

動画撮影を活用した SfM による橋梁点検手法の検討

宮崎大学大学院（学）○迫田 鐘生，宮崎大学工学教育研究部（正）森田 千尋
鹿児島工業高等専門学校（正）安井 賢太郎，長崎大学大学院（正）出水 享

1. はじめに

我が国において，建設から50年以上経過した道路橋の割合は年々増加傾向にあり，2033年には63%に達することが予想されることから，老朽化対策は喫緊の課題である．2019年2月には，「道路橋定期点検要領」¹⁾の改定により，近接目視点検と同等と認められた点検手法が採用されたことから，より効率的な点検手法として，UAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機，以下UAV）で撮影した画像をSfM処理技術により3Dモデル化し，近接目視点検の代替え手法としての活用が着目されている．SfMを用いた研究に関しては，UAV撮影とSfMを組み合わせた3Dモデルの精度検証²⁾や，3Dモデルの橋梁点検導入への実現可能性に関する研究³⁾が報告されている．しかし，いずれも点検対象物を複数枚撮影した静止画を利用したモデリングであることから，動画を利用することができれば撮影時間の短縮に繋がることが期待される．

本研究では，橋梁点検手法の効率化を目的に，コンクリート部材を異なる条件で撮影した動画から3Dモデルを構築し，その寸法精度をそれぞれ検証した．

2. SfMの概要

SfMは，画像を用いた3Dモデルの復元技術である．復元にあたっては異なる位置から撮影した複数枚の画像が必要であり，画像同士のオーバーラップ部分を解析する事により画像を繋ぎ合わせるものである．図-1に3Dモデルの構築手順を示す．1つの画像から数百から数千点の特徴点が抽出され，特徴点と各カメラの位置・姿勢の推定値から生成された粗い点群から各ピクセルの3D座標を計算し，密度の高い点群を得る．この点群からメッシュデータを作成し，ここに元の画像を貼り付けることで3Dモデルが構築される．

3. 検証方法

3.1 撮影条件の違いによる3Dモデルの寸法精度検証

動画データを利用した3Dモデルの作成における最適な撮影条件を明らかにするために，表-1に示す撮影機器を使用し，表-2に示す撮影条件で得られた動画からコンクリート部材の3Dモデルを作成し，精度の比較検証をそれぞれ行った．精度の評価は，部材断面寸法の実測値 N' と3Dモデル上の測定値 N から(1)式を用いて求めた相対誤差で行った．

$$\text{相対誤差} Re = \left| \frac{N - N'}{N'} \right| \times 100 \tag{1}$$

1) 解像度

撮影対象は学内に設置された解体橋梁桁（縦：約500mm×

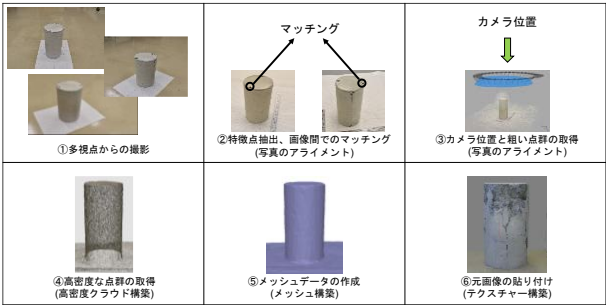


図-1 SfMによる3Dモデルの構築手順

表-1 撮影機器

メーカー	Panasonic	SONY	GoPro
機種	HC-W870M	α6100	HERO11
動画解像度(px)	1,920×1,080	3,840×2,160	5,312×2,988
撮影機器外観			

表-2 撮影条件

検証項目	撮影条件	撮影対象	撮影機器
1) 解像度	移動速度：167 mm/s 撮影距離：500 mm	解体橋桁	3機種 (表-1)
2) 移動速度	167～1,000 mm/s (撮影距離：500 mm)	コンクリート 試験体	GoPro
3) 撮影距離	500, 1,000, 1,500 mm (移動速度：167 mm/s)	解体橋桁	GoPro

横：約500mm×奥行き：約6,200mm）とし，桁全体のモデル化を行った．撮影機器は，表-1に示す解像度の異なる3種類のカメラを使用した．移動速度が167 mm/sになるように歩行しながら，可能な限り手振れの無いよう慎重に対象物を撮影し，使用機器の違いによる精度比較を行った．

2) 移動速度

撮影対象はコンクリート試験体（縦：400mm×横：300mm×長さ：5,000mm）の一面のみとし，撮影機器はGoProを使用した．撮影距離は500mmとした．移動速度は，試験体長手方向の5,000mm間を一定の速度を維持しながら撮影し，その際の撮影時間を変えることで変化させた（例：撮影時間5秒の場合は，撮影速度1,000 mm/s）．なお，撮影時間は5秒（約1,000 mm/s）から30秒（約167 mm/s）まで5秒ずつ増加させた．

3) 撮影距離

撮影対象は解体橋梁桁とし，撮影機器はGoProを使用した．撮影距離を500mm，1,000mm，1,500mmと変え，移動速度167 mm/sで撮影した．

3.2 実橋梁における撮影手法効率化についての検討

校内におけるコンクリート部材撮影に加え、部材寸法の大きな実橋梁でも精度の良いモデル化が可能であるかを検証するために、宮崎市にある橋長93.4 m、幅員が6.8 mのPC4径間T桁橋（以下、橋梁A）を対象に撮影を行った（図-2（a））。撮影範囲は、中間横桁間（縦：23.35 m×幅：6.8 m）とし、撮影者の安全確保のため、橋梁の下面のみを撮影対象とした。具体的には、伸縮ポールの先端にGoProを設置し（図-2（b））、撮影距離約1,000 mm、移動速度167 mm/sの条件で下面全体を撮影した。なお、桁間などモデル化が困難と予測された箇所は、該当箇所のみ動画を別途撮影した。

