

# 鉄道システムを支える鉄道橋検査への光技術の応用

(公財) 鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部  
上半文昭

## 1. はじめに

鉄道を支える構造物の検査では、古くから振動測定による手法が用いられてきた。鉄道橋では、重量・速度・両数が把握できる走行列車による活荷重が作用することから、列車通過時の動的なたわみ量が検査の指標として用いられている。また、重錘打撃による衝撃振動や常備微動（平時のごく微小な地盤の揺れ）を利用して得られる固有振動数から構造物の剛性低下を検出する技術が研究されてきた。それらの手法によって、鉄道橋の桁、橋脚、付帯構造物の定量的な検査が実現されている。

振動測定による検査の実施にあたっては、高所作業や線路近接作業を伴うセンサ類の設置が不可欠であったため、作業効率や安全面の課題があった。筆者はこの課題を解決するために、光技術を応用して、地上や河岸などの遠隔位置から簡単・安全に作業できる非接触振動測定技術の開発に取り組んできた。ここでは、非接触振動測定による鉄道橋検査技術に関するこれまでの取り組み事例として、レーザードップラー速度計 (Laser Doppler Velocimeter : LDV) を用いた屋外環境での構造物振動測定技術の開発事例と、ビデオカメラを用いた動的画像計測による多点同期振動測定手法の鉄道橋検査への適用検討事例、ならびにそれらを用いた長大鉄道橋の測定事例を紹介する。

## 2. LDV を用いた非接触振動測定技術

### 2-1 屋外環境での構造物振動測定を目的とした LDV の開発

筆者は、構造物振動を非接触で測定する装置として LDV に着目し、同センサに屋外での大型構造物測定に適用するための改良を加えて構造物診断用の非接触振動測定システム(図 1)を開発した。屋外環境での風や地盤振動などによる LDV センサ自身の揺れに起因する誤差の補正技術が同システムの主たる特長であるため、同システムを外乱の影響を受けない LDV という意味で「U ドップラー (Undisturbed laser DOPPLER velocimeter)」<sup>1)</sup>と名付けた。U ドップラーは、現場向け測定装置として 2007 年に実用化され、その後も改良が施され、図 2 に示す様々な鉄道構造物の検査・調査に活用されている。また、より高度な検査手法の実現に向けて、後述する長距離型のシステムも開発した。

LDV は、レーザ光を運動する物体に照射して物体表面からの反射光を受光し、ドップラー効果による反射光と照射光の周波数の差であるドップラー周波数  $f_D$  を検出することで、運動する物体の速度  $v$  を算出する。照射レーザ光の波長を  $\lambda_0$ 、入射光と物体の移動方向とがなす角度を  $\theta$  とすると、 $f_D$  と速度  $v$  は式(1)の関係にある。

$$f_D \approx 2v \cdot \cos \theta / \lambda_0 \quad (1)$$

LDV はセンサと測定対象間の相対速度を検出するので、測定記録には LDV 本体の振動速度成分も含まれる。屋外で常時微動などの微小な構造物振動を測定する場合には、LDV と三脚からなる系の固有振動や地盤に入力される各種ノイズ振動および風等の外乱の影響を無視することができない。そこで、U ドップラーでは、LDV の光学センサとは別途、U ドップラーセンサ筐体内に測定対象の振動周