D106

可視化による管内気液二相流界面データ

賞雅 寛而[○], 波津久 達也, 于笑然, 大島 正毅 (東京海洋大学)Interfacial Data of Gas-liquid Two-phase Flow Obtained by Visualization
Tomoji TAKAMASA, Tatsuya HAZUKU, Xiaoran YU and Masaki OSHIMA

ABSTRACT

Combination of visualization and the image-processing is a most suitable tool to provide high spatial-temporal interfacial data to develop two-phase flow modeling. Here the latest results of the data such void fraction, particle number density, and interfacial area concentration as in pipe flow are introduced, which obtained through visualization technique. The advantages and disadvantages of the technique are also discussed.

Keywords: Two-phase flow, Dispersed flow, Phase interface, Visualization

1. はじめに

気液二相流のモデリングは工学的理学的に重要な研究課題であり、近年のコンピューター技術の発達に伴い、高時空間次元の検討がなされてきている。例えば界面積濃度輸送モデルの開発は、管内気液二相流の最先端研究として現状位置づけられ、現在通常の工学機器設計・評価で用いられている1次元モデルに代わるものとして、各国で精力的な研究が行われている¹⁾。この開発には、広範囲の流動様式における気液界面の時空間データ(ボイド率、界面面積濃度、分散相数密度などの3次元分布及びそれらの時間的変動データ)が必要となる。管内流の可視化及びその画像解析は、管内の乱れを生じないことや高時空間データが取得可能であること、また分散流においては粒子径を直接計測できることなどの利点があり、気液相の界面データを得る非常に重要なツールとなっている。ここでは、筆者らの研究室で開発されているステレオ画像解析による分散流・気液二相流の界面データを紹介する。

2. 分散粒子流の界面計測限界

気泡流などの分散粒子流の3次元界面計測には、多方向から撮影された画像の各粒子を同定しその位置及び形状を得るマルチ撮影方式が有用である。筆者らはFig. 1に示されるように鏡を用いたステレオ撮影法をもちいて、これまでに管内気泡流の気液界面形状計測を行ってきた²⁾⁴⁾。ここでこの方法は、粒子体積率(気泡流の場合にはボイド率)が大きくなると分散粒子の重なりのために、界面の再構成ができなくなるという計測限界を持つ。ここでは球形固体粒子-水系分散二相流を対象に、ステレオ画像処理法およびハフ変換手法を用いた界面計測技術、すなわち画像中の重なっている粒子の分離や欠ける粒子を適切に処理するためにあらたにハフ変換手法に法線検出を複合させるアルゴリズムおよび投票の誤差を少なくする非極大値抑制というアルゴリズムを開発した結果を紹介する。周知のよう

Fig. 1 Stereo image acquisition

に、ハフ変換はノイズの混入した画像から、図形要素を検出する有効な手法であり、画像の部分処理を施していくために、他の方法に比較して計算処理時間が非常に少なくなるという利点がある⁵⁾。

開発されたハフ変換(＋法線検出・非極大抑制)法(Normal-line Hough Transfer法, NHT法)、輪郭線の変曲点検出から分散粒子の分離を行う方法(藤垣ら⁶⁾)及び目視による方法を用いた、粒子の重なりでの計測限界についてシミュレーションを行った。Fig. 2はモンテカルロ法によって管内に分散する均一系粒子に対する各方法の分離抽出率を、平均ボイド率の関数として示している。図よりNHTは目視よりも正確に粒子を抽出していることがわかる。粒子界面の曲率にもよるが、例えば半径13ピクセルの球形の場合、NHT、変曲点検出法、及び目視による方法の、計測限界はそれぞれ、1, 5, 2.3ピクセルであった。

Fig. 3に、固体球形粒子(2.4mm径)－水垂直9mmアクリル管内二相流のNHTによる分離同定例を示す。NHTは粒子を良く同定し、計測が十分に行われていることがわかる。Fig. 4に得られた菅半径方向粒子体積分布を示す。ここで、水とアクリルの屈折率差(水1.32, アクリル1.49)とカメラの視差・収差のために、画像計測による粒子の菅半径位置に誤差を生じる。従ってあらかじめ管内に入れたス

Fig. 2 Extract rate of dispensed particle

Fig. 3 Stereo image of particle water flow

Fig. 4 Particle volume fraction profile

ケル画像などによる補正が必要になる³⁾。図に示されるように補正された体積率分布は補正前の分布に比較して管壁側が大きく、また管中心部が小さくなっている。

3. 気泡流界面計測

次に気泡流のステレオ画像解析 (Stereo Image processing Method, SIM) による計測結果を紹介する。基本的に計測アルゴリズムは前節に述べたものと同様であるが、気泡形状は3次元軸方向にそれぞれの長さを持った楕円体気泡に近似され、それぞれの気泡の表面積、体積及び管内半径方向位置を求め、統計的に十分 (通常 500-3000 程度) な数の気泡データを集積することにより時間平均分布及びその変動量を得ている。Fig. 5 に通常重力及び微小重力環境下におけるボイド率分布の管軸方向発達計測結果を示す⁴⁾。ここで z は気相混入部からの管軸長さであり、 $z/D=5$ から 60 までの間に管中心から放出された気泡が管壁に偏分布していくことがわかる。この微小重力環境は落下棟施設によって得ているが、一般的にこのような時間的 (微小重力維持時間は 4.5 秒) 及び空間的に制限のある実験体系では、画像解析法はほとんど唯一の界面計測法である。また Fig. 6 に画像解析において処理した画像数と累積平均量に対する偏差量の関係を示す⁷⁾。図より、約 100 枚

程度の画像 (この場合の 1 枚の画像には 5-30 程度の気泡が写されている) 処理によって 3% 以下の偏差になっており、気泡流の統計的処理には約 500 程度以上の気泡処理が必要であるといえる。

4. 結語

以上、分散混相流の界面計測で画像解析は非常に重要なツールであることを示した。コンピュータハード及びソフト技術の発達によって、この解析方法はこれまで以上に利用される可能性を持っており、多くの研究者の貢献をこれからも期待したい。

参考文献

- 1) Hibiki, T., et al.: Int. J. Heat Mass Transfer., Vol. 43 (2000) pp. 2711-2726.
- 2) 賞雅寛而, 他 4 名: 機械学会論文集(B), 63-606 (1997) pp. 40-47.
- 3) 賞雅寛而, 他 1 名: 機械学会論文集(B), 59-564 (1993) pp. 63-69.
- 4) Takamasa, T., et al.: Int. J. Multiphase Flow 29-2 (2003) pp. 291-304.
- 5) Duda, R., et al.: Communications of the ACM 15 (1975) pp. 11-15.
- 6) 藤墳哲平, 他 2 名: 混相流年會講演論文集 (2004) p. 155.
- 7) Hibiki, T., et al.: Int. J. Heat Fluid Flow (2007) In Press.

Fig. 5 Axial development of void fraction profiles in normal and microgravity environment

Fig. 6 Effect of number of processed images on measured void fraction