

(38) 無人航空機と画像解析技術を用いた 鉄桁橋の評価方法の考察

Win Mar SOE¹・下川 光治²

¹正会員 アジア航測株式会社 先端技術研究所 (〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺 1-2-2)
E-mail: win.marsoe@ajiko.co.jp

²正会員 アジア航測株式会社 先端技術研究所 (〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺 1-2-2)
E-mail: mhr.shimokawa@ajiko.co.jp

老朽化する橋梁を安全に使用するには、定期的な点検によって耐荷力や耐久性に影響すると考えられる損傷や第三者に被害を及ぼす可能性のある損傷を早期に発見することが重要である。そのため、国土交通省では、橋梁定期点検要領に基づき橋梁等の道路施設に関する定期点検を5年に1回の頻度にて実施している。近年、技術者の不足や橋梁の老朽化の加速により、橋梁点検を効率化する技術の開発が期待されている。本稿では UAV によって撮影した画像から鉄桁橋の損傷を抽出する方法について検証した。UAV による点検と、従来の目視点検による結果を比較し、有効性及課題について考察した結果を報告する。

Key Words: Bridge Inspection, Unmanned Aerial Vehicle, Structure from Motion(SfM), Cracks, Girder

1. はじめに

日本国内には、橋長 2m 以上の道路橋が約 70 万橋存在する。2018 年時点において建設から 50 年以上経過している橋梁の割合は約 20% であるが、2033 年には約 60% に増加すると予想されている¹。この老朽化した橋梁を効率的に維持管理することは社会的な課題となっている。

国土交通省では、橋梁定期点検要領に基づき、2014 年から橋梁等の道路施設に関する定期点検を 5 年に 1 回の頻度にて実施している。橋梁定期点検要領においては、点検技術者が全部材を近接目視し、確認した損傷状態などを踏まえ、健全性を診断し、適切に措置することを定めている²。そのため、点検技術者の接近が困難である場合は、高所作業車の利用や、足場の仮設置、ロープアクセスなどで作業を行っており、点検作業の安全性やコスト削減が課題となっている。また、少子高齢化等による技術者不足から点検作業の効率化についても、喫緊の課題となっている。

このように、橋梁点検では、現地での点検と点検報告書の作成に多くの労力(人, 時間, 費用)を必要としている。現在、点検作業の主流は目視点検であるが、高所に位置する橋梁を対象とした点検では、安全性の

高い無人航空機(UAV)などのロボットにより点検する動きが広がっている。国土交通省では、橋梁点検の効率化を目的として、点検ロボットの活用を積極的に推進している。その取り組みの一つとして点検支援技術性能カタログの策定などの対策が実施されており、点検支援技術を活用した橋梁点検作業の効率化が進んでいる。

本稿では、複雑な構造を持つ鉄桁橋のコンクリート床版と鋼桁を対象として、UAV により損傷を抽出する方法について検証した。鉄桁橋においては、これまで UAV による近接撮影が困難であったが、Visual SLAM 機能を搭載した UAV を使用して近接撮影することにより高解像度の画像を取得し、損傷を抽出する方法を考案した。さらに、実橋梁における適用により、目視点検結果と比較した。

2. 検証方法

(1) 概要

検証では、UAV による点検と目視による点検を実施し、それぞれの結果を比較した。UAV による点検は、コンクリート部材の床版や鋼部材の桁等を UAV によっ

て撮影し、撮影した画像を SfM 技術を使用して処理し、AI等により損傷を抽出した(図-1)。UAV 点検と同時に高所作業車を用いてコンクリート床板と鋼桁の目視点検を行い、橋梁定期点検要領に基づいて損傷内容と位置を記録した。点検結果としてコンクリート床版と鋼桁の損傷図を作成した(図-2)。

(2) 検証フィールド

検証フィールドは栃木県国道 4 号線にある新鬼怒川橋とした。新鬼怒川橋は支間長 62.2m、幅 11.5m、桁の高さ 2.8m の鉄桁橋であり、第 6 径間を検証対象とした(図-3)。

(3) 使用機材とソフトウェア

a) UAV 機材

本検証では、Skydio 社の小型 UAV「Skydio J2」を使用した。Skydio J2は、Visual SLAMによる衝突回避機能を搭載しており、全方向の衝突を回避可能である。そのため、桁内のような狭隘部においても安全にフライトが可能であり、各部材に接近して動画や画像を撮影



