

I-B 13 アクティブ制振における制御則に関する解析的研究

新日本製鐵（株） 正員 下田 和敏
 北海道大学工学部 正員 小幡 卓司
 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不規則な外力に起因する振動を制御装置を付加することにより制御しようとする研究が行われている。この制振方法にはパッシブ方式とアクティブ方式に大別することができる。ここで、アクティブ制振は、ある程度広範囲の振動数に対して有効な制振効果を期待することができると考えられるが、実用化に際してはアクチュエーターの性能、制御理論など様々な問題を有する場合がある。

本研究では制御理論に Fuzzy 制御理論と最適制御理論を用いて数値解析を実施し、アクティブ制振に対する有効性の検討を行った。一般に、Fuzzy 制御理論を用いた場合、適当な制御規則とメンバーシップ関数が設定されなければ有効な制振効果を発揮することは困難である。そこで、Fuzzy 制御におけるメンバーシップ関数の汎用的な設計手法を確立するために、最近、学習、最適化の手法として注目されている遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm、以下 G A と称す）を応用し、メンバーシップ関数の最適化を試みた。

これらの解析結果から、まず各制御理論における振動抑制効果の比較検討を行い、さらに Fuzzy 制御理論におけるメンバーシップ関数の最適化に関する G A の適用性について考察を加えたのでここに報告するものである。

2. 解析手法

2. 1 構造物のモデル化と時刻歴応答解析

本研究では、制御対象として図-1 のような 3 層の塔状構造物を用い、これを 3 質点系にモデル化して解析を行うこととした。一般に多自由度系の運動方程式は、式(1)のように表すことができる。

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

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

$F(t)$: 外力ベクトル $U(t)$: 制御力ベクトル

ここで、 $U(t)$ は各制御理論によって求められた時刻 t における制御力ベクトルである。多自由度系の時刻歴応答解析にはニューマークの β 法を採用した。時間刻みは 0.01(sec)、係数 β は 0.25 とし、減衰マトリックス C にはレーレー減衰マトリックスを用いている。

2. 2 最適制御理論

最適制御理論を適用する場合、制御システムは状態方程式と出力方程式により表現され、制御力の算出は構造物の状態量とフィードバックゲインの積により求めることができる¹⁾。ここで、状態方程式は式(1)を変形することにより得られ、その状態量として構造物の各層における応答変位と応答速度を用いている。また、フィードバックゲインの決定に際しては 2 次形式の評価関数が最小になるように求められ、数学的にはリカッチ方程式を解くことによりフィードバックゲインを得ることができる。なお、制御力の最大値は 6.0N に設定した。

2. 3 Fuzzy 制御理論

Fuzzy 制御理論においては、応答速度、応答加速度ならびに制御力をパラメータとした前件部 2 変数、後件部 1 変数からなる制御規則とメンバーシップ関数を設定し解析を実施した。表-1 は本研究で用いた 25 組の制御規則である。また、図-2(a) に速度および加速度のメンバーシップ関数を、図-2(b) に制御力のメンバーシップ関数を示す。なお、Fuzzy 関係の合成法には max-min 合成を、確定値の計算には重心法を用いている。

本研究では制御対象に複数の振動モードを有する塔状構造物を用いている。そこで、各振動モードに対し

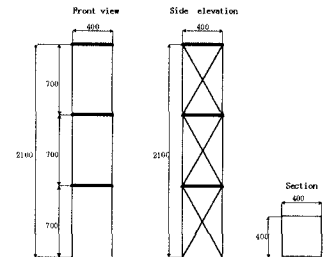
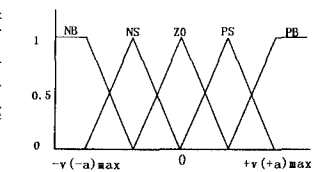


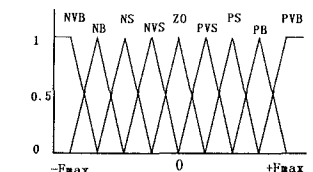
図-1 解析に用いた構造物

表-1 規則表

	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
PS	PVS	NVS	NB	NVB	NVB



(a) 加速度、速度のメンバーシップ関数



(b) 制御力のメンバーシップ関数

図-2 メンバーシップ関数

て有効な制振を行うために、それぞれの振動モードに有効なメンバーシップ関数をあらかじめ用意して卓越モードを応答変位から判断し、それに依りてメンバーシップ関数を切り替えて制御を行うことにより多次モードへの対応を謀った。なお、制御力の最大値は最適制御と同様に図-2(b)のメンバーシップ関数で $|F_{MAX}|=6.0$ Nに設定した。

