圧力による磁性流体の体積変化に及ぼす磁場の影響

島田 邦雄^{☆1}, 神山 新一^{☆2}, 佐藤 彰^{☆3}

^{☆1} 富山大学工学部機械システム工学科, 〒930 富山市五福3190.

^{☆2} 東北大学流体科学研究所, 〒980 仙台市片平2-1-1.

^{☆3} 東北学院大学工学部, 〒985 多賀城市中央1-13-1.

Effect of Magnetic Field on Volume Change of Magnetic Fluid by Pressure

Kunio Shimada^{☆1}, Shinichi Kamiyama^{☆2} and Akira Satoh^{☆3}

^{☆1} Dept. Mech. Eng. Sys., Toyama University, 3190 Gofuku, Toyama 930.

^{☆2} Inst. Fluid Sci., Tohoku University, 2-1-1 Katahira, Sendai 980.

^{☆3} Dept. Mech. Eng., Tohokugakuin University, 1-13-1 Chuō, Tagajō 985.

Received November 26, 1993

The measurement of volumetric change of magnetic fluid influenced by pressure is experimentally conducted. Positive or negative pressure is applied to the magnetic fluid in a nonuniform magnetic field. The experimental results are compared with the data in the case of water. It is clarified that the volume change of magnetic fluid is strongly influenced by the applied pressure and also the applied magnetic field.

1 緒言

磁性流体は、直径約10nmの強磁性微粒子が液中に多量に分散したコロイド溶液であり、また、微粒子には表面活性剤が被覆されている。これらの微粒子は、磁場の作用域において凝集することが確認されており¹⁾、また、無磁場下においても凝集するということが報告されている²⁾。著者らは、この粒子の凝集が磁性流体の管内非定常流動特性に及ぼす影響について一連の研究を行ってきた^{3) - 6)}。これらの研究を通して、振動流特性を説明するのに非圧縮性流体を仮定した理論解析では不十分である領域が存在することを指摘した⁷⁾。この結果から磁性流体には圧力に対して容易に変化するという性質が存在し、圧力による磁性流体の体積変化が粒子の凝集と絡んで複雑な様相を呈することが予想される。そこで、この磁性流体の圧力

による体積変化について調べる必要がある。しかしながら、この方面に関する研究は、いまだ十分になされていないのが現状である。

そこで、本研究では、圧力の静的変化に対する磁性流体の体積変化について実験的に検討を行った。すなわち、管内に閉じ込めた一定量の磁性流体に負圧力、或いは正圧力を印加した時の磁性流体の体積変化について、磁場の作用のある場合と無い場合において調べた。また、ある大きさの負圧力、或いは正圧力を繰り返し印加することにより、磁性流体の体積変化に及ぼす圧力の影響について実験的検討を行った。

2 実験方法

磁性流体の静的な圧力変化に対する体積変化を調べるために図1に示す様な実験装置を用いた。すなわち、管径約1mmのガラスの管⑤に磁性流体を封入し、これに時間的に静的な圧力を

1 Microscope	9 Compressor
2 Magnetic Fluid	10 Vacuum Pump
3 Heater	11 Voltage Meter
4 Electromagnet	12 D. C. Power Amplifier
5 Circular Tube	13 Pressure Transducer
6 Constant Temperature Vessel	14 Manometer
7 Power Supply	
8 Air Tank	

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus.

印加する。このガラス管の先端にはコックがついており、コックに空気が残存していないことは容易に確認でき、この部分における空気の混入は無いことを確認している。さらに、このコックと反対側の管の先端に圧力を印加するためのループを組み、負圧力、或いは最大約200kPaまでの正圧力を印加する。それぞれの圧力は、マノメータ⑭と圧力変換器⑬により測定する。その際、圧力を印加した時の磁性流体の伸び、或いは縮みを有尺顕微鏡⑩により測定する。ここで、磁性流体の先端におけるメニスカスの長さは、高々1mm以下であり、圧力による磁性流体の体積変化より小さい。この時、本実験により圧力に対する磁性流体の体積変化は経時変化をもつことが確認された。そこで、圧力を印加した時点から一定の時間経過後に長さを測定した。

