

## オンライン応答実験に関する研究 (数値減衰法を適用した実験)

高橋 孝二\*  
Koji Takahasi

高井 茂光\*  
Shigemitsu Takai

### 1. はじめに

オンライン応答実験はコンピュータと静的加力実験を組み合わせ、構造物の地震時の応答性状を調べる実験手法である。

本手法は加力機の位置決め精度の限界やセンサーの分解能の限界などの誤差により実験結果が著しく損なわれる場合がある。特に多質点系のように自由度が高い場合、誤差が高次の応答を刺激し応答をゆがめることが知られている。

そこで本研究は、誤差による高次の卓越現象を抑えることを目的として、数値減衰法を適用した弾性3質点系構造物のオンライン応答実験結果について述べる。

### 2. 実験概要

試験体は鉄骨造の3層試験体を用いた。図-1に試験体の諸特性を示す。

実験に採用した数値積分法は、陽なニューマーク法に人工的な数値減衰パラメータを導入した下式による。

$$M\ddot{x}_{i+1} + C\dot{x}_{i+1} + \{ (1 + \alpha)K + (\eta/dt^2)M \} x_{i+1}$$

$$= f_{i+1} + \{ \alpha + K(\eta/dt^2) \} x_i$$

$$\dot{x}_{i+1} = \dot{x}_i + (dt/2)(\ddot{x}_i + \ddot{x}_{i+1})$$

$$x_{i+1} = x_i + dt\dot{x}_i + (dt^2/2)\ddot{x}_i$$

ここで  $M$ ,  $C$ ,  $K$  は質量, 減衰, 剛性マトリックス,  $\ddot{x}$ ,  $\dot{x}$ ,  $x$ ,  $f$  は加速度, 速度, 変位, 外乱ベクトル。

$\alpha$ ,  $\eta$  を 0 にすれば陽なニューマーク法に一致する。積分時間刻みは  $dt=0.01\text{sec}$  を用いた。

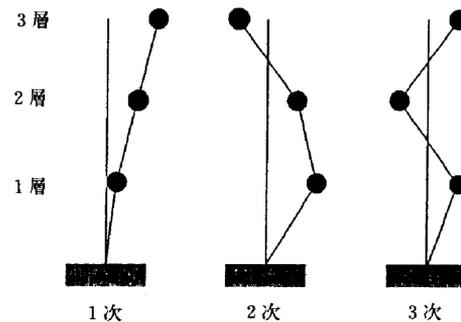
数値減衰パラメータは  $\alpha=0.06$ ,  $\eta=-0.002$  を用いた。図-2に数値減衰を使用したものとそうでないものの、自由振動に対する応答加速度をフーリエスペクトルを示す。

これによれば数値減衰法を用いた場合は、低次のモードには影響は及ばず、高次のモードを減衰させていることが確認できる。

入力波として  $\sin$  波 ( $5\text{Hz}, dt=0.01\text{sec}, \text{max}=150\text{gal}$ ) を用いた。

実験時間を考慮し、試験体の変位制御は、目標値に対し  $\pm 10\mu$  の許容値とした。

実験は数値減衰を用いた場合と用いない場合の2ケースを行った。



モード	1次	2次	3次
固有振動数 (Hz)	2.73	11.3	21.6
刺激係数	6.96	-2.96	1.60
重量 (ft)	20	20	20
減衰 (%)	0	0	0

図-1 試験体の特性

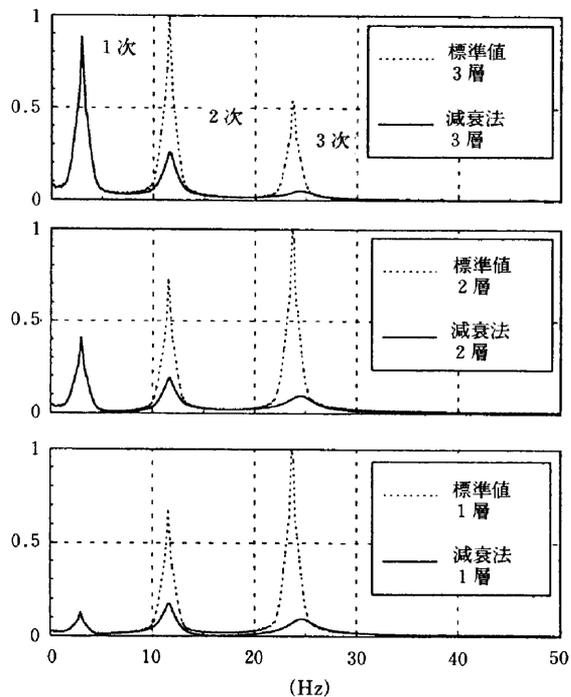


図-2 応答加速度のフーリエスペクトル

\*技術研究所構造研究課

### 3. 実験結果

実験結果と解析結果の比較を以下に示す。解析は試験体の初期剛性を用い、オンライン応答実験と同一の数値積分法を使用した。

#### (1) 陽なニューマーク法 (数値減衰を用いない場合)

図-3(a)に加速度時刻歴とフーリエスペクトルを示す。試験体の3次モードに相当する20Hz付近にピークが見られ、高次応答が励起され卓越している現象が確認できる。図-3(b)に変位制御誤差の頻度分布を示す。このとき変位制御誤差は、ランダムに発生していることが確認できた。

