

講演概要 二時期写真の対応付けによる 橋梁変状の進行性把握に関する基礎検討

中澤 明寛¹・曾我 寿孝²・高山 宜久³・御崎 哲一⁴
中山 忠雅⁵・清水 智弘⁶・内田 修⁷・高橋 康将⁸

¹正会員 西日本旅客鉄道株式会社（〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田二丁目4-24）
E-mail:akihiro-nakazaw02@westjr.co.jp

²正会員 西日本旅客鉄道株式会社（〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田二丁目4-24）
E-mail:toshitaka-soga@westjr.co.jp

³正会員 西日本旅客鉄道株式会社（〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田二丁目4-24）
E-mail:yoshihisa-takayama@westjr.co.jp

⁴正会員 西日本旅客鉄道株式会社（〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田二丁目4-24）
E-mail:norikazu-misaki@westjr.co.jp

⁵非会員 ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社（〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島五丁目4-20）
E-mail:nakayama@jrncc.co.jp

⁶正会員 ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社（〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島五丁目4-20）
E-mail:shimizu.tomo@jrncc.co.jp

⁷非会員 アジア航測株式会社（〒530-6029 大阪府大阪市北区天満橋一丁目8-30）
E-mail:os.uchida@ajiko.co.jp

⁸正会員 アジア航測株式会社（〒530-6029 大阪府大阪市北区天満橋一丁目8-30）
E-mail:ysm.takahashi@ajiko.co.jp

JR西日本では、3Dモデルを情報共有・管理の基図として、橋梁の検査記録の品質と効率を高め、維持管理の全体最適化に資するシステムを開発し、北陸新幹線の全般検査において試行的に導入している。本システムは、デジタル写真測量技術・空間情報技術を応用し、現場で撮影してきた写真上で判読した変状や補修箇所の図形を3Dモデルに反映し、その位置や大きさを正確に記録することができる。本稿では、異なる二時期の写真同士を対応付けることで、二回目以降の検査作業の効率化を図るとともに、変状の進行状況を正確に記録する手法を検討したので報告する。

Key Words : *image matching, inspection, 3D model, progressive deterioration*

1. はじめに

橋梁構造物が供用期間を通じてその要求性能を満たすためには、定期的な検査を行い、必要に応じて修繕措置を講じていかなければならない。今後、国内の鉄道におけるコンクリート構造物は、経年進行に備えた維持管理が益々重要となってくる。加えて、少子高齢化や人口減少の進展によって、財源および担い手の確保が厳しくなることが予想される。したがって、大きな損傷に至る前に監視や補修・補強などの適切な処理を施す予防保全的管理をより一層推進し、効率的に質の高いメンテナンス

を行う体制の構築を目指していくことが求められている。

JR西日本では、3Dモデルを共通管理図（基図）として、変状の発生・解消履歴の記録を行うことで、①検査・計画・工事の各業務の横断的な効率化、②計画的な維持管理に基づくメンテナンスサイクルの全体最適化（図-1）に資する橋梁維持管理システム（以下、本システムと呼ぶ）を開発した¹⁾。本システムでは、検査や工事で撮影した写真と3次元モデルに対して対応点を指示することで、3次元モデルと写真の位置関係を特定することができる。これにより、写真上で変状箇所を図形で

なぞると、その結果が3次元モデルに正確に反映され、数量（長さや面積）を自動的に算出することができる（図-2）。また、同様の手順によって補修箇所を記録すれば、維持管理情報を包括的に管理することが可能となる。

本システムは、北陸新幹線のコンクリート高架橋の全般検査において試行的に導入し、写真から求めた正確な位置と大きさを初期の変状の記録を進めている。一方、今後の継続的な維持管理のためには、本システムで記録した変状データについて、時系列で整合性を取りながら効率的にデータ更新を行う必要がある。本稿では、変状の進行性の把握や補修状況の把握など、メンテナンスサイクルの様々な場面での活用を想定して、各工程で撮影された二時期の写真同士を対応付ける手法について基礎的な検証を行い、本システムにおける活用を検討したので報告する。

2. 二時期写真の対応付け手法

デジタルカメラで撮影した二枚の写真を対応付ける手法として、特徴量マッチングと呼ばれる画像処理手法を検討した。本検討では、オープンソースのコンピュータビジョンライブラリであるOpenCVが提供する特徴量マッチングを用いた。OpenCVは、再配布可能なライセンスで様々なライブラリが提供されており、個別のアプリケーションに組み込みやすい利点がある。

