

積雪寒冷地における各種橋梁点検支援技術の適用性検討

An Applicability of supporting technologies for inspection of bridges in the cold regions

株式会社ドーコン
室蘭工業大学大学院
釧路工業高等専門学校
国立研究開発法人土木研究所
株式会社ドーコン
室蘭工業大学大学院

○正 会 員 大山高輝 (Takateru Oyama)
非 会 員 花島直彦 (Naohiko hanajima)
非 会 員 林 裕樹 (Hiroki Hayashi)
正 会 員 西 弘明 (Hiroaki Nishi)
正 会 員 佐藤 誠 (Makoto Sato)
名誉会員 岸 徳光 (Norimitsu Kishi)

1. はじめに

2014 年の道路法改正により、橋やトンネルなど道路ストックは 5 年に一度の頻度で近接点検を行うこととなり、昨年で 1 巡したところである。同時期に、橋梁点検の効率化や高度化を図るため、内閣府や国土交通省では、ロボット技術や AI 技術などを用いた、橋梁点検支援技術の開発を推進してきた。それらの技術のうち、国が定めた標準項目に対する性能値を満足するものについて、点検支援技術性能カタログ(案)¹⁾として取りまとめられ、公表されている。

一方、著者らが暮らす北海道では、2016 年 8 月の北海道豪雨、2018 年 9 月の北海道胆振東部地震など、大規模な自然災害が発生している。被災後、ライフラインとなる道路構造物の健全性を即時に判断し、通行可否を決定する必要があるが、橋梁の健全性の確認には、橋梁点検車や高所作業車などの特殊車両が必要な場合が多い。特殊車両の手配に時間がかかることや、被災規模が大きい場合は図-1 のように橋梁そのものに近接できないこともある。特に、これら災害が積雪を伴う厳冬期に発生した場合は、健全性の確認にさらなる時間を要することが想定される。

そのため著者らは、点検支援技術に対し、北海道の積雪、極寒冷の条件下での適用性、災害時緊急点検での適用性、使用性を主眼に、実橋での実証試験を行い、冬季作業時の問題点や改善点について議論する検討会を開催している。

なお、実証試験は、点検支援技術の基本性能を確認する「秋季試験」と、秋季試験の結果から積雪や低温下で想定される留意点を洗い出し、改善を施したうえで実施する「冬季試験」を計画している。

今回の報告では、秋季に実施した実証試験の結果報告と、今後厳冬期に向けて検証する試験内容について報告する。



図-1 豪雨災害により橋台背面土が流出した事例

2. ユースケースの検討

使用する点検支援技術の抽出にあたり、下記の 2 つの利用シーンと点検対象部位を選定した。

(1) 災害時・緊急対応時の利用シーン

地震や豪雨による被災の有無を早期に確認し、健全性を判断するために利用可能な点検支援技術を抽出した。

地震災害では、路上で確認可能な変位や変形がある場合は、橋梁本体の構造に損傷が発生していると想定されるため、橋梁点検車などでの作業は危険であること、豪雨災害の場合は、増水した河川や背面土の流出等により道路が寸断され、橋梁に近接できないことなどが想定される。そのため、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) などの飛行体を用いた技術が有効と判断した。

(2) 橋梁点検における効率化を目的とした利用シーン

高橋脚や広幅員など、橋梁点検車などの作業機械の可動範囲以外の近接が困難な部位に対し、主に点検費用軽減を目的とした技術を抽出した。

近年、橋梁点検車が届かない高橋脚では、近接目視の手段としてクライミング点検(図-2)が採用されてきたが、特殊高所技術を有する点検技術者の不足や、点検コストが高いことが課題であった。そのため、UAV の他、測量機器を改良したカメラシステムなどの技術が有効と判断した。

(3) 実証試験における点検対象部位

検討会で議論し、地震災害における点検時の着目部位として、「支承」が重要であると結論付けた。地震時に発生する水平力や鉛直力により、支承を構成する部材の破断や、アンカーボルトの突出などの損傷が発生すると想定し、これらの損傷を迅速に、確実に確認できる点検支援技術にて実証試験を行うこととなった。



図-2 クライミング点検による高橋脚での作業状況

3. 点検支援技術の抽出方法

支援技術の抽出にあたっては、点検支援技術性能カタログ(案)¹⁾に掲載された技術に加え、内閣府が奨めるSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)にて、実証試験結果²⁾³⁾が報告されている技術を参照した。

