

周波数領域曲線適合による構造物の動特性推定

長崎大学工学部 学生員 〇龍 博志 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 長崎大学工学部 学生員 有角 明

1. はじめに

振動による道路橋の損傷診断では、従来の振動計測より高い精度の振動特性を推定することが要求されている。著者等は、短時間で実験ができ、かつ高精度の振動推定の可能な衝撃加振法を開発してきた。道路橋の衝撃加振法では、測定値に常時微動及び様々な高いレベルの観測雑音^(a)が混在するために、とりわけ雑音に強い振動特性推定法の開発が必要になっている。この報告では、シミュレーションにおいて、付加する雑音の割合を変えた、いくつかの応答波形について、データ処理時における観測雑音の除去対策の効果と、各推定法の精度について検討したものである。パラメータ推定法としては、⁽¹⁾周波数領域で考えモード円適合、多自由度法を採用した。

2. 周波数領域法について

2-1. モード円適合

個々の固有モード間の連成が少なく、 r 次の固有モードが卓越している共振点近傍の周波数範囲では、他の固有モードの影響が少ないと考えられる。その共振点付近の伝達関数は、次式のように1自由度系として表わせる。

$$G(\omega) = \frac{U_r + i V_r}{i(\omega - \omega_{dr}) + \sigma_r} + \frac{U_r - i V_r}{i(\omega + \omega_{dr}) + \sigma_r} + R_r + I_r \quad (1)$$

$$\omega_{dr} = \Omega_r \sqrt{1 - \zeta_r^2}, \quad \sigma_r = \Omega_r \zeta_r, \quad i = \sqrt{-1} \quad (2)$$

これをナイキスト線図上に表せば、円を描く。同じく実測データのコンプライアンスも、共振点付近では近似的に、円になると考えられる。そこで、最小二乗法により(1)式に曲線適合させることにより、これより得られる中心角の変化量、中心、半径の情報から各パラメータを推定する。

$$\left. \begin{aligned} \omega_{dr} &= \frac{(\omega_k + \omega_{k+1})}{2} \\ f_r &= \frac{\sqrt{\omega_{dr}^2 + \sigma_r^2}}{2\pi} \\ \zeta_r &= \frac{\sigma_r}{\Omega_r} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

2-2. 多自由度法

一般粘性減衰のコンプライアンスは、次式で表せる。

$$G(\omega) = \sum_{r=1}^n \left\{ \frac{U_r + i V_r}{i(\omega - \omega_{dr}) + \sigma_r} + \frac{U_r - i V_r}{i(\omega + \omega_{dr}) + \sigma_r} \right\} + \frac{C + i D}{\omega^2} + E + i F \quad (4)$$

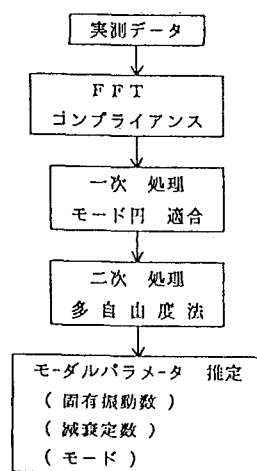


図-1 モーダルパラメータ推定

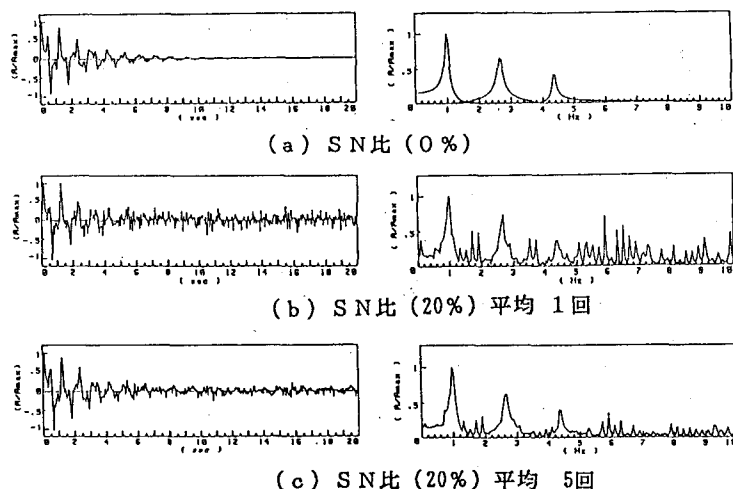


図-2 応答波形と伝達関数のボド線図

本法では、非線形最小二乗法を用いて、繰返し計算を行うことによってパラメータを推定するものである。(4)式中の推定するパラメータ、 $U_r, V_r, \omega_{dr}, \sigma_{dr}, C, D, E, F$ をまとめて γ_h ($h=1\sim 4n+4$) とする。推定パラメータ γ_{hs} を $\Delta \gamma_h$ だけ微小変化量させると、次式で表わせる。

