

衝撃加振における測定データによる推定精度に関する考察

長崎大学工学部 学生員〇北山 良 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

1. はじめに

衝撃加振試験による構造物の動特性⁽¹⁾⁽²⁾推定において、変位応答による測定データでは低次振動のパラメータの推定の精度が高く、他方、速度応答による測定データでは高次振動のパラメータの推定が精度が高くなる傾向がある。本研究では、周波数領域における曲線適合と時間領域における手法により、変位と速度の測定データによる推定結果の精度について考察を行った。周波数領域の手法では非線形最小二乗法による多自由度曲線適合法⁽³⁾を適用し、また、時間領域における手法では、プロニーの方法⁽⁴⁾を適用した。

2. 周波数領域における推定

測定データをA/D変換し、さらにFFTによりフーリエ変換することにより、コンプライアンス(変位応答の伝達関数)、あるいはモビリティ(速度応答の伝達関数)を求める。

線形振動理論より、一般粘性系のコンプライアンスは、次式で表される。

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

また、コンプライアンスとモビリティには、次の関係がある。

$$H(\omega) = j\omega G(\omega) \dots (2) \quad \text{表-1 シミュレーションモデルの振動数と減衰定数}$$

従って、モビリティは、次式で表される。

$$H(\omega) = \sum_{r=1}^n \left\{ \frac{j\omega U_r - \omega V_r}{j(\omega - \omega_{dr}) + \sigma_r} + \frac{j\omega U_r + \omega V_r}{j(\omega + \omega_{dr}) + \sigma_r} \right\} - \frac{jC - D}{\omega} + j\omega E - \omega F \dots (3)$$

$\omega_L \leq \omega \leq \omega_U$ の間に n 個の共振点があるとした場合、 $4n+4$ 個のパラメータ ω_{dr} , σ_r , U_r , V_r , C , D , E , F を決定する。この区間の実測のコンプライアンス $\hat{G}(\omega)$ およびモビリティ $\hat{H}(\omega)$ と (1) および (2) 式で与えられた式の差が最小になるように、最小二乗法により各パラメータを決定する。

3. 時間領域における推定

測定データよりコンプライアンスおよびモビリティを求め、これを逆フーリエ変換することにより、変位および速度の単位衝撃応答関数を得る。

一般粘性系の単位衝撃応答関数は、次式で与えられる。

$$h(t) = 2 \sum_{r=1}^n \exp(-\sigma_r t) \cdot (U_r \cos \omega_{dr} t - V_r \sin \omega_{dr} t) \dots (4)$$

この式を微分することにより、速度の単位衝撃応答関数を得る。

$$\dot{h}(t) = 2 \sum_{r=1}^n \exp(-\sigma_r t) \cdot \left\{ -(\sigma_r U_r + \omega_{dr} V_r) \cdot \cos \omega_{dr} t + (\sigma_r V_r - \omega_{dr} U_r) \cdot \sin \omega_{dr} t \right\} \dots (5)$$

4. 衝撃加振シミュレーションについて

推定のために用いたデータは、衝撃加振シミュレーションより求めた。

シミュレーションでは、図-1 に示すようなトラストランガー橋を有限要素

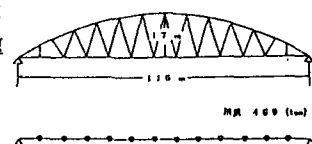
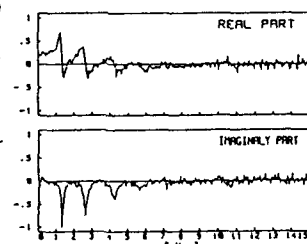
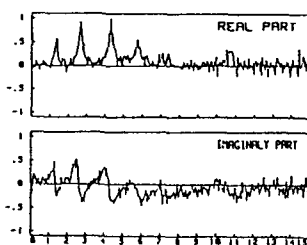


図-1 トラストランガー橋のモデル化

	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次	6 次	7 次
固有振動数	1.3302	2.6321	4.2584	5.7301	7.1703	8.7685	10.7132
減衰定数	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01



(a)コンプライアンス



(b)モビリティ

図-2 SN比20%の伝達関数

法により、12自由度系の離散化モデルとして構成した。実橋の実験では、衝撃加振の応答に観測雑音加わり、これがパラメータ推定の誤差の原因となる。シミュレーションでは、0～20 (Hz)の白色雑音を合成し、SN比は雑音のパワー σ_n^2 と応答の実効値 $\sigma_s^2 = Y_{max}/2$ で定義する。 Y_{max} は、衝撃加振応答における最大の振幅である。

