

武蔵工業大学 正会員 星谷 勝
フジタ工業(株) 正会員 ○青森 悦郎

1. はじめに 既存構造物に対して地震観測や常時微動測定によって得られたランダムデータを基にその動特性の推定を行うには、これらのデータを周波数領域に変換して、周波数応答関数を求め、その形状から動特性を推定する方法が一般的である。しかしながら周波数応答関数の形状は、一般に複雑で動特性値を見つけていくために、スムージングを行う。このスムージング回数により、特に減衰定数値は大きく影響を及ぼすため、その評価が難しい。最近では、この困難に対して、最適化手法や、制御理論のAR・MAモデルを用いた推定法が提案されている。

本研究は、鉄筋コンクリート4階建校舎の常時微動測定を行い、この実測データを用いて筆者らが提案したEK-WG1法から各モード次数の動特性(固有円振動数 $\omega_n^{(i)}$ 、モード減衰 $\beta^{(i)}$ 、利数係数 $p_n^{(i)}$)の推定を試みたものである。

2. 常時微動測定 測定対象建物は、武蔵工業大学8号館である(図-1)。この建物の基礎は、木ぐい($\phi=16\text{cm}$, $l=16\text{m}$)に支持されたフーチング基礎となっている。常時微動測定は、昭和58年10月4日深夜に行った。計測には、図-2に示した応答特性を持つ換振器(MTDH-1c)を2台用いた。そして換振器から得られた屋敷に比例したデータは、増幅器を過し、微分して加速度に比例したデータに変換した後、40Hzのローパスフィルターを介してアナログデコーダに収録した(図-3)。計測位置は1階と屋上で、また計測方向は建物の剛性が高い長辺方向とした(図-1)。得られたアナログデータは、サンプリング間隔0.01s、12bitでA/D変換を行った。このデジタル化されたデータは、最小2乗法を用いて直線により基準線の補正を行った。なおEK-WG1法に用いる波形の継続時間は15sとし、周波数領域の解析では、20.48sとした。

3. 動特性の推定 [EK-WG1法による推定] 本方法に用いる出力観測データは、相対応答波形として定式化しているため、屋上から1階の波形を差し引いて相対応答波形とした(図-4)。まず建物のモードが1次モードのみであると仮定(1次モード系)した時の動特性を推定する。振

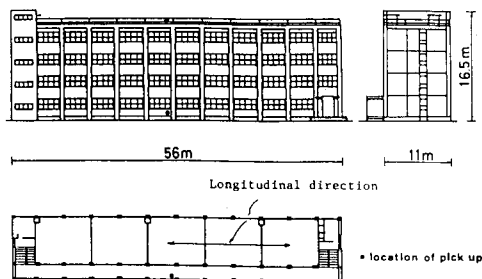


図-1 RC4階建校舎

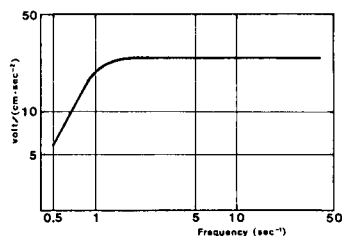


図-2 換振器の動特性

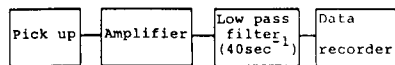


図-3 計測システム

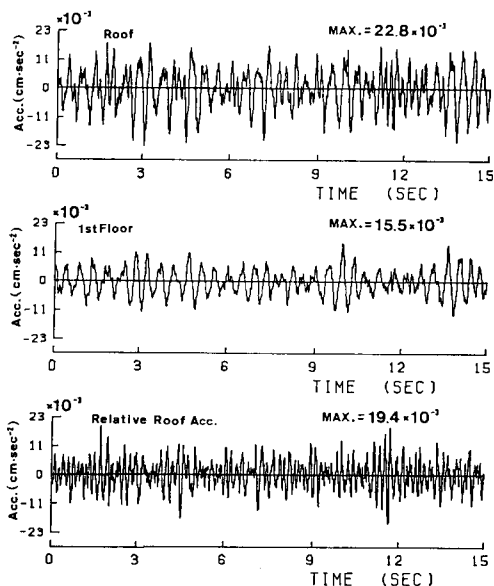


図-4 常時微動波形

値を用いた。なお状態

表-1 初期条件

	$x_1(\xi_5^{(1)})$	$x_2(\xi_5^{(1)})$	$x_3(\beta^{(1)})$	$x_4(\omega^{(1)})$	$x_5(p_5^{(1)})$
$X(t_0 t_{-1})$	0.0	0.0	0.01	10.0	1.0
$P(t_0 t_{-1})$	1.0	1.0	100.0	100.0	100.0

