

## 構造物のFuzzy振動制御に関する実験的研究

長崎大学工学部 学生員○藤元一栄 長崎大学工学部 正 員 岡林隆敏  
長崎大学工学部 学生員 石松栄治 長崎大学工学部 学生員 奥松俊博

## 1. はじめに

地震や風による構造物の振動を、構造物に付加した装置により、積極的に振動を制御するアクティブコントロールの研究が進められている。本研究は、ロバスト性が強いと言われるFuzzy推論を組み込み、構造物の振動制御の有効性を実験的に検討したものである。Fuzzy推論による振動制御の理論は、これまで主にシミュレーションを中心にして研究が進められてきた。<sup>(1)(2)</sup>しかし、実際に構造物の振動を制御するためには、制御の考え方を実時間において実現する必要がある。最近、Fuzzy演算用のボードが市販されるようになり、パーソナルコンピュータにより、リアルタイムにFuzzy演算をする環境が整備されてきた。<sup>(3)</sup>本研究では、これらの装置により、Fuzzy推論による振動制御をパーソナルコンピュータで実現したものである。

## 2. 構造物のモデル化と実験装置

本研究では、制御対象を図-1のような5層の骨組構造物とする。ここでは、各層の応答加速度を検出して、これらに比例した力を最上部に作用させて振動を制御する。そこで、この構造物モデルを5質点系にモデル化し、その中で3次振動までを制御の対象とした。

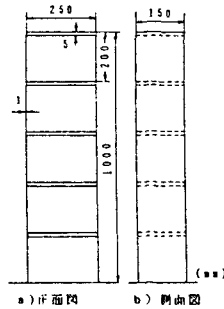


図-1 構造物モデルと制御モデル

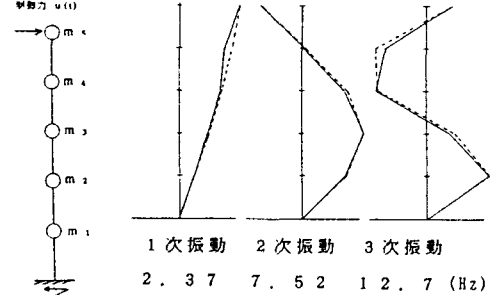


図-2 構造物モデルの振動モードと固有振動数

図-2は、この構造物モデルの3次振動までの振動モードと固有振動数を表したものである。モデルはアルミニウム製で、減衰定数は1次振動からそれぞれ0.64, 0.50, 0.45%である。

次に、制御実験装置についての概要を図-3に示した。

ここで、構造系の運動方程式は、次式で表される。

$$M\ddot{Y}(t) + C\dot{Y}(t) + KY(t) = Bu(t) + F(t) \quad (1)$$

ここに、 $M$ 、 $C$ 、 $K$ および $F$ は、質量行列、減衰行列、剛性行列、外力ベクトルである。変位 $Y(t)$ は、

$$Y(t) = \Phi Q(t) \quad (2)$$

と、モードマトリックス $\Phi$ より、基準座標 $Q(t)$ に変換される。

制御力 $u(t)$ は、速度フィードバックを考えているので、

$$u(t) = -K\dot{q}(t) \quad (3)$$

ようになる。実験では、この部分にFuzzy演算を用いており、このことについては、以下で詳しく説明する。

この実験では、加速度を観測しているのので、それを数値演算により速度に変換する。このアルゴリズムは、次の式を用いている。

$$\dot{v}(t) = av(t) + f(t), \quad v(0) = v_0 \quad (4)$$

この式を、差分表示すると、次のようになる。

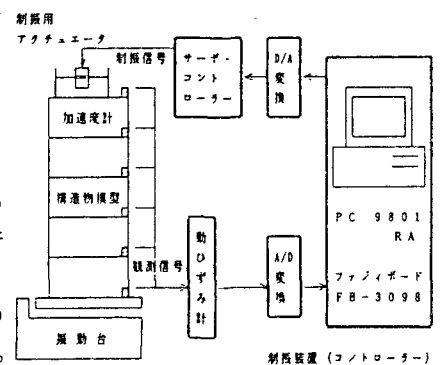


図-3 振動制御システム

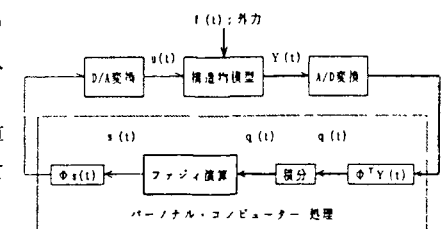


図-4 ファジィ・ボードを用いた制振システム

$$V_{n+1} = V_n e^{-a\Delta t} + f_n(1 - e^{-a\Delta t})/a + (f_{n+1} - f_n)(e^{-a\Delta t} - 1 - a\Delta t)/a^2\Delta t \quad (5)$$

