

橋梁定期点検の効率化を目指した 3次元データ（点群データ×画像）の可能性

二宮 建・下川光治・服部達也・新田恭士

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多くの橋梁は、老朽化が進行し、適切な維持管理が求められる。

少子高齢化等による土木分野の技術者不足から、より効率的な橋梁点検の実現は、適切に橋梁を維持管理するための喫緊した課題である。

5年毎の橋梁定期点検は、現地での近接目視と点検報告書の作成に多くの労力（人、時間、費用）を必要とする。国土交通省では、橋梁点検の効率化を目的として、「新技術利用のガイドライン（案）」を公開し、点検ロボットの活用を積極的に推進しているが、その際は、①膨大な画像の管理、②画像判読による変状識別、③変状位置の正確な記録を効率的に行う必要がある。

筆者らは、土木分野の様々な場面で活用されているUAVやコンピュータビジョン¹⁾のうち、連続撮影した画像より、3次元空間上にて撮影位置及び撮影方向を自動推定し、撮影対象物の「3次元データ（点群データ）」を生成するStructure from motion（以下「SfM」という。）に着目した。

本稿では、橋梁定期点検のうち「現地点検作業」と「点検記録作成作業」を効率化するために、「3次元データを活用した橋梁点検」の実証を踏まえた、現在までの検討状況を報告する。

2. 研究項目

本チームでは、橋梁点検ロボットと3次元データを活用した橋梁点検の可能性を検証するため、土木研究所敷地内の南ループ橋を対象に下記3つのプロセスを対象に検討を行う。

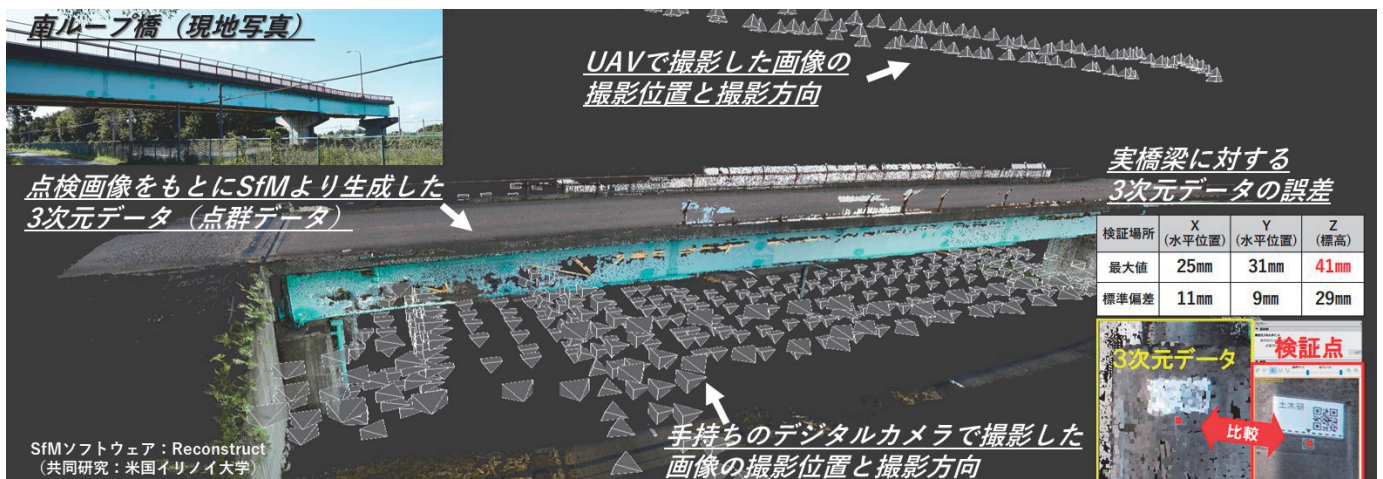
- ① 橋梁点検ロボットによる効率的な画像取得
- ② SfMによる橋梁の3次元データ生成
- ③ 3次元データを活用した画像管理方法

