

第 I 部門

たわみを利用した BWIM による橋梁異常検知の可能性検討

京都大学 学生員 ○横山 拓海
株式会社 NTT ドコモ 齊藤 隆仁

京都大学大学院 正会員 金 哲佑
株式会社 NTT ドコモ 池田 大造

1. 序論

現在、我が国の橋梁において、高度経済成長期に架設されたものが過半数を占めており、効率的で定量的な橋梁の点検手法および適切な維持管理の確立が喫緊の課題となっている。鋼橋の疲労損傷の主原因である交通荷重の測定手法に、ひずみ影響線を逆解析して車両重量を推定する Bridge Weigh-In-Motion (以下、BWIM) が Moses¹⁾ によって提案されている。しかしながら、BWIM は橋梁の剛性変化による影響線の変化がないことを前提としており、起因する問題点として、実際に橋梁の剛性変化により影響線が変化する場合、影響線の変化分が軸重に加わり、実際より軸重が過大に推定されることが考えられる。言い換えれば、過大に推定される軸重を推定できれば橋梁の異常検知につながると考えられる。

本研究では、過大に推定される軸重推定のために車両には本来存在しない仮想の軸をたわみ計測による BWIM に導入することを提案する。仮想軸に割り当てられる軸重として実際より重く同定される軸重変化の抽出と橋梁損傷検知の可能性について検討を行う。

2. 理論

車両諸元が既知である実験車両の走行により計測された変位応答を用いてたわみ影響線を求める。測定点における変位応答は、各車軸によって生じる応答の重ね合わせとして時間の関数で表されるため、車両速度と各軸重が既知であれば、時間の関数として表される

たわみ影響線が求まる。各軸の基準となるたわみ影響線からなる行列を I 、推定したい軸重による列ベクトルを m 、変位応答による列ベクトルを y として、理論値と実測値の残差二乗和による目的関数が最小となるように偏微分して整理すると、式(1)で軸重 m が推定される。

$$m = (I^T I)^{-1} I^T y \quad (1)$$

この影響線からなる行列 I に仮想軸による影響線を追加することで、仮想軸における軸重 (本来は存在しないため 0kg) に損傷による影響線の変化分が割り当てられ、その値をもとに損傷検知の可能性を検討する。

3. 損傷実験概要

本研究では、軸重同定の変化に基づく損傷検知の検討を行うことを目的として、走行車両による動的载荷実験を模型橋梁により行った。損傷導入以前の橋梁の状態を健全状態 (以下 INT) とみなし、断面部分の欠損による剛性の減少を仮定した損傷 (以下 DMG1) と、スリッドを導入した損傷 (以下 DMG2) と両方の損傷 (以下 DMG3) のそれぞれを導入した。モデル橋梁、センサ配置と各損傷シナリオを Fig.1 に示す。

模型車両は、総重量 21.9kg (前軸 10.95kg, 後軸 10.95kg)、軸間距離 0.4m の 2 軸車両で、実験を実施した。各走行によるデータの誤差を少なくするために各シナリオに対して 10 往路ずつ変位の測定を行った。サンプリング周波数は 200Hz、変位センサは、模型橋梁を 4 分割し、その節点となる場所 (以下入り口側から D1, D2, D3) に計 3 点を配置した。

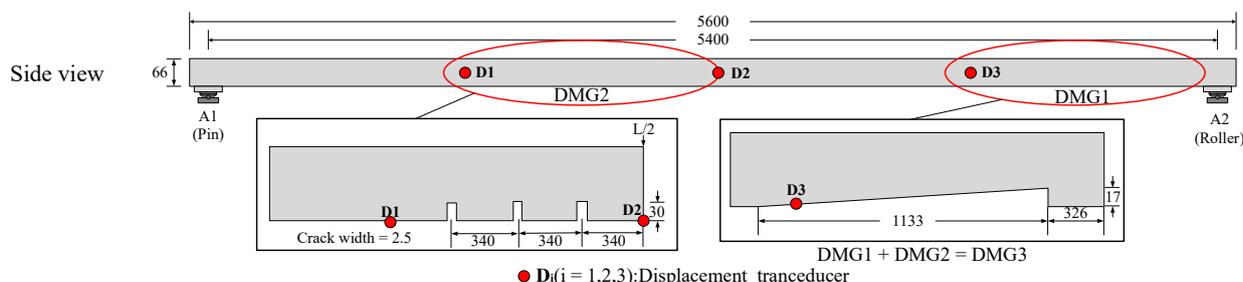


Fig. 1 Model bridge and sensor deployment in experiment.

