

東電設計 関 正 員 ○栗田哲史
東京電機大学 正 員 松井邦人

1 はじめに

構造物の動的解析や耐震性検証において、構造モデルを的確に表すことが重要である。そのため、構造同定は有効な方法である。同定法を大別すると、周波数領域と時刻歴領域の方法があるが、本研究は後者に基づいている。ここでは、振動実験記録を用いてGauss-Newton法、拡張Kalman filter、Dynamic programmingの3手法により構造系の減衰係数と剛性を直接推定するものである。

2 模型実験

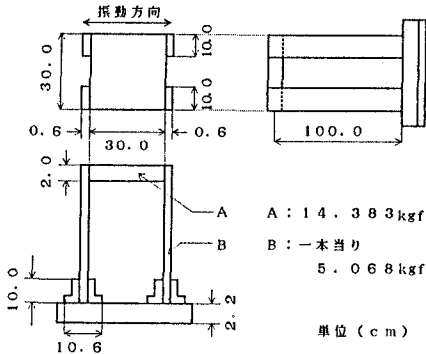


図-1 供試体略図

実験で用いた供試体は、図-1に示す剛体と板ばねで構成される一層ラーメン構造物とした。実験装置の概要図を図-2に示す。構造動特性の推定では、供試体の加速度応答と振動台の加速度を観測値として用いた。加速度測定には圧電型加速度変換器を用い、変換器内で40 Hzのローパスフィルターにより雑音処理をした。得られたデータは、デジタルレコーダによりサンプリング周波数200 HzでA/D変換を行った。

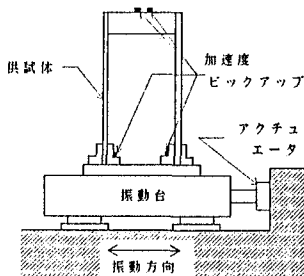


図-2 実験装置概要図

振動台への入力波は、周波数2 Hzの正弦波を最大加速度15 gal程度になるように調節した。推定で用いたデータの継続時間は0~15 秒とした。

3 構造動特性の推定

構造動特性の推定は、質量を剛体の質量と板ばねの質量の1/3を加えたもの ($m=0.020598 \text{ kgf}\cdot\text{s}^2/\text{cm}$) と与え、減衰係数と剛性を未知パラメータとして行った。未知パラメータの推定手法にはGauss-Newton法、拡張Kalman filter、Dynamic programmingを用い、各々の手法の比較を行った。on-line法である拡張Kalman filterとDynamic programmingについては精度向上のため繰り返し計算を行った。初期推定値を $c=0 \text{ kgf}\cdot\text{sec}/\text{cm}$ 、 $k=20 \text{ kgf}/\text{cm}$ として推定を行った結果を表-1に示す。また、この時の各パラメータの収束状況を図-3に示す。Gauss-Newton法は大きく振動しながら収束していく様子が見られる。

表-1 推定結果

	Gauss-Newton法	拡張Kalman filter	Dynamic programming
剛性 (kgf/cm)	16.202	16.269	16.066
減衰係数 $\times 10^{-2}$ (kgf-s/cm)	0.80340	0.39267	0.35135

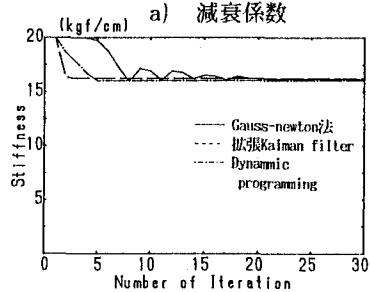
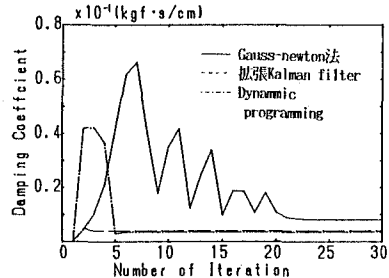


