2段階推定法を用いた橋梁振動特性自動推定システムの開発

長崎大学大学院	学生会員	舩原祐樹	長崎大学工学部	フェロー	岡林隆敏
長崎大学工学部	正会員	奥松俊博	長崎大学大学院	学生会員	房前慎一

1.はじめに

構造物の振動特性(振動数・減衰定数・振動モード)の変化から,構造物の健全度評価を行うためには,高 精度に振動特性を推定するアルゴリズムが必要である.そこで本研究では,AR モデルと自己相関関数曲線適 合を用いて振動特性を高精度に自動推定するシステムを,仮想計測器ソフトウェア LabVIEW を用いて開発し た.本手法の有効性を,実橋梁より得られる常時微動データにより検証した.

2.構造同定手法<sup>1)</sup>

構造同定手法の流れは,まず,速度応答データの自己 相関関数を算出する.それによりARモデルにおけるパ ラメータを決定し,複素固有値解析を行うことによって, 振動特性を推定する.これを1段階推定と称す.ここで, ARモデルは次式で表すことができる.

$$y(k) + \sum_{s=1}^{n} a_s y(k-s) = e(k)$$
 (1)

AR モデルの特性方程式は,

 $z^{n} - a_{1} z^{n-1} - a_{2} z^{n-2} - \dots - a_{n} = 0$  (2)

となり、この方程式の根は、

$$z_{k} = X_{\text{Re}}^{k} \pm iX_{\text{Im}}^{k}$$
(3)

である.この根と振動パラメータの関係から,AR モデル(1段階推定) による振動数 $\omega_k$ と減衰定数 $h_k$ を推定する.

図 - 1 は ,1 段階推定で得られた $\omega_k$ を中心に ,フィルタ幅 $\omega_k \pm \Delta \omega$ の バンドパスフィルタにより k 次振動のパワースペクトルを抽出し , 得 られた自己相関関数算出までの流れを示している . そしてこの自己相 関関数は , 次式により定義される .

$$R_{k}(t) = A_{k} \exp\left(-2\pi\omega_{k}h_{k}t\right) \sin\left(2\pi\omega_{k}\sqrt{1-h_{k}^{2}}t + \theta_{k}\right)$$
(4)

ここに, $A_k$ は振幅, $\theta_k$ は位相のずれを示す.実測データ $\tilde{R}_k$ に(4)式を推定関数として曲線適合させる.非線形最小二乗法より二乗誤差 $\varepsilon_{kt}$ を最小にするような最適なパラメータを決定する.二乗誤差 $\varepsilon_{kt}$ は 次式により決定される.

$$\varepsilon_{kt} = \sum_{s=0}^{N-1} \left| \tilde{R}_k - R_k \right|^2 \tag{5}$$

これより,固有振動数と減衰定数を推定する.これを2段階推定 を称す.以上のシステムの流れを図-2に示した.

<u>3. 対象橋梁</u>

本手法を用いて振動特性推定を行い,精度検証を行う.対象橋梁は,写真-1に示す長崎県長崎市野母町

キーワード 2 段階推定,AR モデル,自己相関関数曲線適合,振動特性自動推定,橋梁維持管理 連絡先 長崎大学工学部(〒852 - 8521 長崎市文教町1 - 14, Tel 095-819-2615, Fax 095-819-2627)



図 - 1 バンドパスフィルタによる処理の流れ



図-2 システムの流れ



図 - 3 一般図と計測位置 表 - 1 固有振動数

	1次	2次	3次	4次	5次	6次
固有振動数(Hz)	0.67	1.04	1.89	2.29	3.63	4.90

に架設されている樺島大橋を対象とした.橋長 227m,幅員 7.5 m,最大支間 153mの鋼ランガー桁の道路橋である.図-3 にその一般図と速度計の設置位置,表-1にFEM解析により求めた固 有振動数を示す.本研究では,速度計により計測された桁の鉛直 方向の振動を常時微動とした.

## <u>4.振動特性自動推定プログラム</u>

今回,仮想計測器ソフトウェア LabVIEW を用いてプログラム を構成し,振動特性を推定した.図-4に示すのは,LabVIEW を 用いた,AR モデルと自己相関関数曲線適合による振動特性推定プ ログラム画面である.写真-2 は,常時微動取得のために構成し た計測システムと速度計の設置状況を示している.また図-5 に,得られる常時微動波形を示す.本研究では,サンプリング 時間を 0.01(秒)とし,30 秒間の常時微動データを1回区分とし た,100 回分の振動数・減衰定数より精度検証を行う.図-6 に,バンドパスフィルタによる5次振動抽出処理状況を示す. 図-7 は,5次振動に対し曲線適合させた場合の自己相関関数 の結果である.

## <u>5.検証結果</u>

図 - 8 は,計測点1より推定された曲線適合による2次,4次,5 次振動,計測点2より同手法により推定された1次,3次,6次振動 の推定軌跡を重ね合わせたものである.表-2には,ARモデル,曲線 適合により推定された振動数の推定精度を示している.変動係数より 両手法を比較した場合,曲線適合により推定された振動数は,ARモデ

ルに比べ,全次数域においてばらつきが少ない. これは計算値付近に振動数が集中していること を示しており,精度良く推定されていることが 確認できる.また減衰定数に関して,全次数域 において両手法の精度の差は見られなかった. これより,減衰定数に関して,両手法の推定精 度が同等であることを確認した.

<u>6.まとめと今後の課題</u>

本研究をまとめると以下のようである

・仮想計測器ソフトウェア LabVIEW を用いて,AR モデルと自己相関関数曲線適合による振動特性自動推定システムを開発した.

・今回の樺島大橋の場合,曲線適合による推定がより精度の高い振動特性を推定することができた.

さらに今後の課題として,本システムを用いて実橋 梁の長期計測を行い,橋梁維持管理計画へ適応させる. [参考文献]1)山森和博:システム同定理論による可搬型 特性推定システムの開発と橋梁振動への適用,長崎大 学修士論文,1998.3



図-4 プログラム画面



写真-2 常時微動計測システム







図 - 8 曲線適合による振動数推定の軌跡
表 - 2 振動数の推定精度

		計管値(日7)	固有振動数(HZ)			
		山井喧(112)	平均值(Hz)	標準偏差(Hz)	変動係数(%)	
1次	AR	0.67	0.844	0.00662	0.785	
	曲線適合	0.07	0.814	0.00434	0.533	
2次	AR	1.04	1.17	0.0112	0.961	
	曲線適合	1.04	1.16	0.00629	0.544	
3次	AR	1 90	1.91	0.0175	0.916	
	曲線適合	1.09	1.90	0.0126	0.663	
4次	AR	2.20	2.33	0.00961	0.412	
	曲線適合	2.29	2.35	0.00772	0.329	
5次	AR	2.62	3.50	0.0490	1.40	
	曲線適合	3.05	3.63	0.0310	0.854	
6次	AR	4.00	5.32	0.0694	1.31	
	曲線適合	4.90	5.33	0.118	2.21	