

OS8-2 二流体モデルを用いた稠密三角格子模擬ロッド流路内のサブチャンネルポイド率の解析

Analysis of Void Fraction in a Multiple-Channel Simplifying Triangle Tight Lattice Rod Bundle by a Two-Fluid Model

○正 佐田富道雄 (熊本大) 正 川原顕磨呂 (熊本大) 学 工藤博幸 (熊本大) 正 白井浩嗣 (熊本大)

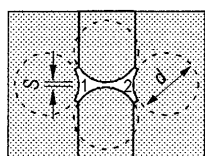
Michio SADATOMI, Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto City, Kumamoto
Akimaro KAWAHARA, Kumamoto University
Hiroyuki KUDOU, Kumamoto University
Hiroshi SHIRAI, Kumamoto University

Void fraction data were obtained for air-water and air water with surfactant flows in a vertical channel with two subchannels simplifying a triangle tight lattice rod bundle. The data had the trends that the void fraction was lower in air-water system than air-water with surfactant one, and the void fractions for both systems were lower than those calculated by various correlations in literatures for circular pipe flow. In order to study the cause of the data trend, for annular flows as a first step, the void fraction was calculated by a two-fluid model subchannel code using several wall and interfacial friction correlations, and by assuming the liquid film to be uniform over the wall perimeter. The best agreement between the calculation and the experiment was obtained when NASCA correlation for wall friction force and modified RELAP5/MOD2 correlation incorporating reduced surface tension effects for interfacial friction force were used.

Key Words: Void Fraction, Triangle Tight Lattice Rod Bundle, Two-Fluid Model, Subchannel Code

1. 緒言 次世代BWRの低減速炉では稠密三角格子配列の燃料体が採用される予定である⁽¹⁾。この研究はその炉内のポイド率予測に資することを目的としている。二つのサブチャンネルのみを持つ簡易化流路を用いて得た既報⁽²⁾のポイド率データを表わすべく、二流体モデルを用いて計算を行ったので、その結果を報告する。

2. 既報⁽²⁾の実験の概要と実験結果 Fig.1は供試流路の断面であり、Fig.2に装置の概略を示す。流路は壁面の滑らかなアクリル製で流れの観察が可能であった。二つのサブチャンネルに等量の流体(室温大気圧の空気と水、あるいは空気とポリオキシエチレンラウリルエーテルを含む水(以下PLEと略記))を流路下部から導入し、サブチャンネル間で水力学的平衡状態にある気液二相流の実験を行った。ポイド率は、サブチャンネル間の仕切りがないテスト区間の中央において測定精度が1%以内となるように急閉弁法で測定した。20°C(実験では $20 \pm 1^\circ\text{C}$ に調節した)における液の物性値はTable 1に示すごとくである。表面張力 σ はPLEが水の約60%であったが、密度 ρ と粘性係数 μ は両液体で大差はなかった。なお、表面張力を低下させたのは、BWR条件では水の表面張力は常温の水よりもかなり低く、稠密三角格子配列流路はサブチャンネルの水力学相当直径が3.2 mmで表面張力の影響が出やすいため、表面張力の影響の把握が必要と考えたためである。なお、実験点は液の種類に依らず気泡流と環状流が3点でスラジャーチャーン流が17点であり、空気と液の容積流速範囲は $0.2 \leq j_G \leq 35 \text{ m/s}$ と $0.1 \leq j_L \leq 2.0 \text{ m/s}$ であった。



$S_{12} = 1.0 \text{ mm}$
 $d = 12.0 \text{ mm}$
 $D_h = 3.19 \text{ mm}$
 $A_1 = 16.6 \text{ mm}^2$

Fig.1 Cross-Section of the Test Channel⁽²⁾

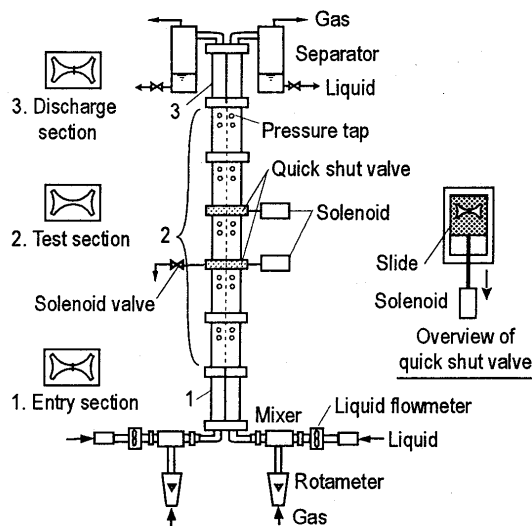


Fig.2 Flow Loop of the Test Channel⁽²⁾

Table 1 Properties of Test Liquids at 20°C⁽²⁾

Liquids	σ N/m	ρ kg/m ³	μ Pa·s
Water	0.072	998.2	1.002×10^{-3}
PLE	0.042	998.2	0.981×10^{-3}

