

構造物のシステム同定のための可搬型計測システムの開発

長崎大学大学院 学生員○山森和博

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

オリエンタル建設(株) 正 員 吉村 徹

1. はじめに

土木構造物における振動計測は、振動特性の確認から健全度評価の把握など様々な目的のために行われる。そのため、高い精度の振動計測の必要性⁽¹⁾が高まっている。近年、構造同定理論⁽²⁾の飛躍的な進歩による振動計測の技術革新、また、パーソナルコンピュータの高性能化とソフトウェア技術の進歩により高い精度の振動特性の推定が可能になってきた。本研究は、著しく進歩した実験データ処理に特化したソフトウェアである仮想計測器ソフトウェア技術⁽³⁾を、構造物のシステム同定に適用すると共に、小型軽量化されたパーソナルコンピュータと周辺機器を利用した可搬型計測システムの構築を行い、実用化の検討を図るものである。

2. 可搬型計測システムの概要

可搬型計測システムの概要を図-1に、その実現化したシステムを写真-1に示した。加速度計から検出された信号を小型増幅器に取り込み、ノート型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PCカードを用いてA/D変換する。データの集録と分析は、仮想計測器ソフトウェアLabVIEW(National Instruments社製)を用いてノート型パーソナルコンピュータ上で統一した処理を行う。そのために、計測装置の軽量化、データ処理の高速化が可能である。また、小型増幅器とノート型パーソナルコンピュータは、蓄電池による駆動が可能であるので、コンパクトで可搬性を有した計測システムが構成できる。

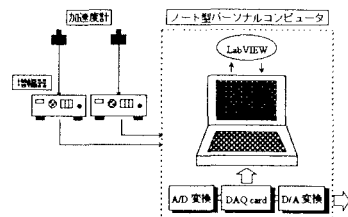


図-1 可搬型計測システムの概要

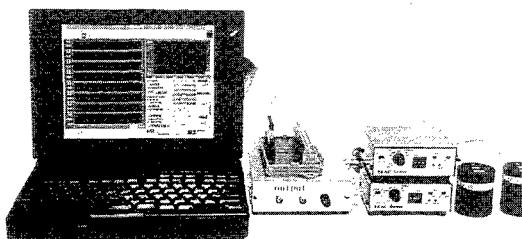


写真-1 可搬型計測システム

3. データ処理とシステム同定

本システムにおけるデータ処理とシステム同定の流れを図-2に示した。測定データのパワースペクトル密度を求め、バンドパスフィルタでフィルタ処理を行う。このフィルタ処理により、求める振動次数情報を抽出し、多自由度系振動を1自由度系振動へ還元する。自由振動波形より、時間領域における非線形最小二乗法による曲線適合を行い、振動特性を求める。

システム同定については、外力 f が作用した場合の n 自由度系の運動方程式は、各質点の応答を $x(t)$ とすると、次式で与えられる。

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = f(t) \quad (1)$$

ただし、 m, c, k は、質量行列、減衰行列および剛性行列である。

モード解析による振動モードを ϕ_k とすると、 k 点に単位衝撃荷重 $\delta(t)$ を受ける i 次振動の方程式は、基準関数を用いて、次のように表される。

$$\ddot{q}_i(t) + 2h_i\omega_i\dot{q}_i(t) + \omega_i^2q_i(t) = \phi_{ik}\delta(t) \quad (2)$$

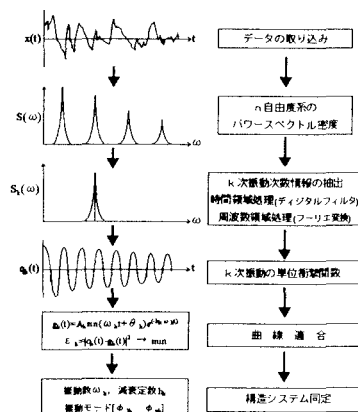


図-2 データ処理手順

ω_i, h_i は i 次振動における固有円振動数と減衰定数である。

そこで、 ℓ 点の応答 $x_\ell(t)$ は、次式で与えられる。

$$x_\ell(t) = \sum_{i=1}^n \frac{\phi_{\ell i} \phi_{k i}}{\omega_{d i}} e^{(-h_i \omega_i t)} \sin(\omega_{d i} t + \theta_i) \quad (3)$$

