

計測・制御用ソフトウェア LabVIEW による橋梁振動計測の効率化

長崎大学工学部○学生員 田丸 康広

長崎大学工学部 正 員 岡林 隆敏

長崎大学大学院 学生員 加賀 敏明

1. はじめに

橋梁振動の計測をはじめとして、振動計測とそのデータを処理するためには、従来、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、パーソナルコンピュータの性能は著しく進歩し、さらに、周辺機器の小型軽量化、低価格化が進み、また、Windows 環境の拡充とその性能は格段に良くなっている。本研究の目的は、こうしたパーソナルコンピュータの充実した環境と仮想計測装置ソフトウェア LabVIEW⁽²⁾を組み合わせることにより、橋梁振動計測の効率化を図るものである。さらに、より能率的で簡単に各種の目的に応じた計測システムを構築することにある。本システムの概要と、適用事例について報告する。

2. LabVIEW による計測システムの概要

2-1. ハードウェアの構成

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(加速度計等)を取り付け、多チャンネルのアナログ信号を増幅器に取り入れ増幅させた後、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のボード(A/D コンバータ)を用いて A/D 変換する。LabVIEW は、A/D 変換された信号を読み取り、データ処理をビジュアルにモニターに表示する。次に、ユーザーの意図するデータ処理をプログラムに従って実行する。この信号を、いくつかのポートから D/A 変換してアナログ出力し、対象物へと信号を送り返せるようになっている。もちろん、取り入れたデータは、ディスクに保存したり、プリンタに出力することも可能である。

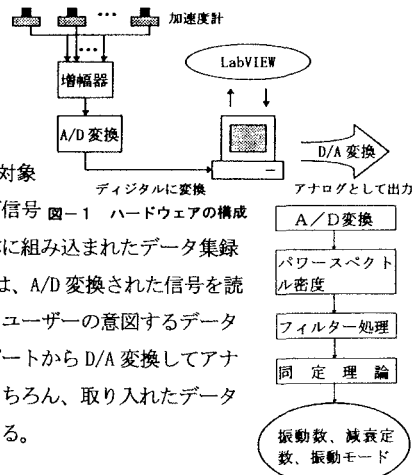
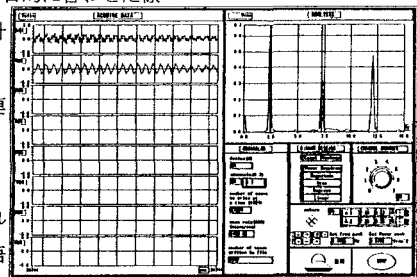


図-1 ハードウェアの構成

2-2. ソフトウェアの構成

LabVIEW は、データ集録、制御、解析、結果の表示等ユーザーの目的に合わせた様々な結果をビジュアルに展開するソフトとなっている。本研究では計測に重点を置いて、橋梁の動特性(振動数、減衰定数、振動モード)を求めるプログラムを作成し、それらの推定を行った。これら一連のデータの処理・解析の流れを図-2 に示した。

図-2 ソフトウェアの構成



3. データの取り込み

図-3、図-4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、フローチャート形式でVI (Virtual Instruments:仮想計測装置)と呼ばれる種々のアイコンを並べてデータの流れや構造を定義する。またフロントパネル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、ユーザーの想像する通りの計測器を簡単に作れるだけでなく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グラフィカルに見ることができる。従って、実験を行いながら、間違い等を発見でき、一貫した作業により無駄な時間を省け、効率的に行うことが可能である。

