

# 橋梁のデジタル点検技術開発\*

## Development of the bridge inspection system using digital technologies

加藤 直也  
Naoya KATO

光田 徹治  
Tetsuji MITSUDA

吉川 覚  
Satoru YOSHIKAWA

吉田 浩史  
Hiroshi YOSHIDA

嶋田 凌太  
Ryota SHIMADA

古川 大貴  
Hiroki FURUKAWA

Earthquakes and floods are increasing in Japan. When disasters strike, bridges can become traffic bottlenecks. It is important for national resilience and sustainability to maintain and keep bridges in usable condition. In Japan, conducting close inspections and recording damage to bridges by inspectors are regulated. Digitalization is needed because some huge bridges are difficult and risky to get close to, a decline in skilled inspectors is predicted, and the government is planning to digitize the inspections and the records. This paper explains the development story of digital inspection technologies and records the lessons we learned from the commercialization phase.

### Key words :

*Bridge inspection, UAV (unmanned Aerial Vehicle), inspection AI, structure from motion*

## 1. まえがき

橋梁などの道路インフラの多くは、供用開始後長い年月が経過し、維持管理コストの増加が国や自治体で負担になり始めている。

橋梁の点検と補修の精度を向上し、維持管理のライフサイクルコストを低減する為に、変状が実際のダメージ（損傷）になる前に手を打つ予防保全への方向性が示された<sup>1)</sup>。

点検においては、補修対象変状に加えて、変状がない部位や診断材料にされなかった変状も、正確な位置情報とともに画像とテキストを記録することが求められた。それをういて点検士とインフラ管理者が、デジ

タルデータで3次元構造解析や経時変化解析を行い議論することによって、精度の高い判断や適切な診断と補修設計が可能になる。

現在の目視による橋梁点検と手書きによる記録は、予防保全を前提にすると、精度と網羅性、再現性に問題がある。

本稿は、橋梁の予防保全化に向けて、点検や調書作成を支援する為に開発されたデジタル点検技術について報告する。

## 2. 橋梁のデジタル点検

著者らは、飛行撮影ロボットによる精密撮影、

Structure from Motion (SfM) による橋梁3次元モデルとオルソモザイク生成、変状抽出AIを利用した変状自動解析を組合わせて橋梁点検支援システムを開発した。そして、点検士および管理者が、維持管理のDX化を念頭に、デジタルデータ上で点検と記録を行って、診断や後工程である補修設計で活用されることを目指した。

橋梁の各部位面に対して、一定離隔かつ一定速度で飛行撮影ロボットを移動させ、各写真の画素分解能と画像重複率が同等の表面写真を撮影する (Fig. 1)。写真は、Fig 2 のデータフローに従って、SfMにより3次元合成され、橋梁の各部位面ごとのオルソモザイク（正対変換された画像）が作成される。オルソ画像では、変状抽出AIの支援を得て変状の位置と大きさが解析される。3次元モデル・オルソ画像・変状抽出AIによる解析結果は、点検支援システムの中で紐づけられ、GUI上で橋梁点検を進めることができる (Fig. 3)。

点検士は、3次元モデルで橋梁全体を俯瞰しながら、ひび割れなど局所の変状を観察し、隣接部位の変状との関係を考察する。そして、記録すべき変状を選別して、選別理由や将来の劣化進行予測などを3次元データ上に記録する (Fig. 4)。これらを時系列データ (4次元データ) として変状から損傷への成長を予測するなど、劣化予測を行うことが可能になるとともに、高度な診断AIの開発にも繋がる。

変状抽出AIによる示唆を画像に重畳表示することで、点検士は変状を見つける工数を大幅に低減できる。正確な解析結果がデジタルで記録・管理され、いつでも複数人が同時にアクセスし、データを共有して議論する事を可能にした (Fig. 5)。このデジタルデータ管理は、データ管理工数や補修設計などの後工程の工数を低減できる可能性がある。