図-1 UAVによる点検方法

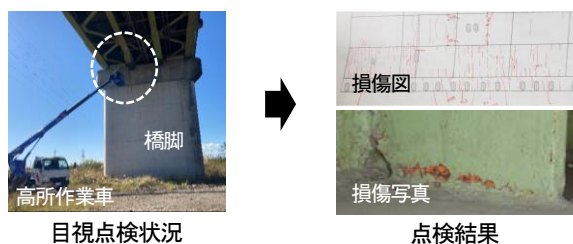


図-2 目視による点検方法

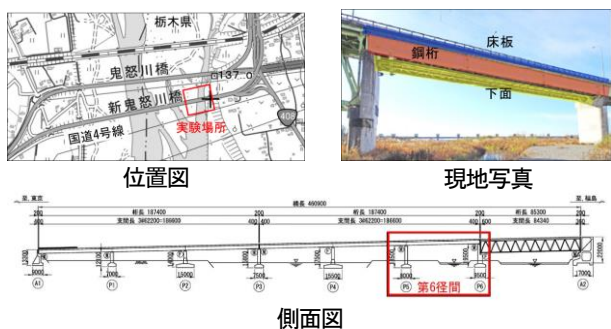


図-3 検証フィールド

できる。狭隘部への進入可能幅は約 1.15m であり、プロペラから約 50cm の距離まで近接が可能である⁴⁾。構造物近傍での安定飛行は、風速 11.2m/s 未満で可能であり、計測器が雨に晒されないことが条件となっている(図-4)。

b) 使用ソフトウェア

本検証では、3次元データやオルソモザイク画像を作成するために PIX4D 社の SfM ソフトウェア「Pix4Dmapper」を使用した。コンクリート床板のひび割れを抽出するために富士フィルム社の AI 技術による社会インフラ画像診断サービス「ひびみつけ」を使用した。

3. 検証結果

(1) コンクリート床版

橋梁点検要領では、コンクリート床版を点検する際に 1mm 以下のひび割れを抽出することが記載されている。そこで、桁内部まで UAV を飛行させて、カメラを上に向けて対象表面の真正面に対して約 0.8m の位置から近景撮影した。画像間のラップ率は、撮影方向(オーバーラップ)に 80% 以上、コース方向(サイドラップ)で 70% 以上とした。この時、風の影響や手動制御のミス等によるラップ率不足を解消するための対策として、近景とは別に遠景からの撮影を行った(図-5)。

