

中小橋梁の点検における SfM の活用方法の比較・検証

木本啓介^{*,**}, 松田浩^{***}

Comparison and Verification of Utilizing Method Using SfM in Inspection of Medium and Short Span Bridges

Keisuke KIMOTO, Hiroshi MATSUDA

In late years optical measurement techniques such as 3D laser scanning or image analysis has been studied to apply for inspection of infrastructure. Authors demonstrated to apply 3D model created by image analysis “Structure from Motion” using images shot with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to inspection of long span bridge without temporary scaffold. However, it is not a method that everyone can easily use the technique such as UAV with risk. Moreover, most of the bridges to be maintained are medium and short span bridge in Japan. Therefore, authors verified the optimal method such as the efficient shooting method and reproducibility of the 3D model and difference in equipment in Structure from Motion for the medium and short span bridge without UAV. In order to make it easy to inspect even those without special knowledge, we aimed at manualization of the recommended inspection method.

Keywords: optical measurement techniques, Structure from Motion (SfM), Unmanned Aerial Vehicle (UAV), medium and short span bridge, bridge inspection, 3D model, manualization

1. はじめに

現在、わが国には橋梁が約 73 万橋あり、このうち地方公共団体が管理する橋梁は約 66 万橋と全体の 9 割以上を占める。その中でも市町村が管理すべき橋梁の 80%以上が橋長 15m 未満となっており、それらの約半数が建設後 50 年を経過してしまう¹⁾。しかし、効果的で効率的な点検手法が現状ではまだ確立されていないことに加え、各自治体の維持管理技術者不足、予算不足により、十分な予防保全が実施されているとは言い難い状況である。

近年では、3D レーザや画像等を用いた光学的計測手法の橋梁点検への活用方法が研究されている中、著者らはまず長大橋（斜張橋）のコンクリート主塔を対象に、この数年で飛躍的に進化した 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、ロープアクセスや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⁾。Fig. 1 に UAV を飛行させている状況、Fig. 2 に SfM 解析結果を示す。しかし、上記の通り管理すべき橋梁の大半は 15m 以下の中小橋梁であることと、安全面や費用面からも必ずしも全橋梁に UAV の適用が可能ではないうえ、UAV の操縦には非常に高度な技量が要し、誰もが容易に行える手段ではない。特に災害時などは、その橋梁の近隣住民などが、最もすばやく情報を取得

できることから、本論文では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、UAV を使用しない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目的とした。また、SfM 解析による 3D モデルから展開画像を元に損傷図を作成し、目視調査による定期点検結果と比較することも実施した。なお、SfM 解析の特性上、本論文ではコンクリート橋のみを対象としている。



(a) Shooting situation (b) Shooting image
Fig. 1 Shooting the main tower by UAV

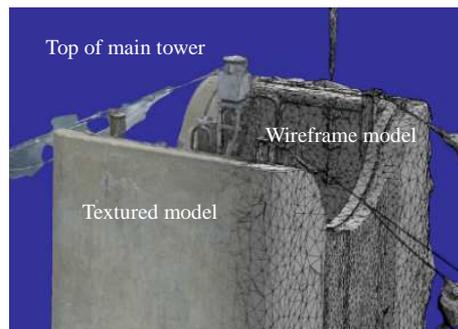


Fig. 2 3D model created with SfM

原稿受付 2017 年 10 月 9 日

* 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 1-655-1）

** 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）

*** 正会員 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）

2. SfM の検証の概要

2. 1 対象の中小橋梁

Fig. 3 に示す 2 橋梁を対象として、SfM 解析を行うための撮影及び比較検証用に 3D レーザスキャナによる計測を実施した。2 橋梁ともコンクリート製で、A 橋は市道にかかる橋長 9.6m、幅員 4.2m の RC 中実床版橋で、B 橋は県道にかかる橋長 33.4m、幅員 5.2m の PC2 径間単純ポストテンション T 桁橋である。B 橋はやや橋長が長い、T 桁の形状再現性を検証するために選定した。また両橋とも桁下へのアクセスが容易であることも選定理由の 1 つである。

2. 2 検証項目

A 橋では、下記 3 項目の検証を実施した。

(1) カメラ性能の差の比較

形式やセンササイズの異なる 4 機種のカメラを用いて同じ対象を撮影し画質や SfM の解析精度などを検証した。その際、SfM 解析に使用したソフトウェアは、一般的な Bentley Systems 社の Context Capture である。

