

I-301

道路橋の衝撃加振試験における周波数領域法と時間領域法の推定精度

長崎大学工学部 ○正 員 岡林 隆敏 前田建設工業(株) 正 員 龍 博志
日本PSコンクリート(株) 正 員 北山 良 長崎大学工学部 正 員 小西 保則

1. はじめに

衝撃加振試験から得られたデータから、構造物のシステム同定をする方法として、系の周波数伝達関数に曲線適合させる周波数領域の方法と、系の単位衝撃応答関数に曲線適合させる時間領域の方法がある。これらの手法は、前者はアナログフィルタ的な手法であり、後者はデジタルフィルタ的な方法と考えることができる。著者らは、より精度の高い推定を実行するために、これらの手法にいくつかの改善を加えてきた。本報告は、これらの推定法の精度について検討すると共に、各推定法の特長について述べたものである。

2. 衝撃加振シミュレーション

本研究では、図-1のようなトラスダンガー橋を有限要素でモデル化し、これに半弦波状の関数で表される衝撃力を加えて、数値シミュレーションによりデータを得ている。橋梁の振動数と、仮定した減衰定数を表1に示した。推定誤差の原因となる観測雑音を0~20Hzの白色雑音として合成し応答に加えている。SN比は、応答実効値 $\sigma_s = Y_{max}/\sqrt{2}$ と観測雑音の標準偏差の比で定義する。

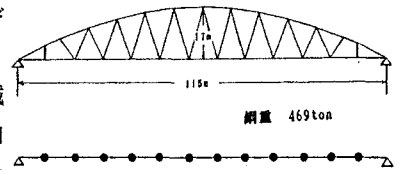


図-1 シミュレーションモデル

3. 周波数領域法による推定

周波数範囲 $\omega_L \leq \omega \leq \omega_U$ に n 個の共振点を有する一般粘性系線形多自由度系のコンプライアンスは、近似的に次式で表される。

$$G(\omega) = \sum_{r=1}^n \frac{U_r + jV_r}{j(\omega - \omega_{dr}) + \sigma_r} + \frac{U_r - jV_r}{j(\omega + \omega_{dr}) + \sigma_r} - \frac{C + jD}{\omega^2} + E + jF \quad \dots (1)$$

である。C, D, E, Fは、範囲外の影響を表示するためのパラメータである。実測により得られたコンプライアンスを $G(\omega_i)$ とし、周波数の区間 ω_i ($i=1, m$) において、

$$\epsilon = \sum_{i=1}^m \{G(\omega_i) - G(\omega_i)\}^2 \quad \dots (2)$$

が最小になるようにパラメータを決定する。詳細は、文献(3)に示した。周波数領域法の処理のフローチャートを図-2に示した。

4. 時間領域法における推定

一般粘性系の単位衝撃応答関数は

$$h(\Delta t \cdot k) = \sum_{r=1}^n (a_r \cdot X_r + a_r^* \cdot X_r^*) \quad \dots (3)$$

で与えられる。ここに、 $a_r = U_r + jV_r$, $X_r = \exp(-\sigma_r + j\omega_{dr}) \Delta t \cdot k$ であり、*は共役複素数である。時間領域法（プロニーの方法）では、図-3の手順でパラメータを推定する。

$$Rb = \Gamma \quad \dots (4)$$

$$R(i, k) = R(k, i) = \sum h((i+1)\Delta t) \cdot h((k+1)\Delta t)$$

表-1 橋梁の振動特性

	振動数	減衰定数
1 次	1.3302	0.05
2 次	2.6321	0.05
3 次	4.2584	0.04
4 次	5.7307	0.04
5 次	7.1703	0.03
6 次	8.7685	0.02
7 次	10.7132	0.01

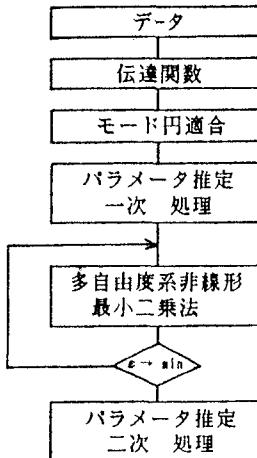


図-2 周波数領域

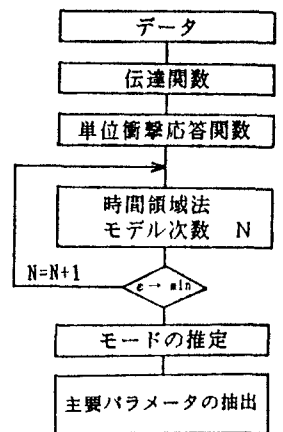


図-3 時間領域

$$\mathbf{b} = [b_0, b_1, \dots, b_{2n-1}]$$

$$\mathbf{r} = [R(0, 2n), R(1, 2n), \dots, R(2n-1, 2n)]$$

この式より $\mathbf{b}$ を求める。 $\mathbf{b}$ を係数とする高次代数方程式

$$\sum b_i X^i = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

の根が X_r と X_r になっているので、これより σ_r と ω_{dr} が求まる。

次に、実測より得られた単位衝撃応答関数 $h(\Delta t, k)$ と(3)式の残差 e を最小にするように、 U_r と V_r を決定し、モードを推定する。

