

# 積雪寒冷地における各種橋梁点検 支援技術の実証試験について

札幌開発建設部 道路整備保全課 ○大門 正樹  
札幌開発建設部 道路整備保全課 海藤 弘治  
株式会社ドーコン 大山 高輝

北海道では胆振東部地震などの大規模自然災害が発生しており、これら災害が厳冬期に発生した場合、橋梁点検車等の機械を用いて緊急点検を行うことは困難な場合がある。一方、橋梁点検支援技術の開発が推進され、国土交通省から点検支援技術性能カタログ(案)が公表された。筆者らはこの点検支援技術に着目し、災害時緊急点検での適用性を主眼に実証試験を行ってきた。今回は、2020年に実施した実証試験の結果を報告する。

キーワード：点検支援技術、橋梁点検、災害時緊急点検、積雪寒冷地、点検ロボット

## 1. はじめに

2014年の道路法改正により、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、2019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)<sup>1)</sup>として取りまとめられ、公表されている。

一方、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、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、橋梁点検車などの特殊車両が必要な場合が多く、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、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、有識者を招いた意見交換会を開催し、有効性の高い点検支援技術を検討した。



図-1 豪雨災害により橋台背面土が流出した事例

## 2. 有識者を招いた意見交換会の開催

橋梁点検支援技術の検討を行うため、土木・橋梁の専門家の他、ロボット機械や情報・通信の専門家から表-1示す有識者を選任し、実証試験を含む意見交換会を4回開催した。表-2、図-2に意見交換会開催概要を示す。

表-1 意見交換会有識者メンバー

| 分野 | 氏名   | 所属                        |
|----|------|---------------------------|
| 土木 | 岸 徳光 | 室蘭工業大学社会基盤管理工学講座 特任教授     |
|    | 西 弘明 | 寒地土木研究所寒地基礎技術研究グループ グループ長 |
| 機械 | 花島直彦 | 室蘭工業大学創造工学科 教授            |
| 情報 | 林 裕樹 | 釧路工業高等専門学校情報工学科 准教授       |

表-2 意見交換会開催日程

| 交換会 | 日程    | 概要                   |
|-----|-------|----------------------|
| 第1回 | 8月24日 | 年間スケジュール、実証試験試行技術の抽出 |
| 第2回 | 11月9日 | 秋季試験の実施、冬季試験に向けた課題整理 |
| 第3回 | 2月1日  | 冬季試験の実施              |
| 第4回 | 2月26日 | 試行技術の緊急・災害時の適用性検討    |



図-2 意見交換会・実証試験開催状況

## 3. 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)地震災害時における点検対象部位

意見交換会で議論し、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。

### (3)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-3)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。



図-3 クライミング点検による高橋脚での作業状況

## 4.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)<sup>1)</sup>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<sup>2)3)</sup>が報告されている技術を参照した。

### (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)<sup>1)</sup>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。

#### a)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。

#### b)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。

#### c)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。

### (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-3に示す。

#### a)橋梁点検カメラシステム(以降、アーム型と記す)

点検支援技術性能カタログ(案)<sup>1)</sup>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。

#### b)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。

#### c)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。

d) 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 $-110^{\circ}$ ～ $90^{\circ}$ 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。

## 5. 実証試験概要

### (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 $-10^{\circ}\text{C}$ 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。対象橋梁である一般国道36号島松沢橋の概況を図-4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であり、対象とするP-2橋脚の桁下高は20mである。過去3年の冬季気温は平均 $-6.0^{\circ}\text{C}$ 、最低 $-21.2^{\circ}\text{C}$ である。

### (2) 実証試験の概要

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、秋季試験では橋脚側面を移動、冬季試験では橋脚前面を移動させ、支承を確認した。実証試験概要を図-5に示す。

