

自治体橋梁点検における ロボット導入検討と課題の考察

榎本 真美¹・二宮 建¹・森川 博邦¹

¹正会員 土木研究所 先端技術チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail : enomoto-m574bs @pwri.go.jp

自治体における橋梁点検ではロボット導入が推進されており、自治体はそれぞれの実情にあわせてロボットを導入・活用し、メリハリを持った点検を行うことが可能である。しかし、個別の橋梁の特徴等を勘案して状態把握を行うためのロボット導入方法論が確立しておらず、ほとんどの自治体においてロボット導入に至っていない。そこで、本稿では、ロボット活用の現状を踏まえ、ロボットを活用した点検業務フロー及びロボット導入時の検討要件について論じた。そのうえで、ロボット活用で得られた点検結果の管理や利活用の観点から、データ利活用について今後の課題を考察した。

Key Words : Bridge inspection, Inspection robot(UAV), Data Management, maintenance and management of infrastructure, local government,

1. はじめに

国内にある道路橋約73万橋のうち、自治体（都道府県及び市町村）が管理する橋梁は9割を超えている。さらに、市町村が管理する橋梁は約48万橋であり、全体の66%を占めている¹⁾。

自治体が管理する橋梁に対しては「定期点検の技術的助言」（以降、技術的助言）として「道路橋定期点検要領」（以降、要領）がまとめられている。要領には、最小限の方法と記録項目が具体的に示されるとともに、道路管理者が遵守すべき事項や法令を運用するにあたり最低限配慮すべき事項が明記されている。また、付録と参考資料には、橋梁点検に関する技術的注意点や個別分野の資料がまとめられている。要領によって、法令を満足するために必要な部分と、各自治体の実情にあわせて自由度がある部分が明確化された。

自治体はそれぞれの実情にあわせてロボットを導入・活用し、メリハリを持った点検を行うことが可能である。しかしながら、その方法論は確立しておらず、導入のハードルとなっている。そこで、本稿では、国内の現状をふまえて、ロボット点検の計画策定に必要な検討項目や課題を整理する。

2. 自治体におけるロボット点検の現状

(1) 定期点検要領改定とロボット活用推進

平成26年度に開始した5年に1回の定期点検が、平成30年度で一巡し、二巡目に向けて平成31年2月に定期点検要領が改訂された。見直しのポイントとして「①損傷や構造特性に応じた点検の着目箇所絞り込み」「②新技術の活用による効率的な点検」がある²⁾。②については、近接目視点検を基本としつつ、点検技術者が近接目視と同等の健全性判断が行うことができると判断した場合に、新技術の活用が可能となった。また、新技術を活用する際の性能に関する根拠資料として、「新技術利用のガイドライン（案）」「点検支援技術性能カタログ（案）」（以降、性能カタログ）も公表された。このような要領改訂や関連資料の公開によって、自治体等は、個別の橋梁の特徴等を勘案して、状態把握方法を検討することができるが、個別橋梁の点検方法を検討するための方法論が確立していない。橋梁管理者や橋梁点検技術者が橋梁の点検手法としてロボット技術を容易に選択できない。

それに加えて、近接目視と同等の判断ができるか否かを客観的に評価することが難しい。その中で、「性能カタログ」は、ロボットの使い方や導入方法についても記載されており検討において有用である。ただし、示された性能は特定の環境下で確認された性能値であり、現場でその性能が必ずしも保障されるものではない。実際の運用は、「性能カタログ」は参考にしつつも、現場にあ

わせてロボットの選定や活用方法を検討する必要がある。ロボット開発の過渡期である現在、ロボット点検にかかるコストが高く、点検業務全体としてコスト削減できる現場が少ないのが実状である。

また、汎用的なドローンやアクションカメラ、市販の一眼レフカメラを活用する場合、用途によっては比較的安価に活用できるが、一般的な技術やツールの組み合わせは、新技術カタログに掲載されないため受発注者間での合意形成が難しく、採用されにくいといった問題もある。

(2) ロボット点検導入事例

実証実験や試行的な取り組みは、様々な自治体、企業、大学等が行っている。内閣府主導のSIP「戦略的イノベーション創造プログラム」では、2014年度よりインフラ維持管理に必要な新技術が研究開発され、地域の大学等を拠点とした12の地域実装支援チームが組織され、新技術の橋梁点検等への適用性の実証が行われた。例えば、岐阜大学を中心にしたチームでは、各務原大橋を用いた実証試験を行い、近接目視の範囲を絞り込むスクリーニングへの活用有効性や将来性を確認している³⁾。

