

F207

分散気泡流による中空チューブバンドル近傍へのせん断効果

(同志社大理工) (正)土屋 活美* (同志社大院工)(学)加藤 純司 齊藤 直介
(同志社大工)篠原 巳佳 (同志社大理工)(正)森 康維

緒言 熱交換器の伝熱管群や原子炉の燃料棒集合体内における気液二相流¹⁾は、装置内の伝熱・流動特性を大きく左右する。本研究では、チューブ(ロッド)バンドル内外の気相分散型二相流の流動状態を可視化解析すると同時に、そのせん断効果について検討した。

実験方法 可視化実験には21×50×150mmの亚克力製矩形水槽を用い、直径4.8mmの亚克力製ロッドを3×3, 2×3配列バンドルで、隣接するロッド間隔が(ロッド径によらず)2mmとなるよう設置した。水槽底部中央に設置した円柱型(直径15mm, 高さ28mm)の多孔質体を通じてN₂(ガス空塔速度 $U_G = 6.5 \sim 65$ mm/s)を水深100mmで通気した。水槽側面からNd:YAG(532nm)レーザ・シート光, または背面からLED透過照明(日進電子GTU-90150)を照射し, 気泡流を高速度カメラ(REDLAKE MotionPro X-4: サンプル速度2,000fps, 露光時間0.35ms)で撮影した。

せん断応力の測定実験には内径36mmの円筒水槽を用い, 定速液流(空塔速度 $U_L = 10$ mm/s)下, またはN₂通気($U_G = 6.5 \sim 65$ mm/s)下で, 管壁でのせん断力をせん断力計(SSK S10W-1: 応答周波数30Hz)で20Hzのローパスフィルタを通して測定した。サンプリング速度 100 s^{-1} , データ数13,200とし, せん断応力 τ は, 測定値をセンサ面積で除して評価した。

一部の実験では, 気泡流によるバンドル近傍のせん断効果を評価するため, 内径55mmの円管内に設置した外径2.8mmのPFAチューブ3×3バンドル(ピッチ8mm)の側面中央をPTFE製中空糸膜1本で置換し, その減圧ろ過特性に及ぼす影響を検討した。

結果および考察 可視化画像において光学的歪みの小さい, ロッド-壁面間および“自由空間”を上昇する気泡に注目してそれぞれの気泡を追跡し, 気泡上昇速度 U_b を求めた(Fig. 1)。ガス空塔速度の増加に伴い U_b が減少する場合(低 U_G 領域)と, ほぼ一定となる高 U_G 領域が存在する。気泡上昇速度が低下したのは, 気泡の個数密度増加による気泡間相互作用(hindered rising)が促進されたためである²⁾。また, $U_G < 26$ mm/sにおいて, ロッド-壁面間を上昇する気泡は自由空間を上昇する気泡より速く上昇するが, これは前者が局所的な液上昇流の影響を受けたためである。一方 $U_G \geq 26$ mm/sでは気泡個数密度がさらに増加し, 液循環流の影響が抑えられると同時に, 気泡ウェーク効果²⁾も加わり, U_b に差が生じなくなったと考えられる。

気泡流が壁面にもたらすせん断応力に対するガス空塔速度の影響をFig. 2に示す。 U_G の増加に伴い τ の相対値は増加するが, 特に $U_G = 65$ mm/sで顕著である。これは, 気泡流の流動状態が分散気泡領域から集密気泡領域に移移²⁾し, 壁面近傍に存在する気泡数が増加すると同時に気泡周辺の数値勾配が増大したためと考えられる。加えて, せん断応力の変動の激しさも同様の傾向を示している。

中空糸膜を含む弾力性チューブバンドル近傍を間欠的に通気し, カオリン懸濁液を減圧ろ過した場合の透過流束に対するガス流量の影響は, $U_G = 0 \sim 112$ mm/sにおいて評価した。間欠操作による透過流速の回復率は $U_G \leq 28$ mm/sにおいては U_G とともに増加したが, $28 < U_G \leq 70$ mm/sの範囲では回収率が低下し, 気泡流による膜の振動で再び回復率が増加したのは $U_G = 112$ mm/sに達してからであった。関連メカニズムの解明にはFig. 1, 2の傾向と合わせて検討する必要がある。

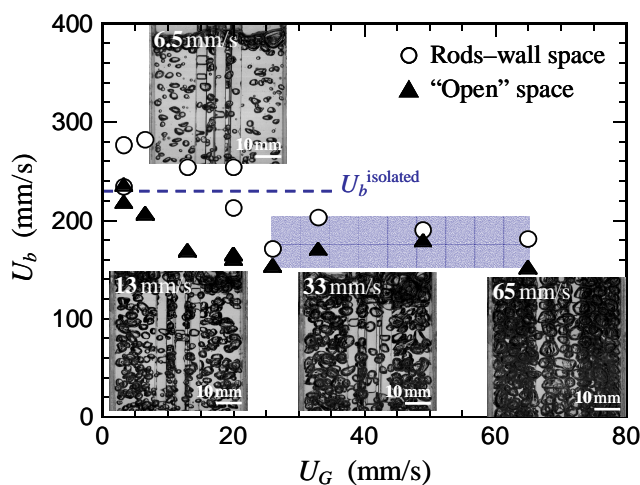


Fig. 1 Rise velocities of swarm-bubbles in regions of different extents of cross-sectional confinement.

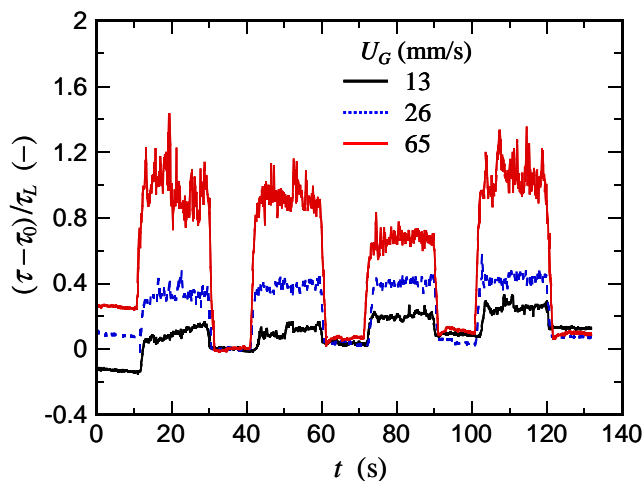


Fig. 2 Effects of gas flowrate on wall-shear stress under intermittent bubbling.

参考文献

- 1) Cui, Z. F., S. Chang and A. G. Fane, *J. Mem. Sci.*, **221**, 1-35 (2003).
- 2) Tsuchiya, K. and O. Nakanishi, *Chem. Eng. Sci.*, **47**, 3347-3354 (1992).

E-mail: ktsuchiy@mail.doshisha.ac.jp