

I-404

構造物－基礎－地盤系の同定問題に関する基礎的研究

和歌山工業高等専門学校 正会員 辻原 治

徳島大学工学部

正会員 沢田 勉

1. まえがき 構造物の振動特性の同定問題に関しては、これまでにいくつかの研究があり¹⁾、それらの多くは構造物が剛基礎に支持されていることを仮定している。著者らも剛基礎に支持されたせん断型構造物の同定に関する研究を既に発表した^{2), 3)}。しかし、実際の構造物の応答は地盤との動的相互作用の影響を受けるため、このことを考慮せずに行なった同定結果は、その評価を困難にさせる場合がある。

本研究では、せん断型構造物の同定問題において、基礎と地盤との動的相互作用を集中質点をもつスウェイ、ロッキングモデルで表わし、建屋－基礎－地盤系の同定問題として定式化するとともに、数値計算により得られた結果を示す。

2. 定式化 図-1に示すせん断型構造物を図-2に示すようなモデルに置換したときの運動方程式を周波数領域で表わすと次式となる。

$$[A] \{X(\omega)\} = \{B\} \quad \omega; \text{角振動数} \quad (1)$$

$$\text{ただし, } [A] = -\omega^2 [M] + i\omega [C] + [K] \quad (2)$$

ここで、 $\{X(\omega)\}$ は外力に対する質点の周波数応答を表わし、 $\{B\}$ は外力項を表わす。また、 $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ はそれぞれ質量、減衰、剛性行列である。いま、地盤、基礎および質点のうち任意の2点U、Lで観測記録が得られているものとし、それらのフーリエ変換を $\hat{X}_U(\omega)$ 、 $\hat{X}_L(\omega)$ とする。

一方、モデルの同じ位置に対応する箇所での周波数応答は式(1)により計算することができ、これらを $X_U(\omega)$ 、 $X_L(\omega)$ とする。同定に際しては、U、L間の周波数応答関数を対象とした式(3)に示す評価関数を用い、これを最小にする振動特性値を決定することにした。

$$S = \sum_{j=1}^N \{H(\omega_j) - \hat{H}(\omega_j)\}^2 \quad \omega_j; \text{離散角振動数点} \quad N; \text{振動数点の個数} \quad (3)$$

$$\text{ただし, } H(\omega_j) = X_U(\omega_j) / X_L(\omega_j)$$

$$\hat{H}(\omega_j) = \hat{X}_U(\omega_j) / \hat{X}_L(\omega_j)$$

3. 数値計算結果および考察 3層建屋を想定してシミュレーションを行なった。ここでは、基礎と質点1の周波数応答関数を式(3)の評価関数に用い、建屋および基礎のロッキングの振動特性値の同定を試みる。ただし、基礎のスウェイ振動の特性値(k_H, C_H, m_0)に関しては、式(3)の $H(\omega)$ がこれらの値には無関係に決定されるため、同定の対象外とした。表-1にモデルの緒元を示す。ここに、質量の慣性モーメントは系全体のものである。同定に際しては、各質点の質量、質量の慣性モーメント、各層の高さおよび回転の中心の位置は既知とした。

まず、ロッキング振動が同定に及ぼす影響を調べるために、ロッキングを考慮してシミュレートした目標値 $\hat{H}(\omega)$ に対して、ロッキングを無視した系で行なった同定結果を図-3に示す。図はロッキングおよび各層の減衰係数とばね定数の高さ方向の分布を示す。ただし、

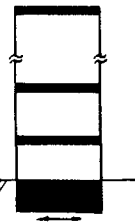


図-1 対象構造物

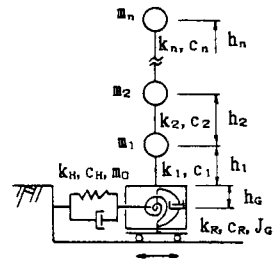


図-2 解析モデル

表-1 モデルの緒元

階 (i)	質量(m_i) [t·s ² /m]	ばね定数(k_i) [t/m]	減衰係数(c_i) [t·s/m]	層の高さ(h_i) [m]
3	30.0	80000	160.0	3.5
2	30.0	90000	180.0	3.5
1	35.0	100000	200.0	3.5
R	1.0×10^4 ^{*1)}	2.8×10^7 ^{*2)}	4.0×10^5 ^{*3)}	3.0 ^{*4)}

*1) 質量の慣性モーメント [t·m²], *2) ロッキングのばね定数 [t·m]

*3) ロッキングの減衰係数 [t·m·s], *4) 地表と回転中心の距離 [m]

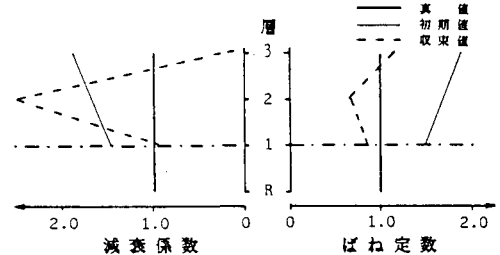


図-3 パラメータの真値、初期値および収束値 (同定系のロッキングを考慮せず)