(2) 撮影位置による 3D モデル化の比較

撮影位置と 3D モデルの再現性を検証し、撮影位置のマニュアル化を目指した。撮影した画像データを、測線ごとに分類し、理想的な撮影パターンを抽出した。

(3) 定期点検結果との比較

SfM により作成した 3D モデルからオルソ画像を作成して、クラックインデックス (以下 [CI]) を用いた「ひび割れ幅判読図化システム」³⁾ により損傷図を作成し、既存の定期点検結果と比較を行った。

また B 橋においては、下記 1 項目の検証を実施した。



(a) Bridge A (span length : 9.6m)



(b) Bridge B (span length : 33.4m)

Fig. 3 Target bridges

(4) 3D モデルの精度検証

画像撮影と同時に 3D レーザスキャナにより橋梁の形状を取得し、3D レーザデータを実証値として、橋梁の任意断面において位置精度や形状の再現精度を確認した。設置したターゲットを元に処理を行うため、3D レーザデータ、SfM 解析データどちらも同じ座標系上に存在する。

2. 3 使用機材

A 橋の撮影では現在市販されているデジタルカメラとして、一眼レフカメラ (以下 DSLR)、ミラーレスカメラ (以下ミラーレス)、コンパクトデジタルカメラ (以下コンデジ) の 3 機種と連続撮影が可能なビデオカメラを加えた 4 機種を用いた。Table 1 に各機種の主な仕様を記す。

B 橋の計測では Table 1 内の DSLR NikonD750 のみを撮影には用いた。3D モデルの形状比較用の 3D レーザスキャナには、Table 2 に示す FARO 製の Focus3D X330 を用いた。

Table 1 Specification of used camera

Type	Single-lens reflex digital camera	Mirrorless system camera
Name	Nikon D750	DMC-GM1K
Image		
Image sensor	CMOS sensor 35.9 × 24.0mm	CMOS sensor 17.3 × 13mm
Effective pixels	6016 × 4016 24.3 million	4592 × 3448 1600 million
Type	Point-and-shoot digital camera	Video camera
Name	Olympus TG-810	RICOH Caplio500Gwide
Image		
Image sensor	CCD sensor 6.2 × 4.7mm	CCD sensor 7.1 × 5.4mm
Effective pixels	4288 × 3216 1400 million	3264 × 2448 800 million

Table 2 Specification of used 3D laser scanner

Name	FARO Focus3D X330
Image	
Distance	0.6m~330m
Range	V: 300° / H: 360°
Class	1
Accuracy	±2mm
Wavelength	1550nm
Weight	5.2kg

3. データ取得と SfM 解析

3.1 データ取得

A と B の両橋共、解析時に座標系を揃えるために、事前に対象範囲内に 10cm 角のターゲットを配置し、それらの中心座標を測量により取得し、SfM 解析に使用した。また、A 橋においては、白から灰色の濃淡の背景色上に 0.1～3.0mm 幅の線を描いた A3 サイズのクラックシートを桁側面に貼付した状態で撮影し、コンクリート表面の視認可能



(a)Target (b)Crack sheet
Fig. 4 Target and crack sheet



(a)Used 4 cameras (b)Shoot side faces
(c)Shoot top faces (d)Shooting diagonally
Fig. 5 Shooting situation



Fig. 6 3D laser scanning

なクラック幅を検証した。Fig. 4 に設置したターゲット及びクラックシートを示す。

A 橋では、4 台のカメラを用い手持ちとポールを用いてあらゆる方向から画像を取得した。その際、カメラ性能が異なるため解像度を統一することは難しいが、対象より 5m 程度の離隔を保ちつつ取得が可能な約 1.5mm/pixel を目標解像度とした。また、コンデジ、ビデオカメラについては、橋面と側面のみ撮影とした。撮影状況を Fig. 5 に示す。

B 橋では、A 橋よりも規模が大きいため、目標解像度を 1.5～2.0mm/pixel と設定し、DSLR のみであらゆる方向から撮影した。同時に 3D レーザ計測も実施し、橋梁全体の 3D データも取得した。3D レーザ計測状況を Fig. 6 に示す。