Fig.3に空気-水系と空気-PLE系の実験結果を同時に示す。縦軸はポイド率、横軸は気体体積流量率 $\beta (=j_G/(j_G + j_L))$ である。実験点は j_L 値と液の種類によって異なる記号で示されている。点線は均質流に対するもので、破線は円管内の流れに適するArmandの式⁽³⁾による計算値である。 $\beta > 0.3$ のスラッグ、チャーン、環状流では、実験値は両系ともArmandの式による計算値よりも小さい。これは次の理由によると考えられる：(1) 本流路は細管であるので通常口径管と比較して管径に対する相対的な液膜厚さが厚くなりやすい。(2) 本流路は四つの隅部を持ち、隅部では表面張力の影響により液が滞留して低流速で流れやすい。

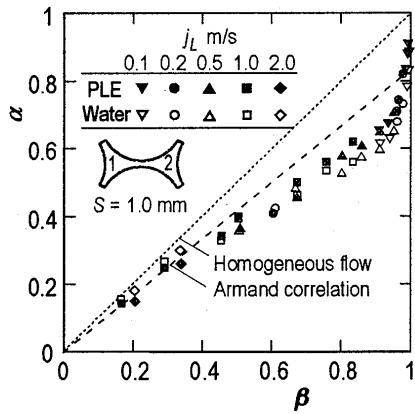


Fig.3 Void Fraction Data: Effects of Reduced Surface Tension and Subchannel Geometry⁽²⁾

第二番の理由は水のボイド率が低表面張力の PLE のそれよりも小さいため立証された。これより、BWR 条件では低表面張力であるので、稠密燃料体であっても、ボイド率は均質流か Armand の式の計算値に近づくと思される。なお、本実験値を様々なボイド率相関式（通常口径管用と細管用を含み、表面張力の項が入ったものも含む）と比較した結果、総じて高めに見積もることが分かった。これは、本流路は水力学相当直径が同一の円管よりも濡れ縁長さが長く断面内の液膜の占める割合が高いためと考えた。そこで、この考えが正しいかを調べるために、第一歩として環状流について次の解析を行った。

3. 解析とその評価 一次元二流体モデルに基づく簡単化されたサブチャンネル解析コード⁽⁴⁾でボイド率を計算した。そのコードでは、質量保存式と次の運動量式を使用した。

$$\frac{d}{dz} (\rho_G \alpha_{Gi} u_{Gi}^2) + F_{Ri} + F_{gGi} + \alpha_{Gi} \frac{dP_{Gi}}{dz} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dz} (\rho_L \alpha_{Li} u_{Li}^2) + F_{WLi} - F_{Ri} + F_{gLi} + \alpha_{Li} \frac{dP_{Li}}{dz} = 0. \quad (2)$$

壁面と界面の周長はFig.4のように厳密に評価し、液膜厚さは一様と仮定した。さらに、式(1)、(2)で運動量変化を表す第1項は無視し、Ishii-Mishimaの式⁽⁵⁾で液滴率を求めて、ガスコア部は液滴を含む均質流とみなした。

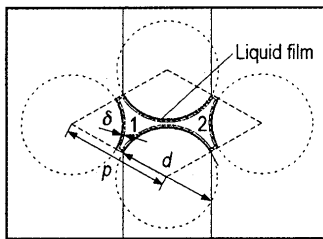


Fig. 4 Liquid Film Distribution Assumed

・単位体積当りの液膜-壁面摩擦力 F_{WLi} と界面摩擦力 F_{Ri} の計算には様々な式(RELAP5/MOD2⁽⁶⁾, TRAC-PF1/MOD1⁽⁷⁾, NASACA⁽⁸⁾, Mishima-Hibiki⁽⁹⁾など)を用いた。さらに、垂直流であり水力学的平衡流であること踏まえて、一圧力モデルを使い、圧力勾配は両サブチャンネルで等しいとした。

