

効率的な道路橋点検手法と点検AIシステムの研究開発

茂木正晴・二宮 建・森川博邦

1. はじめに

道路橋の点検時に効率的な変状等の取得を行ううえで、点検技術者への安全確保や足場・交通規制、取得された点検情報の整理について合理化・省人化を図るための点検支援技術（写真-1）が求められる。

本研究では、安全かつ効率的な点検を支援するための点検ロボットや、取得された点検の情報を立体的に把握するための3次元モデル、記録された変状等の大量な画像等の情報を効率的に整理することが可能な点検AIの活用に向けた取り組みを進めている。

本報文は、インフラ点検支援技術となる点検ロボット及び橋梁の3次元モデルの活用シーンと、取得された変状等の情報整理の支援技術となる点検AIの活用シーンについて検討した内容を中心に報告する。

なお、本研究は、“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（平成30年度～令和3年度）”（このうち点検AI（画像解析）開発グループは21者で実施）により進めている。



遠方からの点検ロボット(UAV)の操作による道路橋の点検支援技術例

写真-1 道路橋の点検支援技術例

2. 研究の目的

本研究では、近接目視により取得している床版等の広範囲に発生するひび割れや漏水・遊離石灰等を対象に点検技術者への支援として、図-1に示すように点検ロボットの活用や3次元モデルの作成、点検AIにより取得された変状等の整理といった点検支援技術の開発推進を進めることで、安全を確保し広域な範囲を短時間で効率的に点検することや変状等の大量な画像等の情報を効率的に整理することを目的とした。

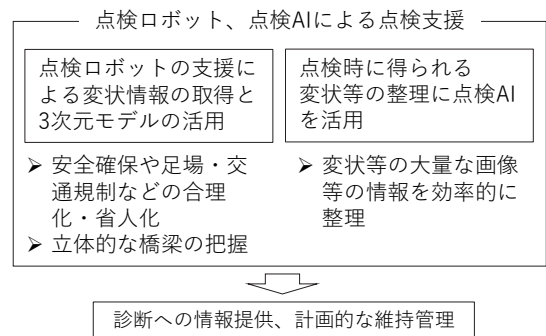


図-1 本研究での取り組み

3. 点検ロボットの活用と3次元モデル化

3.1 点検ロボットの活用

橋梁点検は、点検技術者が近接目視によって点検を行い、ひび割れ等の変状を確認・記録し、記録と同時に変状の程度を判別している。必要に応じて詳細点検を行い、診断結果に応じた補修・更新計画を立案・対処している。しかし、高齢化に伴う知見・経験を有した点検技術者の減少、担い手不足により、安全性や維持管理の質が低下することが懸念される。

UAV等に代表される点検ロボットといった支援技術は、点検対象箇所へのアプローチ、維持管理に必要な画像情報の取得及び記録の合理化を目指したものである。点検ロボットは、点検技

術者への支援として、複数スパンを有する橋梁点検の効率化や危険を伴うハイピア等橋梁へのアプローチに効果的と考えられる。また、点検ロボットを活用することにより、点検時の位置情報を取得することができ、次回点検時において変状に関する進行の有無の比較や確認が可能となる。

国土交通省では、近年、「人の作業」を支援することを目的にインフラの維持管理にロボット等を活用することにより、生産性の向上・品質の確保を推進している。写真-2に示すUAV等による点検対象へのアプローチのほか、点検位置の特定や同アングルでの記録といった機能を持っている点検ロボットの活用は、人が取得していた点検時の情報を効率的に得ることが可能となり、維持管理を合理的に進めるうえでの支援ツールとなる。現在、推奨する支援技術は、国土交通省HPの「点検支援技術性能カタログ（案）令和2年6月」（以

下、「性能カタログ」¹⁾に掲載されており、点検者は必要に応じ活用している。

なお、点検ロボットは、変状等の情報を効率的に取得するための支援技術として活用されるほか、橋梁全体若しくは部分的な3次元モデルの作成に活用できる。

3.2 3次元モデルの作成手法及び活用シーン

3.2.1 3次元モデルの作成手法

3次元モデルは、点検ロボットの活用や3Dレーザースキャナー、画像処理技術によって構築が可能となる。

3次元モデルによる点検対象橋梁の表現は、従来の橋梁の2次元図面（全体図、一般図等）と比べ、空間上の認識に有利である。このことから、点検技術者が橋梁をより具体的にイメージすることが可能となり、橋梁の状態について直感的な認知に期待できる。また、橋梁の3次元モデルを構築することで、現場状況を繰り返し確認する必要がなくなり、維持管理を効率的・効果的に遂行することが可能となる。