3.2 撮影結果と SfM 解析結果

A 橋では、4 種のカメラを用いて全体で約 1000 枚の画像を取得するのに約 1.5 時間を要した。そのうち DSLR では、撮影時のカメラの反応（ピント調整など）が速く、連続的に撮影が可能のため、500 枚もの画像を 40 分で取得した。B 橋は、T 桁橋のため全ての面を撮影するのに大部分の時間を要し、全体で約 1 時間を要した。これらの画像を Context Capture を用いて SfM 解析を実施し、対象橋梁の 3D モデルを作成した。Table 3 に両橋における各カメラの撮影枚数、撮影時間、SfM 解析に要した枚数、時間を纏めた。

撮影結果より全ケースにおいて、SfM 解析による 3D 化は可能であった。A 橋では、DSLR とミラーレスの画像では、対象橋梁を忠実に再現したモデルが生成された。各部位とも直線的であり、細部の再現性が高い。ただし、DSLR については、撮影枚数が多く 1 枚当たりの容量が大きいため、10 時間と多大な時間を解析に要した。一方で、コンデジとビデオカメラについても 3D モデルは生成できたものの、地覆のエッジが丸みを帯び、直線的ではない。既設配管と桁が一体モデルとして生成されている部分もあり、細部では再現性が低い。おそらくこれらは、DSLR などよりセンササイズが小さいため、画質が低いことに起因していると思われる。しかしビデオカメラの場合、現地撮影時にラップ不足を心配する必要がないため、簡易的にモデルを

Table 3 Results of each method

Target Bridge	Bridge A				Bridge B
	Nikon D750	Panasonic DMC-GM1K	Olympus TG-810	WX970M	Nikon D750
Used camera	Nikon D750	Panasonic DMC-GM1K	Olympus TG-810	WX970M	Nikon D750
Number of shots	508	383	99	300(Cut out in 0.5 seconds)	711
Shooting time	40min	20min	10min(Top side only)	2.5min(Top side only)	60min
Number of images used for analysis	508	383	99	300	644
Analysis time	10h	6h	3h	6h	30h
3D model					
Detail					

生成する上では、非常に有効なツールだと言える。

B橋では、一部画像が解析上不適となり除外されており、周囲の画像とのラップ不足が原因と推測される。しかし、解析に30時間と膨大な時間は要したものの、再現性の高い(特にT桁部分)3Dモデルが生成され、損傷などを十分把握できるモデルとなっている。

4. SfMの各出力結果を用いた比較検証

4.1 カメラの性能による差

前章の結果より、どのカメラの画像でもSfM解析により橋梁の3Dモデルが作成できることは確認できた。しかし、生成されたモデルは、カメラによって稜線の直線性や細部の再現性などが異なり、DSLR、ミラーレス>コンデジ、ビデオカメラの順で再現性の高いものとなった。マッピング画像においては、Table 4に示すように、撮影解像度に依存する部分もあるが、クラックシートの0.1mm幅の線は全て視認可能であり、順光で撮影できた部分では、高品位なDSLRの画像と比較しても遊離石灰の状況を確認できるため、大差は見受けられなかった。逆光となる部分では遊離石灰の状況はどの画像でも視認可能だが、順光と比較するとコンデジ、ビデオカメラではやや不鮮明で色の再現性が悪く、特にコンクリート表面の汚れなどが判別しにくい。

カメラのセンサの大きさや性能の差により、同等の条件

下で撮影した結果でも、画質や色の再現性は大きく異なる。色味は、主にホワイトバランスにより調整するが、今回は全て自動による撮影を行ったため、ミラーレスの画像が他に比べやや赤が強い。手動で、撮影対象物の色を忠実に再現するようホワイトバランスを調整することも可能だが、撮影条件が変化するたびに対応する必要がある上、知識や経験も必要となる。また、一般に、輝度が高い部分(日向)と輝度が低い部分(日陰)が混在する場合、同時に両者の鮮明な画像を取得することは難しいが、そのような場合でもDSLRの色の再現性は高い。これは、ダイナミックレンジの差によるもので、コントラストの差が強い状況下での撮影時は、DSLRが最も適していると言える。

