

コンクリート片剥落危険箇所の UAV 検査手法の開発

鉄道総合技術研究所 正会員 上半 文昭

1. はじめに

UAV（無人航空機）は、高所に位置するインフラ構造物の変状撮影等に有効であるが、鉄道橋に用いる場合には線路への侵入・墜落による事故を防ぐ工夫が不可欠である。そこで、鉄道総研では、桁下部の調査に特化することで橋りょう上部への侵入リスクを低減した「付着走行用 UAV」を開発し¹⁾、コンクリート橋の桁下面、床版裏、支承部などの変状調査を行うとともに、コンクリートの物性調査への応用を検討してきた²⁾。本講演概要では、コンクリート片剥落危険箇所の検査への応用を目的として開発した、付着走行 UAV による鉄道橋の下面コンクリートの打音検査手法並びにかぶり厚さ測定手法を紹介する。

2. 構造物検査用 UAV と検査手法の開発

(1) 付着走行用 UAV : 図 1 に「付着走行用 UAV」を示す¹⁾。同装置は、UAV の上昇力で下面に付着し、機体上部に搭載した電動の無限軌道で走行しながら変状箇所の撮影を行う。サイズは縦 800×横 800mm×高さ 350mm である。気流の乱れや GPS 信号の途絶が生じやすい桁下部においても安定移動でき、操縦ミスで UAV が橋りょう上部に侵入するリスクを低減することができる。

(2) 小型 UAV による打音検査手法 : 図 2 に付着走行用 UAV を小型化(縦 400×横 425mm×高さ 175mm)して有線給電化するとともに、打音検査の機能を付加した小型 UAV²⁾を示す。本装置も下面に付着し、電動タイヤで走行移動する。有線給電により頻繁なバッテリー交換が不要で連続して検査を実施でき、橋りょう上部への UAV の侵入を物理的に防止することもできる。簡易な打音検査装置(図 3)を搭載し、付着走行しながら打音測定を行うことができる。打音データは無線送信され、地上ではほぼリアルタイムでモニタリングすることができる。

本装置による打音検査の課題は、UAV が発する音響ノイズの影響である。打音検査装置は 4 枚の小径ロータで囲まれ、それらが発する高周波な音響ノイズの影響を避けられない。一般にノイズ対策として、ハードウェアの防音性向上、音響処理フィルタの工夫、AI による評価の導入などが考えられるが、より簡易な手法として、UAV の動作状況毎の音響周波数特性を調査することでノイズを除去する手法を提案した。詳細は、次章で実測データに基づき説明する。

(3) かぶり厚さ測定手法 : 鉄筋コンクリートのかぶり厚さの不足は、コンクリート片の剥落や鉄筋腐食の原因となる。かぶり厚さの調査は、既設コンクリート橋の変状危険箇所の把握に役立つが、高所の調査には足場架設や高所作業車が必要であった。そこで、付着走行用 UAV に図 4 のように電磁誘導法³⁾プローブを搭載し、下面コンクリートのかぶり厚さ測定装置を構築した。電磁誘導法は、プローブ内の励磁コイルが発生させた磁場の変化から周辺に存在する磁性体(鉄筋)の位置を検出する手法である。付着走行用 UAV は、機体上部と下面との離隔を一定距離に保って移動できるので、弾性支持されたプローブの上面を常に構造物下面に接触させることができる。

提案手法では、図 5 に示すようにプローブを搭載した付着走行用 UAV でコンクリート下面を走行することで、プローブが通過した測線上の鉄筋のかぶり厚さを検出する。一般に鉄筋コンクリートの表面付近の配筋は、軸方向鉄筋、配力鉄筋等が密に配置されている。調査対象とする鉄筋以外の鉄筋がプローブ近傍に存在すると、かぶり厚さの測定誤差が大きくなるため、人が測定する場合は他の鉄筋の影響を受けにくい位置を探して調査する。提案手法では、初回の走査で良好な測定結果が得られない場合には、設計図書を参考に、調査対象鉄筋に直交する鉄筋間隔の 1/2 程度、UAV の走行位置を側方にずらして再測定するなどの試行により適切な測線を検出する。



図 1 付着走行用 UAV

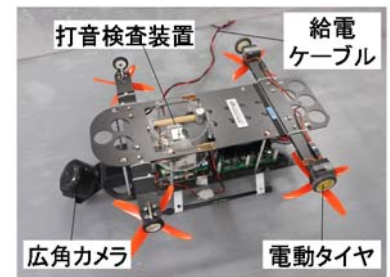


図 2 小型 UAV



図 3 打音検査装置



図 4 対象橋りょう

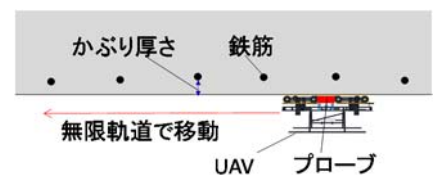


図 5 UAV によるかぶり厚さ測定

キーワード： UAV, 打音検査, かぶり厚さ, 電磁誘導法, 遠隔計測, コンクリート橋

連絡先： 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部(構造力学) E-mail: uehan.fumiaki.41@rtri.or.jp

