

I - 629 Fuzzy制御理論を用いた構造物のアクティブ制振に関する解析的研究

建設省 正員 斉藤 真吾
 北海道大学工学部 正員 小幡 卓司
 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

地震や風による構造物の振動を、構造物に制振装置を付加することにより制御しようとする研究が、現在盛んに行われている。なかでも、振動の積極的な制御を目的としたアクティブ制振は、橋梁の主塔等の制振に大きな威力を発揮すると考えられ、その実用化についても多くの検討がなされている。

アクティブ制振において最も重要なのは、その制御理論である。従来の制御理論は、ある程度予測可能な事象に対しては非常に有効であるが、風や地震のように不確定な変動がある事象に対しては制御システムが膨大になる可能性がある。近年、このような予測しにくい事象に対する制御理論として、ファジィ制御理論が注目されている。ファジィ制御では、制御規則における予測入力値と実際の入力値とが多少ずれれていても、そのずれ具合に応じた出力結果を無理なく導くことができるため、ロバスト性が非常に大きいと言われている。

これらを背景として、本研究では構造物の応答速度・応答加速度を入力値、制御力を出力値としたファジィ推論規則を作成し、アクティブ制振におけるファジィ制御の有効性を検討するために数値解析を行ったので、その結果を報告するものである。

2. 解 析 理 論

2-1. 構造物のモデル化と動的応答解析

本研究では図-1のような3層の骨組み構造物を3質点系にモデル化して解析を行った。まず構造物の振動特性を把握するために固有値解析を行い、表-1のような結果を得た。減衰定数に関しては、模型実験による実測値である。また、図-2に振動モードを示す。

一般に、多自由度系の運動方程式は、式(1)で表される。

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

$\mathbf{M}$: 質量マトリックス $\mathbf{C}$: 減衰マトリックス $\mathbf{K}$: 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

ここで、時刻 t_n 秒における制御力ベクトル $\mathbf{U}(t_n)$ は、 t_{n-1} 秒における加速度・速度を前件部としたファジィ推論により算出したものである。

多自由度系の強制振動の応答解析手法には、いくつかの手法があるが、本研究ではニューマーク β 法を用いた直接数値積分法を用いることとする。なお、パラメータ β および時間刻み Δt は、 $\beta=0.25$ 、 $\Delta t=0.01\text{sec}$ (サンプリング周波数100Hz)とした。

2-2. ファジィ制御理論

前述のとおり、本研究では制御力の計算に、応答速度・応答加速度を前件部、制御力を後件部とした直接法によるファジィ推論を採用した。また、下記のような推論規則を25組設定し、あらかじめ各規則のファジィ関係を1つのファジィ関係に合成することで、計算時間の短縮を図った。

推論規則例

もし加速度が大きくて速度が速ければ制御力を大きくせよ
 IF a is PB AND v is PB THEN u is NB

なお、ファジィ関係の合成法はmax-min合成を、確定値の計算には重心法を用いた。図-3に速度、加速度、および制御力のメンバーシップ関数を、表-2に制御規則を示す。

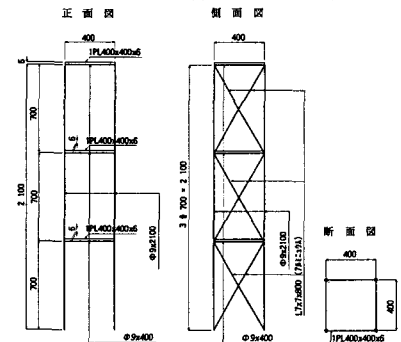


図-1 解析に用いた構造物

表-1 振動特性

	1次モード	2次モード	3次モード
ω (rad/s)	8.895	26.05	49.25
f (Hz)	1.416	4.150	6.250
T (s)	0.706	0.241	0.160
ζ (%)	0.36	0.25	

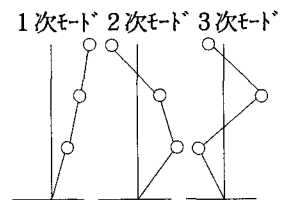
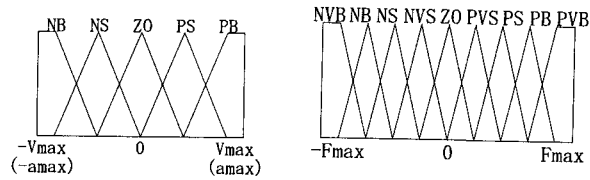


