

第 I 部門

回転角の再現に着目した模型橋の FE モデルアップデート

京都大学大学院 学生員 ○上野 響己

京都大学大学院

学生員

余 翰良

京都大学大学院

正会員

金 哲佑

1. 序論

老朽化した橋梁の維持管理において振動計測による構造ヘルスマニタリング (V-SHM) が検討されている。一方で、V-SHM による構造物の耐荷性能の評価は容易ではないのが現状である。このような状況で構造解析の役割が増加している。特に、デジタルツインへの期待が高まっている中、今後も構造解析は、橋梁の維持管理に重要な役割を果たすことができる。

本研究は、加速度データを利用した有限要素モデルアップデート (FE モデルアップデート) に着目している。変位に着目すると構造物の耐荷性能評価は相対的に容易であるが、橋梁の変位計測にはまだ制約が多い。設置が容易な加速度計を活用して変位を求めることは理論的には可能であるが、ノイズや数値積分における初期条件が未知であることから、難点も多い。本研究では、変位の代わりに加速度から同定した回転角の利用に着目している。すなわち、FE モデルの回転角が計測の回転角を再現できるようにモデルアップデートを行い、模型橋梁の損傷による曲げ剛性の変化の検知可能性について検討を行う。

2. 加速度計による回転角の導出

Figure 1 のように加速度計を橋梁に設置すると、橋軸方向の加速度 a_x は、車両の静的荷重による回転には影響を受ける。しかしながら、車両の走行による動的応答の影響はほぼ受けないことから、橋梁の回転角 θ は逆正弦関数を用いて式 (1) のように求めることができる。

$$\theta = \sin^{-1} \frac{a_x}{g} \quad (1)$$

3. 模型橋梁実験

本実験では、Figure 2 に示すような単純支持 H 型鋼桁の模型橋梁を対象に走行振動実験を行った。橋梁諸元は、橋長 5,600mm, 支間長 5,400mm, 有効幅員 287mm, 高さ 66mm である。また Figure 2 の Ab1 側

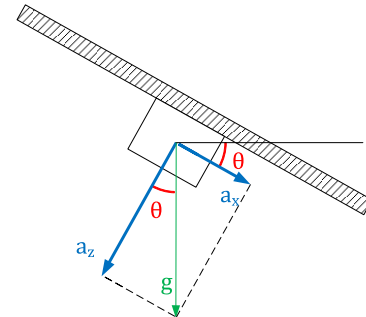


Figure 1 Derivation of rotational angle from acceleration.

の支承部はピン支承、Ab2 側の支承部はローラー支承となっている。また、ラバーヒーターを橋面に設置し、実験中に橋梁の温度が一定になるようにした。鋼橋の材質には SS400 を用いた。橋梁の損傷に対する回転角の変化を調べるために、桁中央部付近 (Figure 2 の Damage 1 参照。以下損傷 1 と称する) と桁端部 (Figure 2 の Damage 2 参照。以下損傷 2 と称する) に人工的な損傷を与えた。本実験においては 4 種類のシナリオについて車両走行実験を行った。すなわち、損傷部に補強鉄板を取り付けた場合を D00, 中央部の鉄板を外した場合を D01, 端部の鉄板を外した場合を D02, 鉄板を取り付けていない場合を D12 とする。

4. 橋梁車両連成系の構造解析

橋梁車両連成系の構造解析コードを用いてモデルアップデートを行った。モデルアップデートは、2 カ所の損傷範囲の曲げ剛性を変化させ、その回転角の時間変化を実験結果と比較し、最適化することを目指す。最適化における目的関数は、A1 から A7 の加速度センサーから同定する回転角の最大値と橋梁車両連成系の構造解析 (FE 解析と称する) による回転角の最大値の差による L2 ノルムである。

5. 回転角によるモデルアップデート結果

それぞれのシナリオにおけるモデルアップデート

の結果を **Table 1** に示す。 **Table 1** はシナリオ D00 における損傷 1 と損傷 2 の曲げ剛性を 1 としたときのそれぞれのシナリオにおける曲げ剛性比の変化を示している。損傷部の補強を外す前後にて曲げ剛性は、損傷 1、損傷 2 とともに低下した。また両損傷において損傷時の曲げ剛性の低下率は、他方の損傷のある無しに関わらず同程度となった。 **Figure 3** はシナリオ D01 におけるアップデート後の FE モデルにおける回転角の時系列を示す。

