

大規模特殊橋梁の UAV による 3 次元モデルを用いた点検効率化の検討

西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 正会員 ○上原 玲士，俵 司
アジア航測(株) 正会員 下川 光治
西日本高速道路(株) 山代 裕紀，幸 皇太

1. 背景と目的

老朽化する橋梁の維持管理や点検における技能労働者不足を背景に，橋梁定期点検に UAV（Unmanned Aerial Vehicle）等の点検ロボットを活用することが期待されている。国土交通省では橋梁点検の効率化の取り組みとして点検支援技術性能カタログ¹⁾を作成し，点検に有効な支援技術を公開している。本論では点検支援技術の UAV を用いて国立研究開発法人土木研究所の「橋梁 3 次元モデルの構築（検証事例）」^{2,3)}を活用し，目視点検が困難な PC 逆ランガーアーチ橋のアーチリブ下面を UAV で撮影し，点検に必要な「UAV による撮影方法」，「3 次元モデル構築方法」の実現性を得た。これにより，点検業務効率化の可能性が得られたので報告する。

2. 実施概要

2.1 検証場所

今回，調査対象となった米子自動車道（江府 IC～蒜山 IC）に位置する PC 逆ランガーアーチ橋の橋梁全景を写真-1 に，橋梁諸元を表-1 に示す。本橋梁は，河川の浸食作用により形成された V 字渓谷を跨ぐ地上高 80m，アーチ支間 119.00m の大規模アーチ橋である。

2.2 使用機材

撮影に使用した UAV は，全方向衝突回避センサーを搭載した UAV を用いた。

3. 検証項目

3.1 UAV による撮影

撮影方法は，オルソモザイク画像上で変状の大きさを計測する必要があるために SfM (Structure from Motion) 処理に対応した撮影方法を考案し，次の通り実施した。全景撮影では，図-1 に示すように橋梁側面から 10m～20m 離れた位置から水平に飛行させ，0 度～90 度まで撮影方向を変えて撮影した。UAV は手動で操作し，撮影は 2 秒間隔とした。近接・中景撮影では，アーチリブ下面を漏れなく撮影するために，型わく跡に沿って飛行させた。なお，近接撮影画像は範囲が狭くなり SfM 処理に必要な画像の重なりが不足するため，図-2 に示すように中景撮影によって広い範囲の画像も取得した。



写真-1 橋梁全景

表-1 橋梁諸元

構造形式	PC 逆ランガーアーチ橋
供用開始年	1992 年 11 月
橋長（アーチ支間）	164.50m（119.00m）
設計荷重	TT-43，TL-20
全幅員（有効幅員）	20.40m(2×8.500m)
コンクリート	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$
適用基準	昭和 55 年道示

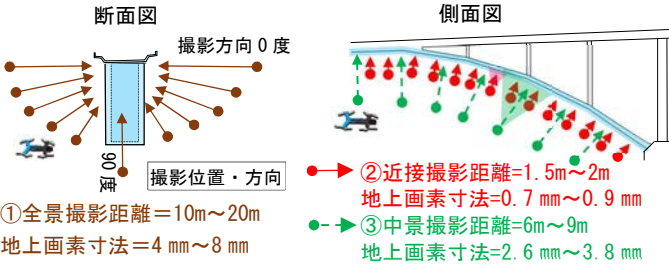


図-1 全景撮影方法

図-2 アーチリブ下面撮影方法

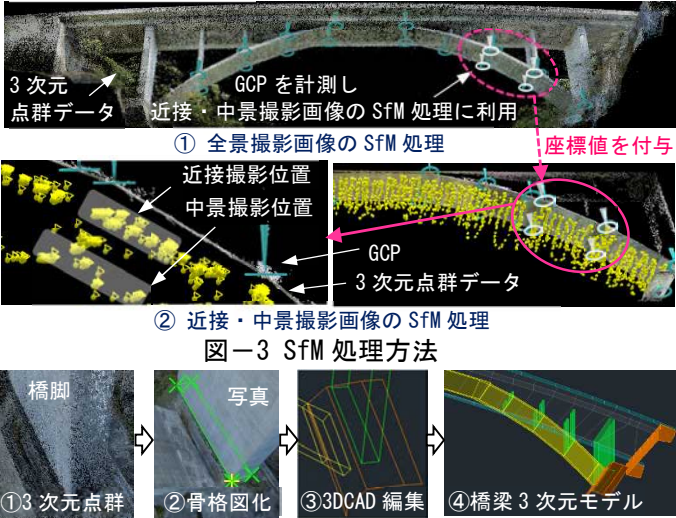


図-4 橋梁全体の 3 次元モデルデータ作成方法

キーワード 点検効率化，アーチリブ下面，3 次元モデル，SfM 処理

連絡先 〒733-0037 広島市西区西観音町 2-1 西日本高速道路エンジニアリング中国(株) TEL082-532-1433

3.2 SfM 処理

SfM 処理方法は、全景撮影画像の SfM 処理および近接・中景撮影画像の SfM 処理を 2 回に分け実施した（図－3）。全景撮影画像を使用した SfM 処理では、画像に記録された GNSS の座標値を GCP（Ground Control Points：基準点）として地理座標付きの 3 次元点群データを取得した。近接・中景撮影画像を使用した SfM 処理では、全景撮影 3 次元点群データから取得した位置の座標を GCP として使用してアーチリブ下面の 3 次元点群データを取得した。

