

無人船舶を用いた栈橋上部工コンクリート下面の効率的な評価手法の検討

三浦 博之・山本 貴春・木村 信太 (朝日航洋株式会社)

1. はじめに

我が国の多くの社会資本は、高度経済成長期以降の1960年代中盤から1970年代前半に集中的に建設され、老朽化への対応を必要とする施設が年々増加している。港湾施設では、係留施設の58%が今後20年間で建設後50年を迎えることから、海水に接する厳しい自然環境下にある施設の適切な維持管理が求められている¹⁾。また、国は少子高齢化社会に伴う労働力の減少や技術継承、生産性向上の観点からIT等を活用した先端的インフラ維持管理システムの構築に取り組んでおり、社会資本の維持管理においても、その活用が期待されている²⁾。このような背景から筆者らは、係留施設の栈橋コンクリートの変状を効率的に調査することを目的に浅海艇観測システム (NETIS登録番号: CBK-160003-A)³⁾を用いた撮影手法の検討および撮影した画像を用いた三次元形状復元による

変状検出の手法について検討を行った。本稿では、現在の点検手法を改めて確認し、その課題と筆者らの提案する手法の検証および評価結果について報告する。

2. 栈橋上部工コンクリート下面の点検における従来手法と提案手法

栈橋上部工コンクリート下面 (以下、栈橋上部工下面) の点検における従来手法と提案手法について以下に整理する。

2.1 従来手法

現在の栈橋上部工下面の点検は、図1に示した概念図のように技術者を乗せた船舶で栈橋下部に侵入し、梁、ハンチ、スラブ (図2) 等のひび割れ、剥落、錆汁等を目視で確認している。表1は、点検方法および判定基準等 (以下、判定基準) であり、港湾の施設の点検診断ガイド

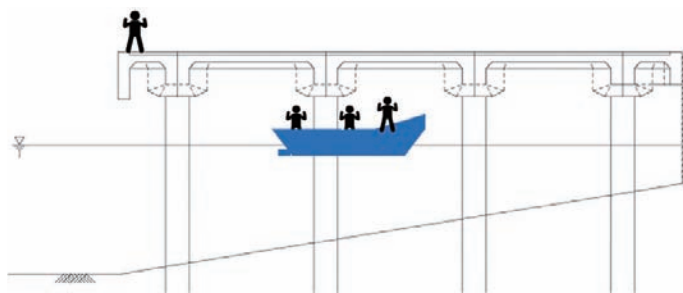


図1 現状の点検概念図

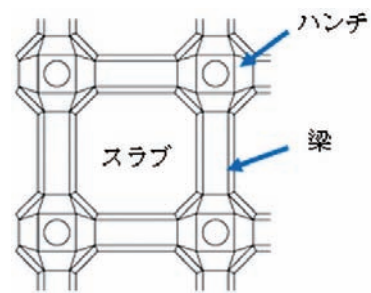


図2 栈橋上部工下面の各部名称

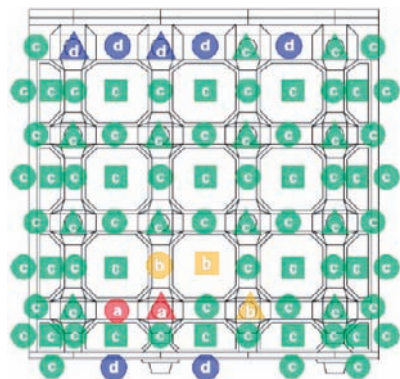


図3 損傷箇所の現地確認の状況

表1 棧橋上部工下面の劣化度の判定基準

| 対象施設 | 点検診断項目の分類 | 点検診断の項目 | | 点検方法 | 劣化度の判定基準 | |
|--------|-----------|-------------------------|--------------|--|----------|--|
| 直杭式横棧橋 | Ⅱ類 | 上部工 (下面部) (RCの場合) | コンクリートの劣化、損傷 | 目視 ・ひび割れの発生方向 ・ひび割れの本数、長さ と幅 ・かぶりの剥落状況 ・錆汁の発生状況 ・鉄筋の腐食状況 | a | スラブ： <input type="checkbox"/> 網目状のひび割れが部材表面の50%以上ある。 <input type="checkbox"/> かぶりの剥落がある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が広範囲に発生している。 はり・ハンチ： <input type="checkbox"/> 幅3mm以上の鉄筋軸方向のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> かぶりの剥落がある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が広範囲に発生している。 |
| | | | | | b | スラブ： <input type="checkbox"/> 網目状のひび割れが部材表面の50%未満である。 <input type="checkbox"/> 錆汁が部分的に発生している。 はり・ハンチ： <input type="checkbox"/> 幅3mm未満の鉄筋軸方向のひび割れがある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が部分的に発生している |
| | | | | | c | スラブ： <input type="checkbox"/> 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。 <input type="checkbox"/> 錆汁が点状に発生している。 はり・ハンチ： <input type="checkbox"/> 軸と直角な方向のひび割れのみがある。 <input type="checkbox"/> 錆汁が点状に発生している。 |
| | | | | | d | <input type="checkbox"/> 変状なし。 |

出典：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⁾



| 判定 | 評価 |
|----|--|
| a | 施設の機能・安全性が損なわれており、緊急に対策の必要があると判断される場合 |
| b | 放置した場合、施設の機能・安全性が損なわれる恐れがあり、計画的な対策を実施する必要があると判断される場合 |
| c | 施設の機能安全性に係る異常は認められず、現状では対策の必要がないが継続して観察する必要があると判断される場合 |
| d | 異常が見られず、十分な機能・安全性を保有していると判断される場合 |

