

報告番号

乙
※ 甲第1506号

主論文の要旨

題名 円管内乱流境界層の速度ならびに
温度場の実験的研究

氏名 長野靖尚

主論文の要旨

報告番号

※ ^乙第1503号

氏名

長野靖尚

伝熱管内の流れは多くの場合乱流であるが、この速度場と温度場の様子を明らかにすることは、流動ならびに伝熱の機構解明の基礎であり、また各種機器の設計で問題となる流動抵抗や熱伝達率の性格を把握する上でも重要な意味をもっている。熱交換を目的とする最近の機器は割合いに短い伝熱管を用いる為、伝熱管入口領域のいわゆる助走区間における流動と伝熱の詳細を知ることが中でも特に重要である。

円管入口領域の乱流境界層については早くから解析が行われ、それぞれの仮定を立てて境界層方程式を解いているが、それらの結果の間には大きな差がある。それは用いた仮定が完全に差違した管内乱流又は平板上の乱流境界層に基づいている為であり、仮定の妥当性を検討するには実験による詳細なデータが必要である。

入口領域の円管内乱流境界層の速度場を実験的に調べた研究は、A.R. Barbin を始めとして過去に二、三発表されている。しかしそれらはいずれも断片的な測定に留まっている上に、温度変化を伴う流れの測定が一般に困難なことであって、非加熱流の実験しかされていない。円管入口領域の乱流境界層の温度

主論文の要旨

報告番号	乙 ※第	号	氏名	長野靖尚
<p>場に至っては基本的な実験は皆無に等しく、その詳細は全く不明であった。本研究は円管入口領域の乱流境界層の速度場と温度場を実験により系統的に調べ、その流機構を明らかにする。円管熱伝達の普</p> <p>場と温度場を明らかにする。円管熱伝達の普</p> <p>詳細境界層の速度場と温度場の興味ある幾つかの</p> <p>遍的な現象を包含してより乱流熱伝達機構について</p> <p>らかに新しい一般知見を加えた。すなわち速度断</p> <p>場はまず非加熱の時間平均的構造について、壁面を調</p> <p>応力にこの見出し、この温度場から乱流境界層の温度</p> <p>この関連を調べた。入口層の平均的な実験的研究には</p> <p>定の発達変動等、乱流の乱れを同時に測定する円管内</p> <p>周波数と温度の速度と境界層の速度と温度の微細構造</p> <p>立流境界層の速度と温度の微細構造を調べる。以下</p> <p>ようである。近傍から発生する乱流境界層を</p>				

主論文の要旨

報告番号	乙 ※第 号	氏名	長野 靖 尚
<p> お乱流助走区間全般の速度場は、円管入口の流れのじょう乱を小さくすると、じょう乱の大きい場合と異なった速度場になることを見出し、じょう乱の小さい場合について実験を行い、従来の研究とは異なった結果を得た。円管内乱流助走区間を、速度場の諸因子を考慮して三つの領域に区分した。すなわち入口からの軸方向距離 x、円管直径 d として、速度変動が少なく典型的な乱流境界層の存在する $0 \leq x/d < 15$ を A 領域、$15 \leq x/d < 35$ を B 領域、境界層合体後の $x/d \geq 35$ を C 領域とした。管中心速度は B 領域の終わりで最大となり、C 領域で減少するが、壁面せん断応力は A 領域の終わりで最小値をとり、C 領域では一定である。速度分布については、A 領域では壁法則が成立するが、B, C 領域では成立しない。しかし遷移層および遷移層に近い乱流域の普遍速度分布は乱流助走区間全般にわたって不変である。速度欠損分布は全ての領域で異なった形となり、円管内乱流境界層は平衡境界層ではない。壁面せん断応力については、円管内乱流境界層の管摩擦係数の実験式を作った。この式は、従来 Ludwieg-Tillmann の式よりも実験結果を統一的に精度良く表している。形状係数は、A, B, C 領域全般にわたりほぼ一定 </p>			

主論文の要旨

報告番号	乙 ※第	号	氏名	長野靖尚
------	---------	---	----	------

で、圧力こう配がな場合の平板乱流境界層の値と一致することが明らかになった。

円管内乱流助走区間では、入口で流れのじよう乱を極めて小さくしても、助走区間全般にわたって比較的ゆっくりにした不規則な速度の変動が現れる。この速度変動は境界層厚さの時間的な変動の為に境界層内部で現れるものであり、ポテンシャルコアでは変動は起こらない。また境界層内の速度は、境界層厚さの変動に依じて半径方向に同位相の類似の変動をす。境界層厚さの変動は、軸方向には不規則である。助走区間全般について見ると、A領域の管中心部には常にポテンシャルコアが存在している。B領域では境界層は断続的に合体し、合体点が軸方向に変動して速度場は不安定となる。C領域ではポテンシャルコアが消滅し、速度変動は次第に小さくなり、発達し切った速度場に至る。

