

構造物診断用非接触振動測定システム“U ドップラー”の開発

鉄道総合技術研究所 正会員 上半文昭

1. はじめに

鉄道分野では、構造物の経年劣化や地震被害を振動測定で検出する試みが古くから行われており、既に実用化されている。そのような検査・診断を目的とした振動測定作業を簡単かつ安全に実施できるようにするために、構造物振動を高精度に長距離非接触測定できるシステム“U ドップラー”を開発した。本稿では、同システムの概要を説明するとともに、適用対象の一例として、鉄道橋りょうの桁たわみ測定への適用性を検証した。

2. 構造物診断用非接触振動測定システム“U ドップラー”

(1) **U ドップラーとは**：U ドップラー(図 1)は、非接触測定センサであるレーザドップラー速度計(LDV)に、現場での構造物測定を精度良くかつ効率的に実施するための工夫を施し、さらに、データの収録および解析機能も一体化した「構造物診断用の非接触振動測定システム」である。主な仕様を表 1 に示す。構造物の振動測定にU ドップラーを適用すれば、センサ類の取付け・撤去作業量、および、高所等危険箇所での作業量が大幅に軽減される。現在は、健全度や地震損傷度の評価を目的とした高架橋の固有振動数の推定、および、橋梁の桁たわみ測定への適用を推奨しているが、今後、高架橋部材、橋脚、建築物、岩盤や浮石など、様々な対象物の検査・診断への適用を検討していく計画である(図 2)。

(2) **U ドップラーの特徴**：開発にあたり、シンプルな装置構成、取り扱いの容易な安全規格クラス2レーザの使用、バッテリーによる駆動(連続約8時間)、離れた場所から構造物上の測定点に正確にレーザを照射するためのスコープの採用など、現場測定用の工夫を施した。特筆すべきは、内蔵センサによる補正技術²⁾である(図 3)。U ドップラー本体の揺れの影響の補正技術により、ノイズ振動の大きい場所での測定や、振幅の非常に小さな常時微動(平時の極微小な地盤震動)による構造物応答の測定を行うことができる。また、U ドップラー本体の傾きの影響の補正技術により、構造物の振動方向とレーザ照射方向が一致しない場合の記録データの振幅の補正も自動的に行われる。

(3) **データの収録・解析**：現場でのデータの収録、確認と分析、および、報告書作成時のデータ整理などを簡単に行える専用のデータ収録・解析ソフト(図 4)を開発し、専用のデータレコーダにインストールした。データレコーダは 8ch 仕様で、U ドップラーセンサを2台(任意信号用の空き ch を利用すれば 3 台)接続して、無補正 LDV による検出速度、内蔵センサによる補正用信号、センサ本体の揺れや傾きの影響を補正した後の速度(または変位)、および、各データのフーリエスペクトルをリアルタイムで確認しながらデータを収録できる。解析ソフトを用いれば、収録データにスペクトル解析、微積分、フィルタ処理、基線補正などの演算を施すことができ、測定現地で構造物の固有振動数やたわみ量などを確認できる。



図 1 U ドップラー I

表 1 U ドップラー I センサ仕様

	仕 様
サイズ・重量	113(W)×141(H)×351(D) mm, 約 5.5 kg
電源・消費電力	バッテリー(DC16 V)・約 28 VA(約 8 時間駆動)
レーザ光量	安全規格クラス 2 (He-Ne ガスレーザ)
測定速度範囲	0.2 μm/s ~ 100 mm/s (2 レンジ切り替え)
応答周波数範囲	DC ~ 600 Hz
測定距離	約 1.0 ~ 30 m 超(反射シール使用時)