3. 1 点検支援技術抽出時の着目点

2020年6月に改訂された点検支援技術性能カタログ(案)¹⁾には、橋梁に関する技術が60件登録されている。そのうち、画像計測技術24件についてカタログ記載事項の確認と、開発メーカーへのヒアリングを行い、下記の条件を満たす技術を選定した。

(1) 低温でも稼働可能な技術

カタログ上、可使温度の記載があるものについては、5℃以下でも操作可能な技術を優先的に選定した。ヒアリングの結果、低温下での使用を考慮していない機器がほとんどであった。

(2) 高精細な画像計測が可能な技術

カタログに掲載された指標のうち、コンクリートのひびわれ検出性能がひびわれ幅0.1mm以下を検出可能な技術を選定した。

(3) 専属オペレータが不要な技術

緊急時に対応が可能な技術を選定するため、専属オペレータが必要な技術は除外し、機器のリースを主とした技術を選定した。

3. 2 選定した点検支援技術

上記着目点を踏まえて、4技術を選定した。各技術の特徴を表-1に示す。

(1) 橋梁点検カメラシステム (以降、アーム型点検ロボ

ットと記す)

点検支援技術性能カタログ(案)¹⁾に掲載されている「橋梁点検支援ロボット+橋梁点検調査作成支援システム」のアーム部分の機構のみを使用する技術である。現地にて人力で組立し、高欄や防護柵のトップレールに機器を固定する。桁下にアームを挿入し、アーム先端に設置されたデジタルカメラで撮影を行う。手元の操作機器により、カメラのパン・チルトやズームが可能である。

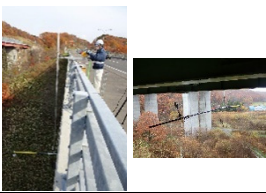
(2) 橋梁点検ロボットカメラ (以降、ロボットカメラと記す)

光学30倍ズームを備えた特殊なカメラにより、離れた場所からでも近接画像を取得することができる。カメラには、レーザー距離計が搭載されており、撮影画像上でひびわれ幅や長さを計測する機能が搭載されている。撮影方法は、10.5mの高さまで伸びる大型の三脚にカメラを設置する高所型と、高欄や防護柵のトップレールに固定可能な治具の先端にカメラを設置し、主桁側面や支承を点検する懸垂型の2通りが選択できる。カメラ本体の操作は、専用のタブレットで行う。撮影する位置は固定されるが、水平-180°～+180°、鉛直-90°～+90°と可動範囲が広いので、ズーム機能を駆使することで、広範囲の点検が可能である。

(3) 二輪型マルチコプタ及び3D技術を用いた点検データ整理技術 (以降、二輪型マルチコプタと記す)

橋脚の壁面などのコンクリート部材に2つの車輪を接触させ、対象物とカメラの距離を一定に保ちながら近接撮影が可能な技術である。カメラは用途に応じて交換が可能であり、有線給電のため長時間の使用も可能である。機体の制御はオペレータの操作によることから、ある程度の技能を持った者が操作する必要がある。軽量化のた

表-1 選定した点検支援技術の概要

技術名称 技術番号	アーム型点検ロボット BR010018-V0120(参考)	ロボットカメラ BR010019-V0120	二輪型マルチコプタ BR010021-V0020	小型ドローン BR010009-V0020
概要図				
対象部位	主桁、横桁、床版、橋脚、橋台、支承部	上部構造、下部構造、支承部、路上、箱桁内	コンクリート部材の内、主桁、横桁、床版、橋脚、橋台、堅壁・翼壁	主桁、横桁、床版、橋脚、橋台、支承部、路上
物理原理	画像/動画	画像/動画	画像/動画	画像/動画
保有台数	3台(スタンダードタイプ)	67台(レンタル24台)	2台(大型・中型各1台)	14台
資格要件	資格要件なし	資格要件なし	ドローン検定資格保有者に加え、本機の操縦特性の説明を受けた者	本機の技能講習受講必要(1日)※ドローン検定資格は必須ではない
操作性	ポールなどを路上で組立て、高欄に設置し、桁下へカメラを挿入する。専用の操作機器によりカメラを制御。	地面等に据え置く高所型、高欄に設置する懸垂型がある。カメラ設置後は、タブレットによる操作。	プロポにより機体制御。桁下、路上等から操作可能。	プロポにより機体制御。魚眼レンズにて自己位置を認識し自動で衝突回避。
点検範囲	総幅員9m程度まで。桁高5m程度	高所型：10.5m(ポール長) 懸垂型：高欄笠木から下向に4.5m(延長オプション6.0m)	高さ30m程度(目視操作可能範囲、有線給電のケーブル長による)	操作場所から最大200mの範囲
カメラ性能 画像精度	コンパクトデジタルカメラ ひびわれ幅0.1mm	雲台付専用カメラ(光学30倍ズーム) ひびわれ幅0.05mm	GoProHERO6(交換可能) ひびわれ幅0.1mm	SONY製IMX577 ひびわれ幅0.05mm
可使時間	有線給電、連続利用可能	バッテリー、180分	有線給電、連続利用可能	バッテリー、23分
可使温度	5～35℃	-10～40℃	5～45℃	-5～40℃
耐風性能	平均風速7m/s程度	高所型：平均風速5m/s 懸垂型：平均風速10m/s	平均風速5m/s程度	平均風速11m/s程度

