

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 11475 号
------	---------------

氏 名 和田 裕貴

論文題目

高レイノルズ数円管乱流における統計量の普遍性に関する実験的研究

(Experimental study on the universality of statistics in high Reynolds number turbulent pipe flow)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	辻 義之
委員	名古屋大学	教授	山澤 弘実
委員	山口大学	教授	望月 信介
委員	名古屋大学	准教授	伊藤 高啓
委員	産業技術総合研究所	主任研究員	古市 紀之

論文審査の結果の要旨

和田裕貴君提出の論文「高レイノルズ数円管乱流における統計量の普遍性に関する実験的研究」は、高レイノルズ数壁乱流における統計的普遍性を明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、壁乱流のオーバーラップ領域における乱流統計量を調査し、普遍的性質および乱流構造の解明が工学的応用上重要であることを示した。また、壁乱流における統計量の普遍性の議論にあたり、円管乱流でのLDV計測の利点および必要性を示し、本研究の目的と論文の構成を述べた。

第2章では、流れ場および計測精度の検証を行った。流れ方向断面計測に基づいて、偏流がないことを明らかにした。測定部にガラスを用いていることから、レーザー屈折の影響を考慮することで、円管内測定座標が正確に見積もられることを確認した。流速分布を積分して得られる流量を静的秤量法によって得られた参照流量値と比較することで、流速値の測定精度が高く、壁乱流の乱流統計量としての詳細な議論が可能であることを明らかにした。

第3章では、オーバーラップ領域で成立する平均速度分布型について議論した。速度分布型を検証した結果、平均速度分布型の普遍性はオーバーラップ領域においてべき乗則と対数則が両立することであると判断された。外層スケーリングである速度欠損則を適用することで、対数領域が明確に現れるレイノルズ数を調べた結果、高レイノルズ数で対数領域が現れ始めることを明らかにした。

第4章では、オーバーラップ領域において高次の統計量を用いて特徴づけを行うために、乱流強度の分布型を中心に議論を行った。外層領域における乱流強度の対数直線関係の成立範囲を調べたところ、平均速度における対数領域と重なりを持ち、平均速度の対数領域の外層側に乱流強度の対数直線関係が現れることを明らかにした。乱流強度の対数直線関係の勾配値はレイノルズ数とともに増加する傾向を示し、やがて漸近する傾向が確認された。高レイノルズ数円管乱流における乱流強度は対数直線関係を有することが明らかとなった。

第5章では、オーバーラップ領域において、統計量の特徴的な分布傾向に起因する渦構造を調べるためにスペクトル解析を行った。壁乱流ではAttached eddy (AE) モデルに基づく理解が広くされており、円管乱流においてAEモデルの -1 乗スペクトルの成立について検証した。外層領域での乱流強度の対数直線関係の成立域にパワースペクトルが近似的に -1 乗の関係を満たす領域が確認されるものの、その分布傾向がAEモデルとは異なることを明らかにした。以上の考察に基づき、AEモデルの -1 乗スペクトルと高レイノルズ数における乱流強度の対数直線関係には関連性がないと結論づけた。乱流構造と統計量の普遍性を関連づける結果として有用な知見である。

第6章では、オーバーラップ領域における渦構造の相似性と平均速度の特徴的な分布型との関連性の議論を行うため、確率密度関数型の不変性について調査した。確率密度関数型は壁からの距離に対して近似的に不変となる領域が存在することを示し、不変領域はオーバーラップ領域の内層側と外層側の二つ存在することを明らかにした。加えて、二つの確率密度関数の不変領域は、平均速度や偶数次モーメントおよびパワースペクトルの特徴的な分布傾向を示す領域と重なることが明らかとなり、オーバーラップ領域の内層側と外層側での統計的性質が異なる構造を有すると結論づけた。

第7章では、円管乱流における統計量の普遍性について考察した。特に乱流強度分布における内層ピーク値のレイノルズ数依存性、外層の第2ピークの存在、外層領域の対数直線関係について議論した。また、壁乱流としての平均速度分布型の特徴づけとして、乱流境界層における計測結果との比較を行い、普遍的な分布型について考察した。その結果、円管乱流と乱流境界層のオーバーラップ領域では、べき乗則と対数則がそれぞれ成立する領域の存在を明らかにした。

第8章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では、円管乱流における統計量の普遍性を明らかにしている。これらの評価方法並びに得られた結果は、高レイノルズ数壁乱流の摩擦損失評価への応用を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である和田裕貴君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。