

OS8-05 二流体モデルを用いた垂直2×3ロッド流路内気液二相流のサブチャンネル ボイド率と圧力損失の予測

Prediction of Subchannel Void Fraction and Pressure Drop of Two-Phase Flows in a Vertical 2x3 Rod Channel by a Two Fluid Model

○正 佐田富 道 雄 (熊本大工) 正 加野 敬子 (熊本大工)
正 川 原 顕磨呂 (熊本大院) 学 森 直樹 (熊本大院)

Michio SADATOMI, Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto
Keiko KANO, Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto
Akimaro KAWAHARA, Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto
Naoki MORI, Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto

In order to increase void fraction and pressure drop data in a multi-subchannel system like an actual fuel rod bundle, air-water experiments have been conducted with a vertical 2x3 rod bundle channel made up of two central and four side subchannels. Experimental data on the void fraction, the pressure drop and the frictional pressure drop in each subchannel was obtained. The results show that both the void fraction and the frictional pressure drop are higher in the central subchannel than the side one. In the analysis, the data on gas and liquid flow rates in each subchannel was used, and the calculations by various correlations reported in literatures have been compared with the present data for validation. Results of such experiments and analyses are presented and discussed.

Key Words: Subchannel, Hydraulically Equilibrium Two-Phase Flow, Void Fraction, Pressure Drop

1. 緒言 BWR内の冷却材の熱流動解析ではサブチャンネル解析が広く使われており、今なおその改良が続けられている(例えば、文献1)。著者らは、従来、サブチャンネル数2個の流路の様々なデータを用いて解析コードの検証を行って来た(例えば、文献2)。しかしながら、検証用としてはより実機に近いサブチャンネル数3個以上の流路のデータも必要であり⁽³⁾、そのようなデータの増加が望まれていた。このような背景から、サブチャンネル数6個の垂直流路を作り、水力学平衡状態の気液二相流における各サブチャンネルのボイド率と圧力損失を測定したので、その結果と既存の予測式との比較結果を報告する。なお、本流路に関するサブチャンネル間の乱流混合量⁽⁴⁾と各サブチャンネルへの流量配分⁽⁵⁾の測定結果は報告済みである。

2. 実験 本供試流路(2×3ロッド流路^(4,5))は、透明アクリル樹脂製の長方形流路(40mm×44mm)内に直径16mmの2本のロッドと4本の半ロッドを設けることにより、二つの中央サブチャンネル(Ch.1)と四つの側面サブチャンネル(Ch.2)を持つ。ロッドとロッド間およびロッドと長方形流路の隙間はいずれも4.0mmであった。Ch.1とCh.2の断面積は194mm²と138mm²、水力学相当直径は14.3mmと11.2mmであった。

実験装置の全景をFig.1に示す。垂直な流路の全長は5.00mであり、図示の5区間からなる。入口区間では6個のサブチャンネルを、仕切り板を入れることによって二つずつにまとめた。すなわち、対称性を考慮して3個のサブチャンネル群2-2, 1-1, 2-2をつくり、供試流体である水と空気をそれぞれに流れが水力学的に平衡状態となるように導入した。なお、それぞれの流量は検定済みのタービン流量計と浮子式流量計で測った。次の注入区間は、乱流混合量を求める実験においてトレーサーを注入する区間であり、6分割してある。混合区間は、仕切り板がなくサブチャンネル間で流体移動が可能な区間である。この混合区間の途中に長さ0.5mの試験区間を設け、急閉弁法によりサブチャンネル群2-2, 1-1, 2-2の各ボイド率を測定すると共に、差圧変換器を用いて全圧力損失を測定した。その後、圧力損失の加速成分は本実験範囲では極めて小さいので無視し、全圧力損失から静水

圧成分を差し引いて摩擦成分を求めた。排出区間以降の各部と測定の詳細は既報⁽⁶⁾に示してある。なお、ボイド率と摩擦成分の圧力勾配の各測定誤差は1%以内と2%以内であった。