画質、色の再現性では、光を如何に効率よく取り込むかが重要である。つまり、受光面積(センササイズ)が大きく、一度に取り入れることができる光量が多いほど、鮮明な描画が可能となる。本論文で比較した4種類のカメラのうち、DSLRとミラーレスの画質、再現性が他2つより優れていることから、センササイズに着目した場合、今回の比較検証においては、17.3mm×13.0mm以上のセンサを有したDSLRとミラーレスが損傷調査に適していたと言える。この比較検証より、ミラーレスで用いられている程度以上のセンササイズがあるカメラが損傷調査には適していると考えられる。

Table 4 Comparison table of 3D models created by each camera
DSLR Mirrorless system camera Point-and-shoot digital camera Video camera

	DSLR	Mirrorless system camera	Point-and-shoot digital camera	Video camera
3D model				
Expansion of crack sheet				
Damaged part (Follow light)				
Damaged part (Back light)				
Reproducibility	◎	◎	○	△
Image quality	◎	○	△	△

4. 2 形状の再現性検証

B 橋において、Context Capture で作成した 3D モデルと 3D レーザデータの比較を行った。本論文では、3D レーザ計測の結果を実証値として、橋梁の任意断面を抽出することで、位置精度や形状の再現精度を確認した。実証値の計測に使用した地上型レーザスキャナは、FARO 社製の Focus3D X330 である。当機器は、小型かつ軽量で機動性に優れており、対象範囲を網羅するよう複数位置から計測した。現地撮影の際に設置したターゲットを元に、処理解析を行ったため、SfM 解析による 3D モデル、3D レーザデータどちらも同じ座標系上に存在する。3D モデルと 3D レーザデータを重ね合わせ、橋梁中央付近の断面を抽出し、比較した結果を Fig. 7 に示す。

全体形状は、SfM 解析による 3D モデルと 3D レーザデータとは重なり合っており、ほぼ同等の形状を再現できていると言える。断面データで比較すると、3D レーザデータに対し、場所によりややばらつきや位置ズレはあるものの、10~20mm 程度の精度で断面形状を再現している。特に T 桁断面に着目すると、直線的な形状で断面を忠実に再現しており、桁下からの撮影が困難な箇所もエッジを持った形状を再現できている。

現状では管理図面がない橋梁も多く、測量や 3D レーザ計測だけでなく、10mm 程度の精度であれば SfM 解析により平面図、立面図、断面図の作成は、可能であると言える。