特徴量マッチングは、①画像からコーナーなどのキーポイント（特徴点）を抽出、②キーポイントの特徴量を計算、③特徴量に基づいてキーポイント間の距離を計算、④指定した閾値以下で距離が最も近いキーポイントの組合せを対応点として出力、の手順で行われる。

OpenCVで利用できるキーポイントと特徴量の抽出手法には、SHIFT, SURF, ORB, KAZE, A-KAZEなどのアルゴリズムがあるが、SHIFTやSURFは特許権が設定されている。そこで、最新かつ商用/非商用を問わず利用可能なKAZE, A-KAZEの二つの手法を検討した。KAZEは、SHIFTやSURFと比べて、鮮明さや明るさの違いがある画像への適用性が高いとされる。A-KAZEは、KAZEをベースに処理を最適化・高速化した手法で、より高い実用性が期待されることから、KAZEとの比較により検証した。A-KAZEによるマッチング例を図-3に示す。

キーポイント間の距離は、基準画像の1つのキーポイントと対応付け画像の複数のキーポイントの1対多の組合せで求められる。閾値は、距離が近い上位二位のキーポイントの組合せにおける距離の差の割合を表す。例えば、閾値を0.5とした場合、（最も近いキーポイント間の距離） $< 0.5 \times$ （二番目に近いキーポイント間の距離）

の判定を行い、条件に合うキーポイントの組合せのみを対応点として出力する。閾値を大きくすれば、対応点を多く抽出できるが、誤抽出も多くなる。閾値を小さくすることで、際立って距離が近い対応点に絞りこむことができる。



図-1 メンテナンスサイクルの全体最適化

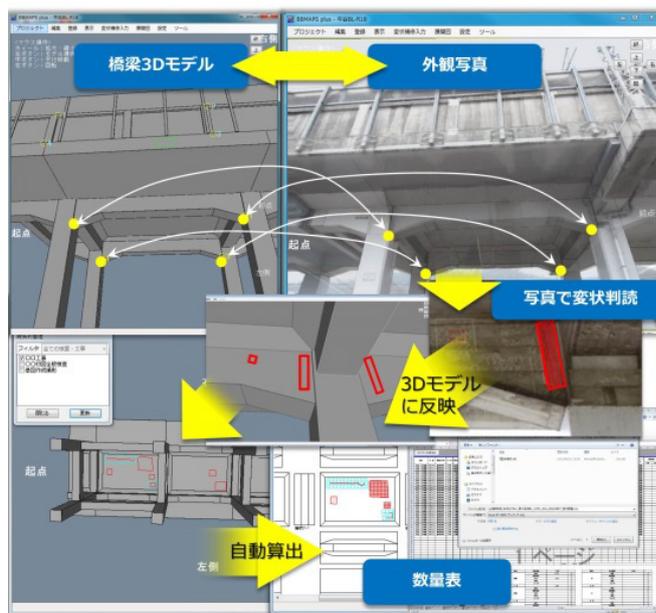


図-2 システム概要

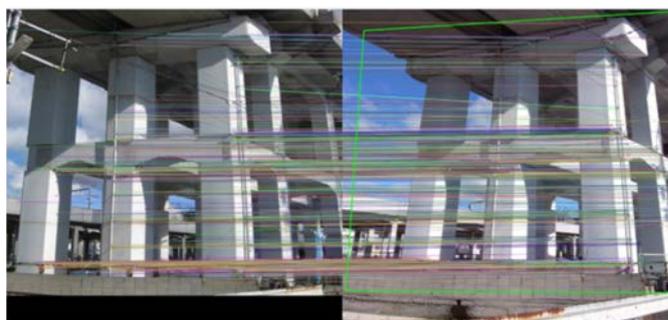


図-3 A-KAZEによる特徴量マッチング

3. 検証試験

変状の進行性や補修状況を現場で正確に把握するための利用場面として、前回の検査結果をもとにした検査の記録、検査結果を踏まえた補修箇所の記録を想定し、①撮影位置・角度がほぼ同じ写真、②撮影位置・角度が異なる写真、③全景写真と近接写真、④地上写真と足場上写真の組合せでKAZE、A-KAZEによる二時期写真の対応付けを検証した。

検証試験の結果一覧を表-1に示す。手法の比較では、A-KAZEの有効性として、回転や縮尺の違いに頑健なことが確認された。撮影位置がほぼ同じ場合、日照等の条件によらず両手法で正しく対応点が抽出された(図-4)。角度に違いがある場合、KAZEでは対応点の誤抽出が目立った(図-5)。全景写真と近接写真では、KAZEは近接写真の撮影範囲外に対応点が抽出され、正しく対応付けられない場合があった(図-6)。また、地上写真と足場上写真の組合せでは、撮影角度が大きく異なることや、