図4 棧橋上部工下面損傷目視判定結果

出典：棧橋上部工の劣化度予測手法について、沿岸技術研究センター論文集No7, 2007⁵⁾

ライン⁴⁾に示されている。点検により劣化や損傷を確認した場合は、図3に示すように、その寸法を把握するため、スタッフまたはメジャー等と一緒に対象箇所を写真撮影する。点検結果は、技術者の判断により棧橋の構成要素ごとに評価され、図4は評価結果の事例⁵⁾である。

2.2 従来手法の課題

技術者の目視による点検では、下記の課題がある。

- ① 基本的に点検は現地での目視確認のみであり、損傷の見落としや技術者自身による判定・判断のばらつきを排除できない。
- ② 技術者による点検箇所すべての写真撮影には多大な労力を要し、全体を通した評価は困難である。
- ③ 将来的に、さまざまな状況下にある現地で均一な基準をもって点検可能な熟練技術者の確保が困難になると想定される。

2.3 提案手法

提案手法は、従来の目視のみの点検手法を撮影と点検に分け、船舶に取り付けたカメラで栈橋上部工下面全体を撮影し、その画像から三次元形状復元処理で得られる三次元モデルおよびモザイク画像を用いて机上で点検するものである。これにより、従来手法の課題は下記のとおり解決可能と考えられる。

- ①点検対象全体を撮影することで損傷の見落としを防止する。
- ②全体の網羅的な点検により、判定・判断のばらつきを防止する。
- ③自動シャッター機能付きカメラまたはビデオカメラで撮影することにより撮影に要する労力は最低限となる。
- ④机上での点検により、熟練技術者のもつ点検

ノウハウの伝承機会を創出する。

- ⑤三次元形状復元処理で得られた成果より損傷箇所の幅や厚さ等を机上にて計測することが可能であり、情報共有が容易となる。
- ⑥データを蓄積することにより経年変化の評価も可能となる。

3. 栈橋上部工下面の撮影における課題と対策

図5に示す栈橋上部工下面のひび割れ、剥落、錆汁等の把握を目的として撮影を実施する。当該箇所を撮影する際に想定される課題と対策を表2に整理し、図6の浅海艇観測システムに必要機器の設置を行った。図6の①から④は、表2に示す課題における観測システムの対策箇所を示している。課題および対策の詳細な内容は後述する。



図5 撮影対象となる栈橋

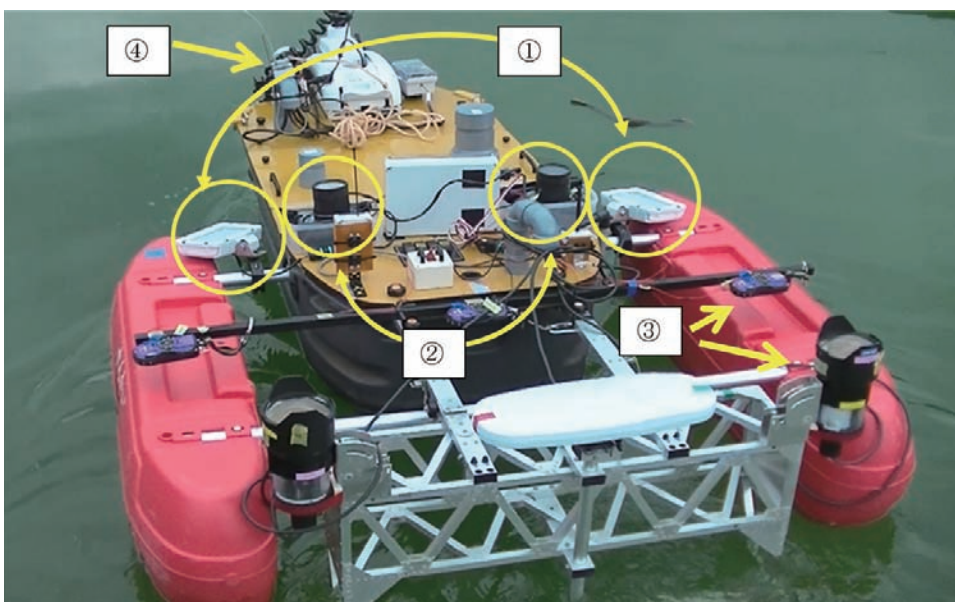


図6 浅海艇観測システム

表2 課題と対策

| No. | 課題 | 具体策 |
|-----|-------------------------|---|
| ① | 太陽光の減衰 | LEDライトの設置 (2基) |
| ② | 幅3mm以上のひび割れが計測可能な解像度の確保 | 潮位の把握／高解像度一眼レフカメラの設置 (広角レンズ使用：解像度1800万画素2台) |
| ③ | 隠蔽部の減少 | 広角レンズ一眼レフカメラ2台の設置／補備用カメラの設置 (コンパクトデジタルカメラ3台、HDデジタルビデオカメラ2台) |
| ④ | 円滑な遠隔操作 | 前方監視カメラ／レーザ距離計の増設により、壁面衝突への予防・対策 |

3.1 太陽光の減衰

撮影対象となる梁、ハンチ、スラブは干潮時でも海面から4m程度の離隔となり、晴天時においても太陽光が減衰し撮影に適した十分な明るさを確保できないことが想定される。浅海艇観測システムでは、撮影対象を均一の明るさで撮影することにより画像の色むらの抑制を目的として、被写体を照らすLEDライトを2基設置することとした。

