

(18) 形状記憶合金アクチュエータを用いた構造物の可変剛性振動制御の研究
— 形状記憶合金の振動特性の検討 —

A Study on Variable Rigidity Vibration Control of a Structure Used Shape Memory Alloy Actuator
- Examination of Vibration Characteristics of Shape Memory Alloy -

入江 寿弘*、新宮 清志**

Toshihiro IRIE and Kiyoshi SHINGU

* 工修 日本大学助手 理工学部 精密機械工学科 (〒274 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

**工博 日本大学教授 理工学部 海洋建築工学科

大学院 情報科学専攻 (〒274 千葉県船橋市習志野台 7-24-1)

Authors have been studying about fuzzy vibration control of a system of particles aiming vibration control of a shell structure. The resonance by an external force subjected to a building is dangerous. Frequency components of waves depended on a kind of external forces. A method of this research changes a structure characteristic of a building. We control characteristics of a building according to the frequency of the external forces. We require that the stiffness of springs can be changed. The shape memory alloy is an interesting device. The device is able to use for the spring whose stiffness can be changed. We measure the characteristics that are useful for this research by the method developed by the authors. This result will contribute to the realization of fuzzy variable rigidity vibration control of the system of particles.

Key Words: fuzzy, vibration control, shape memory alloy

1. はじめに

著者らは、シェル構造の振動制御を行う目的で質点系構造物のファジィ振動制御について研究^{1)~5)}を行っている。これらは建物に加わる地震力などを直接打ち消すような、アクティブな制御方法ではなく、建物の構造特性そのものを可変することにより、共振などの危険性を回避する方法である。これまで、この振動制御のシミュレーションや模型による実験を行い、その有効性は確かめられたものの、実用化するにはいくつかの問題点があった。その一つが構造物の可変剛性をどのように実現するかである。模型実験ではサーボモータを使って擬似的な剛性変化を作り出していたが、実際の構造物にこのような方法を採

る事は若干の困難が伴う。これについては引き続き研究を進めて行く予定である。

他方、これに変わる方法として形状記憶合金を用いた可変剛性制御を提案している。^{6), 7)}今回は、ファジィ可変剛性制御を行うための基礎データを収集し、振動特性の計測を行った。

2. ファジィ制御系

形状記憶合金について述べる前に、本研究で前提にしている、2質点系構造物のファジィ振動制御について述べる。

現在の構造物の振動が1次の固有振動数と2次の固有振動数のどちらの周波数が卓越しているかを従来の手法で求めるには、通常は

構造物に取り付けた加速度計を用い、スペクトル解析により卓越する周波数を求め、予め求めておいた構造物の特性と比較し、卓越する振動のモードを判断する。しかし実際には構造物の特性は建築直後から変化するため、設計時のモデルに基づく解析だけでは十分ではない。

そこで、実際の構造物の振動モードによる揺れの違いに着目し、建物の特性が変わっても変化しない性質を特性の解析結果より見つけ出した。この際、それぞれの振幅の状態に応じた推論を行い、それに対する操作を対応させた。このような方法は言語的に記述できるが、単純な線形式では記述できないため、ファジィ理論を用いた。

このような方法で振動モードを算出することには大きな利点がある。それは、建物自体の特性変化を取り入れた形で評価することが出来るからである。たとえば、構造物は経年変化で鉄筋コンクリートの剛性が変わったり、建物に積載される荷重もそのときどきで変化する。しかし、その剛性を直接計ることは出来ないし、積載荷重を計ることも困難である。そこで本方式を用いることにより実際に剛性を計ったり、質量を計ったのと同様に制御を行うことが可能である。さらにそのモードにおいて振幅を少なくするには、2質点系の構造物の特性により、1次の固有振動付近では標準状態、2次の固有振動付近ではバネ定数最大となるように調整することで可能である。そこで我々はこのモードの判断、構造決定の推論にファジィ理論を用いた。ファジィ理論はこの様な領域の判断など線形関数で与えることの出来ない補間を言語的に記述出来るため、実用面では非常に有効な手段と言える。制御系のブロック線図を図-1に示す。制御機構部の破線で囲んだ部分は1層部分における粘性係数、バネ定数を可変にする部分である。バネの力は変位に比例した力、粘性力は速度に比例した力であるので、ポテンシオメータ（変

位センサ）、タコメータジェネレータ（速度センサ）により変位 $x_1(t)$ 、速度 $\dot{x}_1(t)$ を検出し、DCサーボモータにフィードバックして操作力として加えることで擬似的なバネ力や粘性力を実現している。