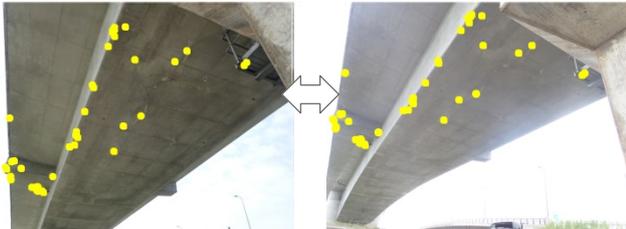
足場設備などのマッチングを阻害する要因があることから、いずれの手法も正しく対応付けることができなかつた(図-7)。なお、対応点抽出の閾値はケースごとに調整したが、経験的に0.5~0.7の範囲が望ましいと判断された。

表-1 写真の対応付け評価結果

二時期写真の組合せ	利用場面	結果	
		KAZE	A-KAZE
撮影位置・角度がほぼ同じ	検査(通常全般) ⇒ 検査(通常全般)	○	○
撮影位置・角度が異なる		△	○
全景写真と近接写真	検査(通常全般) ⇒ 検査(特別全般)	△	○
地上写真と足場上写真	検査 ⇒ 工事	×	×

○:成功 △:一部で成功 ×:失敗

A-KAZE

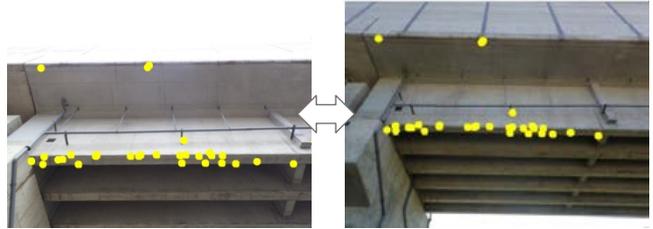


KAZE



図-4 対応付け結果(撮影位置・角度がほぼ同じ)

A-KAZE



KAZE

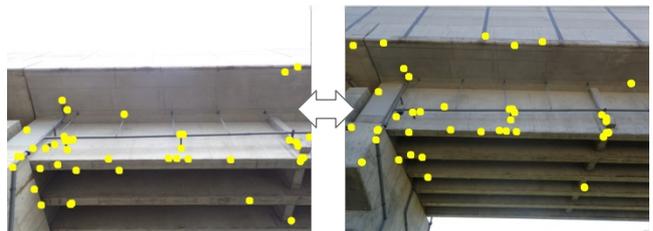
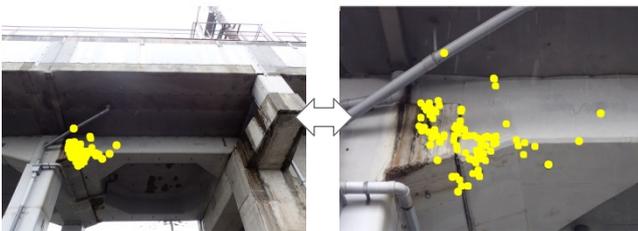


図-5 対応付け結果(撮影位置・角度が異なる)

A-KAZE



KAZE

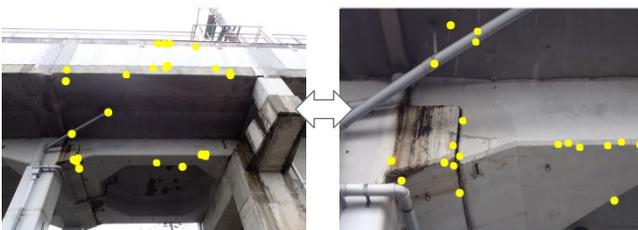
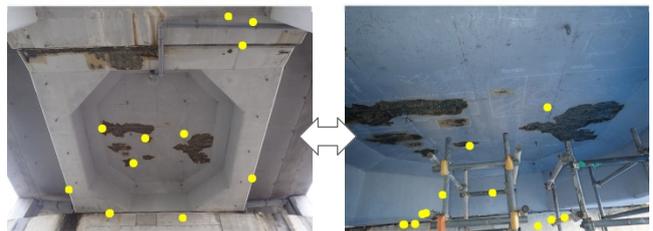


図-6 対応付け結果(全景と近接)

A-KAZE



KAZE



図-7 対応付け結果(地上と足場上)