3.2 幅3mm以上のひび割れが計測可能な解像度の確保と隠蔽部の減少

栈橋上部工下面のひび割れ判定基準では、幅3mm以上を判定する。そのため、静止画の目標構造物表面での画素寸法を1mmとした。また、浅海艇観測システムは、図7に示すように海面からカメラまでの距離を0.5mと設計している。栈橋上部工下面を構成するスラブと梁・ハンチの高低差は約1mであり、カメラからのスラブまでの撮影距離3.5m (干潮時) に対し非常に凹凸が大きい。このため、船体の姿勢が大きく影響し、隠蔽部が発生することが考えられる。さらに、潮位による海面変動を考慮することは不可欠である。以

上のことから効率的な撮影を実施するためには画角が大きく解像度の良好な広角一眼レフカメラの選定が必要となる。そこで撮影に使用するカメラは、焦点距離11.0mm、画素数1790万 (5184×3456) 画素、画角100度、CCDサイズ4.3μmのcanon EOS M2 + FE LENSを選択した。

よって、撮影距離3.5mのとき被写体の撮影範囲は7.15mで、静止画の地上画素寸法は図8の関係であるかことから $7150\text{mm} \div 5184\text{pixel} \approx 1.38\text{mm}$ となり、目標構造物表面での画素寸法1mmと同等となる。一方、隠蔽部の減少対策のうち進行方向は、浅海艇観測システムの航行速度に依存する。撮影距離3.5mと固定した時、船速は平均1m/秒、シャッター間隔は2秒/コマとなり、広角一眼レフカメラ単体の場合隣接写真間の重複度は58%となる。直交方向は、広角一眼レフカメラを0.5m間隔で2台並列に設置し、同一地点で2枚の静止画を取得することとなり、図7のように93%の重複度となる。

後続作業で実施する三次元形状復元処理にて三次元モデルやモザイク画像を作成するためには、より異なった視点から画像を取得し、画像間に対応点を取ることが精度的に有効である⁶⁾

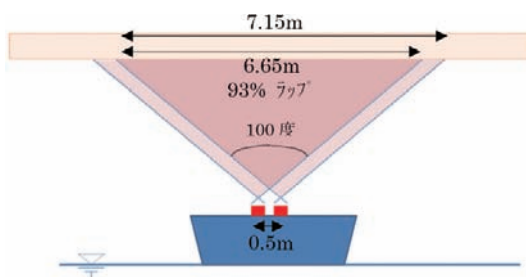


図7 同一地点の重複度とカメラ設置位置

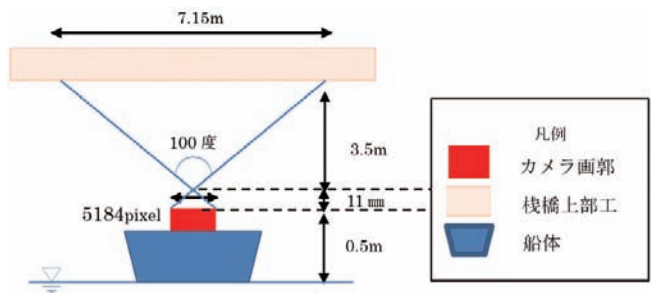


図8 被写体とカメラの相対関係

表3 補助用カメラの諸元

| 種別 | 機種名 | 画素数 | CCDサイズ | 焦点距離 | CCD画面サイズ | 撮影解像度 |
|--------|-----------------------|------------------------|--------------|-------|-----------|--------|
| 補助用カメラ | RICOH PENTAX WG-3 GPS | 1592万画像 (4608×3456) | 1.35 μ m | 4.5mm | 6.2×4.6mm | 0.78mm |
| 補助用ビデオ | PANASONIC AG-HCK10G | 251万画像 (1920×1080) | 1.88 μ m | 2.8mm | 3.6×2.7mm | 1.67mm |

ことから、出来る限り隣接写真間の重複度を確保することに注視した。その試みとして、1測線を往復撮影し広角一眼レフのみでオーバーラップ率を60%以上とすることや海面変動や梁・ハンチの凹凸対策となる広角一眼レフカメラと補助用カメラの重複度を85%以上となるカメラ配置とすることし、さらにはビデオカメラによる撮影で補完可能とする観測システムとした(表3)。

3.3 円滑な遠隔操作

操縦士が遠隔操作によって栈橋上部工下面奥の円滑な操船を可能とするために、前方監視カメラやレーザ距離計を使用することとした。また、空中写真撮影は、GNSS測位が可能な空中写真撮影とは異なり、栈橋上部工下面の

撮影においては上空視界が完全に遮蔽されGNSSを使用できず、自動航行や計画測線上に撮影を実施することが容易ではない。その対策として、図9に示すように、あらかじめ栈橋上に測線位置および測線番号を設定し、陸上作業員がもつポールを目標として、操縦者が計画測線を確認しながら操縦することとした。