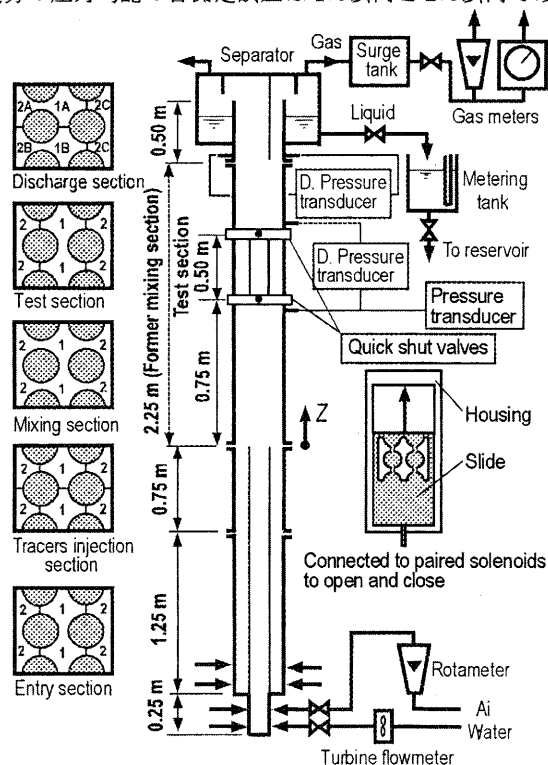


Fig.1 Flow loop of the test channel with 2x3 rods

3. 実験結果 流量配分比(各サブチャンネルの流量/流路全体の流量)の実験結果⁽⁵⁾をFig.2に示す。実験値(気相は白抜き印、液相は色塗り印)は流路全体に対する液相の容積流束を $j_L = 1.0 \text{ m/s}$ に固定して、気相の容積流束 j_G を徐々に変えて得ている。気泡流では気相、液相共に単相乱流の値とほぼ一致するが、スラグ流へ遷移すると気相は面積が大きいCh.1へ偏って流れる。さらに j_G が大きくなり環状流

に近づくとも偏りは弱まる。このような流動様式への依存性は、二つのサブチャンネルから成る流路の場合と同様であった。

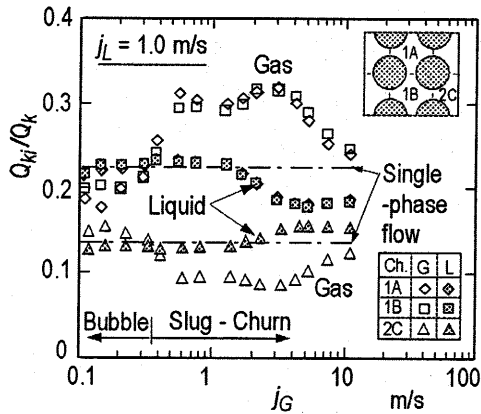


Fig. 2 Flow distribution data in hydraulically equilibrium two-phase flows at $j_L = 1.0$ m/s⁽⁵⁾

Fig. 3はFig. 2と同じ条件でのボイド率の測定結果である。 $j_G > 0.35$ m/sのスラグ-チャーン流領域では、ボイド率はCh. 2よりも1が高く、Carlucciらの式⁽⁶⁾による計算値と傾向は合うが、定量的な一致は不十分であった。

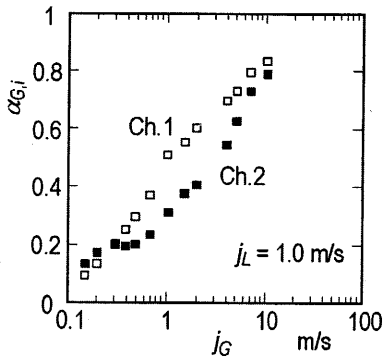


Fig. 3 Void fraction data in each subchannel at $j_L = 1.0$ m/s

Fig. 4は様々な流量条件における圧力損失の摩擦成分の実験値である。水力学的平衡流で得られたので全圧力損失は両サブチャンネルで等しい(図省略)ので、摩擦成分はスラグ-チャーン流領域ではCh. 2よりも1が高くなった。

