

衝撃加振により構造同定された道路橋の交通振動予測法

長崎大学大学院 学生会員○木村啓作 長崎大学工学部 フェロー 岡林隆敏
(株)日本構造橋梁研究所 正会員 古川 毅 長崎大学工学部 学生会員 平 貴子

1. はじめに

近年、橋梁の老朽化や車両交通量の増加に伴い振動問題が顕在化しているため、既存橋梁の振動特性を把握することが必要となっている。通常、道路橋交通振動では、有限要素法モデルによる振動解析が用いられているが、既存橋梁のモデル化には、部材の計測・算定など煩雑な作業が伴うため、モデル化に困難が伴う。そこで本研究では、交通振動レベルの予測を目的とする構造同定システムの提案を行った。本研究で用いる構造同定法は、衝撃加振による道路橋の観測データから ARMA モデルを用いて ARMA モデルパラメータを算出し、振動特性を明確にするものである。図-1 に本研究の目的を示し、図-2 にシステム同定の流れを示した。

2. 構造同定手法

(1) 1入力1出力におけるシステム同定

橋梁に外力が作用する場合の橋梁系の状態方程式は次式ようになる。

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bf(t) \\ y(t) &= Cx(t)\end{aligned}\quad (1)$$

(1)式は、次式のように ARMA モデル で表すことができる。

$$y_n = -\sum_{k=1}^n a_k y_{n-k} + \sum_{k=1}^n b_k f_{n-k} \quad (2)$$

入力をインパルス応答関数とし、(2)式より ARMA モデルパラメータ a 、 b を算出する。これより a 、 b を用いて次のような橋梁系を離散化した方程式が得られる。

$$\begin{aligned}\bar{x}_{k+1} &= \bar{A}\bar{x}_k + \bar{B}f_k \\ y_k &= \bar{C}\bar{x}_k\end{aligned}\quad (3)$$

ここで、

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ -a_n & -a_{n-1} & \cdots & -a_{n-1} \end{bmatrix}, \quad \bar{C} = [1 \ 0 \ \cdots \ 0]$$

である。

(2) 路面凹凸を入力とする振動レベルの推定法

車両を図-4 のようにモデル化すると、車両系の運動方程式は次のようになる。

$$\begin{aligned}\ddot{z}(t) + 2h_0\omega_0\{\dot{z}(t) - \dot{y}_v(t) - \dot{r}(t)\} \\ + \omega_0^2\{z(t) - y_v(t) - r(t)\} = 0\end{aligned}\quad (4)$$

ここで、 ω_0 、 h_0 は車両の固有円振動数と減衰定数、 $r(t)$

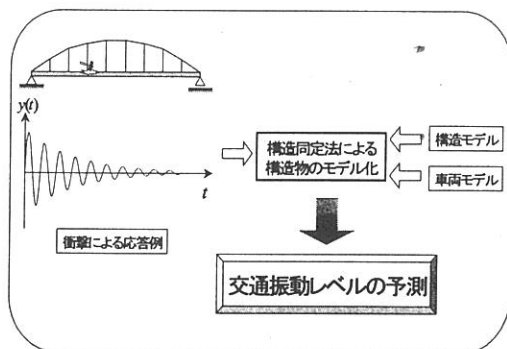


図-1 本研究の目的

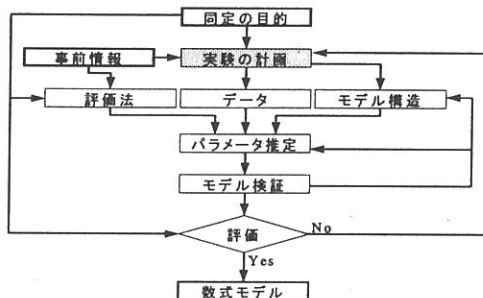


図-2 システム同定の流れ

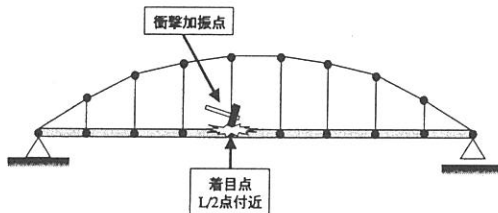


図-3 補剛アーチ橋モデル

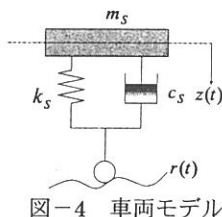


図-4 車両モデル

表-1 車両諸元

重量(tf)	20
固有振動数 f_0 (Hz)	3.0
減衰定数 h_0	0.03

は路面凹凸、 y_v は車両直下の橋梁のたわみである。離散化された車両の方程式と車両の接地力は次式となる。

$$z_{k+1} = \hat{A}_z z_k + \hat{B}_z \bar{C}_x x_k + \hat{D}_z r_k \quad (5)$$

$$f_k = -m_s \ddot{z}(t) = \hat{E}_z z_k - \hat{E}_z \bar{C}_x \bar{x}_{k+1} - \hat{E}_z r_k \quad (6)$$

