

垂直補剛材ひずみのみを用いた影響線法 BWIM による軸重推定

九州工業大学大学院 学生会員 ○古里悠太
九州工業大学 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

大型車交通の増加や過積載車両の走行により床版の疲労損傷が多数報告されている．そのため，床版の疲労耐久性を検討するにあたり，重車両の軸重実態は極めて重要な情報となる．

BWIM (Bridge-Weigh-In-Motion) と呼ばれる，橋梁部材の変形挙動から交通荷重を推定する技術が存在する．文献 1)2) のような標準的な BWIM では，主桁下フランジの橋軸方向直ひずみで重量計算を行い，車両速度，軸数の判定，軸間距離といった推定に必要な補足情報は，垂直補剛材や床版といった，重量計算と異なる位置のひずみから取得している．そこで，本来，補足情報の取得に使用する垂直補剛材のひずみのみで重量計算も行えると，測定データ数が減少するため，より低廉な軸重推定が可能となる．

本研究では垂直補剛材ひずみのみを用いた軸重推定法を提案し，その精度を検証することとした．

2. 対象橋梁

対象橋梁は，福岡県糟屋郡に位置する，福岡 201 号篠栗橋である．本橋梁の平面図を図-1 に示す．橋梁形式は 2 径間連続鋼 I 桁橋である．上下線でそれぞれ独立しており，車線数は各 2 車線である．図中の白丸は軸重推定に使用した垂直補剛材の位置を示している．

3. 軸重推定法

ある時間 t において，車線 i 上の地点 x_{ni} 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 $\varepsilon_i(t)$ は次式で表せる．

$$\varepsilon_i(t) = \sum_{n=1}^{N_1} I_i(x_{ni}(t)) \cdot A_n \tag{1}$$

ここに， N_1 は車軸数， A_n は第 n 軸の軸重， I_i 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 に生じるひずみである．

本推定法では，各垂直補剛材の影響線関数を算出し，式 (1) を推定ひずみ影響線として立式する．推定ひずみ影響線と計測したひずみの残差平方和 S_i は次式で表せる．

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

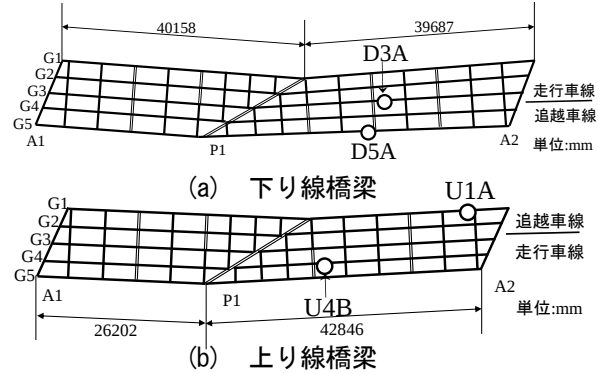


図-1 対象橋梁の平面図

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
パターン1	6.1 (13.8)	4.1 (12.4)	4.0 (-10.8)	4.9 (-10.5)
パターン2	8.5 (19.4)	4.7 (17.6)	5.7 (14.6)	8.4 (17.4)
パターン3	9.0 (19.1)	9.7 (23.1)	43.7 (89.1)	40.1 (67.5)
パターン4	10.7 (21.8)	7.5 (18.9)	41.1 (89.7)	30.7 (60.2)

M はひずみ測定数， t_m はひずみ測定時間である．推定ひずみ影響線と，計測したひずみの差が最も小さくなる軸重，すなわち S_i を最小とする軸重が推定値となる．以上より，停留条件である次の連立方程式の解が軸重推定値である．

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

なお，本研究での影響線関数は 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．

パターン 1：試験車両 1 台の単独走行

パターン 2：試験車両 2 台の連行走行

パターン 3：試験車両 2 台の併走走行

パターン 4：試験車両 2 台の連行走行かつ

試験車両 1 台の併走走行

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，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 1) に記されている標準的な 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

ターンで大幅な誤差を生じている。下り線では隣車線は走行する車両によってひずみが増長されており、隣車線の影響を考慮した軸重推定が必要となる。

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} 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。