4. 提案手法の検証

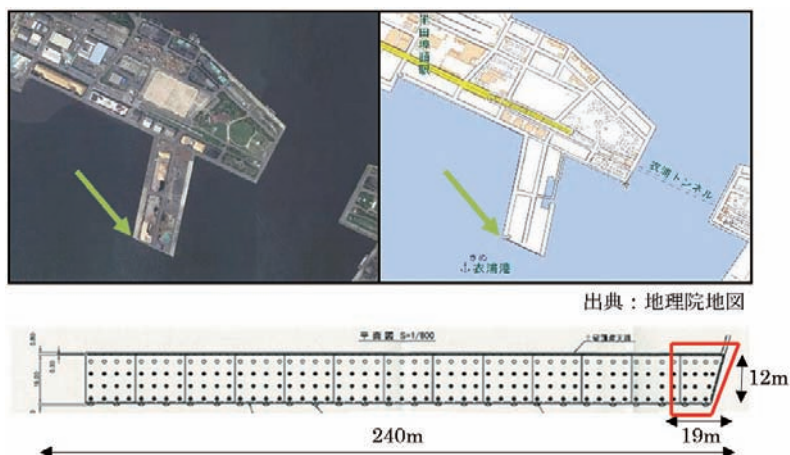
想定される課題への対策を講じた浅海艇観測システムを使用して、栈橋上部工下面の撮影を実施し、提案手法の検証を行った。

4.1 撮影場所

図10に示す愛知県衣浦港中央ふ頭西6号岸



図9 栈橋上の測線位置明示



出典：地理院地図

図10 実施場所位置図

壁に位置する長辺240mの栈橋のうち19m、奥行き12mを点検対象とした。

4.2 撮影日時と気象状況

航行の安全と確実な撮影のため、図11に示す平成28年9月14日の干潮時となる10:00～11:00(潮位56cm)、および補備撮影を13:00～13:40(潮位114cm)の合計1時間40分の計測を実施した。気象は、雲時々晴れ、気温26～30度、風向は北西～西北西、風速1.9～2.6m/s、波高10～40cmであり、撮影に適した状況であった。

4.3 撮影方法

撮影距離は、前項により潮位が56cmであることから、竣工図を基にカメラからスラブまでの撮影距離を3mに設定した。鋼管杭付近では衝突を避けるために杭と浅海艇観測システムに0.5mの離隔を持たせ、鋼管杭間のコース数は3本(C2～C4等)とし隣接コース間の重複度75%

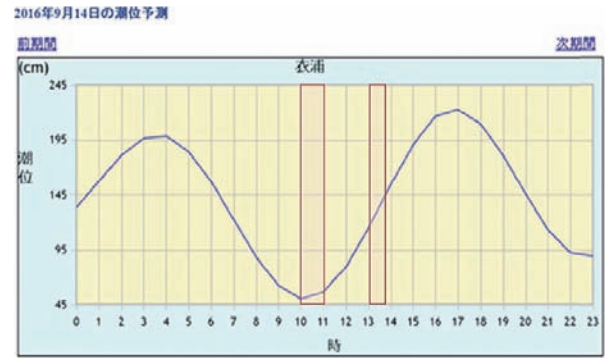


図11 撮影時の潮位

出典：気象庁ホームページより⁷⁾

で撮影した。この時、鋼管杭間のコース間重複度は55%となる。結果、図12に示す対象範囲に対して16コースの往復撮影を実施した。なお、広角一眼レフカメラ2台で2025枚、補助用カメラで4848枚の静止画および1時間40分の補助用ビデオカメラによる収録を行った。

