

1次モード特性を用いた単純梁の曲げ剛性分布の推定に関する実験的研究

徳島大学 学生会員 ○熊代高大 徳島大学 フェロー 成行義文
徳島大学 正会員 井上貴文

1. はじめに 日本の高度経済成長期に大量に建設された橋梁は、その多くが現在建設後50年を過ぎようとしており、早急な橋梁の点検・補修が必要である。しかし、現在の日本では技術者不足が問題になっているにもかかわらず、主な点検手法は人手が必要な近接目視であり、より合理的な点検手法の開発が望まれている。本研究では、橋梁の損傷度推定法を導くための基礎的な研究として1次モード特性を用いた単純梁の剛性分布の同定法について検討した。単純梁の1次モード特性を求めるための実験では、自由振動時の変位振幅の測定を従来のレーザ変位計だけでなく動画分析手法によっても実施し、その有用性について比較・検討した。

2. 剛性同定手法^{1) 2)} 本研究で用いたモード特性に基づく単純梁の剛性同定手法について説明する。

・ x 断面における曲率 $\kappa(x)$ と曲げモーメント $M(x)$ および曲げ剛性 $EI(x)$ との関係

$$\kappa(x) = \frac{M(x)}{EI(x)} \quad (1)$$

・ 微小変形理論の下での曲率 $\kappa(x)$ と梁の鉛直たわみ $y(x)$ との関係

$$\kappa(x) = -y''(x) \quad (2)$$

・ 曲げ剛性 $EI(x)$ の算定式

$$EI(x) = -\frac{M(x)}{y''(x)} \quad (3)$$

式(3)はある荷重に対する曲げモーメント $M(x)$ と、その時のたわみ分布 $y(x)$ の2階微分 $y''(x)$ から曲げ剛性 $EI(x)$ が求まることを意味している。一方、剛性行列・質量行列がそれぞれ $[k]$ 、 $[m]$ の場合の構造物の固有方程式は式(4)のようである。

$$([k] - \omega_r^2[m])\{\varphi_r\} = \{0\} \quad (4)$$

ここに、 ω_r : r 次の固有円振動数、 $\{\varphi_r\}$: r 次の固有ベクトルである。式(4)は式(5)のように変形できる。

$$\omega_r^2[M]\{\varphi_r\} = [K]\{\varphi_r\} \quad (5)$$

式(5)は、剛性行列 $[k]$ を有する構造物に荷重 $\{F_r\}$ (= $\omega_r^2[m]\{\varphi_r\}$)が作用した場合の変位 $\{y\}$ が $\{\varphi_r\}$ であることを示している。ここでは、系のモード特性(ω_r , $\{\varphi_r\}$)を含む前述の荷重 $\{F\}$ をモード荷重と呼ぶ。すなわち、系のモード特性が分かれば、それより決定されるモード荷重 $\{F\}$ に対する曲げモーメント $M(x)$ と変位 $\{y\}$ (= $\{\varphi_r\}$)の2階微分 $y''(x)$ から前出の式(3)より曲げ剛性 $EI(x)$ が求まる。なお、理論的には次数 r は任意であるが、実際の測定においては一般的に低次モードの方が、精度が良いと考えられるため本研究では $r=1$ (1次モード)とした。

3. 実験方法 実験に用いた単純梁は図2に示すような支間長1.08mのアルミ板(40mm×3mm×1080mm)である。無損傷(case ND)、中央付近損傷度10%(case CD10)、1/4 付近損傷度(case QD10)、支点付近損傷度10%(case SD10)の4つについて実験を行った。なお、本研究では前述の損傷度は曲げ剛性 EI の低減率と定義している。具体的には各供試体の注目箇所の EI が所定の大きさになるように下面を薄く削っている。

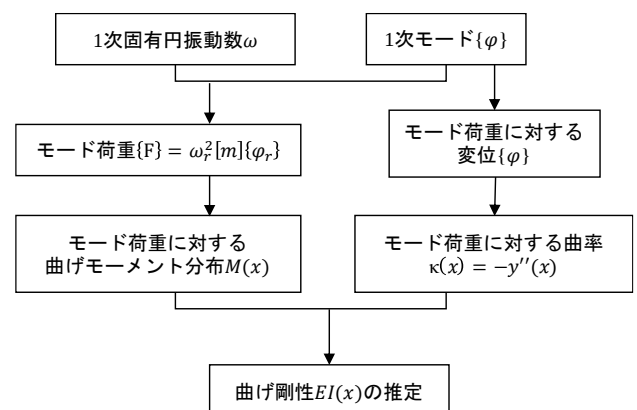


図1 1次モード特性に基づく
静定梁の剛性同定手順

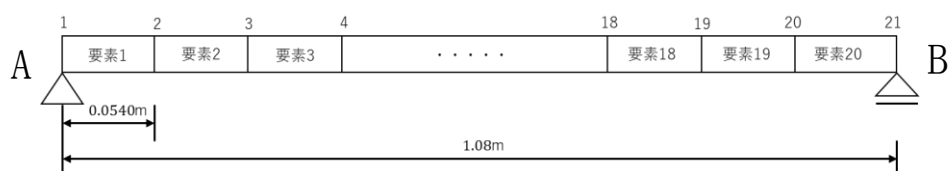


図2 実験モデルの概観図

梁の1次モード特性を実験的に求めるための梁の鉛直たわみの測定方法として、レーザ変位計を用いる方法および動画解析に基づく方法の2種類の方法を用いた。ここでは紙面の都合上、動画を用いた実験方法についてその概要を説明する。単純梁の中央に与えた初期変位により発生する自由振動の動画を撮影し、その動画から動画分析ソフトPV Studio 2D PROを用いて、図2の節点2~20の鉛直たわみの時刻歴データを取得した。