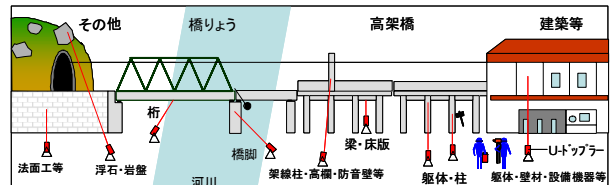
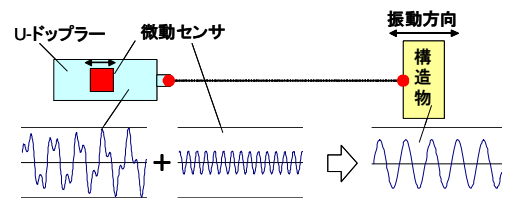
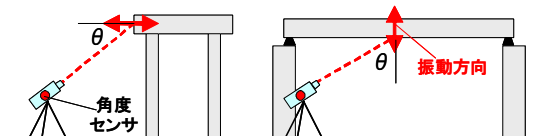


図 2 U ドップラーの適用検討対象



(a) センサの揺れの影響の補正



(b) レーザと構造物の振動方向がなす角度の影響の補正

図 3 内蔵センサによる補正技術

キーワード U ドップラー, 非接触測定, 橋りょう, たわみ, 常時微動

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

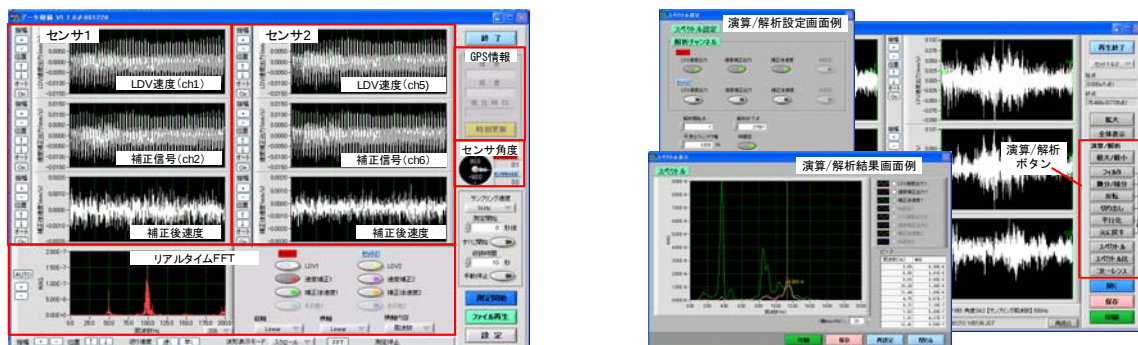


図4 データ収録ソフト（左）およびデータ解析ソフト（右）の表示画面構成

3. 桁たわみ測定への適用事例

(1) 鉄道橋りょうの桁たわみ測定：列車の走行性や乗り心地、桁の健全度の調査を目的として、列車通過時の鉄道橋りょうの橋桁のたわみ測定が実施される。従来、桁のたわみは桁に取り付けたピアノ線を介して地上に設置した変位計で測定してきたが、桁下が河川や交通量の多い道路などの場合、実施が困難であった。Uドップラーの適用により、測定作業を効率化でき、また、これまで実施が難しかった場所での測定も実施しやすくなると考えられる。

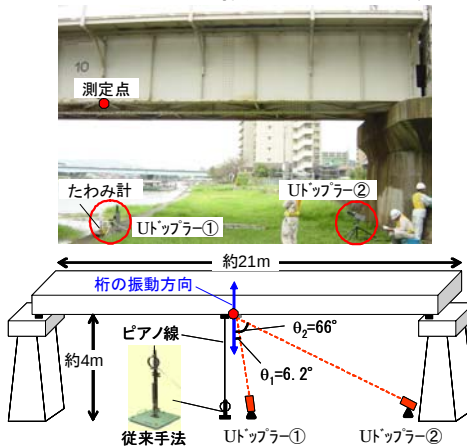


図5 測定状況（上）とセンサ配置（下）

(2) 測定方法：スパン約21m、桁下高さ約4mの在来線の鋼上路桁を対象として列車通過時の桁たわみを測定した(図5)。Uドップラーセンサを①測定点直下付近と②橋脚付近の2箇所に設置した。比較のため、ピアノ線とリング式たわみ計による従来手法も同時に実施した。Uドップラーは測定点にレーザ光を照射してその反射光を受信することにより測定点の速度を検出する装置である。構造物表面での乱反射でレーザの戻り光が十分でない場合は、図6のように再帰性反射シールを測定点に貼付して測定する。サンプリング周波数は200Hz、ハイパスフィルタoffの条件で測定し、Uドップラーが記録した速度波形を簡易な基線補正を行った上で積分して変位波形を求めた。³⁾

