

中小橋梁の点検における SfM による 3D モデルの有効性検証

木本啓介*, 林謙介**, 山口浩平***, 松田浩****

*株式会社計測リサーチコンサルタント (〒732-0029 広島県広島市東区福田 1-665-1) kimoto@krcnet.co.jp

**長崎大学大学院工学研究科博士前期課程 (〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14) bb35414030@ms.nagasaki-u.ac.jp

***長崎大学大学院工学研究科 (〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14) kohei@nagasaki-u.ac.jp

****長崎大学大学院工学研究科 (〒852-8521 長崎県長崎市文教町 1-14) matsuda@nagasaki-u.ac.jp

Verification of the 3D Model Using SfM in Inspection of Medium and Short Span Bridges

Keisuke KIMOTO, Kensuke HAYASHI, Kohei YAMAGUCHI and Hiroshi MATSUDA

Authors had demonstrated to apply 3D model created by image analysis “Structure from Motion” using images to inspection of bridge without temporary scaffold. Especially in previous studies, we have manually documented the shooting method of medium and short span bridges. In this study, we created 3D modeling with a manual shooting method for another medium span bridge and verified the reproducibility of shape and problem extraction.

Keywords: Structure from Motion (SfM), medium and short span bridge, bridge inspection, 3D model, manualization

1. はじめに

現在わが国には橋長 2m 以上の橋梁が約 70 万橋、そのうち橋長 15m 未満の橋梁が約 50 万橋存在する。平成 26 年に国土交通省より、5 年に 1 回の頻度で近接目視点検を実施することが義務化されたが、それらの多くを市町村が管理しており、少子高齢化、人口減少に伴う自治体の財政難、技術職員の不足のため、十分な点検が実施できていない現状がある。更に、建設後 50 年を超えた橋梁(2m以上)の割合は、2016 年では 20%であるが、10 年後には 44%に急増することが見込まれており¹⁾、より効率的な橋梁点検手法の開発が急務となっている。

著者らは長大橋(斜張橋)のコンクリート主塔を対象に、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) を用い撮影した画像から SfM (Structure from Motion) 解析により 3D モデルを作成することで、足場仮設を必要とせず、安全に短時間で目視点検と同等の損傷を把握できることを実証した²⁾。しかし、管理すべき橋梁の大半は橋長 15m 以下の中小橋梁であり、安全、費用面から必ずしも全橋梁に UAV の適用が可能ではない。UAV の操縦には高度な技量を要し、誰もが容易に行える手段ではないため、最適な手法とは言えない。

そこで著者らは、「中小橋梁の点検における SfM の活用方法の比較・検証」(実験力学, 第 17 巻, No.4, 290-297)にて、特別な技術や知識がない人でも容易に橋梁に関するデータ取得ができるよう、中小橋梁を対象として、効率的な撮影方法の検証や SfM 解析により算出された 3D モデルの再現性(色や形状)、使用機材の差などを検証し、簡易マニュアル化を行った³⁾。それら結果を別橋梁に適用した結果を本稿にて示す。

2. SfM (Structure from Motion) について

SfM とは 80%程度ラップして連続撮影された画像から 3D データを復元する技術のことである。基本原理は写真測量と同じで、カメラ位置、姿勢情報と画像間の関連性を用いて 3D 形状を復元する。写真測量では画像間の関連性をユーザが手作業で入力したが、SfM ではそれらを自動計算により行う。Fig.1 に一般的な SfM 解析の流れを示す。

3. 橋梁への適用

3. 1 対象橋梁

撮影対象は、長崎県大村市にある高縄手橋(橋長約 7m, 幅員約 20m)で、RCT 桁橋(7 主桁)に RC 床版橋が拡幅された構造である。本橋梁は、河川改修に伴う拡幅のため撤去が予定されており、本研究他様々な検証を実施した。

Fig.2 に橋梁の状況を示す。

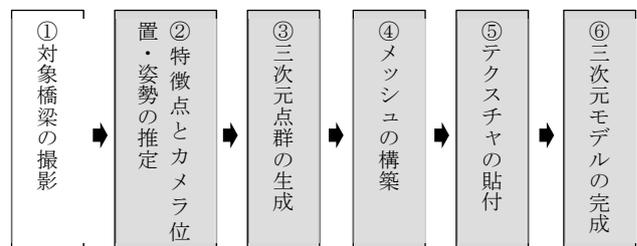


Fig.1 Procedure of SfM analysis



T-girder bridge Slab bridge

Fig.2 Takanawate Bridge

Table1 Specification of used camera

Type	Single-lens reflex digital camera
Name	Nikon D750
Image	
Image sensor	CMOS sensor 35.9×24.0mm
Effective pixels	6016×4016 24.3 million

