

矩形管内乱流境界層の対数速度分布について Log-law Region in Boundary Layers Developed in Rectangular Duct

○ 辻 義之、名大工、〒464-8603 名古屋市千種区不老町、c42406a@nucc.cc.nagoya-u.ac.jp
羽根 秀臣、名大工、〒464-8603 名古屋市千種区不老町
小椋 靖久、名大工、〒464-8603 名古屋市千種区不老町
Yoshiyuki Tsuji, Department of Energy Eng.&Sci, Nagoya University, Chikusaku, Furo-cho, Nagoya
Hane Hideomi, Department of Energy Eng.&Sci, Nagoya University, Chikusaku, Furo-cho, Nagoya
Ogura Yasuhisa, Department of Energy Eng.&Sci, Nagoya University, Chikusaku, Furo-cho, Nagoya

The logarithmic velocity region is studied in the turbulent boundary layers developed over the smooth wall in rectangular duct. We have already proposed the definition of log-law region in the case of smooth wall with using the probability density of velocity fluctuation. In this report, this idea is extended to the duct flow, and extracted log-law region is discussed from the point of PDF profiles, and also its Reynolds number dependence is studied based on the experimental data. The effect of mean pressure gradient or the outer layer on the PDF profiles might be discussed in the presentation.

1. はじめに

圧力勾配の無い平板乱流境界層における普遍速度分布に関して、著者らは変動速度場の統計量に基づく議論をおこなってきた[1,2]。変動速度の統計量は確率密度関数(以後、PDFと略記する)に集約される。PDF型が互いに類似する、つまり、不変となることを、PDF不変仮説と呼ぶことにする。著者らは壁近くで成立するPDF方程式とPDF不変仮説から、普遍則として対数速度分布が半理論的に導かれることを滑面乱流境界層において明らかにした[1,2]。また、砂粒粗面境界層における対数法則の存在と変動速度場の相似性に関して解析をおこなった[3]。

滑面および粗面境界層はいずれも平均圧力勾配のない流れ場であり、層外の主流領域があるという点では共通である。本研究では圧力勾配のある壁乱流において、その対数領域の特性をPDF不変仮説に基づいて解析した。圧力勾配を持つ流れ場として矩形ダクト流れを対象とした。この流れは、層外の主流領域がないという点で境界層とは異なる。

2. 実験条件

測定は一边60 mmの正方形断面を持つ矩形ダクトで、単位レイノルズ数を $U_0/\nu = 3.16, 3.75, 4.47, 5.27, 7.49, 9.49, 11.6, 13.71 \times 10^5$ に設定し、主に前縁より4500 mm下流の位置においておこなった。風洞からダクトに入る流れは前縁シャープエッジより150 mm下流においてトリッピングワイヤにより、乱流境界層へと遷移させている。

3. 結果および考察

確率密度関数型の定量化として、ダイバージェンスを用いた(詳細は略します)。ダイバージェンスが一定となる、即ちPDF型が不変となる領域は、矩形ダクト流れにおいても確かに存在することがわかった。その領域を $[y_e^+, y_s^+]$ とする。不変領域のはじまりは $y_s^+ \cong 150$ であり、滑面境界層と大きな違いは見られない。しかし、 y_e^+ は壁から離れた位置に存在しており、境界層の場合と比べると明らかに不変領域が広がっている。このことをより定量的に図1に示した。滑面境界層では、 y_e^+ はRotta-Clausner境界層厚さ Δ でスケールされる。矩形ダクト流れの場合にも同様の

傾向が認められるが、その増加傾向はより顕著になっている。

PDF不変仮説について調べた結果を図2に示す。横軸は局所レイノルズ数、縦軸はダイバージェンスである。レイノルズ数が大きくなった場合、ダイバージェンスは一定値に漸近することが期待される。滑面境界層の場合には $Re_y \cong 2000$ でPDF型は、レイノルズ数 Re_y には依存せず、普遍型を示す。矩形ダクト流れの場合には、漸近傾向はより小さなレイノルズ数($Re_y \cong 500$)で漸近傾向を示すことがわかる。なぜ、ダクト流れではPDF不変領域が広い範囲にわたって存在するのか、カルマン定数との関係は見出せるのか、などの疑問に講演で触れてみたい。

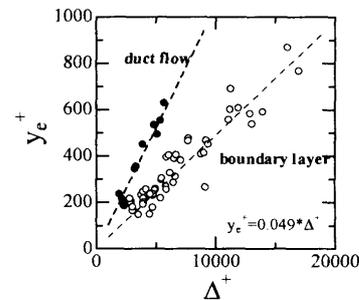


図1 PDF不変領域の上限と境界層厚さ Δ

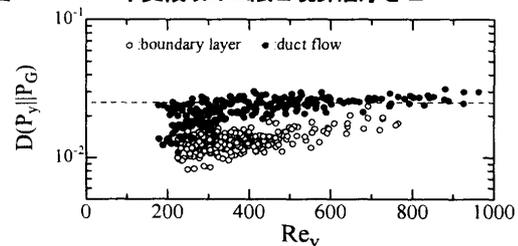


図2 PDF不変仮説、境界層と矩形ダクト流れとの比較

[1] Y. Tsuji, I. Nakamura, Physics of Fluids, vol.11 (1999), pp.647-658. [2] Y. Tsuji, B. Lindgren and A. Johansson, Self-similar profile of probability density functions in zero-pressure gradient boundary layers. Fluid Dynamics Research, vol.37, pp.293-316, (2005) [3] Y. Tsuji, K. Miyachi, Probability Density Functions of Velocity Fluctuation in the Overlap region of Rough-wall Boundary Layers, Proceedings of the Eleventh Asian Congress of Fluid Mechanics 22-25 May 2006, Kuala Lumpur, Malaysia