(3) 結果と考察：図7に列車(普通, 10両編成, 時速94km)通過時の従来手法および2台のUドップラー(反射シール使用)によるたわみの測定結果を示す。波形の形状と最大たわみは実用範囲内で十分に一致した。この結果から、橋脚付近に設置したUドップラーでスパン中央のたわみを測定できることがわかった。

図8に列車(新快速, 8両編成, 時速99km)通過時の従来手法およびUドップラー①の反射シール無しでの測定結果を示す。測定点表面は白色系の塗装面である。若干、波形の形状が異なるが、最大たわみはほぼ一致した。比較的、測定距離が短い場合、測定角度が小さい場合、測定対象の表面状態が再帰反射に適している場合は、反射シール無しでも非接触測定できる。ただし、戻り光が少ない状態で測定を実施すると、ノイズによる速度波形の基線の乱れなどから測定精度が低下する場合がありますので、極力、反射シールなどで測定点の再帰反射性を向上して測定を実施している。

4. おわりに

構造物診断への適用を目的として開発した非接触振動測定装置“Uドップラー”の概要を説明し、適用対象の一例として鉄道橋りょうの桁たわみ測定への適用性を示した。今後は、鉄道事業者などへの技術普及、適用対象構造物の拡大と診断ソフトウェアの開発、反射シール貼付が困難な測定箇所の反射性向上装置の開発などに取り組む予定である。

謝辞: 開発・測定作業にご協力頂いた JR 西日本, グラフテック(株), (株)BMC, 物探サービス(株), 鉄道総研の各位に深甚の謝意を表する。

参考文献: 1) 上半文昭: 構造物の振動を非接触で測る, RRR, Vol.64, No.4, pp.22-25, 2007, 2) 上半文昭, 目黒公郎: 鉄道構造物の振動診断を目的とした非接触微動測定法の開発, 地震工学論文集, Vol.27 (CD-ROM), 2003, 3) 上半文昭: 鉄道橋梁の桁たわみの非接触測定法に関する基礎検討, 土木学会第61回年次学術講演会概要集(CD-ROM), 2006。



図6 反射シール貼付状況例

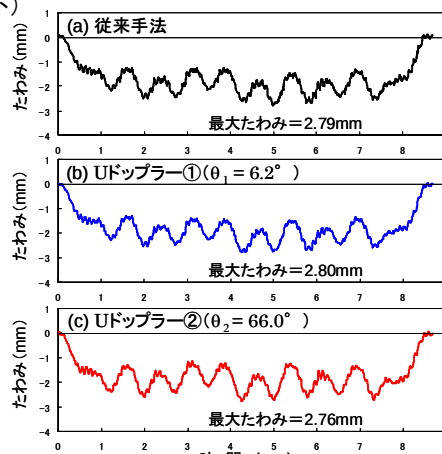


図7 従来手法との比較 (Uドップラー①, ②)

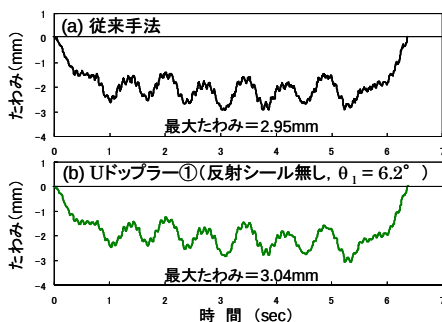


図8 従来手法との比較 (反射シール無し)