

単純 PC 桁橋の振動測定によるたわみ評価

愛媛大学工学部 学生会員 ○鶴久森 潤
愛媛大学大学院 フェロー 森 伸一郎
愛媛大学大学院 学生会員 松村 裕樹

1.はじめに

既存橋梁の健全度評価に資することを目的に、振動測定によるたわみ剛性の評価法を研究している。本研究では、建設後の経年が少なく劣化の進行が少ないと思われる橋梁を対象に橋梁のたわみ特性を検討した。目的の一つである経年の少ない橋梁においても、支間にさしかかる前と通過後に負のたわみが生じることが確認できたため、もう一つの目的であるたわみの走行速度と走行位置の関係を検討した。たわみと走行速度の関係は既に橋梁のたわみ振動の走行速度依存性を研究した松村・森¹⁾により報告があがっているため、その結果を利用し、たわみと車両の走行位置についての関係に着目する。

2.測定対象及び実験・解析方法

測定対象は愛媛県西予市三瓶町にある常盤橋（県道 378 号線）である。桁長は 16.6 m、幅員 12.00 m の PC 桁橋で 2008 年に架設された。図 1 に常盤橋の側面図とセンサーおよびレーザー測定器の設置位置を示す。橋台上、桁支点、支間長の 1/2（中央）、1/4 の点、橋台より支間長の 1/4 離れた地盤の計 5 点のセンサーを配置した。また地覆端部に車両通過時刻を計測するためのレーザー測定器と走行位置を測定するための赤白テープを設置した。測定に用いた機器は、24 チャンネルの測定器 GEODAS-12-USB-24ch と 3 成分の速度計 CR4.5-2S(以下センサーとする)を 5 台用い、また、レーザー測定器 LV-H67(以下レーザー測定器とする)を 1 台用いた。レーザー光線は ON/OFF を記録するもので車両が走行すると前輪と後輪に相当する矩形パルスが記録され、車両の軸距を通過時間で除せば車両走行速度が算出できる。また、図 2 に常盤橋の断面図を示す。

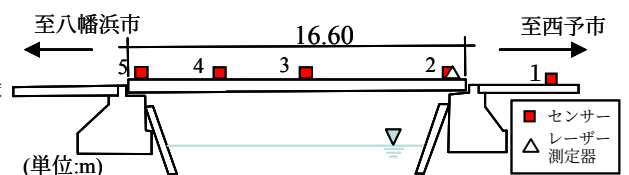


図 1 常盤橋の側面図

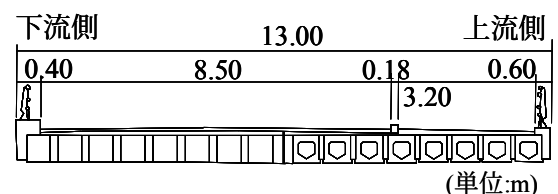


図 2 常盤橋の断面図

実験車両としてトヨタ製ハイエース（特定運転手を含む車両重量 1.94 t、軸距 2.57 m）を走行させた。測定事象として、走行車両による振動と無車両時の微動を対象とする。測定では、1 走行に対してサンプリング周波数 1000 Hz で 20 秒間データを取得した。測定中は、車両の通過時刻、通過時の走行速度及び走行位置等をそれぞれ測定、記録するとともに測定中の実験車両の通過状況をビデオ撮影した。

図 3 に車両通行時のセンサー 3 における速度時刻歴、変位時刻歴およびレーザー測定器の時刻歴を示す。レーザーは ON/OFF を示すもので、振幅自体に意味はない。図中の縦線はレーザー測定器の時刻歴により読みとった車両の前輪、後輪の通過時刻を示し、逆三角形は時刻順に前輪桁侵入時、後輪桁侵入時、前輪桁退出時、後輪桁退出時を示す。図 3 より矩形パルスの中央をタイヤの中心部としたとき、レーザー測定器の時刻歴から前輪の中心部は 0.18 秒、同様に後輪部は 0.38 秒に通過しており、軸距は 2.57 m であるのでこのときの橋梁進入速度は 12.85 m/s と算出できる。速度は橋梁通過後まで一定と仮定すれば、橋長 16.6 m を通過するのに 1.29 秒かかるため、載荷終了時の前輪部は 1.47 秒、後輪部は 1.67 秒と推測できる。

