

橋梁点検支援技術「全方向衝突回避センサーを有する小型ドローン技術」の 各種実証試験について

Verification test of supporting technologies for inspection of bridges "compact drone technology with omnidirectional collision avoidance sensors"

株式会社ドーコン	○正会員	大山高輝 (Takateru Oyama)
室蘭工業大学大学院	非会員	花島直彦 (Naohiko hanajima)
釧路工業高等専門学校	非会員	林 裕樹 (Hiroki Hayashi)
国立研究開発法人土木研究所	正会員	西 弘明 (Hiroaki Nishi)
株式会社ドーコン	正会員	佐藤 誠 (Makoto Sato)
室蘭工業大学大学院	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ロボット技術などを用いた点検支援技術のうち、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は、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、実際の点検に活用され始めている。

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。著者らは、このような災害が積雪を伴う厳冬期に発生した場合を想定して、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・使用性を主眼に表-1に示す4技術について実証試験を実施し検討を行ってきた²⁾³⁾。その結果、「全方向衝突回避センサーを有する小型ドローン技術」(以下、小型ドローンと示す)の優位性が高いと判断された。

本論文では、小型ドローンの災害現場での運用に向け、使用性をさらに検証することを目的に実施した実証試験の結果について報告する。

2. 小型ドローンの運用に向けた留意点

小型ドローンの機体写真を図-1に示す。本ドローンは、機体の上下に設置された合計6つの魚眼レンズにより、飛行時に周囲の障害物を自動で検知して衝突を回避する機能を有している。そのため、飛行可能な条件として、魚眼レンズで周囲を確認することができる明るさが必要であり、夜間飛行はできない。なお、メーカーヒアリングによると、飛行可能な照度は100ルクス以上、安全な操縦が可能な照度は500ルクス以上が必要とのことであった。

これに対して、災害時の緊急点検が夜間に実施されることも想定されるため、追加照明などでどの程度まで飛

表-1 実橋の実証試験を行った点検支援技術の概要と試験結果

技術名称 技術番号	アーム型点検ロボット BR010018-V0221(参考)	ロボットカメラ BR010019-V0221	二輪型マルチコプタ BR010021-V0121	小型ドローン BR010009-V0121
概要図				
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)	目視操作が可能な高さ30m程度(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
使用価格	◎8.5万円/週	△28万円/週(基本料含む)	△都度見積(機体、操縦者)	◎10万円/週
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
操作性/ 運搬性	○/△(部品数多い) 塩ビ管×1,ケース×3	○/○ バック×1,機械ケース×1	△(専門性高い)/△ 大型ケース×2(大規模)	◎/◎ 小型ケース×1
堆雪影響	△高欄部除雪 広範囲	○高欄部除雪 狭域	△桁下へ機材搬入可であれば	◎影響なし
作業準備	×40分+除雪時間	◎5分+除雪時間	○10~20分	◎5分
低温時稼働時間	◎有線給電	○バッテリー(実証1~2時間)	◎有線給電	△バッテリー(20分)
作業人数	△2~3人	○2人	△3人	◎2人(1人も可)
総合評価	△	○	△	◎

行や撮影が可能か、夜間に実証試験を行うこととした。

また、豪雨災害時には、図-2 に示されるように河川の氾濫によって橋台の背面土が崩壊することで、地形条件によってはオペレーターが小型ドローン本体を目視で確認可能な場所へ進入できないことが想定される。そのような場合には、ドローン本体を目視せず、ドローンに搭載されたカメラ映像をタブレットなどで確認しながら操縦する「目視外飛行」を行う必要がある。なお、目視外飛行を行う際は通信距離が大きくなることも想定される。