Fig. 1 Bridge inspection using UAV

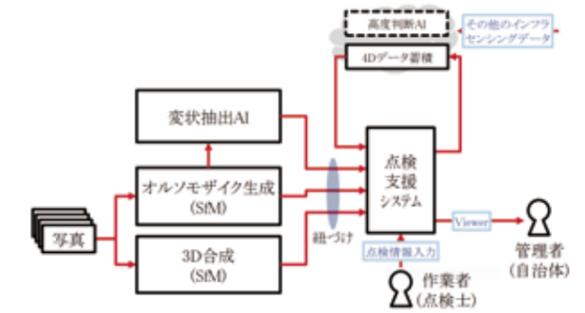


Fig. 2 Data flow



Fig. 3 Inspection records using digital GUI

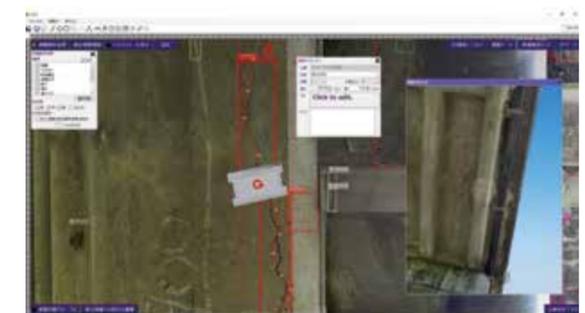


Fig. 4 Extracting cracks grasping the overview of the bridge

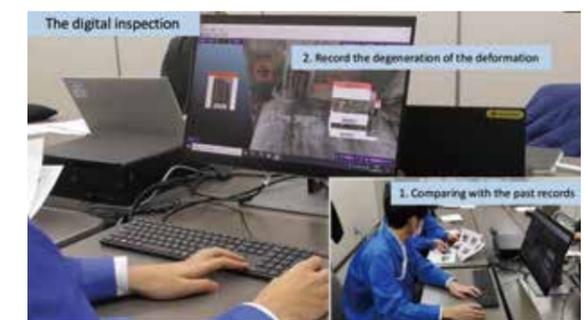


Fig. 5 Picture of the actual work

2.1 飛行ロボットによる精密撮影技術

飛行撮影ロボットは、可変ピッチを採用した6翼マルチコプター型 UAV である (Fig. 6)。各翼独立で回転数とピッチ角の自動制御を行い、揚力応答は、従来技術である回転数制御に比べて9倍高速で、橋梁直下で発生する剥離風の風速・風向が急速に変動する条件でも機体姿勢を制御できる (Fig. 7) <sup>2)</sup>。

橋梁直下は、GNSS が受信しにくく機体の位置推定精度が低下する。撮影精度を維持し、橋梁に衝突することがない飛行撮影を実現するために、機体に取り付けたプリズムを地上の基地局にあるトータルステーションで追尾し、5~10Hzの周期かつ±10mmの誤差で、機体の空間座標を計測する (Fig. 8)。

これら二つの技術を組み合わせることで、飛行撮影ロボットは、位置精度±0.15m、飛行速度0(停止)~1.0m/s(一定)で自動航路制御され、画素分解能と写真重複率が安定した撮影を実現した。



Fig. 6 Flying and photographing robot (UAV)

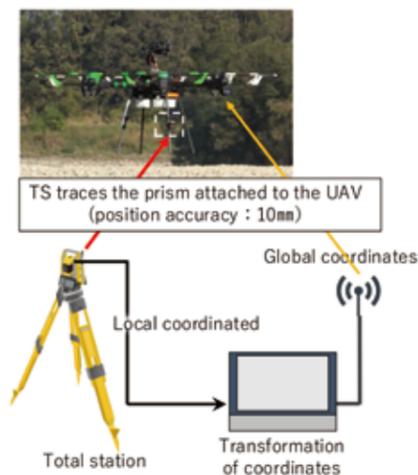


Fig. 8 Self-position estimation using the total station under non GNSS condition

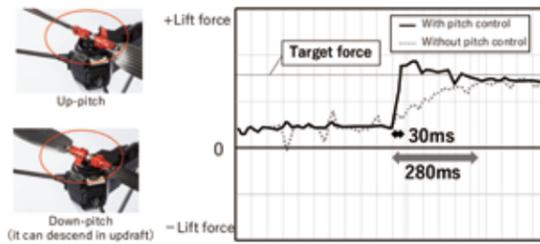


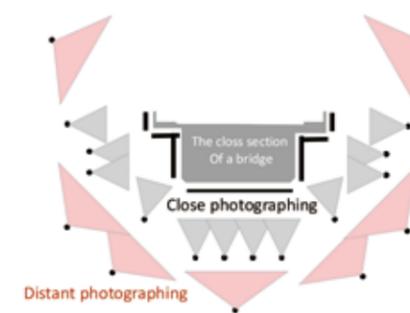
Fig. 7 Wing pitch control mechanism

2.2 橋梁の3次元モデルやオルソモザイクの生成技術

橋梁の点検撮影では、Fig. 9 に示す点検用近景撮影と画像結合用中景撮影を行う。点検対象面との距離と撮影角度と写真重複率が安定した撮影が行われ、写真には位置情報が付与される。形状再現性に優れた3次元モデルと変状状態の再現性に優れたオルソモザイクを生成する技術は、国交省の点検支援技術カタログに掲載された。