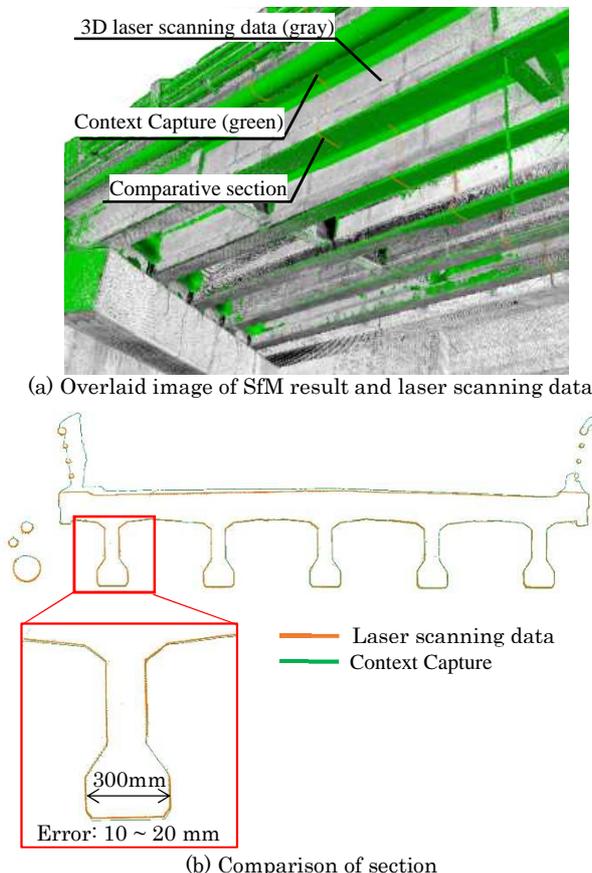


Fig. 7 Comparison of shape reproducibility on B bridge

4. 3 SfM 解析のための撮影位置の検討

橋梁点検等に活用可能な品質の 3D モデルを効率的に作成するためには、任意位置からラップのみを考慮して撮影するのではなく、SfM 解析に適した画像を取得する必要がある。そこで本項では、A 橋を対象に撮影した結果を Fig. 8 に示す 13 の撮影グループに分類し、これらの撮影グループの組合せによる SfM 解析の可否を明らかにすることで、効率的な 3D モデル化に必要となる撮影最適位置の検討を行った。Fig. 8 は橋梁断面における撮影グループを示しており、この撮影位置を保ちつつ奥に 80%ラップするよう連続的に撮影を行っている。橋梁は左右対称と仮定し、橋梁半分の 3D モデル化について検討した。以下にグループの組み合わせによる解析の可否を示し、Fig. 9 には各ケースの断面的な撮影位置イメージと SfM 解析結果を示す。断面イメージの赤いカメラ位置は解析不可となった測線を意味し、緑のカメラ位置は前ケースより追加して解析可となった側線を意味する。

(1) ケース 1 グループ 1~13 を全て使用

分類した全ての画像であれば、SfM 解析が可能であることを確認するため、全画像で SfM 解析を実施した。

(2) ケース 2 グループ 1~4 を使用

下面を撮影した 4 つのグループで SfM 解析を実施した。使用した全ての画像で SfM 解析が可能で、撮影対象である橋梁側面、下面のモデル化が可能であった。

(3) ケース 3 グループ 2, 3, 4 を使用

下面を撮影した 3 つのグループ (ケース 2 よりも少ないグループ数) で SfM 解析を実施し、使用した全ての画像で SfM 解析が可能であった。撮影対象である橋梁側面、下面のモデル化が可能であった。

(4) ケース 4 グループ 2, 3, 4, 10 を使用

ケース 3 に上面撮影画像グループ 10 を追加して、SfM 解析を実施したが、グループ 10 は側面とラップ不足のため解析不可となった。

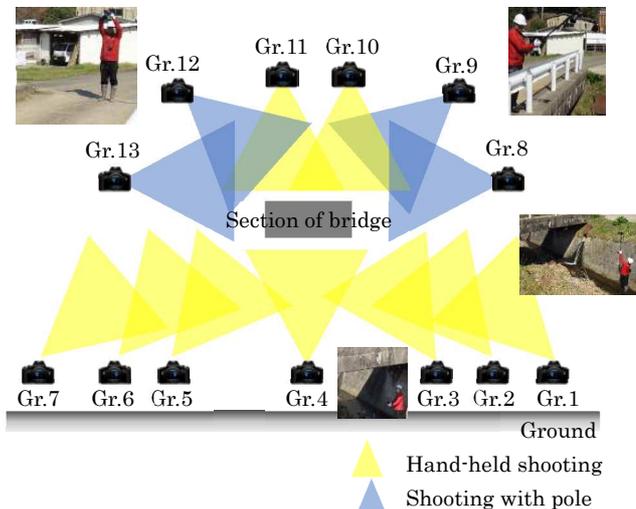


Fig. 8 Grouping of shooting positions

(5) ケース5 グループ2, 3, 4, 8, 10を使用

ケース4の上面撮影画像グループを接合するため、側面の撮影グループを付加して SfM 解析を実施した。グループ2, 3, 4, 8は接合したが、10は側面とのラップ不足のため、解析不可となった。

(6) ケース6 グループ2, 4, 8を使用

下面、斜め下、側面の画像で SfM 解析を実施した。最低限の撮影画像での解析を行ったが、それぞれのラップが少なく、解析不可となった。

(7) ケース7 グループ2, 3, 4, 8, 9を使用

ケース6の間を補完するグループ3と斜め上から撮影したグループ9を付加し、SfM 解析を実施した。ケース6ではラップ不足で解析不可だったが、グループ3によりラップが確保でき、上面、側面、下面のモデル化が完了した。

(8) ケース8 グループ2, 3, 4, 8, 9, 10を使用

ケース7にグループ10の上面撮影画像を付加し、SfM 解析を実施した。ケース5では、ラップ不足で解析不可だったグループ10がグループ9の付加により接合でき、上面、側面、下面のモデル化が可能となった。

(9) ケース9 グループ1, 2, 3, 4, 10を使用

現地でポールを使用せずに撮影可能な範囲の画像のみで SfM 解析を実施した。このとき、側面と上面及び下面とラップした画像を確保するため、両岸から橋梁を中心に撮影した画像を付加した。両岸から撮影が可能であれば、上面や斜め上の画像はなくても SfM 解析は可能だが、遠方からの画像を使用するため、品質と再現性は低くなる。

