

計測区間外から伝達する応答を考慮した Bridge Weigh-in-Motion

東京都市大学 学生会員 ○丸山 晃平
 正会員 吉田 郁政
 正会員 関屋 英彦

1. はじめに

Bridge Weigh-in-Motion (BWIM) は Moses によって提唱された車軸重量 (以下, 軸重) 推定手法¹⁾であり, 多くの研究が行われてきた. 対象区間が連続桁ではない場合も計測区間への進入前, 退出後もしくはその両方で応答が現れる場合がある. 他車両の影響がない場合は, 何らかの理由で計測区間外からの外力が伝達しており, 計測区間が純粋な単純梁ではない可能性がある. 既往の研究ではそのような場合でも単純梁として影響線, 軸重を推定することが多く, 計測区間外から伝達する応答を無視した影響線を用いることで軸重, 車両総重量 (以下, GVW) の推定結果に誤差が生じる可能性がある.

本検討では影響線, 軸重を推定する際に計測区間外から伝達する応答を考慮することで推定結果に生じる影響について検討する. 以下では構造的な要因によって進入前, 退出後に生じる応答のことをそれぞれ進入前応答, 退出後応答とし, これらを総称して入退出前後応答と呼ぶ.

2. 影響線および軸重推定手法の定式化²⁾

BWIMではセンサで観測された応答と, 影響線から算定した応答との残差二乗和を最小化することで軸重を推定する. 観測量 (計測された応答時刻歴) を z , 各車軸に対応する影響線から作成した行列を H , 軸重を x , 観測量誤差を v とすると以下の関係がある.

$$z = Hx + v \quad (1)$$

最小二乗法の目的関数は, 式 (2) に示す残差二乗和である.

$$J = (z - Hx)^T (z - Hx) \quad (2)$$

これを解くと次の最小二乗解が求まる.

$$x = (H^T H)^{-1} H^T z \quad (3)$$

以下では式 (3) を用いて軸重の推定を行う. H 行列を

各軸の載荷情報から作成することで同様の式から影響線の推定も行うことができる. この場合, x が影響線となる.

3. 対象橋梁と走行車両の概要

2つの橋梁 1, 2 について入退出前後応答の検討を行う. 橋梁 1 は支間長 26.15 m で, 進入側端部において耐震連結装置が設置されており³⁾, これにより隣接区間からモーメントが伝達されている可能性がある. 実測データとして諸元が既知の荷重車単独走行による 6 回のひずみ応答が得られている.

橋梁 2 は支間長が 32.3 m で両端部に落橋防止工が設置されており, これによりどちらの隣接区間からもモーメントが伝達している可能性がある⁴⁾. 実測データとして諸元が既知の荷重車による計 4 回の変位応答が得られている. 橋梁 1, 2 の荷重車の軸重を表-1 に示す.

4. 実測データに基づく軸重の推定

図-1 にそれぞれの橋梁について推定した影響線を示す. 本検討では対象区間に載荷している間の応答のみを用いる場合を Method-A, 1 スパン隣の区間から伝達する応答を考慮する場合を Method-B とする. 橋梁 1 では進入前応答があり, 橋梁 2 では進入前応答と退出後応答が観測されている.

4.1. 橋梁 1 を対象とした推定結果

図-1 (1) の進入側隣接区間と対象区間を含む範囲の影響線を用いて, 橋梁 1 を対象に軸重と GVW の推定を行う. Method-A, B による軸重推定結果の真値に対する相対誤差を図-2 (1) に示す. Method-B を用いた場合, A と比較して相対誤差が小さくなる. 推定結果の真値周りの標準偏差を表-1 に示す. 進入前応答を考慮した場合に良好な結果が得られたが, GVW に関しては両者の差は見られない. 橋梁 1 の実測データは全て単独走行で他車両による影響がない.

キーワード Bridge Weigh in Motion, 進入前応答, 退出後応答, 推定精度

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 都市工学科 TEL 03-5707-0104

4.2. 橋梁2を対象とした推定結果

橋梁2では図-1(2)の影響線を用いて軸重を推定する。全ての実測データにおいて隣接区間に他車両が存在し、その入退出前後応答により荷重車の応答波形は影響を受けている。他車両の軸重推定も合わせて行うことで、その影響を排除している。2つの手法A,Bによる相対誤差を図-2(2), 推定結果の真値周りの標準偏差を表-1に示す。橋梁2においてはMethod-Bを用いた場合に、軸重に加えてGVWも真値からのばらつきが小さくなっている。