点検支援技術カタログの検定試験は、福島ロボットテストフィールド (RTF) で行われ、模擬橋梁の3次元モデルの形状精度と、敷設されたテストピースにあるひび割れの判別性が評価された。

模擬橋梁の3次元モデルは実物の形状を±0.1mの精度で再現し (Fig. 10)、オルソモザイクは元写真と同レベルの画像品質となり0.1mmのひび割れテストピース (Fig. 11) を含む全てのテストピース変状を判別することができた。



	Pixel resolution	Overlap & sidelap
Close photographing (for inspection)	Determined pixel resolution (from ±10° front direction)	Overlap ≥ 80% Sidelap ≥ 30%
Distant photographing (for SFM)	Less than 3 times of pixel resolution as the close photographing	Overlap ≥ 50% Sidelap ≥ 30%

Fig. 9 9Photographing methods



Fig. 10 3D model of the simulated Bridge in Fukushima Robot Test Field



Fig. 11 Crack reflected in the ortho-mosaic image of the simulated bridge

2.3 変状自動解析技術 (変状抽出 AI)

変状抽出 AI の変状示唆は、点検士の画像観察を妨げないことを重視し、セグメンテーション法ではなく、バウンディング法を選択した (Fig. 12)。バウンディング法は、教師データ作成工数の低減や、対象変状種追加を容易にする利点もあった。

変状抽出 AI の精度向上のためには、十分な量の教師データとアノテーションルールの確立および順守が

重要だった。寒冷地や塩害地で、重荷重がかかる橋梁、比較的新しい橋梁から50年近く経過した古い橋梁まで、多様なコンクリート橋梁における主要変状6種(ひび割れ・漏水ひび割れ・石灰ひび割れ・錆汁・剥離・鉄筋露出)を対象に、教師データを作成し高精度化を進めた。開発した変状抽出 AI は、変状6種に対して、再現率90%以上、適合率85%以上と自社採点しており、国立研究開発法人 土木研究所から「点検作業を支援するツールとして十分な性能であり、多種変状の判別性能がよい」と評価を得て、同研究所の共同研究報告書に記載された<sup>3)</sup>。

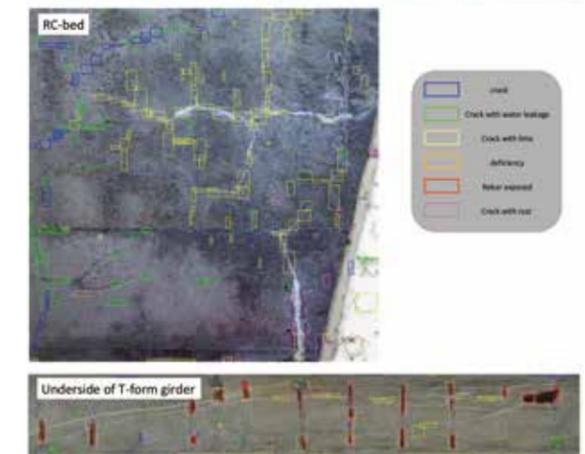
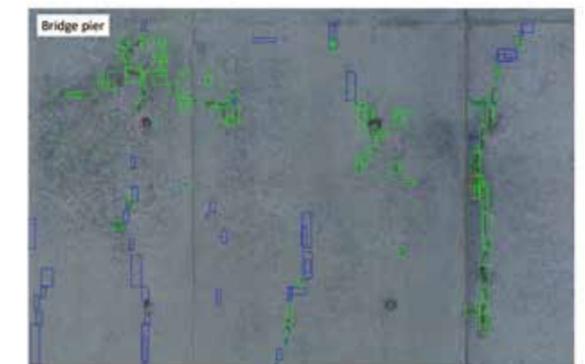


Fig. 12 AI for deformation detection

特  
集

### 3. 実用化に向けた取り組みと成果

#### 3.1 共同開発

##### 3.1.1 技術の検証・適合・運用法の共同開発

基本技術の開発を会社体育館およびテストフィールドで行った後で、検証・適合・運用法開発を南相馬市および同市内にある RTF で進めた。現場作業と納品を作成するオフィス業務は、ドローンサービスを展開する株式会社 WorldLink & Company と共同で進めて、作業と解析業務を改良した。

