

構造物の常時微動による高精度自動振動数推定システムの開発

長崎大学大学院 学生員 ○増田 大樹 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 復建調査設計 正会員 木場 俊郎

1. はじめに

構造物の損傷診断を振動数の変化から監視する場合のように、振動数の変化をモニタリングすることにより、その原因を逆探知するためには、極めて精度の高い振動数の変化を検出する計測システムの開発が必要になる。さらに、振動数変化による損傷診断を実現するためには、振動数の変化を自動計測するシステムの開発が必要になる。本研究は、著者等が進めてきた高精度構造同定エンジンを組み込んだ、構造物高精度振動数自動計測器のプログラムとシステムの構成、さらに計測システムの構成を述べたものである。本計測器を用いて、実橋の計測を行った事例について報告する。

2. 高精度振動数自動推定のアルゴリズム

本システムでは、構造物の固有振動数を算出するために、まず、常時微動波形から FFT によるスペクトル解析を行う。次に、このスペクトル波形に対して、台形型のバンドパスフィルターを施し、フーリエ逆変換によって任意の周波数成分を抽出した常時微動波形を復元する。このフィルター処理後の常時微動波形を、開発した構造同定エンジンで処理し構造物の固有振動数を算出する。本システムでは、これらの工程をすべて自動で行っている。高精度振動数自動推定の構成を図-1 に示す。

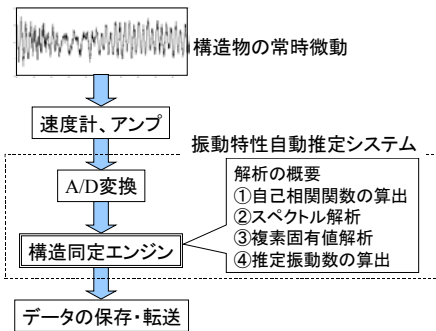


図-1 構造同定エンジンの構成

3. 構造同定エンジンの概要とプログラム

(1) 構造同定エンジンにおけるデータ処理

構造同定エンジンについては、すでに報告¹⁾している。構造同定エンジンでは、主に、①不規則外力から AR モデルを構成し、②構造物の特性と考えられる複素固有値の抽出といった処理を自動的に実行する。構造系に白色外力系を入力とする外力が作用すると考えて、AR モデルを構成する。AR モデルは、

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

で表され、特性方程式とその根は

$$z^n - a_1 z^{n-1} - a_2 z^{n-2} - \cdots - a_n = 0 \cdots \cdots (2)$$

となる。この根と振動パラメータの関係が

$$h_k \omega_k = (-1/\Delta) \log \sqrt{X_{Re}^2 + X_{Im}^2} \cdots \cdots (4)$$

となることから、振動数 ω_k と減衰定数 h_k が推定できる。ここで、 $e(t)$ は白色雑音過程、 Δ は推定データのサンプリング時間である。求められた複素固有値の中から、繰り返し推定して、変動のない固有値を構造物に対応する固有値として抽出する。

(2) 高精度振動数自動推定エンジンを実現するプログラム

構造同定エンジンを始めとして、振動特性を算出するまでのアルゴリズムは、すべて仮想計測器ソフトウ

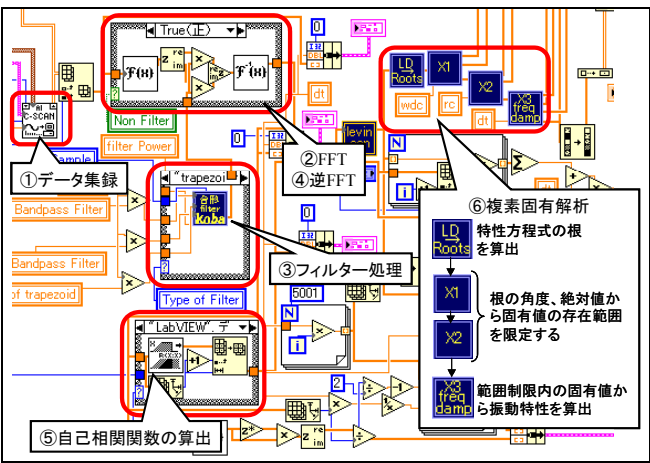


図-2 構造同定エンジンのプログラム

$$z_k = X_{Re}^k \pm i X_{Im}^k \cdots \cdots (3)$$

$$\omega_k \sqrt{1-h_k^2} = (1/\Delta) \tan^{-1} (X_{Im} / X_{Re}) \cdots \cdots (5)$$

