衝撃加振による周波数領域法と時間領域法の推定精度の比較

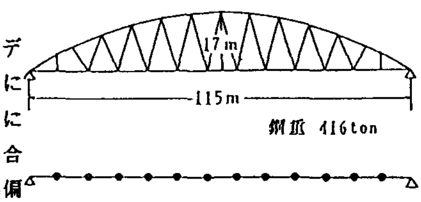
長崎大学工学部○正　員　岡林　隆敏　長崎大学工学部　正　員　小西　保則
長崎大学大学院　学生員　龍　　博志　長崎大学工学部　学生員　北山　　良

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[1]がある。これらの手法は，前者はアナログフィルター的な手法であり，後者はデジタルフィルター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[2][3]。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，各推定法の特性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のようなトラスドランガー橋を有限要素でモデル化し，これに半弦波状の衝撃力を加えて，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

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

3．周波数領域法における推定

周波数範囲$\omega_L \leqq \omega \leqq \omega_U$にn個の共振点を有する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。

$$G(\omega)=\sum_{r=1}^{n}\left\{\frac{Ur+jVr}{j(\omega-\omega_{dr})+\sigma_r}+\frac{Ur-jVr}{j(\omega+\omega_{dr})+\sigma_r}\right\}-\frac{C+jD}{\omega^2}+E+jF \cdots (1)$$

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$\widehat{G}(\omega_i)$とし，周波数の区間ω_i (i=1, m)において，

$$\varepsilon=\sum_{i=1}^{m}\{G(\omega_i)-\widehat{G}(\omega_i)\}^2 \cdots\cdots (2)$$

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

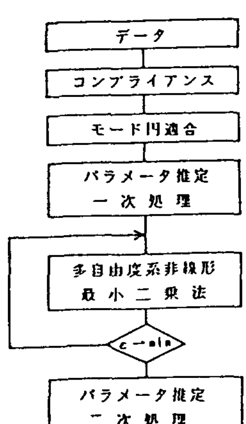
一般粘性系の単位衝撃応答関数は

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

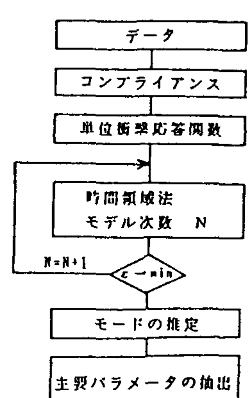
で与えられる。ここに，$a_r = Ur+jVr$，$X_r = \exp(-\sigma_r + i\omega_{dr})\Delta t\cdot k$であり，＊は共役複素数である。時間領域法（プローニーの方法）では，図－3の手法でパラメータを推定する。

$$\mathbf{R}\mathbf{b}=\mathbf{r} \cdots\cdots (4)$$

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



図－2　周波数領域



図－3　時間領域

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

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

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

$$\Sigma b_k X^k = 0 \quad \cdots\cdots(5)$$

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(△t·k)と(3)式の残差εを最小にするように，UrとVr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ε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。

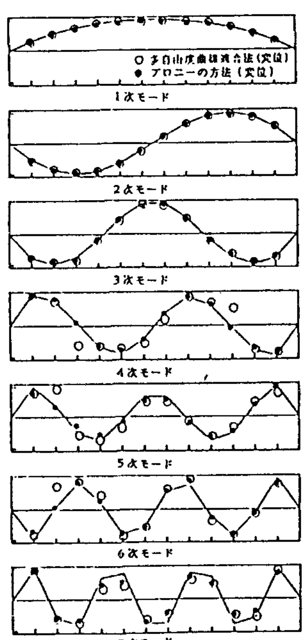
ａ）振動数　　４次振動を除いては推定誤差は１％以内に収っている４次振動では，時間領域法の誤差が大きい。しかし，いずれの手法においても，ＳＮ比20%の場合，推定精度は３％以内であり，高い精度の推定が可能である。

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。

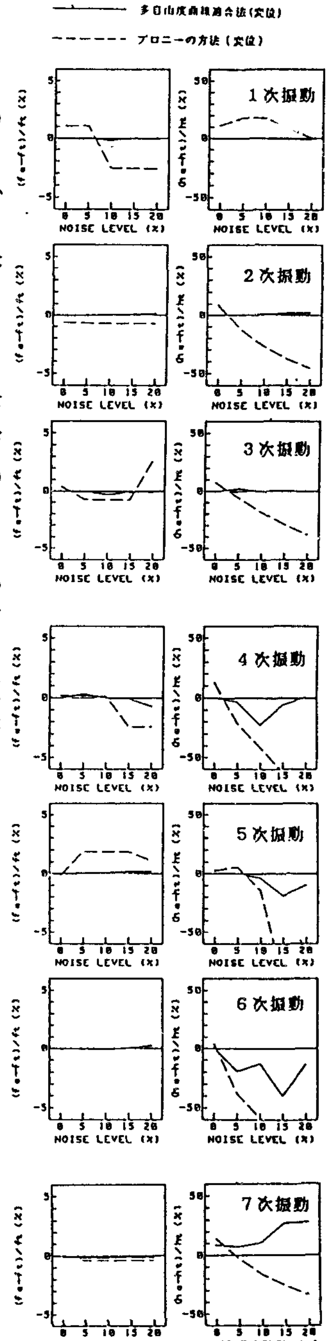
ｃ）モードの推定　　モードの推定は時間領域法が優れている。ことが図－５よりわかる。

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。



図－５　モードの推定



図－４　振動数と減衰定数の推定

〔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63年度土木学会西部支部研究発表会．