一方、速度乱れは高周波数の現象であり、上述の変動とは明瞭に区別できる。境界層内の乱れ強さは、境界層の発達と共に増加して、発達し切った流れで最も大となる。境界層外縁付近の速度乱れは速度変動の影響を強く受け、変動に伴って乱れ強さも変化する。その

主論文の要旨

報告番号 ^乙※第 号 氏名 長野靖尚

結果外縁付近では、間欠乱流に類似した現象が現れる。

このように速度の変動は、円管内乱流助走区間の性格を特徴づけている。この種の変動は、本研究により初めて見出され、定量化されたものである。

円管内乱流境界層の温度場は速度場と密接に関連している。すなわちA領域では管中心部に一様温度のコアが存在して温度境界層が形成され、B領域では温度境界層の合体点が軸方向に変動して温度場が不安定となる。それらに続くC領域では速度場と同様に温度境界層は完全に合体し、発達し切った温度場へ漸近する。温度分布については、助走区間全般に壁法則が成立すること明らかとなった。壁領域については熱のうす拡散係数および乱流プラントル数の分布を求めた。熱のうす拡散係数に對しては実験式を作ったが、それを用以て計算した温度分布の理論値は、A領域では良く実験結果を表している。壁領域の乱流部分の乱流プラントル数は0.970で一定であり、無次元温度 T^+ と無次元速度 U^+ の関係は一次式で表される。なお乱流境界層の厚さの時間的な変動に伴って、温度境界層厚さも不規則に変動していて、温度境界層内の温度は変

主論文の要旨

報告番号	※ 第 号	氏名	長野靖尚
<p> 動し、平均温度分布はその影響を受けている。これらの結果により、円管入口領域の時間平均的な速度場と温度場の様子は明らかになる。乱流熱伝達機構を更に正確に把握するには、これらの結果に加えて、変動する速度場と温度の同時測定を行い、速度場と温度場の微細構造を調べなければならぬ。しかしながら従来は、速度と温度の乱れを正しく同時測定することは不可能であった。本研究で新しく開発した速度と温度の同時測定法は、定温度形の熱線と低電流の抵抗線とを組み合わせて用いる方法である。測定法の基礎となる解析は、熱線と抵抗線の熱伝達率の差も考慮して、できただけ厳密なものと速度と温度の解を求めた。その結果、抵抗線の時定数は熱線の熱伝達率により自動的に定められる。また熱線の熱伝達率は自動的に補償される。本方法により受ける影響も自動測定装置では、変動を正しく同時に測定することから数 kHz 程度の速度と温度の変動を正しく同時に測定するのと流がで、速く結果が得られる。測定には十分満足の前記の測定法を用いて、伝熱円管内乱流境 </p>			

主論文の要旨

報告番号	※ 第 乙 号	氏名	長野 靖尚
<p> 界層にっいて温度乱れと速度乱れを同時に測定し、乱れ強さの分布、速度と温度の乱れ場の相と互相關、乱れの微細構造を明らかにするが、B領域の速度と温度の乱れ場の底層の乱れ強さは、A領域の壁に近い場合の乱れ強さ位置はよりこの速度乱れ無次元の乱れ位置も遷移の最大速度の乱れから境速存在は、およびの乱れ強さに似不安相の境界層の乱れのパワースペクトルは、速度と温度の乱れは、非加熱流に、また領域一致は、広場となさ速度層おは、壁近 </p>			

主 論 文 の 要 旨

報告番号	※ ² 第	号	氏名	長野靖尚
<p>うずが支配的であり、境界層の発達に伴って大きいうずの全パワに対する寄与が増大して いる。円管内乱流境界層の外層では、境界層厚さの変動の影響を受け、速度乱れのスペクトル分布は高波数域で特異な形になる。温度乱れのパワースペクトルは、速度の場合より低波数域の寄与が大きい。また速度のスペクトルに現れた特異なスペクトルは温度にはなく、高波数域の慣性拡散小領域では$-8/3$乗スペクトルが乱流助走区間全般に存在することが見出された。</p> <p>以上により伝熱円管内乱流境界層の速度場と温度場の詳細が実験的に明らかにされ、乱流熱伝達の理論解析の基礎となる普遍的な知見が得られた。</p>				