2. 4 GAの適用

一般に Fuzzy 制御における制御力の発生感度の調整はメンバーシップ関数の最大値を変化させることによって行われることが多い。したがって、本研究では加速度および速度のメンバーシップ関数における $|V_{MAX}|$ 、 $|a_{MAX}|$ を遺伝子列で表現し、GAを適用することにより最適化を行った。図-3 に本研究におけるGAの適用方法を示す。なお、具体的には単純GAを採用し、選択(Selection)には適応度比例戦略を、交叉(Crossover)には2点交叉を用いている²⁾。また、交叉確率は70%、突然変異確率は30%に設定した。この種の解析を実施する場合、しばしば問題となるのが目的関数である。本研究では構造物のエネルギーと制御力の仕事の総和がより小さければ有効な制振が行われたと判断し、これを用いることによって遺伝子列の評価を実施した。

3. 解析結果

解析ケースは表-2 に示すような、制御理論の異なる3ケースを設定した。表中の“Case2”は人間の経験に基づきメンバーシップ関数を設定した場合であり、GAの効果を検討するために同時に解析を行った。

また、解析結果は自由振動に対し最上層に制御力を作用させた場合の最上層における応答変位を図-4 に示してある。

Case1 と Case3 の結果より、Fuzzy 制御、最適制御ともほぼ同程度の振動抑制効果が発揮されていると思われるが、その制振特性には若干の差異が現れた。図-4 より、Fuzzy 制御の場合はその応答値に直線的な減衰効果が、最適制御の場合は指数関数的に減少することが認められる。また、Case1 と Case2 を比較すると、両者ともほぼ同程度の制振効果が発揮されているが、制御力の発生履歴を考慮するとGAを適用した場合の方が制御力の積分量はより少なく、したがってGAは有効な振動制御が可能なメンバーシップ関数を求めているとが考えられる。さらに、地震波入力による強制振動に対する数値シミュレーションも併せて行ったが、全てのケースにおいて有効な応答値の振幅低減効果が認められた。

4. あとがき

以上のように本研究は、Fuzzy 制御理論と最適制御理論を用いた場合における制振効果の比較を行い、また、Fuzzy 制御理論についてはメンバーシップ関数の最適化にGAを用い、その適応性について検討を行ったものである。

自由振動に対する制振効果は、解析結果より両理論ともほぼ同程度の性能が発揮されたことが認められた。また、Fuzzy 制御におけるメンバーシップ関数の最適化にGAを用いた場合、人間の経験による場合に比べ、比較的簡便でかつ有効な制振効果を発揮すると予想される。したがって、このような問題に対するGAの応用はきわめて妥当な手法と考えられる。

参考文献

- 小幡卓司, 下田和敏, 林川俊郎, 佐藤浩一: 塔状構造物のアクティブ振動制御理論に関する一考察, 鋼構造年次論文報告集, 第3巻, pp.107-114, 1995.
- 下田和敏, 小幡卓司, 林川俊郎, 佐藤浩一: アクティブ振動制御における Fuzzy 制御理論の適用に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集, 第52号(A), pp.392-397, 1996.

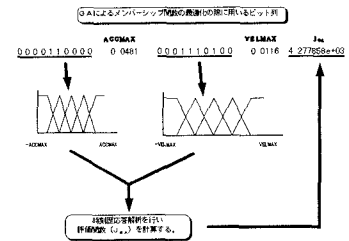


図-3 GAの適用方法

表-2 解析ケース

解析ケース	制御理論	メンバーシップ関数の設定について
Case1	Fuzzy 制御	GA 適用
Case2	Fuzzy 制御	経験的
Case3	最適制御	—

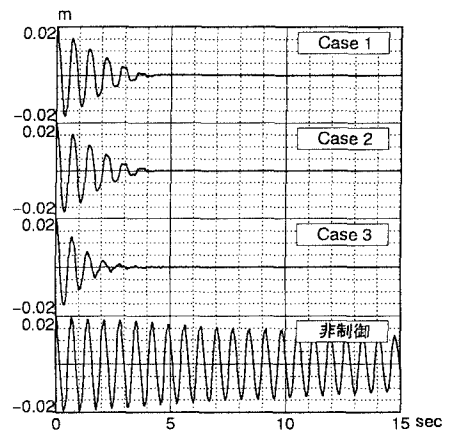


図-4 自由振動についての解析結果
(最上層の応答変位)