

常時微動による高精度自動構造物振動推定システムの開発

長崎大学工学部 正会員 ○奥松 俊博
 長崎大学工学部 フェロー 岡林 隆敏
 長崎大学大学院 学生員 中宮 義貴

1. はじめに

構造物を維持管理するためには、構造物を長期的に観測し、その結果より構造物の損傷を判断することが重要と考えられる。構造物の劣化を振動特性の変化から予測するためには、高精度の構造同定理論の構築と自動計測システムを開発する必要がある。本研究では、Data Acquisition Toolbox（数値解析ソフトウェア MATLAB）¹⁾を用いて、AD コンバータと推定アルゴリズムを組み合わせたプログラムを構築し、橋梁の常時微動から振動特性（振動数、減衰定数）を高精度に自動推定するアルゴリズムを開発した。また、それを用いて実橋梁に対する振動計測実験を行い、本システムの有効性を検証した。

2. 高精度振動推定システムの概要

(1) 自動推定システムについて

振動推定システムの概要を図-1に、データ処理の流れを図-2に示す。まず橋梁の常時微動を計測器で測定し、A/D変換カードでデジタル化する。Data Acquisition Toolboxを用いてソフトウェアに取り込まれた一連のデータは、開発した高精度構造同定エンジンによって直ちに処理され、最終的に振動特性が得られる。これらの動作を自動化したものが本システムである。

(2) 高精度構造同定エンジンについて

同定エンジンとして開発した構造同定手法の流れを図-3に示す。始めに取り込まれた応答データの自己相関を算出し、次に、ARモデルの作成^{2),3)}、スペクトル解析、パラメータの設定を行う。ARモデルから複素固有値解析を行うことにより振動特性を算出する。ARモデルの特性方程式から振動特性推定までを次式に示す。ここに ω_k は振動数、 h_k は減衰定数である。

$$z^n - \alpha_1 z^{n-1} - \alpha_2 z^{n-2} - \dots - \alpha_n = 0$$

$$z_k = X_{Re}^k \pm i X_{Im}^k$$

$$h_k \omega_k = (-1/ \dots) \ln (X_{Re}^2 + X_{Im}^2)^{1/2} ,$$

$$\omega_k (1 - h_k^2)^{1/2} = (1/ \dots) \tan^{-1} (X_{Im} / X_{Re})$$

3. 実橋計測実験

実際に用いた計測システムを写真-1に示す。橋長78.7mの鋼斜張橋において計測実験を行った。

当該橋梁の一般図および速度計の設置位置を図-4に示す。実験は橋桁中央6箇所で行い、歩行者および風の影響により発生する桁の鉛直方向の速度を計測した。

計測したサンプリングは0.01秒である。同定エンジンに基づきパラメータの設定を行い、振動数を自動推定

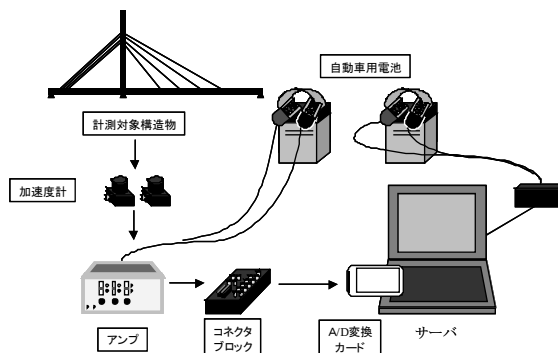


図-1 システムの概要図

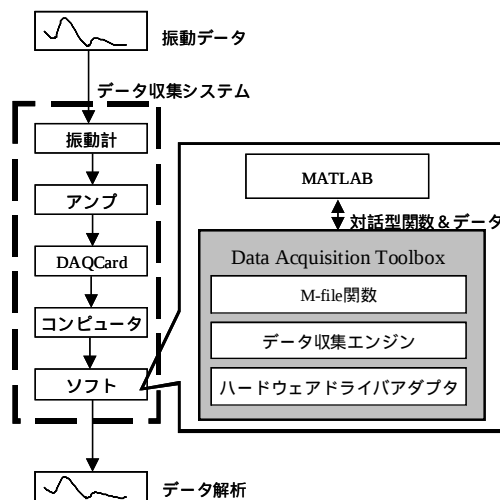


図-2 データ処理の流れ



写真-1 計測システム

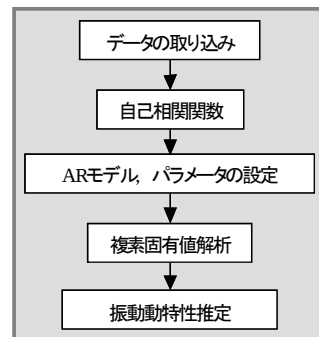


図-3 構造同定法

キーワード 橋梁振動、構造同定、振動特性、ヘルスマニタリング、維持管理

連絡先 〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科 TEL 095-847-1111

した．推定振動数は 30 秒毎のデータより求める．

4．実験結果と考察

節点における実験データを示す．図 - 5 は速度応答計測結果である．図 - 6 は応答の自己相関波形，図 - 7 は AR モデルに基づく MEM（最大エントロピー法）によるパワースペクトル密度と，応答波形の FFT によるパワースペクトル密度である．図 - 8 は 30 回計測したときの推定振動数軌跡である．縦