3. 橋梁点検ロボット(UAV)等の画像を用いた 3次元データの生成と画像管理

3.1 生成した3次元データの精度検証

本稿では、UAV（DJI社製Phantom4Pro）及び、手持ちデジタルカメラ（SONY社製α7）にて橋梁を撮影した。撮影した画像から橋梁の3次元データがSfMにて生成できるとともに、画像を撮影した位置や方向を3次元空間上に表現できることを確認した（図・1）。

測量基準から求めた実橋梁上の検証点の座標と3次元データ上の検証点の座標を比較した結果、全検証点の誤差は、「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）」を満たす5cm以内であった²⁾（図・1）。



図・1 SfMにより生成した南ループ橋の3次元データ

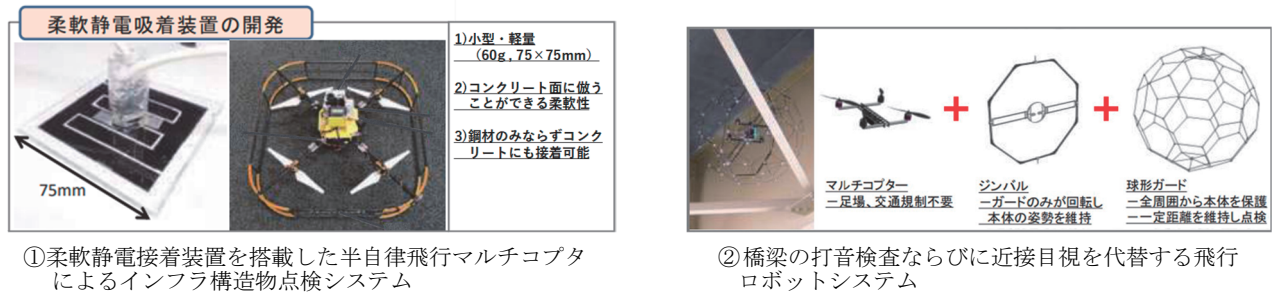
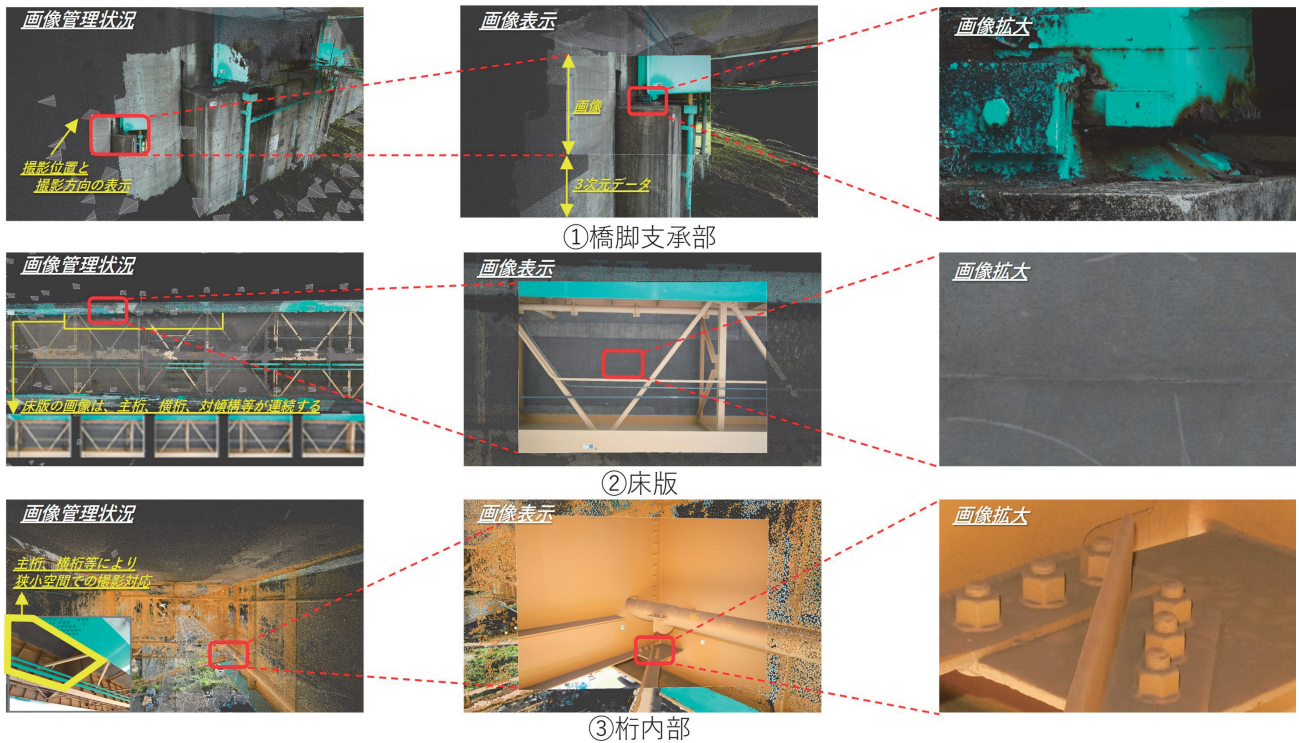

