

西日本工業大学 正員 石川 誠

西日本工業大学 正員 赤司 信義

山口大学工学部 正員 斎藤 隆

1. はじめに 著者らは、これまでに、二次元噴流の乱れの形成領域における渦構造の可視化を行って、ノズル近傍で発生したスパン方向に軸を持つ渦（横渦と呼ぶ）が次第に流れ方向に軸を持つ渦（縦渦と呼ぶ）を誘起し、両者が重なり合いながら、発達、崩壊していくこと。また、二次元衝突噴流では、可視化観察と圧力測定を同時に行って、底面圧力の変動は、密接に渦構造の通過と関係していることを明らかにした。

本研究は、壁面噴流の渦構造の可視化を行い、放出口近傍の渦構造を調べると共に可視化観察と底面圧力測定を同時に行って流れ方向の渦構造と底面圧力変動との関係を検討した。また、流れ場を可視化し、粒子流跡の画像処理を行って、渦度の輸送過程や瞬間圧力場の計算を行い、底面圧力変動との関係や渦構造と圧力変動との関係を明らかにした。

2. 実験装置と実験方法 実験装置は、長さ 2 m、高さ 0.7 m、幅 0.2 m の両面ガラス張りの鋼枠製水槽で、水槽上流端にアクリルガラスで作製された幅 $b_0 = 1$ cm のノズルが設置され、さらに、その下流には長さ 20 cm の位置に高さ 10 cm の段差を設けた。実験は、噴出流速 u_0 を 7 ~ 30 cm/s の範囲内で設定して行われた。トレーサには、蛍光染料水溶液（比重 1.002）と微細粒子（平均粒径 0.1 mm、比重 1.02）が用いられた。撮影は、流れ方向に垂直な断面（図 1）とそれに直行する水路中央の断面（図 2）、及び、水路斜前方から全体像（図 3）について行われた。それぞれの方向からの可視化を横断面視、縦断面視、立体視と呼ぶことにする。撮影には、ビデオカメラを使用した。又、底面圧力は、衝突底板に埋め込んだ径 3 mm の圧力センサー（受感部は、8 mm）によって測定された。

3. 実験結果とその検討 写真 1 は、 $Re (= u_0 \cdot b_0 / \nu) = 1788$ の立体視を示している。ノズル近傍で発生したスパン方向に軸を持つ横渦に流れ方向に軸を持つ縦渦からなるリブ構造がスパン方向に重なり合い、さらに崩壊していく様子が撮影されている。写真 2 は、 $u_0 = 7$ cm/s , $Re = 824$ の場合の縦断面視を示したものである。流下するにつれて噴流の主流による横渦の発達が明瞭に認められる。壁面においては境界層の発達に伴う横渦ができ、主流による横渦の下層に配置されたような形で流下し、その後、主流による横渦と境界層発達に伴う横渦の合体等が観察された。写真 3 は、写真 2 と同一条件で、ノズルからの距離 $X = 8$ cm の横断面視を示したものである縦渦がほぼ等間隔に配置されていることが明瞭に観察された。

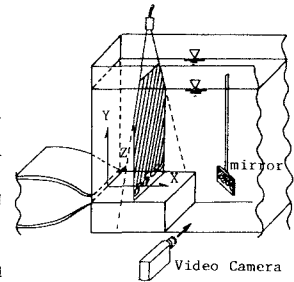


図 1 横断面視

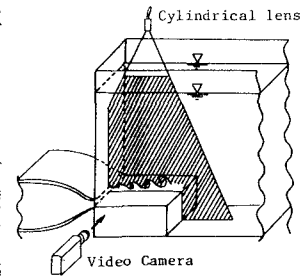


図 2 縦断面視

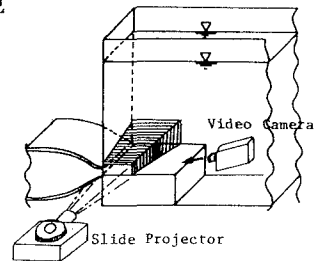


図 3 立体視

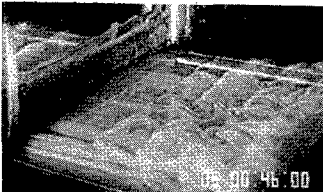


写真 1 立体視

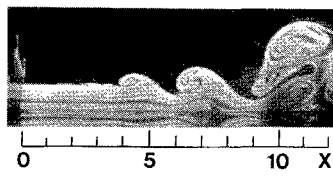


写真 2 縦断面視

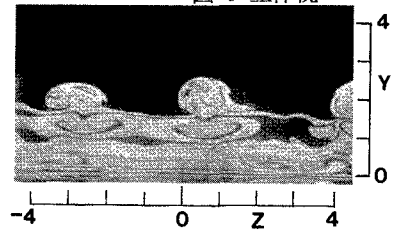


写真 3 横断面視

図4及び写真4は、 $u_0 = 15.3$ cm/s, $Re = 1648$ の条件で $X = 4$ cmの底面圧力と可視化を同時に

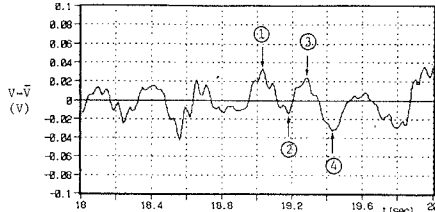
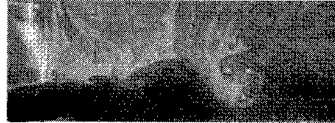
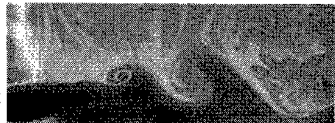


