

## BWIM の軸重同定を応用した橋梁の損傷検知の可能性検討

京都大学大学院 学生員 ○横山 拓海  
 京都大学大学院 正会員 金 哲佑

## 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求められている。近年、動画解析による橋梁の変位同定が可能になり、橋梁構造物ヘルスマニタリングへの変位の活用も可能になりつつある。そこで、橋梁変位の影響線による Bridge Weigh-In-Motion (以下、BWIM) を利用した損傷検知が考えられる。ひずみ影響線を逆解析して車両重量を推定する BWIM が Moses<sup>1)</sup> によって提案されているが、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いる。しかし、損傷に伴う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、実際より重く同定された重量の変化分を抽出することが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、車両には本来存在しない仮想の軸を橋梁変位による BWIM の軸重同定過程に導入<sup>2)</sup> することで、仮想軸に割り当てられる軸重を測定し、橋梁損傷を検知する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る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  $I$  に仮想の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 0kgf) 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<sup>2)</sup>。

## 3. 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載荷実験を模型橋梁により行った。損傷部を補強した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、スリットを導入した損傷 (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 21.9kgf (前後軸両方 10.95kgf)、軸間距離 0.4m の 2 軸車両で、実験を実施した。サンプリング周波数は 200Hz とし、各シナリオに対して 10 往路ずつ変位の測定を行なった。変位センサは、模型橋梁を 4 分割し、その節点となる場所 (以下入り口側から順に D1, D2, D3) に計 3 点を配置した。

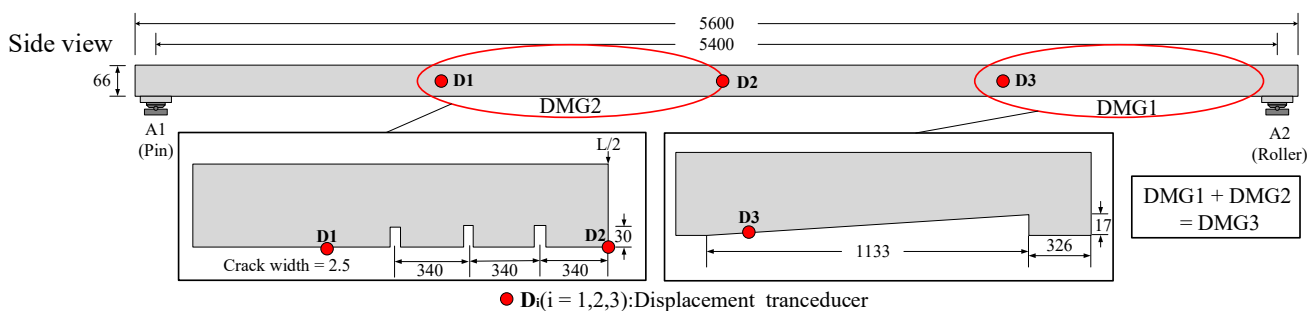


Fig.1 Model bridge and sensor deployment in experiment.

キーワード BWIM, 損傷検知, 変位, 影響線

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-183 社会基盤創造工学分野研究室 TEL 075-383-3421