6. 振動特性による検討

モデルアップデート後の橋梁車両連成系において、式 (2) の運動方程式から固有振動数を調べた結果、シナリオ D00 において、 $f_1 = 2.64 \text{ (Hz)}$, $f_2 = 10.91 \text{ (Hz)}$ となった。 **Figure 4** は同シナリオにおける実験から得た周波数スペクトルを示す。モデルアップデート後の FE モデルは振動特性も再現した。

$$Mx'' + Cx' + Kx = f(t) \quad (2)$$

結論

本研究では、加速度による回転角を用いて FE モデルアップデートを行った結果、3 つの知見が得られた。

- 1) 橋梁の損傷部において、曲げ剛性が低下し、桁中央部の損傷に対する感度は桁端部の損傷に比べて高いことが確認された。また、これは過去の研究結果とも同様の傾向を示した²⁾。
- 2) 実験値と FE 解析の誤差は 10% 程度であった。
- 3) モデルアップデートにより振動数も再現された。今後は実橋梁における再現について引き続き検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) Arturo González: Vehicle-Bridge Dynamic Interaction Using Finite Element Modelling, Finite Element Analysis, David Moratal (Ed.), 2010.
- 2) 大島義信, 山本亨輔, 杉浦邦征: 車両応答から推定し

た橋梁変位に基づく橋梁の損傷同定法, 構造工学論文集 Vol.57A, pp.646-654, 2011.3.

Table 1 Updated bending stiffness in each scenario.

	曲げ剛性(損傷 1)	曲げ剛性(損傷 2)
D00	1	1
D01	0.30	1.07
D02	1.05	0.64
D12	0.21	0.79

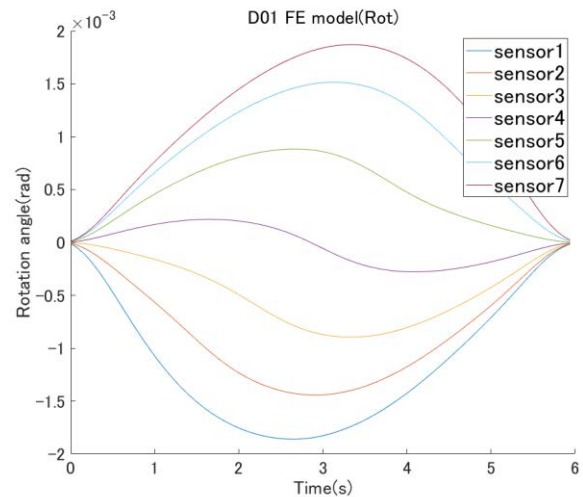


Figure 3 Time series of rotation angle in the updated FE model.

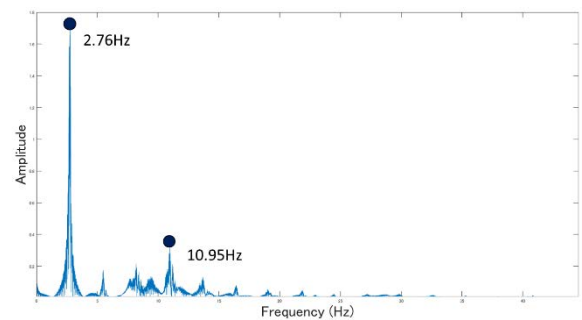


Figure 4 Fourier amplitude of the model bridge obtained from the moving vehicle experiment.

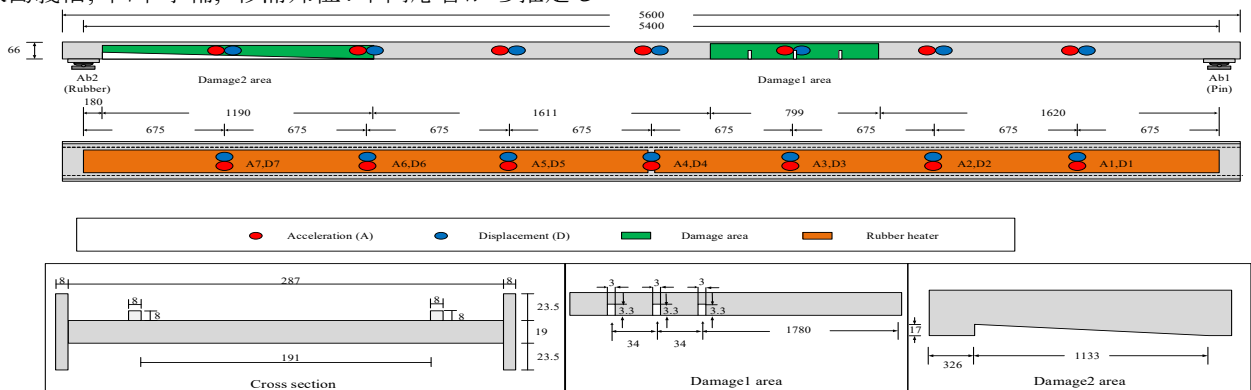


Figure 2 Model bridge with sensor deployment and damage model [unit: mm].