A101

落下する液滴界面近傍の PIV 計測

小林 広一郎[○](前澤化成工業(株)), 安田 和真(宇都宮大学院), 二宮 尚(宇都宮大学)

PIV Measurement around the Interface of a Falling Droplet

Koichiro KOBAYASHI, Kazuma YASUDA and Nao NINOMIYA

ABSTRACT

Although the phenomena related to the multiphase flow can be found in many kinds of industrial and engineering applications, the physical mechanism of the multiphase flow has not been investigated in detail. The major reason for the lack of data in the multiphase flow lies in the difficulties in measuring the flow quantities of the multiple phases simultaneously. Presently, the simultaneous visualization and the PIV measurement have been carried out about the both phases of the liquid-liquid two-phase flow. The difference in the refractive indices makes the visualization in the vicinity of the boundary of the multiple phases almost impossible. In this study, the refractive index of the aqueous phase has been equalized to that of the oil phase by adjusting the concentration of aqueous solution. The results show the flow structure both outside and inside of a falling water droplet in the stationary oil simultaneously.

Keywords: Multiphase flow, Refractive index matching, Particle image velocimetry (PIV)

1. 緒 論

混相流に関連した現象は自然界や日常生活の中、また工学のあらゆる分野において、多く存在するものであるが、その流動の物理的なメカニズムは未だ十分には理解されていない。例えば、気泡、液滴、固体の周囲の流動に関しては比較的多くの研究例が見られるが、気泡や液滴の内部の流れを詳しく調べた例は少ない。また、外部及び内部の流れを同時に調べた例は皆無に等しい。

界面近傍における物理現象の詳細を解明するには、界面近傍での流動状況の詳細なデータが必要である。近年、粒子画像流速計 (PIV)¹⁾ や粒子追跡流速計 (PTV) などの可視化を利用した計測手法は流れ場の多点の速度情報を瞬時に抽出することができ、大きな成果を上げている。

しかし、混相流では二相の界面における屈折などの影響で可視化すること自体が困難な場合が多い。気液二相流では気相に適したトレーサの選択が難しく、気液両相を同時に可視化した例は皆無に等しい。また、水と油のような液液二相流では、液滴内部の屈折率が周囲液体の屈折率より低い場合は二相を同時に可視化することが可能であるが、定量的な計測を行うためには界面での屈折の影響を補正する必要がある²⁾。この補正には液滴が球形であるという仮定が必要であり、それにはレイノルズ数 Re とエトベス数 Eu がともに小さい必要がある。

そこで本研究では、より一般的な条件での計測を可能とするため、落下する水滴として、適切な濃度に調整したグリセリン水溶液を用いることで、周囲の油と水滴の屈折率を完全に一致させ、界面での屈折の影響を全く受けずに、落下する液滴の外部及び内部の流れをトレーサー注入法に同時に可視化し、その流れの詳細についての PIV による速度計測を行った。

2. 屈折率の調節

周囲流体となる油には粘度の種類が豊富なシリコンオイルを用いた。シリコンオイルの屈折率は常温で 1.4 前後であるので、屈折率 1.3330 の水に高屈折率で油に不溶の媒質を溶かすことで屈折率を増加させることが可能である。本研究では、屈折率 1.4716 のグリセリンを加えた。

Fig.1 に、シリコンオイルと各濃度のグリセリン水溶液の屈折率の温度変化を示す。実験温度を 20℃ とすると、図より濃度 50% のグリセリン水溶液と粘度 6cSt のシリコンオイルの屈折率が一致することがわかる。屈折率が完全に一致すると、落下する液滴の位置が認識不能となるので、グリセリン水溶液をローダミン B で染色した。

Fig.1 Refractive index and temperature

3. 実験方法

Table 1 に本研究で用いた試料の 20℃における物性値を示す。屈折率は 1.3999 で一致させた。シリコンオイルには、粘度が 50%グリセリン水溶液に近い 6cs の物を用いた。また、両相の比重が 1.130 と 0.925 であったので、トレーサーには比重が流体とほぼ等しいポリエチレンとナイロン 6 の粒子を用いた。比較のために 20cs のシリコンオイルも用いたが、物性値の差の影響は特になかった。

Table 1 Physical-properties of the fluids at 20℃

	50% Glycerol aq.	Silicon Oil 6cs	Silicon Oil 20cs
Refractive index	1.3999	1.3999	1.4030
Viscosity	6.70 m Pa s	5.40 m Pa s	18.2 m Pa s
Specific gravity	1.130	0.925	0.950
Tracer particle	Nylon 6 $\rho=1.13$ 20 μm	Polyethylene $\rho=0.925$ 15 μm	Polyethylene $\rho=0.925$ 15 μm

Fig.2 Experimental apparatus

Fig2.に実験装置の概略図を示す。装置は、一辺 100mm、高さ 500mm のアクリル製で、内部に直径 100mm の円筒を設置し、壁面の影響を除去した。容器内部にシリコンオイルを満ちし、上部からグリセリン水溶液をピペットで注入すると、直径 4.117mm の液滴が形成され、終端速度 0.134m/s で落下した。この時、 $Re = 77$ で、ボンド数 $Bo = 0.702$ 、モルトン数 $M = 6.409 \times 10^{-6}$ となり、Grace の相関図から球形と楕円体の中間の領域となった。可視化にはダブルパルスレーザーを用い、シリンドリカルレンズでシート光とし、容器中央の鉛直断面を可視化した。パルス間の時間間隔は 2ms とし、撮影には解像度 1024 × 1024 の CCD カメラを用いた。

4. 実験結果

Fig.3 に液滴の内部対流を色素流脈法により可視化した図を示す。内部対流は図のように左右対称に渦状の流れを形成し、上部には対流が見られない。これは、界面

Fig.3 Streak lines inside of a droplet

Fig.4 Velocity vectors around and inside of a droplet

の不純物が液滴後方に集められ、表面張力差によって界面の対流を阻害した結果であり、従来の研究²⁾と符号する結果である。このように、屈折率を一致させることで、非球形の液滴に関しても、液滴の外部及び内部を同時に可視化することが可能となった。次に、Fig.4 に PIV による計測結果を示す。全体から液滴の終端速度を差し引いた結果を示してある。図より、液滴が液滴前方の流体を押しのける流れや、液滴内部の左右対称な渦状の流れの詳細が確認出来る。PIV の相関を求める際に、特に液滴の外部と内部を区別することなく計算を行ったが、液滴の内部が蛍光染料で薄く着色されているために、液滴の外部及び内部が明確に区別された結果が得られた。

5. 結論

屈折率が等しくなるように調整したグリセリン水溶液の液滴をシリコンオイル中に落下させ、レーザーシート光で可視化することで、液液二相流の外部及び内部の流れを同時に可視化し、PIV 処理を施すことで、液滴の界面近傍の流れの詳細を明らかにした。

参考文献

1) 可視化情報学会編：PIV ハンドブック (2002), 森北出版。
2) 山内 慎：気液・液液混相流における相界面流動の PTV 計測に関する実験的研究, 関西大学大学院博士論文(2000)