

## BWIM-IT を用いた走行車両の軸重推定

九州工業大学大学院 学生会員 ○続木広大 小田恭輔  
九州工業大学 栗寄柊  
九州工業大学大学院 正会員 山口栄輝

### 1. はじめに

既設橋の維持管理において、交通量、特に大型車両の重量や通行頻度の実態把握は重要な役割を果たす。交通流を乱すことなく、走行車両の重量を推定する技術の1つに、橋梁の変形挙動から走行車両の重量を推定する BWIM (Bridge-Weigh-In-Motion) がある<sup>1)</sup>。

著者らのグループでは、垂直補剛材鉛直方向直ひずみを用いて、走行車両の車重を推定する BWIM-IT (BWIM by Integration Method with Transverse Stiffeners)<sup>2)</sup>の研究を行ってきた。従来の BWIM に比すると計測データが少なく、経済的な手法である。本研究では、この BWIM-IT を用いて軸重推定を試みる。

### 2. 対象橋梁と測定位置

垂直補剛材鉛直方向直ひずみのデータが得られている篠栗橋<sup>1)</sup>を対象に、検討を行う。本橋梁の概要を図-1に示す。図中の○は、ひずみが測定された垂直補剛材の位置を表す。車両走行速度を算出するために、車線ごとに2箇所のひずみデータが必要となるが、軸重推定には、1箇所のひずみデータがあればよい。ここでは、U1B, U4B, D3A, D5A で測定されたひずみを用いて軸重を推定する。

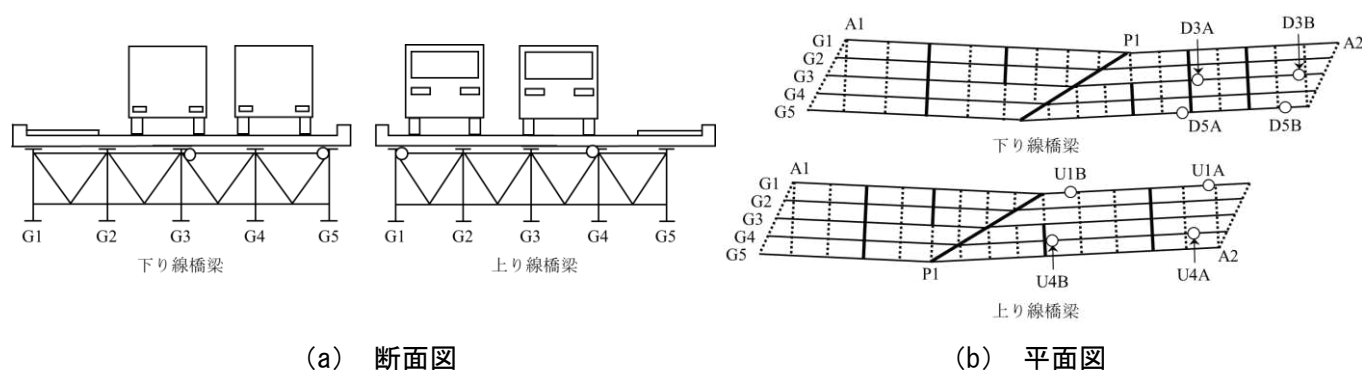


図-1 対象橋梁の概要と測定位置

### 3. BWIM-IT による軸重推定

#### 3-1 BWIM-IT の概要

橋梁上を移動する荷重によって生じるひずみと荷重の位置を図示したグラフの面積は、荷重の大きさに比例する。したがって、この面積と荷重の比が分かれば、ひずみを計測することで、橋梁上を移動する荷重の大きさが算出できる。BWIM-IT では、これを基本に重量推定を行う。

軸重を推定するにあたって、まず本橋梁の3次元有限要素解析を行った。具体的には、大きさ 1kN の1軸の荷重を車線内で移動させ、垂直補剛材鉛直方向直ひずみを求めた。これを、ここでは影響線ひずみと呼ぶ。図-2に、下り線橋梁の走行車線に載荷した時に生じる、D3A の影響線ひずみを示す。

影響線ひずみを配置し、その倍率を変化させることで、軸重による面積（軸重による面積＝影響線ひずみの面積×倍率）を再現する。その際に必要な軸数と軸間距離の情報は、ひずみの計測データから直接読み取ることができる。軸の面積の和と実測値データによる面積とが等しく、形状も概ね一致するときの軸重が、本手法での推定値となる。

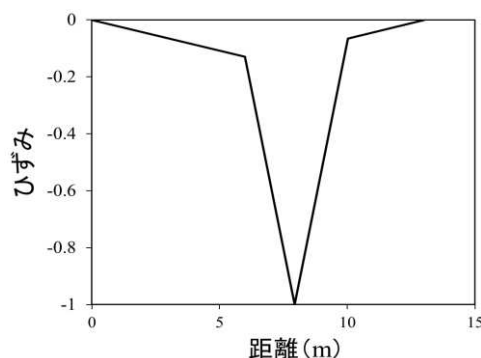


図-2 D3A における影響線ひずみ

### 3-2 推定精度

文献 1) に記した通り、篠栗橋では軸重が既知の車両 3 台を用い、4 パターンの車両走行試験が行われた。その際に得られた測定データをもとに、3-1 の方法で、軸重推定を試みた。

