

小型ドローンを活用した栈橋式岸壁における上部工下面の効率的な点検手法について

高松港湾空港技術調査事務所 技術開発課 川端 志歩
高松港湾空港技術調査事務所 技術開発課長 秋山 知士
高松港湾空港技術調査事務所 調査課 北村 響

係留施設構造の一つである栈橋においては、栈橋上部工下面での塩害等による損傷劣化（ひび割れや剥離等）が進行することで耐荷力が低下するため、栈橋の点検診断において栈橋上部工下面の状況を確認することが重要となる。一方で、少子高齢化の進行により技術者が減少していることから、港湾施設の維持管理分野においても人員不足等に対し、さらなるインフラ分野のDX推進が必要不可欠となっている。このような背景から、栈橋式岸壁における上部工下面の点検において、従来の調査員が船上より実施していた目視点検に代わり小型ドローンを活用した効率的かつ安全な点検手法を検討したので報告する。

キーワード インフラDX, インフラメンテナンス, 維持管理

1. はじめに

栈橋上部工下面で調査員が目視点検を実施する場合、栈橋下の空間で船により構造物に接近しひび割れ等を確認するが、潮汐・波浪の影響を受けながらの点検となるため安全性や効率性に課題がある。

今回の検討では令和4年度に徳島小松島港金磯岸壁(図-1、図-2)で実施した実海域での栈橋上部工下面の空中ドローンによる実験結果をもとに、令和5年度では他分野の技術も活用して空中ドローンや撮影カメラを選定した。また、令和4年度に課題となった小型ドローン離発着や無線通信距離への対応、現地撮影データから劣化度判定を行うための画像処理等を検討した。今回は小型ドローンを活用した栈橋上部工下面点検の一連の流れを報告し、維持管理への活用を想定したBIM/CIM連携について報告する。

2. 現地作業

(1)令和5年度に使用したドローン

今回使用したドローンは、他分野の技術も含め栈橋下面の環境(GPS環境外、暗所、狹隘、障害物あり)と同様な状況での作業を考慮した結果、ダクト・配管内部の点検で活用されている小型ドローンを選定した。なお、無線通信のための中継器として令和4年

度にも使用した無線レンジエクステンダーを設置した。また、プロペラガードは衝突時の施設側への損傷リスク低減を考慮した素材(ポリカーボネート)を使用し、海への落水に対応するためのフロート(浮き)を装着した(図-3)。

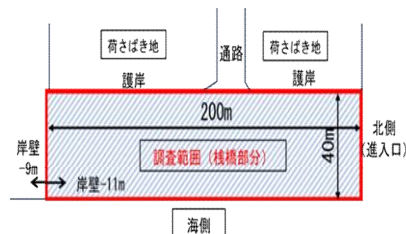


図-1 実証実験施設 平面図

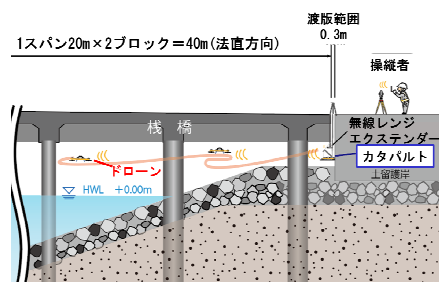


図-2 ドローンを用いた栈橋下面の点検イメージ



図-3 フロート付き小型ドローン(約20cm角、重量243g)

(2)現地作業の課題解決

令和4年度の実証実験で確認された、2つの課題について、令和5年度の実証実験で検討・解決を行った。

a) 課題1:離発着方法の検討（風の影響）

令和4年度のドローン離発着は、栈橋上では風による影響が大きく直接ドローンを離発着できなかったが、実証実験中の栈橋下では風の影響を受けなかった(表-1)。このことから、令和5年度は風の影響を受けずにドローンを栈橋下へ入れるため、離発着場として離発着装置(カタパルト)を製作した(図-4,5,6)。

表-1 栈橋上下の風速測定値比較

測定	風速 (栈橋上)	風速 (栈橋下)
1	4.5~2.5 (m/s)	0.8~0.6 (m/s)
2	4.5~2.5 (m/s)	0.6 (m/s)
3	4.0~2.0 (m/s)	0.0(m/s)
4	3.2~5.5 (m/s)	0.5 (m/s)
5	2.0~3.8 (m/s)	0.1 (m/s)