今後BIM/CIM等の推進により、橋梁の3次元モデルは、標準的なデータフォーマット(IFC: Industry Foundation Classes)に準拠したCADデータ等により設計され、施工時に活用される。維持管理では、設計時のCADデータを活用することで、3次元モデルの構築が容易となる。また、点検時に得られた変状等の情報を完成時の状態と比較することで精度の高い維持管理を実現することが可能と考えられる。

CAD等による設計データがない橋梁（現在設置されている橋梁の多数が該当）については、点検実務以外のコストとして、3次元モデルの作成作業が増加する。そのため、3次元モデルは、点検結果の管理体制、運用等に応じた活用が求められる。

本研究では、点検時に抽出される変状等の情報を効率的に取得し、取得された情報を効果的に活用できるよう、点検ロボットでの撮影と3次元モデル構築の手法を提案している。3次元モデルを橋梁点検にて活用することは、従来の点検成果で得られる情報（点検日時、変状の種類・状況）に加えて、詳細な変状位置の情報も取得、記録することができ、橋梁維持管理の診断・補修時におい



(1) 移動型ロボット (UAV)



(2) 近接型ロボット (把持式点検装置)



(3) 定置型ロボット (ロボット雲台)

写真-2 国土交通省HPの「点検支援技術性能カタログ（案）令和2年6月」に掲載の支援技術（例）¹⁾

てより具体的な情報の活用が可能となる。

本研究におけるSfM(Structure from Motion)を活用した3次元モデルの具体的な構築手順を、以下(1)~(4)に示す。SfMとは、重複する複数の画像データ間で共通する点から視差により立体視することで、対象となる画像の水平及び高さといった情報を計算し、点群データとして出力するものである。この技術は、既に深層崩壊や雪崩などの災害現場に活用されている^{2)・3)}。

(1) 手順1 (座標取得用3次元モデル作成)

橋梁の上部構造(主桁、張出床版、歩道の手摺等)・下部構造(橋台、橋脚等)に標定点(対空標識)を設置するとともに、トータルステーション等にて座標を取得する。点検ロボットを活用し、標定点を確認しつつ、橋梁を俯瞰するような遠景撮影を行う。遠景撮影の画像よりSfMにて点検対象となる橋梁外観の3次元モデルを構築する。図-2に示すように構築した3次元モデル上の標定点箇所に対して、現地より取得した座標を付与することで、実橋梁と同じスケールを保持する座標取得用3次元モデルとなる。

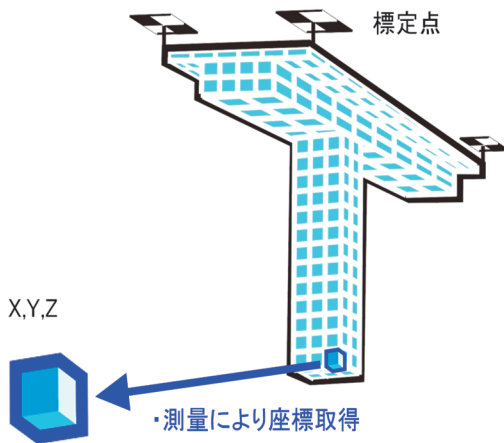


図-2 座標取得のための3次元モデル作成

(2) 手順2 (部材毎の3次元モデル作成)

手順1における画像取得は、実橋梁と同じスケールの3次元モデルの構築のみであり、近接目視点検の支援を目的としたものではない。そのため、近接目視点検の支援を目的とした近接撮影を点検ロボットにより行う。近接撮影によって取得された画像よりSfMによって図-3に示す部材毎の3次元モデルを構築する。

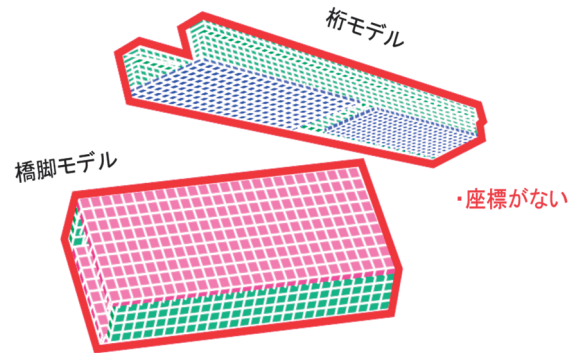


図-3 部材毎の3次元モデル作成

(3) 手順3 (オルソモザイク画像作成)

