

前田建設工業(株) 正員 ○石松栄治 長崎大学工学部 正員 岡林隆敏
 戸田建設(株) 正員 藤元一栄 (株)PAL構造 正員 河角省治

1. はじめに

土木、建築構造物のような大規模な構造物の振動制御を、アクティブ振動制御により実施する試みが実用化されつつある。また、様々な制御理論や技術が提案されている。本研究は、構造物や外乱の変動に対して、頑強性が強いと言われるFuzzy制御理論¹⁾²⁾³⁾により、振動制御を試みたものである。5自由度系にモデル化した構造物が、地震外力を受ける場合、速度フィードバックの部分にFuzzy演算を組み込み、制御効果、数値演算の精度、数値演算に適したアルゴリズム等を、シミュレーションにより検討したものである。

2. 構造物のモデル化と応答解析

制御対象は図-1のような5層骨組構造であるが、これを5自由度系にモデル化して考える。この構造物の振動数と減衰定数を表-1に示した。また、図-2は、最上部に制御用アクチュエータを設置した場合の、振動モードを示したものである。本研究では、振動制御を3次振動までに限定して考える。

基盤に地震力が作用した場合を想定し、各質点に作用する力を $F(t)$ 、最上部に作用する制御力を $u(t)$ とする。このとき、構造物の運動方程式は、状態空間表示すると、次のようになる。

$$\dot{X}(t) = AX(t) + Bu(t) + DF(t) \quad (1)$$

$$Y(t) = CX(t) \quad (2)$$

ここに、 $X(t)$ は、基準座標 $q(t)$ から構成される状態変数

$$X(t) = [q_1(t) \dot{q}_1(t) \cdots q_n(t) \dot{q}_n(t)]^T \quad (3)$$

である。 C は、振動モードから構成される行列である。 $Y(t)$ は、各質点の変位あるいは速度である。

本研究では、応答解析を無条件安定なPade近似を用いて行う。(1)式の状態遷移行列を次式で近似する。

$$\exp(Ah) = (I - Ah/2)^{-1}(I + Ah/2) \quad (4)$$

この関係を用いると、(1)式は、次のように差分表示される。

$$(I - Ah)X_{n+1} = (I + Ah)X_n + B(u_{n+1} + u_n)h/2 + D(F_{n+1} + F_n)h/2 \quad (5)$$

ここで、 h は時間刻みである。

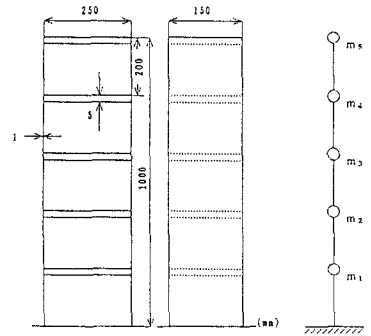
3. Fuzzy推論と制御則

制御則は、速度フィードバックを考える。一般座標の各次数

$$u(t) = K\dot{q}(t) \quad (6)$$

の速度に比例した力を、構造物最上部にフィードバックさせる。各次数について、最適なゲインを試行錯誤的に求めている。本研究では、(6)式の部分をFuzzy演算により実行させている。制御のための信号の流れを図-3に示した。

Fuzzy演算は、プログラムを組み込むのではなく、専用のFuzzy演算ボードにより実行する。これは、デジタルファジプロセッサ搭載のファジボード(FB-3098)と対応するソ



正面図 側面図
 構造物模型 5質点系モデル

図-1 構造物模型と構造物モデル

表-1 制御モデルの振動特性

振動次数	固有振動数 (Hz)			減衰定数
	有限要素法	5質点系	実測値	
1次	2.369	2.430	2.390	0.0064
2次	7.247	7.290	7.520	0.0050
3次	11.98	12.01	12.70	0.0045
4次	15.90	15.92		
5次	18.47	18.48		

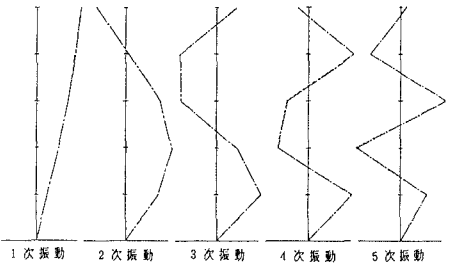


図-2 構造物モデルの振動特性

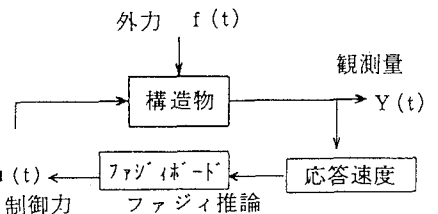


図-3 ファジィ振動制御

フトウェア(FS-1000)、(いずれもオムロン社製)から構成されている。Fuzzy制御における推論の合成方法はMIN-MAX法でありFuzzy出力の確定方式は重心法を採用している。