$$\gamma_h = \gamma_{hs} + \Delta \gamma_h \quad \text{----- (5)}$$

(4)式を $\Delta \gamma_h$ に関してテイラー展開して一次項までとれば次式で表せる。

$$\begin{aligned} G(\omega, \gamma_h) &\cong G(\omega, \gamma_{hs}) + \sum_{h=1}^{4n+4} \frac{\partial G}{\partial \gamma_h}(\omega, \gamma_{hs}) \cdot \Delta \gamma_h \\ &= A_{re} + i A_{im} \quad \text{----- (6)} \end{aligned}$$

対象周波数領域において実験データの実部を $G_{re,i}$ 虚部を $G_{im,i}$ おけば、誤差関数は次式で表せる。

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \{ (G_{re,i} - A_{re,i})^2 + (G_{im,i} - A_{im,i})^2 \} \quad \text{----- (7)}$$

推定するパラメータの初期値には、モード円適合により得られた結果を用いている。以上のパラメータ推定のフローチャートを図-1に示した。

3. 観測雑音と、データ処理について

観測雑音は、0~10(Hz) までの白色雑音を考え、SN比は雑音のパワー σ_n^2 と応答のパワー $\sigma_s^2 = Y_{max}^2/2$ の比で定義している。曲線適合する前に、実験データに含まれる観測雑音を除く必要がある。そこで、時間領域において異なった雑音が加わった応答波形を加算平均することにより、雑音の軽減を行った。SN比20%において、加算平均なしのものと加算平均5回のを比べると、図-2に示されるように、応答波形についても、ボード線図についても明らかに雑音が軽減されている

4. 各推定法による結果と考察

図-3は雑音レベルを、10%~20%まで、5%ごとに増加させた時の各振動次数における、手法別の固有振動数と減衰定数の推定誤差を示したものである。固有振動数については、雑音レベルが増大しても、二次処理の多自由度法まで行くと、各振動次数とも0.1%内に入っており高精度の推定をしているといえる。減衰定数についても2次までは、0.1%内に入っているが3次は、SN比20%において、10%以内とやや誤差が大きくなる傾向がある。表-1は、SN比20%での多自由度法によるモードの推定を示したものである。各振動次数とも良好な推定を行っている。以上の結果から、3自由度系シミュレーションにおいては、雑音に強い推定法であるといえる。さらに、より高次の多自由度シミュレーション及び実橋実験の結果については、講演時に述べる。

【参考文献】(1)長松:モード解析,培風館。(2)岡林,原,梶川,沖野:62年土木学会第42回学術講演会

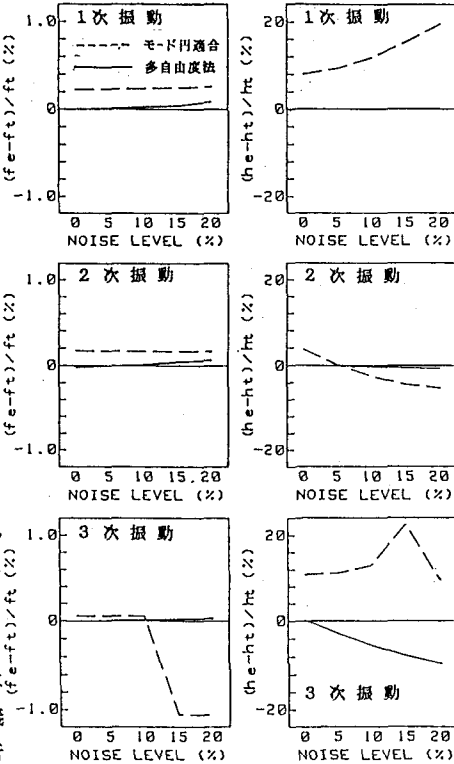


図-3 各推定量の推定誤差

表-1 真のモードと推定モード

	1 点	2 点	3 点
(1次振動)			
真 値	0.53770	1.00000	0.54401
SN比(20%)	0.57138	1.00000	0.53650
(2次振動)			
真 値	-0.99996	0.00003	1.00000
SN比(20%)	-0.91364	-0.02421	1.00000
(3次振動)			
真 値	-0.91904	1.00000	-0.91904
SN比(20%)	-0.80617	1.00000	-0.81646