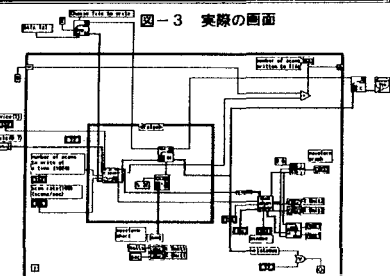


図-4 実際のプログラム

4. データ処理とシステム同定の流れ

本研究では、まず、LabVIEWにより計測データのパワースペクトル密度を求め、周波数成分を目視で予測する。次に、2つの方法を用いて信号の処理を行い、必要な周波数成分だけを取り出した信号波形を作り出す。そこで同定理論を用いて、処理した信号を曲線適合（カーブフィッティング）させ、振動数、減衰定数、振動モードを推定する。これらの手順のフローを図-5に示した。信号処理方法としては第一の方法として、デジタルフィルターを利用した。LabVIEWの各種解析フィルターの中からCheyshev IIフィルターを使用した。第二の方法はFFTと逆FFT（IFFT）を利用した。この場合、時刻歴応答データをまず高速フーリエ変換し、周波数領域に直す。次に方形波窓関数を用いて必要な周波数成分だけを取り出し、高速フーリエ逆変換を行う。このことにより、再び時間領域へと変化するので各種フィルターとして機能させることができる。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ある。これは（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、 ϕ_k : k 次の位相遅れ
 a_{ik} :着目点 i の k 次振動モードの振幅、 h_k : k 次の減衰定数である。
 フィルターの操作により、 k 次振動成分のみが抽出されたとすると、

$$y_k(t) = a_k \exp(-h_k \omega_k t) \sin(\omega_k t + \phi_k) \quad \cdots (2)$$

が得られる。実測データから得られた値を $y_{ik}(t)$ 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. シミュレーションによる本システムの精度の検討

本システム同定手法の有効性を確認するために、図-6に示すような模型構造物を用いて、推定精度を検討した。まず、模型構造物の1層目に外力として図-7に示すような衝撃力を0.05(sec)間加える。それに対する各層の速度応答を求める。ここで、減衰定数を各モードとも0.004と仮定した。シミュレーション解析で得られたデータをLabVIEWに取り込んで処理し、応答波形を（2）

式にカーブフィッティングさせる。表-1に、推定した動特性（振動数、減衰定数、振動モード）とシミュレーションで仮定した結果を示した。この結果、LabVIEWで解析した値とシミュレーションで解析した値とはほぼ同じ値となり、モードも図-8のようにほとんどシミュレーションの結果と一致する。

6. まとめ

本研究では、仮想計測装置ソフトウェアLabVIEWを用いて、構造物の振動特性推定のためのシステムを構成した。数値シミュレーションにより求められた波形より、高い精度で対象構造物の振動特性が推定でき、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パソコン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；モード解析，培風館，1985(2) LabVIEW マニュアル一式，ナショナルインスツルメンツ（株）

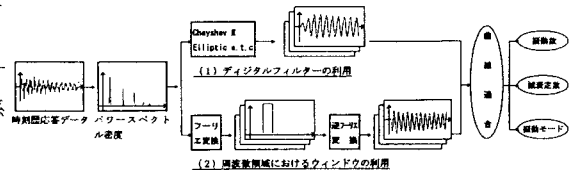


図-5 データ処理とシステム同定の流れ

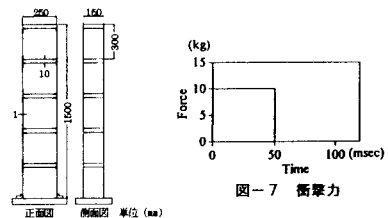


図-6 模型構造物の諸元

表-1 推定結果

次数	シミュレーションによる		曲線適合による			
			Digital Filter		FFT, 逆FFT	
	振動数 Hz	減衰定数	振動数 Hz	減衰定数	振動数 Hz	減衰定数
1	1.0938	0.0040	1.0933	0.0041	1.0934	0.0038
2	3.1555	0.0040	3.1566	0.0039	3.1555	0.0038
3	4.9173	0.0040	4.9217	0.0041	4.9171	0.0039
4	6.3041	0.0040	6.3097	0.0040	6.3039	0.0040
5	7.2116	0.0040	7.2145	0.0041	7.2117	0.0040

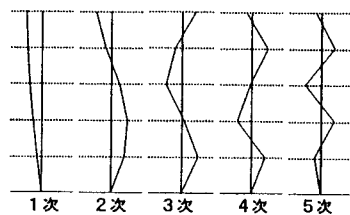


図-8 推定振動モード