図-4 離発着装置（カタパルト）の外観

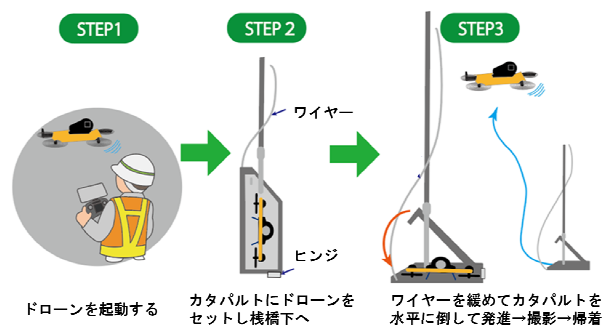


図-5 カタパルトを用いた離発着の方法

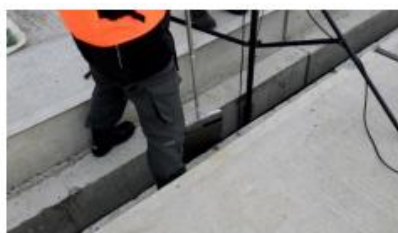


図-6 栈橋下面へのカタパルトセット状況（隙間30cm）

b) 課題2:通信環境の確保（無線通信距離確認）

令和4年度の実証実験では、栈橋鋼管杭の無線通信への影響が不明であった。令和5年度の現地実証実験の結果、無線レンジエクステンダーを設置することで、栈橋鋼管杭がある中でも最大80m(図-7)まで無線通信可能であることが確認され、栈橋上部工下でも無線通信距離が著しく低下することはなかった。

(3)小型ドローンにて撮影した映像の検証

従来は調査員による目視調査でコンクリート剥離状況やひび割れ等の確認を行っており、今回の実証実験で使用したカメラ性能で従来の目視調査と同等な確認が可能な画像精度が取得できるか検証した。

今回使用した小型ドローンのカメラ性能は、フルハイビジョン画像で解像度1920×1080(約200万画素)が安定的に撮影可能であり、取得した画像を確認した結果、図-8に示すとおりコンクリート剥離状況等が確認できる画像データであることが検証された。

なお、3Dモデル化は画像から自動的に作成可能な技術(SfM)を用い、取得する画像データはラップ率を加味した。また、栈橋下面は暗所となるため照度センサー及びライトを搭載したカメラが必要となる。