5. おわりに

本研究では計測区間外から伝達する応答がBWIMにおける軸重, GVW推定結果に与える影響について検討した。2つの橋梁の実測データを用いて軸重推定を行い真値に対する相対誤差と標準偏差を比較した結果, 計測区間外から伝達する応答を考慮することで, 推定精度の改善が見られた。他車両による入退出前後応答がある場合には, GVWの推定結果にも影響が生じると推察される。

本報告で紹介した橋梁以外にも入退出前後応答を確認しており, より多くの橋梁での応答, そのメカニズムを明らかにしていきたい。

謝辞

橋梁1の現場計測は, 中日本高速技術マーケティング(株)との共同研究の一環にて実施した。関係各位に謝意を表す。また, 橋梁2の現場計測は, 国土交通省による『社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発』により実施したものである。関係各位に謝意を表す。

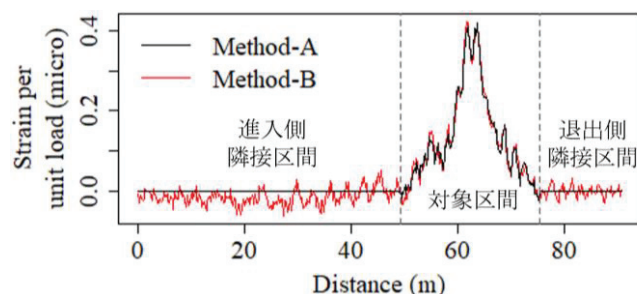
参考文献

- 1) F. Moses: Weigh-in-Motion System Using Instrumented Bridge, *Transportation Eng. J. of ASCE*, Vol.105, No.TE3, pp.233-249, 1979.
- 2) Yoshida et al.: Bayesian Bridge Weigh-In-Motion and Uncertainty Estimation, *ASCE-ASME J. Risk Uncertainty Eng. Syst., Part A: Civil Engineering*, Vol.7, No.1, 04021001, 2021.
- 3) 丸山ら: 計測区間への進入前の応答を考慮した Bridge Weigh-in-Motion, 構造工学論文集, Vol.68A, 2022. 掲載決定済み
- 4) H. Sekiya: Field Verification over One Year of a

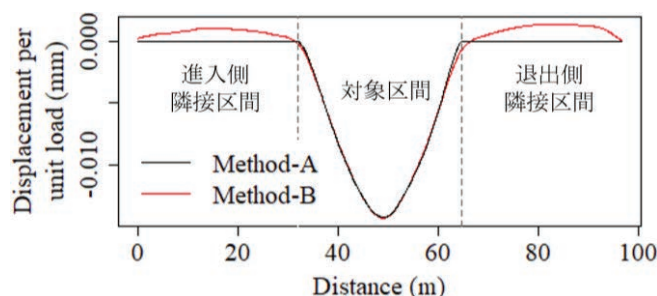
Portable Bridge Weigh-in-Motion System for Steel Bridges, *J. Bridge Eng.*, Vol.24, No.7, 04019063, 2019.

表-1 荷重車の軸重と推定結果の標準偏差

| | | 1軸 (kN) | 2軸 (kN) | 3軸 (kN) | GVW (kN) |
|-----|----------|------------|------------|------------|-------------|
| 橋梁1 | 軸重の真値 | 53.13 | 71.49 | 69.55 | 194.71 |
| | Method-A | 6.81 | 21.2 | 19.8 | 12.3 |
| | Method-B | 4.15 | 7.21 | 9.87 | 12.3 |
| 橋梁2 | 軸重の真値 | 62.37 | 64.53 | 64.04 | 190.94 |
| | Method-A | 8.83 | 19.2 | 16.2 | 5.25 |
| | Method-B | 5.74 | 12.0 | 13.7 | 3.94 |

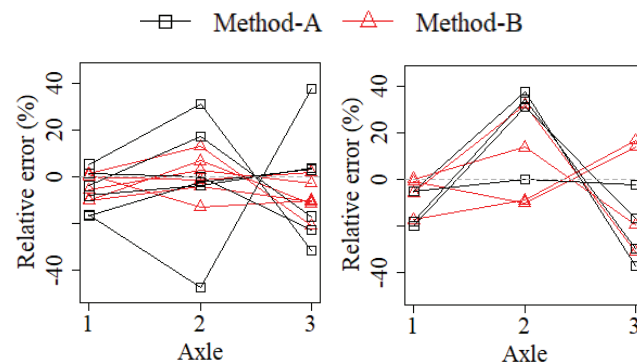


(1) 橋梁1 (ひずみ時刻歴)



(2) 橋梁2 (変位時刻歴)

図-1 推定した影響線



(1) 橋梁1

(2) 橋梁2

図-2 軸重推定結果の相対誤差