図-2 SIPにて開発された橋梁点検ロボット例³⁾


図-3 3次元データを活用した画像管理例

3.2 橋梁点検ロボットへの適用性

図-1 は、一般的な UAV や手持ちデジタルカメラの画像より生成した 3 次元データである。

さらに、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) にて開発された高度な橋梁点検に特化 (図-2①、②等 ³⁾) した点検ロボットでは、橋梁のより詳細な画像撮影が可能となる。

このような橋梁点検ロボットの撮影画像より 3 次元データを生成することで部材の近接画像、桁内部の画像も管理可能となる。

3.3 3次元データを活用した画像撮影位置の管理例

(1) 橋脚支承部 (図-3①)

橋台支承部の周辺は、橋台、床版、主桁、各種配管等により複雑な形状となることが多い。SfM により支承部周辺が 3 次元データとして生成されるとともに、画像の撮影位置及び方向が 3 次元空

間上に四角錐として表現できている。

橋梁支承部を撮影した画像を表示すると、3 次元データと整合がとれるように表示されており、自動推定された撮影位置と撮影方向の正確性が確認できる。

(2) 床版 (図-3②)

現在の橋梁点検では、床版は、径間別に点検結果を記録・管理している。床版を連続的・網羅的に撮影すると、床版、主桁、横桁等の繰返しとなるため、同内容の画像が大量に保存され、後にそれらの撮影位置の整理は困難となる。

しかし、SfM での自動的な「画像撮影位置の整理」と「3 次元データと画像の関連付け」により、このような連続画像の管理も効率化できる。

(3) 桁内部 (図-3③)

