

積雪寒冷地における各種橋梁点検支援技術の冬季実証試験について

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  
非 会 員 花島直彦  
非 会 員 林 裕樹  
正 会 員 西 弘明  
正 会 員 佐藤 誠  
名誉会員 岸 徳光

1. 目的

橋梁点検の効率化や高度化を図るため、ロボット技術などを用いた橋梁点検支援技術の開発が推進され、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> (以下、カタログと示す)として公表されている。

一方、筆者らが暮らす北海道では、2018年9月の北海道胆振東部地震などの大規模自然災害が発生している。これら災害が積雪を伴う厳冬期に発生した場合に、橋梁の健全性を即時に判断し、通行可否を決定する手段として、橋梁点検支援技術に着目し、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<sup>2)</sup>を2020年11月に行い、厳冬期に向けた問題点や改善点について検討会にて議論している。今回の報告は、2021年2月に実施した冬季実証試験の結果を報告するものである。

2. ユースケースと採用した点検支援技術

地震や豪雨災害時の利用を想定し、被災により橋梁本体構造に損傷が発生している場合は、橋梁点検車などを用いた作業が危険であることから、UAV(Unmanned Aerial Vehicle)などの飛行体を用いた技術が有効と判断した。また、橋梁定期点検において、広幅員や高橋脚では、橋梁点検車などの作業機械が届かない不可視範囲が発生するケースへの対応として、UAVや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。なお、点検時の着目部位として、「支承」が重要であると判断した。カタログ記載事項と、開発メーカーへのヒアリングを行い、支承の点検が可能な画像計測技術24件から、5℃以下でも稼働可能な技術、高精細な画像計測が可能な技術を抽出した。また、緊急時に対応が可能な技術を選定することから、専属オペレータが不要な技術を選定し、表-1に示す4つの技術について検証を行った。

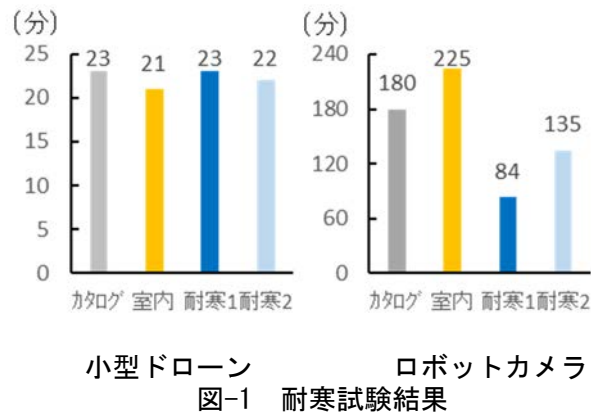
表-1 選定した点検支援技術の概要

| 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           |  |  |  |  |
| 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、路上などから操作可能。                                                            | 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6.0m)<br>雲台付専用カメラ(光学30倍ズーム) ひびわれ幅0.05mm                    | 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                                                          |                                                                                     | GoProHERO6(交換可能)<br>ひびわれ幅0.1mm                                                       | SONY製IMX577<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                                                                          | 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                                                                           |

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、ドローン  
連絡先 〒060-0001 札幌市中央区北1条西1丁目6番地さっぽろ創世スクエア24階 (株)ドーコン構造部 TEL011-801-1540

3. 事前の検証事項

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、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、-20℃の環境で連続稼働試験を行った。試験は各機器 2 回実施した。カタログ公称値と、24℃の室内で実施した試験結果と合わせ、図-1 に結果を示す。



小型ドローンは、カタログ値 23 分に対し、-20℃の環境でも大きな低下はなかった。ロボットカメラは、カタログ値 180 分に対し、1 回目の試験でカメラ本体のバッテリーが 84 分で停止。2 回目の試験では機器通信用の wi-fi バッテリーが 135 分で停止した。

4. 冬季実証試験について

4. 1 対象橋梁と試験時の条件について

2020 年に実証試験<sup>2)</sup>を行った橋梁で、2 月 1 日、3 日に各実証試験を実施した。架橋位置は北広島市島松であり、対象とする P-2 橋脚の桁下高は 20m である。2 月 1 日の最低気温は-5℃、3 日の最低気温は-9℃であった。平均風速は両日 1.0m/s 程度であった。

4. 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、上下線分離部の橋脚壁面を移動させた。試験概要を図-2 示す。

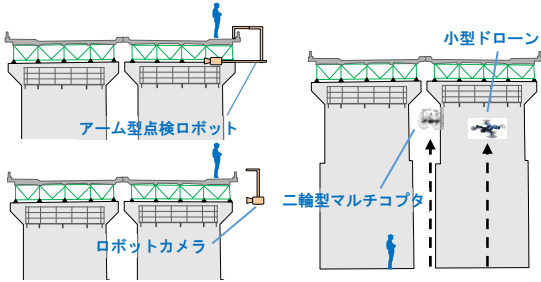


図-2 実証試験の概要

4. 3 実証試験結果

試験結果を表-2 に示す。アーム型点検ロボットは、歩道上の除雪が必要となり、その後路上で組立作業を行ったため、点検開始までに 100 分を要した。そのため、緊急点検での適用性は低いと判断された。

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。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。

ロボットカメラは可搬性がよく、操作も簡易で、-9℃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。

小型ドローンは、安価で操作性が高く、-9℃の環境でも 23 分の可動が可能であり、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。

5. まとめ

冬季実証試験の結果から、積雪寒冷地での緊急点検に着目した場合、小型ドローンの適用性が最も高いと判断された。今後、小型ドローンの暗所飛行や、路上からの操作可否など、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：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。

表-2 試験結果概要

| 技術名称      | アーム型点検ロボット     | 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              | ○10~20 分           | ◎5 分          |
| 操作性/運搬性   | ○/△ (部品数多い)    | ○/○ (バッグ 1, 機体 1) | △ (専門性高い) /△ (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   |
| 作業人数      | △2~3 人         | ○2 人              | △3 人               | ◎ (1 人でも可)    |
| 総合評価      | △              | ○                 | △                  | ◎             |

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)大山高輝，花島直彦，林 裕樹，西 弘明，佐藤 誠，岸 徳光：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，土木学会北海道支部令和 2 年度論文報告集第 77 号 F-07，2020