

軸間距離が BWIM による軸重算出に与える不確定性の定量化

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

1. はじめに

大型車両の交通荷重による疲労は鋼橋の損傷の主要な原因のひとつであり、正確かつ簡易に軸重を推定することは重要な研究課題である。BWIM(Bridge Weigh-in-Motion)は Moses によって提唱された軸重推定手法¹⁾であり、多くの研究が行われてきた。BWIM は橋梁をはかりとみなして、ひずみや変位の応答から軸重を逆解析する手法である。交通を妨げることなく、計測できるという利点があり様々な研究が行われているが、軸重の推定精度に関しては経験的なものが多く、精度の定量化に関する研究は少ない。本研究では模擬データを用いて、車間距離が軸重評価に与える影響について検討を行うとともに BWIM のための適切化法の提案を行う。

2. 定量的精度評価の方法

Moses の手法は影響線の足し合わせに基づく典型的な線形逆問題であることから解析解が存在する。観測量 (BWIM においては計測された変位あるいはひずみ時刻歴) を z 、各車軸に対応する影響線から作成した行列を H 、車軸重量 (軸重) を x 、観測量誤差を v とすると以下の関係がある。

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

事前情報を一様分布、または十分に大きな分散を持った正規分布とし、ベイズの定理を用いて解とその推定精度を評価する。影響線から算定した応答値と観測量の差を最小にする推定値 x と共分散行列 P を算定する式は以下となる。

$$x = PH^T R^{-1} z \quad (2)$$

$$P = (H^T R^{-1} H)^{-1} \quad (3)$$

3. 検討対象の橋梁および計測の概要

関屋らが実橋を対象に行った BWIM の実験及び検討²⁾をもとに以下の検討条件を設定した。検討対象

キーワード BWIM, 精度評価, 軸間距離, 適切化

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

とした橋梁は 2 車線、支間長 33.65m、総幅員 6.25m の鋼単純 I 桁橋である。橋梁中央部の主桁下フランジで応答変位を計測し、車両の橋梁進入、退出時刻の検知も行うと想定した。

4. 車間距離による影響

3 軸車と 2 軸車が連続走行したと仮定する。3 軸車の軸重は 1 軸目から 54.7, 35.6, 35.7 kN, 2 軸車の軸重は 1 軸目から 23.3kN, 24.6kN とし、3 軸車は 14.4m/s, 2 軸車は 13.9m/s で走行したと仮定した。以下、3 軸車の 1 軸目から車軸 A-1, 2, 3 とし、2 軸車の 1 軸目から車軸 B-1, 2 とする。本研究で定義した車間距離を図-1 に示す。

車間距離は橋梁進入時に 1, 3, 5, 10m と仮定し、観測量誤差の標準偏差を 0.2 とした場合について軸重推定値の誤差の標準偏差を図-2 に示す。車軸 A-1, 2 は車間距離によらず推定誤差の標準偏差に比較的一定である。しかし、A-2 の推定誤差の標準偏差は大きい。A-1 は小さい値となっている。車軸 A-3, B-1 は車間距離の影響が大きく、長いほど推定誤差の標準偏差は小さくなり、精度が向上している。

5. 単独走行の場合の推定精度と正則化

問題を単純化し 2 つの車軸の車両の単独走行の推定精度を検討する。車両の軸間距離を変えた場合の推定精度の定量化を行い、推定値の標準偏差を図-3 に、相関係数を図-4 に実線で示す。軸間距離が 0 は車軸が重なっている状況を表し、軸間距離 20m も実

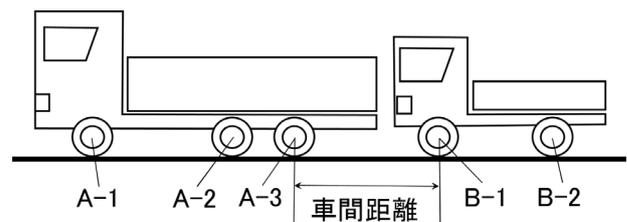


図-1 車間距離の定義と各軸の名称

在の車両としては長すぎて現実的ではないが推定精度の基礎的検討として示している。

軸間距離が0の場合は軸重の同定は不可能となり、推定値の標準偏差は無限大、相関係数は-1 になっている。軸間距離を大きくすると、各軸の観測精度が向上するが、ある一定値に漸近してそれ以上には向上しない。図には観測量誤差の標準偏差 SD=0.2 と 1.0 の場合を示しているが、式(3)の形からわかるように観測量誤差の標準偏差と推定値誤差の標準偏差は比例している。車間距離を大きくした場合には相関性は徐々に小さくなり、支間長より大きくなると無相関になる。