桁内部の画像は、床版、主桁、対傾構等に注目

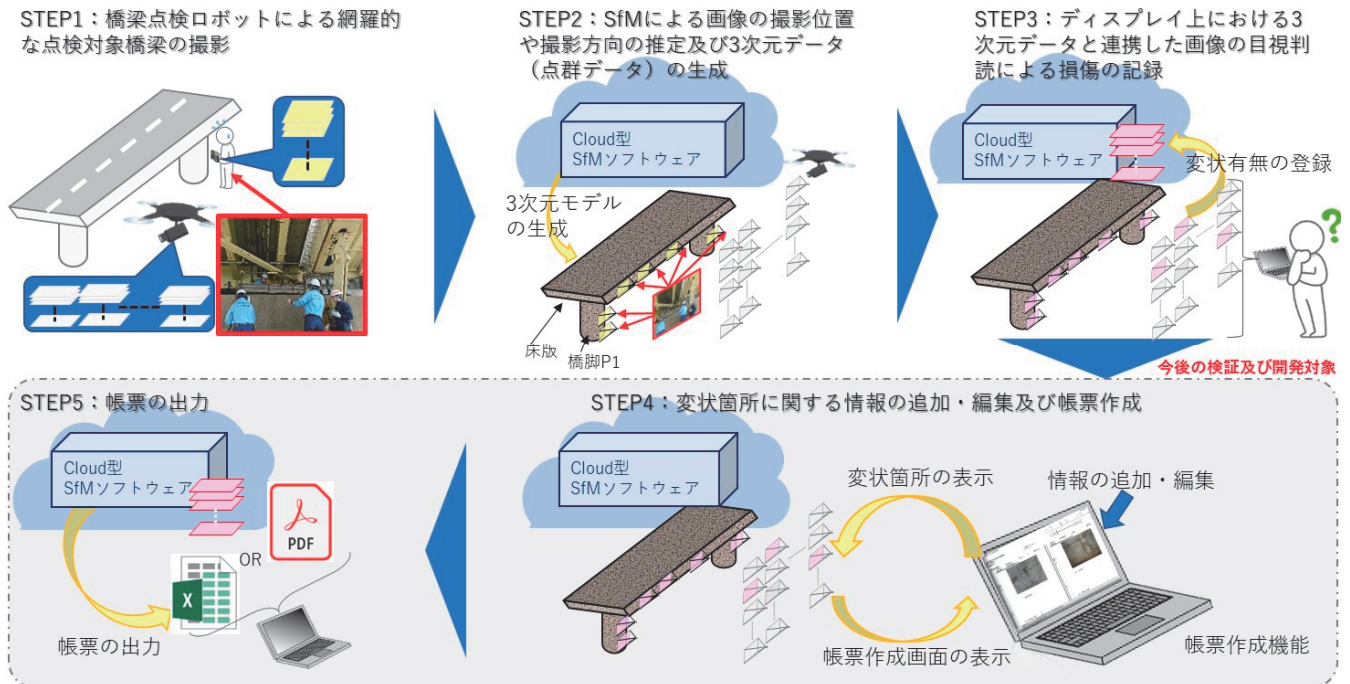


図-4 3次元データを活用した橋梁定期点検手法

した近接撮影となること、また、撮影条件は、主桁、横桁等で囲まれた狭小空間であることから、画像撮影方向の手作業による記録は困難である。

SfMにて、撮影した画像の撮影方向を自動推定することで、桁内部のボルト部分や対傾構の腐食状況等の局所部分のみを撮影した近接画像の画像管理も可能となる。

4. 3次元データを活用した橋梁定期点検のあり方

4.1 3次元データを活用した橋梁定期点検手法の提案

現在までの検討結果を踏まえたうえで、橋梁点検の課題（点検作業の効率性、変状位置の記録精度）に対する解決手段として、SfMより生成する3次元データを活用した橋梁定期点検手法（以下「点検手法」という。）を提案する（図-4）。

本研究では、今後の技術開発や本点検手法の発展を考慮し、3次元データ生成及び画像の撮影位置、方向の推定をSfMに限定するものではない。

本点検手法は、SfMにより3次元データを生成するため、橋梁点検ロボットにて、橋梁を網羅的に撮影することが前提かつ重要である。その後、橋梁点検ロボットにて撮影した画像より変状が確認できた箇所や画像撮影が困難であった箇所に対してのみ近接目視を実施するものである。

点検手法の特徴として、下記3点を挙げる。

(1) 実橋梁に対する近接目視の効率化

橋梁点検ロボットで橋梁を網羅的に撮影し、3次元データに関連付けて画像を管理する。

撮影した全画像に対して、点検技術者がディスプレイ上で目視判読を行い、部材に変状が確認できた画像より3次元データから変状位置を把握し、必要に応じて再度、実橋梁での近接目視を実施する。