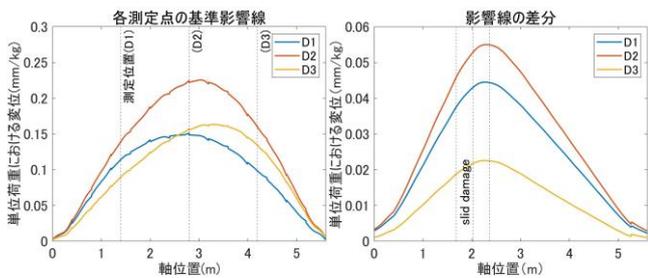


Fig.2 Reference influence line and difference of influence lines between reference and damage states.

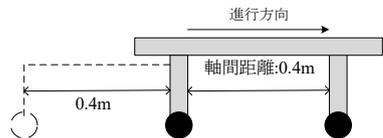


Fig.3 Scheme of the artificial wheel.

4. 影響線の算出と変化

INT 状態において算出したたわみ影響線と損傷シナリオ (DMG2) で算出したたわみ影響線との差分を Fig.2 に示す。Fig.2 から、損傷によってたわみ影響線が変化し、損傷箇所付近で算出されたたわみ影響線 (D2) は他の計測箇所と比べて変化が顕著であることが確認される。このことより損傷箇所付近で測定された箇所と同定された仮想軸重が、他の測定箇所より特徴的であれば、損傷箇所の検知に有効であると言える。

5. BWIM による異常検知

5.1 仮想軸重の変化: 算出したたわみ影響線を用い、各シナリオの各測定箇所において計測した変位応答を平滑化し、平均したものに仮想軸を車両後軸から軸間距離 0.4m の間隔をあけて配置して BWIM を適用した (Fig.3)。その同定結果を Fig.4 に示す。損傷シナリオでは、INT に比べて仮想軸に割り当てられる値がゼロから離れており、この結果から損傷の有無の検知の可能性が挙げられる。しかし、仮想軸に負の値が割り当てられている箇所が多数見られたほか、損傷箇所と仮想軸重の値に関連性は見られなかった。

5.2 損傷検知の精度向上: 損傷検知精度向上のために行った試みについて、紙面の制約上、結果だけを以下にまとめる。

詳細な普遍的に損傷検知および損傷箇所の検知が可能となるように、たわみ影響線の BWIM の適用範囲を狭めることによる仮想軸への軸重の割当ての変化の確認を行った。損傷箇所においてたわみ影響線の変化は顕著であったが、両端のゼロに近い部分は大きく変化していなかったため、この部分を排除して BWIM を適用したが、傾向には大きな変化は見られなかった。

仮想軸の配置位置による影響を確認するため、仮想軸を前軸基準として、前方 0.4m から後方 0.8m までサンプリング周波数を速度で割った値分ずつ順々に配置した。確認できる傾向として、車両後方では前軸、車両前方では後軸の割り当ての影響を受けやすいことが分かった。また、元来の軸から離して仮想軸を配置すると、仮想軸重の値はゼロに近づいていった。このことより、仮想軸の配置箇所を適切に定めなければ、橋梁の損傷に対して仮想軸が正確に作用しない可能性が分かった。

6. 結論

仮想軸を導入して軸重推定を行うと、健全状態に比べて仮想軸重の反応が大きくなり、損傷の有無の検知の可能性を見出させた。損傷における推定重量の変化分に対する高精度な抽出が必要であり、大局的な最適解になってない可能性も考えられる。今後は、1) 様々な変位の測定箇所や橋梁の損傷箇所によるたわみ影響線および仮想軸重への割当ての変化の検討、2) 最適手法の再検討、3) 正則化などによる仮想軸重への負の割り当ての回避について検討を行う予定である。

【参考文献】 Moses, F.: Weigh-in-motion system using instrumented bridges. Transportation Engineering Journal, ASCE, Vol. 105, pp.233-249, 1979.

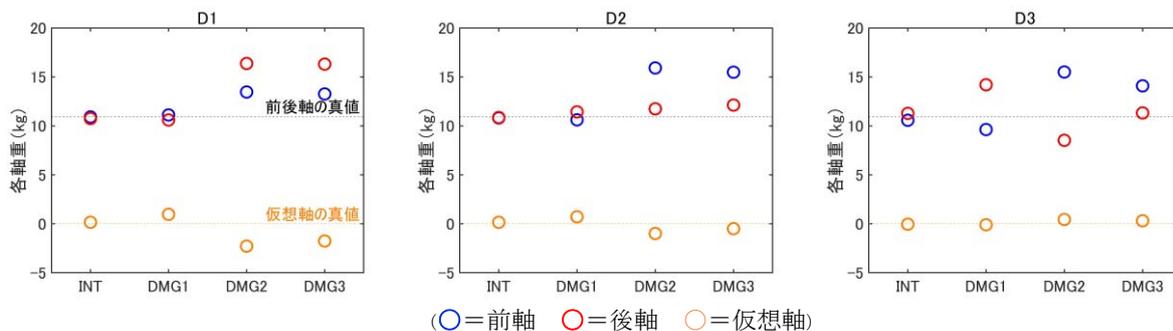


Fig.4 Wheel load identification considering artificial wheel.