

栈橋の調査診断システム「i-Boat」

五洋建設株 技術研究所 土木技術開発部主任 水野 剣一

1 はじめに

国内の港湾構造物は、長きにわたり国民の生活基盤として機能してきた一方で、老朽化が進行しており、効率的かつ効果的な維持管理・更新を実施することが急務である。

港湾構造物、特に栈橋の劣化状態を把握するには、専門知識を有する者が小型船に乗り込み、狭隘な空間で知識を駆使しつつ船上から観察する把握する方法が一般的である。しかし、昨今の人手不足により、技術者の確保が困難である。また、船舶の接岸中や潮間での点検になりやすく、点検時間や作業空間に制約がある。

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、「i-Boat(無線 LAN ボート)を用いた栈橋の調査診断システム」を開発した。

本報では、開発したシステムの概要と、本システムを建設から 45 年経過した栈橋に適用し、その有用性について検証を行った結果を紹介する。

2 システム概要

本システムは、遠隔操作の i-Boat 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、「診断システム」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

i-Boat は、写真-1 に示すように市販のラジコンボートに、撮影用と操作用のカメラ、動揺抑制装置（以下、ジンバルと記す。）、画像伝送無線機や LED 照明などを搭載したものである。全長 2.2m、全幅 1.1m、全高 0.65m、重量 57.5kg であり、栈橋上部工下面と水面との距離が 80cm 程度確保できれば、栈橋下側に進入できる。

操作は、船尾に配備した 2 基のスラスタを無線遠隔操作することで行い、前後方向へ、左右へは回頭させて航行することができる。船体前部に設置した操作用カメラの画像を無線伝送して、栈橋上でリアルタイムに確認しながら操船を行う（図-1 参照）。動力には船体に内蔵したバッテリー

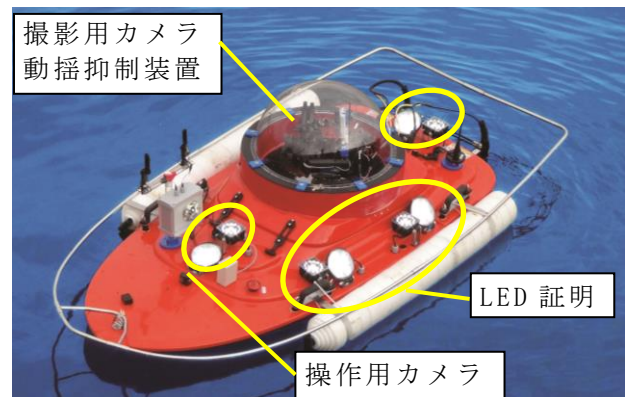


写真-1 i-Boat

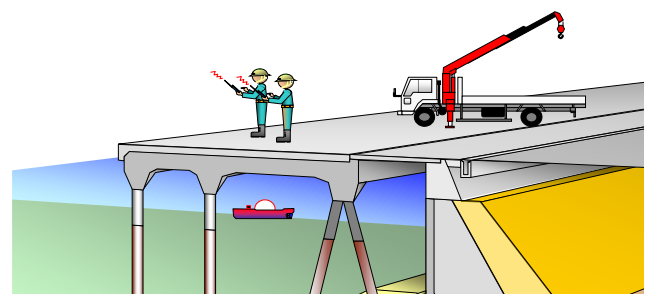


図-1 栈橋下面の写真撮影のイメージ図

を使用しており、油流出の懸念はない。

栈橋上部工下面を撮影するためのカメラをジンバルを介して i-Boat に搭載した。波浪によって船体が動揺してもカメラの動揺量を抑制でき、安定的に栈橋下面を撮影できる。撮影用カメラの動画撮影時の画素数は最大 3,840×2,180 の約 840 万画素である。映像は、画像伝送によって陸上に設置したモニタにリアルタイムで表示される。栈橋下面は、日射が届かず暗い環境にある場合が多いが、12 個の LED 照明により光量を確保した。

2. 2 診断システム

「診断システム」は、i-Boat 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（図-2 参照）。また、専用ソフトウェアで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 3D 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。