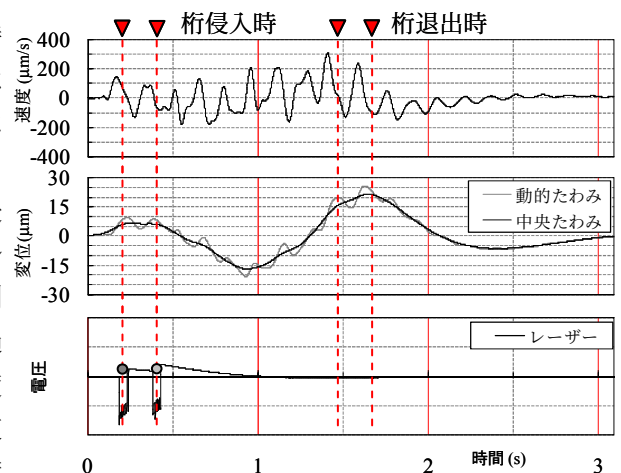


図 3 車両走行による速度・変位・レーザー時刻歴

キーワード 既存橋梁、振動測定、たわみ

連絡先 〒790-8577 愛媛県松山市文京町 3 愛媛大学大学院理工学研究科 mori@ehime-u.ac.jp

たわみの解析は最大中央たわみ、車両走行位置、車両走行速度に対して解析を行う。最大中央たわみは 20 秒間の速度時刻歴の平均値をドリフト量として補正し、補正した速度を線形加速度法によって時間積分し、変位時刻歴を得る。その動的成分を取り除くためにバンド幅 14.0 秒の Hanning ウィンドウで平滑化した。図 3 の変位時刻歴に平滑化前後の波形を重ねて描いている。本論文では走行位置はセンサーから実験車両の重心までの距離を意味する。

3. 解析結果

車両通行による振動データを 28 回分解析し、最大中央たわみを走行速度および走行位置によってまとめたものを示す。図 4 に最大中央たわみと車両走行位置の関係を示し、図のように走行速度で 4 種類に分け、それぞれの回帰直線を示す。また、図中の断面図は図 2 の一部であり、0 m の部分にセンサーを設置しており、走行位置に対応している。これより、最大中央たわみは走行位置に負の相関があり、走行速度によって正の相関がみられるため走行速度依存性と走行位置依存性がみられる。

本研究のセンサーは、1 Hz 以下では感度が低下し、0.5 Hz で約 0.7 倍となる。松村・森¹⁾によると、常盤橋における走行によるたわみの振動数が 1 Hz になるのは 120 km/h のときである。今回使用した 28 回分の最大中央たわみは走行速度が 120 km/h 未満であるため、その全てがセンサー特性による速度依存を受けていると考えられる。そこで、最大中央たわみと走行位置のみの関係をみるため、松村・森¹⁾の論文において提案された速度依存性によらない最大中央たわみ算出の補正の方法を利用する。まず、走行位置ごとに走行速度が 120 km/h のときの最大中央たわみで正規化するが、走行速度が 120 km/h のときのたわみは測定できていないため、下流側走行時と上流側走行時の最大中央たわみと走行速度の回帰分析により推定し、正規化する。最大中央たわみを u_c 、速度による正規化最大中央たわみを $\hat{u}_c$ 、走行速度を v として 1 次元モデルの式を以下に示す。

