

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

Winter verification test of support 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

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)¹⁾ (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。このような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の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²⁾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には、橋梁点検車などを用いた作業が危険であることから、UAVなどの飛行体を用いた技術が有効であると判断される。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も有効であるものと判断される。なお、点検時の着目部位としては「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しなければならぬことから、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 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				
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)	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
可使用時間	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
可使用温度	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

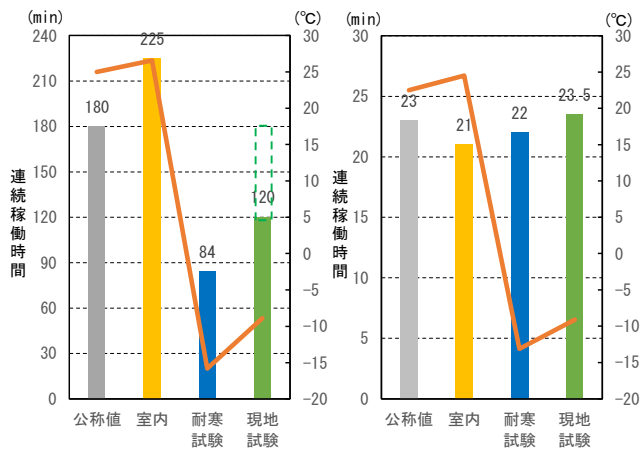
3. 冬季実証試験に向けた検証事項

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°C の環境で連続稼働試験を実施した。試験実施状況を図-1に示す。

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°C の環境で稼働試験を実施した。カタログ公称値と、 24°C の室内で実施した試験結果を図-2に示す。



図-1 耐寒試験実施状況



ロボットカメラ 小型ドローン
図-2 耐寒試験結果

ロボットカメラは、カタログ値180分に対し、耐寒試験(-17°C)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°C)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°C 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。

4. 冬季実証試験について

4.1 対象橋梁と試験時の気象条件

図-3には、実証試験を行った橋梁の概況を示している。建設年次は1985年、橋梁形式は4径間連続非合成鈑桁の国道橋を選定した。架橋位置は北海道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。

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°C 、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。

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、路上から機器を高欄上端に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間の空間が狭いことから、上下線分離部の橋脚壁面を移動させた。試験概要を図-4に示す。

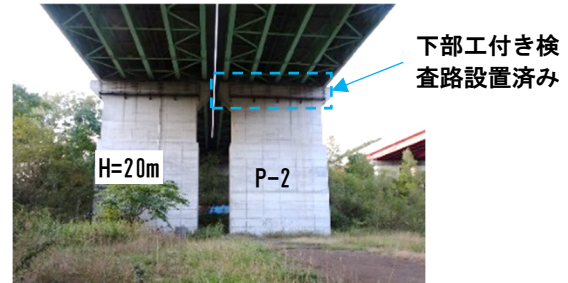


図-3 実証試験橋梁の概要

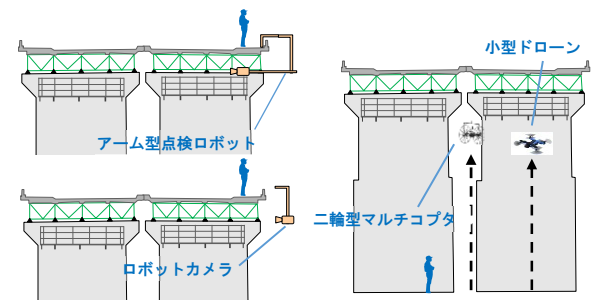


図-4 実証試験の概要

4.3 実証試験結果

各支援技術の試験結果を以下に示す。

(1) アーム型点検ロボット

試験状況を図-5に示す。路上の組立作業の前に、歩道上の除雪作業が必要となり、除雪後に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、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、操作機器により容易に写真撮影ができ、撮影した画像は支承の状況を十分に把握できることが確認されたため、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

支承確認写真

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。部分的な除雪は必要であるが、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。なお、2020年の秋季試験時に懸念された暗所の撮影は、追加照明により改善され、支承の状況を十分に把握できることが確認された。



設置状況



追加 LED 照明



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。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。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。



作業状況



飛行状況

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。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。また、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。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。



支承点検状況



支承確認写真

図-8 小型ドローン作業状況

5. まとめ

試験結果の総括を表-2に示す。

2020年に実施した秋季実証試験、今回の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: 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たものである。ご協力いただいた業務関係者各位に御礼を申し上げる次第である。

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

表-2 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	○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分程度
作業人数	△2~3人	○2人	△3人	◎ (1人でも可)
総合評価	△	○	△	◎