

道路橋の動ひずみ計測による走行車両重量の推定

徳山高専 正会員 河村進一、 呉高専専攻科 学生会員 ○服部孝之、 九工大 正会員 山口栄輝
国土交通省福岡国道事務所 増田博行(所長)・徳留忠(副所長)・西之原達志(元管理第二課長)
オリエンタルコンサルタンツ 崎本繁治

1. はじめに

車両総重量は、道路法と車両制限令により一般的に 20t 以下と制限されている。道路橋の設計においても H6 年以前は T 荷重の 20t、現行では B 活荷重では 1 軸 2 輪の 20t を用いている。しかし近年、自動車荷重の実態調査により道路橋の設計荷重をはるかに超える車両走行が確認されている。このような過大な重量の車両通行は、橋梁の各所に疲労等に起因する多大な損傷を引き起こすことが予測される。このため橋梁に作用する活荷重の実態を把握することは、道路橋の維持・管理や補修を行ううえで重要である。そこで、本研究では、動ひずみ計測によって車両走行重量を推定できることを確認し、実橋の交通荷重実態を調査した。

2. Bridge Weigh in Motion システムの原理

WIM とは、橋梁の動ひずみ計測結果から走行する車両の重量を推定する方法である。橋梁を通過する車両重量は橋梁上の測定点のひずみに対する影響線を用いて、任意の時刻での車両位置とそれに対応する測定点のひずみデータから求めるものである。車両が橋梁を通過する際に、主桁に生じるひずみ ε は、軸荷重 W の影響線を用いて計算できる。ある時刻 $t (= t_0 + \Delta t \cdot j)$ におけるひずみ影響線から算出されるひずみに対するひずみ実測値との差の 2 乗和を誤差 E として定義すると次式になる。

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

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、 $\varepsilon_{ijk\ell}$ 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、軸荷重 W_k を算出すると次の連立 1 次方程式が得られる。

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij1\ell} \cdot \varepsilon_{ij1\ell}) & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij1\ell} \cdot \varepsilon_{ij2\ell}) & \cdots & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij1\ell} \cdot \varepsilon_{ijK_{\max}\ell}) \\ \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij2\ell} \cdot \varepsilon_{ij1\ell}) & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij2\ell} \cdot \varepsilon_{ij2\ell}) & \cdots & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij2\ell} \cdot \varepsilon_{ijK_{\max}\ell}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ijK_{\max}\ell} \cdot \varepsilon_{ij1\ell}) & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ijK_{\max}\ell} \cdot \varepsilon_{ij2\ell}) & \cdots & \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ijK_{\max}\ell} \cdot \varepsilon_{ijK_{\max}\ell}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_{K_{\max}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij} \cdot \varepsilon_{ij1\ell}) \\ \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij} \cdot \varepsilon_{ij2\ell}) \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=1}^{J_{\max}} (\varepsilon_{ij} \cdot \varepsilon_{ijK_{\max}\ell}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

この連立 1 次方程式を解くと各荷重を求めることができる。つまり影響線を定めておき、各時刻でのひずみと車両の走行位置を測定しておけば、軸荷重を推定することができる。

3. 実橋の車両重量推定

3.1 対象橋梁と計測の概要

篠栗橋は橋長 69.40m、支間 68.65m 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。篠栗橋は、道路の平面線形と河川

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、床版は曲線区間を持つ構造的にやや複雑な形状になっている。図 - 1 に桁構造図を示す。動ひずみ計測は飯塚側のスパン P1-A2 間で行なった。ゲージの取り付け位置は重量推定用に主桁フランジそれぞれ同じ位置に 5 箇所 (G1~G5) に取り付けたが、G5 は歩道の直下になるため重量推定では除外して考える。また、速度検知用として G1・G4 桁の垂直補剛材にそれぞれ 2 箇所 (V1~V4) に取り付けた。

3.2 車両重量推定法

図 - 2 のひずみの時刻歴データを用いて車両重量推定例を示す。まず、垂直補剛材のひずみを用いて車軸の数と車両速度を算出し、各車軸の位置を算出する。次にひずみ影響線を図 - 3 のような多項式近似式曲線より算出する。次にひずみ計測データを、橋梁上に車両が載っていないときのひずみが 0 となるようにゼロ点補正を行なう。式 (2) から車両重量を推定すると $W_1=10.9\text{tf}$ 、 $W_2=12.1\text{tf}$ という結果が得られる。