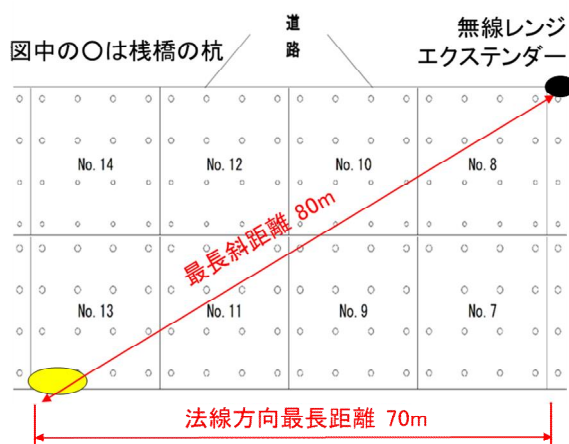


図-7 無線レンジエクステンダーによる無線通信の距離



図-8 コンクリート剥離状況（塩害）

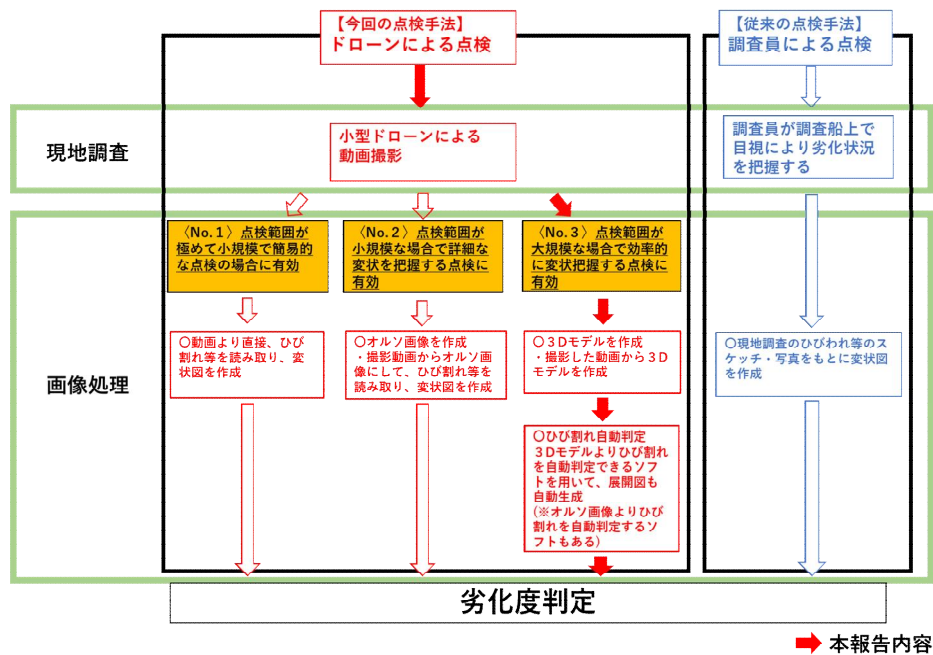


図-9 点検診断フロー

表-2 撮影画像を用いた点検診断の方法の例

No.	方法	留意点	効果的な適用
1	撮影画像を直接参照して診断	・撮影画像をそのまま使用するため画像処理の必要無し。 ・撮影位置がどの部位であるか、飛行ルートを確認しながら判断する必要があるため撮影劣化位置の特定に時間を要する。 ・画質は非常に明瞭である。(撮影画像の解像度による)	・スパン数が少ない小規模な施設や変状が少なく、その位置を特定する必要がほとんどない施設の点検診断に適している。
2	オルソ画像を作成して診断	・撮影動画から画像を切り出し、SfM処理等を行った後、オルソ画像を作成する。 ・オルソ画像は写された像の形状が正しく、位置も正しく配置されているため、画像上で位置、面積及び距離などを正確に計測することが可能である。 ・撮影画像から作成したオルソ画像の画質は非常に明瞭である。	・施設の部分的な場所での細かいひび割れが発生している場合に適している。
3	3Dモデルを作成して診断	・撮影画像よりSfMソフトウェアを用いて3Dモデルを作成する。 ・3Dモデル作成にあたっては、PCの性能やモデル作成精度によって、処理時間が長くなる。 ・3Dモデル作成処理の中で解像度が低下する傾向がある。	・港湾空港技術研究所の点検診断支援システムに読み込むことで劣化判定まで実施できるため、広い範囲の判定を行う場合に適している。

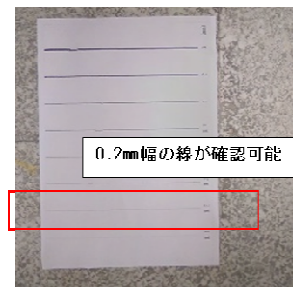


図-10 市販ソフトによる変状の識別

3. 画像処理

(1) 撮影画像を用いた点検診断の方法例

ドローン撮影画像による点検と従来の目視点検の点検診断フローを図-9に示す。ドローンで撮影した画像を使用して部材の状態評価を行うための画像処理を行う。画像処理の要否及び方法については、施設の状態や診断に係る方針を踏まえて選択する。画像処理と効果的な診断方法の例を表-2に示す。

(2) 3Dモデルの作成

今回は3Dモデルによる点検診断方法とし、栈橋上部工下面の1スパンのうち1ブロック(4.6m×4.6m)毎に3Dモデルを作成した。3Dモデル作成は市販ソフトを活用し、撮影した動画をサーバーにアップロードすることで3Dモデルが作成可能なソフトを使用した。

SfMで3次元形状を作るために必要な情報は、複数の画像データのみでありカメラ座標などは不要であ

るが、作成される3次元形状は無次元化された形状のため、識別精度を確保するためクラックスケールなどを画像に写し込ませ、後から取得画像の縮尺を現地縮尺と調整する必要がある。

ひび割れ検知精度として「港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン」にはクラック幅3mmが判定基準になっており、今回の検証では識別精度確認のためクラックスケールにて確認した結果、0.2mm程度の精度を確認(図-10)できたため適応可能となる。

(3) ひび割れ検知の検討

オルソ画像や3Dモデルを用いて診断する場合、部材のひび割れ等の変状を把握するために用いられるひび割れ検知技術の一例を表-3に示す。今回は、申請手続きのみで無償利用が可能であり、3Dモデルから展開図の作成、変状の自動検出、変状種類の決定や劣化度判定、点検記録様式まで一連で行うことができる、港湾空港技術研究所の「点検診断支援システム」(以下、システム)を用いた。システムでは、1ス

表-3 ひび割れ検知技術の一例

No.	ソフト名	開発社名	内容	使用データ
1	点検診断支援システム	港湾空港技術研究所	ROV やビデオカメラ等による撮影画像から生成した 3D モデルを用いて、展開図の生成、変状の抽出、劣化度判定、点検履歴の作成までの一連の処理が可能。各部位展開図の画像の色相の変化(濃度勾配)から変状を抽出する。	3D モデル
2	ひびみつけ	富士フイルム	高精度 AI によるひび割れの自動検出。日本全国の膨大な数の損傷画像を使った継続的な AI 学習による精度改善が可能。	オルソ画像
3	ひび割れ EYE for 3D	特ノ	高精度 AI による最小幅 0.05mm までのひび割れが検出可能。ヒトの点検結果に対する AI のひび割れ検知率は 99.5%である。	オルソ画像
4	t.WAVE	大成建設	ウェーブレット変換(画像の中にある線状の特徴範囲を抽出するのに適した画像解析技術)によりひび割れ幅や長さを高精度に数値化・色彩化し、定量的な評価が可能。	オルソ画像