ここで、 $\Delta t$ は時間刻み、 $a$ は積分の時定数である。実験では、 $a$ の値を $2\pi \times 0.5$ とした。

図-5は、模型の最上階に取りつけられるアクチュエータの概形である。これは、直流サーボ・モーターで駆動するようになっている。

### 3. FUZZY推論について

本研究においてFuzzy制御を行うために、開発ツールとして、デジタル・ファジィ・プロセッサ搭載のファジィ・ボードFB-3098((株)オムロン社製)を使用した。また、Fuzzy演算規則の作成には、このボードに対応したソフト・ファジィ・コンピュータFS-1000を使用している。Fuzzy推論のルールとメンバー・シップ関数を、図-6のように設定した。条件部、結論部とも7つのラベルに分割し、分布は等分割とした。また、推論方法はMAX-MIN論理積法、Fuzzy出力の合成には重心法をそれぞれ用いた。

### 4. 振動制御の効果

実験では、構造物模型を大型振動台で加振する。この振動台は、パーソナルコンピュータ内でデータを生成し、これをD/A変換することにより、駆動している。

図-7は、模型をパルス状の力で加振した場合の、制振効果を示したものである。a)が1次振動、b)が2次振動で加振した場合の構造物の加速度応答である。グラフは、横軸に時間(単位:秒)、縦軸に加速度(単位:gal)を表した。制御を加えると減衰定数は、1次振動では約5倍、2次振動では約2倍に増大した。これらより、振動が抑制されていることがわかる。

図-8は、エルセントロ波(NS)で加振させた場合の制振効果を加速度応答について示したものである。グラフより、加速度は全体的に約1/3に低減していることがわかる。また、それぞれの波形のパワースペクトル密度を測定してみたところ、その値は1次振動では約1/2、2次振動では約1/3に低下している。このように、全体的には制御できているが、初期の部分においては余り制御ができていない。したがって初期の部分も制御できるようなパラメータの設定が必要である。ところで、3次振動は制御されていない。この原因は、コンピュータのサンプリング時間が大き過ぎるためであると考えられるが、このことについては、講演時に報告する。

[参考文献] 1) 亘里他: 建築学会大会, 1990年, No. 2518 2) 山田他: 同, No. 2519 3) ファジィ制御とソフトファジコン入門, ラジオ技術社, 1990年

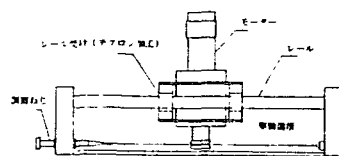


図-5 アクチュエータの概形

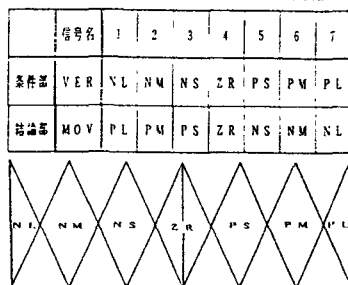
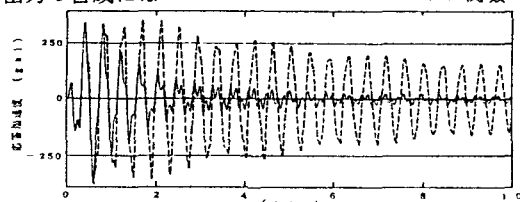
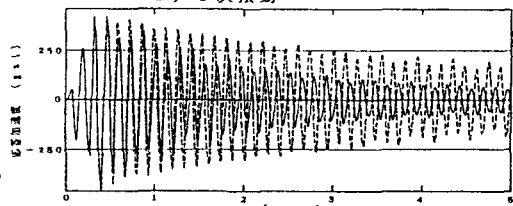


図-6 ファジィ演算のルールとメンバーシップ関数

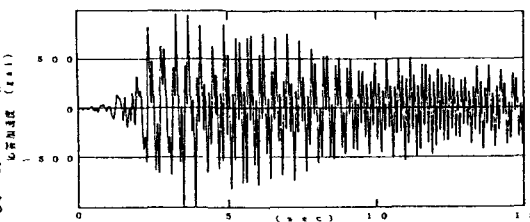


a) 1次振動

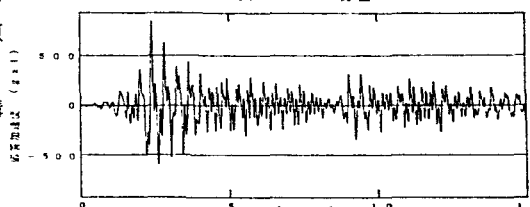


b) 2次振動

図-7 振動制御の効果



a) 振動制御がない場合



b) 振動制御がある場合

図-8 地震波形に対する振動制御効果