

ファジ理論を用いた海洋構造物の振動制御に関する研究

京都大学大学院 学生員 ○南 将行 日立造船 正員 金吉 正勝
 京都大学工学部 正員 渡邊 英一 日立造船 正員 田中 洋
 京都大学工学部 正員 古田 均

1. 研究目的

近年、建築・土木技術の向上とともに、可撓性に富んだ超高層ビルや超長大橋が建造されるようになり、その安全性・使用性の観点から地震・風・波等に起因する振動を防止することが重要となってきた。本研究では、有脚式の海洋構造物を対象に、波が発生したときの構造物の動的応答を調べ、その応答に基づいて、ファジ制御ルールを用いてアクティブコントロール手法により振動を制御することを目的とする。

2. ファジ制御ルール

本研究では、ファジ制御ルールとして、制御ルールの後件部が実数値で表された簡略化ファジ推論法¹⁾を用いる(図1)。簡略化ファジ推論法では、 i 番目のデータの j 番目のルールの適合度を μ_{ji} とすると推論結果は

$$y_i^* = \sum_{j=1}^n \mu_{ji} \cdot f_j / \sum_{j=1}^n \mu_{ji} \quad (1)$$

のように表される。前件部には三角形メンバーシップ関数(図2)を用い、メンバーシップ関数の幅、および後件部の実数値は、最適制御理論によるシミュレーション結果を学習データとしてホップフィールド型のニューラルネットワーク²⁾を用いて制御ルールをチューニングする。ホップフィールド型のニューラルネットワークは、ニューラルネットワークの構成要素であるニューロンの出力 v_j を変化させ、次式のように定義されるエネルギー関数を極小にする性質がある。

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N w_{jk} \cdot v_j \cdot v_k - \sum_{j=1}^N \theta_j \cdot v_j \quad (2)$$

いま簡略化ファジ推論における後件部の実数値 f_j をホップフィールドモデルのニューロンの出力 v_j とすると出力データ y_i とファジ推論結果 y_i^* の2乗誤差が上式のエネルギー関数と同等になる³⁾。これを用いて後件部の実数値を決定する。

3. 解析方法

解析に用いる海洋構造物のモデルを図3に示す。ここで質量 $M=6000(t)$ 、水深 $D=50(m)$ 、パイルの長さ $H=60(m)$ 、パイルの外径 $d=2.0(m)$ 、パイルの中心間隔 $L=10(m)$ 、パイルの板厚は $5.0(cm)$ 、パイルの本数は3本とする。このとき、構造物の剛性は $5001.9(kN/m)$ となり、減衰定数を 0.05 とすると、固有周期は $6.88(sec)$ である。

次に、不規則波を発生させて構造物に作用する波力を算定する。パイルを静止円柱とすると、作用する波力はモリソン式を用いて表される。本研究では計算を簡単にするためモリソン式の抗力項を線形化した式を用いる。また、パイルに作用する水平分布力を上部工に作用する節点力と考えると計算を行う。

このようにして求めた波力を利用して応答解析を行った。ただし波力としては風速がそれぞれ $10m/s$ 、

応答変位 x						
NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7

NB=Negative Big NM=Negative Medium
 NS=Negative Small ZR=Zero
 PS=Positive Small PM=Positive Medium
 PB=Positive Big

図1 ファジ推論法

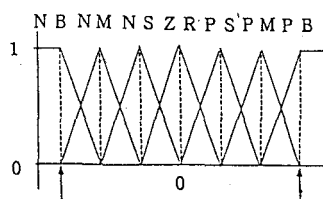


図2 三角形メンバーシップ関数

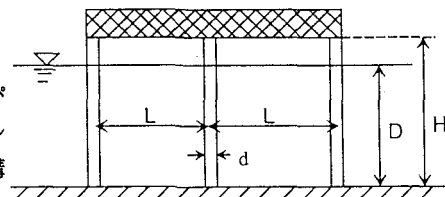


図3 海洋構造物のモデル

15m/s, 20m/s, 25m/s, 30m/sの時の5種類について計算した。まず、最適制御理論を用いて振動の制御を行った。最適制御理論としては逐次オープンループ制御³⁾を用いて、応答変位が最小となるような制御力を逐次決定した。ただし、制御力には制限をもうけ、時間遅れを考慮して1ステップ(0.02秒)遅らせて制御力を加えることにする。この結果をもとにホップフィールド型のニューラルネットワークを用いてファジィ制御ルールを作成する。ただし、ルールは応答変位と制御力に関するルールとした。ファジィ制御ルールの前件部のメンバーシップ関数のPositive Bigの中心値および後件部の実数値は表1、表2に示すとおりである。

