圧力振動場における高粘性流体中の微小気泡列の近傍流れに関する実験的考察

Experimental consideration about the flow around small bubbles in the high viscous fluid under pressure oscillating field

○ 野口 真宜 (名工大) 村上 佳祐 (名工大)

正 岩田 修一 (名工大) 森 秀樹 (名工大)

Shingi NOGUCHI, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Nagoya, Aichi, 466-8555

Keisuke MURAKAMI, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Nagoya, Aichi, 466-8555

Shuichi IWATA, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Nagoya, Aichi, 466-8555

Hideki MORI, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Nagoya, Aichi, 466-8555

We have developed the Pressure-Oscillating Defoaming for removing air bubbles from shear-thinning fluids. When there are two air bubbles, the under-bubble rises earlier than the upper air bubble. In the fluid between air bubbles, hydrodynamic interaction occurs and there is a complicated flow. We installed air bubbles in the ink sheet, traced the motion of the ink, and analyzed the flow. The flow between 2 air bubbles was analyzed using the inked racer method. It turns out that the tracer particle with bottom air bubbles is moving from the tracer particle of upper air bubbles, and the complicated flow has occurred near the bottom air bubbles

Key Words: Viscoelastic, defoaming, visualization

1. 緒言

高粘性の流体に対する気泡除去のニーズは多い。多くの流体がShear-thinning性を示すことに注目し、筆者らは、気泡近傍の流体特性を意図的に変化させる方法を検討している。それは、気泡に圧力振動場を与える方法である。Fig.1に示すように、セル下部より圧力振動を与えることにより、Fig.2の如く、気泡上昇速度が向上する効果が得られた⁽¹⁾。同様の方法で、2気泡を上下に設置した場合、気泡上昇速度は、上側の気泡の上昇速度よりも下側に位置する気泡上昇速度が増加した⁽²⁾。圧力振動の印加により、気泡は膨張と収縮を振動印加周波数に応じて繰り返すが、高々直径1mm程度の気泡近傍での減少であり、上側気泡の近傍流れと、下側近傍流れがどのように異なるかが明瞭ではない。そこで、今回、微細なインクトレーサー膜を用いる方法を開発し、

セル内の気泡近傍流れの可視化を試みた。

2. 実験方法

試料溶液は 0.8wt%ポリアクリル酸ナトリウム水溶液 (SPA) である。可視化には、ポリスチレン粒子を用いることも考えられる。固体粒子には剪断場における粒子同士の接近現象が知られている。また、コロイドを形成することも知られていることから、取り扱いには注意が必要である。そのため、さらに微細な粒子群がほぼ同じ密度の溶媒に分散した顔料系インクを用いた。顔料系インクは、圧力振動で形成される流動場に応じて変形できるため、剪断場における固体粒子同士の接近現象は軽減される。

密閉可能なガラスセル中に溶液を満たした後、トレーサーとして顔料系赤インクの微小液滴を、Fig.3に示すように薄膜状に設置する。トレーサー面を横切る様に気泡を2個設置し、振動周波数とわずかに異なる周波数にてストロボライトで照射する。その様子は、高解像度デジタルビデオカメラ (Sony HDR-HC1) により、薄膜に対し鉛直方向より撮影する。動画ファイルを画像データとして加工後、気泡ならびにトレーサーの位置を参照スケールにより求めた。並行して、気泡膨張時と収縮時の画像データを5周期分測定し、気泡形状とトレーサーの移動方向を求めた。

Fig.1 Experimental apparatus

Fig.2 Effect of pressure-oscillation on the 1μL-bubble rising velocity.

Pressure-oscillating at 300Hz

Fig.3 Visualization of flow around bubbles by sheet of pigments.

