

BWIMによる車両重量自動推定システムの開発

徳山高専 正会員 河村進一, 九工大 正会員 山口栄輝, 徳山高専専攻科 学生会員 ○山根久尚

国土交通省福岡国道事務所 増田博行(所長)・徳留忠(元副所長)・芹口臣也(管理第二課長)

オリエンタルコンサルタンツ 渡辺英夫・安立寛・玉田和法

1. はじめに

近年自動車荷重の実態調査により、法定重量である 25 t をはるかに上回る重量の車両の走行が確認されている。このような車両が橋梁を通行することは、橋梁の寿命を縮める要因の一つであると考えられる。そのため、橋梁の維持管理や補修を行ううえで、車両による橋梁に作用する活荷重を把握することは重要であると考えられる。Bridge Weigh-In-Motion(以下 BWIM)は、活荷重の実態を調査する方法の一つであり、現在までに約 2 年にわたって研究対象の橋梁において BWIM による走行車両重量の推定、精度について検討されてきている。本研究では、BWIM によって推定された橋梁上を通過する重車両の重量、速度、走行車線と画像を長期にわたって蓄積する自動計測システムを開発する。

2. BWIM の概要

BWIM とは、橋梁の動ひずみ計測結果と曲げモーメントによって生じるひずみの影響線を用いて、走行する車両の重量を推定する方法である。車両が橋梁を通過した際に計測されるひずみ ε と、車両による荷重 W とひずみ影響線値 ε^* との積 $W \cdot \varepsilon^*$ の差の二乗和を誤差 E と定義すると式(1)になる。

$$E = \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} \left(\varepsilon_{ij} - \sum_{k=1}^{K_{\max}} (W_k \varepsilon_{ijkl}^*) \right)^2 \quad (1)$$

ここで、 i はひずみ測定点番号、 j はサンプリング番号、 k は車軸の番号、 l は車軸がどの車線を走行しているかを示すものである。 $I_{\max}$ はひずみ測定位置の箇所数、 $J_{\max}$ は総サンプリング数、 $K_{\max}$ は総車軸数、 ε_{ij} はひずみの実測値、 ε_{ijkl}^* はひずみ影響線縦距である。誤差 E が最小になるように最小二乗法によって W_k を算出すると、式(2)の連立一次方程式が得られる。これを解くことにより車両の軸重を求めることができ、車軸の間隔から車両重量が得られる。

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij1l}^* \cdot \varepsilon_{ij1l}^*) & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij1l}^* \cdot \varepsilon_{ij2l}^*) & \cdots & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij1l}^* \cdot \varepsilon_{ijK_{\max}l}^*) \\ \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij2l}^* \cdot \varepsilon_{ij1l}^*) & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij2l}^* \cdot \varepsilon_{ij2l}^*) & \cdots & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij2l}^* \cdot \varepsilon_{ijK_{\max}l}^*) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ijK_{\max}l}^* \cdot \varepsilon_{ij1l}^*) & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ijK_{\max}l}^* \cdot \varepsilon_{ij2l}^*) & \cdots & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ijK_{\max}l}^* \cdot \varepsilon_{ijK_{\max}l}^*) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_{K_{\max}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij} \cdot \varepsilon_{ij1l}^*) \\ \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij} \cdot \varepsilon_{ij2l}^*) \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij} \cdot \varepsilon_{ijK_{\max}l}^*) \end{bmatrix} \quad (2)$$

3. 対象橋梁概要

対象橋梁は、既設の橋(現在の上り線)に 2 車線の道路橋(現在の下り線)が増設された、二つに分離した橋である。上り線は、支間 38.85+29.80=68.65m、下り線は、支間 26.50m+53.00m=79.50m、ともに幅員 11.75m の鋼 2 径間連続非合成プレートガーダー橋である。図-1 に計測対象橋梁の構造図とひずみ計測位置を示す。上りと下りにそれぞれ主桁下フランジに 4 点、垂直補剛材に 4 点のひずみゲージを設置し、計 16 点のひずみ計測を行っている。

BWIM に最も適している橋梁の構造は、支間が短く直橋の単純鋼桁橋であるという報告がされている。本研究で扱う橋梁は、道路の

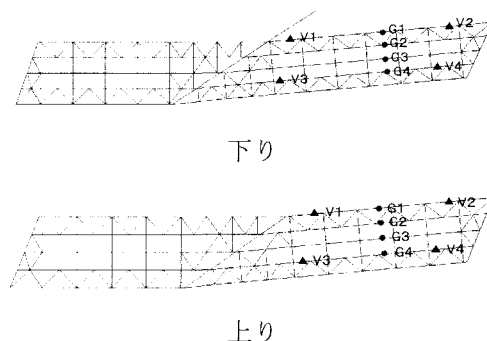


図-1 対象橋梁構造図とひずみ計測位置

平面線形と河川の形状の影響により、中間支点部で桁が折れ曲がった構造で、両側の橋台と中間支点の向きが違う斜橋で、車線は曲線区間を持つ構造的にやや複雑な形状である。BWIM に適した構造とは異なるが、この橋梁での BWIM の精度は実用上充分であることが確認されている²⁾。