##### 3.1.2 土木研究所や大学との共同技術開発

SIP (Strategic Innovation Program) インフラの岐阜大学プロジェクト<sup>5)</sup>や鳥取県などで行われた土木研共同研究<sup>3)</sup>に参加して、飛行ロボットや3次元モデル、変状抽出 AI の開発技術に対する評価と指導を得て、開発に反映した。そして、ロボット化が望まれていた大型の目視点検困難橋梁でデジタル点検が可能であることを実証していった (Fig. 13)。

#### 3.2 飛行ロボットの安全技術と運用法の開発

飛行ロボットを用いる点検の実装・普及には、安全技術と安全運用と習熟が重要である。これには、RTF の緩衝ネット付き飛行場を活用した。飛行チームがネット外で監視し操縦する体制を取り、電波障害や突風、

機体異常などの事態を模擬し、安全技術の機能検証や飛行チームのトラブル回避行動の訓練を行った。そして、飛行撮影ロボットの開発時の要件定義や実業務の始業前システムチェックに織り込んだ。

##### 3.3 橋梁管理者や土木コンサルタントとの意見交換

自治体および地域の土木コンサルタントと、開発技術の地域実装に取り組んだ<sup>5)-7)</sup>。現場およびオフィスで共同作業し意見交換を重ねて、システム開発者を含めてスパイラルアップで理解し能力向上していく過程が重要だった<sup>8)</sup>。

### 4. まとめ

Fig. 14 のようなデジタル画像を用いて意見交換を行った結果、以下のような現場目線の有益なフィードバックを得た。

- ・飛行ロボットの安定性と、ロボット運用チームのオーガナイズーションには、安心感が持た。
- ・3次元俯瞰によって、重点点検箇所がわかりやすかった。
- ・オルソ画像で、前回の目視点検で抽出した変状が全て確認でき、その成長も判別できた。変状抽出 AI の示唆によって目視よりも短時間で、全ひび割れを発見できた。

・3次元モデルおよび点検ツールでは、変状と点検コメントが正確な位置と共に記録される為、2時期比較が可能な高精度定期点検が可能になる。補修点検における台紙としても利用可能性があり、補修設計のコスト低減が期待できる。

・求められる一番難しい点検が可能と分かった。自治体の裁量で、橋梁に合わせた点検レベルを設定することができる。

以上、デジタル点検普及の足掛かりはできたと認識している。

現在、デジタル橋梁点検ソリューションの技術と運用は、(株) WorldLink & Company に移管され、点検サービスが提供されている。

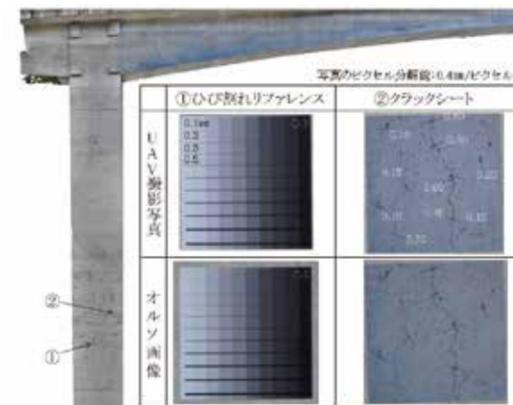


Fig. 14 Orthomosaic for discussion on inspection accuracy

### 5. 謝辞

開発の拠点となった南相馬市と福島RTFおよび各務原市、点検システムの共同研究で評価・指導を頂いた土木研究所、実証実験を企画し、参画を支援、アドバイスを頂いた国土省、SIPインフラ関係者、岐阜大学、鳥取大学、鳥取県、点検現場で、環境を整え現場ならではのアドバイスを頂いたインフラ管理者と土木コンサルタントの皆様へ感謝します。

### 6. むすび (中部科学技術センター論文に追記)

著者は現在、総合建設会社の研究所に在籍して (副業)、国土強靱化プログラムの推進、橋梁点検のデジタ

ル化に取り組んでいる。デジタル化は期待されたほど普及していない。その理由の一つに、業界としてデジタル化に対し、理解が追いついていないことが考えられる。そこで、地方大学をハブとして自治体、地場企業をチーム化し、発注・受注から現場作業、点検調査が受領されるまで、勉強会、説明会、実証を進めている。また長年定着した発注受注フローや、熟練の点検技術者による従来点検法がある中で、新技術導入に時間がかかることは否めない。だが、災害大国日本に時期尚早はなく、新技術を活用したインフラ強靱化を進めなければならない。丁寧に繰り返し説明し、少しずつでも相互理解を作っていく取り組みを行っている。