3.3 3 次元モデルの作成

橋梁全体の 3 次元モデルは、図－4 に示すように 3 次元点群データと全景撮影画像を SfM ソフトウェア上で重ね合わせ橋梁の骨格を図化し、展開図・構造図等の点検基図となる橋梁 3 次元モデルを作成した。

4. 点検業務効率化の検討

4.1 3 次元モデルの精度検証

作成した 3 次元モデルの精度を確認するために竣工図と比較し精度の検証を行った。各部材寸法の精度を検証した結果、全体の標準偏差が 5cm 未満であり、施工誤差等を勘案すれば点検・補修設計等に十分活用できる精度であった（表－2）。

表－2 竣工図と 3 次元モデルの寸法比較表

部材名	計測数	標準偏差(m)	最小値(m)	最大値(m)
床版下面	12	0.061	0.0057	0.1630
鉛直材	72	0.046	0.0019	0.2398
アーチリブ	24	0.040	0.0049	0.1265
全体	108	0.048	0.0019	0.2398

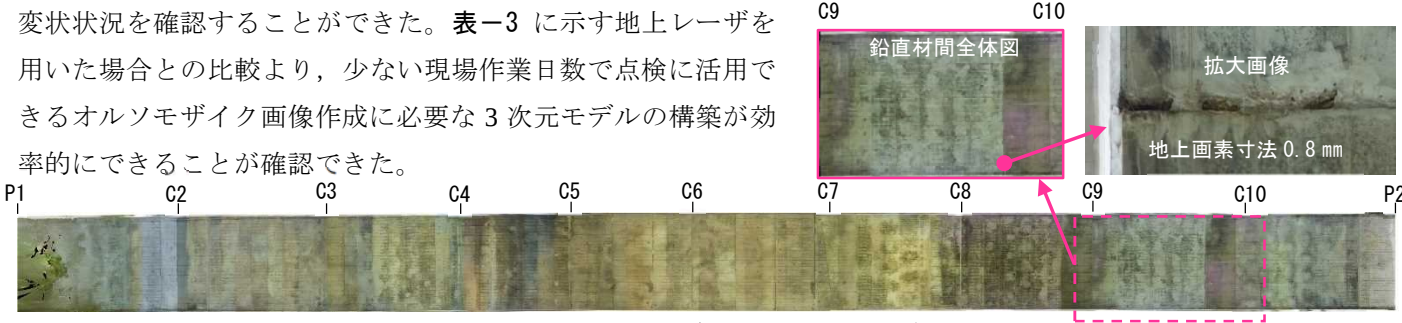
4.2 オルソモザイク画像作成

アーチリブ下面において、図－5 に示すように径間ごとに 1 ピクセルの地上画素寸法 0.8mm の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により遠望目視では確認できなかったアーチリブ下端付近の変状状況を確認することができた。表－3 に示す地上レーザを用いた場合との比較より、少ない現場作業日数で点検に活用できるオルソモザイク画像作成に必要な 3 次元モデルの構築が効率的にできることが確認できた。

表－3 地上レーザとの比較

部材名	3 次元点群データ作成		アーチリブ下面のオルソ画像の取得※2
	現地作業	内業	
UAV	2 人×2 日＝4 人日	3 人日	7 人日
地上レーザ※1	3 人×3 日＝9 人日	4 人日	不可

※1：地上レーザは、橋梁下での作業が可能とした場合を示す。
※2：点検に活用可能な変状状況等が確認できるオルソ画像の取得



図－5 アーチリブ下面のオルソモザイク画像

5. まとめ

汎用機 UAV では撮影が困難（足場確保，GNSS 非環境下）な箇所を Visual SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）を搭載した UAV と橋梁 3 次元計測技術を用いて作成した橋梁 3 次元モデルおよびアーチリブ下面のオルソモザイク画像（地上画素寸法 0.8mm）より得られた知見は、以下のとおりである。

- 1) 点検困難箇所であるアーチリブ下面の全体の変状状況を安全かつ効率的に把握することができ、定期点検時の重点点検範囲を示すことができた。
- 2) GNSS 単独測位を使用し作成した橋梁 3 次元モデルと竣工図の各部材寸法について精度検証した結果、標準偏差 5cm 以内の精度であり点検・補修設計において十分活用できる精度であった。
- 3) 更なる精度向上により施工時の出来形計測や、部材の変位・変形計測に活用できると考える。

参考文献

1) 国土交通省：点検支援技術 性能カタログ, 令和 4 年 9 月, pp2-1-77－2-1-87, 2021
2) 国立研究開発法人土木研究所：橋梁 3 次元モデルの構築（検証事例）, pp.13-36, 2021
3) 下川光治ほか：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, pp87-90, 2021