軸は振動数(Hz)，横軸は計測回数を表している．自動計測した結果，各回数ともほぼ一定の振動数を表示していることが分かる．詳細に検討するために，推定精度の判定基準として Gauss 分布を図 - 9 に示した．横軸は振動数を表している．システムは測定データの変動も自動的に表示することができる．これらの結果から得られた各次数の推定値平均と標準偏差および変動係数を表 - 1 に示す．各次においても変動係数が 1 % 以下であることから，高精度に振動数を推定していることが分かった．

以上の結果から，本システムが橋梁の常時微動から振動特性を高精度に自動推定していることを確認するとともに，その有効性を検証した．なお，長期間自動計測で，本システムの信頼性を高める必要がある．

5．まとめ

本研究によって以下の 2 点を確認した．

- 1) 速度計を設置するだけで若干の初期値の設定をすることにより，振動数の推定を自動化し，さらに統計処理を行うことが可能になった。
 - 2) 実橋実験において高い精度の振動数推定が可能であることを確認した．
- 現在，減衰定数推定のアルゴリズムを開発中である。

最後に，本研究遂行に当り，川端稔教氏の実験補助と協力を得たことを付記する．

参考文献

- 1) Data Acquisition Toolbox ユーザーガイド Ver.2，サイバネットシステム(株)，2001 年 1 月
- 2) 信号解析とシステム同定，中溝高義，コロナ社，1988 年 3 月
- 3) データ解析と応用，星谷勝，齊藤悦郎，1991 年 7 月

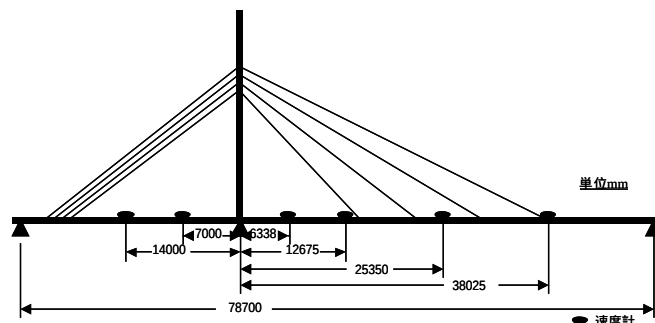


図-4 速度計設置位置

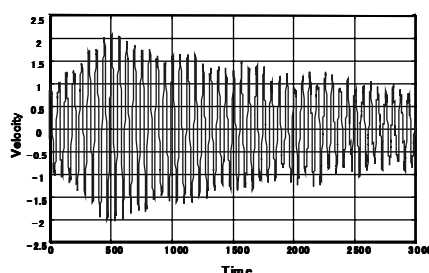


図-5 速度応答波形

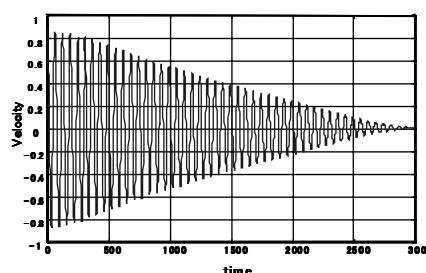


図-6 自己相関波形

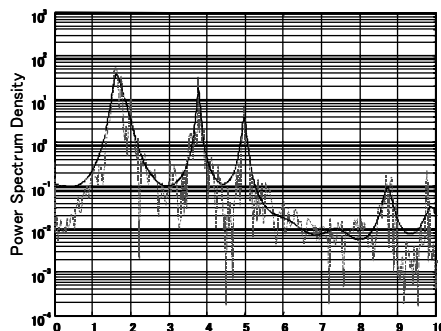


図-7 MEMとFFTによるパワー

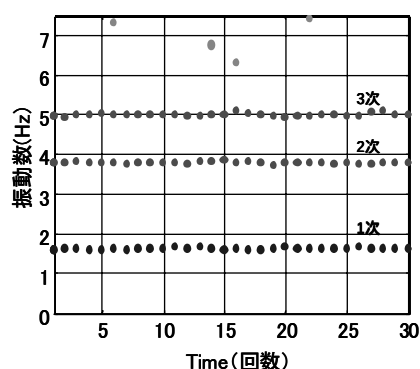


図-8 推定振動数奇跡

スペクトル密度

表-1 推定値平均と精度

	1 次	2 次	3 次
推定値平均(Hz)	1.6080	3.7654	4.9671
標準偏差(Hz)	0.0146	0.0238	0.0407
変動係数(%)	0.908	0.632	0.819

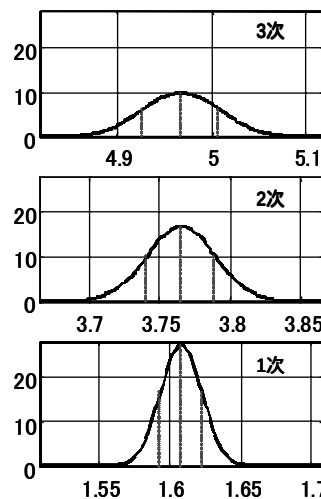


図-9 推定値 Gauss 分布