鉄道橋梁の桁たわみの非接触測定法に関する基礎検討

鉄道総合技術研究所 正会員 上半文昭

1. はじめに

これまで、鉄道構造物の検査・診断技術への適用を目的として、レーザドップラ速度計(以下,LDV)を利用した構造物 振動の非接触測定技術の開発)に取り組んできた.LDVはレーザを照射して反射光を受光することにより、測定対象物の速 度をワイドレンジかつ高分解能で長距離非接触測定できる装置である.高架橋や橋梁などの振動測定作業にLDVを適用すれ ば、センサ類の設置・撤去の手間と高所等危険箇所での作業が軽減され、測定作業の効率性と安全性を高められる.本報で は、列車の走行性や乗り心地、および、桁の健全度等の検査を目的とした、鉄道橋梁の桁のたわみ測定に、LDVを用いた非 接触測定を適用するための基礎的な検討を実施した.LDVの速度記録の積分による桁たわみの測定精度の確認と、LDV使 用上の問題点の把握を目的として、実橋梁の現地測定を実施した.

2. 橋桁のたわみの測定方法

鉄道橋梁の橋桁のスパン中央のたわみは,桁のフランジ部に取り付けたピアノ線を地上まで引っ張り,その下端にたわみ計を取り付けて 測定してきた.同手法は,桁直下が河川や道路の場合,たわみ計の設 置が難しいこと,橋桁へのピアノ線の設置・撤去作業が必要なことな どから,光学式たわみ計²⁰やレーザ距離計を用いた簡易測定器³³等の 非接触測定機器の採用が検討されてきた.高サンプリングかつ高分解 能な測定が可能な LDV を用いれば,動的な応答を含む列車走行時の 桁たわみをより高精度に測定できるものと考えられる.

3. 測定内容および結果

(1) 測定対象および方法:現地測定は、スパン 35m,桁下高さ 16m の在来鉄道の鋼下路桁を対象として実施した(図 1).別途実施の従 来手法の測定結果と比較するため、スパン中央から約5m離れた位置 のフランジ部を測定箇所として反射シールを貼付し、望遠レンズ付の LDV(図2,Graphtec AT0023 改-AT3600)を用いてサンプリング 周波数 200Hz で列車通過時の鉛直方向の速度を記録した.従来手法 によるたわみ測定結果は、LDV による測定の前日同時間帯(気象条 件もほぼ同一)に実施したものを用い、車両形式および両数が等しい 特急列車走行時のデータを抽出して比較した.なお、本測定条件下で は桁振動の振幅が十分に大きく、一連の研究で用いた LDV センサ本 体に取り付けた微動センサによる補正 りは必要がなかった.

(2) 従来手法による桁たわみ: 図3に従来手法による,4列車(6両編成,車速65km/h前後,13~15時の間に走行)による桁たわみ波形および平均値を示す.桁上の車両重量によると見られる半周期8~ 9秒程度((桁のスパン長+列車長)/車速)で振幅の大きな成分に 個々の台車からの衝撃等によるとみられる高周波成分が重畳したた わみ波形が得られ,最大たわみ量は約4.5mmであった.本結果にも 誤差等含まれている可能性があるが,以下,本測定結果を桁たわみの 真値として議論する.

(3) LDV による桁たわみ: 図4に LDV による桁の速度の測定結果と その積分によるたわみ波形の一例を示す.速度波形の積分は,基線の 水平ずれを補正した後,周波数領域で行った.たわみ波形の形状およ

キーワード 非接触測定,LDV,鉄道橋梁,桁たわみ,列車走行





び最大たわみ量は、従来手法による測定結果とよく一致しており、 LDV による桁たわみ測定は可能であると考えられる. なお、同波形 は測定箇所のほぼ真下から測定した良好な条件下での測定結果例で ある.他に、十分な結果が得られなかった事例もあったので、次に測 定・データ処理時の注意点について述べる.

4. 測定・データ処理時の注意点

(1) 基線ずれ等による積分誤差:LDV による速度波形に基線ずれがあ り,積分結果に誤差が生じて最大たわみ量を正確に求められない事例 があった.このような場合,測定時にハイパスフィルタにより速度波 形の低周波成分を除去する手法が有効であるが,前述の通り,鉄道橋 梁の桁のたわみ波形はそれ自体が非常に低周波であるので,取り扱い が難しい.例えば,図4の測定を行う際に測定機器側でカットオフ 周波数0.1Hz (測定機器の設定最低周波数)のハイパスフィルタをか けると,たわみ波形が図5のようにゆがめられてしまう.

図6に、同図左上の模擬たわみ波形が、その微分値である同図右上 の速度波形の単純な基線ずれ(最大速度の2%で、水平、1次、コサ インの形状)によって、受ける影響を示した. LDV の速度記録の積 分によるたわみ波形にも同種のゆがみがみられ、さらに基線ずれが図 6のように単純ではないため、速度波形を通常の基線補正手法やデジ タルフィルタで処理しても、十分にゆがみを改善できなかった.

そこで、たわみ波形にゆがみが生じた場合の当面の簡易な補正方法 として、①速度波形の形状に着目して、たわみ発生部分のみを切り出 し、②水平ずれの基線補正を施し、③積分する手法を実施したところ、 最大たわみ量の算出結果に改善が認められた(図7)

(2)ノイズの混入:桁の運動方向とレーザ照射方向のなす角度が約60度,測定距離約30mの条件で測定を実施した際に,桁が下方および 上方に大きく運動した直後数秒の速度波形にノイズが混入する事例 が発生した.後の調査で,反射レーザの受光レベルが低い状態で測定 対象が急激に運動した際に生じるトラッキングノイズ(今回使用した LDV に固有の現象)である可能性が高いことがわかった.装置等の 工夫により,ノイズ発生原因の除去および反射レーザの受光レベル向 上に取り組む必要がある.

(3) 測定作業上の問題: 現場で日中に遠方のレーザ照射点を視認する ことが難しかった.数10m先の測定位置に正確にレーザを照射する ために、レーザ照射点を確認するための望遠スコープを使用した.

5. まとめと今後の課題

鉄道橋梁の桁たわみの現地測定を実施し、LDV を用いた非接触測 定が可能であることを示すとともに、積分時の誤差、受光レベル不足 時のノイズ混入、および、レーザ照射点の視認性等の現状の課題を示 した.現在、それらの課題克服のため、構造物検査用 LDV(図8) の開発やデータ処理技術と反射ターゲットの工夫に取り組んでいる. **謝辞**:振動測定作業および諸準備にご協力頂いた(株)BMC、物探サービス(株)、 グラフテック(株)、鉄道総研の各位に謝意を表する.



参考文献:1)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, 2) グラフィックリポート・橋梁診断システム (BMC システム), RRR, Vol.50. No.9, pp.21-24, 1993, 3) 齋藤忠雄:簡易橋桁 たわみ量測定器の開発, JR EAST R&D Review, Vol. 141, pp.6-7, 2001.