SfM 解析により 3D モデルを作成するためには、撮影画像同士のラップが最も重要となる。(1) ~ (9) の解析結果より、Fig. 10 に示す橋梁を中心とした放射状 8 方向の撮影が最低限必要となる。更に可能な範囲で 8 方向の間を補完する撮影も加える事で、より確実に 3D モデル化が可能で

ある。しかし、現地撮影で常にポールを使用できるわけではないため、Fig. 11 に示すように、下面と上面を接合させるための両岸からの橋梁を中心とした画像を用いることで、手撮影のみでも 3D モデルを構築することは可能である。ただし、ポールを使用した場合に比べ、解析の難易度は高く、特に側面などは正対して撮影した画像を取得しないため、斜めからの撮影画像がマッピングとなってしまう、品質は低下する。

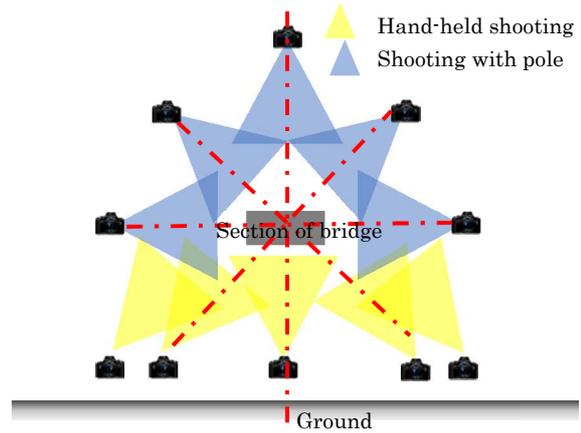


Fig. 10 Shooting position necessary for SfM

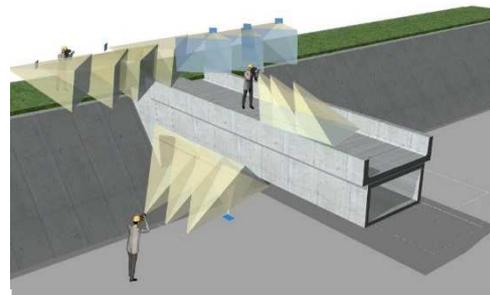


Fig. 11 Shooting position only for hand-held shooting

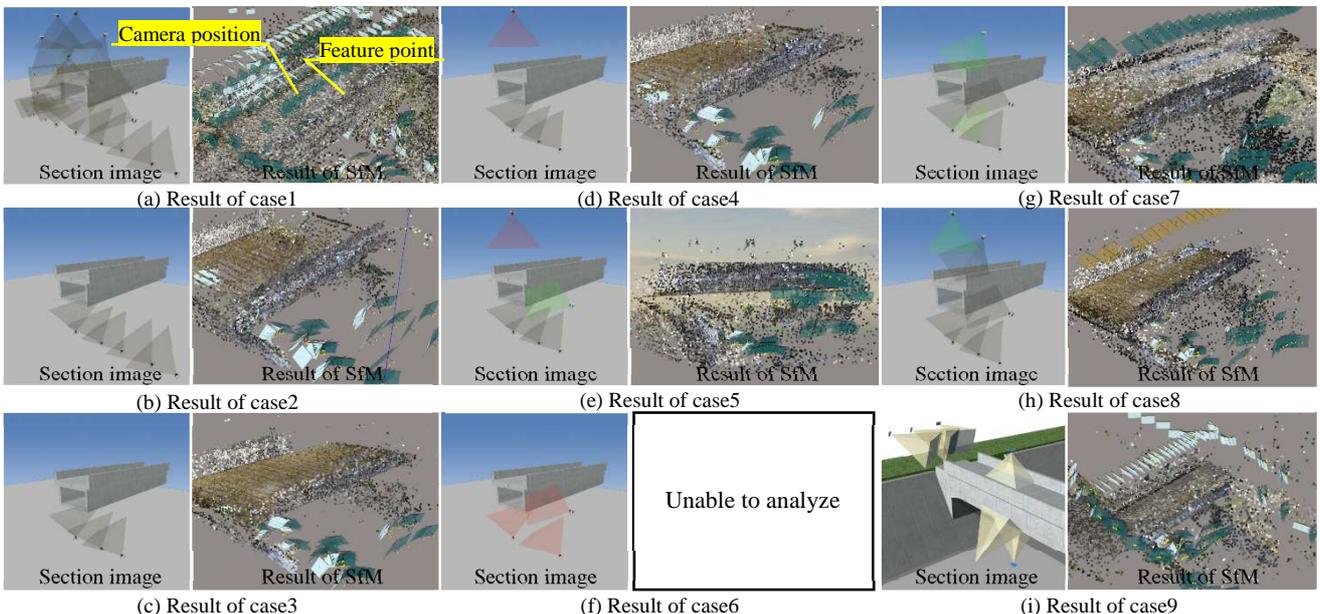


Fig. 9 Examination result of shooting position

5. 損傷図の評価

