Ⅰ－A247

仮想計測器による周波数領域における構造物の動特性推定

長崎大学大学院　学生員○高木真一郎　　長崎大学工学部　正　員　岡林　隆敏
（株）横河工事　正　員　田村太一郎　　（株）熊谷組　正　員　山森　和博

1．はじめに

近年，構造物の振動特性から，構造物の維持・管理など健全度評価する試みが行なわれている．そのためには，高い精度での動特性推定が必要である．動特性推定には，主に，時間領域と周波数領域での推定方法[1]があるが，本研究では，構造同定に周波数領域における動特性推定法を採用，その手法を仮想計測器ソフトウェアで実現した．このシステムの有効性を検討するために，５自由度系モデルを用いた数値シュミレーションにより周波数領域での構造同定を行なった．さらに，近接固有値を有する系の応答に対して，この系を２自由度系としてモデル化し，非線形最小二乗法にによる曲線適合により動特性を推定した．

2．構造物のモード解析法

1）時間領域での推定

各点の応答を $x(t)$ とし，外力を $f(t)$ とすると，n 質点系の構造物の運動方程式は次式となる．

$$m\ddot{x}(t)+c\dot{x}(t)+kx(t)=f(t) \qquad (1)$$

m,c,k は，質量行列，減衰係数行列及び剛性行列である．p 点に，単位衝撃荷重が作用したときの l 点の応答 $x_l(t)$ は，次式として表される．

$$x_l(t)=\sum_{k=1}^{n}\frac{\phi_{lk}\phi_{pk}}{\omega_{dk}}\exp(-h_k\omega_k t)\sin(\omega_{dk}t+\theta_k) \qquad (2)$$

ここに，ω_k,h_k は，k 次固有円振動数，減衰定数であり，$\omega_{dk}=\omega_k\sqrt{1-h^2{}_k}$ である．非線形最小二乗法により，計測データ $\bar{x}_l(t)$ と，推定値 x_l の誤差 e_t を最小にするように曲線適合させてパラメータを決定する．

$$e_t=\sum_{j=1}^{N}\left|\bar{x}_{lk}(t_j)-x_{lk}(t_j)\right|^2 \quad (\bar{x}_{lk},x_{lk}\text{ は }k\text{ 次モード}) \qquad (3)$$

ここに，N はデータ個数である．

2）周波数領域での推定

$x_l(t),\delta_l(t)$ のフーリエ変換を，$X_l(\omega),F_p(\omega)$ とすると，コンプライアンス $G_{lp}(\omega)$ は，次式で与えられる．

$$G_{lp}(\omega)=\sum_{k=1}^{n}\frac{\phi_{lk}\phi_{pk}}{(-\omega^2+\omega_k{}^2+2ih_k\omega_k\omega)}=\sum_{k=1}^{n}\{R_k(\omega)+I_k(\omega)\} \qquad (4)$$

ここで，$R_k(t),I_k(t)$ は次式となる．

$$R_k(\omega)=\frac{\phi_{lk}\phi_{pk}(-\omega^2+\omega_k{}^2)}{(-\omega^2+\omega_k{}^2)^2+(2h\omega_k\omega)^2} \qquad (5)$$

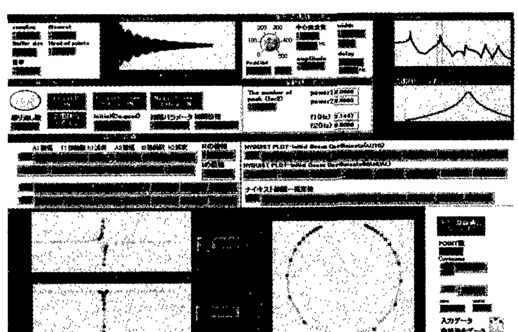
$$Im_k(\omega)=\frac{\phi_{lk}\phi_{pk}(-2h_k\omega_k\omega)}{(-\omega^2+\omega_k{}^2)^2+(2h_k\omega_k\omega)^2} \qquad (6)$$

ここで，計測データより求めた $\bar{R}_k,\bar{I}_k$ と(5)(6)式を曲線適合させ，誤差 e_f を最小にすることにより，各パラメータを推定する．

$$e_f=\sum_{j=1}^{N}\left\{\left|\bar{R}_k(\omega_j)-R_k(\omega_j)\right|^2+\left|\bar{I}_k(\omega_j)-I_k(\omega_j)\right|^2\right\} \qquad (7)$$

3．仮想計測器ソフトウェアへの適用

周波数領域における動特性推定を，仮想計測器ソフトウェア LabVIEW を用いてプログラミングを行った．図－１にパネル画面を示す．データ処理の流れとしては，取り込まれたデータをフーリエ変換し実部と虚部に分解する．抽出すべき振動次数に矩形窓関数によりフィルタ処理を行う．このフィルタ処理により多自由度系から１自由度系に還元する．非線形最小二乗法により曲線適合を行い，動特性推定を行う．



