

垂直補剛材ひずみを用いた BWIM と重車両交通特性

九州工業大学大学院 学生会員 ○古里悠太
九州工業大学大学院 中村凜月
九州工業大学大学院 正会員 山口栄輝

1. はじめに

重車両の軸重実態の把握は、床版の維持管理や、悪質な重量違反の車両を取り締まる上で有益となる。BWIM と呼ばれる、橋梁部材に生じるひずみから交通荷重を推定する方法が存在する。標準的な BWIM では重量計算を行うひずみに加え、車両速度といった補足情報が必要となる場合が多く、文献 1 では、垂直補剛材の鉛直方向直ひずみから補足情報を取得している。そこで、本研究ではコスト削減を目的として、本来補足情報の取得に使用される垂直補剛材の鉛直方向直ひずみのみを用いて軸重を推定する BWIM を提案し、対象橋梁における重車両交通特性の分析を実施した。

2. 対象橋梁

対象橋梁は福岡県糟屋郡に位置する、国道 201 号篠栗橋である。対象橋梁の平面図を図-1 に示す。橋梁形式は鋼 2 径間連続非合成板桁橋である。図中の白丸はひずみ計測を行った垂直補剛材を示している。車両速度を取得するため、計測位置は 1 車線につき 2 箇所存在するが、軸重推定にあたっては各車線 1 箇所ずつ、D3A, D5A, U4B, U1A, のひずみを使用している。

3. 軸重推定法

ある時刻 t において、地点 x_n に車両の第 n 軸が位置している場合を考える。このとき、垂直補剛材 i に生じるひずみ $\varepsilon_i(t)$ は次式で表される。

$$\varepsilon_i(t) = \sum_{n=1}^N I_i(x_n(t)) \cdot A_n \quad (1)$$

ここに、 N は車軸数、 A_n は第 n 軸の軸重、 $I_i(x)$ は影響線関数である。なお、影響線関数とは、1kN の車軸が走行する際の垂直補剛材 i に生じるひずみを示す。

本推定法では、各垂直補剛材の影響線関数を算出し、推定対象のひずみを式(1)の形で立式する。これを推定ひずみ影響線と呼ぶ。推定ひずみ影響線と計測したひずみの残差平方和 S_i は次式で表される。

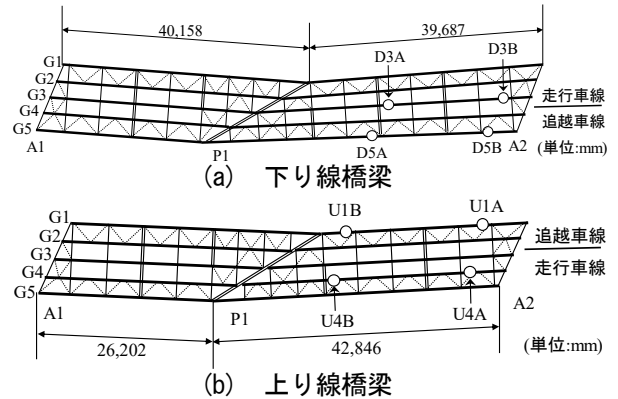


図-1 対象橋梁の平面図

表-1 軸重推定の平均誤差(最大誤差) (%)

走行パターン	車両位置			
	上り走行	上り追越	下り走行	下り追越
単独	6.1 (13.8)	3.7 (12.4)	4.0 (-10.8)	4.9 (-10.5)
連行	8.5 (19.4)	4.7 (17.6)	5.7 (14.6)	8.4 (17.4)
併走	9.0 (19.1)	9.7 (23.1)	43.7 (89.1)	40.1 (67.5)
連行かつ併走	10.7 (21.8)	7.5 (18.9)	41.1 (89.7)	30.7 (60.2)

$$S_i = \sum_{m=1}^M \{\varepsilon_i^*(t_m) - \varepsilon_i(t_m)\}^2 \quad (2)$$

$\varepsilon_i^*(t)$ は計測したひずみ、 M はひずみ測定数、 t_m は測定時刻である。本研究では残差平方和 S_i を最小にする軸重を推定値とし、停留条件である次の連立方程式を解くことで算出した。

$$\frac{\partial S_i}{\partial A_n} = \frac{\partial}{\partial A_n} \sum_{m=1}^M \{\varepsilon_i^*(t_m) - \varepsilon_i(t_m)\}^2 = 0 \quad (3)$$

なお、本研究の影響線関数は 3 次元有限要素解析と重量既知の車両のひずみデータから求めた。

4. 推定精度

軸重既知の車両 3 台を用いて、4 種類の走行パターンによる車両走行試験が実施されている。試験回数は合計で 60 回になる。試験で得られたひずみデータに対して軸重推定を行い、推定精度を検証した。表-1 に推定誤差を示す。上り線では、最大でも 20% 程度の誤差であり、文献 2 のような標準的な BWIM と同程度の推定精度だが、下り線では、併走を含む走行パターンで著しく精度が低下している。下り線では隣車線の車両によるひずみの増長が