#### (2) 数値減衰法

図-4(a)に加速度時刻歴とフーリエスペクトルを示す。陽なニューマーク法と比較すると3次モードが抑えられており、解析結果と良く一致している。

また図-4(b)に変位時刻歴とフーリエスペクトルを示す。変位時刻歴においても解析結果と良く一致している。

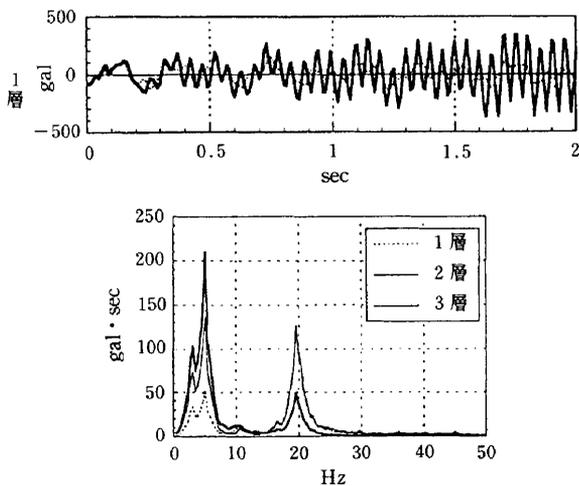


図-3(a) 加速度時刻歴, フーリエスペクトル (陽なニューマーク法)

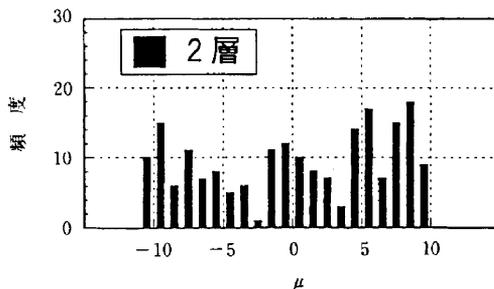


図-3(b) 変位制御誤差の頻度分布

### 4. まとめ

数値減衰法を用いたオンライン応答実験は、一般的には解析結果と良く一致したが、若干の位相ずれも生じていた。

本実験は、制御誤差だけでなく摩擦誤差や他の種々の誤差が累積し、応答がゆがめられる。今回の実験のように高次のモードが刺激され、増幅していくような誤差に対しては、数値減衰法は有効な手段であることが、確認できた。

また今回、応答計算に用いた数値積分法 (陽なニューマーク法) は復元力を直接、数値計算に取り込める利点はあるが、解の安定性や精度については陰な方法より劣ることが知られている。

今後、オンライン応答実験に陰な数値積分法の適用やサブストラクチャーオンライン応答実験へと発展させていく予定である。

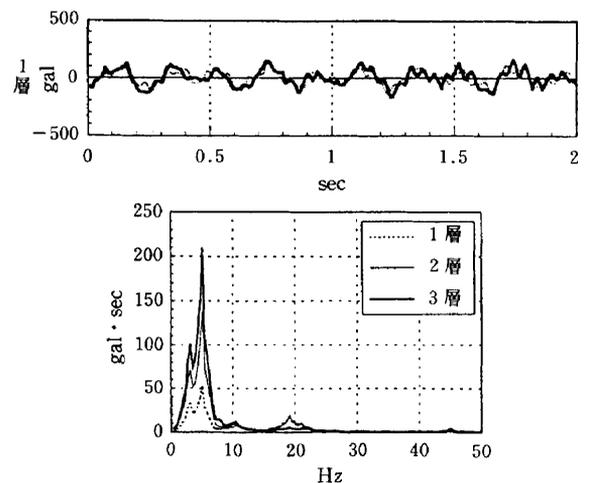


図-4(a) 加速度時刻歴, フーリエスペクトル (数値減衰法)

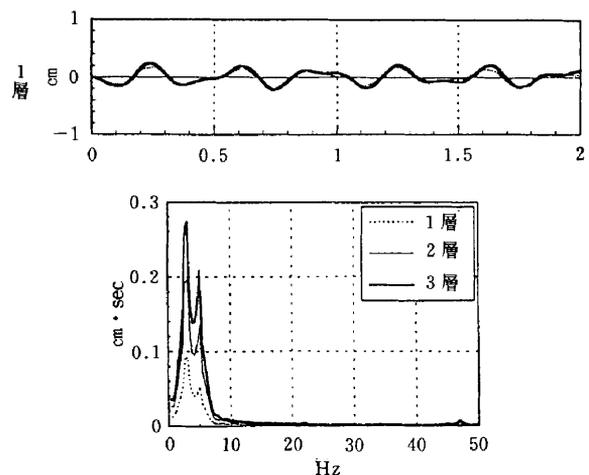


図-4(b) 変位時刻歴, フーリエスペクトル (数値減衰法)