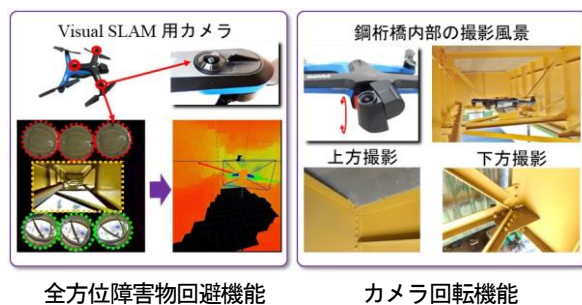


図-4 UAV機器

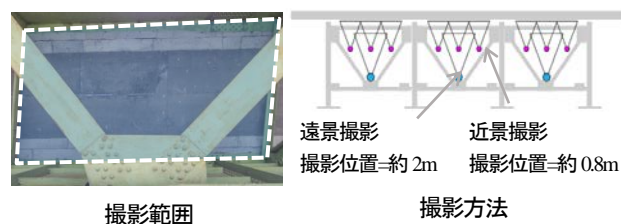


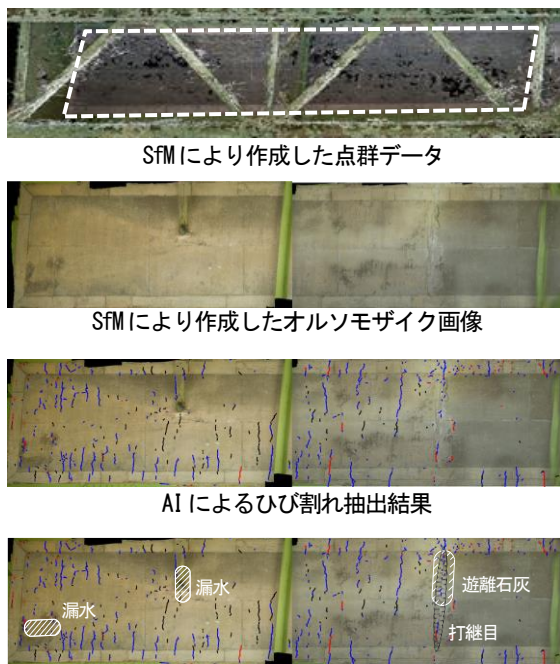
図-5 コンクリート床版の UAV 撮影方法

次に、SfM ソフトウェアを使用して撮影した画像から各床版の点群データと3次元モデルを作成した³⁾。さらに、3次元モデル上で床版の四隅の座標を取得し、投影変換することによりオルソモザイク画像を作成した。作成したオルソモザイク画像から「ひびみっけ」を使用してひび割れを自動抽出した。その他の損傷は画像上で目視判読した。その結果、全体的に一方向のひび割れが生じている状態であり、主に0.2mm以下のひび割れが存在していた。排水管の一部には漏水が生じており、打継目の一部に遊離石灰が生じていた(図-6)。

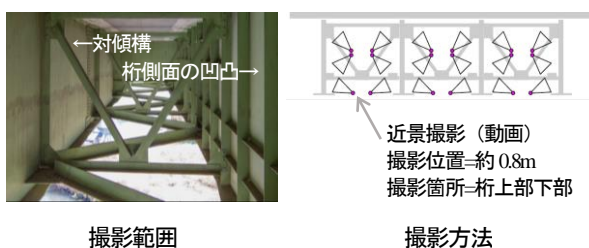
(2) 鋼桁

鋼桁においては、主桁の横桁と対傾構などの部材の全面を撮影対象とし、桁側面部の凹凸も漏れなく撮影するために、図-7に示すようにカメラを上下左右方向に向けて近景撮影をした。

桁内部は類似した構造が連続しているため、近景の撮影画像のみでは損傷の位置を特定することは難しい。



ひび割れとその他損傷の抽出結果
図-6 コンクリート床版の点検結果



撮影範囲 撮影方法
図-7 桁内部の UAV 撮影方法

そのため、損傷位置を確認するように遠景から桁の側面と下面を撮影した。次に、SfM ソフトウェアを使用して遠景撮影画像から3次元モデルを作成し、コンクリート床版の点検と同様の方法によってオルソモザイク画像を作成した(図-8)。

点検方法としては、近景撮影動画から損傷箇所を目視判読した。その結果、局所的な剥がれや点錆、小さい腐食が生じていることを確認した。また、全体のオルソモザイク画像から、広範囲において全鋼部材の外層の防食塗膜が変色していることを確認した(図-9)²⁾。

(3) UAV点検と目視点検の比較

UAV点検の結果を評価するために、コンクリート床版と鋼桁それぞれについて目視点検の結果を比較した。

a) コンクリート床版の点検結果の比較

床版の損傷図面におけるひび割れの傾向はほぼ同じであった。損傷図におけるひび割れの位置正確度は目視点検よりUAV点検の方が高い結果となった。また、目視点検ではひび割れ幅をひび割れごとに計測しているが、UAV点検ではひび割れ幅を一定の距離ごとに計測するため、より正確に損傷状況の評価ができた。UAVによって撮影した画像は、目視点検の際に撮影する画像とほぼ同じ解像度であり、点検調書の写真台帳を

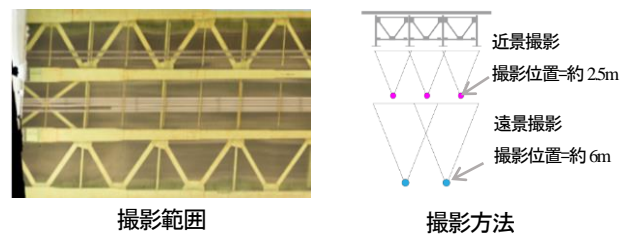


図-8 桁下面の UAV 撮影方法

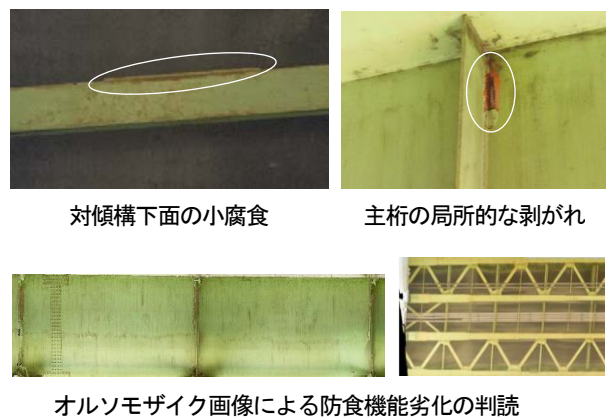
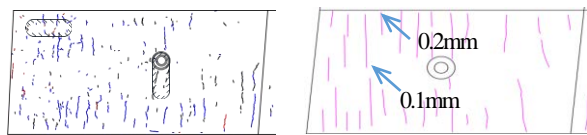


