

橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステムの研究開発

(一財)首都高速道路技術センター	正会員	○青木	聡
日本電気(株)		西沢	俊広
(株)自律制御システム研究所		野波	健蔵
(国研)産業技術総合研究所		岩田	拓也

1. はじめに

平成 24 年 12 月に発生した笹子トンネル天井板落下事故を契機に、道路橋、道路トンネルに対しては 5 年に 1 回の点検が義務化された。橋梁の点検は、機械足場を用いて行うのが一般的であるが、山岳部や河川上の橋梁では足場設置が困難で、近接目視を行うための効率的な点検手法が求められている。

本稿では橋梁・トンネル等インフラ構造物を対象にした接近点検用の点検手法として、マルチローターヘリをプラットフォームとした点検用飛行ロボットシステムの開発状況について報告する。

2. 打音検査用飛行ロボットシステムの概要

インフラ構造物の維持管理にロボットが活用されるためには、現行の定期点検での計測精度、安全性が確保され、点検時間、必要人員が同等であることが求められている。平成 26 年度から国土交通省が主導して「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入」が推進され、ロボット技術の開発目標は“点検員による近接点検と同等レベルの精度”などが示された。一方、道路橋・道路トンネルに対する各種点検要領^{1),2)}が定められており、飛行ロボットシステムに必要な要件を開発目標と点検要領の観点から整理した。

橋梁・トンネル等インフラ構造物の損傷を判定するうえで、打音検査による清音・濁音が判別可能な要素技術が必要で、浮きを確認した場合はその範囲を特定することが重要となる。損傷位置の特定には、飛行ロボットによる安定した正確な打撃と、ノイズの少ない打音の収集が求められる。また、搭載する打検機等が不安定飛行の原因となることから、搭載装置の特性や搭載位置を考慮して、システムの設計・製作を行った。

製作した打検機搭載飛行ロボットは、搭載する打検機重量からペイロード（可搬重量）を 10.6kg として設計し、標準的なモーターを 12 個使用する機体とした。飛行ロボットに打撃ハンマー機構を搭載して構造物表面に押し当てながら打音を収集する(写真 1)。打検機を支持する取り付けアームは地上からの信号で可動する電動式を検討したが、全長、重量が大きくなり、ペイロードが大きくなるため固定式とした。電源は、点検作業を継続して行う必要があるためバッテリーではなく、長時間飛行が可能となるように有線による給電方式とした。また、給電用のケーブルが接続された状態で風が吹いても安定した姿勢が保持できるようケーブル長は最大 50m を目標とした。



写真 1 打音検査用飛行ロボット

飛行ロボットの自律飛行制御は、通常 GPS により行われるが、高架下やトンネル内など GPS 電波を受信できない環境下においては、機体に搭載するセンサのみで位置情報を高精度に求めることが困難であることがわかったため、レーザーによって取得した測位点群データ (LRF) から自己位置を特定するセンサ技術 (SRAM) を搭載した。しかし、トンネル内での飛行実験で、進行方向に特徴点が少なく点群データだけでは位置推定が困難なため、進行方向はトータルステーション (TS) を利用した自律制御、横方向および高さ方向は点群データ (LRF) による自律制御とした。そのほか、自然風やトンネル内の換気風、車両通過時の外乱風などの環境下で、従来の高所作業車による接近点検と同等な精度を有することが必要であり、風洞実験により強風時の飛行安定性を検証した。

キーワード コンクリート橋、点検、打音検査、飛行ロボット

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-10-11 (一財)首都高速道路技術センター TEL:03-3578-5751

3. 打音検査機（打検機）

飛行ロボットに搭載する打検機(図1)は、コンクリートの浮きや剥落の有無を点検するため、ハンマー質量は点検要領²⁾で規定される230gとした。飛行安定性の向上を図るため、打検機の重量を500g以下に抑えている。打検機には、清音と濁音を判別するための音声収集用マイクロフォンと、打音時のハンマー先端の振動波形から損傷を判別するため、振動センサを搭載している。飛行しながら打音検査を行うため、飛行ロボット特有なローター音を除去する必要があり、物理的にノイズを除去する円筒形の防音カバーを設置した。ただし、すべてのノイズを除去することは困難であり、構造物の表面状態によって音の周波数や振動数が異なると思われるため、損傷の有無を判定するアルゴリズムの確立に向けた分析を進めている。

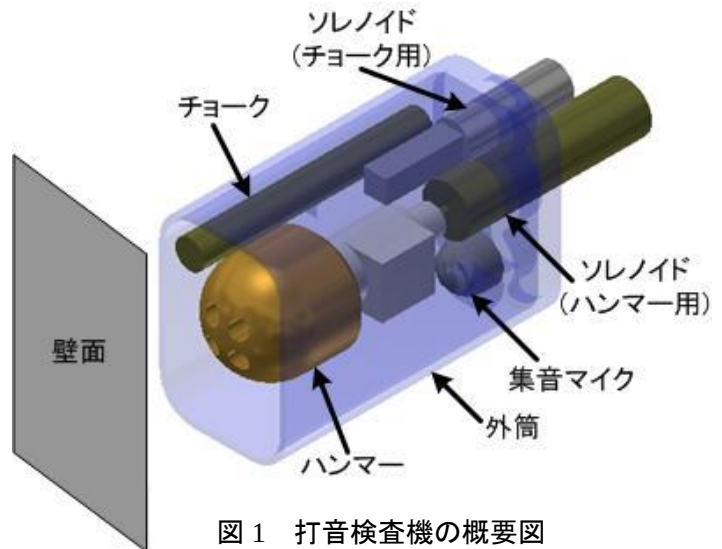


図1 打音検査機の概要図

塩害地域の下部工では、かぶり厚70mmで設計されているため、周波数解析と機械学習を活用しながら、かぶり厚が深い損傷でも判定が可能となる要素技術について検討している。その他、濁音と判定された場合は、ソレノイド機構によりチョークを前後駆動し壁面に押し当てて濁音箇所をマーキングすることを検討している。

4. 現場検証による課題点整理

現場適用性の検証作業は、平成26年度から開始し、「次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会(国交省総合政策局)」による技術評価を受けながら開発を進めてきた。平成27年度の現場検証状況を写真2に示す。本飛行ロボットは、12個のローターで飛行しているため、打音時のタタキ音が明確に確認できず、ローター音を低減・除去することが必要であることがわかってきた。飛行中の打音検査において、打撃ハンマーが確実に構造物表面を打音しているか確認する必要があり、打検機の押し当て状況が把握できるセンサの設置も必要であることがわかった。また、飛行性能の観点からは、床版下面など構造物に近づくことで飛行ロボット周辺に乱気流が発生するため、不安定飛行になりやすいことが確認できた。



写真2 現場での検証状況

5. まとめ

本研究は、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム(内閣府))の採択を受け、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託業務により、日本電気(株)、(株)自律制御システム研究所、(国研)産業技術総合研究所、(一財)首都高速道路技術センターの4社共同受託により研究開発を進めている。

本システムに求められる要件から飛行ロボットシステムのプロトタイプを製作し、実橋等で性能の検証を行った結果、解決すべき課題が明らかになった。今後は現場での試行を繰り返し行い、改良型の飛行ロボットを製作する予定である。

参考文献

- 1) 橋梁、道路トンネル定期点検要領 平成26年6月 国土交通省道路局国道・防災課
- 2) 橋梁における第三者被害予防措置要領(案) 平成16年3月 国土交通省道路局国道・防災課