MR流体のクラスター構造および磁気機能性の評価

Evaluations of Cluster Structure and Magnetic Functions of MR Fluids

正 西山秀哉 (東北大流体研) 正 片桐一成 (東北大流体研) ○規矩地和人 (東北大・院)
濱田雄久 (東北大・学) 畑 克彦 (バンドー化学㈱) 松本教之 (㈱トーキンマシナリー)
正 中野政身 (山形大・工)

Hideya NISHIYAMA, Institute of Fluid Science, Tohoku University, 2-1-1, Katahira, Aoba-ku, Sendai
Kazunari KATAGIRI, Institute of Fluid Science, Tohoku University, 2-1-1, Katahira, Aoba-ku, Sendai
Kazuto KIKUCHI, Graduate School of Engineering, Tohoku University, Aobayama 04, Aoba-ku, Sendai
Katsuhisa HAMADA, Under Graduate School of Engineering, Tohoku University, Aobayama 04, Aoba-ku, Sendai
Katsuhiko HATA, Bando Chemical Ind. Ltd., 3-1-6, Ashihara-dori, Hyogo-ku, Kobe
Koreyuki MATSUMOTO, Tokin Machinery Co., 6-7-1, Kohriyama, Taihaku-ku, Sendai
Masami NAKANO, Dept. of Mechanical System Engineering, Yamagata University, 4-3-16, Jonan, Yonezawa

1. 緒 言

MR流体は、磁場に応答する機能性流体であり⁽¹⁾⁽²⁾、磁性流体に比べ、磁場印加で制御可能な降伏応力や大きな磁気力を有し、強磁場下では半固体に相変化する。これらの機能性は、磁場下での強固なクラスター形成に起因し、新規MR流体の創製やレオロジー特性解析、ダンパ、ショックアブソーバ、ブレーキ、クラッチ、免震ゴム、施工時の位置決め等の応用を含め、活発な研究がなされている⁽³⁾⁽⁴⁾。世界で認知されている Lord 社のMR流体でも分散磁気微粒子の沈殿が見られ、再現性に問題がある。また、MR流体の創製から構造を考慮したレオロジー特性解析および応用検証に至るまでの総合的見地からの研究は少なく⁽⁵⁾、高機能磁気粘性流体としてのMR流体研究にブレークスルーできないのが現状である。

著者らは、自らMR流体を創製し、レオロジー特性を評価することにより弱磁場下でも磁性流体に比べ、減衰特性が10倍程度優れていることを検証した⁽⁶⁾。すなわち、新規MR流体を創製し、レオロジー特性の評価、さらにその応用を想定した磁気機能性の検証も行い、その総合的見解をMR流体創製にフィードバックする循環型アプローチの研究は、機能性流体を開発研究する上で極めて有効であると考えられる。

本研究は、新規MR流体を創製し、磁場下のMR流体薄膜クラスターの構造解析、磁場下のレオロジー特性、さらには、MR流体ダンパによる減衰性能から磁気機能性を評価し、商用MR流体と比較することにより新規MR流体開発のための基礎資料を提供する。

2. 実験方法

表1に3種のMR流体の成分と物性値を示す。作成したMR流体は、平均粒径が1~数 μm 程度の鉄微粒子を分散させた流体で、S1は球形、S2は直径0.05 μm 、高さ0.5 μm の針状である。また、母液はオイル系であり、いずれのMR流体も沈殿抑制処理をしている。薄いシリコン板と薄いガラス板

Table 1 Composition and physical properties of MR fluids

	S1	S2	MRF-132LD (Lord Corp.)
particle material	iron	iron	iron
particle diameter (μm)	6 sphere	0.5 $\times$ 0.05 needle	1 ~ a few sphere
mass concentration (wt %)	80	30	80.74
carrier liquid	carbon hydrogen	silicon oil	oil

間に厚みが100 μm 程度のMR流体薄膜を形成し、水平磁場下で顕微鏡により撮影後、画像解析により個々のクラスターの直径、長さおよびクラスター間隔を統計的に求めた。レオロジー特性は、自作のソレノイドコイル内に設置されたコン・プレート型レオメータにより計測した。磁場の印加方向は、試料に垂直でほぼ一様の磁場強さである。また、磁気機能性は、MR流体ダンパの減衰力-変位特性より等価減衰係数を求めた。

3. 実験結果および考察

図1に水平磁場下のMR流体薄膜中のクラスター形成の顕微鏡写真を示す。弱い磁場下でも全磁気エネルギーを最小ならしめるひも状のクラスターが磁力線方向に形成され、個々のクラスター間の磁気的反発により、ほぼ規則的な配列が決定される。したがって、種々の形状を有するひも状クラスターに垂直方向のせん断流れや圧力流れの場合、大きな降

Fig.1 Cluster formation in the horizontal magnetic field

Fig.2 Configuration of cluster formation

Fig.3 Apparent viscosity with magnetic field strength

Fig.4 Yield stress with magnetic field strength

Fig.5 Equivalent damping coefficient

伏応力が生じることが予想される。

図2に、水平磁場下のクラスター形状と配列の磁場による変化についてS1, S2とLord社の比較を示す。磁場強度をわずかに増加してもクラスターは著しく長くなるが、幅はほとんど変化せず、クラスター間ピッチは磁気的反発力によりわずかに増加する。その後、強磁場下では小さなひも状クラスターが大きなクラスターに集まりコラムを形成し、見かけ上は太くなる。

図3に見かけ粘度の磁場による変化を既存実験値と比較して示す。磁場印加により明らかに見かけ粘度が増加し、S1が最大である。また、ずり速度の増加につれ、Shear-thinning効果を示す。無磁場下では、Lord社の流動性が著しくよい。

図4に降伏応力の磁場による変化を示す。Lord社とS1では、強固なクラスター形成により磁場強度に関し、放物状に増加する。Lord社は、弱磁場下では小さな降伏応力により流動性がよい。一方、S2は、全体でクラスターが形成されないことにより、磁場により降伏応力が変化しない。

図5にMR流体中で振動する平板に加わる減衰力と変位から算出した等価減衰係数を示す。特にS1は、共振周波数以下の低周波で、強い磁場強度ほどクラスターの動的応答により減衰効果が著しい。

4. 結 言

新規MR流体を創製し、磁場下のクラスター構造解析とレオロジー特性および減衰性能の評価を行った。

本研究は、平成13年度(財)インテリジェント・コスモス学術振興財団の助成を得た。

参考文献

- (1) 機能性流体・知能流体, 日本機械学会編 (2000), コロナ社.
- (2) 谷順二ほか, インテリジェント知能材料・流体システム, (1999), コロナ社.
- (3) 例えば *Abst. of the 8th Conf. on ERF/MRS*, Nice, (2001).
- (4) Carlson, J. D., et al., *Mechatronics*, **10** (2000), 555-569.
- (5) Liu, J., *JSME Int. J. B*, **45** (2002), in press.
- (6) Nishiyama, H., et al., *Int. J. Modern Phys. B*, **15** (2001), 829-836.