よって、現地にて近接目視を実施する範囲を事務所内にて事前に絞ることが可能となる。

(2) 近接目視による変状記録の充実化

現地における近接目視の範囲が絞られるため、時間を掛けてより詳細な変状調査が可能となり、変状の位置や状況の記録内容が充実する。

(3) 3次元データの活用による変状管理の高度化

橋梁の3次元データに関連付けて画像や変状を管理することで、撮影位置・方向が明確になり、後年に同画角による変状撮影の誘導が可能となる。

また、同画角の画像比較により、精度の高い経年的な変状の進行把握にも寄与できる。

4.2 本手法による画像上の変状記録例と活用性

本手法のように橋梁点検において3次元データを活用するメリットの一つは、3次元データに関連付けて管理した画像上にて変状状況を確認及び記録できることである。

画像から3次元データを生成した後、確認したい部材（橋台、床版等）の画像を表示し、変状が確認できる画像に対して、変状内容を画像上に記

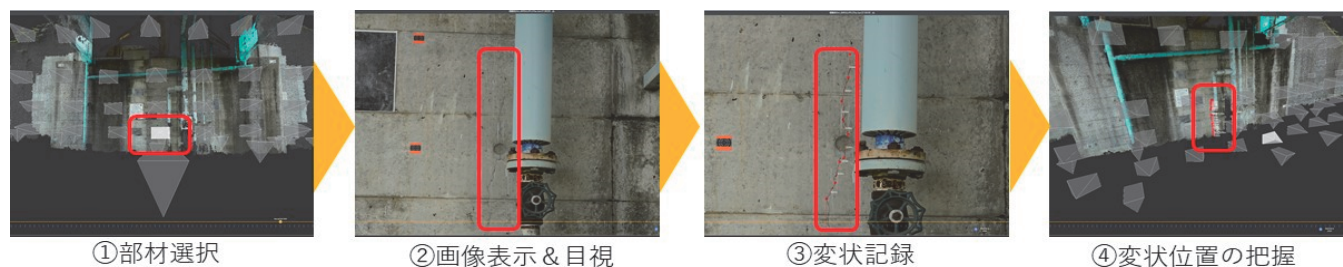


図-5 目視による画像上の変状確認と記録例

録する(図-5①~③)。

画像上に記録した変状は、3次元データに関連付けて記録され、画像非表示の状態においても、3次元データ上で、変状位置の把握ができる(図-5④)。

このような3次元データを活用した変状記録は、橋梁定期点検様式における損傷図作成の代替手段としても活用可能である。

5. まとめ

本稿は、橋梁定期点検の効率化を目指した3次元データ(点群データ×画像)の可能性として、SfMにより生成される橋梁の3次元データ精度の基礎的な検証結果と3次元データを活用した画像管理方法の提案について報告したものであり、次の3項目にまとめる。

- ① 点検ロボット活用時における橋梁点検の課題(膨大な画像の管理、変状位置の記録)に対する解決手段として、3次元データを活用した橋梁定期点検手法を提案した。
- ② 連続的かつ自動的に撮影した UAV の画像をもとに、SfM により、「空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編(案))」の品質を満たす橋梁の3次元データが生成できることを検証した。
- ③ 3次元データを活用した画像管理手法及び変状確認方法を提案するとともに、事例を紹介することで、3次元データを活用した橋梁定

期点検の実現可能性を示した。

今後の研究内容は、下記3項目を想定している。

- ① 橋梁管理者および点検技術者に対し、以下のヒアリングを行い、社会実装に向けたワークフロー、機能要件及び関連基準を検討する。
 - ・画像上の変状に対する記録方法及び3次元データ上での表現方法
 - ・3次元データを活用した橋梁定期点検の成果品における納品基準および管理方法
- ② 画像上での変状把握は、点検技術者の目視で行うため、多大な労力がかかる。そのため、画像から効率的に変状把握ができる支援技術(AIによる変状自動抽出、画像処理による変状強調)について検討する。
- ③ 竣工時の画像を本手法にて管理し、地震後での橋梁構造の変位、変形を把握する等、緊急点検時における本手法の活用性を検討する。

参考文献

- 1) Youngjib Ham, Kevin K.Han, Jacob J Lin, Mani Golparvar Fard : Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) : a review of related works, Visualization in Engineering, 4巻1号, 2016
- 2) 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
- 3) 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム：インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 プロジェクト紹介-開発技術の概要-、pp.94~117、2018

二宮 建



土木研究所技術推進本部
先端技術チーム 交流研
究員
NINOMIYA Tatsuru

下川光治



土木研究所技術推進本部
先端技術チーム 交流研
究員
SHIMOKAWA Mitsuharu

服部達也



土木研究所技術推進本部
先端技術チーム 主任研
究員
HATTORI Tatsuya

新田恭士



土木研究所技術推進本部
先端技術チーム 上席研
究員、博士(工学)
Dr. NITTA Yasushi