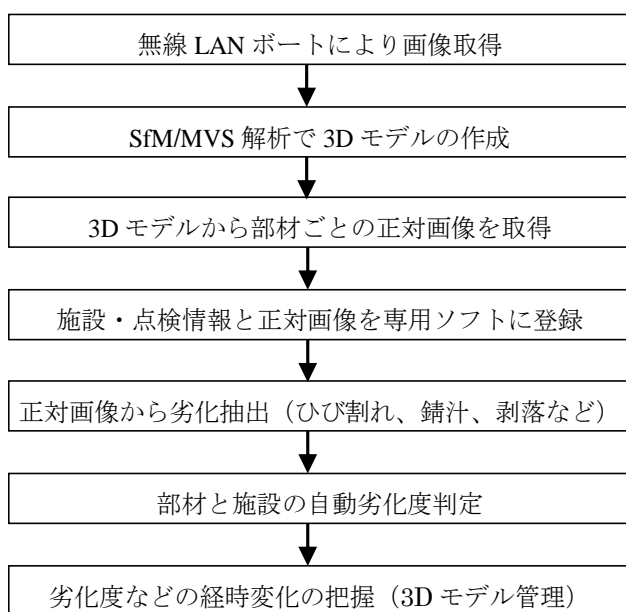


図-2 本システムの診断フロー

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ごと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、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用いている¹⁾。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-3）。

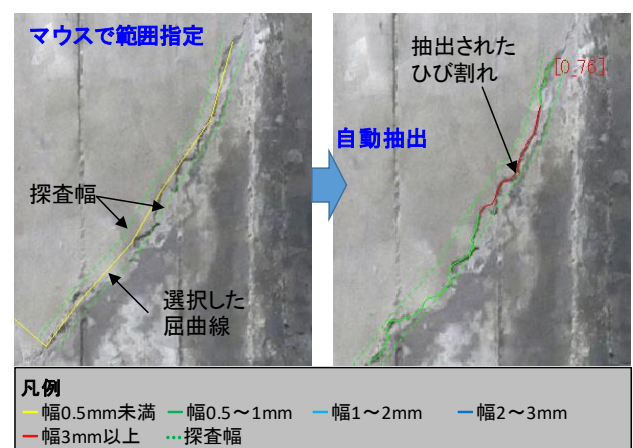


図-3 ひび割れ抽出イメージ

3 現場実証試験

建設から 45 年が経過した、全 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-4, 写真-2 参照）。

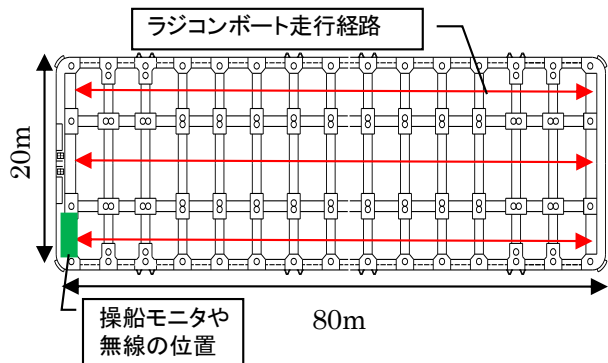


図-4 栈橋平面図および航行ルート

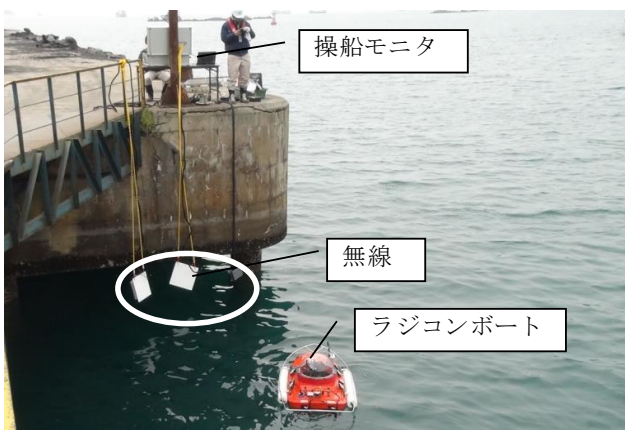


写真-2 現場実証状況

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²⁾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 3D 作成と変状抽出結果

i-Boat で撮影した画像をもとに SfM/MVS 解析で 3D モデルを作成した。作成したモデルを図-5 に示す。撮影は動画によって行っており、モデル作成に使用した画像データは約 1 枚/秒ごとに動画から抽出したものである。画像データは合計で約 2000 枚の画像を使用した。