図-9 鋼桁の点検結果



損傷図 (UAV 点検結果)

損傷図 (目視点検結果)

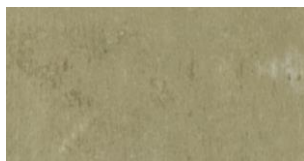
| 損傷の種類 | ひび割れ 0.1mm未満 | ひび割れ 0.1~0.2mm | ひび割れ 0.2mm以上 | 遊離石灰 |
|-------|-----------------|-------------------|-----------------|------|
| 表示 | — | — | — | — |



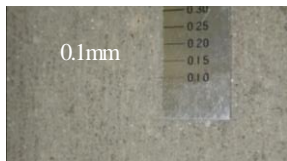
損傷写真例 (UAV 点検結果)



損傷写真例 (目視点検結果)



損傷写真例 (UAV 点検結果)



損傷写真例 (目視点検結果)

図-10 コンクリート床版の UAV 点検と目視点検結果の比較

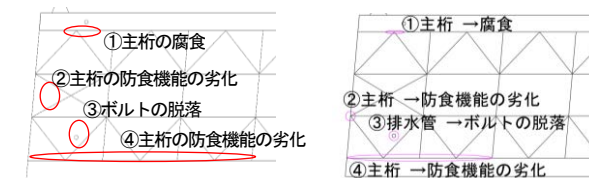
作成する時にも利用できることを確認した。一方、目視点検で判読できた 0.1mm 幅のひび割れを、UAV 点検では判読できない場合もあった (図-10)。これは、コンクリート床版と UAV との距離や桁内部の明るさが影響したと考えられる。

b) 鋼桁の点検結果の比較

鋼桁の腐食、防食機能の劣化やボルトの脱落などは、UAV による点検においても目視点検と同様に確認できた。また、目視点検では主桁全体の画像を撮影できなかったが、UAV 点検では撮影可能であり、画像をオルソモザイク画像化することで桁全体の腐食状況を確認できた (図-11)。

4. まとめ

本検証では狭隘部の撮影が困難な鉋桁橋を対象として UAV による点検を行なった。その結果、コンクリート床版における 1mm 以下のひび割れや漏水といった損傷や、鋼桁における部材の腐食や防食機能の劣化などを目視点検と同等以上に点検できることを確認した。また、UAV 点検においては SfM ソフトウェアをしてオルソモザイク画像を作成することで、目視点検よ



損傷図 (UAV 点検)

損傷図 (目視点検)



①主桁の腐食 (左: UAV 点検 右: 目視点検)



②主桁の防食機能の劣化 (左: UAV 点検 右: 目視点検)



③排水管のボルトの脱落 (左: UAV 点検 右: 目視点検)



④UAV 点検による主桁全体の防食機能劣化の確認

図-11 鋼桁の UAV 点検と目視点検結果の比較

りも精度良く損傷の位置を抽出でき、全体的な変状を把握できた。本稿の検証結果により、高所場所の近接目視点検に用いられた足場仮設の設置やロープアクセスの代替手段として UAV 等の点検支援技術が活用できることが確認できた。

謝辞：撮影やデータの収集にあたり、関東地方整備局宇都宮国道事務所と国立研究開発法人土木研究所の方々にご協力いただいた。

参考文献

- 1) 国土交通省：社会資本の老朽化の現状と将来予測、<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html>, (入手 2022.6.11)。
- 2) 国土交通省：道路橋定期点検要領, pp.1-11, 2019.
- 3) 下川光治, 森川博邦, 服部達也：UAV を活用した橋梁の 3 次元モデル作成方法に関する考察, 令和 3 年日本写真測量学会 年次学術講演会, pp.87-90, 2021.
- 4) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ, pp.2-1-83, 2021.