# UAV を活用した橋梁点検の撮影方法に関する考察

## 1. はじめに

日本国内には、国民生活に不可欠な共有財産の 1 つである道路橋(橋長 2m 以上)が約 72 万橋あ り、その半数は高度成長期に建設されたもので、 40 年以上にわたり供用されている。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要 請となっている。

国土交通省では、橋梁定期点検要領に基づき、 全ての橋梁について5年に1回点検技術者が全部 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。橋梁点検では、点検技術者の接近が困難な部 位への特殊車両の適用や、点検作業および報告書 作成への多大な時間・費用を多く必要としている。 橋梁点検の生産性向上は、少子高齢化等による土 木分野の技術者不足もあり喫緊の課題となってい る。そのため、点検作業の効率化に対するニーズ を受け、対応策として新技術の活用を進めている。

### 2. 本研究の目的

現状の橋梁点検では、撮影した損傷画像を点検 調書に利用して、手作業で画像の位置関係を整理 している。UAV (Unmanned Aerial Vehicle)等の新 技術での点検画像は、橋梁全体を対象とし網羅的 に撮影するため撮影枚数が多く、位置関係を人手 で整理するには手間と時間を必要とし効率的では ない。

そこで筆者らは、市場で調達できる画像を3次 元化するSfM(Structure from Motion)ソフトウェ アを活用することで、点検画像の撮影位置、撮影 方向の自動推定を行い、3次元モデル上で点検画像 から損傷を確認し計測する手法を考えている(図 -1)。これにより、損傷位置の記録と確認作業を大 幅に効率化できると考えている。

本稿では、UAV を活用した橋梁点検業務の撮影 マニュアル作成を目的とし、茨城県ならびに鳥取 県の実橋梁を UAV で撮影し、形状が複雑な鋼桁橋 梁とハイピアPC橋における橋梁3次元モデル構築の実現性が得られたので報告する。(図-1)



図-1 UAVとSfMを活用した橋梁点検イメージ

#### 3. 検討フロー

本稿における検証フローを図-2 に示す。検証1 では、橋梁の損傷確認に必要な画像品質について 確認した。検証2では、橋梁の3次元モデル構築 のための SfM 処理方法の検証と網羅性を確認した。 検証3では、衝突回避型 UAV を用いた鋼桁橋の3 次元モデル構築用の網羅的な撮影方法の確認と SfM 処理方法の検証を行った。検証4では、非 GNSS 環境下で自動飛行する UAV を用いたハイピ ア橋の3次元モデル構築用の網羅的な撮影方法の 確認と SfM 処理方法の検証を行った。



## 4. 検証1:橋梁点検に必要な画像品質

## 4. 1. 検証目的

検証1では、橋梁のひび割れ幅に対し撮影画像 に必要な対物画素寸法を確認することを目的とし た(図-3)。この検証を行うための対象構造物とし て、細かなひび割れが多い茨城県の寒沢橋の床版 裏を選定した。(表-1)

橋梁名	寒沢(かんさわ)橋(茨城県)
大きさ	橋長 10.4 m 幅 7.4 m
構造	単純 PC プレテン I 桁橋
架設年度	1970
現地写真	

表-1 対象構造物



## 4. 2. 検証方法

対物画素寸法の算出方法は、最初に図-4の検証 フローに沿って一定距離で画像を取得し、SfM 処 理により撮影距離を算出した。次に、図-5のよう な撮影距離:H、カメラ焦点距離:F、カメラセ ンサーサイズ(横):W、カメラセンサー画素数(横): S、から対物画素寸法:Pを算出した。



図-4 検証フロー

P = H/F \* (W/S)



#### 4.3. 検証結果

ひび割れの認識方法は、図-6のように、ひび割 れ幅 0.05 mm~0.2 mmを現地計測し、表 2 の条件下で 撮影した対物画素寸法 0.44 mmの画像をディスプレ イ上で拡大表示し、ひび割れ箇所を画像上で認識 できるかを確認した(図-7)。その結果、ひび割れ 幅 0.20mm~0.10mm は概ね確認することができた が、0.05 mmは半数確認できなかった。



図-6 ひび割れ確認箇所



図-7 ひび割れ確認方法

表-2 撮影条件

_	
撮影日時	2020年1月22日
撮影場所	橋梁床板裏(周辺は樹木密集地で暗い)
使用機材	単焦点レンズ (24 mm)、三脚、LED ライト
露出設定	ISO400、絞り f/8、AF

#### 6. 検証2:橋梁の3次元モデル構築方法

#### 5.1. 検証目的

検証2では、I 桁鈑桁橋梁の上部構造を撮影し、 近接目視点検相当の撮影画像から、橋梁3次元モ デル構築に向けた SfM 処理方法の検証と網羅性の 確認を目的とした。この検証を行うための対象構 造物として、損傷もあり UAV 撮影を想定した事前 撮影として、三脚固定カメラにより容易に撮影で きる茨城県の園部新大橋を選定した。(表-3)

