

I - 630 Fuzzy制御理論を用いた構造物のアクティブ制振に関する実験的研究

北海道大学工学部	正員	小幡	司
建設省	正員	斎藤	真吾
北海道大学工学部	正員	及川	昭夫
北海道大学工学部	正員	林川	俊郎
北海道大学工学部	正員	佐藤	浩一

1. まえがき

近年、土木構造物においても、吊橋や斜張橋の主塔をはじめとして制振や免振が積極的に行われるようになり、TMD、オイルダンパー等の制振装置が多数開発されている。一般に、パッシブ方式の制振装置は複数のモードの同時制振は極めて困難であり、ある程度広範囲の振動数に対して制振を行う場合には、アクティブコントロールが適しているケースが多くある。

アクティブ制振を行う場合、問題となるのが制御理論とサブリング周波数（制御時間）である。まず、前者に関しては、以前から多くの研究がなされ、種々の方法が提案されているが、土木構造物が受ける外力は、例えば地震荷重のように不規則なものが多いため、強いロバスト性が要求される。また、後者については、最近のマイクロプロセッサの飛躍的な性能向上により、パソコン等を用いても比較的高速な処理が可能になりつつある。

以上より、本研究は、制御理論にロバスト性が強いと称されるファジィ制御を採用し、パソコンを用いて構造物模型の制振実験を実施して、サンプリング周波数等の検討を行ったので、その結果を報告するものである。

2. 制御理論

一般に、多自由度系の運動方程式は、

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{x}(t) = \mathbf{F}(t) + \mathbf{U}(t) \quad \dots \quad (1)$$

ここで、 M ：質量マトリックス C ：減衰マトリックス K ：剛性マトリックス

$\mathbf{F}(t)$: 外力ベクトル $\mathbf{U}(t)$: 制御力ベクトル

本研究では、 $\mathbf{U}(t)$ の計算に、加速度と速度をパラメータとした前件部2変数、後件部1変数からなる直接法を用いたファジィ推論を採用した。図-1にメンバーシップ関数を、表-1に規則表を示す。

実際の制御に際しては、あらかじめファジィ関係を別プログラムで計算しておき、ファジィ関係をデータとして与えることによって、制御プログラムの高速化をはかった。なお、本研究ではファジィ関係の合成法に max-min合成を、確定値の計算には重心法を用いている。

3 実験およびその結果

3-1 実験方法

実験は、図-2のような3層の骨組構造物を制作し、これを振動台上で加振して最上層に設置したアクチュエータによって制振力を発生させ、その際の各層の加速度を測定することにより行った。

前述のとおり、本研究では制御則のパラメータに加速度と速度を用いている。したがって、制御用のセンサーとしては、最上層の加速度計を利用し、また速度については、観測された加速度に時間刻み Δt を直接乗じることによって算出することとした。

サンプリング周波数はパソコンNEC PC-9821As(クロック33MHz)を用いた場合、最大200Hz(制御時間刻み $\Delta t=0.005sec$)程度まで可能である。また、アクチュエータについては、重錘をベルトを介して直流サーボモーターで駆動する形式を採用した。重錘重量は構造物重量の約1%である0.7kgとし、この重錘に対して加速度で最大約500galまでの制振力を発生することができる。図-3に本研究で用いた振動制御システムの概略図を、図-4には制振システムのブロック線図を示す。

3-2. 實驗結果

まず、実験供試体の振動特性を把握するために減衰自由振動実験を行い、固有振動数、減衰定数等を測定した。その結果を

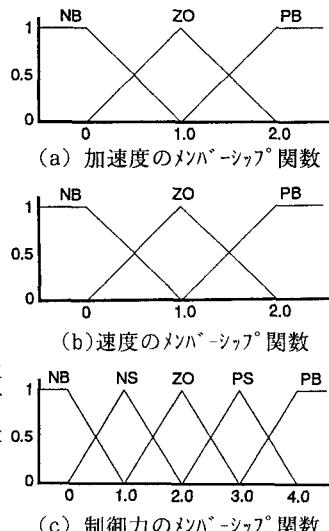


図-1 メンバ-シップ関数

表-1 規則表

a \ v	NB	ZO	PB
NB	PB	PS	ZO
ZO	PS	ZO	NS
PB	ZO	NS	NB

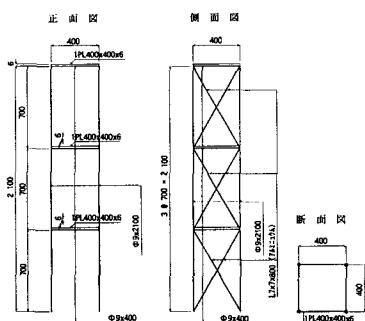


図-2 実験供試体一般図

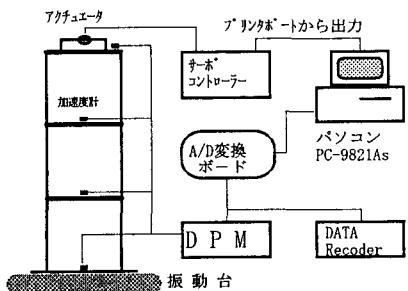


図-3 振動制御システム概略図

表-2に、振動波形を図-5に示す。

つぎに、振動台を用いて、固有振動数で供試体を加振し、振動台の停止とほぼ同時に制御を開始する実験を実施した。サンプリング周波数は100Hz(制御時間刻み $\Delta t = 0.01\text{sec}$)を用いている。図-6に1次モード時の実験結果を示す。図-6に着目すると、無制御時に比して、加速度が急速に低下し、制振効果が現れていることがわかる。減衰定数で比較すると無制御時約0.36%から制御時約1.73%となり、約4.8倍に増大し、制御力が有効に作用していると考えられる。

なお、制御時に加速度があるレベル以上に低下すると制御信号は出力されているにもかかわらず、モーターの粘性抵抗やベルトの摩擦等の影響でアクチュエータが停止してしまうため、完全に振動を抑制することができない。しかしながら、この現象はアクチュエータの特性を十分把握することにより、制御則の改善等で対応が可能であると思われる。

また、3月現在、ランダム波、振動波入力の場合の実験はまだ実施していないが、サンプリング周波数が最大200Hzと比較的高速であるため、地震波に対する制振も十分可能であると推定される。

4. あとがき

本研究では、ファジィ制御を用いたアクティブ制振実験を行い、以下のような結果を得た。

本研究の制御システムは、その演算をすべてソフトウェアで行っており、特別な演算回路等は必要としないため比較的安価であり、また、ソフトウェアの変更のみで各種の制御理論を用いることが可能である。サンプリング周波数も最大200Hz

程度とかなり高速で、土木構造物の制振に関してはほぼ十分であると思われ、地震波等の入力に対しても制振が可能であると推定される。

なお、本研究の一部に平成5年度文部省科学研究費奨励研究(A)、(研究代表者 小幡卓司、課題番号05750450)の援助を受けたことを付記する。

<参考文献>

- 藤元一栄・岡林隆敏・石松栄治・河角省治：構造物のFuzzy振動制御に関する実験的研究、土木学会第47回年次学術講演会概要集 pp522~523, 1992.
- 白石昌武：入門現代制御理論、啓学出版、1987.
- 特集制御理論の考え方とモータ制御への応用、インターフェース1993年9月号、CQ出版社。