

小型ドローンと SfM を利用した構造物ひび割れ点検における写真ラップ率の影響

鹿児島工業高等専門学校 (学) ○中西 涼太, 中丸 ゆかり, (正) 安井 賢太郎

宮崎大学工学部 (正) 森田 千尋, 長崎大学大学院 (正) 出水 享

1. はじめに

橋梁やトンネル等の道路施設の高齢化は、重大な事故につながる可能性があることから、不具合を早期に発見し、適切な対策を取る必要がある。現在これらの施設には、5年に1度の近接目視点検が義務付けられているが、点検コストや保全業務に携わる土木技術者不足など課題も多い。これを受けて、2019年より近接目視と同等の精度が得られる点検技術の利用が可能¹⁾となったため、ドローンや赤外線サーモグラフィーを活用した点検²⁾に関する研究が進められている。しかし、これら点検の多くは高価な機器や高度な技術が必要となり汎用的に利用できないため、利用促進に向けた検討が必要である。

本研究は、小型ドローンと SfM と呼ばれる複数枚の写真から形状を復元する技術を利用し、橋梁点検に応用することを検討している。これまでに、ドローンと撮影対象構造物との距離がひび割れ幅の測定精度に及ぼす影響について明らかにした³⁾が、SfM構築に最適な写真重複割合（以下、ラップ率）については、80%以上が適していると言われているが詳細には検討されていない。

本報告では、橋梁のひび割れ幅を計測対象とし、ドローン撮影時におけるラップ率を変化させた際の、SfM復元モデルのひび割れ幅測定精度を検証した。

2. 実験概要

図-1に本実験でひび割れ幅を計測した橋梁を示す。橋梁は、宮崎県日南市に架かる橋長105m、幅員7.5mの桁橋であり、主桁数か所にひび割れが確認された。本提案手法によるひび割れ幅計測手順を以下に示す。

- 1) 橋梁のひび割れ箇所から1m離れた位置に、小型ドローン (Mavic Mini, DJI) を飛行させ、図-2のルートでひび割れ箇所周辺を撮影した。
- 2) この時、ラップ率の影響を検討するために、対象物から1m離れた際の撮影可能範囲（縦980mm、横1290mm）に基づいて、表-1に示す間隔で撮影した。
- 3) SfM (Metashepe, Agisoft LLC) を用いて、撮影した複数枚の写真から図-3に示すような3Dモデルを復元した。このとき、モデルに寸法を付与するために、予めひび割れ近傍にマーカーを2枚貼付け、撮影すると同