5. 各推定における結果と考察

この橋梁の振動特性を表-1に示した。衝撃加振シミュレーションで、SN比0～20%まで変化させ、それぞれの推定法で、固有振動数、減衰定数および振動モードを推定した。図-2は、SN比20%の伝達関数である。固有振動数、減衰定数については、表-1で示した真の値との誤差を真の値に対する%で示している。

a) 固有振動数の推定 図-3にSN比10%と20%の場合の各手法で推定した振動数の誤差を示した。観測雑音が増加すると、推定誤差が増加することがわかる。SN比が20%の場合、1次振動数の推定では、周波数領域および時間領域の推定法のいずれでも、変位応答のデータによる推定が精度が高い。7次振動では、いずれの方法でも同じ推定誤差となっているが、4次および5次振動では、逆に速度応答のデータによる推定が精度が高くなっている。

b) 減衰定数の推定 図-4に、SN比10%と20%の各手法による減衰定数の推定誤差を示した。振動数と同じく、雑音レベルが高くなると推定誤差が増加する。1次振動次数の減衰定数の推定では、いずれの手法でも変位応答のデータを用いた推定が速度応答のデータを用いた推定より精度が良い。また5、6および7次振動の高い次数の減衰定数の推定では、速度応答のデータを用いた推定が精度が良い。

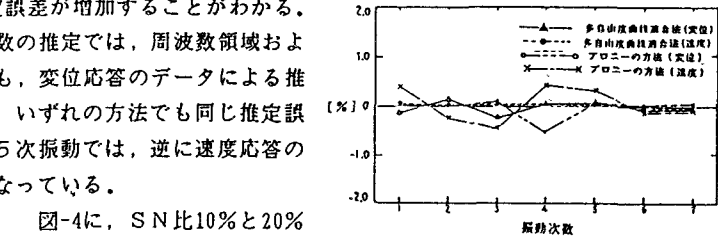
c) 振動モードの推定 図-5は、SN比20%のプロニーの方法の速度応答によって推定した振動モードと真のモードを示したものである。速度応答のデータが良い推定をするが、図上では識別できない。

6. おわりに

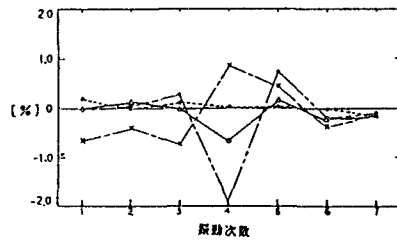
実測では加速度波形を収録しこれを速度および変位波形に変換する。しかし、速度波形が処理し易い。変位応答のデータでは低域が、速度応答のデータは比較的、高域のパラメータの推定精度が高いことが確認できた。

〔参考文献〕

- (1)岡林, 原, 梶川, 沖野: 62年土木学会第42回学術講演会。
- (2)長松: モード解析, 培風館。
- (3)龍, 岡林, 小西, 有角: 63年土木学会西部支部研究発表会
- (4)有角, 岡林, 小西, 龍: 63年土木学会西部支部研究発表会

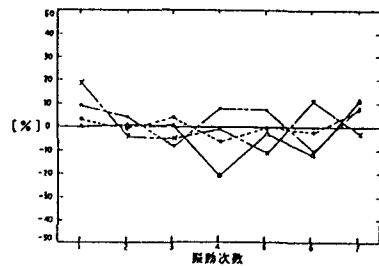


a) SN比10%の場合

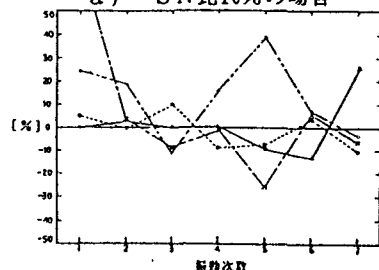


b) SN比20%の場合

図-3 振動数の推定誤差



a) SN比10%の場合



b) SN比20%の場合

図-4 減衰定数の推定誤差

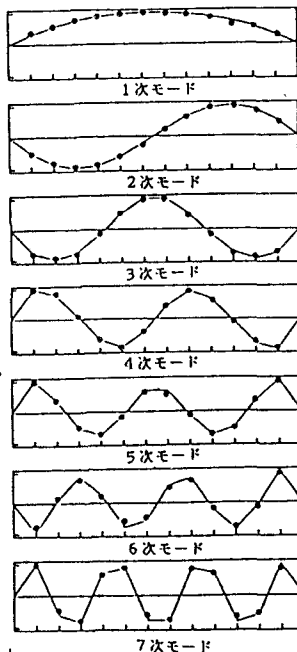


図-5 振動モードの推定