これに対して、本検討では実橋で目視外飛行を行い、操作が可能な最大距離を確認する実証試験を行うこととした。

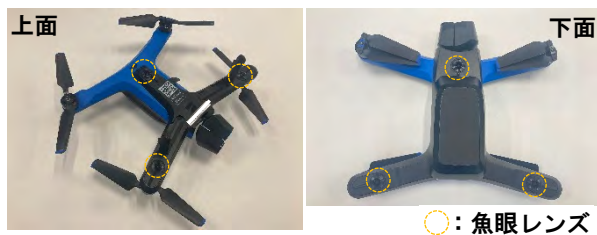


図-1 小型ドローン機体概要



図-2 豪雨災害により橋台背面土が流出した事例

3. 実証試験の概要

3. 1 対象橋梁の概要

実証試験を行った橋梁の概要を示す。建設年次は1985年、橋梁形式は4径間連続非合成鈹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る。試験の対象とするP-2橋脚は、下部工付検査路を有する壁式橋脚であり、桁下高は20mである。(図-3)

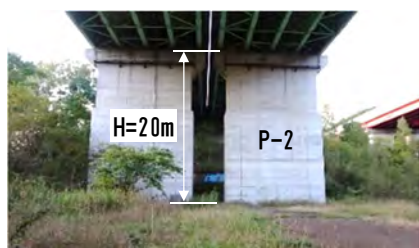


図-3 実証試験橋梁 (P-2) の概要

3. 2 夜間実証試験の概要

(1) 室内試験

照度による飛行可否を確認するため、事前に室内試験を実施した。調光可能な室内灯 (LEDシーリングライト: 4300ルーメン) の直下に小型ドローンと照度計を置き、照度を徐々に落としながら、機体制御システム(図-4)上で離陸可否を確認したところ、21ルクス以

上で飛行可能と判断された。試験状況を図-5に示す。

また、建設工事で使用するバルーン(全光型: 34,000ルーメン)による飛行可否を検討するため、ライト中心部から離れる方向へ1m毎に機体と照度計を移動させ、機体制御システム上で離陸可否を確認したところ、8m離れた箇所まで照度39ルクス以上の条件まで飛行が可能になることがわかった。試験状況を図-6に示す。



離陸可能 (Ready to Fly) 離陸不可 (Too Dark)



飛行中の画面 飛行中の画面

照度不足 (Too Dark) 照度低下 (Getting Dark)

図-4 機体制御システム画面



図-5 室内灯試験状況



図-6 バルーン試験状況

(2) 現場実証試験

現地試験は令和3年12月24日に実施した。

まず、日の入時刻16:00に飛行させ、日没後徐々に暗くなり、図-4に示す照度低下や照度不足の警告が出た際の照度を計測した。計測開始後、8ルクスで照度低下 (GettingDark) の警告が発生し、5ルクスで照度不足 (TooDark) の警告とともに、機体が強制着陸した。飛行試験状況を図-7に示す。

