

正員 ○三ヶ尻吉孝

京都大学工学部 正員 渡邊 英一

京都大学工学部 正員 古田 均

1. はじめに

現在、構造物の振動制御に関する研究が数多く行われている。これらの研究の大部分は、振幅や加速度をできるだけ小さくするという立場をとっている。これに対し本研究では、非常に簡単なシステムを用いて、最適とは言えないまでもある程度の制振効果をあげることを目標とする。そのために、入力から出力までの計算時間が短い、プログラムが極めて簡単といった特徴を持つファジィ制御の利用を試み、数値シミュレーションにより検討を加える。

2. ファジィ理論の振動制御への応用

本研究では、ファジィ制御の考え方を構造物の振動制御に応用する。つまり、構造物の応答量などを入力とし、それにファジィ推論を施して制御力の大きさと向きを出力として得る。ファジィ制御ルールとしては表 1、2 に示す if (前件部) - then (後件部) 型のルールを用いる。前件部で用いる相対応答速度 V と地動加速度 A のメンバーシップ関数は図 1 に示すような三角型のメンバーシップ関数とする。メンバーシップ関数の代表値は構造物の無制振時相対応答

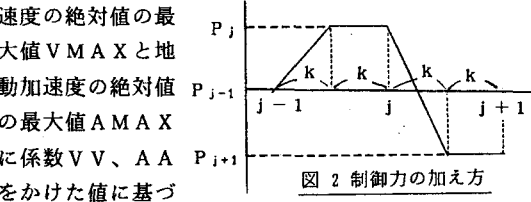


図 2 制御力の加え方

速度の絶対値の最大値 $VMAX$ と地動加速度の絶対値の最大値 $AMAX$ に係数 VV 、 AA をかけた値に基づいて決定する。ルール 1 を用いて係数 VV を 1.0 から 0.1 の間でチューニングしたところ VV の値が小さいほど、つまり Big、Medium、Small に分けたメンバーシップ関数の Big の網羅する部分が広いほど良い制御結果が得られた。そこでファジィ制御の特殊な場合として、制御力を Big、Medium、Small に分けるのではなく、常に Big の最大制御力を加えるというルール (ルール 3) についても検討した。後件部で用いる制御力 P のメンバーシップ関数には、本研究ではファジィ推論に高さ法²⁾を用いるので代表値のみを考えている。また、制御力は図 2 に示すように、時間遅れを考慮、 $TIME LAG=k$ 秒で加えられるようにしている。

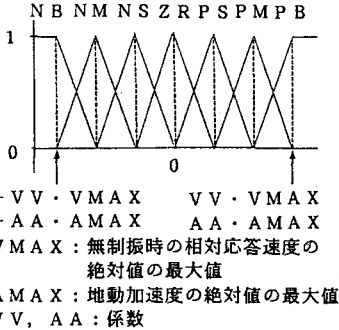


図 1 前件部メンバーシップ関数

表 1 相対応答速度のみを考慮したルール (ルール 1)

V							
NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB	
PB	PM	PS	ZR	NS	NM	NB	

もし相対応答速度が負の向きで大きいならば、
制御力は正の向きで大きくせよ
(if V is NB then P is PB)

.....

表 2 相対応答速度と地動加速度を考慮したルール (ルール 2¹⁾)

		V						
		NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
A	NB	PB		NB		NB		NB
	NM	PB		NM		NM		NB
	NS	PB		NS		NS		NB
	ZR	PB	PM	PS	ZR	NS	NM	NB
	PS	PB		PS		PS		NB
	PM	PB		PM		PM		NB
	PB	PB		PB		PB		NB

もし相対応答速度が負の向きで大きく地動加速度が負の向きで
大きいならば、制御力を正の向きで大きくせよ
(if V is NB and A is NB
then P is PB)

.....

