回転二重円筒内の微小気泡運動と抵抗低減

Relationship between drag reduction and microbubble motion in concentric rotating cylinders

○学 吉田 功治 (北大) 正 田坂 裕司 (北大) 正 村井 祐一 (北大) 正 武田 靖 (北大)

YOSHIDA Koji, Hokkaido university, N13W8, Kitaku, Sapporo, Hokkaido.
TASAKA Yuji, Hokkaido university, N13W8, Kitaku, Sapporo, Hokkaido.
MURAI Yuichi, Hokkaido university, N13W8, Kitaku, Sapporo, Hokkaido.
TAKEDA Yasushi, Hokkaido university, N13W8, Kitaku, Sapporo, Hokkaido.

Key Words: Drag Reduction, Microbubble, Couette-Taylor Flow, Two-phase flow

1. 概要

本研究では微小気泡による摩擦抵抗低減技術について調査するためにテイラー・クエット流れを取り上げ、気泡とテイラー渦の相互作用について調べた。渦運動の気泡による差異について、 r - z 断面の粒子画像による可視化を行い PTV (Particle Tracking Velocimetry) によって計測した。対象とした Re 数の範囲は 900~3600 である。

2. 実験装置及び方法

実験装置の概略図を図 1 に示す。液体は外円筒上端の液位 $L=390$ mm まで満たし、上部は大気開放とする。円筒間の流体層のアスペクト比は $L/H=32.5$ である。液相にはシリコンオイル (10cSt, 25°C, 信越化学)、気相には空気を用いる。気泡は容器下部に設置された多孔質体によって生成され、浮力によって二重円筒間に流入し上部液面で離脱する。また気泡の有無によって液位が変わらないように外円筒上端ではオーバーフローを許す構造にしている。なお空気流量 Q は $1.17 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ に設定した。外円筒は静止とし、内円筒は上部からみて反時計回りに回転させる。回転角速度はステッピングモータ制御により、 $\omega=1.57\sim62.8 \text{ rad/s}$ 、内円筒 Re 数 ($=R_i \omega (R_o - R_i) / \nu$) は $Re=113\sim4500$ の範囲で変化させる。装置全体は直方体のオイルジャケットに浸かっており、可視化における屈折の影響を最小化する効果を持たせている。また装置の詳細な寸法は図に記載の通りである。

Fig. 1 Schematic of experimental setup
(Inner cylinder is rotated, and liquid has no axial transport)

流れの可視化はトレーサ粒子 (住友精化, フロービーズ) をシリコンオイル中に混入させ、横方向から r - z 断面にシート光をあてることによって行った。撮影は正面から行い、内円筒下部から 195~311 mm (512x1024 pix) の範囲をハイスピードビデオカメラ (Photron, FASTCAM-MAX) を用いて撮影した。

3. 実験結果

ここでは紙面の都合上渦度分布についての結果のみを示す。得られた画像から PTV 計測により速度ベクトル場を求め、そこから算出した渦度分布を図 2 に示す。(a),(b)はそれぞれ $Re=900$, $Re=3600$ のときのものである。図から単相流では向きの異なる渦が交互にでき、テイラー渦が発生している様子が確認できる。 $Re=3600$ の渦度がいびつなのは流れが乱流テイラー渦領域に入っているためである。また当然の事ながら Re 数の増加に伴い渦度の絶対値は増加する。 $Re=900$ のとき気泡を混入させた場合、渦と渦の間隔が広がっているのがわかる。同時に若干ではあるが正の渦度を持つ渦 (時計回り方向の渦) は内円筒側へ、負の渦度を持つ渦 (反時計回り方向の渦) は外円筒側に位置する。これは浮力の効果により気泡の存在する位置が、渦対間のやや上部 (負の渦度を持つ渦側) に偏っているためだと考えられる。これにより上部に位置する渦は外円筒側へ移動する。また $Re=3600$ では単相流、気泡流ともに渦の形状は崩れているが、渦度分布から大まかに渦の位置関係を見積ると、渦対間の距離は単相流、気泡流ともに同程度の大きさとなっている。これは Re 数の増加により単相流状態での渦の強さが増大し気泡の混入が渦に与える影響が相対的に小さくなるためである。

Fig. 2 Comparison of vorticity distribution between single phase flow and two phase flow at two Re : (a)900, (b)3600