

# OS8-1 稠密三角格子サブチャンネル間の差圧移動 —クロスフロー抵抗係数と界面摩擦係数の実験値—

Single- and Two-Phase Diversion Cross-Flows between Triangle Tight Lattice Rod Bundle Subchannels  
- Data on Flow Resistance and Interfacial Friction Coefficients for the Cross-Flow

正 川原顕磨呂 (熊本大) 正 樋口達也 (熊本大) 学 工藤博幸 (熊本大) 正 佐田富道雄 (熊本大)

Akimaro KAWAHARA, Kumamoto University, Kurokami 2-39-1, Kumamoto City, Kumamoto  
Tatsuya Higuchi, Kumamoto University  
Hiroyuki KUDOU, Kumamoto University  
Michio SADATOMI, Kumamoto University

Single- and two-phase diversion cross-flows arising from the pressure difference between tight lattice subchannels are our concern in this study. In order to obtain a correlation of the diversion cross-flow, we conducted adiabatic air-water experiments using a vertical multiple-channel with two subchannels simplifying the triangle tight lattice rod bundle. In the experiments, data were obtained on the axial variations in the pressure difference between the subchannels, the ratio of flow rate in one subchannel to the whole channel, and the void fraction in each subchannel for two-phase flow case. These data were analyzed by use of a lateral momentum equation based on a two-fluid model to determine both the cross-flow resistance coefficient between liquid phase and channel wall and the gas-liquid interfacial friction coefficient. The resulting coefficients have been correlated in a similar way (Kano et al., 2002) developed for square lattice subchannel.

**Key Words:** Subchannel Analysis, Triangle Tight Lattice Rod Bundle, Diversion Cross-Flow

1. 緒言 次世代BWRとして燃料棒の配列を稠密三角格子配列としたものが計画中である<sup>(1)</sup>。一方、この新型炉における冷却材の熱流動予測に対して、正方格子燃料体を対象とした現在のサブチャンネル解析法が役立つかどうかは分からない。そこで本研究では、この解析法の検証データを得ることを目的としてサブチャンネル間の差圧移動を実験的に調べた。すなわち、稠密三角格子ロッドバンドルの断面を単純化した管路内の流量再配分過程について単相流と二相流の実験を行った。そして、それらの実験で得たデータを解析し、差圧移動の構成式で必要となるクロスフロー抵抗係数と界面摩擦係数を求めた。以下にその結果を報告する。

2. 実験 Fig.1は供試管路の断面であり、Fig.2に装置の概略を示す。管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。装置は主として0.32 mの助走区間、0.113–1.6 mの測定区間、0.32 mの排出区間から成り、流体は測定区間のみでサブチャンネル間の移動が可能であった。作動流体には常温・大気圧近傍の空気と水を用い、流れをサブチャンネル間で圧力差のある水力学的非平衡流にするために、二つのサブチャンネルに異なる流量の流体を管路下部から導入した。測定区間における流量再配分過程の測定は文献<sup>(2)</sup>の方法で行った。さらに、サブチャンネル間の圧力差の時間平均値を差圧変換器を用いて求めた。その他、平衡状態の流れについて急閉弁法で断面平均ボイド率を測定し<sup>(3)</sup>、そのボイド率を気、液の流量で表す実験式を得た。その式を用いて本研究で対象とする非平衡流れのボイド率を推定した。

水単相流では、管路全体に対する平均速度が $u_L = 0.5 - 2.0$  m/sの範囲で4条件の実験を行った。二相流では、管路全体に対する水の体積流量が $j_L = 0.1 - 1.0$  m/s、空気のそれが $j_G = 1.0 - 30$  m/sの範囲で、流動様式がスラグ・チェーン流から環状流の12条件で実験した。次に、気相の入口流量配分比 $Q_{G1}(0)/Q_G$  (管路全体の体積流量、 $Q_G = Q_{G1} + Q_{G2}$ 、に対する管路入口 ( $Z=0$ ) におけるCh.1のそれ、 $Q_{G1}(0)$ 、の比)を全条件において0.7に固定した。そして、流体移動方向が気・液で逆方向である対向クロスフローと方向が同じである並行クロスフロー<sup>(4)</sup>の二つを観測できるように、液相の入口流量配分比を $Q_{L1}(0)/Q_L = 0.1$ および0.7に設定した。