筆者らは、PRISM（官民研究開発投資拡大プログラム）での実証実験や、民間企業との共同研究の枠組みで官民一体となった研究を行っている⁴⁾。

実証実験や試行的な取り組みは全国で行われているものの、令和元年度にロボットを点検に活用した自治体は、3%未満とかなり限定的である⁵⁾。ほとんどの自治体はロボットの活用検討にすら至っていない。

点検にロボット活用を取り入れた自治体の例として、千葉県君津市のケースが挙げられる。君津市では、市が管理する227橋梁のうち、維持管理の観点で重要度の高い一部の橋梁について、君津市職員がUAVを活用した直営点検をしており、令和2年度から本格運用を行っている⁶⁾。導入効果として、①コスト縮減メリットの他、

②損傷の見落としの回避と進行性の把握、③橋梁の特性や状態に合わせたメリハリのある点検、④点検・診断・評価・措置方針の一体的管理を挙げている。

3. ロボット点検導入時の検討要件

自治体において、ロボットを活用した点検を推進するために、点検業務フロー及びロボット導入時の検討要件を整理する。

(1) ロボット点検業務フロー

ロボットを活用した点検を行うことで、管理橋梁のうち、従来の近接目視で点検を行った橋梁と、ロボット点検を行った橋梁が混在することになる。また、1つの橋梁でも、近接目視との併用、ロボットの単体利用あるいは組み合わせによるロボット点検が考えられる。橋梁点検を効率化・高度化するためには、橋梁の重要度や損傷状態に応じて、人とロボットのベストミックスで点検を行うことが重要である。

ロボットを活用した点検の業務フローを、図1に示す。まず、どの橋梁やどの部材・損傷に対し、どのようなロボットを導入することで、合理性を高めつつ技術者と同等の判断ができるかを検討し、点検計画を策定する必要がある。点検計画を踏まえてロボット点検を実施し、データを取得、その後、取得したデータの処理・解析による状態把握を行う。その結果から、ロボット適用範囲における近接目視点検の必要性を検討する。重大な損傷の可能性のある箇所、ロボットで確認ができなかった箇所、打音検査が必要な箇所などは、必要に応じて追加で近接目視点検を行う。ロボット点検と近接目視点検の結果を合わせて、技術者が対策工区分や健全性診断など総合的な判断を行う。

(2) 検討項目

ロボット点検導入の主な検討項目として、a) 外部環境条件・制約条件、b) ロボット特性、c) 得られる情報と支援程度、d) 求める導入効果 の4点が挙げられる。それぞれの検討項目について以下に述べる。

a) 外部環境条件・制約条件

点検を行う橋梁及びその周辺地形等の外部環境や制約条件をもとに、ロボット選定を行う必要がある。ロボットによって、対象橋梁の構造や部位・部材に対する適合性がある。支承部など重要な部位・部材については、人による近接目視や打音検査を実施するといった判断も必要である。

また、ロボットを用いる時期や時間、天候によっても、現場環境が大きく左右される。橋梁周辺に樹木が生い茂

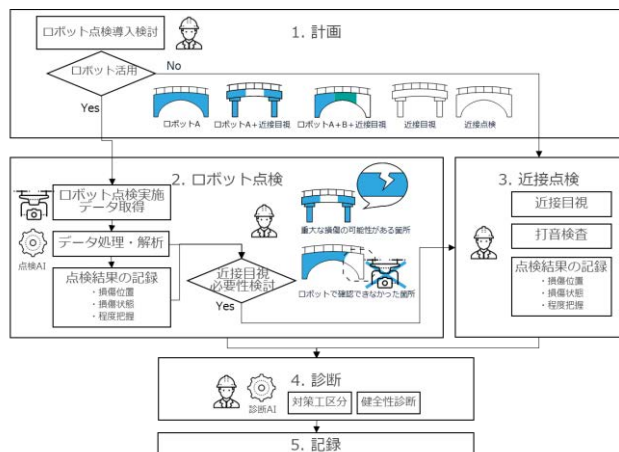


図-1 ロボットを活用した点検業務フロー

り、ロボットが近づけないこともあるので、事前の現地踏査を行い、周辺環境や制約を把握する必要がある。橋梁の下は、GPS伝播が遮断されることや、磁気の影響を受けやすいこと、突風が吹きやすいことにも注意すべきである。