4. 検証結果

図-3に解像度（撮影機器）と解体橋桁寸法値の相対誤差の関係を示す。全体的に良好な寸法精度で測定することができた。また、解像度が高くなるほど3Dモデルの精度は向上し、寸法値の平均相対誤差は小さくなった。特に、GoPro撮影動画から作成した3Dモデルは他の2機種（HC-W870M、α6100）のモデルと比べて高精度であった。原因としては、GoProの高い手振れ補正機能が影響していると考えられるため、以降の検証における撮影機器にはGoProを使用した。

図-4に撮影速度とコンクリート試験体寸法値の相対誤差の関係を示す。撮影速度を小さくするほど3Dモデルの精度が向上し、撮影速度が約333 mm/s以下であれば、高い精度での寸法測定が可能であることが明らかとなった。

図-5に撮影距離と解体橋桁寸法値の相対誤差の関係を示す。撮影距離を短くすることで精度が高くなる一方で、撮影距離500 mmでは精度が低下した。これは、アライメント処理時に、特徴点のマッチングがうまく行われず読み込まれない写真が複数枚生じ、図-6に示すような穴の開いた3Dモデルとなったことで、寸法測定に影響を及ぼしたものと考えられる。撮影距離1,000 mmの条件における動画撮影時間を静止画撮影時間と比較したところ、動画撮影によって時間を約1/3に短縮することができた。

なお、実橋梁の3Dモデルの寸法測定結果については、現在検証中であるため、発表時に報告する。

5. まとめ

撮影条件を変えたコンクリート部材の撮影動画から3Dモデル構築し寸法精度を検証した。以下に知見をまとめる。

- 1) 撮影速度が約333 mm/s以下であれば、高い精度の寸法測定が可能である。
- 2) 撮影機器の解像度が高くなるほど3Dモデル精度は向上し、寸法値の平均相対誤差は小さくなった。
- 3) 撮影距離が1,000 mmの場合の3Dモデル精度が最も高く、撮影時間も静止画撮影と比べ約1/3に短縮した。

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
- 2) 本多雅匠，森田千尋，安井賢太郎，出水享，中野敦：UAVとSiM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.
- 3) Siyuan, C., Debra, F. L., Eleni, M., Iman, Z. and Jonathan, B: UAV Bridge Inspection through Evaluated 3D Reconstructions, *Journal of Bridge Engineering*, Vol. 24, No. 4, 05019001, 2019.



(a) 橋梁 A の全体像 (b) 伸縮ポール
図-2 橋梁 A の撮影風景

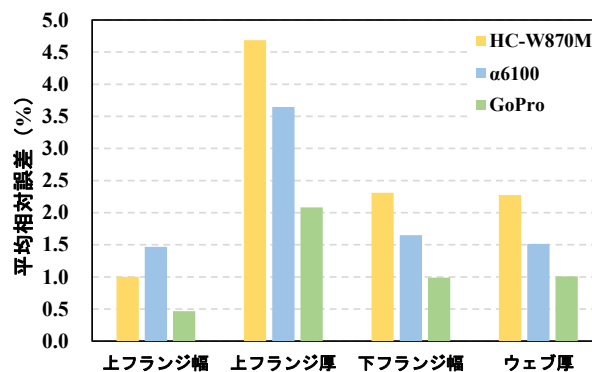


図-3 解像度と相対誤差の関係

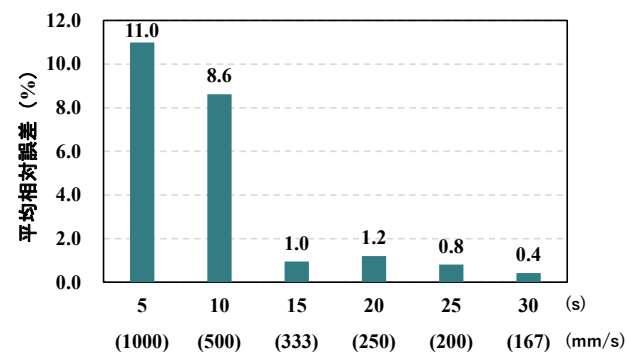


図-4 撮影速度と相対誤差の関係

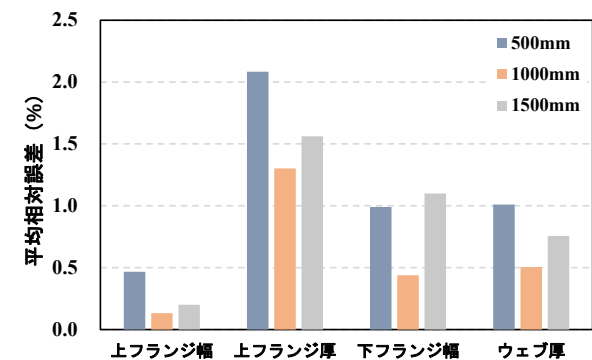


図-5 撮影距離と相対誤差の関係



(a) 撮影距離 500 mm (b) 撮影距離 1000 mm
図-6 解体橋梁桁 3D モデル