3. 数値計算例

1 自由度系の構造モデルを用い、以下の条件下で数値計算を行った。地震波：エルセントロ地震 NS 成分（最大加速度 341.6 gal）、最大制御力：重量の 0.88%、モデルの周期 $T: 2$ 秒、減衰：1%。本結果と文献 3) の最適制御の結果との比較を表 3 に示す。ただし、比較には制振時の応答量と無制振時の応答量の比率を用いている。また、TIME LAG= 0.01 秒としている。この比較より加速度を制御する面では最適制御の方が優れていることが分かるが、振動による構造物の損傷の主要な原因と思われる変位を制御する面では、本研究で用いたファジィ制御もかなり良い結果を与えている。また、ファジィ制御の特殊な場合であるルール 3 が、3 つの応答量のすべての面でルール 1、ルール 2 と同程度の制御結果を得ていることも分かる。この傾向が地震波、モデルの周期などを変えても同じであるかを調べるために、地震波：十勝沖地震の余震の NS 成分（最大加速度 79.3 gal）、モデルの周期 $T: 1$ 秒に変更した場合のルール 1 ～ルール 3 のファジィ制御結果を表 4 に示す。この場合もルール 3 は他のルールと同程度の制御結果を得ていることが分かる。また TIME LAG= 0.05 秒とした場合、そして最大制御力を重量の数パーセント～数十パーセントに変化させた場合に関してもルール 1 ～ルール 3 の比較を行ったが、これらの場合もルール 3 は他のルールと同程度の制御結果を得ている。さらに対象モデルとして 2 自由度系モデルを考え、各層にそれぞれファジィ制御ルールを適用して 1 層、2 層にともに制御力を加える場合と 1 層のみに制御力を加える場合に関しても比較を行ったが、ルール 3 は他のルールと同程度の制御結果を与えることが分かった。

4. 結論

数値計算例より、モデルの周期や自由度、地震波、制御力の加え方、最大制御力、TIME LAG などを変える程度変化させてもファジィ制御の特殊な場合であるルール 3 による制御は、他のファジィ制御と同程度の制御結果を与えることが分かった。本研究が目的とするより簡単なシステムを用いた振動制御という観点から言えば、ルール 3 を用いれば十分であると言える。しかし、模型実験による検討を加えたところルール 3 のみであれば、振幅が小さい場合には、加振してしまうということがあることが分かった。

これは、模型実験では、数値シミュレーションのように理想的な形で制御力を与えることができないためであると思われる。実験に用いる模型と実験装置の特性を的確にとらえたモデルを用いてシミュレーションの妥当性を検証することが求められる。

参考文献

また、表 3 から明らかなように本研究で用いたファジィ制御に比べて、文献 3) の最適制御はかなり良い制御結果を得ている。この最適制御で用いられている振動制御に関する知識をファジィ制御ルールの形で取り入れることができるならば、さらに良いファジィ振動制御システムを開発することが可能であると考えられる。

表 3 最適制御とファジィ制御との比較

エルセントロ地震 NS 成分 ($T = 2.0$ s, TIME LAG = 0.01 s)
(最大制御力：重量の 0.88%)

	$\max X / \max X_0$	$\max V / \max V_0$	$\max A C / \max A C_0$
最適制御	0.46	0.62	0.53
ルール 1	0.63	0.62	0.98
ルール 2	0.63	0.62	0.95
ルール 3	0.61	0.61	1.01

表 4 十勝沖地震の余震の NS 成分 ($T = 1.0$ s, TIME LAG = 0.01 s)
(最大制御力：重量の 0.88%)

	$\max X / \max X_0$	$\max V / \max V_0$	$\max A C / \max A C_0$
ルール 1	0.50	0.54	0.78
ルール 2	0.46	0.50	0.74
ルール 3	0.48	0.53	0.78

X_0 : 無制振時相対応答変位 X : 制振時相対応答変位
 V_0 : 無制振時相対応答速度 V : 制振時相対応答速度
 $A C_0$: 無制振時相対応答加速度 $A C$: 制振時相対応答加速度

- 1) 榊山 哲也、Bernardo Creamer、馬場 研介、橋 英三郎、井上 豊：建築構造物のファジィ制御を用いた制震システムの研究、日本建築学会学術講演梗概（中国）、1990.10、pp.841-842
- 2) 水本 雅晴：わかりやすいファジィ理論—ファジィ推論とファジィ制御—、コンピュータロール、コロナ社、1989、pp.32-45
- 3) 安部 裕、深尾 康三：アクティブマスダンパーにおける最適制御アルゴリズムについて（その 2）、日本建築学会学術講演梗概（中国）、1990.10、pp.825-826