デンソーでの開発を振り返ると、良い技術を作れば使われるという思いが強く、差別化技術の開発に注力しすぎた。現場への理解活動は実施しているつもりだったが、「相互理解」「八方よし」に達するには足りなかったのだと感じている。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：道路橋の予防保全に向けた提言、2008。  
<https://www.mlit.go.jp/common/000015315.pdf>
- 2) 平井 雅尊, 光田 徹治, 加藤 直也：非 GNSS 環境で高精度自動飛行する UAV 日本機械学会誌 Vol.121 No.1200
- 3) AI を活用した道路橋メンテナンスの効率化に関する共同研究報告書 (Ⅲ-2)  
<https://thesis.pwri.go.jp/files/1949410207642a32d20906b.pdf>
- 4) 蓮池 里菜, 六郷 恵哲, 羽田野 英明, 他：ロボット技術の組み合わせによる各務原大橋の定期点検の試み  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejcm/74/2/74\\_I\\_41/\\_pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jscejcm/74/2/74_I_41/_pdf-char/ja)
- 5) 森田 祐樹, 近藤 英明, 山本 和範, 他：UAV 橋梁点検における様々な飛行撮影方法によるひび割れ検出精度の検証 令和 2 年度土木学会全国大会 VI -289
- 6) 服部 達也, 下川 光治, 藤井 優：UAV と SfM を活用した橋梁 3 次元モデル作成手順の紹介 建設機械施工 Vol.73 No.4 April 2021
- 7) 吉川 寛, 加藤 直也, 他：南相馬から発信する社会インフラ+100 年寿命への挑戦 日本ロボット学会誌 Vol.40 No.6
- 8) 橋梁維持管理 DX の取組み/南相馬市公式ウェブサイト

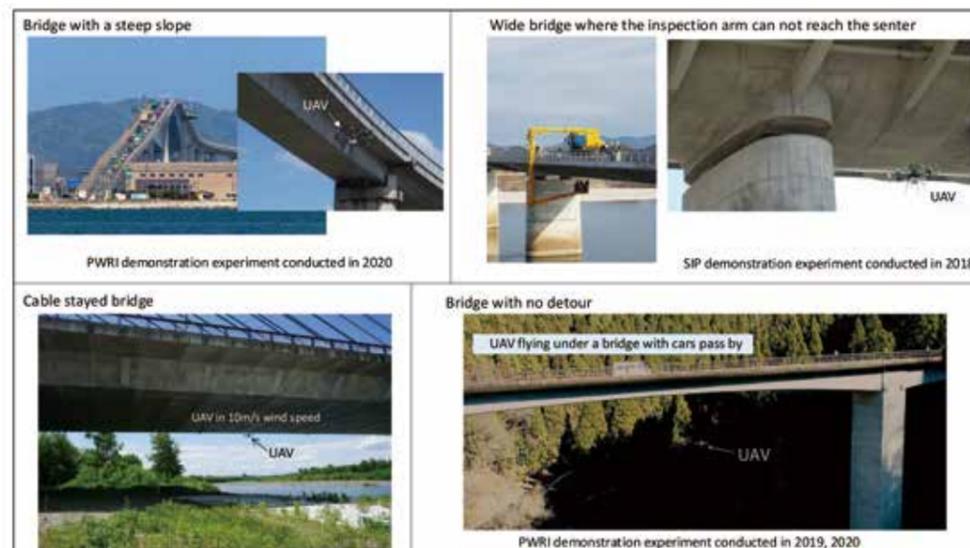


Fig. 13 Inspection around bridges that are difficult to close access

著者



加藤 直也

かとう なおや

研究開発部  
電気自動車のエネルギー管理技術  
開発に従事



光田 徹治

みつだ てつじ

研究開発部  
モビリティ社会のエネルギー管理  
システム開発に従事



吉川 覚

よしかわ さとる

株式会社 SOKEN  
ロボティクス、AI 関連の研究開発に従事



吉田 浩史

よしだ ひろし

研究開発部  
電気自動車の将来企画シミュレーション  
開発に従事



嶋田 凌太

しまだ りょうた

研究開発部  
電気自動車のエネルギー管理技術  
開発に従事



古川 大貴

ふるかわ ひろき

研究開発部  
クルマとクラウドを繋ぐシステム開発に  
従事