図4 底面圧力変動

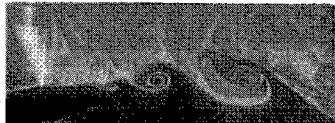
① $t = 19.03\text{sec}$



② $t = 19.18\text{sec}$



③ $t = 19.28\text{sec}$



④ $t = 19.43\text{sec}$

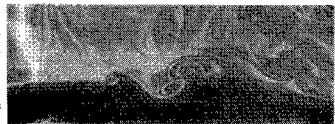


写真4 縦断面視

行った結果を示したものである。圧力変動のサンプリング間隔は、 $1/100$ sec で 60 秒間測定された。写真4は、圧力変動の $t = 19.03$ sec と $t = 19.18$ sec, 19.28 sec, 19.43 sec の時の画像である。底面圧力は、図から分かるように非常に周期的な傾向を持つ変動を示している。変動周波数はほぼ 3.5 Hz で、 St 数 ($= f \cdot b_0 / u_0$) $= 0.23$ となっている。ビデオ観察によれば、通過周波数の読み取り値は、 $St = 0.25$ となっていて、ほぼ同じ結果が得られている。このことから、底面圧力変動は横渦の通過に密接な関係があるものと考えられる。底面圧力と可視化画像及び界面の位置とを比較すると、

底面圧力の減少は、渦が上方に押し上げられることに起因し、界面の位置が高い場合で底面圧力は低くなることが認められた。又、底面圧力の増大は、押し上げられた水塊が底面に下降することに起因するものと考えられる。図5～8は、実験条件が $Re = 682$ の場合で、シャッタースピード $1/60$ で撮影したものである。図5は、流跡画像を基に瞬間速度ベクトルを示したものである。図6は、格子点上の瞬間速度ベクトルを示したものである。座標は、図5の左端を原点とし、右側をX軸、上向きをY軸としている。格子点数は、X方向36点、Y方向に15点とし、格子点間隔は、 0.15 cmとした。図7は、瞬間の各格子点の渦度を求め、等値線図を描いたものである。図中の細い実線は正の渦度を示し、破線は負の渦度を示し、太い実線は渦度が0の分布線を示している。写真2の縦断面視で観察された底面付近の渦と対応して、壁面付近の渦度は、負になっている。又、渦構造の発達に伴って、渦度の集中している領域が大きくなっていることが分かる。図8は、格子点の中央の圧力を0として等圧分布線を示したものである。破線は、基準点圧力より低く、実線は高い圧力であることを示している。渦度分布と圧力分布を見ると、渦構造の中心付近では渦度が大きく、圧力は低くなっていることが分かる。

4. おわりに 本研究は、壁面噴流の放出口近傍の渦構造の可視化と底面圧力の同時測定、及び、渦構造と粒子流跡の同時可視化を行い、渦度分布や渦構造の通過に伴う圧力変動を調べた。その結果、放出口近傍の渦構造は、衝突噴流の場合と同様に、横渦、縦渦を持つことや、底面圧力変動は、密接に渦構造の通過と関係していること、渦構造の中心付近で渦度が高く、圧力が低くなることが明らかとなった。

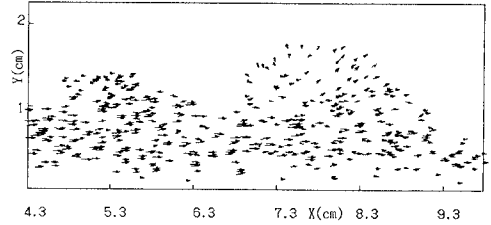


図5 瞬間速度ベクトル

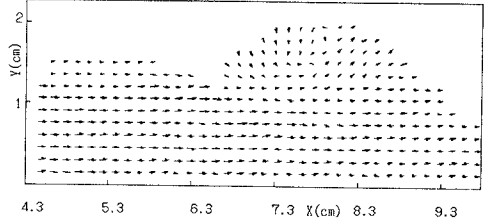


図6 格子点瞬間速度ベクトル

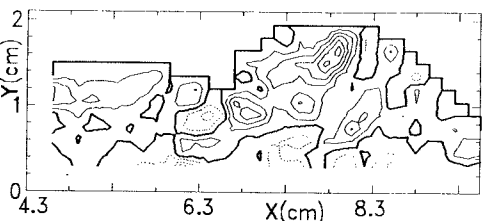


図7 等渦度分布

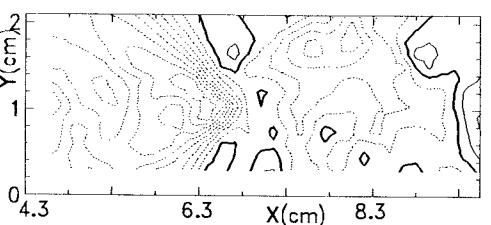


図8 等圧力分布