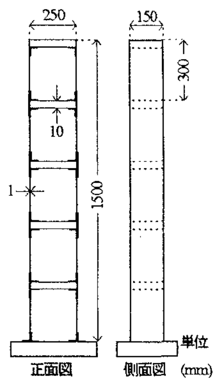
図－１　LabVIEW を用いた動特性推定

キーワード：構造同定・モード解析法・周波数領域・曲線適合・仮想計測器

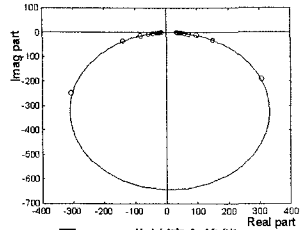
連　絡　先：長崎大学工学部（〒852 長崎市文教町１－14　TEL095－847－1111）

4．5自由度系構造物の動特性推定

本研究の仮想計測器ソフトウェアによる構造同定の有効性を確認するために，図－2のような5層構造物の衝撃加振シミュレーションを行った．衝撃力を最下層に加え，各層の変位応答を観測し，各層で得られたデータを用いて，固有振動数，減衰定数，振動モードの推定を行った．図－3に周波数領域での曲線適合の状態，表－1に推定結果を示す．固有振動数，減衰定数とも理論値と比べて，ほぼ一致した推定結果を示している．誤差に関しても固有振動数の誤差は0.01%であり，減衰定数も3%であり，非常に高い精度の推定が可能であることが分かる．また，図－4で振動モードの推定では，各次動数においてもほぼ一致している．



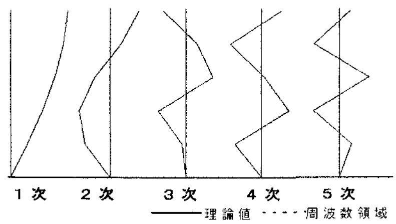
図－2　5層構造物



図－3　曲線適合状態

表－1　推定結果

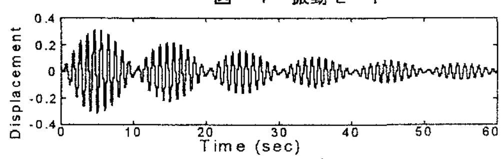
	理論値		周波数領域	
次数	固有振動数	減衰定数	固有振動数	減衰定数
1次	1.0938	0.0040	1.0938	0.0041
2次	3.1555	0.0040	3.1544	0.0038
3次	4.9173	0.0040	4.9144	0.0040
4次	6.3041	0.0040	6.2994	0.0039
5次	7.2116	0.0040	7.2055	0.0040



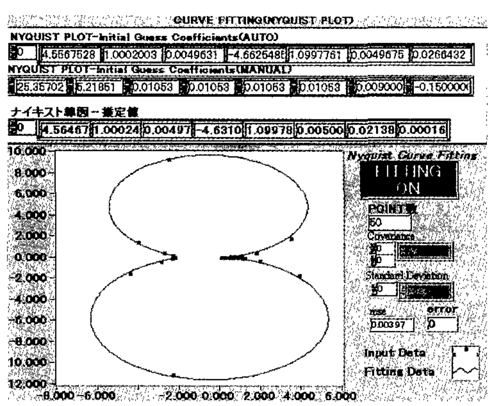
図－4　振動モード

5．近接固有値を有する構造物の動特性推定

近接固有値を有する系の応答は，図－5に示すようにうなり現象が発生する．この場合，共振ピークが近接しているため，バンドパスフィルタやスペクトル等の解析から動特性を求めることは困難である．そこで，うなりを伴う応答を2自由度系モデルとして考え，時間領域，周波数領域での動特性推定を行った．図－6に仮想計測器ソフトウェア適用の適用例を示す．そこで減衰定数 $h_1=h_2=0.005$，1次振動数を $f_1=1.0Hz$ と固定2次振動 $f_2=1.1Hz, 1.06Hz, 1.02Hz$ とした3ケースの衝撃加振シュミレーションデータより動特性推定を行った．データはサンプリング時間 $\Delta=0.01(sec)$，データ数 N=4096 とした．表－2に推定結果を示す．時間領域，周波数領域ともに推定値の誤差は0.1%以下となり，高い精度で推定が実現できた．



図－5　変位応答



図－6　近接固有値推定のためパネル画面

表－2　推定結果

		理論値		時間領域		周波数領域	
		固有振動数	減衰定数	固有振動数	減衰定数	固有振動数	減衰定数
case 1	1次	1.0000	0.0050	1.0001	0.0049	1.0001	0.0050
	2次	1.1000	0.0050	1.0199	0.0049	1.0998	0.0051
case 2	1次	1.0000	0.0050	1.0002	0.0049	1.0000	0.0053
	2次	1.0600	0.0050	1.0597	0.0049	1.0601	0.0050
case 3	1次	1.0000	0.0050	1.0006	0.0047	0,9996	0.0047
	2次	1.0200	0.0050	1.0199	0.0049	1.0188	0.0048

6．まとめ

仮想計測器ソフトウェア LabVIEW を用いて周波数領域における動特性の推定を行った．そこで5層構造物で周波数領域での推定を行い，周波数領域での構造同定の有効性を確認した．さらに，うなりを伴う波形による周波数領域における動特性の推定法では，高い精度で推定が可能であることが確認できた．

【参考文献】(1)長松昭男：モード解析，培風館，1985.7