手順2にて取得した近接目視点検を支援する画像及び構築した部材毎の3次元モデルより、近接目視点検を支援(画像上での変状確認等)可能なオルソモザイク画像(図-4)を作成する。オルソモザイク画像を作成することにより、部材毎の変状等を1枚の画像上にて確認することが可能となる。

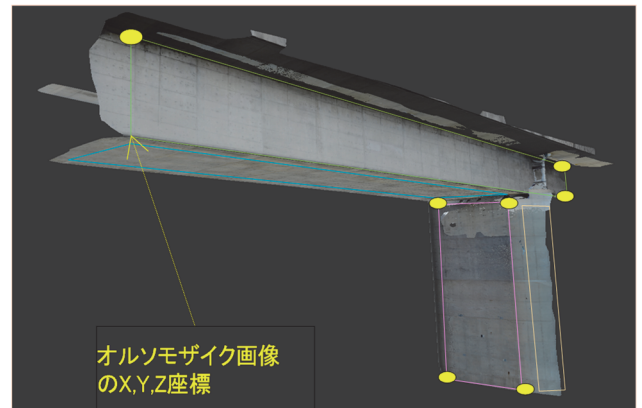


図-4 オルソモザイク画像の作成

(4) 手順4 (橋梁3次元モデル完成)

橋梁外観の3次元モデル、部材毎の3次元モデル及びオルソモザイク画像を組合せ、図-5に示す3次元モデルを完成することができる。

オルソモザイク画像を活用した変状把握は、点検技術者の視覚にて対応可能であるものの、画面上での細かな確認作業となり、煩雑化する恐れがある。そのため、点検技術者によるオルソモザイク画像上での変状把握の支援を目的とした、AIの活用が期待できる。

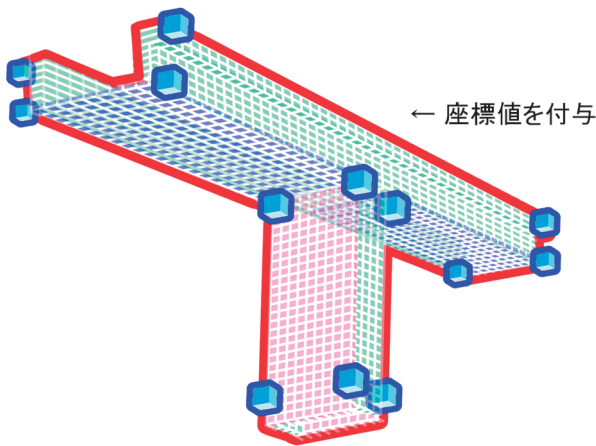


図-5 3次元モデルの完成

3.2.2 3次元モデルの活用シーン

本研究では、現場での効率的・効果的な維持管理を推進するため、想定される活用シーンの検討を進めた。以下に活用例を述べる。

(1) 橋梁全体の3次元モデルを活用する場合

定期的な維持管理において橋梁全体を3次元モデル化することにより、車両の交通等による経年的な劣化に伴う変状の変化を把握するほか、地震等の災害発生時に橋梁全体の状態を迅速に把握し、対処することが可能となる。また、変状等の発生箇所を撮影することにより、正確な位置情報を記録することができる。取得された点検データは、竣工時の状態から時系列的に設置状況及び変状の変化を捉えることが可能となる。

(2) 部分的に3次元モデルを活用する場合

道路管理上、すべての橋梁を3次元モデル化するためには、時間とコストが課題となる。そこで、橋梁全体を3次元モデル化するのではなく、管理するうえで重要と思われる箇所を対象とした3次元モデルが考えられる。橋梁全体の3次元モデル化ではないものの記録された変状箇所の位置情報を正確に把握することが可能となり、前回の点検時における状態との比較が容易になる。

4. 点検AIの機能と活用シーン

これまで、点検によって取得された情報は、点検技術者の知見・経験等から変状の特徴を把握したうえで、診断に必要な情報等の整理を人力作業によって行ってきた。

今後、点検ロボットの支援によって取得された

変状等の大量な画像等の情報整理は、これまでと同様な人力作業とした場合、高齢化に伴い知見・経験を有した点検技術者の減少、担い手不足により、対応が難しくなることが懸念される。

