下面の梁とスラブを対象に現場実証試験を行った(図-3)。

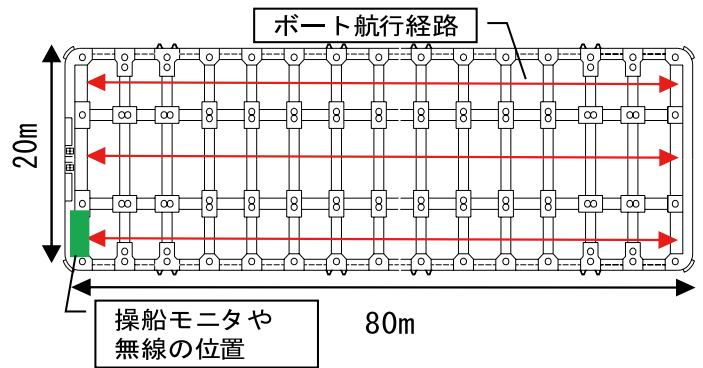


図-3 栈橋平面図および航行ルート

3-1 点検・調査効率

今回行った点検・調査では、2時間で約1,600m²を撮影することが可能であり、1日8時間のうち機器の準備や片付け時間の4時間を除くと、最大4時間/日程度の点検・調査が可能であった。従来手法による点検・調査の標準歩掛³⁾は、1,240m²/日(調査時間は6時間)とされており、今回の結果から想定される1日あたりの点検・調査面積は約3,200m²/日であり、従来手法に比べ効率は約2.5倍程度の向上であった。

3-2 変状抽出結果

ボートによる点検・調査によって得られた画像から、構造物の3Dモデルを作成し、梁とスラブの変状を抽出した(図-4、図-5)。梁部では、かぶりコンクリートが剥落し、鉄筋の露出が生じており、スラブでは、ひび割れや鋼材露出などの変状が確認された。



図-4 調査栈橋上部工下面の3Dモデル(一部)

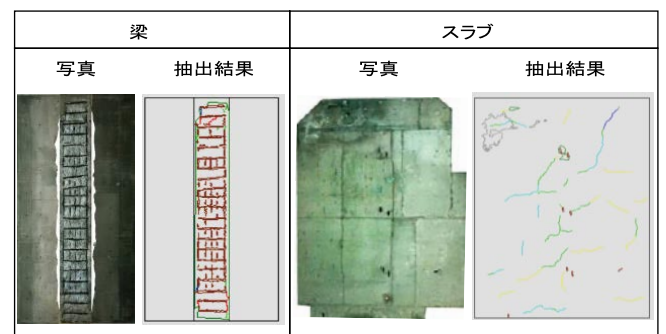


図-5 変状抽出結果の一例

3-3 劣化度判定結果

「港湾の施設の点検診断ガイドライン」の栈橋上部工の劣化度の判定基準を参考に数値設定し、各部材の劣化度を判定した(図-6)。

劣化度判定を行った部材数は、梁が129箇所、スラブが54箇所である。点検・調査を行った栈橋は劣化が進行しており、梁部では約80%がa判定、スラブでは約96%がc判定であり、スラブに比べて梁部は劣化が進行していることが確認された(図-7)。

(梁・ハンチ)

a	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
b	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	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

(スラブ)

a	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
b	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
c	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
d	変状なし

図-6 劣化度の判定基準

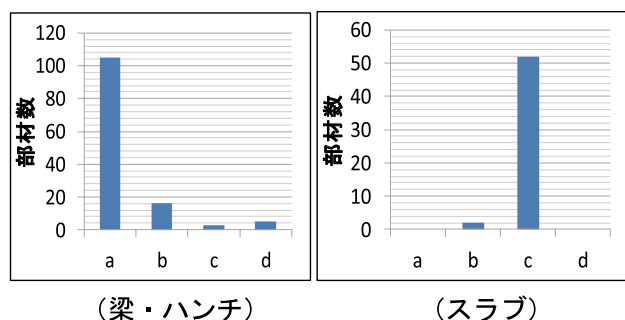


図-7 劣化度の分布

3-4 従来手法との診断結果の比較

試験を行った栈橋では、本試験による調査の1年前に従来手法による劣化診断が行われており、その診断結果と、今回実施した本システムによる診断結果との比較を行った。その結果、スラブについての結果はすべて一致し、梁部では約90%(116箇所/129箇所)の一致であった。約10%異なった原因としては、1年前の調査から本試験による調査の間に劣化が進行したこと

や、鉄筋軸方向のひび割れが長さに関係なくb判定とされていることが考えられる。また、ひび割れ幅3mm以上の抽出不足も原因の一つと考えられ、これは抽出する幅が広すぎることや、光が当たることによってひび割れが白くなり、濃淡差を検出できなかったことが原因であると考えられる。

4. まとめ

今回実施した現場実証試験によって、ボートによる点検・調査では、従来手法に比べて、約2.5倍の効率化が図れることが確認された。また、「自動劣化度判定システム」による栈橋の診断結果は、従来手法の結果と概ね一致することが確認された。今後はさらに調査実績を増やし、データの蓄積を行っていくことで、より効率的・効果的な栈橋の維持管理に繋げていく所存である。

謝辞

本研究は内閣府総合科学技術・イノベーション会議の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人:NEDO)によって実施している。SIPの関係各位、また、現場実証試験フィールドを提供いただいた関係各位に、紙面を借りて謝意を表す。

参考文献

- 1)西村正三、原健司、木本啓介、松田浩：3Dレーザ・デジタル画像を用いた軍艦島計測と損傷図作成、Journal of JSPRS、pp.46-53、2012
- 2)国土交通省：港湾の施設の点検診断ガイドライン【第2部 実施要領】(平成26年7月)、pp.3-34、2015
- 3)国土交通省：維持管理計画書策定のための現地調査積算基準、pp.6、2015
- 4)水野、酒井、小笠原、本山、杉本：ラジコンボートを用いた栈橋下面部の点検・診断システムの開発、第42回 海洋開発シンポジウム(2017)
- 5)一般社団法人日本建設機械施工協会：港湾構造物の維持管理へのICTの活用～無線操作式ボートを用いた港湾構造物の点検・診断システム～、建設機械施工第69巻第9号、pp.51-56、2017.9