また、測定部のガラス管は、恒温槽⑥に入れ、一定の温度に保った。その時の温度変化は高々 $\pm 1^\circ\text{C}$ であり、温度による変化は無視できる。すなわち、磁性流体の圧力による体積変化は、等温変化である。さらに、磁性流体の体積変化に及ぼす重力の影響について、大気圧下において磁性流体を封入したガラス管を鉛直に置いた場合と水平に置いた場合の磁性流体の体積変化を

比較して調べた別実験により、かなり大きいことを確認している。そこで本実験では、この重力の影響を排除するため、ガラス管を水平に配置した。これらの本実験における磁性流体の圧力による体積変化の誤差の要因をすべて加味した結果、誤差は約0.02%であった。

また、磁性流体に作用する磁気圧の影響、すなわち、磁場を印加する方向や磁場勾配の大きさにより磁性流体の体積変化が生ずる。本実験では、あくまで圧力に対する磁性流体の体積変化を目的とするため、図2に示すような磁場分布を使用する。すなわち、磁性流体に印加する磁場は、電磁石④に流す供給電流が10Aと20Aの磁場勾配の異なる2種類の非一様磁場であり、ガラス管の管軸に対して垂直に印加する。ここで、図中に示すAの位置が磁性流体の長さの測定位置であり、Bがコックの位置である。

Fig.2 Magnetic field distribution.

使用した磁性流体は、質量濃度約20%の水ベース磁性流体であり、大気圧下における磁性流体の初期の長さは365mmである。

3 実験結果および考察

磁性流体の体積変化は、大気圧下における磁性流体の初期の体積 (V_0) に対する圧力印加時における体積変化 (ΔV) の割合で表わすことにする。

3.1 負圧力に対する体積変化

図3に負圧力に対する磁性流体の体積変化率を無磁場下の場合と供給電流が20Aの磁場を印加した場合について比較して示す。図中の実験点は、数回の実験による結果であり、また、実線及び破線は、これらの実験結果を平均した結果である。

低負圧力の領域において磁性流体の体積変化率は圧力にほぼ比例する。磁場を印加した場合には体積変化率が增大する。さらに負圧力を大きくすると、体積変化率はほぼ一定に保たれ、

Fig.3 Ratio of volume change by applying negative pressure.

さらに負圧を増していくと体積変化率は急激に増大し、その後、ある場合には破断する。この破断は、確率的なものであり、管壁の汚れや流体内に存在する不純物などの影響によるものである。

ここで、磁性流体の溶媒、すなわち水の場合には、約40kPa以下の負圧力においては圧力による体積変化が生じないこと、さらに、本実験装置のガラス管が圧力に対し歪みを生じないことは、図に示すように蒸留水を用いて同様の実験を行って確認してある。一方、磁性流体と磁性流体の溶媒（水）について沼知式空気含有量測定装置により空気含有率（供試流体の体積

(m^3)に対する空気含有量(m^3)の比)を測定した結果、本実験で使用した質量濃度20%の水ベース磁性流体は4.16%、原液34%の磁性流体を質量濃度20%の水ベース磁性流体に希釈するために用いた蒸留水は4.69%、通常の水道水は5.08%であった。このように、磁性流体の空気含有率が通常他の流体に比べて小さいのは、磁性流体中に含まれる空気が微量であるか、または、含有する空気が負圧力を印加しても容易に外部に出にくいなどのためと考えられる。

そこで以上の結果より、次のように考えることが出来る。低い負圧力を印加した時の磁性流体の体積変化は、磁性流体中の磁性粒子や表面活性剤に付着した空気などに起因し、高い負圧力を印加した場合には流体中に含まれる空気の影響が支配的になるものと考えられる。

3. 2 正圧力に対する体積変化

図4に正圧力に対する磁性流体の体積変化率を無磁場下の場合と供給電流が20Aの磁場を印加した場合について比較して示す。

低正圧力の領域では、磁性流体の体積変化率は、負圧力の場合と同様に圧力に対してほぼ比例する。その時の正圧力に対する体積変化率曲線の傾きは、負圧力の場合に比べて小さい。す

Fig.4 Ratio of volume change by applying positive pressure.

