

ポスター発表 | 第V部門

2025年9月12日(金) 10:40 ~ 12:00 1e (熊本城ホール)

構造物調査・診断1

座長：堀口 賢一 (大成建設)

[12AM2-1e-04] 水路に架かる小規模橋梁に特化した水上ドローンによるスクリーニング点検システム

*粕谷 龍楓¹、佐藤 靖彦¹、千田 峰生² (1. 早稲田大学、2. 安曇野市)

キーワード：水上ドローン、小規模橋梁、スクリーニング点検、異常検知、省力化

日本には市区町村が管理する小規模橋梁が多数存在し、その多くが用水路上に位置するため、従来の近接目視点検は労力が大きい。そこで、水上ドローンと異常検知AIを用いたスクリーニング点検システムを構築した。水上ドローンで複数橋梁を一度に撮影し、自動で外観の損傷の有無に基づくスクリーニングを行うことで、人が調査を行う橋梁数を削減する。本システムにより、5年間で定期点検費用を最大630万円（34%）削減可能となった。

水路に架かる小規模橋梁に特化した水上ドローンによるスクリーニング点検システム

早稲田大学 学生会員 ○粕谷 龍楓

早稲田大学 正会員 佐藤 靖彦

安曇野市 千田 峰生

1. 研究背景と目的

日本には約 73 万橋の橋梁が存在し、過半数の約 39 万橋は市区町村が管理する 2m 以上 15m 未満の小規模橋梁である。これらの多くは用水路等に架かっており、桁下空間が狭いため、人が入り込んでの近接目視点検が困難である。このように、小規模橋梁の数が多く、点検に労力を要するという課題がある。これに対し著者らは水上ドローンを活用し、点検の省力化に取り組んできた。既往研究¹⁾では、人が点検・調査を行う対象橋梁のスクリーニングを目的として、水上ドローン、異常検知 AI、橋梁の可視化マップから構成されるシステムを構築し、その有用性を確認したが、実用化には性能面で課題が残った。そこで、本研究では各要素の性能向上を図るとともに、それらを統合し、スクリーニング点検システムとしての実用化を目指す。

2. 水上ドローンとカメラの性能試験

著者ら¹⁾はこれまでに図-1 に示す水上ドローンを作成し、水上から橋梁下面の画像を撮影可能であることを確認した。本研究では、実運用時の撮影方法を定めるために試験を行った。カメラを 2 種類、通過速度を 3 段階、撮影距離を 4 段階に変化させ、図-2 に示す橋梁下面に張り付けた疑似ひび割れシートを撮影した。視認可能な最小ひび割れ幅を整理した結果を図-3 に示す。



図-1 水上ドローン

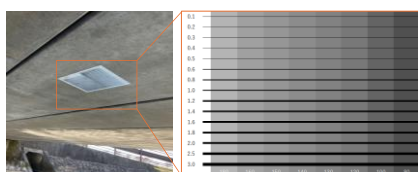


図-2 疑似ひび割れシート

試験結果より、通過速度が速くなるほど、また桁下までの距離が大きくなるほど、視認可能なひび割れ幅は大きくなる。アクションカメラである GoPro においては、桁下距離 0.4 m までは 0.1mm のひび割れまで視認可能であった。また、ひび割れ幅の増加傾向も緩やかであり、撮影モードによる性能差もほとんど見られなかった。一方、360 度カメラである THETA では、桁下距離 0.1m においても視認可能な最小ひび割れ幅が 0.3mm

と比較的大きく、距離の増加に伴う識別性能の低下も顕著であった。以上の結果を踏まえ、本研究では GoPro をスクリーニング用カメラとして、THETA による画像はスクリーニングには適さないため、橋梁下部の構造全体の把握を目的とした記録用カメラとして、それぞれの用途に応じて使い分ける方針とした。

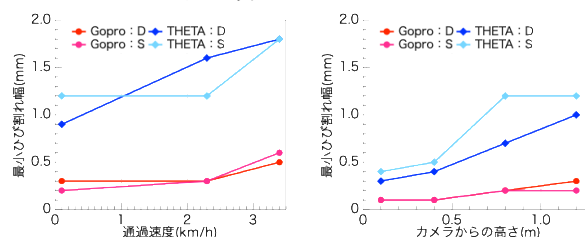


図-3 視認可能な最小ひび割れ幅

3. AI によるスクリーニング

3.1 事前処理

AI によるスクリーニングを実施する前処理として、撮影画像の選別を行う。水上ドローンにより取得された画像には、複数の橋梁の画像や空等の橋梁以外の対象が含まれる画像が混在する。このため、まず画像に記録された位置情報をもとに、各橋梁から±5m の範囲に位置する画像を対応する橋梁のフォルダへ自動的に分類する。次に、画像を K-means++法により色の類似性に基づいて 3 領域にクラスタリングする。各クラスタの明度および面積割合に閾値を設定することで、橋梁のみが写る画像を抽出する。具体的には、明度が 30~160 の範囲にあり、その領域の面積割合が全体の 80%以上となると橋梁のみが写っている画像として選定する。

3.2 異常検知 AI

著者らが以前に作成した異常検知 AI¹⁾は点検調書の画像を教師データとして作成していた。このため、教師データが特定の橋梁に限られ枚数も少ない上、画像は水上ドローンによる撮影とは異なる画角や距離から取得されたものであったため、精度向上には限度があった。そこで、本研究では従来の点検調書の画像に新たに水上ドローンにより撮影した画像を加え、計 3800 枚の画像を用意した。これらの画像に対して、拡大や回転などのデータ拡張を行い、22600 枚の正常な画像を教師データとして学習に用いた。