表-1に示す各パラメータの値を真値とし、これにより基準化した値を示している。図より、パラメータは真値とかなり異なった値に収束していることがわかる。このときの周波数応答関数を図-4に示す。

つぎに、 k_R, c_R にも適当な初期値を与え、ロッキングを考慮して同定を行なった。その結果を図-5に示す。図より、パラメータは真値にかなり近い値に収束しており、ばね定数に関しては真値にはば一致しているのがわかる。さらに、図-6には異なった初期値から出発したときの結果を示すが、この場合も真値にかなり近い値に収束している。このように、基礎と最下質点の周波数応答関数を評価関数に用いることにより、建屋および基礎のロッキングの振動特性値（ばね定数および減衰係数）の同定が可能であることがわかる。

ところで、上述の2例の計算においては質量の慣性モーメントは既知として取り扱ったが、実際には基礎の回転に伴う土の付加質量など不明な点があり、精確に推定するのは困難である。そこで、質量の慣性モーメント(J_θ)の推定誤差が周波数応答関数に及ぼす影響度を $\{\sum_{j=1}^N |\partial H(\omega_j) / \partial J_\theta| \} \Delta J_\theta$; ($\Delta J_\theta = 0.01 \times J_\theta$) という形で評価し、他のパラメータの影響度と比較した。図-7に k_1 の影響度を1としたときの各パラメータの影響度を示す。図より、慣性モーメント(J_θ)の影響度は小さく、回転ばね(k_R)の1/4程度であることがわかる。表-2には、回転ばね定数が $2.8 \times 10^7, 4.2 \times 10^7, 6.7 \times 10^7$ の場合の k_R, J_θ の影響度を示す。 k_R の値が大きくなるほど両パラメータの影響度は小さくなっており、その割合は J_θ の方が大きい。このようなことから、質量の慣性モーメントの推定誤差が同定結果に及ぼす影響は小さくなく、支持地盤が強固なほどその影響はさらに小さいと考えられる。

4. あとがき 本研究で提示した手法を用いれば、系のばね定数および減衰係数の分布が直接推定できるという長所があるが、記録に含まれるノイズの影響を受け易いという短所もある。今後、模型実験および地震観測記録に本手法を適用し、実用性の検討をする予定である。

表-2 k_R の値が異なるときの k_R, J_θ の影響度

	$k_R = 2.8 \times 10^7$ の場合	$k_R = 4.2 \times 10^7$ の場合	$k_R = 6.7 \times 10^7$ の場合
k_R の影響度	0.35	0.24	0.15
J_θ の影響度	0.08	0.04	0.02

参考文献

- 1) たとえば、星谷・斎藤；土木学会論文集 第344号/I-1 1984年
- 2) 辻原・沢田・神谷・阿世賀；第7回日本地震工学シンポジウム 1986年
- 3) 沢田・辻原・阿世賀・神谷；構造工学論文集 Vol.32A 1986年

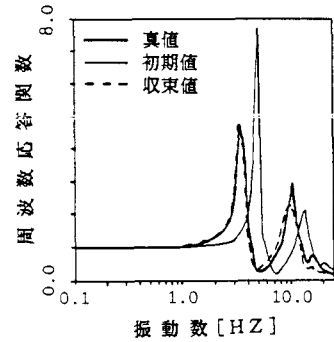


図-4 周波数応答関数

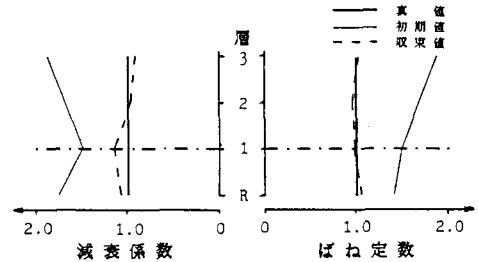


図-5 パラメータの真値、初期値および収束値（同定系のロッキングを考慮）

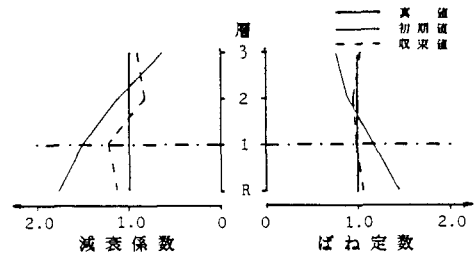


図-6 パラメータの真値、初期値および収束値（同定系のロッキングを考慮）

c_3	0.08	
k_3		0.66
c_2	0.05	
k_2		0.67
c_1	0.08	
k_1		1.00
c_R	0.11	
k_R		0.35
J_θ	0.08	

図-7 パラメータの周波数応答関数に対する影響度