

## UAV と LDV を用いた構造部材の弾性波速度推定手法の検討

鉄道総合技術研究所 正会員 上半 文昭

### 1. はじめに

鉄道総研では、橋りょう等構造物や岩盤斜面の検査の効率化・安全化を目的として、LDV に現場計測向けの改良を施した非接触振動測定システム「U ドップラー」や外観の変状や形状データを取得する「構造物検査用 UAV」, ならびにそれらを応用した検査・診断技術の開発に取り組んできた<sup>1)</sup>。一方、構造物の損傷・劣化による振動特性変化ならびに構造物の健全度は、構造物の構成材料の剛性や強度と密接な関係にある。それらの材料物性を遠隔非接触測定で推定することができれば健全度の評価精度を高められるが、現状は遠隔非接触での推定には至っていない。そこで本研究では、材料の剛性や強度の評価指標となりうる弾性波速度<sup>2)</sup>の遠隔非接触計測による推定法を提案し、実コンクリート橋りょうの桁下面を対象とした現地試験を実施してその妥当性を検証した。

### 2. 遠隔非接触測定による弾性波速度推定手法

#### (1) 弾性波速度推定手法

提案手法は、UAV で加振して発生させた衝撃弾性波を遠隔位置から LDV で測定することで測定対象を伝播する弾性波の速度を求めるものである。図 1 に提案する弾性波速度推定手法の概要を示す。まず、UAV で構造物下面を加振して衝撃弾性波を発生させる。次に、加振点を含めて一直線上に位置する 2 点間距離  $L$  の 2 点の振動を、2 台の LDV で非接触同期測定する。得られた振動データから、2 つの測定点への弾性波の到達時間の差を求め、この到達時間差で 2 点間距離  $L$  を除することにより、弾性波速度を推定する。

#### (2) 長距離型 U ドップラー

図 2 に、提案手法で用いる LDV として開発する「スキャン機能付き長距離型 U ドップラー」を示す。本装置は、高出力の不可視光 LDV に自己振動の補正機能を付加した長距離型 U ドップラーを、水平・鉛直 2 方向に制御できる回転台に搭載した装置である。回転台は、測量機器レベルの回転制御性能（測角精度  $0.003^\circ$ 、回転繰り返し精度  $0.008^\circ$ ）を有しており、LDV の振動測定点の位置を測量する機能も有している。本装置を用いれば、構造物上の測定点に反射材等のターゲットを設けることなく、微小な振動を高速サンプリングで計測するとともに、測定点の三次元座標を取得することができる。

#### (3) 構造物表面変状検査装置

図 3 に、構造物加振用の UAV である「構造物表面変状検査装置」を示す。本装置は、有線給電化した小型 UAV であり、機体上部に取り付けた電動タイヤで橋りょうの桁下面や床版裏に付着した状態で走行移動できるよう工夫したものである。打音検査装置を搭載して付着走行しながら打音検査を行うこともできるが、提案手法では打撃部による加振機能のみを使用する。有線給電のため、頻繁なバッテリー交換を必要とせず、連続して長時間の検査を実施することができる。

### 3. 実橋りょう桁下面の調査

#### (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 4 に対象橋りょうを示す。調査対象の桁は、経年した桁高

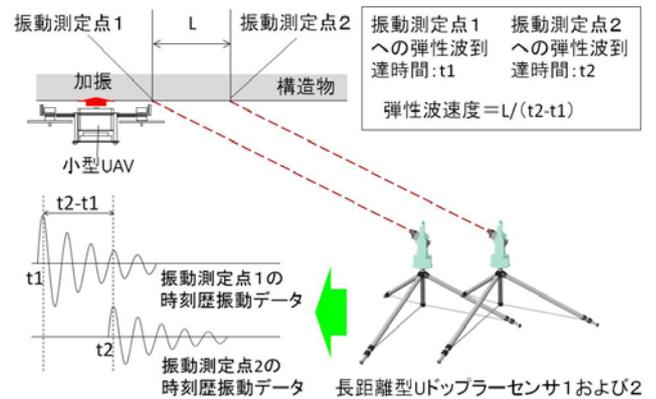


図 1 遠隔非接触測定による弾性波速度推定手法



図 2 スキャン機能付き長距離型 U ドップラー

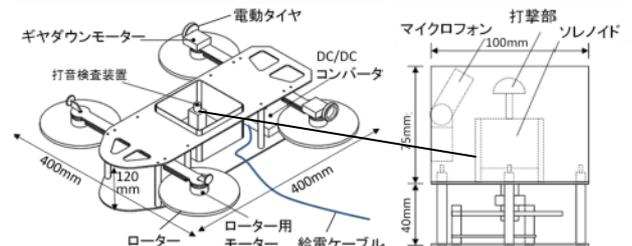


図 3 構造物表面変状検査装置 (小型 UAV)



