

武蔵工業大学 学生会員 林 継恩
 武蔵工業大学 正会員 星谷 勝
 (株)前田建設工業 正会員 斉藤芳人

1. はじめに

一般に、構造物の同定で用いる入力地震動や微振動などの加速度値であるため、物理特性値そのものではなくモード特性の同定となる。物理特性値を同定する場合には、任意の1質点の質量を既知とする必要がある¹⁾。しかし、実際の構造物における質量は不明場合が多い。ここでは、制振装置や起振機を利用することで、“力”を入力とする構造物の物理特性値の同定手法を提案するとともに、各パラメータの同定精度について考察する。

2. 解析モデル及び解析手法

解析モデルは図-1に示すような3自由度系とする。材料定数及びレーリー比例係数は表-1に示した。減衰は部材減衰(非比例減衰)の場合とレーリー減衰(比例減衰)の場合の2ケースについて検討する。“力”は図-2に示すEl-Centro波形に質量1.0単位を乗じて“力”として最上階のみに作用させる。解析手法にはEK-WGI法¹⁾を用い、観測点は全点観測及び一部観測の場合について検討する。

3. 状態方程式の定式化

最上階に力 f が作用利用した場合の運動方程式は、式<1>に示される。

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = F \quad <1>$$

ここで、 $F = [f, 0, 0]^T$ 、 $Z_1 = [X_1, X_2, X_3]^T$ 、 $Z_2 = [\dot{X}_1, \dot{X}_2, \dot{X}_3]^T$ 、 $Z_3 = [Z_7, Z_8, Z_9, Z_{10}, Z_{11}]^T = [k_1/m_1, k_1/m_2, k_2/m_2, k_2/m_3, k_3/m_3]^T$ とおく。 Z_4 、 Z_5 は式<2>及び式<4>に示される。

(1) 部材減衰の場合

$$Z_4 = [Z_{12}, Z_{13}, Z_{14}]^T = [c_1/m_1, c_2/m_2, c_3/m_3]^T、$$

$$Z_5 = [Z_{15}] = [1/m_1] \quad <2>$$

(2) レーリー減衰の場合

減衰が質量比例型減衰と剛性比例型減衰の和で表される。

$$C = a_1 M + a_2 K \quad <3>$$

ただし、 $a_1 = 2\omega_1\omega_2(h_1\omega_2 - h_2\omega_1)/(\omega_2^2 - \omega_1^2)$ 、 $a_2 = 2(h_2\omega_2 - h_1\omega_1)/(\omega_2^2 - \omega_1^2)$

h_1, h_2 : それぞれ1次及び2次モードの減衰定数であり、ここで、 $h_1 = h_2 = 2\%$ とする。

ω_1, ω_2 : それぞれ1次及び2次モードの固有円振動数である。

よって、パラメータ Z_4 及び Z_5 は次のようになる。

$$Z_4 = [Z_{12}, Z_{13}]^T = [a_1, a_2]^T、$$

$$Z_5 = [Z_{14}] = [1/m_1] \quad <4>$$

そしてパラメータが時間に対して一定であるとする、状態方程式は式<5>になる。

$$dZ_i/dt = [Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5]^T = [Z_2, -(M^{-1}C)_{(Z_4)} Z_2 - (M^{-1}K)_{(Z_3)} Z_1 + J f, 0, 0, 0]^T \quad <5>$$

ここで、 $J = [1/m_1, 0, \dots, 0]^T$;

$(M^{-1}C)_{(Z_4)}$ 及び $(M^{-1}K)_{(Z_3)}$ は $M^{-1}C$ 及び $M^{-1}K$ 行列の各要素をそれぞれ状態変数 Z_4 及び Z_3 の各要素で置き換えたことを意味している。そして同定した結果 Z_5 より、 m_1 が求めれば、順次 $m_1 \sim m_n$ 、 $k_1 \sim k_n$ 、 $c_1 \sim c_n$ が求められることになる¹⁾。

なお、 Z_5 の要素は“力”の作用する質点の質量(ここでは m_1)で表すことが必要である。また、地震動や微振動など、加速度を入力とする場合には、質量を同定することができない。これは Z_5 の要素に $1/m_1$ 項が



図-1 解析モデル

i	m_i	k_i	c_i	a_i
1	1.20	115	0.858	1.812×10^{-1}
2	1.25	120	0.224	2.388×10^{-3}
3	1.30	130	0.388	

$m_i: 1\text{t}, 1000\text{kg}$
 $k_i: 1\text{tf/cm}$; $c_i: 1\text{tf}\cdot\text{sec/cm}$