その他、管理する橋梁の重要度や既往点検結果の損傷程度に応じて、ロボット導入方法を検討することも重要である。例えば、一部の橋梁についてはロボット点検を実施し、損傷の有無に関わらず状態をデータとして蓄積するなど、高度化した点検とモニタリングを実施することも考えられる。一方で、人がアクセスしやすい小規模橋梁であれば、往々にして人による近接目視が容易かつ低コストである。

b) ロボット特性

ロボット特性としてロボット形状が挙げられる。現在性能カタログで代表されるロボット形状は、UAVとそれ以外（懸架型やポール型等）に大別できる。ロボット形状によって適用範囲は異なる。

UAVを例に、大型UAVは、大容量バッテリーや一眼レフカメラを搭載でき、風に対する抵抗力も大きい傾向がある。一方で、小型UAVは、小回りが効き桁内部に入り込んで細部を撮影することができるといったメリットがある。

部材状況の把握を行うセンサは、往々にして可視光カメラを搭載しており、一眼レフカメラ、ステレオカメラ、360度カメラなど様々なタイプがある。このカメラの種類や搭載するレンズの特性は、把握可能となる損傷種類や損傷内容に影響する。

c) 得られる情報と支援程度

現場にてデータ取得を行う外業と、オフィスでのデータ整理や解析を行う内業がある。外業のデータ取得時に、画像データの平均画素分解能やデータ形式が決定する。

また、内業によって、3次元モデルやモザイク画像、オルソモザイク画像といったデータが生成される場合が

ある⁷⁾。これらは、橋梁管理者がより直観的に損傷位置や損傷内容の把握を行うための支援として有効である。また、損傷の自動検出や損傷図の作成支援など、診断技術者の支援を行う技術の開発も進んでいる。膨大な画像から損傷が撮影されている画像を選別する解析技術や、目視判断を支援する画像処理技術の開発、適用は効果的である。

一方で、これらの支援技術は使い方を間違えば誤った診断を導く要因になり得るため、技術を最大限活かす運用方法を理解する必要がある。ロボットを用いたデータ取得方法や解析方法に影響するため、ロボット導入検討時に予め最終成果物について協議しておく必要がある。点検技術者及び診断技術者が損傷の有無や程度を確認するタイミングやその判断材料となる情報の詳細度を予め確認し、技術者に必要な支援程度を決めておくことが必要である。

d) 求める導入効果

省力化・省人化では、外業だけでなく内業についても導入効果を評価する必要がある。ロボット点検で取得したデータは、その後の処理の自動化が見込め、大幅な効率化に寄与する。

特に橋梁点検の高度化を求める場合、取得データの質・量ともに向上するだけでなく、その後のデータ処理に計算コストや技術コストも増加する。その結果、1橋あたりの点検コストとしては、必ずしもコスト削減にならない場合がある。管理する橋梁全体の点検コストを下げる部分と高度化を求める部分を明確化する計画が必要である。また、維持管理は、定期点検だけでなく、日常点検から措置まで多くの業務があり、それらのデータ共有や活用の活性化による業務全体の見直しや維持管理コストの削減といった長期的観点も重要である。

4. 点検結果の利活用

ロボット点検の成果物は、ロボットで取得した画像や動画だけでなく、同時に計測したGPSなどの位置情報や、データ解析で生成される点群モデルやCIMモデルといった3次元データなど、多種多様なデータが含まれる。データは、他のデータと組み合わせることにより更に価値を生み出すことができる。データ利活用できる環境を整備する事で、維持管理業務の全体の効率化や働き方改革にも寄与することが期待できる。

ロボット選定や点検計画後には、その点検結果をデータとしてどのように収集・管理するかを考慮する必要がある。以下に、ロボット点検で取得したデータ管理と利活用の観点から、現状の課題を挙げ、対応策を提案する。

表-1 ロボット導入による効果

効果	概要
省力化	作業の労力を減らすこと。重労働作業を軽減する。
省人化	必要とする人員を減らすこと。人件費のコスト縮減にも繋がる。
作業環境改善	危険を伴う高所での作業など、ロボットに代替させることで作業環境・労働環境を改善すること。
利用者負担軽減	点検時に必要だった通行止めや渋滞を解消するなど、道路利用者の負担を軽減すること。
高付加価値化	従来の価値とは別に、新たな価値を生み出すこと。点検以外の業務にデータ利活用できるなど。
品質安定・品質向上	一定以上の品質を保つ、あるいは品質を高めること。損傷の見落としを減らす、技術者の技量に頼った属人的な判断を一律の基準で判定するなど。
コスト削減	金銭的成本を下げること。