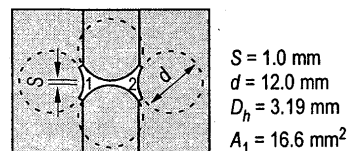


Fig. 1 Cross-Section of the Test Channel

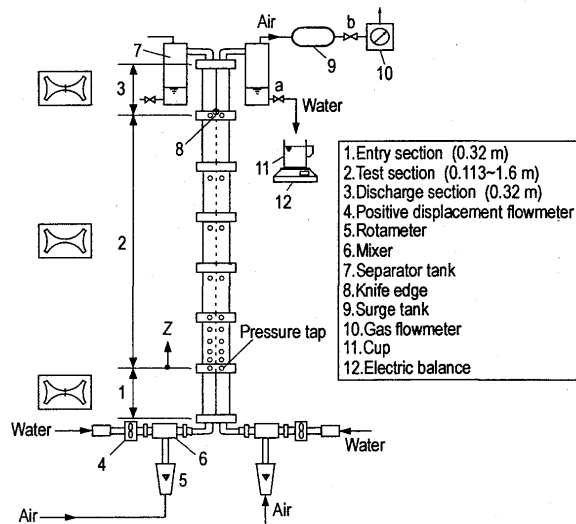
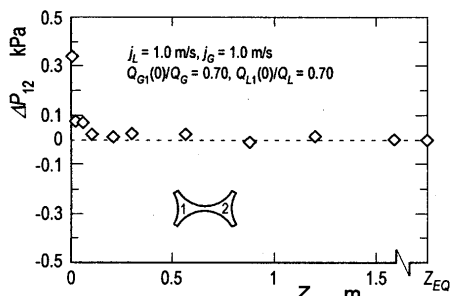


Fig. 2 Flow Loop of the Test Channel

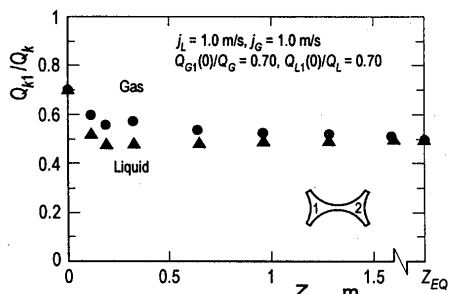
3. 実験結果と考察 紙面の制限上、以下では二相流における実験結果の一部を示す。

3.1 サブチャンネル流動パラメータの管軸方向分布 Fig.3 にスラグ流で並行クロスフローの場合のデータを一例として示す。縦軸は、Fig.(a)サブチャンネル間の圧力差 $\Delta P_{12}$  ( $= P_1 - P_2$ )、Fig.(b)Ch.1への流量配分比 $Q_{k1}(Z)/Q_k$  ( $k=G$ : 気相、 $k=L$ : 液相)、Fig.(c)サブチャンネルボイド率 $\alpha_{G1}$ であり、横軸は測定区間入口からの距離 $Z$ である。この条件では、気・液の入口流量を共にCh.1に偏らせたため、 $\Delta P_{12}$ は $Z=0$ で正であり、 $Z=0.2$  m付近でゼロとなった。さらに、この条件では、サブチャンネル間のボイド率差はほぼゼロであるた

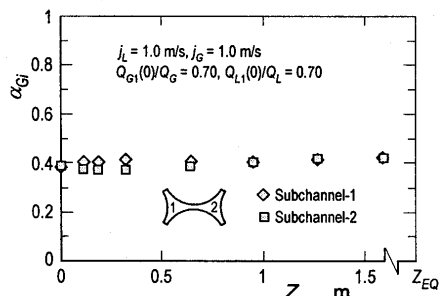
めボイドドリフトは起こらず、差圧移動が流体移動の主成分である。



(a) Pressure difference between subchannels



(b) Fraction of flow rate of Ch.1 to the whole channel



(c) Void fraction in each subchannel

Fig. 3 Typical axial distribution data for two-phase flow

3.2 クロスフロー抵抗係数と界面摩擦係数 一次元二流体モデルに基づくサブチャンネル解析では、差圧移動をサブチャンネル間の横方向運動量式を用いて評価する際、次式のクロスフロー抵抗係数 $\zeta_L$ と界面摩擦係数 $f_i$ が必要となる。

$$\zeta_L = \frac{S_{ij}}{\Delta y} \frac{\Delta P_{ij}}{\rho_L (v_{Lij})_{DC} |v_{Lij}|_{DC}} \quad (1)$$