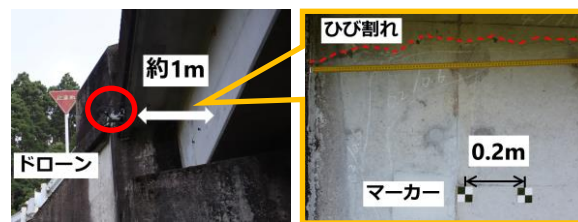


図-1 橋梁主桁側面のひび割れ確認状況

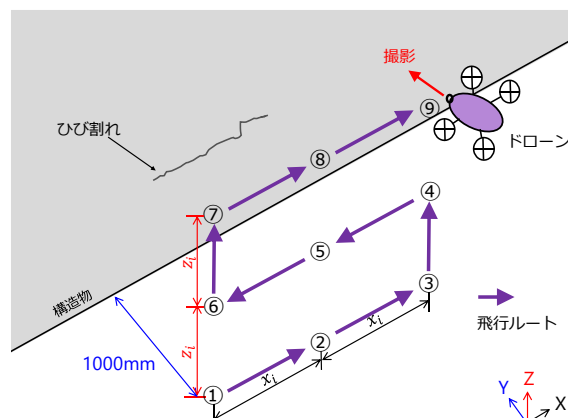


図-2 ひび割れ撮影におけるドローンの飛行ルート

表-1 各ラップ率における撮影間隔

ラップ率	50%	60%	70%	80%
x_i (mm)	650	500	380	250
z_i (mm)	490	390	300	200

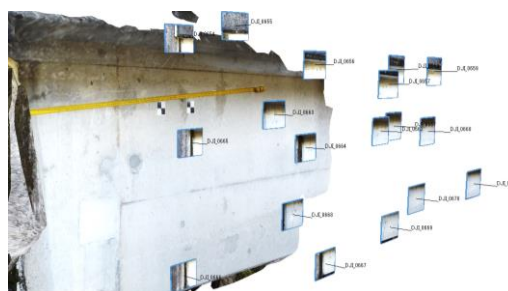


図-3 複数枚の写真から復元した橋梁 3D モデル

時に、これら2点間の距離も計測した（図-1）。

- 4) SfM で得られた 3D モデル上のひび割れを測定した。精度検証のためのひび割れ幅実測値はクラックスケール（以下、CS）を使用した。この時、ひび割れ幅の測定間隔は、ひび割れ進展方向に 25 mm とした。
- 5) 3D モデルのひび割れ測定値を N 、CS 実測値を N' とし、(1)式を用いて相対誤差を計算し精度を検証した。

$$\left| \frac{N - N'}{N'} \right| \times 100 \quad (1)$$

3. 試験結果及び考察

図-4 にラップ率を変えて撮影した際の、CS 実測値に対する SfM 測定値の相対誤差を示す。この時、復元に使用した写真は 8 枚 (2 段×4 枚) であった。まず、全てのラップ率において、CS 実測で 0.05 mm であった最小ひび割れ幅までを認識できた。ここで、0.25 mm 以下のひび割れ幅を測定した際の誤差が大きい結果となった。この理由として、割れ幅の縮小に伴い 3D モデル上のひび割れとコンクリートの境界が不明瞭となり、ひび割れ幅測定における始点及び終点位置を正確に指定できていないことが考えられる。加えて、測定箇所が暗い場合では、その誤差が顕著であったため、照度も影響するものと考えられる。ラップ率の違いに着目すると、ラップ率 50% 時の相対誤差平均値は 105%, 一方ラップ率 80% 時の平均値は 62.5% であり、ラップ率の上昇に伴い測定値の信頼性は向上した。

図-5 にラップ率 70%, 及び 80% で撮影した写真 18 枚 (3 段×6 枚) を用いて復元した場合の相対誤差を示す。図-4 の結果と比較すると、写真枚数が増加することで測定精度が悪くなる例もあった。この原因として、復元に使用する写真枚数の増加に伴い、3D モデルにおける写真接合部のずれが増加し、ずれが生じた箇所にあるひび割れが明瞭でないことによるものと考えられる。本実験において、写真枚数を減少させた場合、復元に要した時間は減少したものの、写真枚数を 4 枚 (1 段×4 枚) まで減らすと復元ができなくなる場合もあった。

本提案手法の有用な点は、橋梁の全体形が 3D モデルとして保存でき、数年後の点検時のモデルと比較することで構造物の変状を確認できる点である。また、ひび割れ幅の計測においては、写真枚数を減らして復元することで対応できる。加えて、これまでの点検手法と比較して、測定漏れ、及び不具合位置の記載ミスが発見された場合においても現地再点検の必要がない点で優れている。今後、ドローンに搭載されるカメラの高性能化が進むことで、点検精度の向上が期待できる。