4.4 三次元形状復元処理

広角一眼レフカメラより取得した静止画を用い

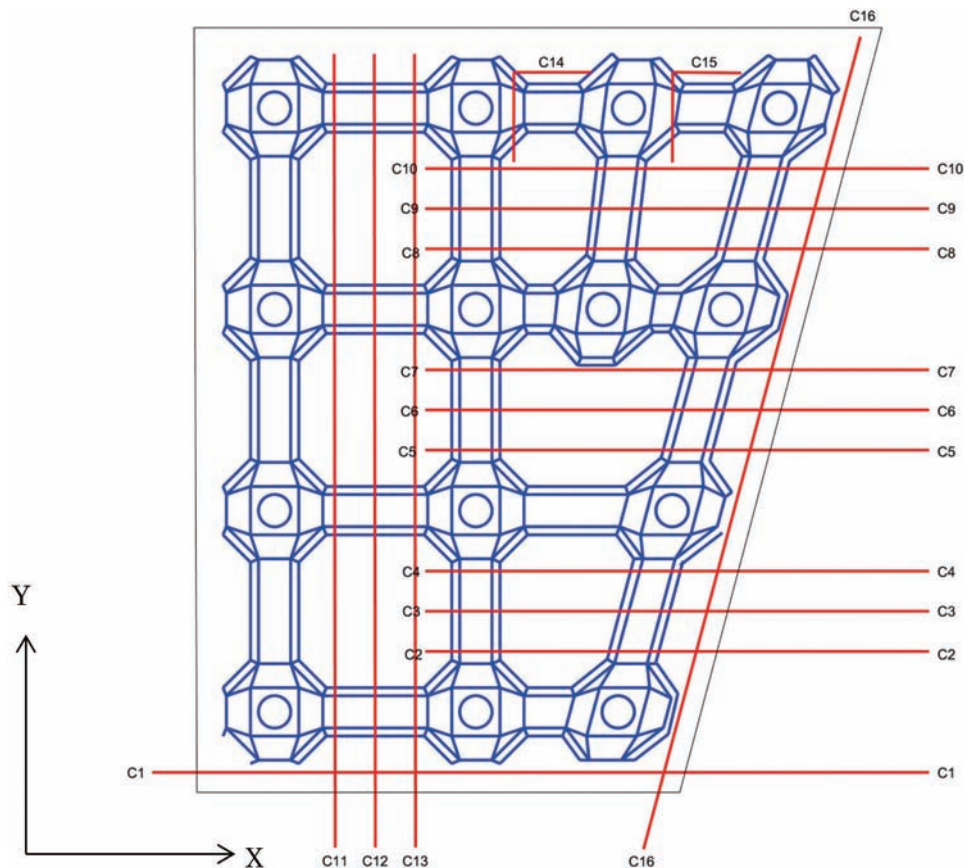


図12 竣工図および撮影実施図

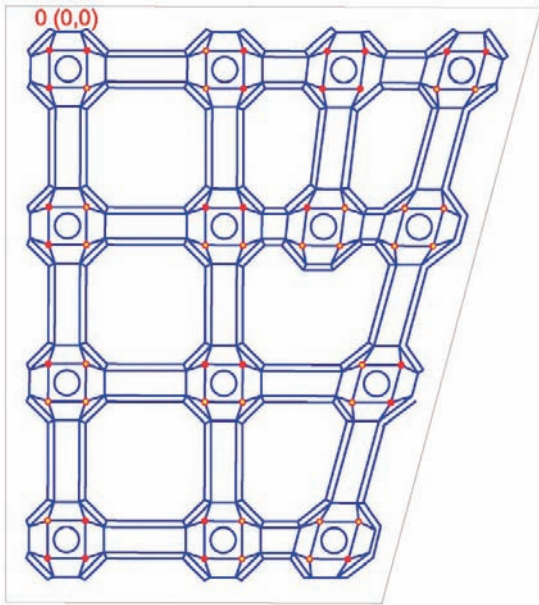


図13 基準点の配点図

てSfM/MVSによる三次元形状復元処理を実施した。三次元形状復元処理はPix4DMapperProを使用した。基準点箇所は、図13竣工図の左上のハンチ内の点を原点(0,0)に設定した。なお、上部工下部はプレキャスト工法により建設されていると考え、高さはハンチ内の点在同一高と仮定して0mとし、SfM処理に使用した基準点は、図13の黄色で示す観測可能な箇所且つ配点に留意し29点を取得した。また、他のハンチについても標高差が多少あると考えられるが、具体的な数値が観測不能なため、今回はすべて同一の標高とした。

表4 三次元モデル/モザイク画像と基準点較差表

| 基準点数 | (水平・高さ) | 25点 |
|------|---------|--------|
| 標準偏差 | (水平) | 0.001m |
| | (高さ) | 0.023m |
| 最大値 | (水平) | 0.003m |
| | (高さ) | 0.048m |

隠蔽部において図14黄丸に示すように、モザイク画像に欠損部を生じた。欠損部を補完するため、補備用カメラより静止画を抽出し再度処理を実施して面的な栈橋上部工下面の三次元モデル/モザイク画像を作成した。また、モザイク画像に色むらがなく太陽光の減衰対策について効果が得られたことが確認された。さらに、対象範囲が網羅的に撮影できていることから隠蔽部対策について一定の効果が得られたことも確認された。

作成された三次元モデル/モザイク画像と基準点を比較し、表4に示す較差表にまとめた。水平位置はモザイク画像、高さは三次元モデルを用いて確認した。特に、高さについては、ハンチ内の点在同一高と仮定していることから、ハンチ内の点で且つ基準点の最近隣で取得された点と比較した。結果として、表4に示すとおり地上画素寸法1mmの静止画より得られた三次元モデル/モザイク画像の精度が良好であることを確認した。なお、29点中25点で比較した結果と

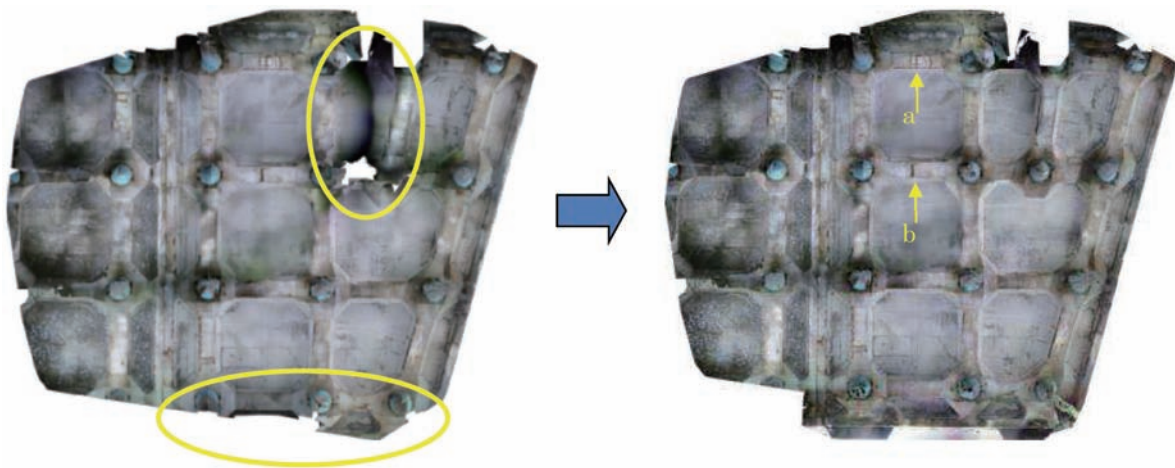


図14 三次元形状復元処理後のモザイク画像(左:補完前、右:補完後)

なっているのは、モザイク画像の像が多少不鮮明となり、精度評価を行う上で正確な位置が特定できない箇所、水平位置が確認できない箇所、ハンチ内の点が三次元モデル上で取得できていない箇所であり、これらは除外している。