表-4 調査において取得・作成したデータの形式

データの種類	データ形式	データの整理単位	備考
劣化度評価 (a~d)	CSV ※1	部位	
画像データ	3D モデル (obj ファイル) ※1 またはオルソ画像 (jpg ファイル)	スパン	橋橋下面の 3D モデルは SW で作成
根拠・変状図	根拠データ (.xls) ※1	スパン	

パンが入力単位となるため、1スパン当たりの動画を市販ソフトにアップロードして3Dモデル化した。なお、入力データ容量に制限があったため、変換した1スパン画像データの解像度を下げたことで、判定基準のクラック幅3mmを検出することが出来なかった。今後、本システムを利用する場合、判定基準のクラック幅3mmが検出できる解像度を確保できるよう入力データ容量を増やす等の対応が必要と考えられる。

4. BIM/CIM連携

(1) BIM/CIMモデルとの連携の有効性

今回取得したデータについて、今後施設の維持管理に活用すべくBIM/CIMデータへの反映と保管方法について検討した。点検データの一例として、システムを用いて作成した点検データの形式を表-4に示す。栈橋上部工の維持管理において供用期間内に保持・確認する情報としては、部位ごとの状態(劣化度)評価結果、及び評価の根拠資料として各部位に生じた変状の規模・位置が確認できる資料(図面及び写真)が重要であり、これらをBIM/CIMデータに紐づけて管理することが考えられる。

ここで、点検により取得した情報(劣化度評価結果及び根拠写真・図面)は、当該施設の維持管理において以下のように利用される。

a)施設の状態把握及び補修要否・補修範囲の判断

点検時の状態と時系列で劣化進行を把握することで変状の進行や補修の緊急性を評価できる。

b)劣化進行予測

今後の劣化進行を予測するうえでの基礎情報とし、例えば、劣化度分布を集計することで確率論的な劣

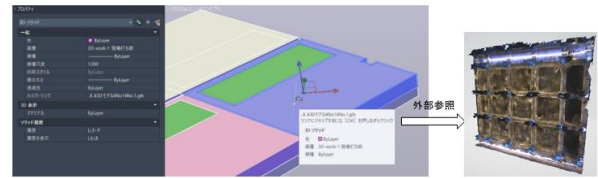


図-11 BIM/CIMモデルとの連携イメージ

化予測が可能となる。また、コンクリート試験の要否及び供試体採取箇所の選定などに活用できる。上記で示した維持管理に関する作業において、点検データとBIM/CIMデータの関連付けを行うことにより、時系列でのデータ管理、点検や部材の情報など複数情報の一元化が可能となる。

(2) 点検データのBIM/CIMデータへの反映と保管方法

今回取得した画像から作成した3Dモデルは、BIM/CIMデータと比較して歪み・寸法の不整合が大きいため、これをBIM/CIMデータに重ねて取り扱う事は困難である。このことから、将来的には、3mmのクラックが検出できる1スパン当たりの3Dモデルを外部参照データの1つとしてモデルに紐づける形で管理することが望ましい(図-11)。

5. まとめ

小型ドローンによる点検は、将来の担い手不足問題、DX 推進に期待される点検手法であり、取得された画像データによる点検診断への適用は可能であることが確認された。ただ、画像データから 3D モデルに変換し、システムによりひび割れ判定を実施する場合、今回のシステムでは画像解像度が低下し判定が出来なかった。システム利用では入力データ容量の確認や別システム活用等の対応が必要となる。

また、コスト面では、従来の海上目視点検に対して、ドローン点検は約 1.5 倍であった。

ここで報告した内容も含めて、マニュアル形式でとりまとめた【小型ドローンを活用した栈橋式岸壁の上部工下面点検マニュアル(案)】を高松技調ホームページにて公開しており、今後はインフラ DX を活用した小型ドローン等による施設点検の普及により、本マニュアルをリバイスしていきたい。

参考文献

- 1) 田中瞭佑、秋山知士：点検ロボの活用による港湾施設における維持管理の効率化(令和 5 年度四国地方整備局管内技術研究会論文集)
- 2) 高松港湾空港技術調査事務所：小型ドローンを活用した栈橋式岸壁の上部工下面点検マニュアル(案)