表1 Positive Bigの中心値

	10(m/s)	15(m/s)	20(m/s)	25(m/s)	30(m/s)
最大2% (m)	0.0614	0.0614	0.0699	0.0699	0.0699
最大1% (m)	0.0307	0.0307	0.0356	0.0402	0.0461

表2 後件部の実数値

応答変位 x						
NB	NM	NS	ZR	PS	PM	PB
1.00	0.67	0.33	0.00	-0.33	-0.67	-1.00

4. 解析結果と考察

最適制御理論を用いた制御結果とファジィ制御ルールを用いた制御結果を比較すると表3のようになる。ここで $\max X_0, \max V_0, \max A_0$ は無制振時の、 $\max X_1, \max V_1, \max A_1$ は最適制御理論による制振時の、 $\max X_2, \max V_2, \max A_2$ はファジィ制御ルールを用いたときのそれぞれ最大応答変位、最大応答速度、最大応答加速度である。また、最大制御力については、質量の1%(60tf)と2%(120tf)の2種類について考えた。いずれの場合も、ファジィ制御は最適制御とはほぼ同等の制御結果を与えており、制御ルールは上手くチューニングできているといえる。また、波力が小さいときほど制御は良好で、大きくなるにつれて、特に加速度の面で制御の効果が小さくなっている。最大制御力の制限については、波力が小さいときには2つのルールに違いはみられなかったが、波力が大きくなると最大制御力が大きい方が良好な結果となった。これは、波力が小さいときには制御力が制限値よりも小さい値しかとらないためである。また、学習データとして用いている最適理論による振動制御自身が良い制御結果を与えていない場合(風速30m/sのときなど)があるが、これは時間遅れのない場合の最適な制御力を時間を遅らせて作用させているためである。この場合、当然ファジィ制御による結果もそれと同等の値にしかない。したがって今後は、学習データとして最適制御以外のものを考える必要がある。

表3 制御結果

	風速10m/s		風速15m/s		風速20m/s		風速25m/s		風速30m/s	
	1%	2%	1%	2%	1%	2%	1%	2%	1%	2%
$\max X_1 / \max X_0$	0.083	0.083	0.124	0.124	0.148	0.148	0.192	0.171	0.365	0.217
$\max X_2 / \max X_0$	0.084	0.084	0.125	0.125	0.148	0.153	0.193	0.169	0.364	0.217
$\max V_1 / \max V_0$	0.136	0.136	0.186	0.186	0.288	0.288	0.370	0.332	0.621	0.413
$\max V_2 / \max V_0$	0.130	0.130	0.192	0.192	0.288	0.289	0.371	0.332	0.621	0.413
$\max A_1 / \max A_0$	0.283	0.283	0.392	0.392	0.659	0.659	0.835	0.796	1.158	1.013
$\max A_2 / \max A_0$	0.296	0.296	0.413	0.413	0.659	0.664	0.835	0.798	1.158	1.013

参考文献

- 1) 水本雅晴：わかりやすいファジィ理論—ファジィ理論とファジィ制御—，コンピュータロール，コロナ社，1989 pp.32-45
- 2) J.J.Hopfield, D.W.Tank: "Neural Computation of Decisions in Optimization Problems", Biological cybernetics, Vol.52, 141-152, 1985
- 3) 野村博義，林勲，若見昇：Hopfield Neural Networkによるファジィ推論の自動チューニング手法の提案，第5回「ファジィシステムシンポジウム」講演論文集，1989 pp.177-182
- 4) 松井邦人，栗田哲史：構造物の逐次オープンループ制御の一手法，構造工学論文集Vol.1.36A, 1990. pp.923-931

5. 結論

- 1) 制御ルールに関しては，本研究で用いた1自由度系の簡単なモデルであれば，変位に関するルールのみで，ある程度の制振効果が得られる。
- 2) 参考となる学習データがあれば，本研究で用いたニューラルネットワークによる手法により，簡単なファジィ制御ルールを作成できる。