5. 栈橋上部工下面の損傷箇所の測定

三次元形状復元処理にて作成された三次元モデル/モザイク画像より、判定基準に従い損傷箇所の判定を行った。

5.1 三次元モデルを用いた損傷箇所の測定

三次元モデルを用いて剥落を判定したところ、図14の箇所aが作成範囲内で最も剥落が大きい箇所であり図15左に示す。また、図15中央に示すように損傷の程度は、縦0.55m、横0.96m、厚さ0.06mであった。また、この部位全体における剥落損傷面積が1.134㎡であり、梁の下面面積2.10㎡に対して54%を占めている。さらに、剥落周辺には錆汁も確認できることから、「緊急に対策の必要がある箇所」と判定した。図14の箇所bの剥落部を拡大したものが図15右であり、厚さ0.03m程度の剥落も計測できた。図15右では、従来の正射投影写真では確認のできない梁の側面について幅3mmのひ

び割れを確認できた。

5.2 モザイク画像を用いた損傷箇所の測定

スラブおよび梁の下面のひび割れは、地上画素寸法1mmのモザイク画像を用いて判定した。梁の下面のひび割れサンプルを図16に示す。図16の超拡大図は、画素が確認できるまで拡大している。超拡大図より、1画素(1mm)から2画素(2mm)のひび割れが連続していることが視認できるため、判定基準に従い「継続して観察する必要がある箇所」と判定した。なお、スラブのひび割れは認められず良好な状態であった。

6. 提案手法の評価結果

モザイク画像を使用して判定基準に基づきGISソフト(ArcMap)を用いて損傷箇所を損傷箇所位置図として図17に整理した。損傷箇所位置図から図18左に示す部位毎に損傷度合いを表5の損傷箇所評価結果表および図18右に示す損傷箇所判定図にまとめた。剥落の評価では、三次元モデルを用いた剥落の厚さの計測が可能となるため、表5に項目を追加することで、現況をより定量的に評価できる。併せて、今後の損傷箇所判定指標の一つとすることは栈橋上部工下面の維持管理に有効であると考

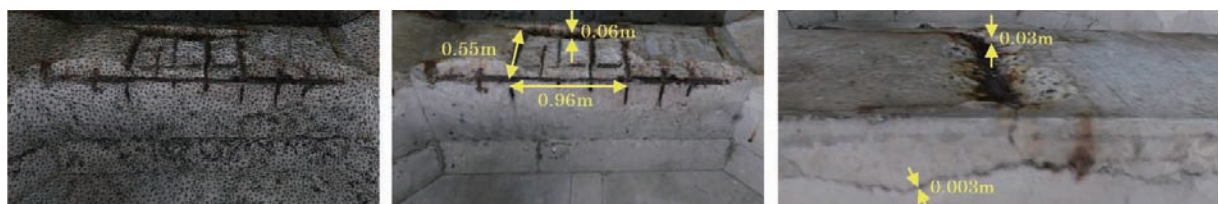


図15 剥落サンプル図
(左：a箇所三次元モデル、中央：a箇所判定のかぶり剥離大、右：b判定の剥離小)

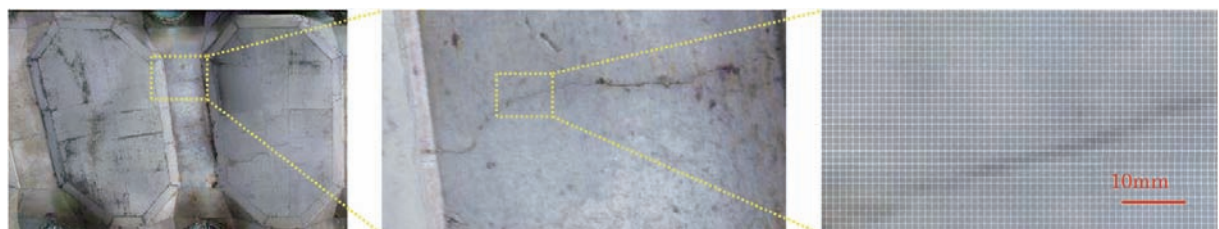


図16 ひび割れサンプル図(左：縮小図、中央：拡大図、右：超拡大図)