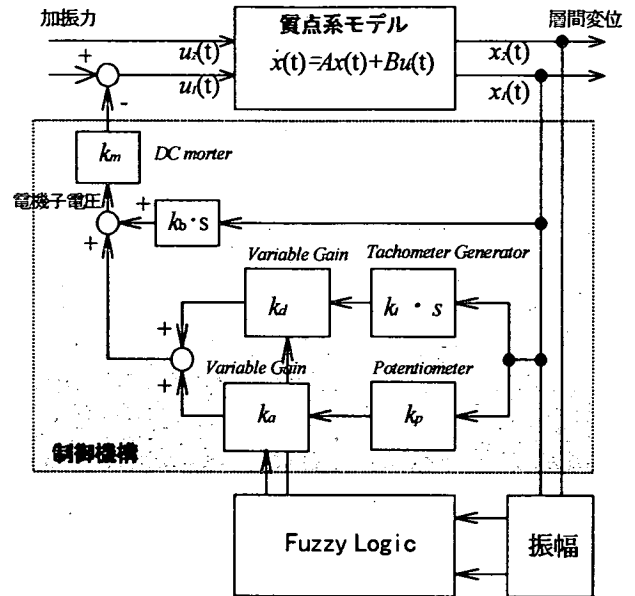


図-1 ファジィ制御系のブロック線図

一形状記憶合金は、金属の組成が温度により変態することを利用し形状を記憶する性質を有する。⁸⁾剛性の可変は形状記憶合金の温度を調整することにより実現している。

ファジィ推論を行なう部分では、質点1、質点2の変位 (x_1, x_2) の一定時間間隔のサンプル値（1秒間に100個のデータを取り込み、それらデータの振幅の絶対値を出し、その最大値を求める） x_1 、 x_2 を求め、その結果よりファジィ推論によりoutputを得る。それを質点系制御機構に入力し変位のフィードバック、速度のフィードバックの量を可変することにより、バネ定数を変化させている。

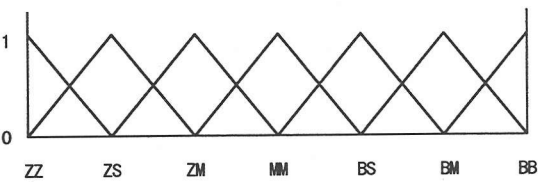
以上の制御方法は2質点でのものであるが、これは2階建の建物を意味している訳ではない。それぞれの質点を建物の階に置き換えるのではなく、建物の様々な振動モードの中で代表的な低次の2つの振動モードについて着目している。

ただし、今回の実験においては下部のバネ定

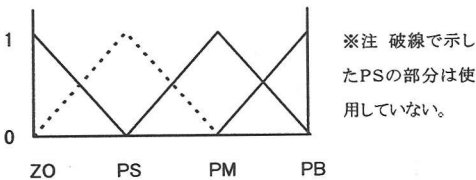
数を可変した場合について考えている．推論法は直接法を用い，ファジィ変数は三角型，非ファジィ化は面積法を用いた．

表－1 制御規則

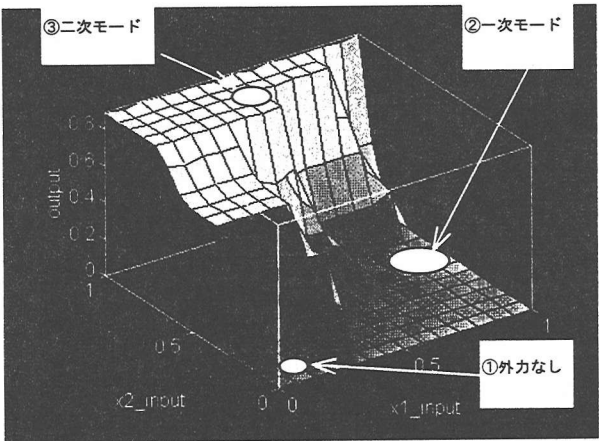
		$X_2\text{ input}$						
		ZZ	ZS	ZM	MM	BS	BM	BB
$X_1\text{ input}$	ZZ	ZO	ZO	ZO	PM	PB	PB	PB
	ZS	ZO	ZO	ZO	PM	PB	PB	PB
	ZM	ZO	ZO	ZO	PM	PB	PB	PB
	MM	ZO	ZO	ZO	ZO	PB	PB	PB
	BS	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PB	PB
	BM	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PB	PB
	BB	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	ZO	PB



図－2 前件部メンバーシップ関数 (X_1, X_2)



図－3 後件部メンバーシップ関数 (output)