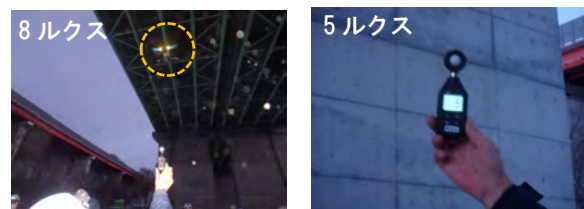


図-7 日没後の飛行試験状況

次に、暗転した16:30以降、人力で搬入可能な照明設備を配置し、ドローンの周囲の照度を上げ、飛行の可否を確認した。試験概況を図-8に示す。

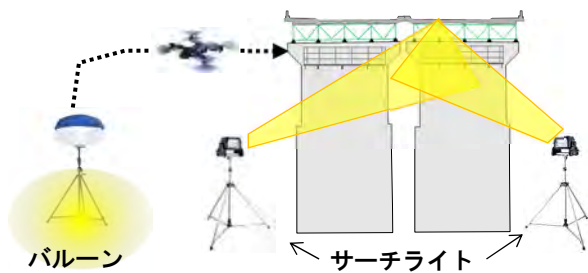


図-8 照明施設を配置した夜間飛行試験概況

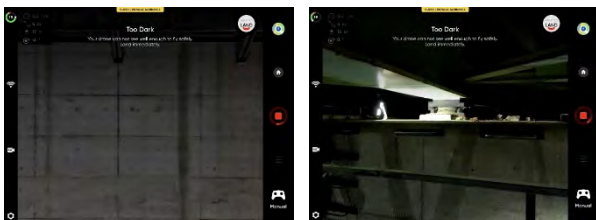
地上に設置したバルーンの照射範囲から小型ドローンを飛行させ、サーチライトにより小型ドローン周辺の照度を確保した状態で橋脚まで到達させた。橋脚に到達した後は、サーチライトの光が届く範囲まで小型ドローンを上昇させ、計測可能な高さを確認した。なお、サーチライトとして高輝度LEDライトを2機使用した。ライトの仕様は、光束 10,000 ルーメン、カタログ上 10m 先の照射物に対し 70 ルクス程度の照度を確保可能なものを採用した。

試験の結果、照明の効果により、地上から 17m の高さまで飛行することができた。また、検査路上から照明を追加することで、地上から 20m の沓座位置まで上昇することができた。試験状況を図-9 に示す。



バルーンの下で離陸

橋脚まで到達



17m の高さで照度不足 追加照明により沓座撮影

図-9 照明施設を配置した夜間飛行試験状況

3. 3 目視外飛行実証試験

(1) 目視外飛行条件での操作性の確認

小型ドローンを目視できない状態で操作し、桁下や橋脚周辺へ移動させて撮影を行う試験を実施した。

オペレーターは、対象の P-2 橋脚上の路面から小型ドローンを離陸させ、ドローンで撮影している画像をタブレットで確認しながら、機体を桁下へ移動させることができた。そのまま、橋脚の周囲を飛行させ、支承の写真撮影を試みた結果、小型ドローンに搭載されている衝突回避機能の効果もあり、機体を沓座周辺の狭隘部へ侵入させることに成功し、写真撮影も支障なく実施できた。

図-10 に目視外飛行の試験状況、図-11 に目視外飛行で撮影したドローン画像を示す。



図-10 目視外飛行試験状況 (○印は機体を示す)



図-11 目視外飛行で撮影したドローン画像

(2) 操作が可能な距離の確認

小型ドローンは、プロポと機体の通信に wi-fi を使用しており、橋梁の桁下など GPS が届かない場所でも安定した飛行が可能である。カタログ上、操作場所からの最大距離は 200m であるが、タブレット端末への伝送映像に乱れが生じる場合があり、メーカーヒアリングによると 100m 程度を目安とした作業を推奨しているとのことである。そのため、対象橋梁の橋長が約 190m であることから目標距離を 200m とし、起点側橋台側面から終点側橋台まで飛行させ、操作可能な最大距離を検証した。

実証試験の結果、伝送映像に乱れが生じることなく、約 200m の距離を問題なく操作することができた。図-12 に試験状況、図-13 に撮影したドローン画像を示す。



飛行状況

伝送映像の確認

図-12 試験状況 (○印は機体を示す)



図-13 撮影したドローン画像

4. まとめ

既往の検討^{2),3)}で、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。そのため、小型ドローンの災害現場での運用に向け、使用性をさらに検証することを目的として、緊急点検で想定される条件のうち、暗所での飛行や、目視外飛行の実証試験を行った。

本検討結果から得られた事項を整理すると、以下の通りである。すなわち、

- ・離陸に必要な照度は20ルクス以上であった。
- ・日没に合わせて飛行させた場合、8ルクスで照度低下と判定され、5ルクスで飛行不可となった。
- ・暗所では、バルーンやサーチライトなどの照明設備を利用することで、飛行が可能であることが確認できた。使用した機器の仕様では、地上から17m程度まで浮上させることができた。
- ・目視外飛行では、搭載されている衝突回避機能の効果もあり、狭隘な箇所でも操作が可能であった。

- ・操作可能な距離として、200m程度までは伝送映像が乱れることもなく、操作が可能であった。

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ます次第である。

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
- 3)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冬季実証試験について，土木学会北海道支部令和3年度論文報告集第78号F-07，2021