SfM 解析で作成した 3D モデルには、撮影画像と同質の画像がマッピングされており、そこから 2mm/pixel の解像度でオルソ画像を生成し、損傷図を作成することが可能である。対象とする損傷は、国土交通省が橋梁定期点検要領で示すひび割れ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、抜け落ち、補修・補強材の損傷⁴⁾ 等で、ひび割れの位置と幅の自動判定には、[CI]を用いた「ひび割れ幅判読図化システム」を使用した。「ひび割れ幅判読図化システム」は、ひび割れ部の特徴量の総和[CI]とひび割れ幅の相関により、半自動でひび割れ位置と幅を抽出するシステム³⁾ で、2mm/pixel の解像度の画像からは、最小 0.2mm 幅のクラックを判別可能である。

本論文では、長大橋での実証²⁾ と同様の手順で A 橋の SfM 解析結果より 2mm/pixel のオルソ画像を生成し、[CI]を用いた「ひび割れ幅判読図化システム」により橋面、側面、下面の損傷図を作成した。3.2 節に示すように SfM 解析に 10 時間もの時間を要したが、オルソ画像の生成から損傷図作成までは、1 時間程度で完了した。

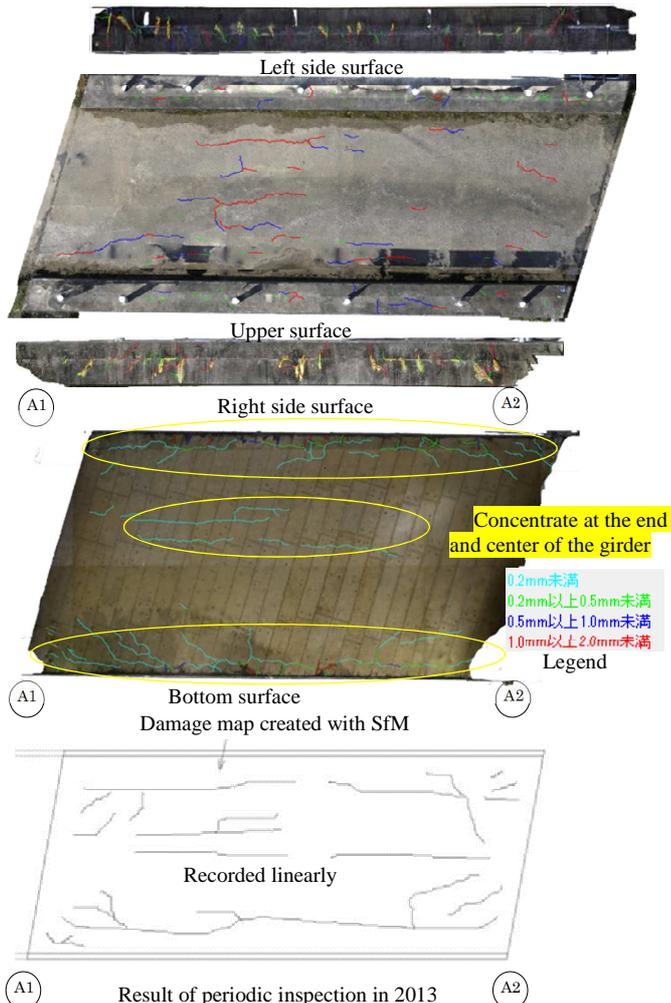


Fig. 12 Damage map created with SfM and the result of periodic inspection

Fig. 12 に[CI]を用いて作成した損傷図及び桁下面の定期点検結果を示す。定期点検の結果と比較すると、やや直線的に記録されていたひび割れも画像を元にするすることで、より詳細な形状を把握できる。また、定期点検結果からは、主桁全体的にひび割れが発生しているように見受けられるが、本来は地覆下部の桁端部と桁中央にひび割れが集中している様子が容易に判断できることから、位置や長さなどの高精度な情報を保持していると言える。