4. 自動推定システム

図-2 に自動推定システムの概要を示す。橋梁に設置されたひずみゲージから、橋梁の下に設けられた観測小屋(図-3)の計測・重量算出用コンピュータで各測点のひずみを読み取る。計測は 24 時間絶え間なく実行されており、5 秒間のひずみの変動量がある値を超えた場合にトリガーがかかり、トリガーのかかった時の 5 秒間とその前後 5 秒ずつ、計 15 秒のひずみデータが記録される。計測はトリガー動作時にも継続し、並行して BWIM のプログラムが実行され、車両通過時刻、車両重量、車両速度、走行車線が算出される。それらのデータは道路管理用光ファイバーを経由して維持出張所に送られる。既設の CCTV によるカメラ画像は維持出張所内の CCTV 制御器でビデオ信号に変換されている。画像処理用コンピュータではこのビデオ信号を 1 秒毎に記録している。重車両が橋梁を通過したときの画像は、BWIM によって算出された重車両のデータを画面内に表示して静止画として保存する。

図-4 は試験用大型車両が通過した際のひずみデータの例であり、図-5 がそのときの画像である。画像に表示された時刻と、グラフに表示されたひずみの生じた時刻が一致していて、車両が上りの追い越し車線を通過していることが分かる。この車両はシステムの動作確認のために走行させたもので、事前に計量した重量は 20.39t である。本システムで算出した推定重量は 19.33t であり、推定誤差は約 5% であった。

5. まとめ

BWIM による車両重量測定を自動的に行うシステムを構築した。このシステムでは橋梁を通過する大型車の重量を、交通流を乱すことなく常時計測することができる。本システムはすでに 1 年以上にわたって稼動している。このシステムによって蓄積されたデータの集計結果とその活用方法については別の機会で公表する予定である。

【参考文献】

- 1) Fred Moses: Weigh-In-Motion System Using Instrumented Bridges, Transportation Engineering Journal of ASCE Vol.105, No. TE3, pp.233-249, 1979.
- 2) 山口・松尾・河村・小林・森・百田・西之原: 2 径間連続鋼桁橋を用いた BWIM の精度, 応用力学論文集, Vol. 7, pp.1135-1140, 2004.

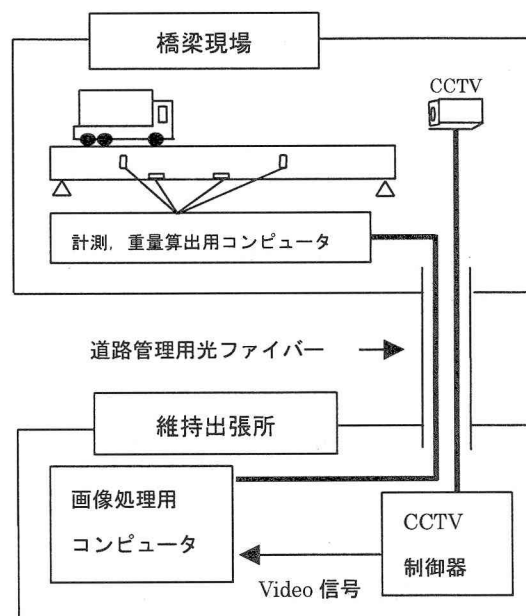


図-2 システム概要

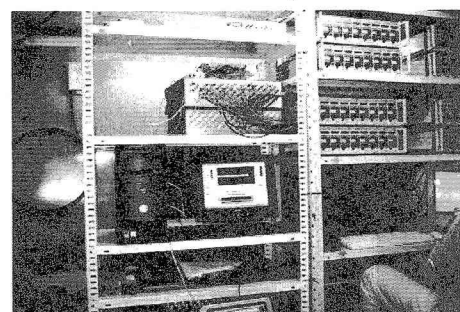


図-3 観測小屋内の機器

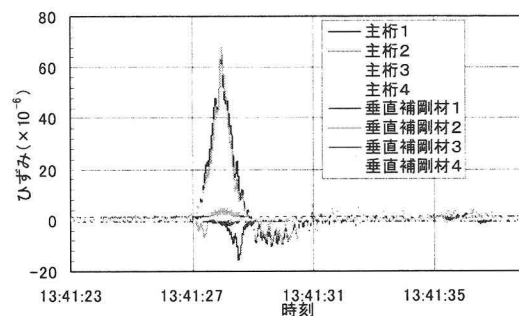


図-4 ひずみ計測データ



図-5 重量車の画像