表-1 材料定数及びレーリー比例係数

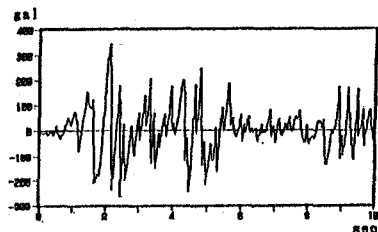


図-2 入力El-Centro波形

含むことができないためである。さらに、多自由度系の場合、レーリー減衰を仮定することで減衰に関わるパラメータ Z_4 を大幅に削減することができる。

4. 解析結果

ここで、パラメータの初期値はそれぞれ真値との差の30%以内の値とする。

(1) 3質点観測の場合

同定結果をそれぞれ図-3、図-4に示す。両方とも精度よく同定することができる。

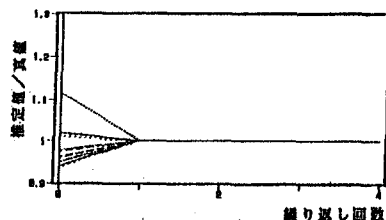


図-3 部材減衰:3質点観測

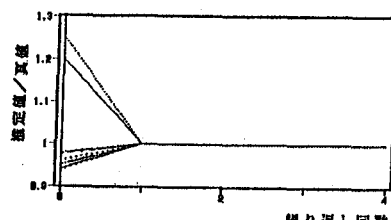


図-4 レーリー減衰:3質点観測

(2) 2質点(質点1,3)観測の場合

同定結果をそれぞれ図-5、図-6に示す。両方とも精度よく同定することができる。

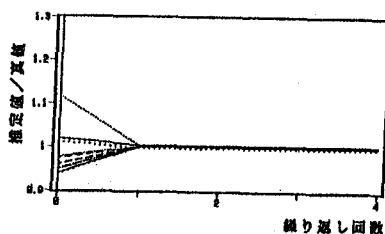


図-5 部材減衰:2質点観測

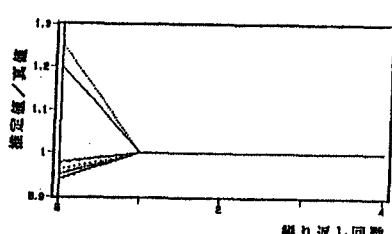


図-6 レーリー減衰:2質点観測

(3) 1質点(質点1)観測の場合

同定結果をそれぞれ図-7、図-8に示す。部材減衰を用いた場合に比べ、レーリー減衰を用いた場合のほうが精度良く同定することができる。図-7に、減衰に関わるパラメータを点線で示す。

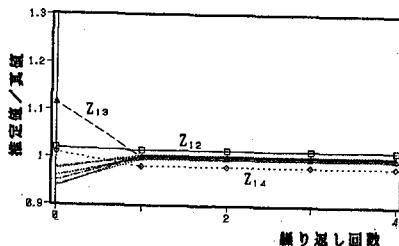


図-7 部材減衰:1質点観測

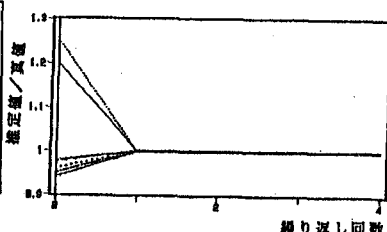


図-8 レーリー減衰:1質点観測

5. 結論

本研究では、制振装置や起振機を利用することで、“力”を入力として構造物の物理特性値を同定する手法を提案し、3質点系モデルによる数値解析から各パラメータの同定精度について検討した。その結果、次の結論を得た。

- (1) 全質点観測、2質点観測並びに1質点観測はいずれも各パラメータを同定することができる。ただし、同定精度は観測情報の減少とともに落ちることが分かる。
- (2) 入力と出力の関係を規定するシステムのうち、減衰に関わるパラメータが他のパラメータに比べ、その影響度は小さく同定しにくい。
- (3) 部材減衰を用いた場合に比べ、レーリー減衰を用いた場合のほうが少ない観測情報からでも精度よく同定することができる。これは、減衰に関わるパラメータが他のパラメータの比例関係で表され、未知パラメータが少ないためと考えられる。

なお、部材減衰のモデルで得られた応答を用いて、レーリー減衰のモデルで同定した結果。両モデルの応答値はよく一致した。さらに、実際の多自由度系構造物では、減衰の細かいメカニズムはよく分からないことが多いことを考えると、レーリー減衰を用いた場合の同定手法のほうが実用的であると考えられる。

〈参考文献〉 1) 斉藤 悦郎: EK-WGI法の開発と振動工学における同定問題への応用に関する研究, 武蔵工業大学博士論文, 1986-2。