

既設橋脚の健全度調査へのウェーブレット同定の適応性に関する一検討

神戸大学工学部 正会員 山本 和宏
神戸大学工学部 正会員 北村 泰寿

(株)アーバン・エース 正会員 庄 健介

1. はじめに

既設橋脚の健全度を調べる方法として、重錘打撃試験によって得られる固有振動数を指標とする方法がある。この方法では、橋脚天端を重錘で打撃した際の応答波形から1次固有振動数と、いくつかの測点の速度応答を実測する。一方、橋脚-基礎系を多自由度系にモデル化し、重錘打撃力に対する各測点の応答計算値が実測値と一致するように、試行錯誤的に地盤支持力、弾性係数を推定して健全度を評価する。しかし、試行錯誤的な推定法は経験と労力を必要とするため、地盤支持力と弾性係数の同定手法の確立が望まれる。本研究では、重錘打撃試験によって得られる速度応答から、ウェーブレット変換を用い弾性係数、減衰係数を推定する手法について、数値シミュレーションによりその有効性を検討する。

2. ウェーブレット同定

時間的にも、周波数的にも局在するウェーブレット関数 $\psi(t)$ を用いて、関数 $f(t)$ のウェーブレット変換 $W_f(a,b)$ は次式のように表すことができる。

$$W_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1)$$

ここで、 a, b はそれぞれ、スケールパラメータ、シフトパラメータである。また、加速度 $\ddot{x}(t)$ 、変位 $x(t)$ のウェーブレット変換は、次式のように速度 $\dot{x}(t)$ を用いて表すことができる。

$$\left. \begin{aligned} W_{\ddot{x}}(a,b) &= \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} \ddot{x}(t) \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = -\frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} \dot{x}(t) \cdot \dot{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \\ W_x(a,b) &= \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = -\frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} \dot{x}(t) \cdot \left(\int \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \right) dt \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

上式より、ウェーブレット変換領域において、速度応答の測定値から加速度応答、変位応答を知ることができる。また、スケールパラメータ、シフトパラメータをそれぞれ $a = 2^{-j}, b = 2^{-j}k$ と離散化することによって、ウェーブレット変換は効率的に内積 $\langle \cdot, \cdot \rangle$ の形で表すことができる。

1質点系の運動方程式は、ウェーブレット変換領域において次式のように表すことができる¹⁾。

$$m \left\langle \dot{x}, -2^{-\frac{j}{2}} \dot{\psi}(2^j t - k) \right\rangle + c \left\langle \dot{x}, 2^{-\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k) \right\rangle + k \left\langle \dot{x}, -2^{-\frac{j}{2}} \int \psi(2^j t - k) dt \right\rangle = \left\langle p, 2^{-\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k) \right\rangle \quad (3)$$

この運動方程式に誤差項を加え、自乗誤差が最小となるように剛性マトリックス、減衰マトリックスを求めることができる。両マトリックスより、対象橋脚の弾性係数、減衰係数を推定する。

3. 数値シミュレーション

数値シミュレーションでは、図 1 に示す単柱橋脚のモデルを用いる。ここでは、下端固定とし、集中質量系の曲げモデルとして取り扱う。また、重錘打撃試験では、高さ方向に3測点の場合が多いため、3質点系にモデル化する。加振力には図 2 に示す重錘打撃力波形を用いる。Runge-Kutta法によって各質点の応答波形を計算する。

キーワード：ウェーブレット同定、重錘打撃試験、健全度評価、固有振動数、減衰係数

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 神戸大学工学部建設学科 TEL：078-803-6274 FAX：078-803-6069

本報では、弾性係数を 2.0×10^7 から 2.9×10^7 [kN/m]の間で 10 ケース、減衰係数を 40000、50000、60000 [kN sec/m]の 3 ケース ($h=0.3$ 付近) について計算する。弾性係数 2.4×10^7 [kN/m]、減衰係数 50000 [kN sec/m]における加振力波形と各質点での速度応答波形を図 2 に示す。モデル化によって決まる質量マトリックスとウェーブレット同定によって求められる剛性マトリックスから固有振動数が計算できる。順解析によって得られた固有振動数とウェーブレット同定において推定した固有振動数の関係を図 3 に示す。1 次、2 次、3 次とも固有振動数はよく一致している。また、同定した減衰マトリックス、剛性マトリックスから減衰係数、弾性係数を逆算した結果を図 4 に示す。この図から、減衰係数にやや誤差が見られるものの、弾性係数はほぼ一致していることが分かる。

4. まとめ

今回のウェーブレット同定では、減衰係数の推定値にやや誤差が見られたが、弾性係数については精度よく推定することができた。今後は、減衰係数の推定精度向上に対し、さらなる検討が必要となる。また、実測値を用い実務への適応を行っていきたい。

