509 MR流体を用いた可変ダンパの基本特性

Typical Characteristics of Variable Damper Using MR Fluid

正 森下 信 (横浜国大)

正 白石 俊彦 (横浜国大院)

学 ○佐久間智也 (横浜国大院)

Shin MORISHITA, Yokohama National University, 79-7 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama

Toshihiko SHIRAISHI, Graduate student, Yokohama National University

Tomoya SAKUMA, Graduate student, Yokohama National University

In this research, two types of variable dampers using MR fluid were manufactured and their typical characteristics were compared experimentally. MR fluid can change the rheological characteristics under the applied magnetic field. They are adopted double-ended piston-rod and double cylinder type. The magnetic circuits were designed to focus magnetic flux lines using FEM, but they differ in the course of the magnetic circuit. The damping force of prototype MR dampers was experimentally measured under sinusoidal excitation at various amplitudes, frequencies, clearances of orifice and applied magnetic field strength. Experimental investigation shows that the maximum damping force of the type B damper is about eight times as large as that of the type A.

Key Words : MR Fluid, Variable Damper, Magnetic Circuit, Friction Force

1. はじめに

MR流体 (Magnetorheological Fluid) は外部から加える磁場に応答して流体のレオロジー特性が変化する機能性流体のひとつで、鉱油やシリコン油などの一様流体中に直径1~10 μm 程度の強磁性体粒子を分散させたものである。分散粒子は外部磁場を加えることにより鎖状のクラスタを形成し、流体がせん断変形を受けたり外部から圧力が加わることにより流れが発生すると、クラスタの崩壊による抵抗が生じると考えられている。

MR流体は、磁場を加えないときはニュートン流体の挙動を示すが、抵抗の発生が降伏せん断応力の変化として観察されるので、ビンガム塑性流体の性質を持っていることになる。MR流体の長所には、外部磁場に対する応答速度が良く、-40~150°C程度の広い温度範囲で使用可能であること、1~2 A程度の電流で大きな効果が得られることなどがある。最大の特徴は、降伏せん断応力の変化が大きいため他の機能性流体 (磁性流体、ER流体) より制御できる範囲が広いことである。本研究はMR流体を適用した可変ダンパを試作し、その基本的特性を実験的に明らかにすることを目的とする。

2. MRダンパ

試作した2種類のMRダンパの概略の構造をFig. 1に、またオリフィス部の詳細をFig. 2に示す。いずれのダンパもシリンダは二重円筒構造をしており、ロッドが内円筒の両端か

ら出ている両ロッド式である。コイルの巻き線はピストンロッドの内部を通して電源に接続している。シリンダ内部はMR流体で満たされており、この中をピストンが往復動する。

タイプAのダンパは、磁気回路の経路がピストンと内円筒にまたがって形成されている。両者には炭素含有率が低く残留磁場が小さい純鉄を用いた。外円筒とピストンロッドは反磁性材料の真鍮製で、コイルを内蔵したピストンの両端には真鍮板を接着している。これらはいずれも磁気回路を効率よく形成し、磁束の漏れを極力抑えるようにするための工夫である。MR流体はピストンと内円筒の隙間を通過する。

一方、タイプBのダンパは磁気回路の経路がピストン内部で完結するように設計されている。そのピストンはコイルを内蔵する円柱状の部品と円筒状の部品を組み合わせ、両者のすき間をオリフィスとして活用する構造である。ピストンに純鉄を用い、コイルを内蔵する円柱状の部品の両端に真鍮板を接着している理由はタイプAと同様である。MR流体はピストン内の円環オリフィスを通過する。

なお、ピストン両端に真鍮板を接着するという設計指針の妥当性は、有限要素法を用いた磁場解析においても示されており、真鍮板を接着しない場合よりも磁束密度が約27%大きくなると予想される。

3. 実験

実験装置の概要をFig. 3に示す。試作したMRダンパを鉛

Fig. 1 Schematic view of MR damper

Fig. 2 Detail around the orifice and magnetic circuit

Fig. 3 Experimental setup

(a) freq.= 0.5 Hz (b) freq.= 1.0 Hz (c) freq.= 5.0 Hz

Fig.4 Experimental results

(Type A ; constant amp.= 1.0 mm, clearance= 1.0 mm)