図-2 振動モード

表－2 規則表

a \ v	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	PVB	PVB	PB	PVS	NVS
NS	PVB	PB	PS	ZO	NS
ZO	PB	PS	ZO	NS	NB
PS	PS	ZO	NS	NB	NVB
PB	PVS	NVS	NB	NVB	NVB



(a)速度・加速度のファジィ集合 (c)制御力のファジィ集合

図－3 メンバシップ関数

表－3 解析手法

ケース	解析手法	制御力
ケース1	自由振動	3層全てに制御力
ケース2	自由振動	頂部のみ制御力
ケース3	地震波入力	3層全てに制御力
ケース4	地震波入力	頂部のみ制御力

3. 解析結果

解析は表－3に示すような4ケースについて行った。図－4、図－5に最上層に制御力を加えた場合の、自由振動時の応答変位と応答加速度を示す。また、図－6は地震波(El-Centro N S波、最大加速度100gal)を入力した場合の応答変位である。

これらの結果から、変位および加速度の応答は、無制御時に比較すると、よく制御されており、制振効果が現れていることがわかる。したがって、本研究におけるメンバシップ関数および規則の設定は、ほぼ妥当であると思われる。

また、図－6に着目すると、地震波入力に対してはメンバシップ関数や規則の調整を十分に行っていないにも関わらず、応答変位がほぼ半程度に減少している。このことから、不規則な外力に対するファジィ制御のロバスト性が、有効に発揮されていると推定できる。

なお、図－5では、約6Hzの波が抑制されていないが、これは3次モードにおいて振幅が非常に小さい最上層に制御力を作用させた場合、制御力が有効に作用しないためと考えられる。

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の解析を行い、以下のような結果を得た。

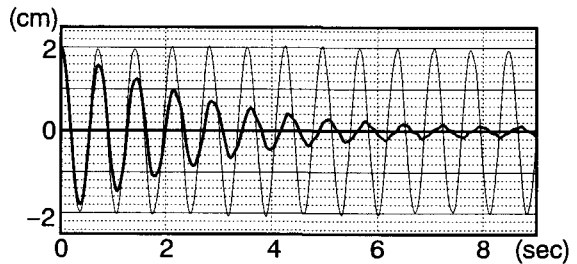
まず、解析結果から顕著な制振効果が認められ、ファジィ制御はアクティブ制振の一手法として有効であると思われる。

また、不規則な外力に対しては、規則やメンバシップ関数の設定などを調整することにより、制御効果がより高まることが予想されるが、そのためには制振に関する十分な知識や経験が不可欠であり、今後これらを蓄積することが本研究における重要な課題である。

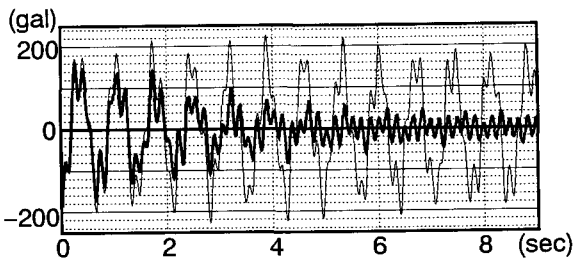
なお、本研究の一部に平成5年度文部省科学研究費奨励研究(A)、(研究代表者 小幡卓司、課題番号05750450)の援助をうけたことを付記する。

<参考文献>

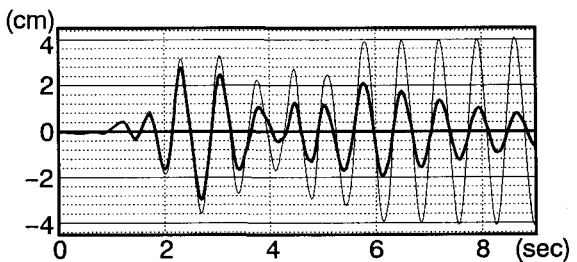
- 1) 石松栄治・岡林隆敏・藤元一栄・河角省治：不規則外力を受ける構造物のFuzzy振動制御、土木学会第47回学術講演会概要集 pp524～525、1992
- 2) 白石昌武：入門現代制御理論、啓学出版、1987
- 3) 小幡卓司・林川俊郎・桑島正樹：歩道橋の振動使用性に関する一考察、構造工学論文集 vol39A pp 793～799、1993



図－4 自由振動時(ケース2)の応答変位



図－5 自由振動時(ケース2)の応答加速度



図－6 地震波入力時(ケース4)の応答変位