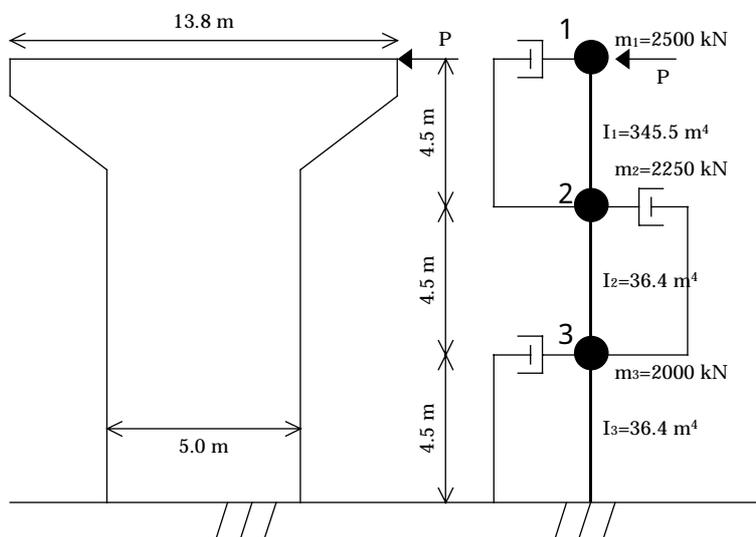


図 1 対象モデル

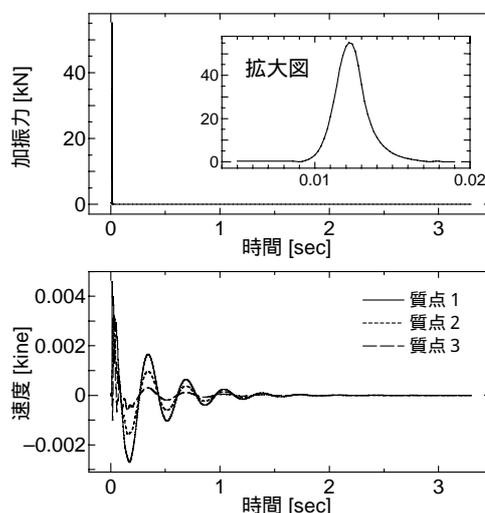


図 2 加振力と速度応答波形

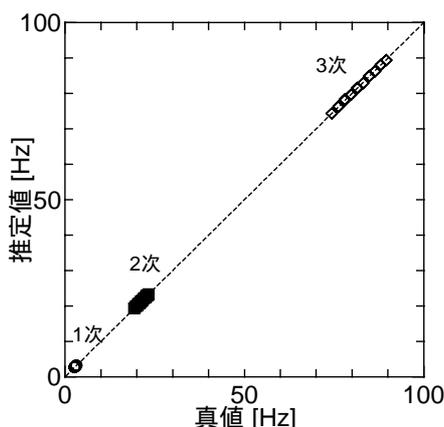
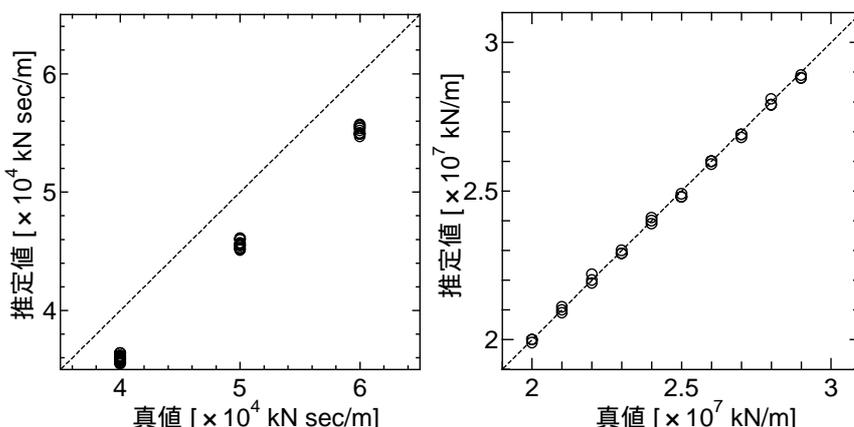


図 3 固有振動数の推定結果



(a) 減衰係数

(b) 弾性係数

図 4 減衰係数と弾性係数の同定結果

[参考文献]

1) 曾根彰・山本鎮男・増田新：入出力のウェーブレット変換を用いた多自由度系のパラメトリックなシステム同定、日本建築学会構造系論文集、第 504 号、pp.43-48、1998。