(a) amp.= 1.0 mm (b) amp.= 2.0 mm (c) amp.= 3.0 mm

Fig.5 Experimental results

(Type A ; constant freq.= 1.0 Hz, clearance= 1.0 mm)

直に固定し、ダンパのピストンロッドの上部は油圧サーボシリンダに接合している。ダンパ内のコイルには直流電源から電流を与えている。油圧シリンダは正弦波で往復動を行い、シリンダの変位と減衰力を測定した。コイルに流す電流値はタイプAでは0, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2Aの7段階、タイプBではさらに0.05, 0.15 Aを加えた9段階を設定した。

タイプAダンパの実験結果の一例をFigs. 4, 5に示す。磁場を加えないときは摩擦力を基本としたダンパの特性を示し、印加電流を大きくするに従い摩擦力が増加するとともに多少の粘性抵抗が現れる。また、減衰力が大きくなる効果は1 Aで飽和に達した。この実験範囲内では、振幅一定の下で振動数を変化させても、また振動数一定の下で振幅を変化させても電流値に対応した摩擦減衰力が得られている。

タイプBダンパの実験結果の一例をFigs. 6~8に示す。電流値に対応した減衰力が得られる点はタイプAと変わらないが、磁場を加えたときの減衰力は磁場を加えないときの減衰力に比べて、タイプAでは最大で約4倍程度の変化を示したのに対し、タイプBでは最大で約7~8倍程度の変化がみられた。また、振幅・振動数が同一条件下で、最大減衰力についてコイルに加える電流値が2 Aの場合で比較すると、タイプBがタイプAの約7~8倍程度の大きさになっており1000 N前後に達した。さらにオリフィス半径隙間を狭めるにつれて最大減衰力が増大する傾向があるが、同時に電流値の変化による減衰力の増幅率は小さくなっており、ダンパの用途に応じた最適な減衰力や増幅率を考慮してオリフィス半径隙間を設計する必要があることがわかる。

2種類のダンパの性能の違いは磁気回路の経路にあると考えている。磁気回路の構成に際して、磁性体内部での磁区の動的応答性が降伏せん断応力を左右する一因になるのではないかと推察される。また、タイプBはピストン変位が折り返してすぐには最大減衰力に達していないが、これはMR流体

(a) freq.= 1.0 Hz (b) freq.= 2.0 Hz (c) freq.= 5.0 Hz

Fig.6 Experimental results

(Type B ; constant amp.= 2.0 mm, clearance= 1.0 mm)

(a) amp.= 1.0 mm (b) amp.= 2.0 mm (c) amp.= 5.0 mm

Fig.7 Experimental results

(Type B ; constant freq.= 1.0 Hz, clearance= 1.0 mm)

(a) clearance= 1.5 mm (b) clearance= 1.0 mm (c) clearance= 0.5 mm

Fig.8 Experimental results

(Type B ; constant amp.= 5.0 mm, freq.= 1.0 Hz)

中に空気が混入しているためと考えている。

4. おわりに

本研究では、MR流体を用いた2種類のダンパを試作し、その基本特性を実験的に把握した。その結果から、静止した磁性体内部に磁気回路を効率的に形成することがMRダンパの設計指針になり得ることを示した。今後も引き続きダンパの特性を詳細に検討する予定である。

参考文献

- 1) Rabinow, J., The Magnetic Fluid Clutch, AIEE Transaction, 67 (1948) 1308-1315
- 2) Jolly, M. R., J. W. Bender, J. D. Carlson, SPIE 5th Annual Int Symposium On Smart Structures and Materials, San Diego, CA, 15 March (1998)
- 3) Spencer Jr, B. F., S. J. Dyke, M. K. Sain, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 123 (1997) 230-238
- 4) Klingenberg, D. J., AICHE Journal, 47 (2001) 246-249