推定結果を表-1 に示す。上り線橋梁においては、全ての走行パターンで良好な結果が得られている。下り線橋梁においても、単独走行、連行走行の精度は比較的よいものの、併走時に著しい精度の低下が見られる。これは、隣接車線の走行車両の影響によるものと考えられる。この点については、3-1 の方法では、考慮できない。次節であらためて考察する。

### 3-3 併走時推定精度の改善策

まず 3-1 と同様の手法で、追越車線単独走行時の D3A における影響線ひずみを求めた (図-3)。使用する影響線ひずみの各線形区間を立式し、軸毎に軸重倍率  $h_m$ 、 $H_n$  ( $m, n: 1 \sim$  各車両の軸数) を変数としてひずみに与える。例えば、図-3 の第一区間の推定ひずみ  $\varepsilon_{\#}$  は式 (1) で表すことが出来る。ここで、 $\alpha_{m-1}$ : 軸間距離である。

これらの式を組み合わせ、各点  $x$  における両側車線を走行する車両の影響を考慮した合成推定ひずみ  $\varepsilon_{\#}(i\Delta x)$  を作成し、式 (2) より、実測ひずみ  $\varepsilon_{\#}(i\Delta x)$  と合成推定ひずみの誤差の二乗和  $I$  が最小となる軸重倍率の組み合わせを求める。ここで、 $N_s$ : D3A におけるひずみデータの総数、 $\Delta x$ : サンプル距離間隔である。

$$\varepsilon_{\#} = -0.013h_m(x - \alpha_{m-1}) \quad (1) \quad I = \sum_{i=1}^{N_s} [\varepsilon_{\#}(i\Delta x) - \varepsilon_{\#}(i\Delta x)]^2 \quad (2)$$

また、D5A においても同様に、軸重倍率  $l_m$ 、 $L_n$  ( $m, n: 1 \sim$  各車両の軸数) を変数とし、式 (3) より、実測ひずみと合成推定ひずみの誤差の二乗和  $J$  が最小となる軸重倍率の組み合わせを求める。ここで、 $N_t$ : D5A におけるひずみデータの総数である。

$$J = \sum_{j=1}^{N_t} [\varepsilon_{\#}(j\Delta x) - \varepsilon_{\#}(j\Delta x)]^2 \quad (3)$$

本研究では、軸重倍率  $h_m$  と  $l_m$ 、 $H_n$  と  $L_n$  の関係は、計測点が異なっても軸重は等しいことから、 $l_m = 7.3h_m$ 、 $L_n = 0.22H_n$  である。停留条件である式 (4)、(5) を解くことで、各軸重倍率が求まる。

$$\frac{\partial(I+J)}{\partial h_m} = 0 \quad (4) \quad \frac{\partial(I+J)}{\partial H_n} = 0 \quad (5)$$

影響線ひずみの面積に、求めた軸重倍率を乗じたものが軸重による面積であることから、以上の方法で各車線走行車両の軸重を推定することが出来る。併走時の D3A、D5A のひずみを用いて軸重推定を行った結果を表-2 に示す。併走する 2 つの車両の軸重を高い精度で得ることが出来た。

### 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) 山口栄輝ら: 鋼 I 桁橋の垂直補剛材ひずみを用いた BWIM, 土木学会論文集 F, Vol.66, No.2, pp.251-260, 2010.

表-1 推定誤差 (%)

| 走行パターン | 上り線橋梁     |           | 下り線橋梁       |             |
|--------|-----------|-----------|-------------|-------------|
|        | 走行車線      | 追越車線      | 走行車線        | 追越車線        |
| 単独     | 3.6 (8.6) | 5.7 (6.3) | 4.5 (7.4)   | 4.4 (8.8)   |
| 連行     | 4.4 (9.4) | 3.8 (5.6) | 3.6 (7.8)   | 5.3 (10.8)  |
| 併走     | 3.5 (7.4) | 4.2 (6.1) | 54.9 (88.9) | 46.4 (76.2) |
| 連行かつ併走 | 2.2 (6.4) | 4.5 (7.2) | 37.5 (79.6) | 30.4 (70.3) |

( ) 内は最大誤差

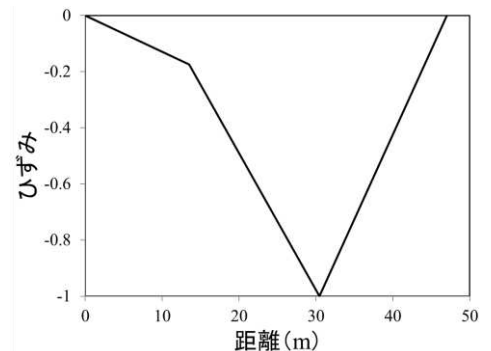


図-3 追越車線単独走行時  
影響線ひずみ (D3A)

表-2 推定誤差 (改善後) (%)

|       | 走行車線      | 追越車線       |
|-------|-----------|------------|
| 1軸    | 1.2 (3.4) | 3.1 (5.7)  |
| 2軸    | 4.9 (7.9) | 4.7 (8.0)  |
| 3軸    | 7.4 (9.3) | 5.8 (11.8) |
| 車両総重量 | 3.3 (5.7) | 3.9 (6.9)  |

( ) 内は最大誤差