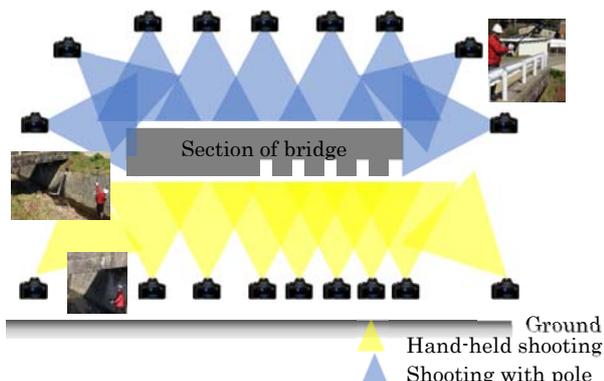


Fig.3 Grouping of shooting positions

3. 2 使用機材

本研究で使用したカメラは、近距離で広範囲を高解像度で撮影する必要があるため、フルサイズのセンサを搭載した一眼レフカメラ Nikon D750 を選定した。Table1 にカメラの仕様を示す。撮影画像から 0.2mm 幅のひび割れを抽出可能な 1.0mm/pixel を目標解像度として撮影した。

3. 3 撮影方法

まず、作成した 3D モデルに座標値を与えるために、撮影前に本橋梁に 10cm 角のターゲットを 8 点設置し、それらの中心座標を測量により取得する。

撮影方法は、Fig.3 に示すようマニュアルを参考にし、8 方向からの撮影となるよう橋面及び側面、桁下から撮影した。本橋梁は幅が約 20m あるため、橋面及び下面においては、左右側面の形状が関連するよう複数測線を設定した。基本的には、1 人で撮影を行い、橋面では全てポールの先にカメラをセットし撮影を実施した。

3. 4 データ解析・処理

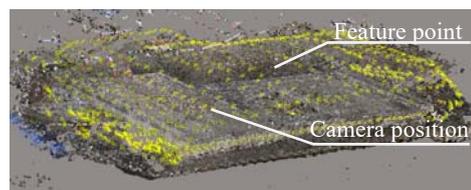
撮影した画像は全 1430 枚で、容量は約 22.9GB (JPG) であった。橋面では、508 枚の撮影に約 40 分要し、桁下では 922 枚の撮影に約 60 分要した。これらの画像を ContextCapture を用いて SfM 解析を実施し、本橋梁の 3D モデルを作成した。

解析はステップ毎に行われ、Fig.1 に示す②、③の解析は最適な値が算出されるまで繰り返し実施し、完了後に④に移行する。本件では、②、③の解析に約 6 時間要し、④～⑥の解析に 18 時間要した。経験上、複雑な構造物ほど解析に多大な時間を要すが、本橋梁では比較的短時間で処理が完了したと言える。Fig.4 に SfM 解析の結果を示す。当 3D モデルは、T 桁も忠実に再現しているうえ、高解像度の画像がテクスチャとして貼付されており、複雑な形状を理解しながら損傷を把握することが可能である。また、Fig.5 に

示すオルソ画像（展開画像）の作成も可能であり、損傷の位置把握及び経年比較にも有効なデータとなる。

4. まとめ

撮影マニュアルを検討した橋梁は、幅員が狭く桁下に空間があったが、本橋梁は橋長に対し幅員が大きいので、両側面の関連性を持たせることに苦慮すると思われたが、十分なラップ率を確保し、計画的に撮影することで、再現性の高い 3D モデルを作成できた。つまり、幅員が広い橋梁でも橋面及び桁下面を複数測線で撮影することで、手撮影のみで橋梁の 3D モデルを作成することが可能である。当 3D モデルには、0.2mm 幅以上のひび割れを判読できる高解像度のテクスチャが貼付されており、3 次元形状を把握しながらの損傷調査が容易となる。また、従来の点検では、目視調査のためスケッチにより損傷図を作成していたが、オルソ画像を用いることで、位置情報が明確になり、ひび割れの進展など経年比較も容易に把握できる。この 3D モデルを橋梁台帳に活用することで、効果的な維持管理が期待できる。ただ、現状では 3D モデルを作成後、そこから 2 次元データ（オルソ画像）に次元を落として損傷図を作成しているため、今後は 3D モデルから直接損傷図を作成し、全情報を 3 次元で一元管理できるシステムの研究・開発を行い、効率的な手法を確立させていく必要がある。



Generation of 3D point cloud



3D model of T-girder

3D model

Fig.4 Flow of SfM analysis



Fig.5 The ortho image of bottom surface

参考文献

- 1) Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Annual report of road maintenance (in Japanese), (2016.9), 27
- 2) Kimoto, K. et al.: The development of inspecting method about bridge without temporary scaffold using optical measurement techniques (in Japanese), Nagasaki University's Academic Output SITE (2017), 47(89), 59-66
- 3) Kimoto, K. and Matsuda, H.: Comparison and Verification of Utilizing Method Using SfM in Inspection of Medium and Short Span Bridges (in Japanese), Journal of JSEM (2018), vol.17, No.4, 290-297