本研究は、点検時に取得された変状等のデータ整理について、AIによる支援技術の活用を提案している。

4.1 点検AIに求める機能

これまで点検技術者が行ってきた変状等の情報整理を点検AIによって支援することで点検技術者の作業軽減・合理化が可能となる。そのため、点検時において点検技術者への支援を考えた場合、人の行動プロセスを把握する必要がある。

人の行動プロセスは、「ものを認識する、記憶する、判断する、意思決定する、動作する」という脳内での情報処理に基づき決定されることが一般的である。点検技術者は、図-6に示すように橋梁点検時に近接目視により変状等を発見・取得している。その後、判定・診断に必要な技量を持った技術者によって様々な情報(設計情報・設置環境等)と知見・経験から損傷原因を特定(認識)し、具体的な維持管理に必要な方策(判断)に基づき適切な維持管理(実行)を行っているものと考えられる。

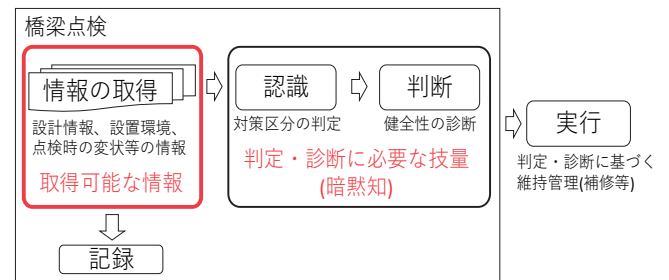


図-6 橋梁点検時における人の情報処理モデル例

本研究で求める点検AIの機能は、これまで点検技術者によって整理していた作業をAIによって支援するもので、図-6の赤枠に示す範囲であり、取得可能な画像情報を診断する者に効率的に提供することや将来の維持管理に必要な外観性状の記録を支援するものである。

4.2 点検AIの活用シーン

点検AIによる支援は、点検時に取得された変状等の情報を効率的に整理するため、これまで点

検技術者が行ってきた作業プロセスに基づく活用シーンが考えられる。

点検技術者は、視覚情報等によって得られた変状等を自身の知見や直感的な判断によって診断に必要な情報の整理を行っている。点検AIの活用シーンとしては、点検ロボットによる点検支援や近接目視によって取得された橋梁の状態から、例えばコンクリートの劣化に伴う補修等の対応が求められる加速期や劣化期を迎えた変状をAIによって抽出し、診断に必要な変状等の情報提供に関する作業支援が考えられる。

本研究の点検AIは、点検ロボットと連携し、診断を行ううえで必要となる変状情報（変状の有無）を提供するためのスクリーニング機能としての活用が考えられる。具体的な性能は、図-7、8、9に示す例のようにバウンディングボックスやポリラインによる変状の抽出及び囲い込みといった作業支援が考えられる。

また、図-10に示す例のように変状情報を抽出し、定型的な方法で分類・記号化するとといった作業支援が考えられる。

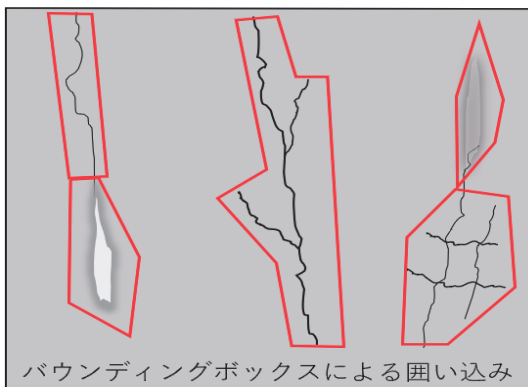


図-7 変状の有無を支援(例)

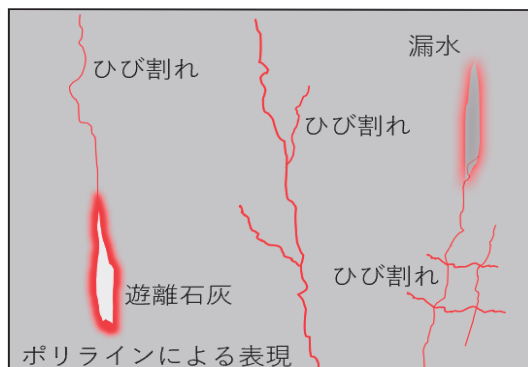


図-8 変状の有無と種類の検出を支援(例)

