D114

縮小路をもつ気液二相流の流れの可視化

石川 正明[○](琉球大学), 伊良部邦夫(琉球大学), 照屋 功(琉球大学)

Flow Visualization on Gas-Liquid Two-Phase Flow with Contraction

Masaaki ISHIKAWA, Kunio IRABU and Isao TERUYA

ABSTRACT

This paper described about flow visualization of a gas-liquid two-phase flow in vertical channel with contraction. We have found that the pulsation for void fraction and pressure are occurred by the contraction. However, the mechanism of pulsation is not cleared. Therefore, we visualize the gas-liquid two-phase flow at contraction and the downstream region using high-speed camera system.

Keywords: Contraction Channel, Gas-Liquid Two-Phase Flow, Flow Visualization

1. 結 論

将来型の沸騰水型原子炉における安全性, 経済性向上のためのコンセプトとして, 内蔵 CRD(制御棒駆動装置)がある⁽¹⁾. この CRD を原子炉容器内に内蔵することで, 圧力容器容積を削減できるため, 経済性が向上できるメリットがある. しかし, この内蔵 CRD は炉心上部に設置されるため, 炉心によって沸騰した冷却水がさらされる. それを防ぐために, ガイドチムニと呼ばれる流路を設け, 気液二相流が直接触れるのを防止する構造となっている. このガイドチムニは構造上, 縮流を持つ流路となり, システム運用の安全上, 縮流路における気液二相流の流動特性を調査する必要がある.

縮流路を持つ気液二相流の研究は, 縮流路の前後の圧力損失⁽²⁾やボイド率変化⁽³⁾の研究, レデュース内を通過する二相流モデルに関する研究⁽⁴⁾等の多くの実験をされている. また, 内蔵 CRD の等スケールでの縮流路を持つ鉛直上昇円管による流れの可視化, 圧力変動, ボイド率変動を調査した⁽⁵⁾. そこでは, $\phi 10.9$ から流路断面比が 0.5 に変化する縮小路で, 圧力およびボイド率計測の両方で脈動が発生することが示された. また, 小型の可視化モデルを作成し, 画像解析による気泡形状と PIV による液相速度を同時計測し⁽⁶⁾, 後流に捕らわれる小気泡による大気泡成長過程を示しているが, 脈動原因を十分に説明できているわけではない.

本実験では, 縮小部を持つ鉛直管内をバックライト法による流れの可視化を行い, 縮小部および縮小後の気液二相流の流動構造について述べる.

2. 実験装置

実験装置図の概要を Fig. 1 に示す. 容器は透明アクリル製で, 上流側の矩形断面が $50\text{mm} \times 20\text{mm}$, 下流側の矩形断面が $20\text{mm} \times 20\text{mm}$, 高さが 1700mm である. Fig. 2 に縮小部縮小形状を示す. (a) は矩形断面が

$50\text{mm} \times 20\text{mm}$ の直管を, (b) は縮流高さは 50mm のもの, (c) は縮流高さ 150mm のもので, (b), (c) は縮流高さ間に幅が 50mm から 20mm に直線的に変化するものである. しかし, 今回は流路(c)の実験および考察を除く. 液体には水道水を, 気体には空気をを用いた. 空気発生ノズルは, 底から 500mm の位置に設置されている. 液相流量および空気流量は, それぞれ, $50 \sim 100\text{L/min}$ (縮流後でのみかけ液相流速は $2.1 \sim 4.2\text{m/s}$), $1 \sim 5\text{L/min}$ (縮流後でのみかけ気相流速は $0.04 \sim 0.21\text{m/s}$) で調節を行った. この流量設定は, 鉛直管内気液二相流の流動マップの気泡流に相当する.

撮影には, Photron 社製 FastCam PCI (512×240 画素, 500fps)を用いた. 照明には, 500W レフランプを用い, 気泡界面を鮮明に撮影するため, バックライト法を利用した. また, 照明と装置の間に光拡散紙を設けている.