構造物モデルの各質点の応答速度を入力情報(前件部)として、Fuzzy推論により得られる出力情報(後件部)を制御力とする。これらを、各次数について並列的に処理させている。制御規則は7個のラベルに分割し、その条件を表-2に示した。また、各ラベルのメンバーシップ関数として、等間隔の図-4のようなものを用いている。

4. 数値解析と考察

この計算では、地震動に対する構造物モデルの最上部の応答変位を求めている。制御対象として、3次振動までを考える。

図-5は、1次、2次、3次振動でそれぞれ共振させ十分に定常振動状態になったのちに制御をかけた場合のそれぞれの制御効果を表したものである。横軸は時間を、縦軸は応答変位である。1次振動の場合、ほとんど完全に制御がかかっている。2次振動の場合では、無制御時に比べ制御時には、応答変位が約15%にまで低減されている。3次振動では、あまり制御の効果が現れていない。すなわち、1次、2次振動では制御効果が現れているが、3次振動では制御が効かなくなっており、高次振動になる程制御効果が現れていない。これは時間刻み $\Delta t = 0.01$ 秒の場合であり、 $\Delta t = 0.005$ 秒とすると、3次振動でも制御の効果が現れる。

図-6は、El Centro(N-S)地震外力に対応する振動台の波形である。この外力が作用したときの制御時、無制御時の応答変位を図-7に示した。応答波形の時間刻みは $\Delta t = 0.03$ である。制御をかけると、無制御時に比べ全領域でかなりの低減が見られる。また、最大応答変位について見れば、無制御時では、14.80 cm、制御時では4.35 cmと約30%まで応答変位が低減している。El Centro地震外力は、1次振動、2次振動を含む成分が主要であるために、高次振動の影響が現れていない。このために、制御効果が顕著に現れているものと思われる。

6. おわりに

Fuzzy推論を使って振動制御を行ったが、市販のファジィボードを使用すると、プログラムを組むことなく手軽にFuzzy制御を取り扱える。速度フィードバックの制御則を適用して、効果のある結果が得られた。

この研究では、Fuzzy推論が有効に使われてはいない。今後、外力に対してゲインそのものをFuzzy推論によって求めることを、検討したい。

表-2 制御規則

	1	2	3	4	5	6	7
条件部	N L	N M	N S	Z R	P S	P M	P L
結論部	P L	P M	P S	Z R	N S	N M	N L

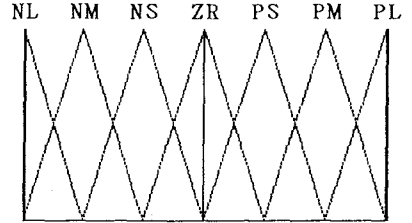


図-4 メンバーシップ関数

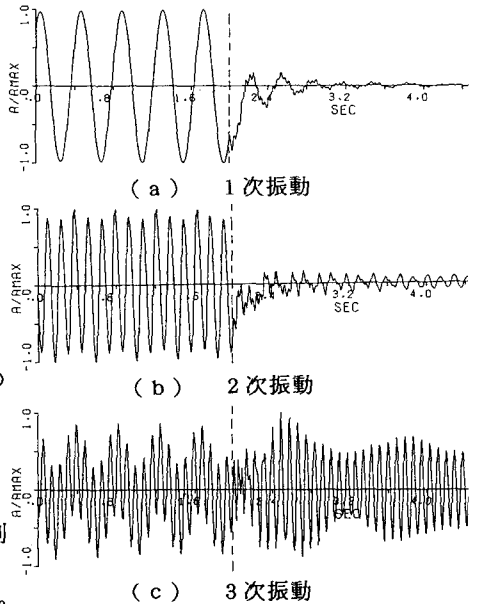


図-5 共振時の制御効果

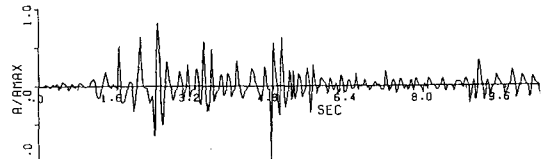


図-6 地震力で加振した振動台の加速度

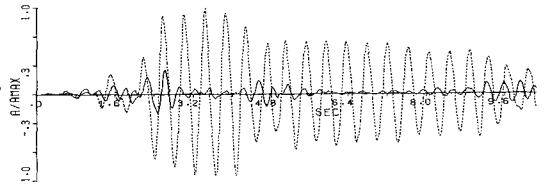


図-7 制御・無制御の応答変位

[参考文献] 1) 巨里他: 建築学会, 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ィ入門, ラジオ技術社, 1990年