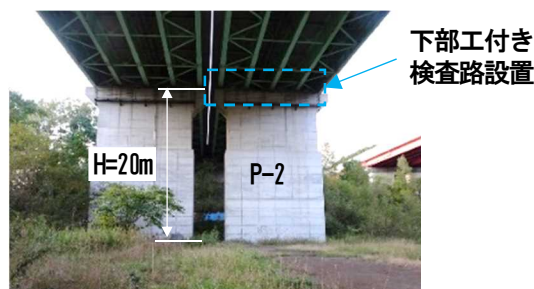


図-4 実証試験橋梁の概要

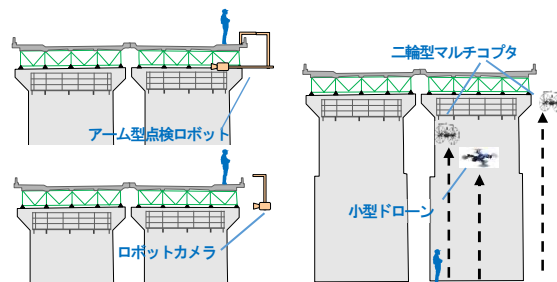


図-5 実証試験の概要

## 6. 秋季実証試験の結果

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

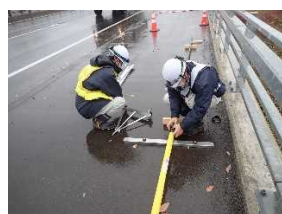
### (1) アーム型点検ロボット

試験状況を図-6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。意見交換会では以下の意見があった。

表-3 選定した点検支援技術の概要

| 技術名称<br>技術番号  | アーム型点検ロボット<br>BR010018-V0120(参考)           | ロボットカメラ<br>BR010019-V0120                 | 二輪型マルチコプタ<br>BR010021-V0020     | 小型ドローン<br>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)                    | 200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、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)                    |
| 操作性           | アームを路上で組立て高欄に設置し桁下へカメラを挿入する。専用操作機器でカメラを制御。 | 地面などに据える高所型、高欄に設置する懸垂型がある。カメラ操作はタブレットによる。 | 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、桁高5m程度                             | 懸垂型：高欄笠木から下向に4.5m(延長オプション60m)             | 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<br>画像精度 | コンパクトデジタルカメラ<br>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            | GoPro HERO6(交換可能)<br>ひびわれ幅0.1mm | SONY製MX577<br>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<br>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                        |

- ・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-6 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-7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。意見交換会では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-7 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-8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、杓座に乗り上げてしまい、操作不能となった。意見交換会では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、壁面を上昇させ、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-8 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-9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。意見交換会では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-9 小型ドローン作業状況

## 7. 冬季実証試験に向けた検証事項

極寒冷時にバッテリーの消耗が激しくなることを確認するため、バッテリー稼働のロボットカメラ、小型ドローンについて、寒地土木研究所の耐寒試験室にて、室温-20℃に設定した環境で連続稼働試験を実施した。試験実施状況を図-10に示す。



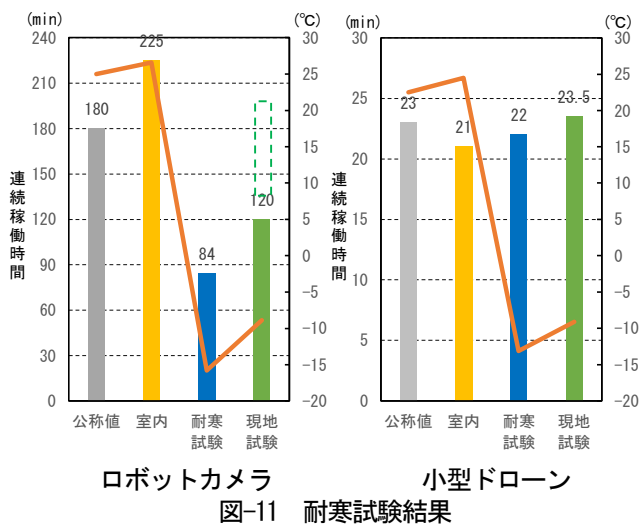
図-10 耐寒試験実施状況

また、後述する実証試験に用いた橋梁である島松沢橋にて、-9℃の環境で稼働試験を実施した。カタログ公称値と、24℃の室内で実施した試験結果を図-11に示す。

ロボットカメラは、カタログ値 180 分に対し、耐寒試験(-17℃)では、カメラ本体のバッテリーが 84 分で停止した。現地試験(-9℃)では、試験時間の制約により