3. 結果と考察

Fig.4 はトレース解析のために動画から抽出した図の 1 つである。上下に気泡が設置されており、その周りに微小のトレーサーが分布する様子がわかる。図中の○印の中に解析に用いたトレーサーがある。上側気泡と下側気泡の左側に位置するトレーサーに注目し、気泡表面近傍、気泡から気泡直径程度に離れた点、それら 2 点の中間に近いトレーサーの 3 点ずつ選択する。気泡上側の 3 点には、気泡表面に近い液滴から順に 1,2,3 と番号をつけた。下側

Fig.4 The experiment picture in two bubbles

気泡には、同様に 4,5,6 を与えた。原点は、画像左下であり、X 軸、Y 軸を図のように設定した。

Fig.5 は、上側気泡と下側気泡の中心座標を、5 周期分についてビデオで録画された時間を用いて示したものである。3 秒間に 5 周期あることから、ストロボ発信周波数は、

300.6Hz であることがわかる。

上側気泡は、図中上側 (a) に示されており、中心座標は、気泡の膨張収縮に伴ってわずかに変動しながら上昇することがわかる。これは、圧力振動が下側から印加されたため、中心座標は収縮時にわずかに上昇することによる。一方、下側気泡 (b) に注目すると、気泡中心位置の上下変動幅が上側より大きいことがわかる。下側気泡の上下変動幅は、上側気泡のほぼ 2 倍であった。これは、物質収支の観点から考えると、ほぼ妥当な結果と考えられる。紙面の都合上、気泡径の変位の時間変化を示していないが、気泡径の変化、すなわち、最大気泡径と最小気泡径の差は 0.25mm 程度で

Fig.5 Center position of two bubbles. (a): the upper bubble, (b): the lower bubble

Fig.6 Horizontal and vertical movement of pigments around the upper bubble under pressure-oscillating field.

あった。今回示した上下気泡の中心座標の変化量と気泡径の変化量は、その値よりも小さいことから、気泡の収縮時を比較すると、気泡表面間の距離が拡大すること示している。

次に、図中に示した破線は、それぞれの平均的な気泡中心位置を示したものである。この傾きから気泡上昇速度を計算できる。下側気泡の気泡上昇速度は、上側気泡上昇速度の 2.1 倍であることがわかる。

Fig.6 は、上側気泡近傍のトレー

サーの動きを示したものである。横軸はビデオカメラで撮影した時間であり、Fig.5 と同じスケールである。図中、(a)は X 軸方向の座標のプロットである。気泡近傍の○印では、気泡の膨張収縮に伴うサイン波状の変位を示すが、その変位は、気泡近傍から離れるにつれて減衰する。一方、Y 軸方向の変位を表す (b) に注目すると、気泡近傍の変位は、若干大きいものの、気泡表面から離れるにつれて、変動量は減衰した。このことから、上側気泡では、主に放射状の流れが存在していることを表す。

Fig.7 は、下側気泡近傍のトレーサーの動きを示したものである。図中上側の気泡近傍の X 軸方向の変位は、上側気泡と同様に気泡表面から離れるにつれて、変動量が減衰した。しかし、Y 軸方向の変動量に注目すると、気泡表面から最も離れた□については、変動量が減衰している。○と△について注目すると、2 つの膨張・収縮の位相が、少しずつ異なることに気づく。たとえば、最も気泡表面に近い○では、 $T_v=0.9s$ にて極小値を示すが、少し離れた△では、 $T_v=0.8s$ にて極小値を示した。これは、上側気泡では見られなかった現象であり、下側気泡でより複雑な流動を呈していることを示唆している。しかしながら、下側気泡近傍で生じた複雑な流動の全体像を把握するには、さらなるデータの蓄積が必要であり、さらに 2 次元解析からその構造の解明を進める予定である。

4. 結言

高粘性の粘弾性流体中に薄膜シート状に設置された微小液滴群によるインクトレーサー法により、圧力振動場において、上下に設置された 2 気泡の気泡近傍流体の流れの解析を行った。上側気泡の近傍では、放射状の流れが主であるが、下側気泡の近傍では、より複雑な流動が存在することが認められた。

引用文献

- (1) 山田ら, 日本機械学会流体工学部門講演会, 612 講演 (2007)
- (2) 岩田ら, 日本機械学会年次大会, S0501-3-4 講演 (2009)

Fig.7 Horizontal and vertical movement of pigments around the lower bubble under pressure-oscillating field.