表-3 対象構造物

橋梁名	園部(そのべ)新大橋(茨城県)
大きさ	橋長 45m 幅 8.5m
構造	I鈑桁鋼橋
架設年度	1973
現地写真	

## 5. 2. 検証方法

橋梁点検の近接目視点検用に近接で撮影を行 う近接撮影では、図-7のような、I桁鈑桁橋の上 部構造を撮影対象の対物画素寸法0.5mmとなるよ うに複数方向から撮影した。また、近接撮影枚数 を低減させるため、SfM処理する際の写真重複率 の補足用として、遠景から床板全体を撮影した遠 景撮影を行った。

橋梁3次元モデル構築用のSfM処理方法は、近接と遠景の撮影画像と現地に設置した標定点(16点)を使用し、両側面と下面、斜め方向、近接と遠景などいろいろな組合せでSfM ソフトウエア Pix4Dにより処理を行うことで検証した。

網羅性は、構築した橋梁モデル上に画像を重ね 合わせ撮影範囲と未撮影範囲を確認した。



図-7 橋梁3次元モデル撮影計画図

## 5.3. 検証結果

SfM 処理の検証では、側面と下面を一度に SfM 処理でモデル化したところうまく接続しなかったため、図-8 のように部材毎に分割処理したのち接合する方法で 3 次元モデルを構築した。

網羅性では、図-9に示すように、未撮影範囲を 確認した。特に、主桁の下フランジ部は引っ張り 応力が大きく、塗装割れ確認が必要な箇所である。



図-8 SfM 処理フロー



図-9 網羅性の確認

## 6. 検証3:橋梁の3次元モデル構築方法

## 6. 1. 検証目的

検証3 では、I 桁鈑桁橋の上部構造を対象に、 UAV にて桁内部を近接撮影し、橋梁3次元モデル 構築用の撮影方法とSfM 処理の検証を目的とした。 検証には、ジャパン・インフラ・ウェイマークの 衝突回避用UAV(図-10)を用いた。この検証を行 うための対象構造物として、架設年度が古い、茨 城県の機初橋とした。(表-4)

	表-4 対象構造物
橋梁名	機初(はたそめ)橋(茨城県)
大きさ	橋長 110m 幅 6.3m
構造	I 鈑桁鋼橋
架設年度	1951
現地写真	

特徴① ┏ 衝突回避用 ビジュア mm ルスラムセンサー6個 (60 cm接近可能) 273 特徴② ]= ジンバルカメラによる 360 度回転撮影 自由な方向から撮影 衝突しない 効果(1) 効果② 衝突しないので非 GNSS 環境 桁の中に入ることで確認困難 下の狭い場所で飛行可能 な下フランジ部を撮影可能

図-10 衝突回避型 UAV (J2)の特徴

## 6. 2. 検証方法

撮影方法の検証では、図-11 のように近接撮影 として、近接目視点検相当の桁内部(床版下面を 含む)と橋梁側面を網羅的に撮影し、桁外部にお いては、中景撮影として桁内部の近接撮影と遠景 撮影の接合用に撮影し、遠景撮影として標定点観 測用の撮影を行った。

SfM 処理の検証では、現地に設置した標定点(上 部鋼構造の側面と下面)を使用して桁内部を含め た橋梁 3 次元モデルを SfM ソフトウエア Pix4D に より処理を行うことで検証した。



図-11 UAV 撮影計画図

## 6.3. 検証結果

撮影方法の検証では、図-12 に示すように桁内 部は狭く配管があったため桁半部を対象とした。 移動範囲は制限されるが、カメラ方向を回転させ ることで網羅的に撮影できた。



図-12 UAV 撮影実施図

床版の対物画素寸法は、SfM 処理で算出した撮影位置から床板(3次元モデル)間を計測し1.1m を撮影距離とし、カメラ諸元と計算した結果 0.38 mmと十分な値であった。

桁内部の SfM 処理では、桁内部の 3 次元モデル ができたが、フランジ下部に未処理範囲があった (図-12)。その原因として、画像の重複率不足が 考えられる。

桁内部の近接撮影画像と桁外部の中景・遠景撮 影画像を同時に処理した場合、一部接続されなか った(図-13)。このような場合には、近接撮影画 像と中景・遠景撮影画像に写った同一点を手掛か りに手動で接合する方法で、橋梁全体の3次元モ デルを構築可能となる。この方法により机上で形 状の複雑な鋼桁橋の桁内部の全てを画像上で確認 が可能となった。これらの活用方法の事例として、 国土交通省の「点検支援技術(画像計測技術)を 用いた3次元成果品納品マニュアル」のオルソモ ザイク画像作成および3D ビューアモデル構築を 行い損傷の一部を抽出した(図-14)。



図-13 桁内部と外部の SfM 接合処理結果



図-14 3 次元成果品納品マニュアルの 3D ビューアと オルソモザイク画像による損傷抽出

## 7. 検証4:橋梁の3次元モデル構築方法

#### 7.1. 検証目的

検証4では、ハイピアPC箱桁橋を対象に、プ ログラム飛行UAVにより近接撮影し、橋梁3次元 モデル構築用の撮影方法とSfM処理の検証を目的 とした。また、検証には、デンソーのUAVを用い た(図-15)。さらに、遠景撮影を利用した標定点 設置方法の検証を行い(図16)。検証にはDJIの UAVを用いた。この検証を行うための対象構造物 として、手動操作のUAVでは近接撮影が困難な、 ハイピア橋梁の鳥取県の淵見(ふちみ)大橋とし た。(表-5)

