

I-B 67

仮想計測器ソフトウェア LabVIEW による振動計測と構造同定

下関市役所 正 員○田丸 康広
 長崎大学工学部 正 員 岡林 隆敏
 オリエンタル建設(株) 正 員 角本 周

1. はじめに

既設橋梁の健全度評価技術として、振動特性を検出することにより、橋梁の診断や健全度評価が行われている。そのために、より高い精度の動特性（固有振動数、減衰定数、振動モード等）の推定及び、短時間に多数の橋梁を計測するシステムの開発が求められている。従来、振動計測とそのデータを処理するには、専用の計測器を購入する必要があった。さらに、より厳密な分析は、パーソナルコンピュータを利用して計測データを処理する⁽¹⁾といった手法が取られてきた。しかしこのような装置では、適用範囲が限定され、また計測装置に制約されて、目的に応じた分析が必ずしもできるとは限らないといった問題があった。近年、計測技術は大きく変わりつつある。新しい計測システムとして仮想計測器と呼ばれるものがある。本研究では、仮想計測器ソフトウェアの一つである LabVIEW⁽²⁾を用いて、橋梁などの土木構造物の振動計測に適用するためのシステムを構築し、実用化の検討を図るものである。

2. LabVIEW による計測システムの概要

LabVIEW による計測システムの概要を、図-1に示した。まず対象物に検出器（加速度計）を取り付ける。計測した多チャンネルのアナログ信号を増幅器で増幅させた後、出力する。そこで、パーソナルコンピュータ本体に組み込まれたデータ集録用ボードにより AD 変換する。そこで LabVIEW は、AD 変換された信号を読み取り、データ処理をビジュアルに画面上に表示する。構造物を制御する場合は、解析結果を見ながら、デジタル信号をいくつかのポートから DA 変換して出力し、対象物へと信号を送り返す。

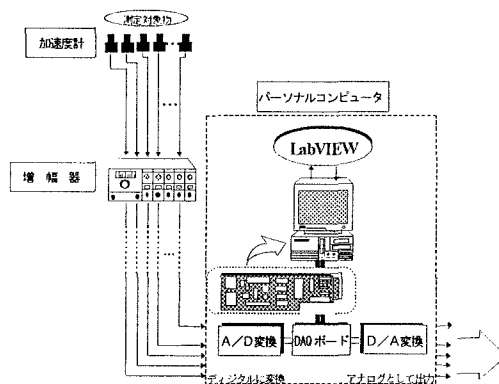


図-1 計測システムの概要

3. データの取り込み

図-2、図-3に LabVIEW を用いた振動計測の実際の画面とそれを動かすためのプログラムを示した。従来形のテキスト主体の言語と違い、回路図形式で VI (Virtual Instruments) と呼ばれるアイコンを並べてデータの流れや構造を定義する。また画面上では、スイッチやつまみなどを取り付け、実際の計測器のように扱うことができ、思い通りの計測器を簡単に作れるだけでなくかつ幅広い解析を実現できるものとなっている。また、入力データや解析結果をビジュアルに表示することができる。従って、実験を行いながら、間違い等を簡単に発見でき、効率的な実験を行うことができる。

4. LabVIEW によるデータ処理とシステム同定の流れ

LabVIEW によるデータ処理とシステム同定の流れを図-4に示した。まず、計測データのパワースペクトル密度を求め、周

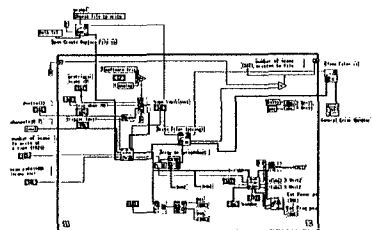


図-2 実際のプログラム

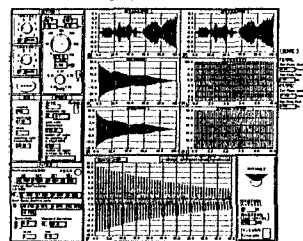


図-3 実際の画面

波数成分を目視する。次に、2つの方法を用いたフィルタの操作により、必要な周波数成分だけを抽出する。そこで同定理論を用いて、処理した信号の曲線適合を行い、動特性（振動数、減衰定数、振動モード）を推定する。信号処理の方法として第一に、デジタルフィルタを利用した。第二に、FFTと逆FFT (IFFT) を利用した。これは、時刻歴応答データを高速フーリエ変換し、長方形窓関数を掛け合わせ、高速フーリエ逆変換を行うことにより、周波数成分だけを抽出する方法である。曲線適合とは、(1) 式に示した式と処理したデータの差を取り、非線形最小二乗法を適用して最適化を行うもので、(3) 式の真値と処理値との差の二乗の総和を最小にするような値を求める方法である。線形多自由度系は、衝撃加振により、次のような応答を示す。

$$y_i(t) = \sum_{k=1}^n a_{ik} \exp(-h_k \omega_k t) \sin(\omega_k t + \phi_k) \quad \cdots (1)$$

