

I - B 471

可変剛性型アクティブ制振システムにおける Fuzzy 制御理論の適用に関する実験的研究

北海道大学大学院工学研究科	学 生 員	井上 圭介
北海道大学大学院工学研究科	正 員	小幡 卓司
北海道大学大学院工学研究科	学 生 員	宮森 保紀
北海道大学大学院工学研究科	フェロー	林川 俊郎
北海道大学大学院工学研究科	フェロー	佐藤 浩一

1. ま え が き

橋梁構造物においては、走行荷重や風荷重等に起因する振動が、その使用性あるいは施工性、耐久性等に大きく影響を及ぼすことが知られている。近年では、吊橋あるいは斜張橋の主塔を代表例として各種のデバイスを用いた振動制御が行われ、次第に実用化の域に達しつつある。

一般に、アクティブ振動制御においては、構造物に設置した重錘を駆動して制御力を得る、いわゆる制御力型が現在では主流である。しかしながら、制御力型では重錘のストロークを十分に確保する必要を有するため、通常の桁構造あるいはケーブル構造を有する橋梁等で面内の鉛直振動の低減を目的とする場合、桁高等を考慮すれば制振装置の設置スペースの確保が極めて困難であることは容易に理解できる。このような場合、部材の断面性能をその応答に応じて変化させ、構造物の振動を抑制する可変剛性型システムを用いた制振が有効であると考えられる¹⁾。ここで可変剛性型システムにおいては、構造物の剛性を時間と共に能動的に変化させるため、この非線形性に対応可能な制御理論を用いる必要がある。

そこで本研究は、制御理論として上記の非線形性に対応が可能な Fuzzy 制御理論^{2,3)}を採用し、吊床版橋あるいはキャットウォークを想定したケーブル構造を有する実験供試体を作成し、振動制御実験を実施した。具体的には、制御対象の供試体のケーブル張力を変化させることにより実験を行なった。本研究はこれらの結果を通じて、可変剛性型システムにおける Fuzzy 制御理論の適用性あるいは有効性等に関して考察を加えるものである。

2. 実 験 方 法

2-1. 制 御 理 論

前述のとおり、可変剛性型システムは、観測された構造物の応答量に応じて部材の剛性を変化させて制振を行うため、本研究では非線形性を有する制御対象に対応が可能な Fuzzy 制御理論を採用することとした。

Fuzzy 制御を行うためには、IF-THEN 規則群とそれに対応したメンバーシップ関数が必要である^{2,3)}。本研究では、注目する質点の応答速度、応答加速度ならびに制御張力をパラメータとした前件部 2 変数、後件部 1 変数からなる以下のような推論規則を 9 規則用いて振動制御実験を実施した。なお、本研究では鉛直下向きを正として推論規則の構築を行った。

推論規則例

- 1:もし加速度 a が負で速度 v が負ならば制御張力 T はゼロ
IF a is N and v is N THEN T is ZO
- 2:もし加速度 a が負で速度 v が 0 ならば制御張力 T は正で小
IF a is N and v is ZO THEN T is PS

表-1 規則表

	N	ZO	P
N	PB	PS	ZO
ZO	PS	ZO	NS
P	ZO	NS	NB

表-1 に今回用いた 9 規則の場合の規則表を示す。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。

以上のようにして、観測された応答値から制御張力 T を逐次求め、可変剛性型システムによる振動制御実験を実施した。

2-2. 可変剛性型実験システム

本研究で用いた実験供試体は、写真-1 に示すような吊床版橋あるいはキャットウォークを想定したケーブル構造である。上記のとおり、このケーブル張力を構築した推論規則に基づいて制御張力を算出し、直接変化させることにより、振動制御実験を行った。実験供試体の基本的な諸元は、支間長 199.5cm、ケーブル長 200cm、サグ量 6cm、初期張力 14kgf である。

具体的な実験方法は、まず供試体上に設置した加速度計によって測定された応答値を DPM、A/D 変換ボードを介して直接パソコンに入力する。パソコン内では、数値積分により速度および変位応答値の算出を行い、制御則に基づき必要な制御張力を求めてアクチュエータの作動命令を出力するものである。図-1 に本研究で用いた実験システムの概略図を示す。なお、最大制御張力は初期張力およびアクチュエータのストローク（±25mm）を考慮して、最大±3.1kgf とすることとした。

Keywords : アクティブ振動制御、可変剛性型システム、Fuzzy 制御理論、ケーブル構造物

北海道大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 TEL:011-706-6172 FAX:011-726-2296