通常の目視点検では、複数の作業員の技量、解釈に委ねられる部分が多く、損傷位置の記録や劣化度の判定など定量的な判断が難しいが、SfM 解析を用いた点検では画像を元に損傷判読を行うため、定量的な判断が可能で、3D モデルからは寸法値や断面など任意位置の 3D 情報の抽出が可能である。また、定期的に同様のデータを取得することで、経年的な比較や劣化の進展なども容易に確認が可能である。このように 3D モデルや画像等の付加価値のあるデータを短時間の現地作業で蓄積可能なため、今後の維持管理の上では、充分メリットのある点検手法であると言える。

6. まとめ

近年では、空間情報を取得する光学的計測技術は日々進歩し、市販レベルの機材やソフトでも十分なデータを取得できる。しかし、それら機材やソフトの使用方法には、スキルを要するものが多く、現場レベルでは点検を行う作業員の技量により使用可能な技術も限定されてしまう。特に UAV は平成 27 年 12 月に航空法が改正され国土交通省への事前申請も必要となり、誰もが容易に行える手段とは言えない。しかし、中小橋梁においては UAV を使用せずに手撮影による画像のみで、SfM 解析を実施することは十分可能と言える。その中で使用するカメラや解析データの精度、撮影方法など本論文で実証できた事項を以下に纏める。

使用カメラは、画像から 3D 化し、コンクリートのひび割れのような細かな損傷を把握するためには、ミラーレスで用いられている程度以上のセンサーサイズを有したカメラが適している。現場での作業性を考慮するとボディが比較的小さなミラーレスが推奨される。

SfM 解析には ContextCapture を用いると、現地形状を忠実に再現した 3D モデルを構築できる。ただし、現地での作業時間に対し、解析に多大な時間を要することが課題である。

撮影方法については、橋梁を中心とした放射状 8 方向の撮影が最低限必要となる。可能な範囲で 8 方向の間を補間する撮影も加える事で、より確実に 3D モデル化が可能だが、橋梁下にアクセスできない場合などは、両岸から撮影を実施しても 3D 化は可能であるが、品質は低下する。ただし、撮影者は SfM 解析の基本情報である「隣接画像は 80% 以上ラップさせる」等の知識は習得しておく必要がある。

SfM 解析で作成した 3D モデルより作成したオルソ画像（展開画像）を用いることで、定量的な判断による損傷図を作成する。

現時点では、まだひび割れ幅の検出精度不足や接触調査が必要な「うき」などを把握できないことから、画像を用いた調査が近接目視調査の代替案としては、国土交通省から認められていない。しかし本論文の結果を踏まえ、橋梁点検者が効果的な撮影を実施できれば、画像を用いた手法は 1 次スクリーニングとして有効な手段であると考えられる。

1 次スクリーニングにより、詳細点検が必要な箇所を選定することで、適切な時間、予算、人員を配分することができ、効果的で効率的な点検が可能となる。

また、本論文では、まだ触れていないが、SfM 解析により作成した 3D モデルは現況を忠実に再現したアズビルドな 3D モデルを構築できることから、現在普及しつつある BIM（Building Information Modeling）、CIM（Construction

Information Modeling）への展開や橋梁台帳のベースモデルへの利用など、様々なことへの活用が期待できる。今後は SfM 解析のマニュアル化のため、実証件数を増やし、解析時間の縮減等の課題について継続的に検証を行い、解決策を明らかにしていき、BIM や CIM への展開といった 3D モデルの 2 次的な利用手法を検証し、3D モデルの利用価値を高めていく。

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) Nishimura, S. et al: The development and evaluation of telemetry in bridge maintenance (in Japanese), *Journal of Applied Survey Technology*, Vol.24 (2013), 52–61
- 4) Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: Periodic inspection manual of bridge (in Japanese), (2014.6), 8–13