図－4 制御規則の3D表示

本研究で用いた制御規則のファジィ推論の制御規則を表－1に，メンバーシップ関数を図－2,3に，入出力関係を3次元表示したものを図

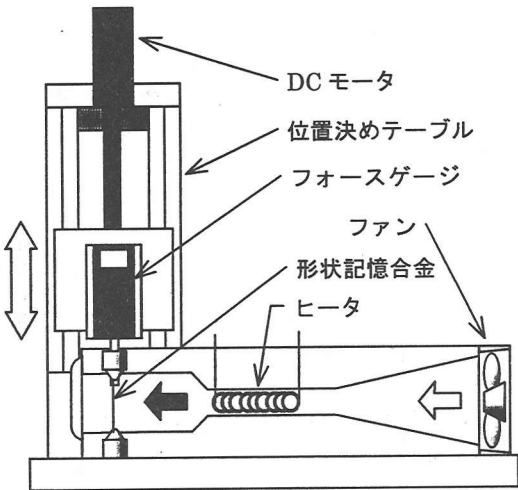
－4に示す．

3. 形状記憶合金の特性

形状記憶合金を用いて可変剛性を実現出来るかどうかを確かめるため、「温度－応力特性」と「温度－バネ定数特性」を計測した．

実験に使用した形状記憶合金は振動実験で用いるものと同じ線径0.7mm，長さ83.5mmのものを線状に使用した．

形状記憶合金の特性を計測する装置を図－5に示す．鉛直方向に取り付けられた位置決めテーブル上にフォースゲージが取り付けられている．フォースゲージの先端のチャックに形状記憶合金を取り付け，一方はベースに固定されている．形状記憶合金の温度をコントロールするためにファンから出た風をヒータにより加熱して形状記憶合金の試料に当てている．形状記憶合金の近くに取り付けられた熱電対によりヒータの温度をコントロールして，一定温度に保っている．



図－5 形状記憶合金特性試験装置

3.1 温度－応力特性

形状記憶合金に，応力を加えた状態で変位を拘束し，温度を変化させた．その時の温度と応力の関係を低温から高温にした場合と低温から高温に変化させた場合の特性を計測した．その結果を図－6に示す．

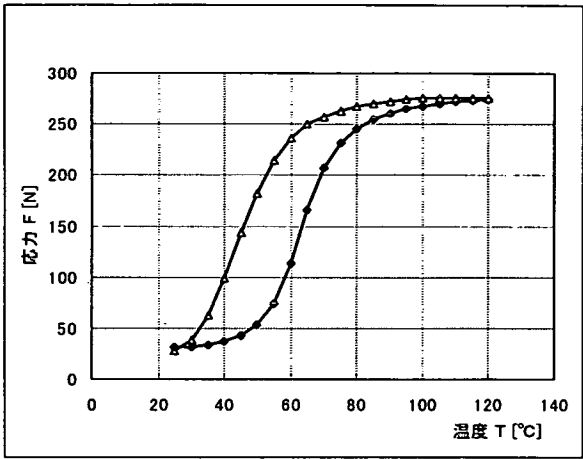


図-6 温度—応力特性

3.2 温度—バネ定数特性

形状記憶合金を一定温度に保った状態で位置決めテーブルを動かして、その時の変位と応力の関係を測定した。各温度ごとの変位—応力特性より傾きを求め、バネ定数を算出した。図-7に温度—バネ定数特性を示す。

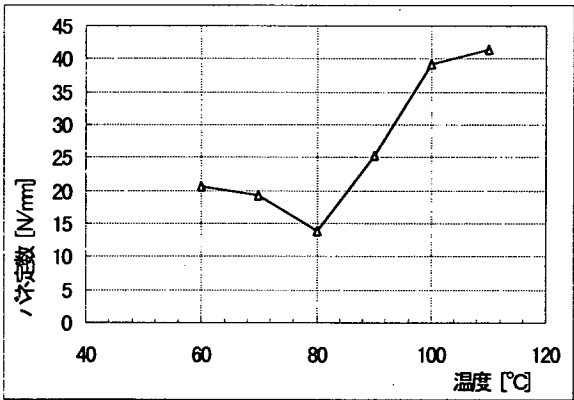


図-7 温度—バネ定数特性

4. 形状記憶合金バネを用いた振動実験

形状記憶合金を用いた振動実験の装置を図-8に示す。上下振動を与える振動台はサーボモータとボールネジによる変位入力型のものである。これを鉛直に固定し正弦波形を入力する。構造物のモデルは質点系とし、2質点での実験を行った。振動台の先にバネと重錘が取り付けられている。二つのばねのうち k_1 が形状記憶合金のバネでコイル状の物を用い、両端に取り付けられた電極により通電してバネ自体の温度を変えることにより、バネ定数を変化させることができる。実験装置で用いたバネ、重錘