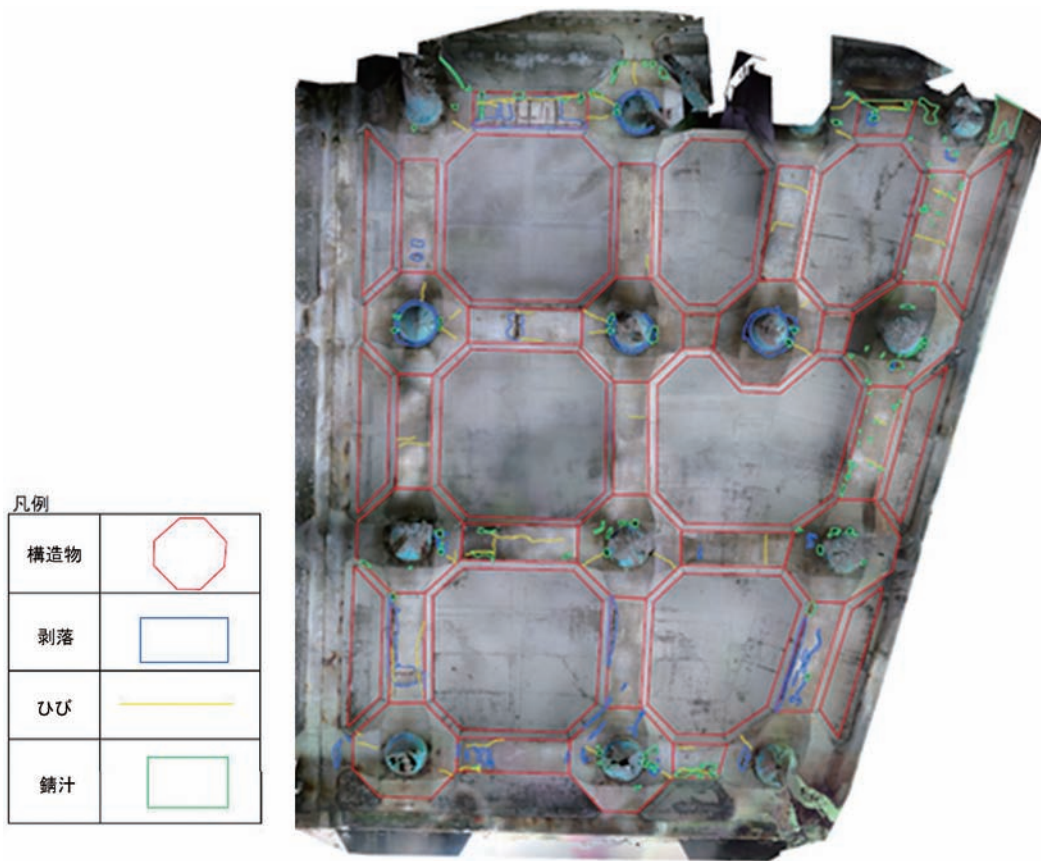


図17 損傷箇所位置図

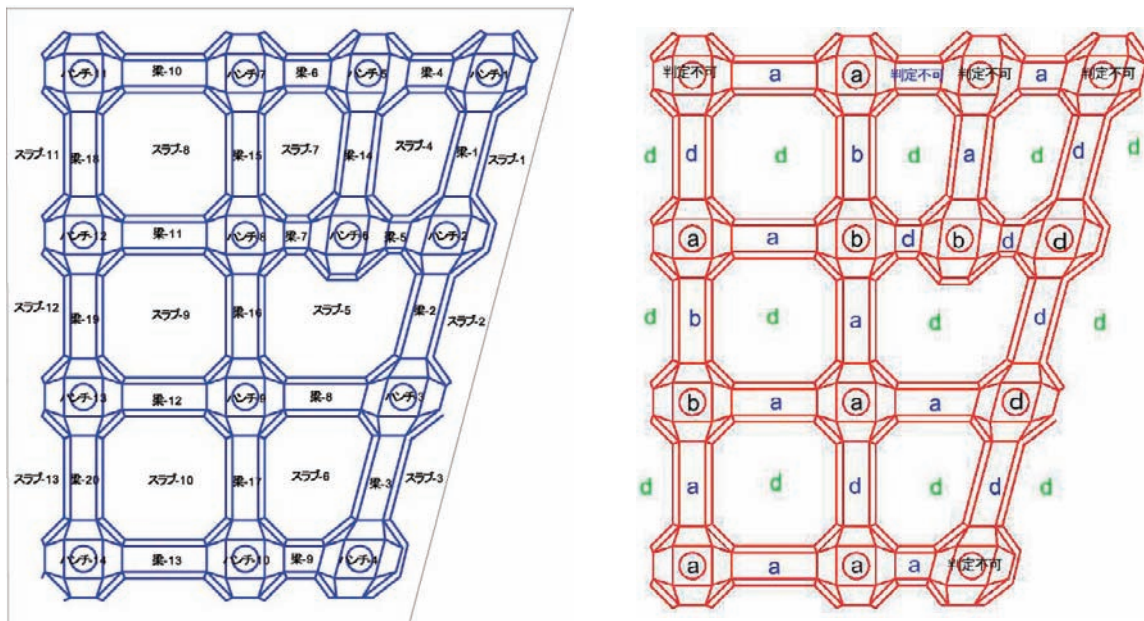


図18 損傷箇所評価結果 (左: 評価対象部位名称 右: 損傷箇所判定図)