図 4 対象橋りょう

キーワード: UAV, LDV, 弾性波速度, 非接触測定, U ドップラー

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

700mm のホロー桁であり、弾性波の伝播経路が複雑になる可能性があったので、事前に赤外線調査および簡易な打音検査を実施して内部変状がみられない場所を測定箇所として選定するとともに、同一箇所を人力のハンマー加振で調査した結果と比較することで、提案手法の妥当性を検証することとした。

(2) 試験方法

図5に測定状況ならびに加振状況を示す。UAV または人力加振で桁下面に発生させた衝撃弾性波を地上に設置した長距離型 U ドップラー(速度レンジ 2mm/sec/V, サンプリング周波数 100kHz)で測定した。実用時には、測定点の位置座標はスキャン機能付き長距離型 U ドップラーで取得するが、ここでは、UAV 加振と LDV 測定による弾性波速度推定の可否および精度の検証を主たる目的として、桁下面にあらかじめ非接触振動測定点を記入して(図6)測定を実施した。センサ2の測定点をセンサ1の測定点から順次 10cm ずつ遠ざけて UAV, 人力加振ともに計 10 ケースの測定を実施した。

(3) 測定結果および弾性波速度の推定結果

図7に提案手法による衝撃弾性波の測定波形例を示す。同図に人力加振による結果も合わせて示す。構造物表面変状検査装置による衝撃加振で発生した弾性波は、人力加振と比較してその振幅が小さく、ばらつきもみられるが、UAV 加振で発生した微小な弾性波を長距離型 U ドップラーで非接触かつノンターゲットで計測できることが確認できた。また、2点間距離 10cm~100cm の測定点の2点同期計測で得られた走時から2点間の到達時間差を検出できることが確認できた。

図8に2点間の距離と弾性波到達時間差の関係を示す。2点間距離と弾性波の到達時間差は正比例関係にあり、その傾きから推定した実橋りよの桁下面コンクリートの弾性波速度は 1.85km/sec であった。この値は、比較のため実施した足場架設での人力ハンマー加振による測定結果に対して誤差が 2.2%と小さく、限られた条件下ではあるが、提案手法の妥当性が確認できたものと考ええる。

4. おわりに

遠隔位置からの非接触測定で、実構造物を構成するコンクリート部材の材料物性を推定するための基礎的な検討を実施し、限られた条件下ではあるものの、その妥当性を確認することができた。今後は、本手法の実用化に向けて測定手法の改良に取り組むとともに、材料の弾性係数や圧縮強度の推定による実構造の健全度評価用数値解析モデルの高精度化などに応用したい。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：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) 岩野他：衝撃弾性波法と微破壊試験の併用による構造体コンクリートの圧縮強度推定方法の提案，土木学会論文集 E2，Vol.69-,No.2，pp.138-153，2013。



図5 測定状況および加振状況

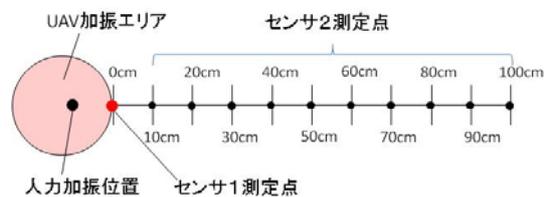


図6 加振位置および測定点

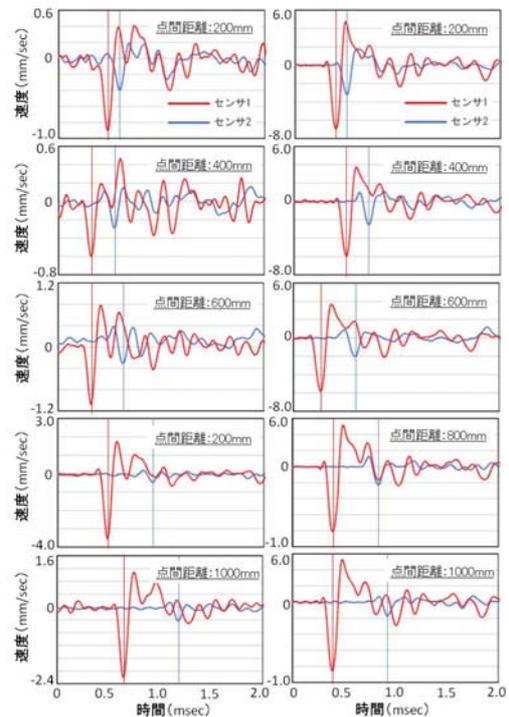


図7 弾性波の非接触測定結果

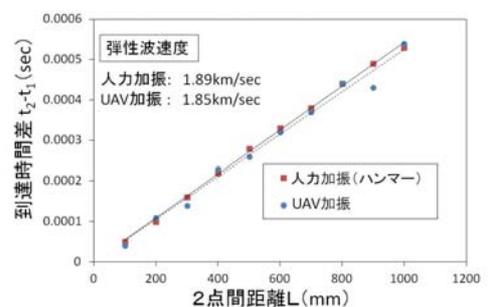


図8 2点間距離と到達時間差の関係