隣車線の影響を考慮する推定法では、隣車線の車両に対応する影響線関数を算出し、式(4)および式(5)を推定ひずみ影響線として立式する。軸重推定にあたっては、この2つの推定ひずみ影響線と、計測したひずみとの差が最も小さくなる軸重を求めればよい。すなわち、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の停留条件である式(6)(7)を解くことで算出される。

$$\frac{\partial}{\partial A_{n1}} \left[\sum_{m=1}^M \{ \varepsilon_1^*(t_m) - \varepsilon_1(t_m) \}^2 \right] + \frac{\partial}{\partial A_{n1}} \left[\sum_{m=1}^M \{ \varepsilon_2^*(t_m) - \varepsilon_2(t_m) \}^2 \right] = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial A_{n2}} \left[\sum_{m=1}^M \{ \varepsilon_1^*(t_m) - \varepsilon_1(t_m) \}^2 \right] + \frac{\partial}{\partial A_{n2}} \left[\sum_{m=1}^M \{ \varepsilon_2^*(t_m) - \varepsilon_2(t_m) \}^2 \right] = 0 \quad (7)$$

ここに、 M はひずみ測定数、 t_m はひずみ測定時間である。

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。下り線での軸重推定例を図-2に示す。

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、下り線の併走走行を含む走行パターンについて、再度、軸重推定を行い、推定精度を検証した。表-2に推定誤差を示す。表-1の結果と比較して大きく精度が向上している。それでも、連行かつ併走では最大誤差-27.9%であり、やや大きな誤差が一部確認された。しかし、実交通に対し、下り線で推定した11,761台の重車両の内、連行かつ併走での推定は12台で

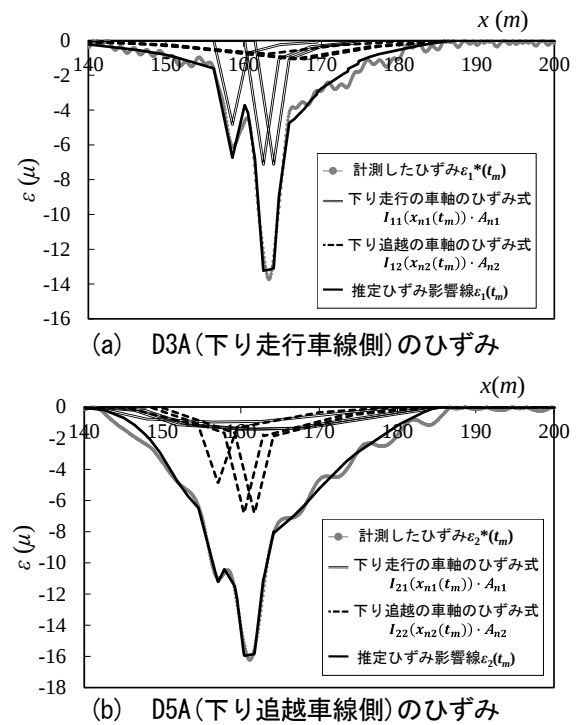


図-2 隣車線を考慮した軸重推定例

表-2 隣車線の影響を考慮した軸重推定の

走行パターン	平均誤差 (最大誤差) (%)	
	車両位置	
	下り走行	下り追越
パターン3	8.6 (-19.7)	3.8 (-7.3)
パターン4	7.3 (20.7)	7.0 (-27.9)

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、本推定法による重車両の軸重実態の把握に対し、この最大誤差の影響は小さいと考えられる。

7. まとめ

下り線の併走を含む走行パターン以外では、推定誤差20%程度の精度を確認できた。また、下り線の併走を含む走行パターンについても、隣車線の影響を考慮することで推定精度は大幅に向上した。

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。

参考文献

- 1) 玉越隆史, 中洲啓太, 石尾真理: 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.
- 2) 小林裕介, 三木千寿, 田辺篤史: リアルタイム全自動処理 Weigh-In-Motion による長期交通荷重モニタリング, 土木学会論文集, No. 773/I-69, pp. 99-111, 2004.