キーワード：BWIM, 軸重推定, 垂直補剛材, 交通特性

連絡先：〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学 TEL 093-884-3100

確認されたため、隣車線の影響を考慮する必要がある。

5. 隣車線の影響を考慮した軸重推定法

隣車線の車両によってひずみが発生する場合、隣り合う車線 1, 2 の垂直補剛材に発生するひずみは、次のように表される。

$$\varepsilon_1(t) = \sum_{n=1}^{N_1} I_{11}(x_{n1}(t))A_{n1} + \sum_{n=1}^{N_2} I_{12}(x_{n2}(t))A_{n2} \quad (4)$$

$$\varepsilon_2(t) = \sum_{n=1}^{N_1} I_{21}(x_{n1}(t))A_{n1} + \sum_{n=1}^{N_2} I_{22}(x_{n2}(t))A_{n2} \quad (5)$$

ここに、 N_p は車線 p を走行する車両の車軸数、 $I_{pq}(x)$ は車線 q の軸重による、車線 p の垂直補剛材のひずみ影響線、 x_{nq} は車線 q を走行する車両の第 n 軸の位置、 A_{nq} は車線 q を走行する車両の第 n 軸の軸重である。

軸重推定の手順は、3 と同様、推定対象のひずみを推定ひずみ影響線として立式する。式の形は式(4)および式(5)とする。そして、2つの推定ひずみ影響線と計測したひずみの残差平方和の合計が最小となる軸重を推定値とし、停留条件である以下の連立方程式を解くことで算出した。

$$\frac{\partial}{\partial A_{nq}} \left[\sum_{m=1}^M \{\varepsilon_1^*(t_m) - \varepsilon_1(t_m)\}^2 \right] + \frac{\partial}{\partial A_{nq}} \left[\sum_{m=1}^M \{\varepsilon_2^*(t_m) - \varepsilon_2(t_m)\}^2 \right] = 0 \quad (6)$$

$\varepsilon_i^*(t)$ は計測したひずみ、 M はひずみ測定数、 t_m は測定時刻である。なお、隣車線の影響線関数についても 3 次元有限要素解析と重量既知の車両のひずみデータから求めた。

6. 隣車線の影響を考慮した際の推定精度

推定精度が著しく低下していた、下り線の併走を含む走行パターンについて、再度、軸重推定を行っており、表-2 に推定誤差を示す。表-1 の結果と比較して大幅に精度が向上しているが、連行かつ併走に関しては最大誤差-27.9%であり、連行かつ併走の一部で比較的大きな誤差を取っている。しかし、対象橋梁の下り線で 9 カ月間に渡り計測された 11,761 台の重車両の内、連行かつ併走で走行する重車両は 12 台であり、非常に稀なケースであることが判明している。よって、本推定法による軸重実態の把握に対し、この最大誤差の影響は小さい。

7. 重車両交通特性

篠栗橋では、9 ヶ月間に渡ってひずみ計測が実施されており、25t 以上の重車両に限定した交通特性の分析を行った。重車両の軸重別軸数頻度分布を図-2 に示す。走行車線の車軸の総数が 82,737 本なのに対し、追越車線は 17,294 本であった。約 5 倍の車軸が走行車線を走行している。

表-2 隣車線の影響を考慮した
平均誤差(最大誤差)(%)

走行パターン	車両位置	
	下り走行	下り追越
併走	8.6 (-19.7)	3.8 (-7.3)
連行かつ併走	7.3 (20.7)	7.0 (-27.9)

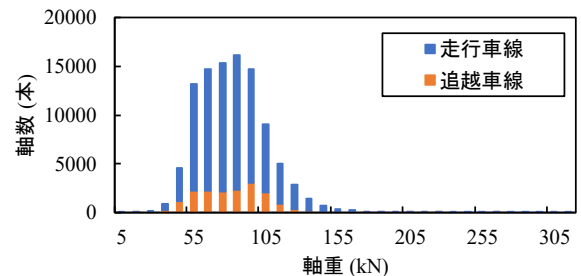


図-2 重車両の軸重別軸数分布

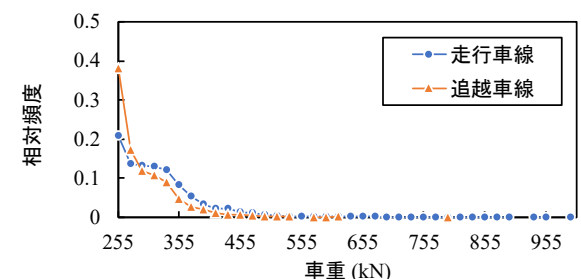


図-3 重車両の車重別台数頻度分布

また、重車両の車重別台数頻度分布を図-3 に示す。車重階級値 255kN の頻度に注目すると、走行車線が 2 割程度に対し、追越車線では 4 割程度も占めている。以上より、追越車線より走行車線の方が著しく疲労による損傷を受けやすいといえる。

8. まとめ

本推定法の精度について、下り線の併走を含む走行パターンにおいて誤差の低下が確認されたが、隣車線の影響を考慮して推定することで精度は大幅に改善された。以上より、篠栗橋の全車線で、実用上問題のない軸重推定が可能であることを明らかにした。

また、篠栗橋の重車両交通特性として、重車両軸数と車重別台数頻度を総合すると、追越車線より走行車線の方が著しく疲労による損傷を受けやすい。

参考文献

- 1) 山口栄輝ら：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.
- 2) 玉越隆史ら：道路橋の設計自動車荷重に関する試験調査報告書—全国活荷重実態調査—, 国土技術政策総合研究所資料 No. 295, 2006.