軸間距離が小さい場合は逆問題における非適切性が大きい状況であり、チホノフの適切化法などがよく用いられる。確率的な適切化法として緩やかな拘束条件を加えることとする。2つの軸重の差分は正規分布に従い、その標準偏差が σ とする以下の緩やかな拘束条件を加える。

$$Dx = v \tag{4}$$

ここで、 v は正規分布に従う確率変数で、その標準偏差の大きさ σ は拘束の強さを決める変数である。この条件を付加することにより式(3)は以下となる。

$$P = (H^T R^{-1} H + D^T D / \sigma^2)^{-1} \tag{5}$$

ここで、 $D=(1, -1)$ である。拘束条件として $\sigma=30\text{kN}$ の場合を図-3 に点線で示す。軸間距離が小さい場合に推定精度が改善されていることがわかる。図-4 には点線で拘束条件を加えた場合の相関係数を示している。標準偏差 σ を 30, 10, 5kN として付加的情報の拘束を強めると、負の相関が弱くなることがわかる。

6. おわりに

本報告では車間距離、あるいは軸間距離が BWIM による軸重の推定精度に与える影響についての定量化を行った結果を示した。2 軸車の単独走行の問題について軸間距離を変化させた場合の推定精度及び 2 つの軸重の推定の相関性について定量的に示した。また付加的な情報を加えることで精度を向上させることができることを示した。

参考文献

- 1) Moses, F. : weigh-in-motion system using instrumented bridge, Transportation Eng.J.of ASCE, Vol. 105, No.TE3, pp.233-249, 1979.

- 2) Sekiya, H., K. Kubota and C. Miki, "Simplified Portable Bridge Weigh-in-Motion System Using Accelerometers," Bridge Engineering(ASCE), January 2018, Vol.23, No.1, 04017124.

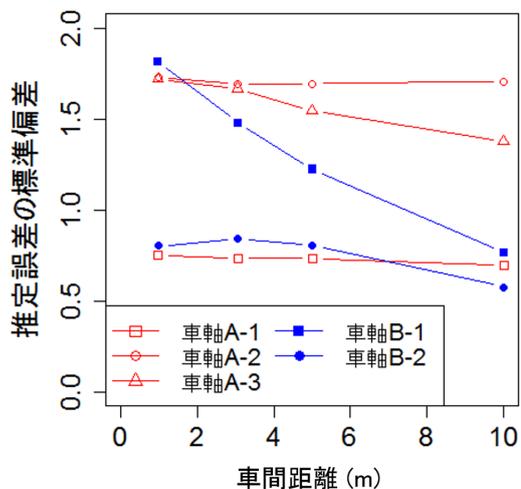


図-2 車間距離による軸重推定誤差のばらつき

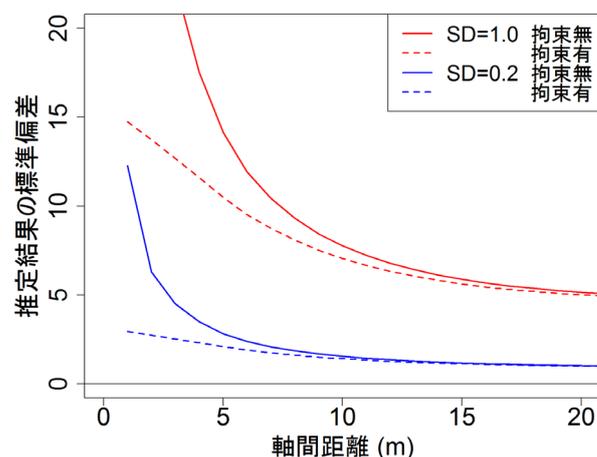


図-3 軸間距離による軸重推定誤差のばらつきと拘束条件の影響

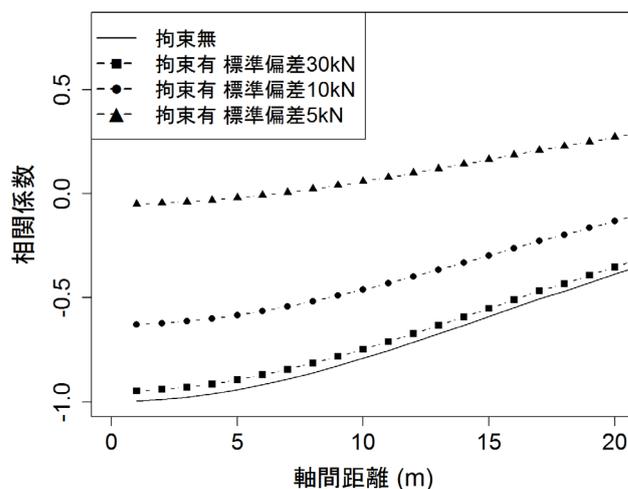


図-4 軸間距離による軸重の相関係数と拘束条件の影響