$$f_i = \frac{2\alpha_{Gij}}{\Delta y a_i} \frac{\Delta P_{ij}}{\rho_G [(v_{Gij})_{DC} - (v_{Lij})_{DC}] [(v_{Gij})_{DC} - (v_{Lij})_{DC}]} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta l$ はサブチャンネル重心間距離、 $(v_{kij})_{DC}$ はCh.iからCh.jへの差圧移動によるk相の横方向速度、 $\rho$ は密度である。さらに $a_i$ は界面積濃度、 $\alpha_{Gij}$ はサブチャンネル間隙部のボイド率である。したがって、 $\Delta P_{ij}$ 、 $\alpha_{Gij}$ 、 $a_i$ 、 $(v_{Gij})_{DC}$ と $(v_{Lij})_{DC}$ を3.1節に示したようなデータから求め、それらを式(1)と(2)に代入することにより、 $\zeta_L$ と $f_i$ を同定した。なお、 $\alpha_{Gij}$ 、 $a_i$ 、 $(v_{Gij})_{DC}$ と $(v_{Lij})_{DC}$ の求め方の詳細は文献(5)に示している。

Fig.4に $\zeta_L$ の同定結果を示す。横軸は速度比 $(v_{Lij})_{DC}/u_L(1 - \alpha_{Gij})$ である(5)。ここで、 $u_L$ は総括流路に関する管軸方向の液相の平均速度である。 $\zeta_L$ は、並行および対向クロスフローの違いに依らず、概ね速度比の関数で表せることが分かった。ただし、ボイド率が $\alpha_G = 0.62$ を境として式が異なった。なお、図中の破線は正方格子配列を模擬した流路Ch.M-Mにおける

並行クロスフローのデータに基づいて得た式(5)による計算値であり、 $\alpha_G < 0.62$ の本実験値と近い値を示す。

Fig.5はクロスフローによる気液の界面摩擦係数 $f_i$ の同定結果であり、 $f_i$ データは次のクロスフローレイノルズ数(5)に対してプロットしてある。

$$(Re)_{DC} = \frac{2S_{12}\rho_G \{(v_G)_{DC} - (v_L)_{DC}\}}{\mu_G} \quad (3)$$

$f_i$ のデータはボイド率あるいは流動様式、さらには並行・対向クロスフローの違いに依らず、概ね図中の実線で表せることが分かった。なお、図中の破線はCh.M-Mのデータ(5)に基づいた計算値で、本実験値のばらつき範囲内にある。

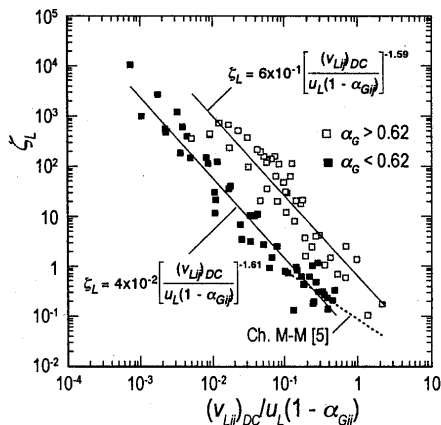


Fig. 4 Cross-flow resistance coefficient data for the liquid of two-phase flow

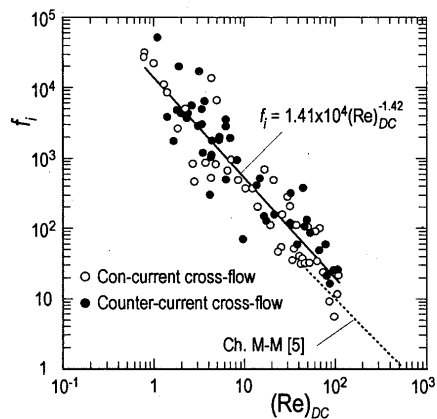


Fig. 5 Interfacial friction coefficient against the cross-flow Reynolds number defined as Eq. (3).

4. 結言 稠密三角格子配列燃料体内の差圧移動予測に資することを目的として、二つのサブチャンネルのみを持つ簡単化流路を用いて単相流と二相流の実験を行った。そして、液相のクロスフロー抵抗係数 $\zeta_L$ と気液の界面摩擦係数 $f_i$ の実験値を得た。本実験値は正方格子配列のデータに適用可能なKanoら(5)の方法で整理できることが分かった。

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] Sadatomi, M. et al., Nucl. Eng. Des., 148, (1994), pp. 463-474. [4] Sadatomi, M. et al., Proc. of 1997 ASME Fluids Eng. Division Summer Meeting, Paper No. FEDSM97-3557, (1997). [5] Kano, K. et al., Proc. of Compact Heat Exchanger Symposium - A Festschrift on the 60th Birthday of R.K. Shah, (2002), pp. 419-424.