ここに、 i : 着目点、 ω_k : k 次の固有円振動数、 a_{ik} : 着目点 i の k 次振動モードの振幅、 h_k : k 次の減衰定数、 ϕ_k : k 次の位相遅れである。フィルタにより、 k 次振動成分のみが抽出されたとすると、

$$y_{ik}(t) = a_{ik} \exp(-h_k \omega_k t) \sin(\omega_k t + \phi_k) \quad \cdots (2)$$

が得られる。実測データから得られた値を $\overline{y_{ik}(t)}$ とすると、推定誤差は、次のようになる。

$$\varepsilon = \sum_{j=1}^m (y_{ik}(t_j) - \overline{y_{ik}(t_j)})^2 \quad \cdots (3)$$

5. 衝撃加振による構造物の動特性同定

本システム同定手法の有効性を確認するために、図-5に示すような実際の模型構造物を用いて、衝撃加振試験を行い、動特性を推定した。その方法として、模型構造物の各層に加速度計を取り付け、各層の応答をLabVIEWを用いて計測しつつ動特性を推定する。モデル化による振動解析結果と比較し、本システムの有効性を検討する。応答波形は図-6のようになり、推定結果は、表-1、図-7のようになる。これを見ると、固有振動数はやや高い値が得られたが、全体的には、推定できていると言える。振動モードも全体的にほぼ一致した。

6. まとめ

本研究により、フィルタを用いたデータ処理とカーブフィッティングから効率的で、通常の計測器にない処理を簡単に、動特性推定の画期的なプログラムを実現できた。また、実測により得られた波形より、対象構造物の振動特性が良い精度で推定でき、本システムの有効性が確認できた。本システムをノート型のパーソナルコンピュータに組み込むことにより、極めてコンパクトな計測システムが構成できることになる。

【参考文献】(1) 長松昭男；モード解析，培風館，1985 (2) LabVIEW マニュアル一式，日本ナショナルインスツルメンツ(株)

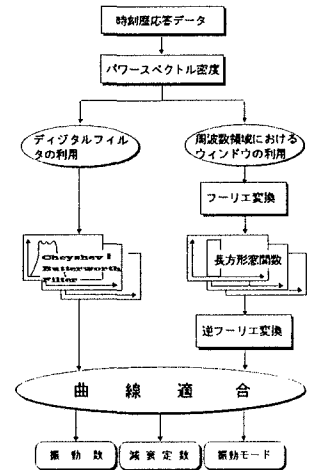


図-4 LabVIEWによる構造同定の流れ

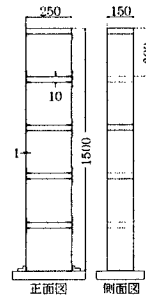


図-5 模型構造物の諸元

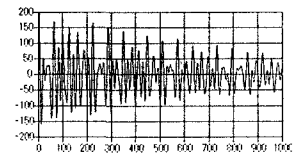
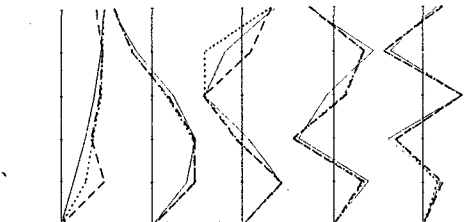


図-6 取り入れた応答波形の例

表-1 推定結果

振動解析による結果	曲線適合による推定(実測)			
	Digital Filter		FFT, 逆FFT	
次数	振動数(Hz)	減衰定数	振動数(Hz)	減衰定数
1	0.9505	0.8887	0.8867	0.0069
2	2.7499	0.0068	2.7684	0.0068
3	4.2960	0.0055	4.4594	0.0055
4	5.5085	0.0045	5.8505	0.0043
5	6.2986	0.0044	6.9012	0.0057



1次振動 2次振動 3次振動 4次振動 5次振動
—— シミュレーションの値
----- 実測値(Digital Filter)
..... 実測値(FFT, 逆FFT)

図-7 推定振動モード