表-5 対象構造物		
橋梁名	淵見大橋(鳥取県)	
大きさ	橋長 167.0m 幅 9.2m	
	橋脚高 31.0m	
構造	PC 連続ラーメン箱桁橋	
架設年度	2001	
現地写真		



図-15 非 GNSS 自動飛行 UAV (デンソー)の特徴



## 7.2. 検証方法

撮影方法の検証では、図 17 側面図のように近 接撮影範囲として橋脚 P1 と桁の側面と裏面(P1-P2 区間)を網羅的に撮影し、遠景撮影は、橋梁全体 を対象とするため、安全を考慮し道路真上を避け た飛行可能な位置から橋梁を挟むように複数方向 から撮影し、橋脚は P1 を上下方向に撮影した。 SfM 処理の検証では、遠景撮影画像から SfM 処 理により 3 次元モデルを構築した。使用した標定 点は地上レーザ計測の点群データから抽出した。

近接画像の SfM 処理は、遠景撮影 3 次元モデル から抽出した座標を標定点に使用し、近接撮影橋 梁 3 次元モデルを SfM ソフトウエア Pix4D により 処理を行うことで検証した。



図-17 撮影実施図

## 7.3. 検証結果

撮影方法の検証では、計画した近接撮影範囲の 撮影を行った。橋台付近は樹木が茂っているため UAVの飛行は難しい。近接撮影画像の対物画素寸 法は、図-18 に示すように対物画素寸法 0.4 mmを確 認した。

SfM 処理の検証では、遠景撮影画像の SfM 処理 を全域処理した場合、橋梁を境に統合されなかっ たため、図-19 に示すように道路を境に別々に SfM 処理し、橋梁モデルを生成し統合を行った。次に 図-20 に示すように3次元モデルを作成し近接撮 影画像 SfM 処理用の標定点座標を抽出した。



3 10 近接服款地工画来引从唯能相来



図-19 遠景撮影モデル統合イメージ図



図-20 遠景3次元モデル標定点座標抽出方法

近接撮影画像 SfM 処理の検証は、図-21-①に示 すように橋脚の全方向(正対4方向と角4方向) を同時に処理した場合、橋脚として統合されなか った。SfM 処理方法については、図-21-②③に示す ように部材を統合し橋梁モデルを生成した。

橋梁全体の3次元モデルにより机上でハイピア 橋の全てを画像上で確認が可能となった。これら の活用方法の事例として、前項の 6-3 と同様オル ソモザイク画像作成および 3D ビューアモデル構 築を行い損傷の一部を抽出した(図-21-④)。



7. まとめ

本稿では、UAV を活用した橋梁点検用撮影マニ ュアル作成を目的に、UAV で撮影した画像から、 SfM ソフトウェアを活用した橋梁3次元モデルを 構築するための撮影方法と SfM 処理方法について、 下記の項目が得られた。

- 「橋梁の3次元モデル構築方法」では、橋梁を 網羅撮影した上で、部材毎に SfM 処理する方 法を考案した。
- ② 「UAVによる鋼桁橋の撮影方法」の検証では、 衝突回避型 UAV を活用することで、桁内部の 網羅的な近接撮影が可能であることを確認し、 近接画像から桁内部を含めた橋梁 3 次元モデ ルを構築するための撮影方法を考案した。
- ③「UAVによるハイピア PC 橋の撮影方法」の検証では、橋梁下の非 GNSS 環境下で自動飛行する UAV を活用することで、計画した航路に沿った近接撮影が可能であることを確認した。さらに、橋梁全体を遠景撮影し構築した3次元モデルから座標値を抽出したものは標定点の代用が可能であることを確認した。

今回の結果により、現地での点検技術者の近接 目視点検作業に先立って机上にて橋梁を網羅的に 画像上で確認する技術を確立することができた。

今後は、本稿で確認できた事項について、実運 用レベルへ SfM 技術を適応させるため、実橋梁で 下記の検証を予定している。

- I 桁鈑桁橋の桁内部の未撮影範囲(下フランジ部) の撮影方法と SfM 処理方法の検証
- SfM 処理が許容可能な撮影距離と撮影角度の限 界値の確認
- •SfM 処理による橋梁オルソモザイク画像の検証

謝辞:本研究では、橋梁撮影に関して、茨城県と 鳥取県から検証場所を提供してただいた。さらに、 アジア航測株式会社により計画および測量作業の 助力、株式会社ジャパン・インフラ・ウェイマー クより UAV 撮影の助力をいただいた。ここに謝意 と敬意を表する。

#### 参考文献

 下川光治,新田恭士,二宮建,田中洋一:橋梁 点検画像の3 次元管理に関する考察,令和元年 建設施工と建設機械シンポジウム,pp. 177-180, 2019