4. 実験結果 図3は前述の各損傷度の梁の実験より、求めた剛性低下率(損傷度)を示したものである。図中、オレンジ色(破線)がレーザ変位計により振幅計測を行った場合、また青色(1点鎖線)は動画を用いた場合のものである。なお、灰色(実線)は設定した損傷度の値である。なお、各線は図2の各要素を5等分した101節点の損傷度をつなげたものである。

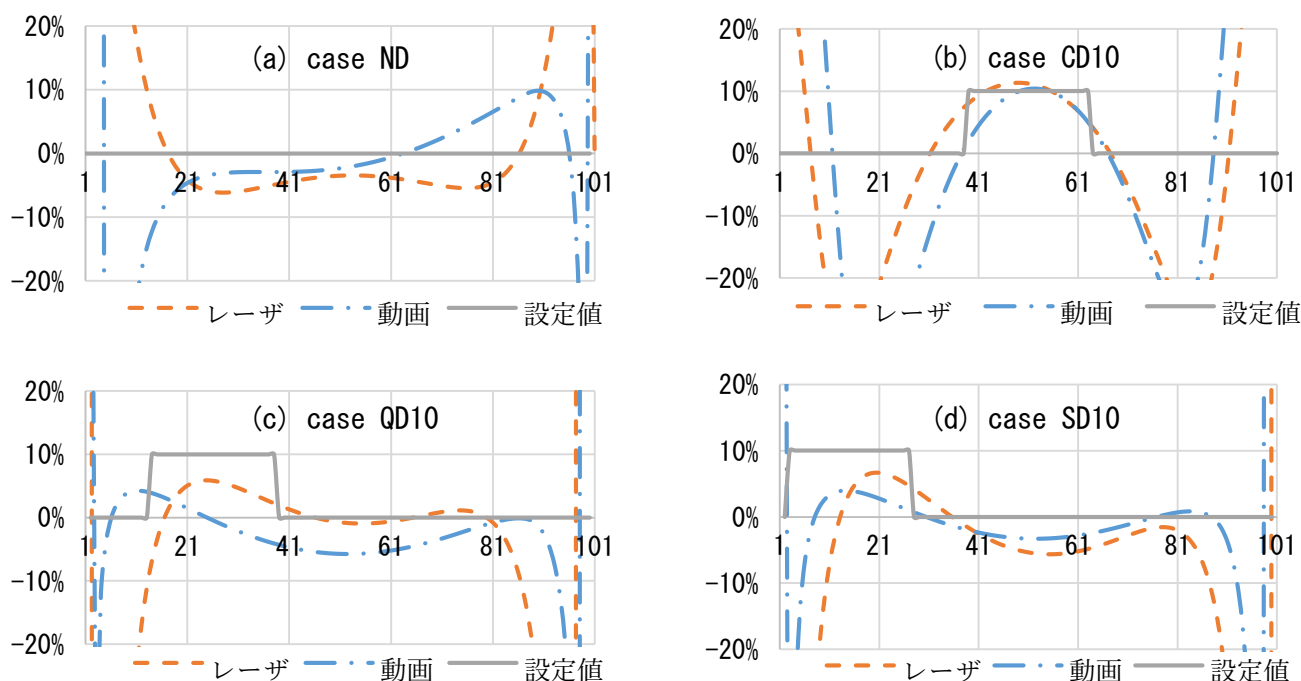


図3 実験より求めた剛性低下率

図3より、動画分析ソフトを用いた実験結果は、レーザ変位計のそれと比べてCD10(図3(b))については精度よく同定できていることがわかる。しかしcase (ND, QD10, SD10)については、レーザ変位計の方が精度は高いように思われる。とくにNDでは節点90付近で約10%の誤差が生じている。

5. おわりに case ND・QD10・SD10については損傷位置・数値はレーザ変位計を用いた方が剛性の同定精度は高いと思われる。しかしながら両者の形状は比較的似ている。今回の実験では両測定法の条件を等しくするためにあえて測定対象の節点数を等しくしたが、動画分析ソフトでは測定点を自在に増やすことができるため、精度の向上が可能であると考えられる。

6. 参考文献 1) 金田泰明, 成行義文, 井上貴文, 豊崎裕司: 1次モード特性を用いた単純梁の剛性評価ならびに損傷同定手法に関する研究, 土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, 第I部門24番, 2015.

2) Wei-Xin Ren・Guido De Roeck: Structural damage identification using modal data.I: Simulation verification, Journal of Structural Engineering, ASCE, vol.128, No.1, pp.87-95, 2002.