Fig. 1 Experimental apparatus

3. 実験結果

Fig. 2 に、縮小部の位置に着目した可視化画像を示す。(a)・(c)はそれぞれ直管、レデューサ・タイプ I の縮流前後である。液相流量および気相流量はそれぞれ $Q_L=50\text{L/min}$, $Q_G=5\text{L/min}$ で、ボイド率 α は約 9%である。Fig. 2 (a)の直管の場合、比較的大気泡が周期的に、かつジグザグに上昇していく様子が観察されている。ノズルから 500mm 上昇した位置のため、合体によりノズルで発生した気泡サイズより大きくなっていることを補足しておく。Fig. 2 (b), (c)のレデューサ・タイプ I の場合、縮小部に入る前までは、(a)の直管と同様に周期的にジグザグに上昇するが、縮小部では、形状の効果により加速する流れとなり、気泡先端は最縮小部に向け伸び、気泡後端は末広の状態から徐々に砲弾型気泡の形になる。また気泡後端からの後流渦に捕らわれ、より大気泡を形成しているように見えた。この結果は、気泡像の抽出とその周りの液相流速の PIV 計測を行った結果⁽⁶⁾と同様の結果である。

Fig. 2 Snapshots of each tube
($Q_L=50\text{L/min}$, $Q_G=5\text{L/min}$)

Fig. 3 は Fig. 2(a), (b)の四角に囲われた位置での時間展開画像を示す。画像上から下に向けて、0.5 秒間時間が進行した画像である。図中の黒い輪郭を持つものが気泡で、他の明るい部分は液体である。Fig. 3(a)の直管の場合、Fig. 2(a)の流れの可視化観察結果から述べた通り、比較的大気泡のものが周期的に時間方向に現れることがわかる。この大気泡の通過する気泡は 1s 間で 20~25 個程度であった。また Fig. 3(b), (c)のレデューサ・タイプ I の縮小部前と後の結果では、(b)の縮小部前の結果は直管のものと同じように、20~25 個存在することがわかる。(c)の縮小部後の時間展開図では、気泡は 15~20 個となり、明らかに数の減少が見られた。気泡数の減少は気泡の合体によるものであり、縮小部を持つことにより合体が促進されることがわかる。

Fig. 3 では縮小部に注目しているが、縮小部の後における時系列画像を Fig. 4 に示す。流量条件は Fig. 2, 3 の条件と同じである。縮小部通過後は Fig. 4 (a)のようにスラグ流の形成となるが、その後(b)・(d)より気泡スラグ側面に

気泡の上昇速度の数倍で上昇する液相の流れがあることがわかった。その際、気泡上昇速度と液相流速の差が大きいため、界面が不安定となり、小気泡に分離しながら流れることがわかった。この現象は、縮小後の管径に近い気泡が通過するすべての気液二相流で発生することが考えられる。以上から、ボイド率は縮小部により気泡の合体による数~数十 Hz のボイド率の低周波変動の存在と、縮小後の気泡の分離、界面の振動により数百~数千 kHz の高周波変動を同時に含まれることが示唆された。

Fig.3 Time extended image ($Q_L=50\text{L/min}$, $Q_G=5\text{L/min}$)

Fig. 4 Time series images ($Q_L=50\text{L/min}$, $Q_G=5\text{L/min}$)

4. 結論

本研究では縮小部を持つ垂直な流路内を上昇する水-空気系気液二相流において、液相体積流量と気相体積流量を変化させ、流れの可視化および時間展開画像による気泡の分布について調査した結果、気泡の合体が縮小部で促進されていることがわかった。

縮小部通過後の気泡画像より、気体スラグの上昇速度よりも早い液相流速の存在がわかった。その上昇流により小気泡への分裂や気液界面の振動を起こすことがわかった。

参考文献

- 1) 財団法人エネルギー総合研究所, 平成 13 年度革新的実用原子力技術開発公募事業「セラミック絶縁耐熱コイルを用いた内蔵 CRD 等に関する技術開発」成果報告書, (2002,2003,2004,2005)
- 2) Schmidt, J. and Friedel, L.: *Int. J. Multiphase Flow* **23**-2, 283-299 (1997).
- 3) Bertola, V.: *Exp. in Fluids* **32**, 481-486, (2002).
- 4) Boyer, C. and Lemonnier, H.: *Int. J. Multiphase Flow* **22**-4, 713-732 (1996).
- 5) 森元, 班目, 岡本: 機械学会年次大会 (2002).
- 6) 石川, 森元, 岡本, 班目: 混相流学会年会講演会 2005, pp.493-494 (2005).