ただし、 $\omega_{d i} = \omega_i \sqrt{1 - h_i^2}$ である。

また、(3)式の右項は

$$g_i = A_i e^{(-h_i \omega_i t)} \sin(\omega_{d i} t + \theta_i) \quad (4)$$

の型の関数として表すことができる。

ここで、求めるパラメータを

$$\alpha = (A_i, \omega_i, h_i, \theta_i) \quad (5)$$

とする。測定データ y が N 個得られたとすると、推定する(4)

式の関数の時刻の N 個の値をパラメータ α の関数ととして

考える。非線形最小二乗法では、

$$E = \sum_{j=1}^N (y_j - g_i(t_j, \alpha))^2 \quad (6)$$

測定値と推定値の誤差 E を最小にするように α を決定する。

4. 仮想計測器ソフトウェアによるプログラム

仮想計測器ソフトウェア LabVIEW におけるプログラム画面

面を図-3に示した。テキスト形式のプログラミングとは異なり、VI(Virtual Instrument)と呼ばれるアイコンをフローチャ

ート形式で接続するグラフィカルプログラミング言語を採用していることが特徴で

ある。また、VIには、各種解析ツールが準備されており、幅広い解析の実現が可能で

ある。図-4に示したパネル画面では、集録、解析データを視覚的に表示を行うことができる。

5. 衝撃加振による構造物の構造同定への適用

本システムに構造同定の有効性を確認するために、図-5に示すような模型構造物を用いて、衝撃加振試験を行った。各層に設置した加速度計で検出された信号を増幅器に取り込み、その信号をA/D変換し、LabVIEWで計測を行う。そこで、振動特性(固有振動数、減衰定数、振動モード)の推定をし、解析値との精度の比較検討を行った。

フィルタ処理には、フーリエ変換による方法を適用した。推定結果を表-1、振動モードの推定を図-6に示した。結果から明らかなように、若干の誤差は生じているものの高い精度での推定が可能であることが確認できる。

6. まとめ

本研究では、仮想計測器ソフトウェアと小型化されたパーソナルコンピュータ、周辺機器を用いた構造物の構造同定のための可搬型計測システムの構築を行うことができた。また、実測による高い精度での動特性推定であり、その有効性を確認することができた。

【参考文献】(1) 橋梁振動と計測と解析、橋梁振動研究会編、技報堂、1993.10。

(2) 長松昭男：モード解析、培風館、1985.7。

(3) 田丸康広、岡林隆敏、加賀敏明：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、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp.144-145、1996.3。

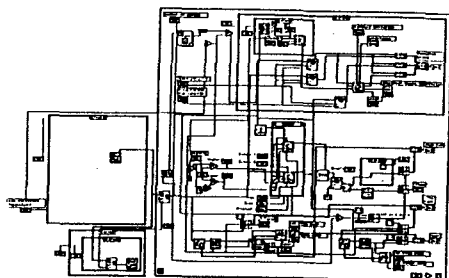


図-3 プログラム画面

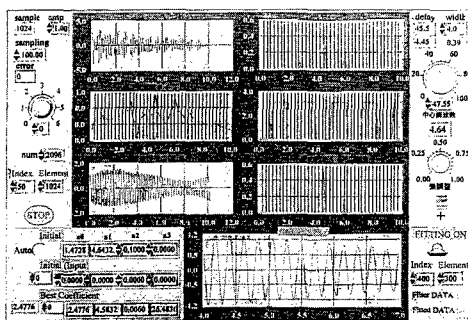


図-4 パネル画面

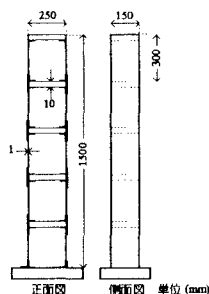


図-5 模型構造物

表-1 推定結果

次数	振動解析による 特性	曲線適合による 推定 (実測)	
	固有振動数 (Hz)	固有振動数 (Hz)	減衰定数
1	0.9536	0.9094	0.0071
2	2.7586	2.8340	0.0059
3	4.3094	4.5884	0.0025
4	5.5257	5.9885	0.0025
5	6.3184	7.1023	0.0031

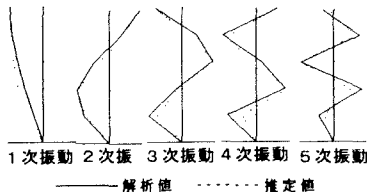


図-6 振動モード