図-3 収束状況

次に、推定結果と振動台の加速度波を入力波としてNewmark β 法 ($\beta = 1/6$) により動的応答解析を行った結果と、供試体の加速度応答の測定値を比較した。一例として、図-4に測定値とGauss-Newton法により推定された結果を用いた解析値の時刻歴応答を示す。また、この時の推定誤差の時刻歴を図-5に示す。推定誤差は過渡振動部分で大きく、定常状態で小さくなるのがわかる。この推定誤差の性質を調べるため、推定誤差をスペクトル解析した。推定誤差のフーリエスペクトルを図-6に示す。5 Hz付近のピークは供試体の固有振動数、25 Hz付近のピークは振動台の固有振動数と一致する。50 Hz付近のピークは電気ノイズと思われる。その他のピークは、はっきりした原因が解らない。拡張Kalman filter、Dynamic programmingも共に同様の傾向がみられた。この推定誤差をノイズと考えるとSN比を計算した。SN比は①推定誤差のRMS ($\text{RMS} \cdot \text{Err.}$) と解析値のRMS ($\text{RMS} \cdot \text{Acc.}$) の比、②推定誤差の最大値 ($\text{Max.} \cdot \text{Err.}$) と解析値の最大値 ($\text{Max.} \cdot \text{Acc.}$) の比の2種類の表示方法で表-2に示す。表より各種法ともSN比は50~60%である。SN比はかなり大きいと言える。

4 おわりに

模型実験データを用いて、Gauss-Newton法、拡張Kalman filter、Dynamic programmingの3手法により構造動特性の推定を行った。本研究の結果を以下に示す。

- (1) 推定結果から求めた加速度応答と測定値を比較するとかなり一致している事より、3手法とも精度良く推定ができたと言える。
- (2) 推定誤差は周波数特性を有し、SN比は50~60%程度になる。
- (3) Gauss-Newton法、拡張 Kalman filter、Dynamic programmingを比較すると3手法の結果は近い値であり、SN比も近い値であるため、どの手法が優れているのかは一概に言えない。

謝辞：本研究を行うにあたり、計測および解析に協力していただいた佐々木秀智 (元東京電機大学 理工学部 卒業研究生 現川田工業㈱) 君、重山潤一郎 (元東京電機大学 理工学部 卒業研究生 現三菱重工工事㈱) 君に深く感謝致します。

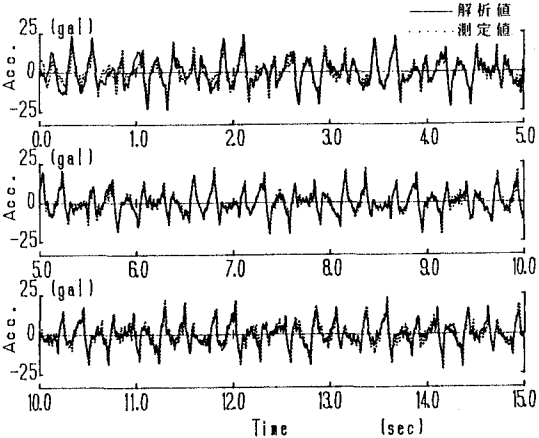


図-4 解析値と測定値の比較 (Gauss-Newton法)

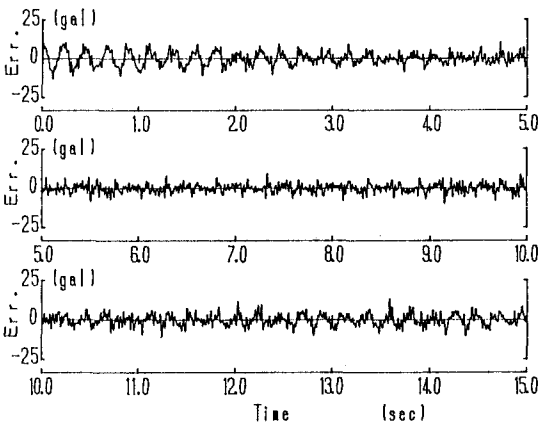


図-5 推定誤差の時刻歴 (Gauss-Newton法)

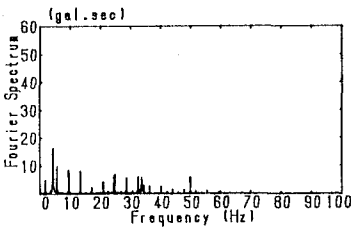


図-6 推定誤差のフーリエスペクトル (Gauss-Newton法)

表-2 SN比の比較

	Gauss-Newton法	拡張Kalman filter	Dynamic programming
RMS·Err. RMS·Acc.	(%) 49.069	54.456	55.085
Max.·Err. Max.·Acc.	(%) 55.347	59.094	59.852