抽出結果の一例を図-6 に示す。梁については展開図で示している。梁下面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、その劣化を抽出している。また、スラブは、ひび割れ、鋼材露出、遊離石灰を抽出している。

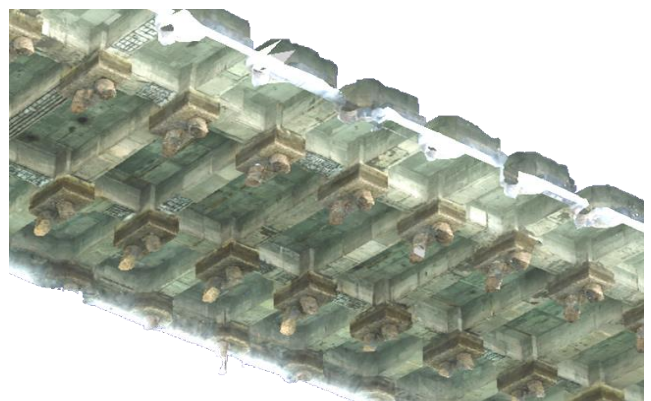


図-5 調査栈橋上部工下面の 3D モデル

梁		スラブ	
写真	抽出結果	写真	抽出結果

凡例

ひび割れ	鉄筋露出	コールドジョイント
幅0.5mm未満	骨材露出	鋼棒
幅0.5~1mm	遊離石灰	剥落
幅1~2mm	浮き	漏水
幅2~3mm	さび汁	その他の損傷
幅3mm以上		

図-6 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」³⁾の栈橋上部工の劣化度の判定基準を参考に数値設定し(表-1 参照)、各部材の劣化度を判定した。3D モデル管理システムによる劣化度判定結果を図-6 に示す。

劣化度判定を行った部材数は、梁が 129 箇所、スラブ 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。

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

表-1 設定した劣化度判定基準

(a) スラブ

a	ひび割れ密度	2m/m ² 以上
	剥落面積	あり(1%以上)
	錆や鉄筋露出面積	50%以上
b	ひび割れ密度	1m/m ² 以上2m/m ² 未満
	錆や鉄筋露出面積	20%以上
c	ひび割れ	密度1m/m ² 以下
	エフロ面積	5%以上
	錆や鉄筋露出面積	20%以下
	その他変状	あり
d	変状	なし

(b) はり・ハンチ

a	幅3mm以上の鉄筋軸方向のひび割れ	あり
	剥落面積	あり(1%以上)
	錆や鉄筋露出面積	50%以上
b	幅3mm以下の鉄筋軸方向のひび割れ	あり
	錆や鉄筋露出面積	20%以上
c	鉄筋軸方向以外のひび割れ	あり
	錆や鉄筋露出面積	20%以下
	その他変状	あり
d	変状	なし

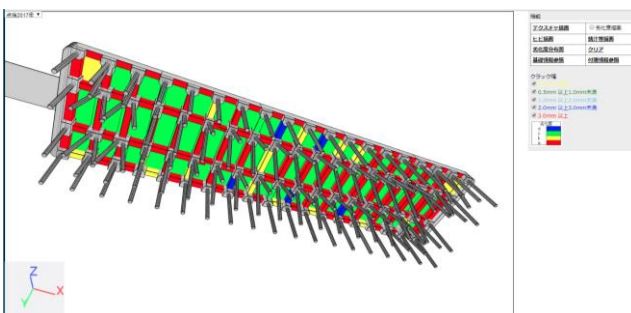


図-6 3D モデル管理による劣化度判定

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。

4. まとめ

今回実施した現場実証試験によって、i-Boat 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：維持管理計画書策定のための現地調査積算基準、pp.6、2015
- 3) 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