め、全体的に華奢な印象であるが、構成部材はカーボン成形されており剛性や強度は確保されている。

(4)全方向衝突回避センサーを有する小型ドローン技術 (以降、小型ドローンと記す)

ドローン本体に搭載された6基の魚眼カメラにより周囲の障害物との距離を常に計算し、衝突を回避する機能を持つ。点検の際は近接撮影モードに切り替えることで、機体から50cmの距離まで近接することが可能となる。搭載されているカメラは、飛行中に鉛直方向に -110° ～ 90° まで動かすことが可能なため、一度のフライトで広範囲を点検することができる。なお、機体の制御はオペレータの操作によるが、1日講習を受講すればよい。

4. 秋季実証試験について

4. 1 対象橋梁の概要

選定された4技術の実証試験を行うため、最低気温が -10°C 以下の厳寒地域に架橋された、支承を有する桁下高さ20m以上の条件で橋梁を選定した。対象橋梁の概況を図-3に示す。建設年次は1985年、橋梁形式は4径間連続非合成鋼桁の国道橋を選定した。架橋位置は北広島市島松であり、過去3年の冬季気温は平均 -6.0°C 、最低 -21.2°C 、対象とするP-2橋脚の桁下高は20mである。

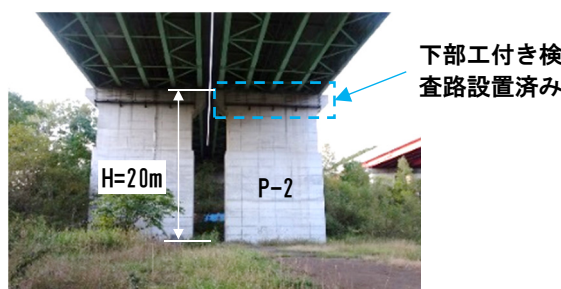


図-3 実証試験橋梁の概要

4. 2 秋季実証試験の概要

実証試験は、2020年11月9日に実施した。当日の午前中は降雪、午後は天気回復し晴天となった。なお、平均気温は 1.9°C 、風速は最大 2.0m/s であった。

アーム型点検ロボット、ロボットカメラは、路上から機器を設置して点検作業を行った。二輪型マルチコプタ、小型ドローンは、橋脚基部より浮上させて点検を行った。なお、二輪型マルチコプタは、下部工付き検査路と主桁のクリアが狭いことから、橋脚側面を移動させ、支承を側面から確認した。実証試験概要を図-4に示す。

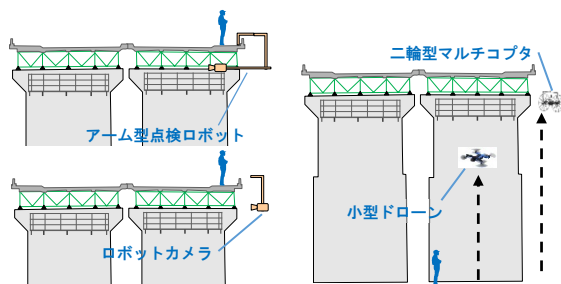


図-4 実証試験の概要

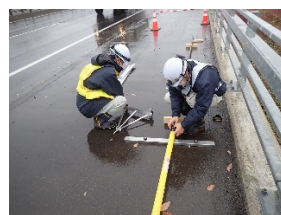
4. 3 実証試験の結果

各支援技術の試験を行い、現地で意見交換を行った。

(1)アーム型点検ロボット

試験状況を図-5に示す。路上で組立作業を行ったが、部品数が多く、点検開始までに40分を要した。カメラを桁下へ移動させた後は、操作機器により容易に写真撮影ができた。委員から、以下の意見があった。