の物理定数を表-1に示す。

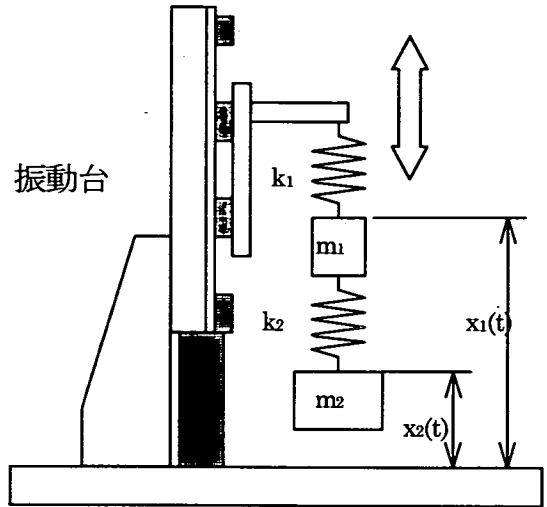


図-8 実験装置

表-1 実験装置の物理定数

	バネ	重錘
質点1	$k_1=186\sim 215$ [N/m] チタン・ニッケル合金 線形 0.7mm 巻線外形 6.1mm 自由長 18mm	$m_1=0.18$ [kg]
質点2	$k_2=343$ [N/m]	$m_2=0.28$ [kg]

5. 実験結果

今回はファジィ可変剛性制御へ形状記憶合金が適用できるかどうかを検証するために、上下動加振が出来る振動台を用い、試験片への振動実験を行った。熱処理を施したコイルばねを使って、電流を通電加熱して質点2の変位 $x_2(t)$ の振幅を計測した結果を図-9に示す。

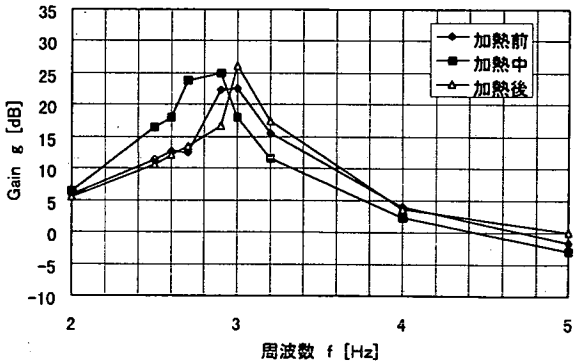


図-9 測定結果

これより、形状記憶合金バネに通電加熱することにより質点系の周波数特性が変化している様子が計測できた。実験では 1.1A を 50 秒間通電しその前後での特性の比較を行った。

その結果、通電の途中で固有振動数が最も低くなり、その後高くなることがわかる。これは形状記憶合金の温度—バネ定数の特性より 80℃ 付近でばね定数が最も低くなるためと考えられる。実際に制御を行う場合はこのような点を考慮してルールを決定する必要がある。

6. まとめ

ファジィ可変剛性振動制御は建築構造物自体の特性を可変することにより振動の周波数成分に応じた最適な構造特性を実現させる試みである。しかしそれを実現するためのハードウェアは完成されていない。今回、実験を行った形状記憶合金は実験室レベルでは可変剛性バネとしての性質を確認できたため、これを用いれば、実際の建物に於いても可変剛性の振動制御を実現できるものと考えられる。

7. 謝辞

本研究は日本大学理工学部特別推進研究費（研究代表者：新宮 清志）によって行われた。

参考文献

1) 入江寿弘, 新宮清志: ラーメン構造物のファジィ振動制御に関する研究—質点系モデルによる実験—, 日本建築学会, 第19回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp. 259-264, 1996年12月

2) 入江寿弘, 新宮清志: 質点系構造物のファジィ振動制御, 第46回応用力学連合講演会講演予稿集, 日本学会議力学研究連絡委員会, pp. 191-192, 1997年1月

3) 入江寿弘, 新宮清志: 上下動を受ける質点系構造物のファジィ振動制御に関する研究, pp. 513-514, 第13回「ファジィシステムシンポジウム」講演論文集, pp. 513-514, 1997年6月

4) 入江寿弘, 新宮清志: シェルの振動制御への応用を考慮した形状記憶合金アクチュエータの検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 929-930, 1997年9月

5) 入江寿弘, 新宮清志: 質点系構造物のファジィ振動制御に関する研究—ファジィ可変剛性制御の提案—, 日本ファジィ学会誌, 1997年12月 (掲載予定)

6) 入江寿弘, 新宮清志: 上下動を受ける質点系構造物のファジィ振動制御—形状記憶合金を用いた制御用アクチュエータの検討—, 計算工学講演会論文集, Vol. 2, pp. 821-822, 1997年5月

7) 入江 寿弘, 新宮清志: 形状記憶合金を用いた構造物の振動制御に関する研究—シェル構造物への応用のための基礎的研究—, 京都大学防災研究所共同研究集会「シェル・空間構造の自然災害時非線型挙動とその抑止対策」論文集, pp. 65-71, 1997年10月

8) 舟久保 編: 形状記憶合金, 産業図書, pp. 53-94, 1984年