(1) 現状と課題

現在、点検及び診断結果は、各自治体が定める様式に整理しExcelあるいはPDF形式の帳票を作成している。技術的助言の参考資料では「記録様式作成にあたっての参考資料（道路橋定期点検版）」が示され、記録様式の種類や構成が例示されている。自治体の橋梁管理者は、点検結果の利活用目的に応じて、必要な様式を取捨選択し組み合わせるなどしている。とりまとめたExcel帳票は、ファイルをサーバあるいは電子媒体に保管するか、紙に印刷して保管している。加えて、点検結果を国へ報告するため、別途定められた帳票様式を自治体の橋梁管理者はシステムに登録する。そのため、現在は、ロボット点検の結果も同様に、これらのExcel帳票に整理している。

点検事業者は、解析結果として、これらの膨大な情報を、その複雑な関連性や属性情報と共に持ち合わせて保存している。しかし、Excel帳票にて点検結果を整理するなかで、これらの情報は関連性を失い、データ処理や分析の観点から利活用が難しいデータ形式に変換されている。Excelに貼り付けられた画像は、データとして属性情報を持たず、損傷の要素番号や損傷図と紐付いていない。加えて、帳票に貼付された画像は、圧縮・低解像度化されている。橋梁管理者が、取得した情報を利活用できる方法で蓄積・管理ができないことが課題である。

(2) 課題に対する対応策の提案

ロボット活用推進と同時に、そこで得られたデータの活用環境を整えることが急務と考える。まずは、橋梁点検で得られたデータを、橋梁管理者が安全かつ利用可能な状態で保管・管理することが必要である。発注者が、大容量かつ多様なデータを電子納品成果として、保管管理システムに登録できる環境や、時系列比較や管理橋梁全体を横断的に分析するなどの維持管理に情報を活用できる環境を構築することが求められる。

電子成果品の電子媒体による納品に替えて、受注者がブラウザを介してクラウド等に納品データを登録する「オンライン電子納品」を普及させるとともに、クラウド

ドを利用した基盤整備や、データ標準化やAPI技術によるデータ流通を整備することが重要である。

5. おわりに

技術はさらに発展し、ロボットはより多くの人の作業の代替や意思決定支援を担うだろう。ただし、その技術の組み合わせや活用方法は、人が検討し意思決定をする部分である。今後ロボットを用いた点検の事例を積み重ねていくことが、ロボット点検の普及や効率的かつ合理的な点検に繋がるだろう。

今後は、自治体がロボットを実業務に活用できるようにするため、ロボット活用を判断する考え方の整理を進めるとともに、橋梁管理者や点検事業者・その他関係機関が必要に応じてデータ流通ができるデータ基盤の整備を進めていく。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局：道路メンテナンス年報（令和元年度・二巡目），pp.93, 2020.
- 2) 国土交通省 道路局 国道・技術課：定期点検の技術的助言 橋梁定期点検要領, 2019.
- 3) 公益社団法人土木学会 技術推進機構 SIP インフラ連携委員：SIP インフラ新技術地域実装活動報告書, 2019.
- 4) 石田雅博：道路橋のメンテナンスサイクルにおけるAI技術の活用，一般社団法人日本建設機械施工協会誌 71(5), pp.11-14, 2019
- 5) 国土交通省 道路局：道路メンテナンス年報（令和元年度・二巡目），pp.118, 2020.
- 6) 千葉県君津市政策推進課：実証実験の取り組み概要, <https://www.city.kimitsu.lg.jp/soshiki/3/27276.html>, (参照 2020-10-12)
- 7) 横山 広, 小林 大, 福田 末廣, 鈴木 裕一郎：近未来の橋梁の維持管理：3次元橋梁モデルの活用で技術者不足を解決, 土木施工 61(1), pp.143-145, 2020

(2020.10.12. 受付)

A STUDY ON INTRODUCING ROBOTS FOR BRIDGE INSPECTION IN LOCAL GOVERNMENTS

Mami ENOMOTO, Tatsuru NINOMIYA and Hirokuni MORIKAWA

Introducing robots has been promoted in the inspection of bridges in municipalities, so that they can carry out inspections in a more flexible manner according to their own conditions. However, the methodology for introducing the robot has not yet been established and most of the municipalities have not yet utilized the robots. Therefore, in this paper, based on the current use case of the robot, we have discussed the work flow of the inspection and the important factors to consider. In addition, the future issues of data utilization are discussed from the viewpoint of data management.