

回転角を用いた模型橋の FE モデルアップデート

京都大学	学生員	○上野	響己
京都大学大学院	学生員		Yu, Hanliang
京都大学大学院	正会員	金	哲佑

1. 序論

老朽化した橋梁の耐維持管理において構造ヘルスマニタリング (SHM) が検討されている。一方で、現状の SHM による構造物の耐荷性能の評価は容易ではない。このような状況で構造解析の役割が増加している。構造解析は、今後も橋梁の維持管理に重要な役割を果たすことが期待されており、センシングで得られた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) を進めていく必要がある。本研究では単純支持の模型橋梁に車両走行実験を行い、回転角を測定する。計測の回転角を再現できるように FE モデルアップデートを行い、アップデートした FE モデルを用いて、模型橋梁の損傷による曲げ剛性変化の検知可能性を検討する。

2. 加速度計による回転角の導出

以下の **Figure 1** のように加速度計を橋梁に設置すると、車両の走行によって橋軸方向の加速度 a_x はほぼ影響を受けないことから、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出来る。加速度計から回転角を求めるメリットは、変位計に比べて設置の容易さである。

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

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 5600mm、支間長 5400mm、有効幅員 287mm、高さ 66mm である。**Figure 2** の Ab1 側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。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、桁中央部付近と桁端部に人

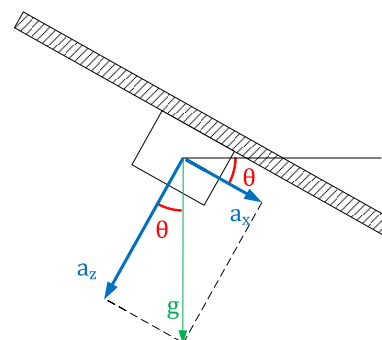


Figure 1 Derivation of rotational angle from acceleration.

工的な損傷 (**Figure 2** の Damage 1 と Damage 2 参照。以下、損傷 1 と損傷 2 と称する) 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、端部の補強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¹⁾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の 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。また Figure 4 は実験と FE 解析との差のヒストグラムであり、およそ誤差は 10% 程度であった。しかしながら誤差分布は正規分布でなく偏りやピークが観測された。

6. 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。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。しかしながら誤差分布は正規分布でなく偏りやピークが観測された。3) 変位においても同様の手法でモデルアップデートを行った結果、同様の傾向を示したが、誤差は変位の方が小さい結果となった。本研究では、モデルアップデートには回転角のみを用いたが、今後、振動特性やその他のデータとも重ね合わせ、様々な条件下で検討し、モデルアップデートの精度向上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

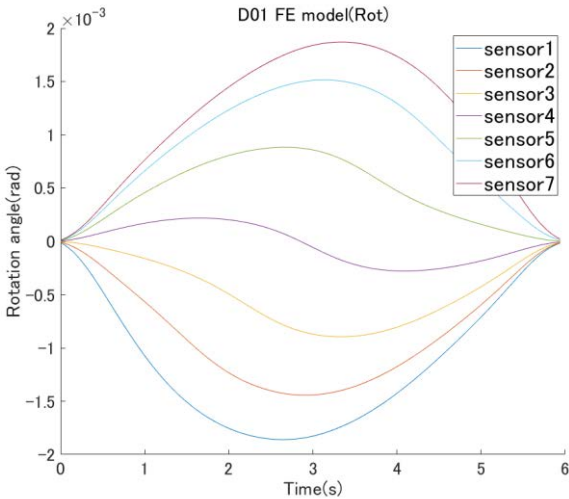


Figure 3 Time series of rotation angle in the updated FE model.

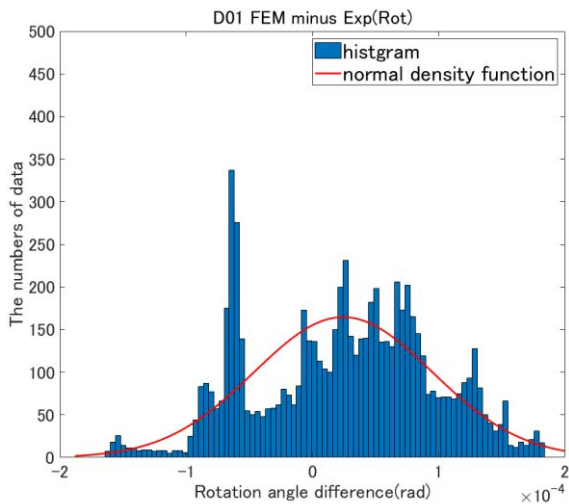


Figure 4 Distribution of difference in rotation angle between experiment and FE model.

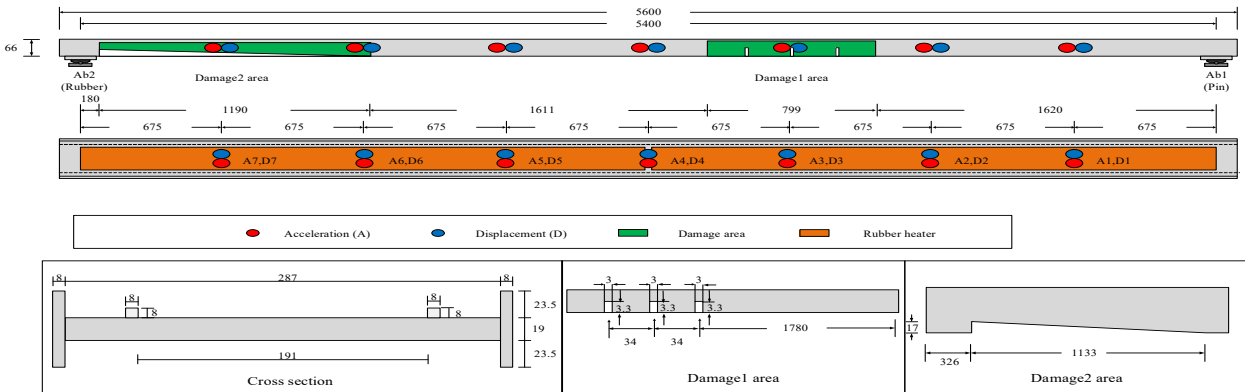


Figure 2 Model bridge with sensor deployment and damage model [unit: mm].