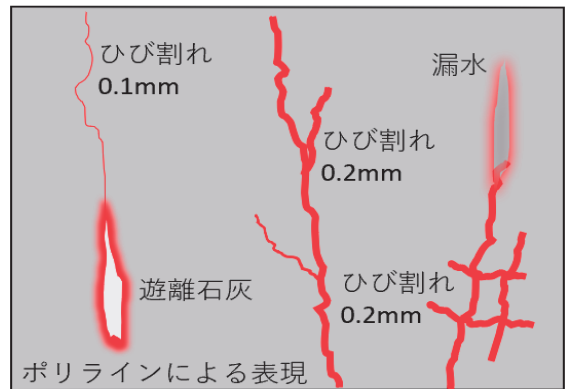


図-9 診断に必要な変状の検出と強調を支援(例)

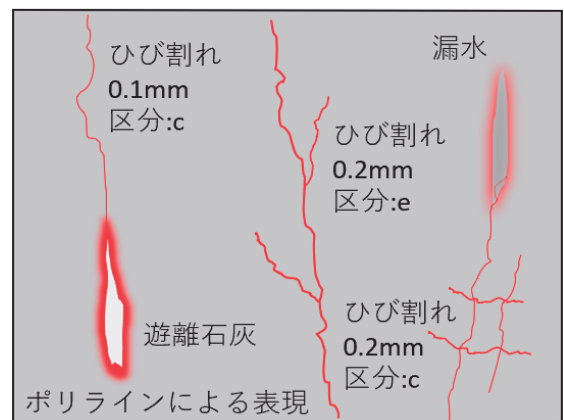


図-10 変状の検出と詳細情報の記録を支援(例)

5. まとめ

点検時における点検ロボットの活用及び3次元モデル化によって、変状に関する情報の取得のほか、正確な位置情報といった維持管理に利用可能な複数の情報(多次元情報)を取得することが可能となる。また、点検AIを活用することにより、取得された情報を効率的に処理し、点検技術者等の作業軽減、診断する者への情報伝達が図れるものと考えられる。今後、インフラ維持管理に点検ロボット・点検AIといった支援技術の導入を推進することによって、点検技術者は効率的な点検が進められ、生産性の向上・品質の確保が期待される。

本研究は、近接目視により取得していたひび割れや漏水・遊離石灰等の画像による変状情報の取得支援を目的とした取組を進めた。結果、点検ロボットの活用と3次元モデル化、点検AIといった点検支援技術の考え方を整理し、活用シーンを提示した。点検時に取得された変状等の情報を効率

的に記録・整理することで、診断に必要な情報を早期に検知することが可能となり、予防保全型メンテナンスに資することができるものと考えられる。現在、共同研究者は、現場での実装を目指し、活用シーンに応じた具体的な支援技術の研究開発を進めている。

今後の課題は、診断において必要となる画像情報を効率的に提供するため、AIによる変状の検出能力向上、本号の特集報文中で紹介されているような診断AI⁴⁾への変状情報の提供手法等に関する技術開発が必要となる。

また、点検AIによる変状等の検出を漏れなくするためには、点検時に撮影する画像について低コストで高精細な画像を撮影・記録する技術開発が点検ロボットに求められる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、橋梁撮影検証に関して、鳥取県と茨城県から検証場所の提供、国土交通省公共事業企画調整課より点検AIに関する情報等提供をいただきました。この場をかりて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局、点検支援技術性能カタログ(案)掲載技術、2020.6
- 2) 内山庄一郎、井上公、鈴木比奈子：SfMを用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究、防災科学技術研究所研究報告_第81号、pp.37~60、2014
- 3) 内山庄一郎、鈴木比奈、上石勲、中村一樹：雪崩災害調査へのUAV-SfMの適用_2017年那須町雪崩災害の事例、自然災害科学、JSNDS37特別号、pp.119~135、2018
- 4) 澤田守、江口康平、石田雅博：道路橋の予防保全に向けた総合診断と診断AIシステムの研究開発、土木技術資料、第63巻、第10号、pp.8~11、2021

茂木正晴



土木研究所技術推進本部先端
技術チーム 主任研究員、博
士(人間科学)
Dr. MOTEKI Masaharu

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 Tasuru

森川博邦



土木研究所技術推進本部先端
技術チーム 上席研究員
Morikawa Hirokuni