

氏 名	ほり 堀 まさ 正 とも 倫
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3702 号
学位授与の日付	平 成 15 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	平板乱流熱伝達に及ぼす主流部乱れの影響に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 鈴 木 健 二 郎 教 授 小 森 悟 教 授 吉 田 英 生

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、流れ中に置かれた平板の表面における摩擦係数や熱伝達係数が、接近流中に含まれる主流部乱れから影響を受けて変化する現象について、実験的ならびに数値解析的に詳細な研究を行い、その成果を取り纏めたものであって、8章からなっている。

第1章では、本論文で取り扱った現象に関する従来の研究を概括し、熱伝達への主流部乱れの影響の有無について知見が確立されていないこと、このため影響がいかなる機構に基づいて生じるかが明らかにされていないこと、またこの影響を議論するうえで乱れの強さ以外に注目すべき長さスケールについての検討が不十分であることを指摘し、本研究の意義と目的を述べている。

第2章では、本研究で使用した実験装置と測定手法ならびに計測の精度について記述しており、測定風洞、加熱平板、乱れ格子、速度場および温度場双方の乱れ量を同時測定するための測定プローブ、その応答特性と補償回路、また乱れの3種類の長さスケール、変動量のスペクトル、象限分割などのデータ処理方法について具体的に述べている。

第3章では、まず種々のピッチ対直径比を持つ平行乱れ格子を用いた場合の主流部乱れ強さの測定値を示し、格子からの距離と格子のピッチ対直径比を用いた、主流部乱れ強さ整理式を提出し、ついで乱れ格子の種類を変更して壁面摩擦係数、運動量厚さ、局所ヌッセルト数、境界層内の時間平均速度分布、流れ方向および平板面に垂直方向の乱れ強さの分布を測定し、また乱れエネルギー、レイノルズせん断応力と渦動粘性係数の分布を提示している。その結果、主流部乱れ強さが増すと摩擦係数が増大すること、その際運動量厚さも増すので、この点で従来の研究でなされて来た指摘は正しくないこと、乱れ格子の種類によっては、摩擦係数が顕著に増大する場合にも局所ヌッセルト数の増大が小幅に留まる場合があること、そのような場合には乱流プラントルの値が $10 \leq Y^+ \leq 30$ の領域で増大し、運動量輸送と熱輸送に及ぼす主流部乱れの影響に差異が生じることを明らかにしている。

第4章では、まず主流部中で流れ方向速度変動強度の減衰率から定める減衰長さ、流れ方向速度変動の横相関を積分して定める横相関積分スケール、流れ方向速度変動の1次元スペクトルの波数ゼロの漸近値から求める縦相関積分スケール、の3種類の乱れ長さスケールを測定し、乱れ格子の種類により最も明確に値が変わる横相関積分スケールが、主流部乱れの影響を議論する際のパラメータとして適することを指摘している。その上で、横相関積分スケールを境界層内各位置で測定して、その分布関数を決定している。

第5章では、主流部乱れ強さと横相関積分スケールを長さスケールとする乱れレイノルズ数を用いて第3章で提示した壁面摩擦係数と局所ヌッセルト数の実測値ならびに既存研究の報告値を整理し、実験式を提示するとともに、壁面摩擦係数と局所ヌッセルト数とでは横相関積分スケールへの依存度が異なること、そのことが、運動量輸送と熱輸送に及ぼす主流部乱れの影響に差異をもたらすこと、を明らかにしている。

第6章では、主流部乱れを伴う平板乱流境界層の速度場と温度場に対して、それぞれに2方程式 $k-\epsilon$ モデル、温度場2方程式モデルを採用して数値解析を行っている。得られた壁面摩擦係数と局所ヌッセルト数、ならびに時間平均速度、時間

平均温度、乱れエネルギー、レイノルズせん断応力、乱流熱流束、渦動粘性係数、渦温度伝導率の境界層内分布はいずれも実験値と良好な一致を示すこと、したがって $10 \leq Y^+ \leq 30$ の領域で乱流プラントル数の値が主流部乱れにより影響される事実や、運動量輸送と熱輸送に及ぼす主流部乱れの影響の差異が説明できること、を明らかにしている。

第7章では、流れ方向変動速度の強さ $\overline{u^2}$ と温度変動強さ $\overline{\theta^2}$ について、それぞれの生成項、散逸項、拡散項の大きさを実測し、これらの物理量に対する輸送方程式の残差として再分配項の値を提示しており、それらに及ぼす主流部乱れの強さと横相関積分スケールの影響について議論している。また、速度変動信号と温度変動信号を用いて象限分割法による検討を行って、主流部乱れ強さの増大に伴う壁面摩擦係数の増大が壁面に向かう乱流要素運動の選択的強化に基づいていることを示し、局所ヌッセルト数の増大は長さスケールが大きい壁面に向かう乱流要素運動に基づいていると推論している。

第8章は、各章で得られた結論を総括するとともに、今後展開されるべき関連研究について展望している。

論文審査の結果の要旨

主流部中に含まれる乱れの影響は、外部流熱伝達の定量的把握を難しくしている主要原因である。本論文は、流れ中に置かれた平板の表面における摩擦係数や熱伝達係数が、接近流中に含まれる主流部乱れの影響を受けて変化する現象について、実験的ならびに数値解析的に詳細な研究を行って、その成果を取り纏めたものである。

種々のピッチ対直径比を持つ平行乱れ格子を用いて主流部乱れ強さと減衰長さ、横相関積分スケール、縦相関積分スケールの3種類の乱れ長さスケールを測定し、その整理式を提出した上で、乱れ格子種類を変更して壁面摩擦係数、運動量厚さ、局所ヌッセルト数、境界層内の時間平均速度、流れ方向および平板面に垂直方向の乱れ強さ、さらに乱れエネルギー、レイノルズせん断応力と渦動粘性係数を測定し、これらの量の相互関係について検討し、次の点を明らかにしている。

1. 主流部乱れ強さが増すと摩擦係数が増大し、運動量厚さも増すが、その場合にも乱れ格子の種類によっては、局所ヌッセルト数の増大が小幅に留まる場合があり、運動量輸送と熱輸送に及ぼす主流部乱れの影響に差異が生じる。その場合には乱流プラントル数の増大が $10 \leq Y^+ \leq 30$ の領域で生じる。
2. 3種類の乱れ長さスケールのうち、乱れ格子のピッチ対直径比との対応関係が明確な横相関積分スケールが、主流部乱れの影響の議論に適する長さスケールである。
3. 壁面摩擦係数と局所ヌッセルト数とでは、その値の横相関積分スケールへの依存度が異なり、そのことが、運動量輸送と熱輸送に及ぼす主流部乱れの影響に差異をもたらす。

また、主流部乱れを伴う平板乱流境界層の速度場と温度場それぞれに2方程式 k - ϵ モデルと温度場2方程式モデルを適用して数値解析を行い、次の点を明らかにしている。

4. 壁面摩擦係数、局所ヌッセルト数、時間平均速度、時間平均温度、乱れエネルギー、レイノルズせん断応力、乱流熱流束、渦動粘性係数と渦温度伝導率、いずれについても解析値は実験値と良好な一致を示す。その結果、主流部乱れの影響により $10 \leq Y^+ \leq 30$ の領域で乱流プラントル数の値が変化し、運動量輸送と熱輸送に及ぼす主流部乱れの影響の差異が説明できる。

以上要するに、本論文は詳細な実験的ならびに数値解析的研究を行って、主流部乱れの外部流熱伝達への影響について新しい知見を提出したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成14年12月2日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。