キーワード：橋梁維持管理、構造同定、常時微動、ヘルスマニタリング、AR モデル

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

エア LabVIEW によってプログラムしている。著者らのこれまでの研究で、複素固有値解析と構造系の根の抽出を MATLAB¹⁾ で計算していたが、本研究では、プログラムをすべて LabVIEW で記述した。図-2 に複素固有値解析と根の抽出に関するプログラムの概要を示す。

4. 近接固有値を抽出するフィルター処理

これまで提案したシステム¹⁾ では、近接固有値の抽出が難しく、対策としてバンドパスフィルターの活用が考えられる。しかし、矩形のフィルターでは通過帯域両端の影響が強く表れてしまうので、本システムでは、通過帯域を滑らかに抽出するために台形型のフィルターを適用した。このフィルターを施すことで、相対的に近接固有値の近傍を拡大できることになり、AR モデルを適用した場合、周波数分解能が高くなる。フィルターの構成法を図-3 に示す。

5. 高精度振動数自動推定システムの構成

構造物の常時微動を計測するために、①サーボ型速度計 VSE-15A（東京測振社製）と②加速度計用増幅器 AV-200（同社製）を使用した。検出した速度応答を、PCのカードスロットに装着した③A/D変換カード DAQ Card 6062E（National Instruments 社製）でデジタル化し、構造同定エンジンで解析する。システムを構成するハードウェアを図-4 に、また、本システムの計測画面を図-5 に示す。表示されている常時微動波形はフィルター処理後のもので、右にその自己相関関数を表示している。また、スペクトル解析、複素固有値解析の結果を示し、画面下部に構造物の推定振動数および減衰定数を表示する。

6. 実測結果

本システムを使用して計測実験を行った。対象橋梁は、長崎市内に架設されている浦上歩道橋である。計測対象橋梁を図-6 に、また計測結果を図-7 に示す。この計測結果から、本システムによって構造物の固有振動数が推定されていることがわかる。健全な構造物であれば図-7 のように、変動の少ない振動数が観測されるが、構造物に損傷が生じた場合、剛性が低下することによる振動数の変化を検出することが今後の課題である。



図-6 計測対象橋梁

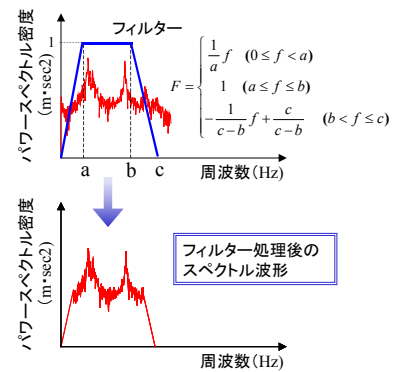


図-3 フィルターの構成



図-4 システムの構成機器



図-5 計測画面

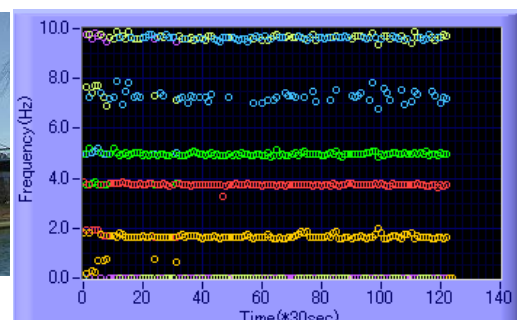


図-7 計測結果

7. まとめ

本研究では、構造物の常時微動から振動を自動推定することのできるシステム開発を行った。システムには、当研究室で開発した構造同定エンジンを搭載しており、エンジンによる振動数の自動推定アルゴリズムについて説明した。またシステムを使用した計測実験を行い、計測結果を示した。

[参考文献] 1) 中宮、岡林、奥松：AR モデルによる土木構造物の高精度振動特性推定法、土木学会第 57 回学術講演会講演概要 第 I 部門, pp.1667-1668 (平成 14 年 9 月)