3. 実橋りょう桁下面を対象とした検証試験

(1) **対象橋りょう**：実橋梁の桁下面を対象として提案手法の検証試験を実施した。

図6に対象橋りょうを示す。調査対象の桁は、経年した桁長9.8m、桁高700mmのRCホロー桁である。



図6 測定対象橋りょう（中央支間）

(2) **打音検査**：桁下面の打音検査の検証試験を実施した（図7）。対象面は健全または浮きコンクリート剥落済みの箇所が多く、事前に足場を用いて熟練者による打音検査を行ったが明瞭な打音変化箇所は検出できなかった。試験は、音響ノイズ下での打音成分の抽出に着目して実施することとし、打音検査装置の防音対策や音響データのフィルタ処理はあえて行わずに打音データを測定、処理した。音響信号のサンプリング周波数は48kHzとした。

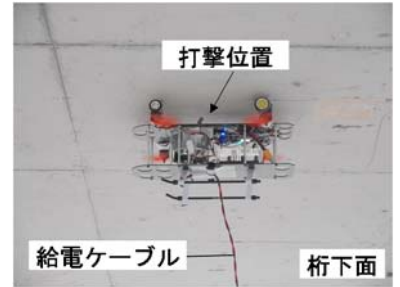


図7 桁下面の打音検査状況

図8に下面に付着して打音を測定した状態から着陸・停止に至るまでの約3.5秒間の音響信号データを示す。同図に UAV の動作状態及び各動作時の音響信号のパワースペクトルを合わせて示す。飛行・付着のみ行っている際のスペクトルから UAV 発生音の成分（1kHz 及び 2kHz 周辺）を、地上で打撃装置を空打ちした際のスペクトルから打撃装置稼働音の成分（300Hz 周辺）の周波数とパワーを特定できる。このように動作状況毎の分析で UAV や打撃装置に起因するノイズ成分を特定でき、ノイズに埋もれていた打音成分（3.7kHz）を抽出できた。なお、飛行音と打音の周波数が近接する場合は簡易な分析が難しいが、付着時の飛行音の周波数はロータ回転数の制御により可変であり、打音成分と異なる周波数帯に変更できる。

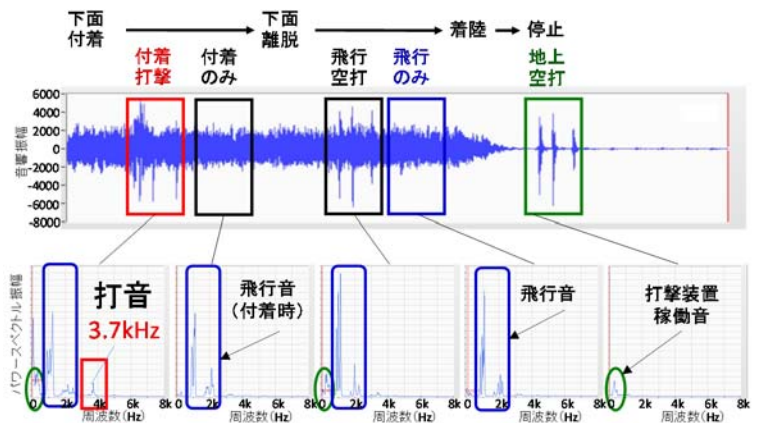


図8 測定対象橋りょう（中央支間）

対象橋りょう下面は、検査対象鉄筋に直交する鉄筋の間隔が密で、スペーサなどの金属埋設物も存在したため、熟練者が手動で同一測線上の検査を試みてもわずかな位置のずれで結果にばらつきが生じる環境であった。そのため、UAV測定と熟練者測定の結果の比較にやや苦労したが、ほぼ同一測線上を走査できれば、図10に示すようにかぶり厚さの分布傾向を捉えられ、熟練者測定との誤差の標準偏差（3.6mm）も熟練者による複数の手動測定データ間の誤差の標準偏差（3.8mm）と同程度であった。



図9 かぶり厚さの測定状況

4. おわりに

UAV を用いたコンクリート橋下面の打音検査手法並びにかぶり厚さ測定手法を提案し、限られた条件下ではあるものの、実橋を対象とした試験でその妥当性を確認できた。引き続き計測システムの改良に取り組んで早期の実用化を図る計画である。なお、本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

文献：1) 上半文昭：鉄道橋検査を目的とした遠隔非接触測定技術の開発，鉄道総研報告，Vol.31，No.4，pp.53-58，2017。

2) 上半文昭：UAV と LDV を用いた構造部材の弾性波速度推定手法の検討，土木学会第72回年次学術講演会，CS14，pp.31-32，2017。

3) 榊田佳寛他：電磁波レーダおよび電磁誘導による鉄筋探査の日本非破壊検査協会規格の制定，コンクリート工学，Vol.49，No.4，pp.15-21，2011。

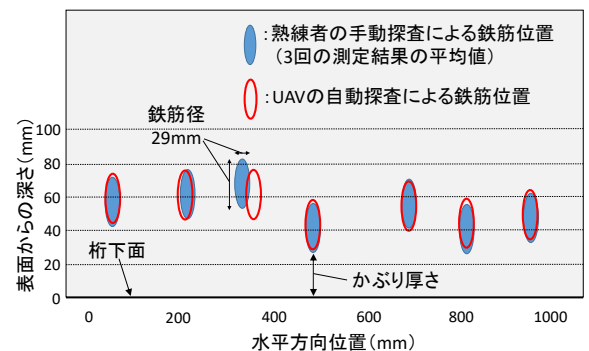


図10 かぶり厚さの測定結果