円管乱流の横断面せん断構造

徳山高専　学　○柳井　竜
徳山高専　正　　大成博文
徳山高専　正　　佐賀孝徳
徳山高専　正　　渡辺勝利

１．はじめに

円管乱流の横断面形象には，壁縦渦，低速縞などの壁乱流の特徴的な組織構造が存在することが明らかにされてきた[1]．流れの可視化を用いて，この縦渦構造の渦スケール，存在領域，低速縞の平均間隔について考察を行ってきている[1]．また，昨年ＰＴＶを横断面可視化に適用することが試みられた[2]．本研究では，さらにＰＴＶによる解析を進展させ，横断面全体の速度情報について，とくにせん断構造についての考察が行なわれた．

２．実験装置および実験方法

実験には，図-1 に示す長さ１０ｍ，内径 76mm の透明アクリル樹脂管路が用いられた．管路上端部には長さ 110mm，絞り比 2.3 のベルマウスにより整流が行われている．図-2 には，座標系および２方向の流速成分（Ｖθ，Ｖｒはそれぞれ円周方向，半径方向の流速成分）が示されている．図-3 には，横断面可視化の概要を示す．管路側方よりハロゲンスリット（幅は 40mm）を挿入し，撮影断面より約 3m 下流より，デジタルビデオカメラによって，スリット断面を通過する粒子の軌跡の横断面形象を撮影した．粒子には，平均粒径 300 μｍのポリエチレン系粒子（比重 1.002～1.005）を用いた．実験条件は，それぞれ Re 数=8000，12000，16600，平均流速 Um=12～24cm/s，摩擦速度ｕτ=0.7～1.4cm/s である．

３．実験結果

図-4，5 は，ＰＴＶにより得られた粒子の横断面形象の３枚の画像を積層化し，粒子の軌跡から流速ベクトルを求め，格子点に置き換えて求められた，Ｖθ，Ｖｒの分布図である．本解析では，メッシュ分割数について検討を行い，より小スケールの流速変動をとらえるよう，可能な限り小さな格子点を設定した．その結果，Re 数=12000 において，壁面で１メッシュの大きさが 24×38wall unit となり，これまでの周方向の分割数が格段に改善