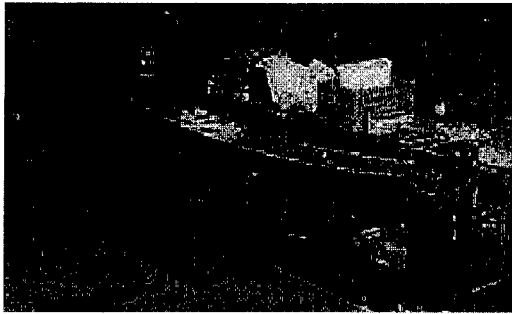


写真-1 実験供試体

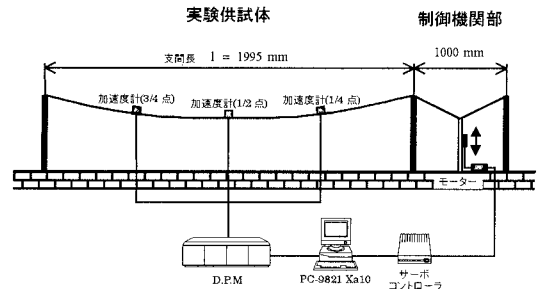


図-1 可変剛性型実験システム

3. 実験結果およびその考察

本研究では、以上のような制御理論ならびに実験システムを用いて振動制御実験を実施した。制振は自由減衰振動に対して行うこととし、支間 3/4 点または 1/2 点に重錘を吊り下げることにより強制変位を与え、これを急速解放すると同時に制御を開始して所定のデータを得た。なお、メンバーシップ関数の最大値に関しては、予備実験によって有効な制振効果が得られる組合せを検討した上で決定することとした。

まず表-2は実験供試体の振動特性を把握するために行った、減衰自由振動実験の結果である。表-2から、本研究の実験供試体は、比較的近接した固有振動数を持つ多数の振動モードが存在する、ケーブル構造特有の振動特性を有することがわかる。次に、図-2(a),(b)に支間 1/2 点に強制変位を与えた場合の実験結果を示す。なお、図中の細線は非制御時を、太線は制御時を表している。図-2より、制御時の応答は非制御時と比して良好な制振効果が発揮されていると考えられる。図-2(b)に着目すると、3次以下の低次のモードに対してはフーリエスペクトルのピーク値が概ね 1/2 程度に減少し、有効な振動制御が行われているものと判断できる。また、高次の振動モードに対しても、可変剛性型システムの特徴の 1 つである非共振化が図られており、ピーク値そのものも低減されていることから、制御による剛性変化が効果的に作用しているものと考えられる。したがって、可変剛性型システムのような非線形振動制御においても Fuzzy 制御理論は適用が可能であるものと推定され、鉛直振動の制御に関して非常に有効な振動抑制効果を発揮することが確認された。また、Fuzzy 制御理論においてはメンバーシップ関数の最適化等により、その制振効果が大きく向上することが知られており、例えば、遺伝的アルゴリズム等を用いてメンバーシップ関数の最適化を行えば、その効果は大きく向上するものと考えられる。

4. あとがき

以上より、本研究は可変剛性型アクティブ制振システムにおける Fuzzy 制御理論の適用性を検討するために振動制御実験を実施し、その制振効果あるいは適用性等に関して考察を加えたものである。実験結果からは、Fuzzy 制御は非常に有効な振動抑制効果を発揮することが判明し、数学的モデルを構築しない論理型制御理論を用いた場合でも非線形性を有する制御対象に十分対応が可能であることが確認された。したがって、本研究のような制御対象に対する Fuzzy 制御理論の適用は、メンバーシップ関数の最適化等を十分に行うことにより極めて有効な手法の一つであると考えられる。

＜参考文献＞ 1) 小堀鐸二：制振構造，鹿島出版会，1993. 2) 下田和敏，小幡卓司，林川俊郎，佐藤浩一，宅和大助：GAを用いたファジィアクティブ制御の効率化に関する研究，構造工学論文集，Vol.43A，pp.685-692，1997. 3) 小幡卓司，井上圭介，宮森保紀，林川俊郎，佐藤浩一：可変剛性型システムを用いたアクティブ制振におけるファジィ制御理論の適用について，土木学会北海道支部論文報告集，第54号，pp.206-211，1998.

表-2 固有振動特性一覧表

振動モード	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th
固有振動数(Hz)	4.32	5.08	6.88	8.64	10.89	12.96	15.09
減衰定数(%)	0.712	2.386	1.066	0.897	0.567	0.435	0.859

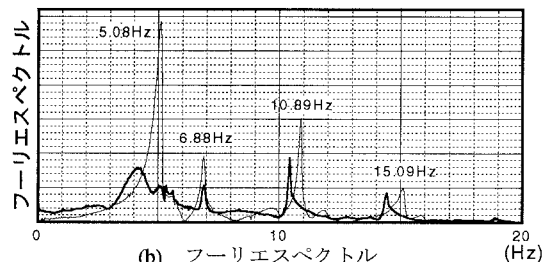
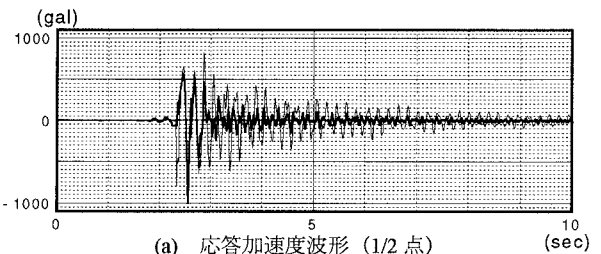


図-2 実験結果