キーワード 水上ドローン、小規模橋梁、スクリーニング点検、異常検知、省力化

連絡先 〒160-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 TEL03-5286-3852

作成した異常検知 AI を実橋梁の画像に適応した結果を図-4 (b) に示す。異常度は入力画像と AI により再構成された画像との画素値の差分により算出し、閾値は真陽性率 $TP/(TP+FN)$ と偽陽性率 $FP/(FP+TN)$ の差が最大となる値としている。真陽性・偽陽性は、図-4 (a) に示す混同行列により定義される指標であり、真陽性は異常を正しく判定、偽陽性は正常のものを誤って異常と判定した状態である。判定の正解指標は健全性にに基づき、I を正常、II 以上を異常とした。また、複数画像の内一枚でも異常と判定された場合、当該橋梁は異常判定とした。

健全性 II 以上の橋梁を 89% の精度で見逃しなく、人が点検・調査を行う健全性 I の橋梁を約半数に減らすことができており、スクリーニングの目的を果たしている。出力画像を見ると、異常を正しく判定し、遊離石灰を可視化できている。一方で、PC 橋の継ぎ目を異常と誤判定する事例があった。今後は PC 橋のみを学習させた専用モデルを作成し、橋梁種別ごとに適応モデルを最適化する。

予測	異常	正常	再現率
正解	TP 8	FN 1	0.89
異常	FP 25	TN 27	0.52
正常			
適合率	0.24	0.96	正解率 0.57

(a) 混同行列

健全性	II (ひび割れ、遊離石灰) : 異常	I : 正常
判定結果	異常	異常
構造形式	RC床版	PC中空床版
出力画像		
異常度	12785	12369

(b) AI による出力結果

図-4 判定結果

4. 水上ドローンの運行計画の策定

これまで一度に複数橋梁を対象とする方針は示されていたものの、具体的な手法は示されていなかった。そこで本研究では、水上ドローンによる複数橋梁の効率的な点検を目的として、「ユニット」と呼ばれる点検単位を設定した。橋梁情報、水路情報、現地調査結果をもとに、水上ドローンの走行が可能であり、4 橋以上が連続する水路を抽出し、水路幅や水路施設などの障害物を考慮して橋梁をグルーピングした。その結果、安曇野市管理橋 756 橋から 54 ユニット (計 364 橋) を設定した。ユニットの導入により、堰や用水路によって連続する橋梁群を「線」や「面」として把握することが可能となり、更新・撤去時における俯瞰的な視点を提供する。実際に、インターネット上のサービスを活用し、地図上に可視化した結果を図-5 に示す。青線は用水路を示しており、同色ピンが各ユニットの橋梁を表している。

次に、各ユニットの運行計画を策定する。まず水路幅、流速、桁下高を抽出し、AI で検出目標とするひび割れ幅を 0.1~0.5 mm に設定する。これをもとに必要な撮影条件を定め、桁下高や速度が条件を満たさない場合は、

カメラ位置や水上ドローンの速度を調整する。この撮影条件は 2 節で実施した試験結果より整理している。その後、撮影距離と GoPro の性能から撮影範囲を決定し、水路幅に応じた通過方法と必要な往復回数を算出する。運行計画策定のフローを図-6 に示す。



図-5 ユニットの可視化

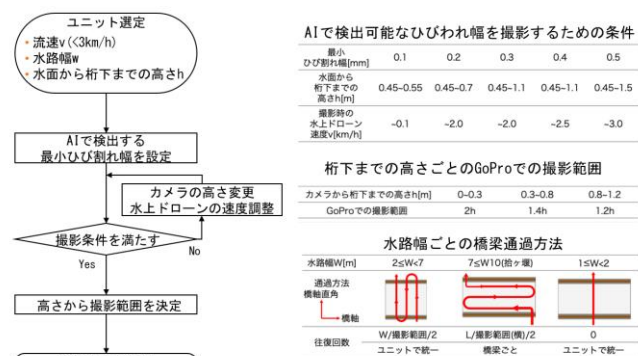


図-6 運行計画策定フロー

5. スクリーニング点検システムの効果

作成した各要素を統合し、システムとして運用する。まず、点検単位であるユニットを設定し、それぞれの運行計画に基づいて水上ドローンで複数橋梁を撮影する。取得画像は自動的に橋梁ごとのフォルダに分類され、橋梁のみが写る画像が選定される。その後、画像を異常検知 AI に入力してスクリーニングを実施し、異常と判定された橋梁のみを対象に人による追跡調査を行う。本システムを導入することで、従来の定期点検を業務委託した場合と比較して、5 年間で費用を最大 630 万円 (34%)、作業時間を 398 時間 (60%) 削減可能である。

6. まとめ

- (1) 水上ドローンの撮影条件とひび割れ幅を整理した。
- (2) 水上ドローンで撮影した画像を用いて、RC 橋に対してスクリーニング可能な AI を作成した。
- (3) 点検単位であるユニットを作成し地図上に可視化した。
- (4) 各要素を統合したスクリーニング点検システムを開発し、点検の省力化や費用削減が可能となった。

今後はシステム実装に向けて実証実験、改良を進める。

参考文献

- 1) 粕谷龍楓, 佐藤靖彦, 木村行男, 千田峰生: 水上ドローンを用いた小規模 PC 橋梁の点検診断システム, プレストレストコンクリート工学会第 33 回シンポジウム論文集, pp.129-132, 2024.10