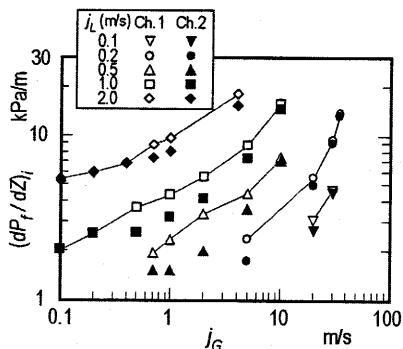


Fig. 4 Frictional pressure drop data in each subchannel

4. 既存の予測式の評価 既存の予測法(ボイド率19種類、圧力損失の摩擦成分18種類)について、本サブチャンネルの実験値を用いて検証した。ただし、計算に必要な各サブチャンネルの両相の流量には実験値を用いた。紙面の都合上、詳細は省くが、次の結論を得た。ボイド率については、混合流体モデルではDixの式⁽⁷⁾(Fig. 5参照)、二流体モデルでは壁面摩擦力 F_{WZ} に RELAP5/MOD2⁽⁸⁾を界面摩擦力 F_I

に TRAC-PF1/MOD1⁽⁹⁾を使う場合が良かった。摩擦成分については、混合流体モデルではStorek-Brauerの式⁽¹⁰⁾、二流体モデルでは壁面摩擦に分離流の式を界面摩擦にRELAP5/MOD2を使う場合(Fig. 6参照)が良かった。

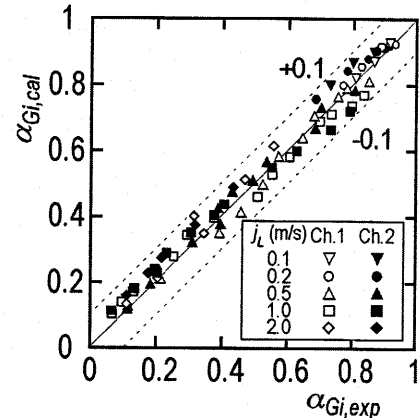


Fig. 5 Assessment of void fraction prediction (Cal: Dix's correlation)

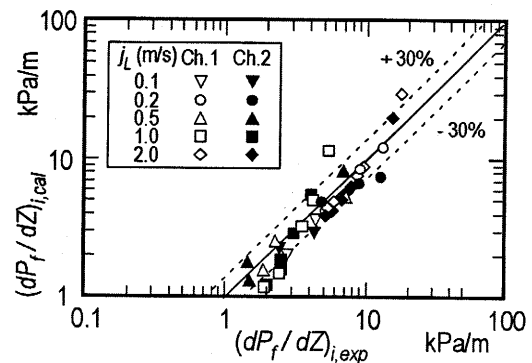


Fig. 6 Assessment of frictional pressure drop prediction (Cal: Two-fluid model with the separated flow and RELAP5 correlations respectively for F_{WL} and F_I)

5. 結言 6個のサブチャンネルを持つ垂直流路内の気液二相流について各サブチャンネルのボイド率と圧力損失を測定し、それらの実験値を用いて既存の予測式の評価を行い、上記の知見が得られた。終りに、実験に協力頂いた峯崎洋平君と中尾淳一君に感謝します。

文献

- (1) Ninokata, H. et al., Proc. of GENES4/ANP2003, (2003), 10 pages in CD-ROM.
- (2) Sadatomi, M. et al., Nucl. Eng. & Des., 148-2&3 (1994), 463-474.
- (3) Lahey, Jr., R.T. et al., Trans. ASME, J. Heat Transfer, 93 (1971), 197-209.
- (4) Sadatomi, M. et al., Int. J. Multiphase Flow, 30, (2004), 481-498.
- (5) Sadatomi, M. et al., Int. J. Multiphase Flow, 30, (2004), 1093-1119.
- (6) Carlucci, L.N. et al., Nuclear Engineering and Design, 227, (2004), 65-84.
- (7) Dix, G.E., Rep. NEDO-10491, General Electric Co. (1971).
- (8) Ransom, V.H. et al., NUREG/CR-4312, EGG-2796, EG&G Idaho, Inc. (1985).
- (9) Liles, D.R. et al., NUREG/CR-5069, LA-11208-MS, Los Alamos National Laboratory, (1988).
- (10) Storek, H. and Brauer, H., VDI Forschungsheft, 599, (1980), 1-36.