(6)式を(3)式に代入すると次式が得られる。

$$\bar{x}_{k+1} = D_x \bar{A} \bar{x}_k + D_x \bar{B} \hat{E}_z z_k - D_x \bar{B} \hat{E}_z r_k \quad (7)$$

ここで、 $z_k = [z_k \quad \dot{z}_k]^T$ 、 $r_k = [r_k \quad \dot{r}_k]^T$ 、

$\hat{E}_z = m_s [\omega_0^2 \quad 2h_0 \omega_0]$ 、 $D_x = (I + \bar{B} \hat{E}_z C_x)^{-1}$ である。

(5)式と(7)式を合成すると、次のような橋梁-車両系を離散化した方程式が得られる。

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_{k+1} \\ z_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_x \bar{A} & D_x \bar{B} \hat{E}_z \\ \hat{B}_z \bar{C} & \hat{A}_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_k \\ z_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -D_x \bar{B} \hat{E}_z \\ \hat{D}_z \end{bmatrix} r_k \quad (8)$$

3. シミュレーション結果と考察

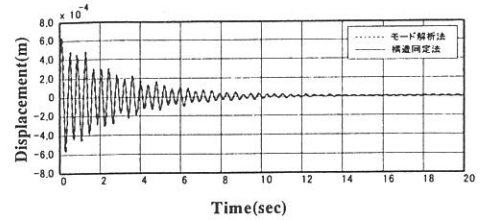
観測データは実際には衝撃加振試験により求めるが、ここではモード解析法(Runge-Kutta法)により求め、ARMAモデルパラメータを算出した。(3)式を用いて図-3に示す補剛アーチ橋モデルに衝撃力が作用する場合の振動応答シミュレーションを行い図-5に示した。(a)は変位応答、(b)は速度応答を示している。衝撃加振点、着目点ともに $L/2$ 点付近の節点とした。実線は構造同定法による衝撃加振応答を、破線はモード解析法による衝撃加振応答である。両解析法を比較すると、変位応答、速度応答ともに実線と破線は良い一致を示し、構造同定法により振動応答レベルを推定できたと考えられる。

次に1入力1出力システムを拡張し、路面凹凸を入力とする道路橋の交通振動レベルの推定シミュレーションを行い、変位応答を図-6に示した。(a)はモード解析法、(b)は構造同定法により求めた結果である。また、図-7に変位応答のパワースペクトル密度を示す。両解析法を比較すると、構造同定法による推定を行った場合、応答レベルを小さく評価され、また高次振動成分が増加している結果になっていることが分かる。7秒付近からの自由振動に着目すると減衰力を大きく評価していることが分かる。

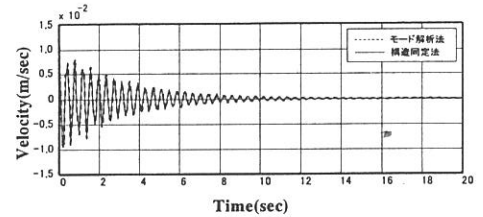
4. まとめ

衝撃加振が作用する場合についてのシミュレーションでは、構造同定法による振動応答が観測データと一致した結果が得られたため、本手法の妥当性が確認できた。走行車両による道路橋の交通振動レベルの推定に関しては、振幅やパワースペクトル密度において若干の問題がある。その原因として構造モデルの構造同定の精度と時間刻みの設定の決定法に問題があると考えられる。今後、この問題に対して検討を行う必要がある。

[参考文献]1)中溝高好：信号解析とシステム同定，コロナ社，1988.3

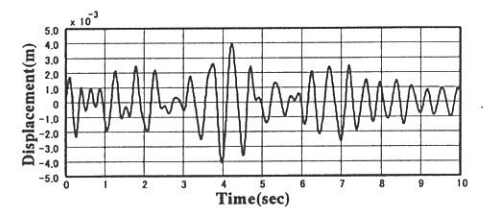


(a)変位応答

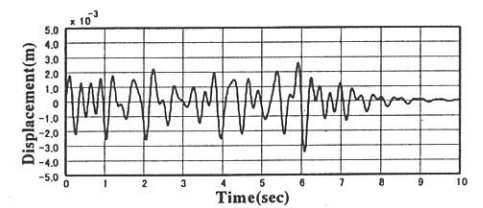


(b)速度応答

図-5 衝撃加振による構造同定法の検討

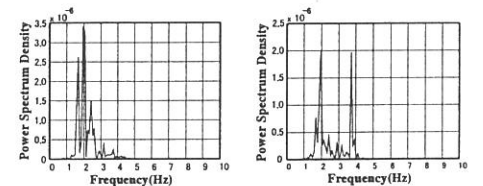


(a)モード解析法 (Runge-Kutta 法)

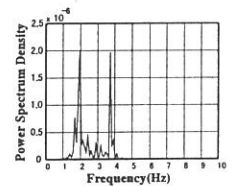


(b)構造同定法

図-6 交通振動レベルの推定



(a)モード解析法



(b)構造同定法

図-7 変位応答のパワースペクトル密度