$$\hat{u}_c = 0.01v - 0.23 \quad (35 \leq v \leq 55) \quad (1)$$

$$\text{ただし, } \hat{u}_c = u_c(v) / u_c(120) \quad (2)$$

この 1 次元モデルを利用して走行速度 120 km/h 以下の最大中央たわみを補正する。補正後の最大中央たわみを u_c^* 、補正係数を m_c として以下の式を用いた。

$$u_c^* = m_c u_c \quad \text{ただし, } m_c = 1 / \hat{u}_c \quad (3)$$

図 5 に補正式を利用した最大中央たわみと走行位置の関係を示し、図中の直線は回帰直線を示す。図 4 と比べても速度依存性がほぼなくなり、走行位置依存性がより明確になったことで、速度依存を取り除いても最大中央たわみは走行位置に負の相関があることがわかる。しかし、上流側走行時のデータにばらつきは少ないものの、下流側走行時にばらつきがみられる。この原因として、今回の速度は桁通過中に一定速度と仮定して解析しているが、実際は桁通過中において 5 km/h 前後の誤差があると運転者から報告が挙がっている。そのため、車両が桁中央を通過した時点での速度を正確に算出できていないことが考えられる。このことは今後検討する。

4. 結論

速度依存性を取り除くことで走行位置依存性のみによる影響がより明確に確認できたが、常盤橋においての速度補正の方法には下流側走行時に課題を残している。

謝辞：本研究の一部は、愛媛県より受託した「橋梁長寿命化修繕計画の検証に関する調査研究」として行ったものである。愛媛県土木部道路都市局道路維持課には、調査研究の実施でのご協力と成果の公表を快諾して戴きました。また、測定では、地震工学研究室の学生の皆さんに協力を戴いた。記して謝意を表します。

参考文献：1) 松村裕樹、森伸一郎：橋梁のたわみ振動の車両走行速度依存性、土木学会四国支部代 16 回技術研究発表会 講演概要集、2010、5、CD-ROM

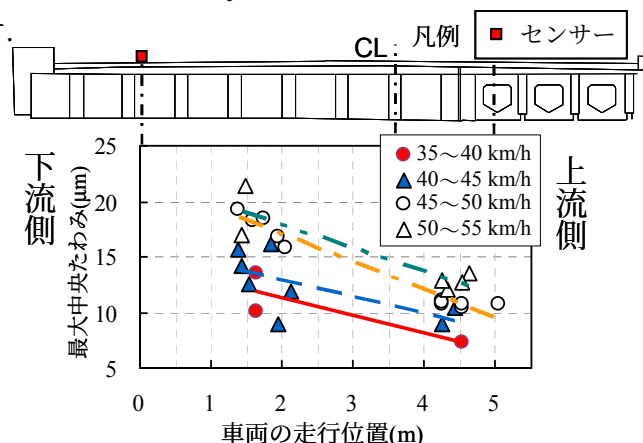


図 4 最大中央たわみと走行位置の関係

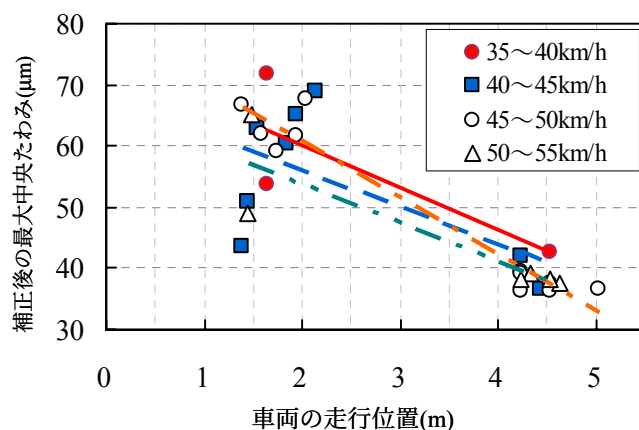


図 5 補正後の最大中央たわみと走行位置の回帰直線