時間領域法では、最適モデル次数 n を決める手法が確立していない。本研究では、推定しようとする構造系の自由度の2倍を上限として、残差 e を最小とするものを最適モデル次数とした。

5. 数値結果と考察

SN比を0～20%まで変化させて、各手法による振動数、減衰定数および振動モードの推定誤差について検討した。それぞれの値は、図-1のモデルの左から2点、5点、6点を加振したときの推定のなかで、推定精度の良いものを選んで示したものである。

a) 振動数 4次振動を除いては推定誤差は1%以内に収まっている4次振動では、時間領域法の誤差が大きい。しかし、いずれの手法においても、SN比20%の場合、推定精度は3%以内であり、高い精度の推定が可能である。

b) 減衰定数 6次振動以外は、時間領域法の精度が良い。周波数領域法では、振動次数の増加に伴って、推定精度が劣化している。変位応答では、低次の振動が強調されるためであり、高次振動ではSN比は20%よりさらに高くなる。速度応答波形の処理を行なうと改善されると予想される。

c) モードの推定 モードの推定は時間領域法が優れている。ことが図-5よりわかる。

6. おわりに

振動数、減衰定数については周波数領域法が良く、振動モードについては時間領域法がよい。時間領域法では、構造モデル以上のモデル次数で曲線適合するので、実在しない振動特性が現れる。これらの処理が今後の課題である。

〔参考文献〕

- (1) 長松昭男：モード解析，培風館。
- (2) 龍，岡林，小西，有角：昭和63年度土木学会西部支部研究発表会。
- (3) 有角，岡林，小西，龍：昭和62年度土木学会西部支部研究発表会。

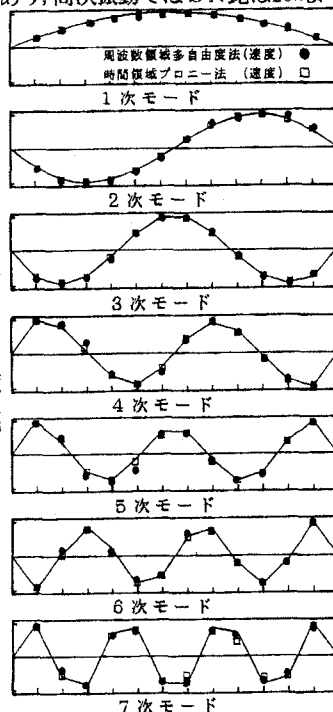


図-5 モードの推定

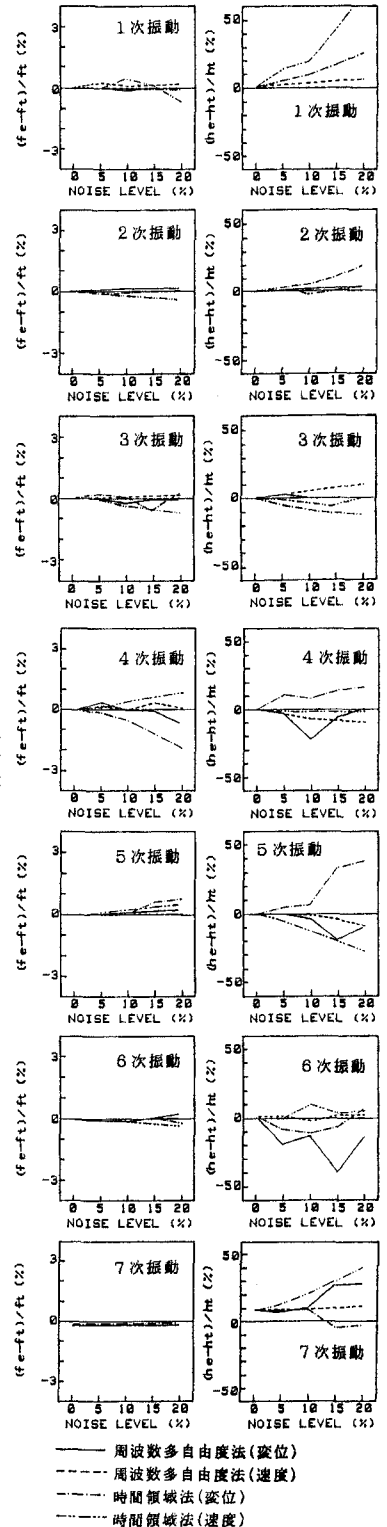


図-4 振動数と減衰定数の推定