4. まとめ

以下に本実験で得られた知見をまとめる。

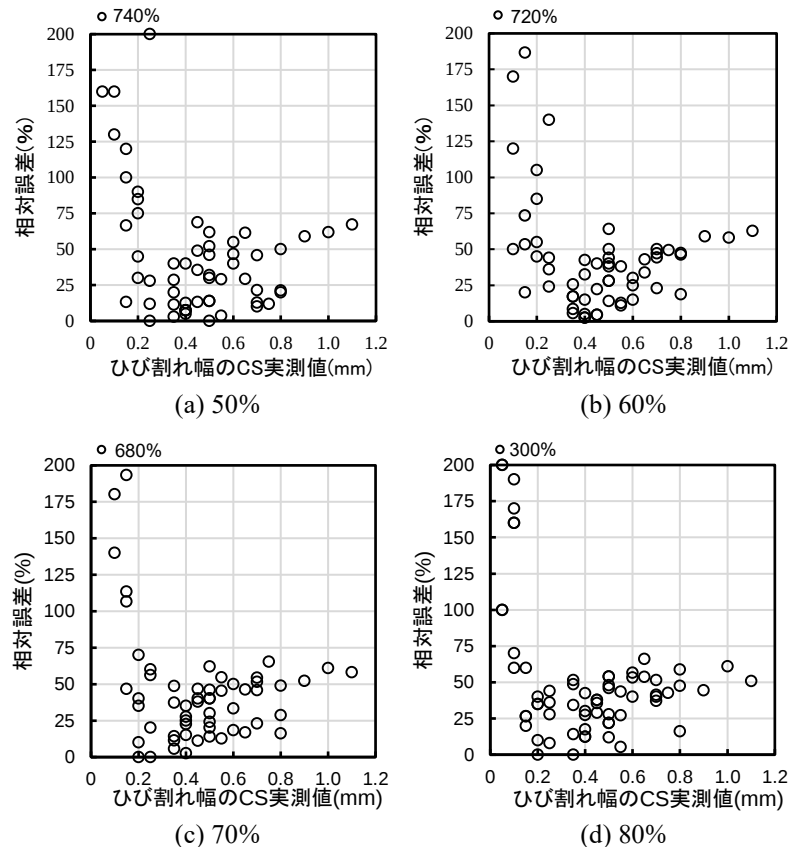


図-4 CS 実測値に対する SfM 測定値の相対誤差：ラップ率の影響

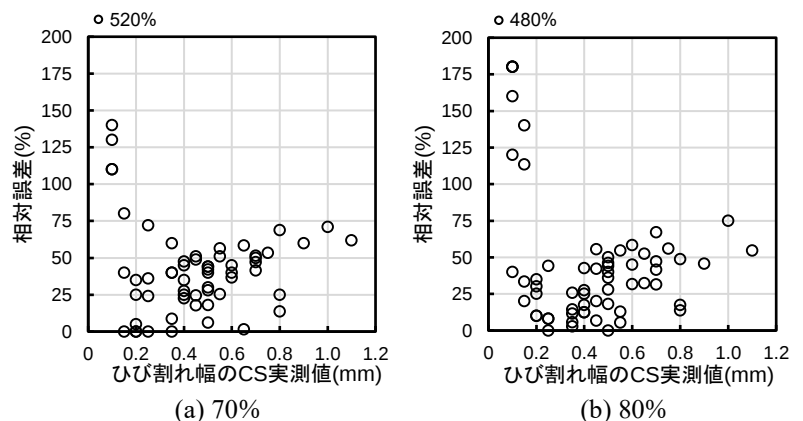


図-5 CS 実測値に対する SfM 測定値の相対誤差：写真枚数の影響

- 1) 3D モデルにおいて最小で 0.05 mm のひび割れ幅を認識できたが、0.25 mm 以下のひび割れ幅は CS 実測値との相対誤差が大きい。
- 2) 本実験の条件において、ラップ率の上昇に伴い測定値の信頼性は向上したが、写真枚数が増加することで測定精度が悪くなる例もあった。

参考文献：

- 1) 国土交通省：道路橋定期点検要領（平成 31 年 2 月），www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo4_1.pdf, (閲覧日 令和 3 年 12 月 31 日)
- 2) 眞方山美穂，宮内博之，兼松学，他：ドローンに搭載した赤外線装置による外壁調査手法の実証実験，コンクリート工学会論文集，Vol.57，No.9，pp.675-680，2019
- 3) 本多雅匠，森田千尋，安井賢太郎，他：UAV と SfM 技術を利用したコンクリート構造物のひび割れ幅計測の道路橋への適用，実験力学，Vol.21，No.3，pp.232-239，2021