Note $w = 100.0$, $\omega^{(1)} = \text{rad/sec}$

法に用いる重みは、100

とした。これらの初期条件による各グローバルなくり返し時の動特性値評価値の収斂過程を図-5に示した。1回目のグローバルなくり返し、すなわち拡張カルマンフィルタアルゴリズムのみでは、 $\omega^{(1)} = 18.90 \text{ rad/s}$, $\beta^{(1)} = 0.931$, $p_5^{(1)} = 0.760$, $\gamma_1 = 90.78\%$ となり、初期条件の影響が強く残っていることがわかる。EK-WGI法を用いれば、グローバルなくり返しにより、その値は徐々に減少し、7回目以後では $\omega^{(1)} = 30.78 \text{ rad/s}$, $\beta^{(1)} = 0.026$, $p_5^{(1)} = 0.966$, $\gamma_1 = 14.3\%$ とそれぞれ一定値となり、安定した推定値が得られたものと判断できる。次に2次モードまでを考慮した(2次モード系)状態方程式に拡張する。表-2(2)は、1次モード、2次モードに対する動特性値の収斂結果である。2次モード系では、1次モード系に比べ、その値がより小さく、出力観測波形により類似した推定波形が得られていることがわかる。

このようにして、順次高次モードを考慮した状態方程式に拡張

し、高次モードの動特性値を推定していくが、本常時微動波形データでは、2次モード以上の動特性に対しては安定した値を推定することができなかった。〔周波数応答関数との比較〕 図-6は周波数応答関数にHammingのウィンドを10回かけてスムージングを行ったものである。また表-3は、スムージング回数による動特性の推定値の変化を示したものである。1次の固有円振動数は、スムージング回数によってほとんど変化せず、EK-WGI法の結果と良く一致することがわかる。しかしながら図-6からも明らかに2次の固有円振動数に関しては明確なピークがあらわれておらず、その推定は難しいものと判断した。減衰に関しては、表-3からも明らかのように、スムージング回数により影響を受け、一義的に推定できないことがわかる。以上よりEK-WGI法は、従来から行われている周波数領域による動特性値の推定に比べ有効な方法であることが、実際にデータからも明らかになった。

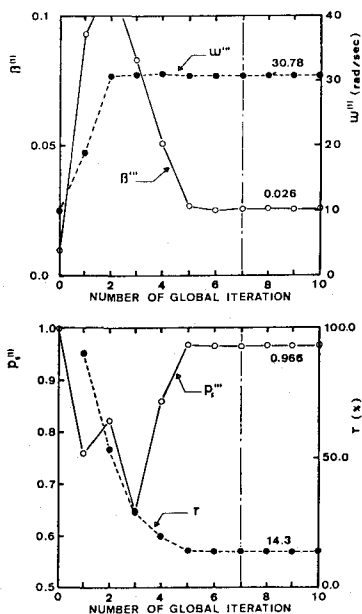


図-5 EK-WGI法の収斂過程(1次モード系)

表-2 動特性の推定結果

Estimated parameters and γ_1	Single degree of freedom system	Two degree of freedom system	
		(1)	(2)
$\beta^{(1)}$	0.026	0.026	0.028
$\omega^{(1)}$	30.78	30.78	30.64
$p_5^{(1)}$	0.966	0.966	0.942
$\beta^{(2)}$	—	0.356	0.341
$\omega^{(2)}$	—	87.00	85.75
$p_5^{(2)}$	—	-0.343	-0.372
γ_1	14.3	9.6	9.1

Note $\omega^{(j)}$; rad/sec, γ_1 ; per cent

表-3 スムージング回数による動特性推定結果の変化

Hanning window N	$\omega^{(1)}$	$\beta^{(1)}$
0	30.85	0.003
1	30.85	0.012
2	30.85	0.013
4	30.79	0.030
6	30.72	0.045
8	30.54	0.049
10	30.35	0.058
20	29.97	0.065
30	29.72	0.069

$\omega^{(1)}$; rad/sec
N; cycles

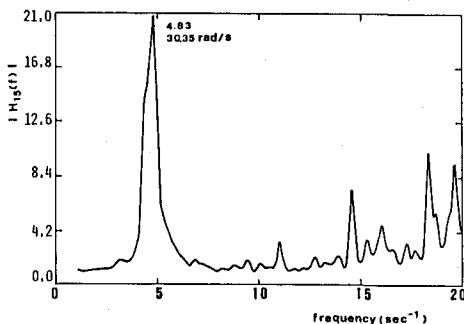


図-6 周波数応答関数

参考文献

- 1) 署名: 斎藤: 拡張カルマンフィルタを用いた固定目標の各種振動系の推定, 土論集, No.339, 2) Jozwinski, A.H.: Stochastic processes and filtering theory, Academic Press, 1970.
- 3) Graeme H. Moore: Structural identification in the frequency..., EESD, Vol.18, 1980, 4) 土岐: 佐藤: 生本: 自己励振平均法による構造物の動的パラメータの推定, 第12回土木学会大会, 20
- 5) 署名: 斎藤: 構造物自由振動系動特性推定, 土論集, No.344, 1-1 6) T.S. Arzoo, A.G. Pappas: Time series analysis of structural data, (機械英語訳), 培風館.