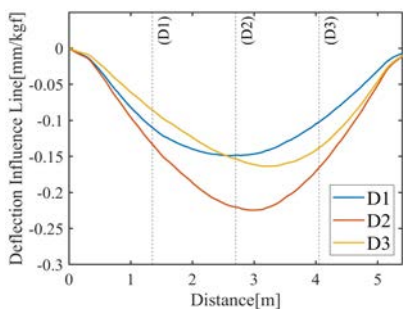


Fig.2 Reference deflection influence line

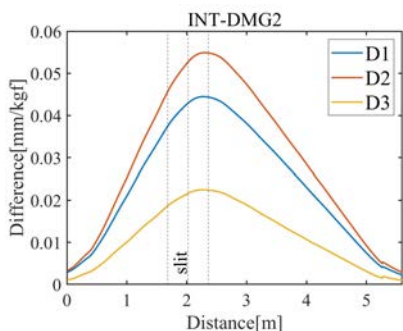


Fig.3 Difference of influence lines between reference and damage states

#### 4. たわみ影響線と損傷による影響

各測定点で算出されたたわみ影響線を Fig.2 に示す。また、損傷によってたわみ影響線が変化し、損傷付近の測定点で算出されるたわみ影響線は、他の測定点に比べて変化が顕著であることが Fig.3 より確認できる。事前検討では損傷によってたわみ影響線と同様に変位応答も大きくなり、軸重も実際より大きく同定されることが確認された。これに対し、時間軸上において仮想軸による影響線が損傷による変位応答の変化箇所と重なると、仮想軸重に正の軸重が割り当てられると推察する。

#### 5. 仮想軸を用いた異常検知

仮想軸の配置箇所に応じて軸重の割り当てが変化する

ため、Fig.4 の青枠で示される範囲内で仮想軸を順々に配置して軸重同定を行う。仮想軸に負の軸重が割り当てられるケースを除外するために、推定される各軸重の二乗和が最小となる箇所を探索し、その箇所を最適仮想軸配置として検討を行った。その同定結果を Table 1 に示す。損傷シナリオでは各測定点において、INT 状態に比べて仮想軸に割り当てられる重量が大きくなっており、仮想軸の軸重の変化から損傷の有無の検知の可能性が確認できる。特に、損傷付近の計測点から離れた測定点 (DMG1 の D1, DMG2 の D3) では同定重量の超過分が 114%, 79% の割合で抽出されていた。複数箇所に損傷がある DMG3 では、正の仮想軸重が同定されているものの損傷に対して、精度良く抽出が行われなかった。

#### 6. 結果

損傷箇所と仮想軸の配置箇所が軸重分配に及ぼす影響から、最適仮想軸配置を検討し、得られた仮想軸重から橋梁の損傷検知の可能性を見出した。一方、損傷が複数にまたがっている場合に抽出の精度が下がっているため、今後の検討課題として、損傷箇所と軸重分配に関する傾向や損傷がたわみ影響線の形状に及ぼす影響に関する考察を深める。また、仮想軸への軸重分配が主にたわみ影響線の変化に依るものであることを検証することが求められる。

#### 参考文献

- 1) A Moses, F.: Weigh-in-motion system using instrumented bridges. Transportation Engineering Journal, ASCE, Vol. 105, pp.233-249, 1979.
- 2) 横山・長谷川・金・齊藤・池田：たわみ影響線の変化に着目した BWIM による橋梁の異常検知の可能性検討，構造工学論文集，Vol. 68A, pp.329-341, 2022.

Table 1 Result of wheel weight estimation (unit: kgf)

axle	INT			DMG1			DMG2			DMG3		
	front	rear	virtual	front	rear	virtual	front	rear	virtual	front	rear	virtual
D1	10.96	10.66	<b>0.22</b>	11.04	10.80	<b>0.86</b>	14.53	12.70	<b>0.46</b>	14.02	13.55	<b>0.36</b>
D2	10.88	10.71	<b>0.24</b>	10.67	11.38	<b>0.73</b>	13.85	11.46	<b>1.49</b>	13.39	12.53	<b>1.29</b>
D3	10.69	11.05	<b>0.08</b>	10.11	13.36	<b>0.28</b>	11.22	11.32	<b>2.02</b>	11.53	13.04	<b>1.20</b>

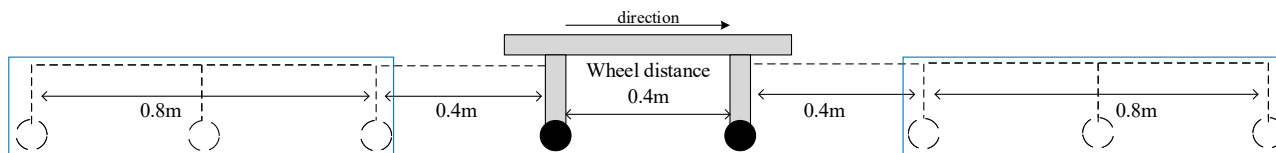


Fig.4 Scheme of the virtual wheel and the placement