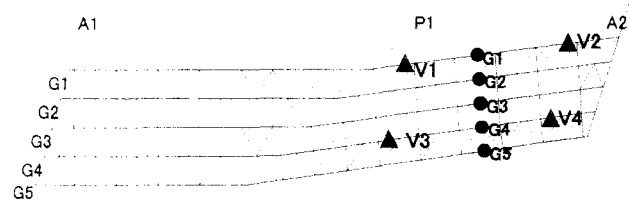


図 - 1 篠栗橋桁構造

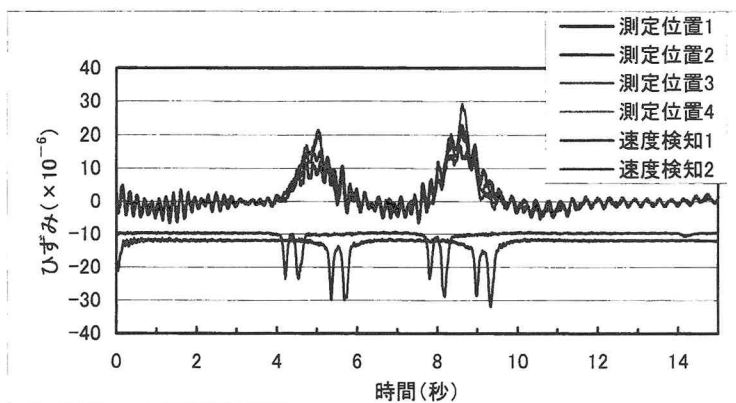


図 - 2 ひずみ計測データ

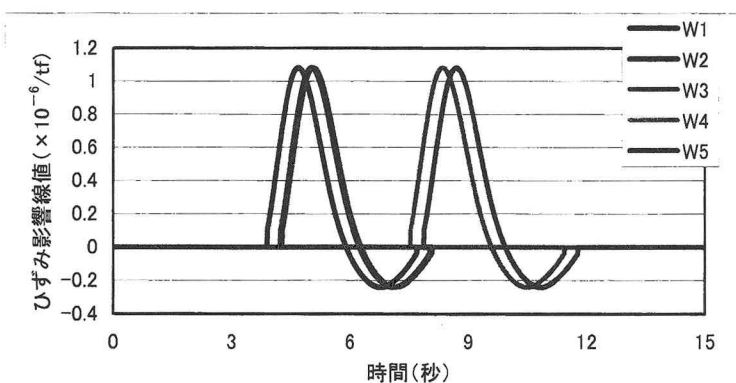


図 - 3 ひずみ影響線

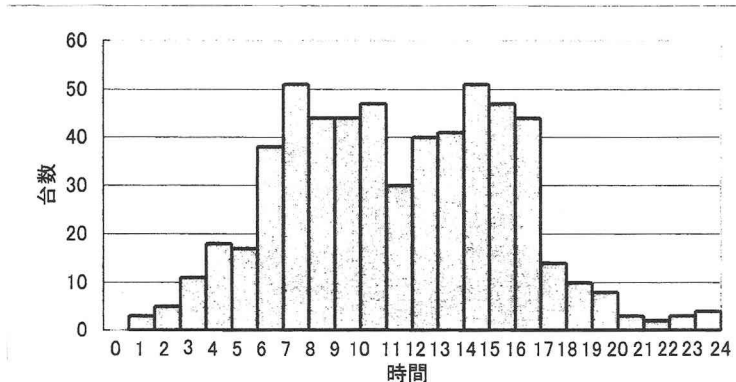


図 - 4 20t 以上の時間帯別重量車分布

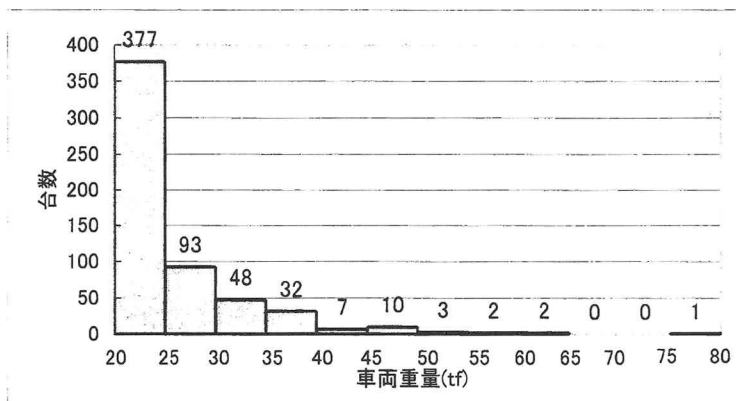


図 - 5 重量車の頻度分布

3.3 WIMによる重量車頻度

平成 16 年 2 月 9 日の車両重量推定結果のうち 20t 以上のものを図 - 4 に示す。重量車は日没後から日の出前まではあまり走行していないことが分かる。また、6 時から 11 時まで、12 時から 17 時までには重量車が多く、11 時から 12 時の間はやや減少していることが分かる。1 日間における車両重量 20t 以上の車両合計台数は 577 で台あり、最大で 77.8t を記録しており、設計荷重を大きく上回る車両が走行しているのが確認できる。

4. まとめ

2 径間連続プレートガーダー橋の動ひずみ計測結果から走行車両の重量を推定できることを確認した。また、WIM による重量車頻度を調査した結果、設計荷重を大きく上回る車両が走行していることが確認された。

【参考文献】松尾、山口、河村、小林、森、百田、西之原：2 径間連続桁橋を用いた WIM の精度，土木学会全国大会第 58 回年次学術講演会講演概要集，I-399，pp797-798。



図 - 6 重量車の例(60.7t)

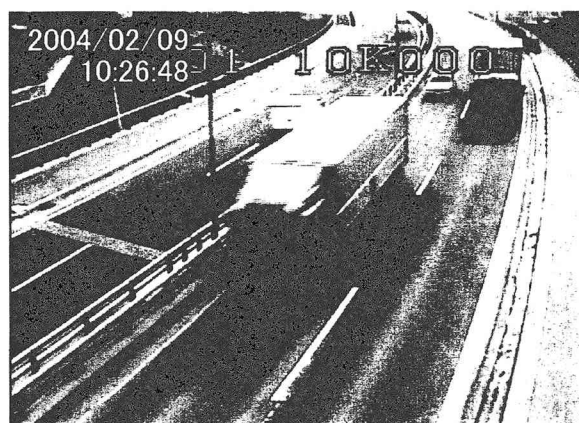


図 - 7 重量車の例(車線 1:32.1tf, 車線 2: 11.1tf)