- ・緊急点検では短時間に数多くの橋梁を確認する必要がある。部材のユニット化などにより組立にかかる時間を短縮することが必要である。
- ・撮影した写真は損傷状況を十分把握できる。
- ・カメラを操作するための機構（ギアや配線）が露出しており、厳冬期に使用する場合は、降雪や凍結の対策を講じる必要がある。



組立状況



点検状況



カメラ操作機器



支承確認写真



カメラ治具・機構の状況

図-5 アーム型点検ロボット作業状況

(2)ロボットカメラ

試験状況を図-6に示す。組立作業は5分ほどで完了した。懸垂型のアームは電動で伸縮し、タブレット操作により首振りやズーム、写真撮影もスムーズに行うことができた。ただし、アーム型点検ロボットに比べ、水平方向へカメラを差し込むことができないため、内側の支承写真は暗い画像となってしまった。委員から、以下の意見があった。

- ・設置・撤去に要する時間が短いので、作業性は良い。
- ・暗所の撮影に対し、画像処理ソフト等で鮮明にできるか確認する必要がある。また、カメラの性能がよいため、照明など付加設備により改善できれば十分採用できる。
- ・アーム型点検ロボットと同様、防水加工されていない部位に対して、厳冬期の対策を講じる必要がある。
- ・バッテリー駆動のため、極寒状態での稼働時間を確認する必要がある。



点検状況



外桁支承確認写真



中桁支承確認写真

図-6 ロボットカメラ作業状況

(3) 二輪型マルチコプタ

試験状況を図-7 に示す。本技術の対象部位ではないが、支承の撮影を試みた。機器の段取りは 10 分程度で完了した。橋脚側面を這わせるよう上昇させて、支承の側面写真を撮影できたが、沓座に乗り上げてしまい、操作不能となった。委員から、以下の意見があった。

- ・二輪型マルチコプタは、壁面に押し当てる力と、上昇する力を同時に発生させるよう制御されているため、途中で静止することが難しいと思われる。
- ・検査路などの支障物がなく、壁面上昇させ、車輪の上面が床版などに接した状態で静止できる場合は、支承の確認も可能と考える。
- ・しかし、機体の制御が難しいため、主たる使用目的は、壁面のひびわれ計測などに特化した使い方がよい。



点検状況



点検状況



支承確認写真

図-7 二輪型マルチコプタ作業状況

(4) 小型ドローン

試験状況を図-8 に示す。機器の段取りは 5 分程度で完了した。近接撮影モードで検査路周辺の部材を自動で回避しながら、沓座まで到達することができた。委員から、以下の意見があった。

- ・狭い箇所でも安定して進入することができるため、近接点検と同じ感覚で点検できている。
- ・画像の解像度も高く申し分ない。
- ・そもそもの操作性がよく、機械本体が制御してくれるため、使用する人を選ばない点が優れている。
- ・バッテリー駆動のため、極寒状態での稼働時間を確認する必要がある。



点検状況



外桁支承確認写真



中桁支承確認写真

図-8 小型ドローン作業状況

5. 冬季実証試験に向けて

冬季実証試験に向けて得られた改善点、確認事項は以下のとおりである。

- ・アーム型点検ロボットは、配線やギアに対し、防水などの養生が必要である。
- ・ロボットカメラは、照明を追加できるか検討する。
- ・二輪型マルチコプタは、橋脚側面ではなく正面からアプローチするなど、撮影方法を再検討する。
- ・ロボットカメラ、小型ドローンはバッテリー稼働のため、低温時の能力低下を事前に確認する必要がある。

今後、バッテリーの耐寒性について、寒地土木研究所の冷蔵庫を借用し、 -20°C の環境でどの程度電池の能力が低下するか実験を行う予定である。

また、機器の防水対策などを施し、冬季実証試験を厳冬期に当たる 1 月末に実施する予定である。

謝辞：本報告は北海道開発局札幌開発建設部発注の業務にて検討されています。ご協力いただいた業務関係者の皆様に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：点検支援技術性能カタログ(案) 2020.06
- 2) SIP インフラ地域実装支援鳥取大学チーム：江島大橋プロジェクト実証試験報告書 2019.3.28
- 3) 岐阜大学：活動報告書～使いたくなる SIP 維持管理技術の ME ネットワークによる実装～ 2019.3.31