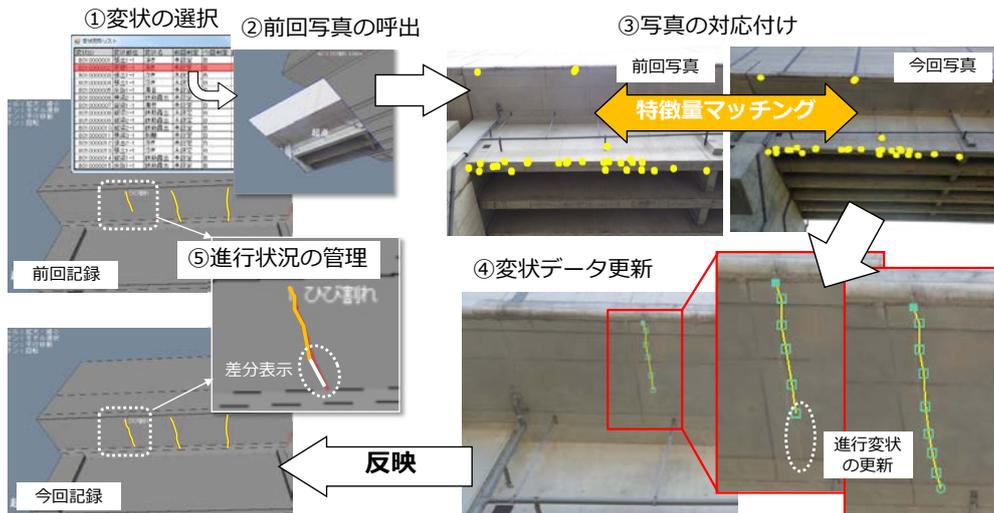


図-8 活用イメージ

4. 考察

本システムにおける活用イメージを図-8に示す。通常全般検査などの概観目視検査では、前回の写真と同じように写真撮影を行えば、自動的に写真同士を対応付けて変状データを更新できる。撮影位置と角度が多少ずれても対応付け可能であるため、現場で前回写真を参照して、概略的に同じように撮影すればよく、撮影方法の制約は少ないといえる。通常全般検査と特別全般検査の時系列管理においても、両者を対応づけた更新管理が可能である。一方、検査時の全景写真と工事時の足場上写真の対応付けは困難である。補修状況の把握に関しては、工事の施工管理とは切り離して、維持管理に必要な補修出来形を記録する仕組みを検討する必要がある。

技術的な課題として、全景写真では構造物の背景部分に多くの対応点が抽出される場合がある(図-9)。構造物上で正確な対応付けを行うためには、これらの対応点を効率的に除外する対策が必要である。

5. おわりに

変状の進行性の把握や補修状況を把握するために、維持管理の各工程で撮影された二時期の写真同士を対応付

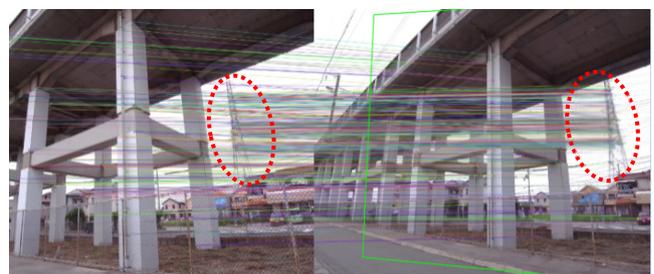


図-9 背景部(鉄塔)に抽出された対応点

ける手法について基礎的な検証を行い、撮影条件が異なる写真同士を対応付けられることを確認した。今後、検討した手法を橋梁維持管理システムで実用的に活用できる機能として組み込んでいく予定である。

参考文献

- 1) 中澤明寛・曾我寿孝・高山宜久・御崎哲一・中山忠雅・清水智弘・内田修・高橋康将：3Dモデルを用いた橋梁維持管理システムの開発と実用化に向けた取り組み、鉄道工学シンポジウム論文集第20号、149-154、2016。

(2017.4.7 受付)

EXAMINATION FOR TRACKING THE PROGRESS OF DETERIORATION OF BRIDGE COMPONENTS USING IMAGE MATCHING METHOD

Akihiro NAKAZAWA, Toshitaka SOGA, Yoshihisa TAKAYAMA, Norikazu MISAKI, Tadamasa NAKAYAMA, Tomohiro SHIMIZU, Osamu UCHIDA and Yasumasa TAKAHASHI

West Japan Railway Company is working on the development of a bridge maintenance management system that enables the inspection work to be operated efficiently and the maintenance cycle to be successfully. This system has started to be used in actual inspection work on the Hokuriku Shinkansen. In this paper, for the purpose of reducing operation time of next inspection work and tracking the progress of deterioration of bridge components, we describe an examination result of image matching between photographs taken in different maintenance situations under different conditions.