120 分で終了したが、電池残量は十分残っており、-10℃程度の低温下であれば、緊急点検等でも十分に利用可能な可使用時間が確保できることを確認した。

小型ドローンは、カタログ値 23 分に対し、耐寒試験、現地試験の環境でも大きな低下はなかった。20 分程度の飛行では、気温の影響を大きく受けないことが確認された。



## 7. 冬季実証試験の結果

2021 年 2 月 1 日に各機器の実証試験を実施した。当日の天候は晴れ、最低気温は-5℃、平均風速は 1.0m/s 程度であった。なお、積雪は 40cm 程度であった。

### (1) アーム型点検ロボット

試験状況を図-12に示す。ギアや配線の防水として、ビニールキャップなどで加工を行った。組立時間の短縮のため、架台やねじ部品の簡素化を図ったが、歩道上の除雪作業が必要となり、除雪～組立完了までに 100 分を要した。そのため、冬季の緊急点検での適用性は低いと判断された。

ただし、カメラを桁下へ移動させた後は、秋季試験時と同様、操作機器により容易に写真撮影ができ、橋梁点検車の代替手段としては十分に採用が可能と判断した。



組立状況



点検状況

図-12 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-13に示す。治具を設置する範囲 1m 程度

の除雪作業として30分程度必要であるが、組立作業は5分ほどで完了した。ロボットカメラは可搬性が高く、操作も簡易で、 $-9^{\circ}\text{C}$ の環境でも120分の連続稼働が可能であり、冬季緊急点検での適用性は高いと判断された。また、暗所の撮影は、追加照明により改善され、支承の状況を十分把握できることが確認された。



図-13 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-14に示す。二輪型マルチコプタは、検査路を回避する際に機体が橋脚壁面から離れ、制御不能に陥る可能性が示唆された。秋季試験と同様、橋脚の形状の制約を受けやすいため、支障物がある場合は緊急点検の適用が困難と判断された。ただし、橋脚全体や床版の撮影が得意であり、定期点検では橋梁点検車の届かない箇所の代替として採用可能である。



図-14 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-15に示す。秋季試験と同様、操作性が高く、支障となる部材を自動で避けながら、対象物に50cmまで近接できるため、近接点検を行うような感覚で部材の撮影が可能である。また、 $-9^{\circ}\text{C}$ の環境でも23分の飛行が可能であり、予備バッテリーを使用することで長時間の点検も可能となる。よって、冬季緊急点検や、橋梁定期点検の代替としても有効であると判断された。



図-15 小型ドローン作業状況

## 5. まとめ

試験結果の総括を表-4に示す。

実証試験の結果から、積雪寒冷地での緊急点検に着目する場合には、小型ドローンの適用性が最も高いと判断された。ただし、小型ドローンは、暗所や降雨等の条件下では、自己位置を認識するために機体に設置された魚眼レンズによる空間認識ができないため、飛行することが困難になる場合がある。

今後、小型ドローンの暗所飛行や、路上からの目視外飛行による操作の可否など、緊急点検で想定される条件での実証を行う予定である。

謝辞：最後に、意見交換会にご参加いただいた有識者、業務関係者の皆様に感謝を申し上げます。

### 参考文献

- 国土交通省：点検支援技術性能カタログ(案) 2020.06
- 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
- 岐阜大学：活動報告書～使いとなる SIP 維持管理技術の ME ネットワークによる実装～ 2019.3.31

表-4 試験結果総括

| 技術名称     | アム型点検ロボット      | ロボットカメラ            | 二輪型マルチコプタ            | 小型ドローン      |
|----------|----------------|--------------------|----------------------|-------------|
| 価格(週/年間) | △8.5万円/442万円   | △28万円/345万円        | △都度見積                | ○10万円/120万円 |
| 作業準備     | ×40分+除雪時間      | ◎5分+除雪時間           | ○10～20分              | ◎5分         |
| 操作性/運搬性  | ○/△<br>(部品数多い) | ○/○<br>(バッグ1, 機体1) | △(専門性高い) /<br>△(大規模) | ◎/◎ (小型バック) |
| 低温時稼働時間  | ◎有線給電          | ○実証1～2時間程度         | ◎有線給電                | △バッテリー20分程度 |
| 作業人数     | △2～3人          | ○2人                | △3人                  | ◎(1人でも可)    |
| 総合評価     | △              | ○                  | △                    | ◎           |