Fig.5 に上記の方法による計算値と環状流に関する本実験値との比較例を示す。最も良い一致を示したのは F_{WLi} に NASACA⁽⁸⁾ の式を、 F_{Ri} に表面張力の低下の影響を考慮した次の修正 RELAP5/MOD2 の式⁽¹⁰⁾を用いた場合であった。

$$F_{Ri} = K_{\sigma} \frac{1}{8} a_{Ri} \rho_{Gi} C_{Di} (u_{Gi} - u_{Li}) |u_{Gi} - u_{Li}|, \quad (3)$$

$$K_{\sigma} = 0.286 (\sigma_L / \sigma_W)^{-1.541}. \quad (4)$$

ここで、式(3)は RELAP5/MOD2⁽⁶⁾の F_{Ri} に式(4)の K_{σ} を乗じたものであり、 σ_W は 30 °C での水の表面張力である。

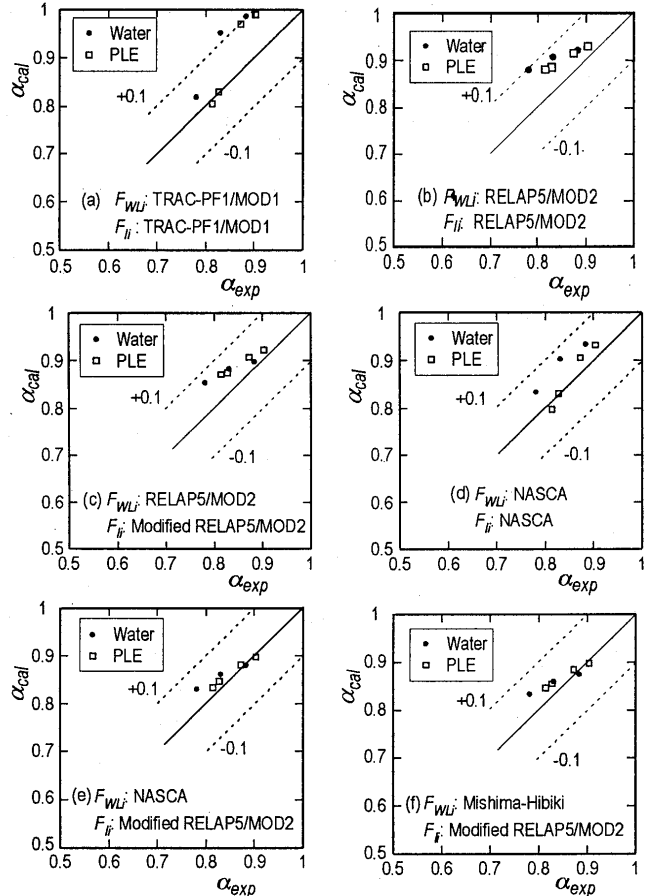


Fig. 5 Comparison of Void Fraction Data with Calculations by a Subchannel Code with Different F_{WLi} and F_{Ri} Correlations

4. 結言 稠密三角格子配列の燃料体内のボイド率予測に資することを目的としている。二つのサブチャンネルを持つ簡単化流路に関する既報⁽²⁾のボイド率データを表わすべく二流体モデルを用いて計算を行った。水力学的平衡状態の環状流では、 F_{WLi} に NASCA⁽⁸⁾ の式を、 F_{Ri} に表面張力の影響を考慮した修正 RELAP5/MOD2 の式⁽¹⁰⁾を用いると、空気-水系、空気-PLE系ともに実験値と最も合うことが分かった。

参考文献 [1] 例えば、Tamai, H. et al., JSME International Journal, Series B, 47-2, (2004), pp.293-298. [2] 川原ほか3名, 機構論, No.058-1, (2005-3), pp.379-380. [3] Armand, A.A., Izv. Vses. Teplotekh. Inst., 15-1, (1946), pp.16-23. [4] Sadatomi, M. et al., Proc. of ICONE 13, Paper No. 50246, (2005). [5] Ishii, M. and Mishima, K., Int. J. Heat Mass Transfer, 32-10, (1989), pp.1835-1846. [6] Ransom, V.H. et al., NUREG/CR-4312, EGG-2796, EG&G Idaho, Inc., Idaho, USA, (1985). [7] Liles, D.R. et al., NUREG/CR-5069, LA-11208-MS, Los Alamos National Laboratory, New Mexico, USA, (1988). [8] Ninokata, H. et al., Proc. of 4th Int. Seminar on Subchannel Analysis, (1997), pp.231-265. [9] Mishima, K. and Hibiki, T., Int. J. Multiphase Flow, 22, (1996), pp.703-712. [10] Sadatomi, M. et al., Proc. of 3rd Int. Conf. on Microchannels and Minichannels, Paper No. ICMM2005-75035, (2005).