える。

一方、表5において判定不可となっている部位については、浅海艇観測システムが進入でき

ず撮影ができなかった箇所であり、撮影が欠落する箇所の補完方法については、今後の課題として挙げられる。

表5 損傷箇所評価結果表

| 梁 | 総合判定 | 面積 (㎡) | ひび割れ判定 | 剥離面積 (㎡) | 剥落 (㎡) / 全体面積 (㎡) | 錆 (㎡) | 錆 (㎡) / 全体面積 (㎡) |
|--------|------|--------|--------|----------|-------------------|-------|------------------|
| 梁-1 | d | 2.18 | c | 0.00 | 0% | 0.04 | 2% |
| 梁-2 | d | 2.18 | b | 0.00 | 0% | 0.07 | 3% |
| 梁-3 | d | 2.18 | d | 0.36 | 17% | 0.06 | 3% |
| 梁-4 | a | 1.00 | a | 0.02 | 2% | 0.22 | 22% |
| 梁-5 | d | 0.60 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| 梁-6 | 判定不可 | 判定不可 | 判定不可 | 0.00 | — | 0.00 | — |
| 梁-7 | d | 0.62 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| 梁-8 | a | 2.00 | a | 0.01 | 1% | 0.00 | 0% |
| 梁-9 | a | 1.00 | a | 0.00 | 0% | 0.09 | 9% |
| 梁-10 | a | 2.10 | a | 1.13 | 54% | 0.11 | 5% |
| 梁-11 | a | 2.10 | a | 0.18 | 9% | 0.00 | 0% |
| 梁-12 | a | 2.10 | a | 0.00 | 0% | 0.08 | 4% |
| 梁-13 | a | 2.10 | a | 0.10 | 5% | 0.03 | 1% |
| 梁-14 | — | — | — | — | — | — | — |
| 梁-15 | b | 2.10 | b | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| 梁-16 | a | 2.10 | a | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| 梁-17 | d | 2.10 | d | 0.20 | 10% | 0.00 | 0% |
| 梁-18 | d | 2.10 | d | 0.07 | 3% | 0.00 | 0% |
| 梁-19 | b | 2.10 | b | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| 梁-20 | a | 2.10 | a | 0.57 | 27% | 0.00 | 0% |
| ハンチ-1 | 判定不可 | 判定不可 | 判定不可 | 0.02 | — | 0.57 | — |
| ハンチ-2 | d | 4.60 | d | 0.01 | 0% | 0.15 | 3% |
| ハンチ-3 | d | 4.60 | d | 0.03 | 1% | 0.08 | 2% |
| ハンチ-4 | 判定不可 | 判定不可 | 判定不可 | 0.07 | — | 0.00 | — |
| ハンチ-5 | 判定不可 | 判定不可 | 判定不可 | 0.00 | — | 0.04 | — |
| ハンチ-6 | b | 4.60 | b | 0.03 | 1% | 0.04 | 1% |
| ハンチ-7 | a | 4.45 | a | 0.20 | 4% | 0.16 | 4% |
| ハンチ-8 | b | 4.45 | b | 0.20 | 4% | 0.04 | 1% |
| ハンチ-9 | a | 4.45 | a | 0.00 | 0% | 0.15 | 3% |
| ハンチ-10 | a | 4.45 | a | 0.08 | 2% | 0.10 | 2% |
| ハンチ-11 | 判定不可 | 判定不可 | 判定不可 | 0.00 | — | 0.06 | — |
| ハンチ-12 | a | 4.45 | a | 0.22 | 5% | 0.04 | 1% |
| ハンチ-13 | b | 4.45 | b | 0.04 | 1% | 0.07 | 2% |
| ハンチ-14 | a | 4.45 | a | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-1 | d | 2.11 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-2 | d | 2.11 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-3 | d | 2.11 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-4 | d | 7.30 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-5 | d | 14.18 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-6 | d | 10.44 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-7 | d | 7.80 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-8 | d | 13.50 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-9 | d | 13.50 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-10 | d | 13.50 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-11 | d | 13.50 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-12 | d | 13.50 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |
| スラブ-13 | d | 13.50 | d | 0.00 | 0% | 0.00 | 0% |

7. まとめ

本稿は、無人船舶による栈橋上部工下面の効率的なカメラ撮影を実施し、三次元復元処理にて得られた三次元モデル、モザイク画像よりひび割れ等の変状認識評価について提案し、その結果についてとりまとめた。

本提案手法は、浅海艇観測システムが進入できない箇所の補完方法については課題として残るものの、栈橋上部工下面を三次元モデルやモザイク画像にて再現することで、従来の定性的評価から定量的評価を行うことが可能となり、判定・判断のばらつきの防止、損傷箇所の見落としの防止、机上での点検による情報共有が容易となり、熟練技術者のもつ点検ノウハウの伝承機会を創出できる有用な手法であると考えられる。さらには、データを蓄積することにより2時期の記録を比較することで劣化度合いの経年変化を定量的に把握することも可能となる。

一方、コスト面では「浅海艇観測システム」の運搬・組み立て時間や機材の維持管理費の問題があり、直ちに作業を置き換えられるものではない。機材のコンパクト化、簡素化が課題として残る。

以上のことから、コスト面での改善が今後の課題として残るものの、浅海艇観測システムによる三次元モデル／モザイク画像の損傷判定は有効であり、今後の港湾施設の維持管理に貢献できるものと判断される。

なお、本成果は2016年度国土交通省中部地方整備局港湾空港部における公共工事等における新技術活用システム（テーマ設定型）による公募⁸⁾により実施した結果である。

■参考文献

- 1) 野上、加藤、川端、佐藤：栈橋上部工の維持管理シナリオに関する検討、港湾空港技術研究所、No.1296、2014
- 2) 社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置平成25年3月21日国土交通省
- 3) 今井、杉山、久原：小型自動航行船を用いた写真測量による河川構造物の維持管理支援について、APA108号、2016
- 4) 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
- 5) 石原、根木、宮島：栈橋上部工の劣化度予測手法について、沿岸技術研究センター論文集No7、2007
- 6) 織田：解説：Structure from Motion (SfM) 第一回 SfMの概要とバンドル調整、写真測量とリモートセンシング、2016
- 7) 気象庁ホームページ 潮位データ (<http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/>)
- 8) 国土交通省中部地方整備局港湾空港部：栈橋上部工コンクリート下面のひび割れや浮き・剥離等を効率的に計測可能な技術【公募要領】、2016

■執筆者

三浦 博之(みうら ひろゆき)

朝日航洋株式会社



(共著者) 所属は筆頭著者に同じ

山本 貴春(やまもと たかはる)

木村 信太(きむら しんた)