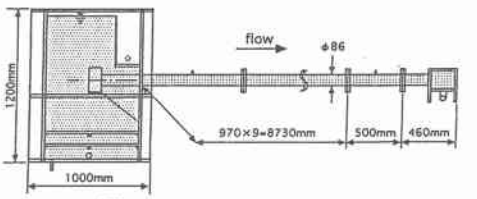


図-1　実験装置概略図

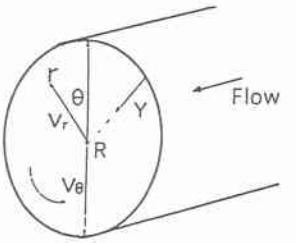


図-2　座標系

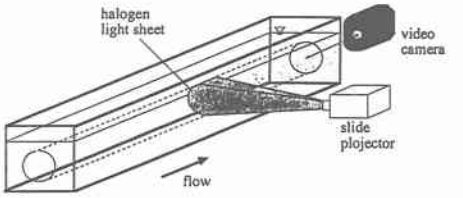


図-3　横断面可視化の概略

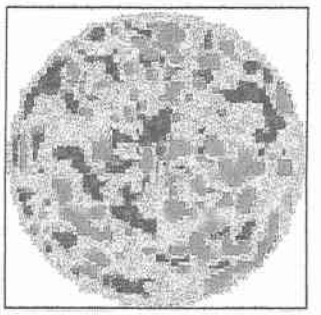


図-4 Ｖθ分布図

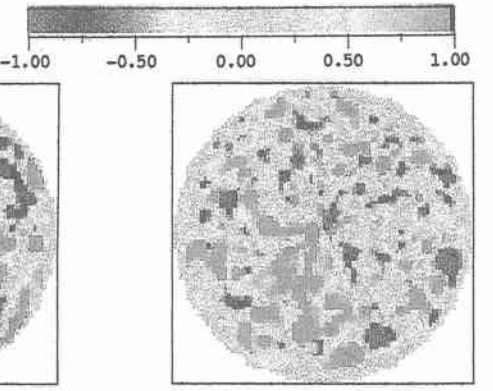
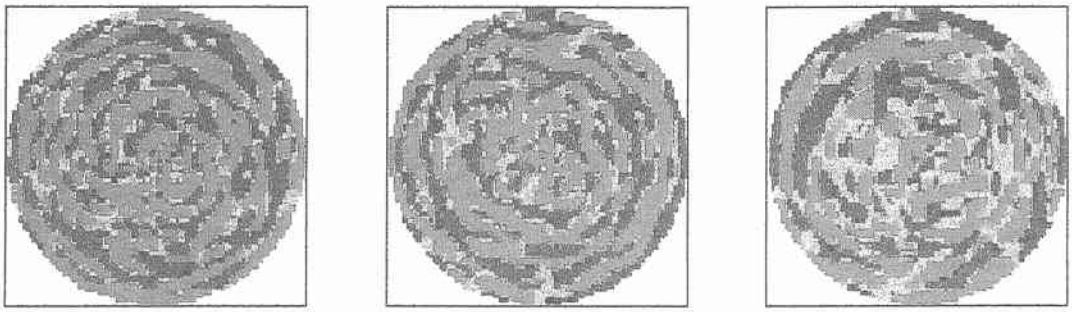
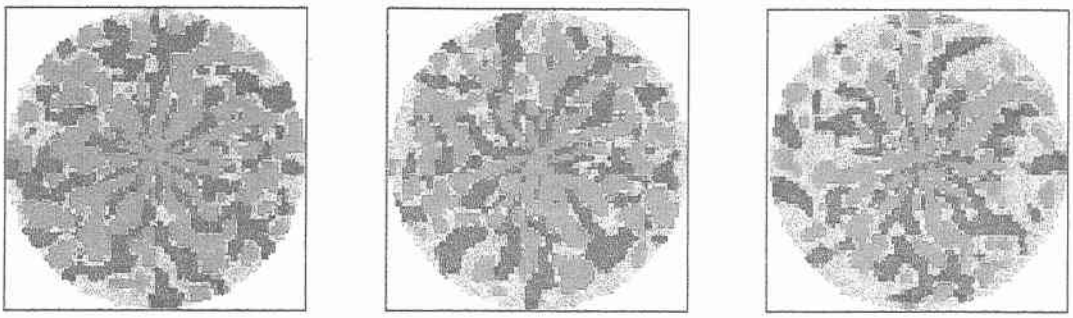


図-5　Ｖｒ分布図



Ｒｅ=１６６００　　Ｒｅ=１２０００　　Ｒｅ=８０００

図-6　円周方向速度せん断分布図（ｄＶθ／ｄｒ）



Ｒｅ=１６６００　　Ｒｅ=１２０００　　Ｒｅ=８０００

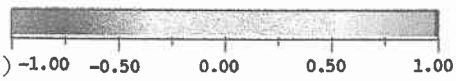


図-7　半径方向速度せん断分布図（ｄＶｒ／ｄθ）

されている．どちらの図からも，かなり細かなスケールの流速変動が存在している．その中で，図-4 よりＶθの分布において，右下領域で大規模な反時針回りの流れが存在している．図-5 においても中央から左下領域で，管の中心より壁面に向かう大規模な流れが認められる．

このことから，壁面に向かう大規模な二次流れとそれに続く横流れ，さらには小さいけれども上昇流へという大きな循環した二次流れが形成されているようである．このことは，Re 数=8000, 16600 においても同様の結果が得られている．

図-6 には，渦度の構成要素でもあり，組織構造の研究で重要であることが指摘[3]されている内部せん断層の運動学的特徴と直接に関わる円周方向速度せん断分布図（ｄＶθ／ｄｒ）が示されている．これらの図から，周方向にある程度連なり，正負交互に分布する構造を示している．これらの構造は，周方向の二次流れの形成に関連する．

図-7 には，半径方向速度せん断分布図（ｄＶｒ／ｄθ）が示されている．これらの図から，半径方向に長く連なった分布形状を示す．また，正負の境界領域では，上昇流，下降流の形成に関連するが，その上昇流の形成する間隔が 100wall unit 程度であることは，低速縞の間隔と一致している．Re 数=１６６００では，最適メッシュのスケールより大きくなり，若干その値が大きく現れている．

すなわち，円周方向の流速変動によるせん断は，周方向に長いスケールを持っている事を示し，半径方向の流速変動の場合も同じ方向に長いスケールを持つことを示している．これらのことは，開水路乱流においても，同様の特徴を示している．

参考文献　1）佐賀・渡辺・斎藤・前田，土木学会第 50 回年次学術講演会，1995.

2）波多野・大成・佐賀・渡辺，土木学会第 51 回年次学術講演会，1996.

3）　ROBINSON, S. K., Annu. Rev. Fluid Mech., 1991.