なわち、磁性流体の体積変化に及ぼす影響は正圧力より負圧力による方が大きい。この体積変化は、磁性粒子や表面活性剤に付着した空気などの影響によるものと考えられる。さらに、正圧力を大きくすると体積変化率は飽和に達する。これは、磁性粒子や表面活性剤に付着した空気が有限であるためと考えられる。

また、磁場を印加することにより、正圧力に対する体積変化は大きくなる。この時、無磁場下に比べて低い正圧力の大きさで体積変化は飽和に達する。

3. 3 圧力の繰り返し印加による体積変化

磁性流体を用いた非定常流の一つである振動流の場合には、負圧力と正圧力が時間的に繰り返されて変動圧力として磁性流体に与えられることになる。そこで、圧力を繰り返し印加した時の磁性流体の体積変化について調べる。すなわち、負圧力の場合については、約60~80kPaまでの負圧力を掛け、その後圧力を零に戻し、再び約60~80kPaまでの負圧力を掛けるという繰り返しを行い、正圧力の場合については、約180kPaまでの正圧力を掛け、その後圧力を零に戻し、再び約180kPaまでの正圧力を掛けるという繰り返しの実験を行う。

図5に供給電流20Aの磁場を印加した負圧力の場合について示す。

初回の負圧力の印加時では、低負圧力において体積変化率が比例する領域が見られるが、2回目、3回目と負圧力の印加の回数が増すにつれて、その領域が消失し、高負圧力による体積変化率が次第に大きくなる。また、一度負圧力を印加した磁性流体は、初期の体積の大きさにまで容易に回復しないが、長時間後にある程度まで回復する。これは、流体中に存在する空気が負圧力を印加することにより外部に抜け出るためと考えられるが、その他に、負圧力を取り

去った後、磁性流体内部の構造が時間的に流動して元の状態に回復するものと考えられる。

Fig.5 Ratio of volume change by applying negative pressure repeatedly.

Fig.6 Ratio of volume change by applying positive pressure repeatedly.

次に、供給電流20Aの磁場を印加した正圧力の場合について図6に示す。

この場合には、正圧力に対して幾度でも同じ量の体積変化率をもつ。すなわち、正圧力の場合には負圧力の場合に較べて、繰り返し圧力による磁性流体の体積変化は比較的安定している。

5 結言

磁性流体に時間的に静的な圧力を印加した場合の体積変化について実験的に研究を行った。それにより一般的な特徴が確認された。要約すると次のようになる。

(1) 磁性流体の負圧力に対する体積変化は、低圧力では体積が比例的に変化し、ある限界圧力を越えると急激に増大するようになる。一方、正圧力を加えた場合にはある値で飽和するようになる。

(2) 磁性流体の圧力に対する体積変化は、磁場を印加することにより無磁場下の場合に比べて増大する。

(3) 静的な圧力の繰り返し印加による磁性流体の体積変化は、負圧力の方が正圧力の場合よりも顕著に表われる。

文献

- 1) C. F. Hays: J. Coll. Int. Sci., **52** (1975) 239.
- 2) A. Satoh, S. Kamiyama: Proc. Conf. Cont. Mec. Appl. Can. Appl. Math. Soc., (1989) 731.
- 3) K. Shimada, T. Oyama, H. Nishiyama, S. Kamiyama: Int. J. Appl. Electromag. Mat., **2** (1992) 301.
- 4) K. Shimada, S. Kamiyama: J. Magn. Magn. Mat., **122** (1993) 214.
- 5) K. Shimada, S. Kamiyama: Proc. 2nd Int. Conf. Fluid Mech., (1993) 776.
- 6) K. Shimada, S. Kamiyama, A. Satoh: Proc. 3rd World Conf. Exp. Heat Trans. Fluid Mech. Thermo (1993) 1709.
- 7) 神山新一, 島田邦雄: 日本機械学会論文集, **57-536 B** (1991) 1273.
- 8) 沼知福三郎, 椎名武: 日本機械学会論文集, **3-11** (1937) 177.