

氏 名	竹 下 俊 二 たけ した しゅん じ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 947 号
学位授与の日付	昭 和 52 年 1 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	壁面における高物質流束を伴う流れの輸送現象に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 水科 篤郎 教授 吉岡 直哉 教授 佐藤 俊

論 文 内 容 の 要 旨

固体壁からの物質移動を伴う輸送現象としては従来、乾燥、凝縮、蒸発などが広く研究されて来たが、最近しみ出し冷却法等の壁面における物質流束のきわめて大きい場合も注目されて来た。この場合従来の運動量、熱および物質の同時移動現象とはかなり異なった挙動を示す。本研究は高物質流束を伴う円管内層流および乱流、並びに直交流を移動現象の立場から捉え、物質流束が壁から主流へ向かう injection、および主流から壁面へ向かう suction の両場合を統一的に取り扱った実験の並びに解析的研究である。実験としては多孔壁を通し、主流と同種の液体を流し、任意の物質流束を得ている。

第1章は緒言で、多孔壁を通して高物質流束がある場合の従来の研究につき、管内流れおよび物体のまわりの流れにしぼってまとめている。その結果、injection の場合熱伝達係数または物質移動係数は減少するが、流体摩擦係数は増加するという報告がかなりあることがわかった。そこで本研究の方針は injection あるいは suction の両場合、流体摩擦係数ならびに熱および物質移動係数が増加するか減少するかを理論的かつ実験的に明確にし、高物質流束下の運動量移動と熱または物質移動の間にアナロジーが成立するか否かを確かめ、従来より高物質流束下でよく成り立つとされている境膜理論について検討することになっている。

第2章ではまず円管内層流の運動量移動について、管壁から injection または suction を行ったときの主流方向の圧力勾配、流速分布、流体摩擦係数などについて速度分布の充分発達した領域に対する理論的解析を行い、実測値と比較してその適用性を確かめた。また局所流体摩擦係数は injection によって減少し、suction によって増加することも解析および実験結果から明らかになった。次に物質移動については Graetz 問題として数値解析した結果、局所および平均シャーウッド数は suction の増加とともに増大し、injection の増加とともに減少するが、その際、管壁流速にもとづくレイノルズ数 Re_w とシュミット数 Sc の積、 $Re_w \cdot Sc$ の影響は物質移動長さに比例して顕著になり、 $Re_w \cdot Sc$ の値が大きくなる程物質移動長さの影響を強く受けることがわかった。以上の理論的解析は電気化学的方法を利用して物質移動速度を

実測した結果からも確められた。また境膜理論は層流領域には適用できないことがわかった。

第3章では円管内乱流についての結果をまとめている。運動量移動については、運動量収支から算出した平均流体摩擦係数は境膜理論とよく一致した。また充分発達した流れにおいて、管内流れを乱流中心部と壁近傍の層流境膜の2領域に分けるモデルから導いた局所流体摩擦係数は実験値とよく相関できた。Prandtlの混合距離はReichardt型の式で相関できた。物質移動については高シュミット数における物質移動速度に及ぼす壁物質流束の影響につき、この場合は壁近傍が支配的になることに着目して物質移動係数を解析的に求めた。その結果Stewartの境膜理論とまったく同一の結果を得た。また電気化学的方法によって物質移動速度を実測した結果 injection によって減少し suction によって増加する結果が得られ、本解析結果とよく一致することを確認した。

第4章においては一様流れにおかれた円筒まわりの運動量および物質移動に関して層流境界層理論を展開するとともに実験的研究につき記述している。円筒まわりの主流の速度分布は壁物質流束のないときと同様に距離 x/R の5次式で充分表わされ、はく離点附近では壁物質流束の影響を強く受けることがわかった。また局所流体摩擦係数は injection によって減少し、suction によって増大するが、このことは円筒まわりの流線の計算結果から境界層厚さは injection によって厚くなり、suction によって薄くなることから裏付けられた。またはく離現象は injection によって早まり suction によって抑制されることが確かめられた。局所シャーウッド数は injection によって減少し、suction によって増大する。そしてシュミット数が大きい程、壁物質流束の影響を強く受け、その効果は $Sc^{2/3}$ で表わせることがわかった。またシャーウッド数の実測値は解析結果の相関式とよく一致することを確認した。

第5章は結論で、上述の結果をまとめ、流体摩擦係数および物質移動係数の理論的解析と実験結果とから injection または suction が与える効果の間には矛盾がなく、さらに解析と実験結果とはよく一致することを述べている。したがって、逆流を生ずるような極端に大きな壁物質流束を除いては運動量移動と物質または熱移動の間にはアナロジーが成立すると考えられること、また境膜理論は層流に対しては適用できないが乱流の流体摩擦係数および熱または物質の移動係数の平均値とか、充分発達した領域における局所値に対しては有用であること、しかし未発達域の局所値および非常に大きな壁物質流束に対しては適用し難いことを結論している。

論文審査の結果の要旨

本研究は壁面からの高物質流束を伴う流れの輸送現象の解明を目的として、管内層流、管内乱流および直交流に対し物質流束が壁から主流へ向う injection および主流から壁へ向う suction の両場合につき統一的に研究することを目的として行った解析的ならびに実験的諸研究をまとめたもので主な成果は次のごとくである。

1) 円管内層流の場合を摂動法により解析し、主流方向の圧力勾配、流速分布、流体摩擦係数等を求め、これらの解析結果が実測値と一致することを示した。また物質移動については Graetz 問題として数値解析し、この解析結果が実測値とよく一致することを示した。

2) 円管内乱流について求めた平均流体摩擦係数は境膜理論とよく一致し、また Prandtl の混合距離

は Reichardt 型の式で相関できることを示した。さらに管内流れを乱流中心部と壁近傍の層流境膜の 2 領域に分けるモデルから局所流体摩擦係数を導き、実測値により確かめた。

物質移動については物質移動係数を解析的に求め、実測値とよく相関する結果を得た。

3) 円管まわりの流れにつき解析を行い主流の速度分布は壁物質流束のないときと同様に距離 x/R の 5 次式で充分表わされ、はく離点附近では壁物質流束の影響を強く受けることを知った。またはく離現象は injection によって早まり, suction によって抑制されることを確めた。局所シャーウッド数はシュミット数が大きい程, 壁物質流束の影響を強く受け, その効果は $Sc^{2/3}$ で表わされることを示した。またこの解析結果は実測値とよく相関することを示した。

4) 流体摩擦係数および物質移動係数はいずれの場合も injection で減少し, suction で増大することが, 解析および実験結果から示された。これは従来の一部の研究が, injection の場合, 流体摩擦係数は増加するが, 物質または熱移動係数は減少するという矛盾した結果を示していることが誤りであることを示している。

5) 運動量と熱または物質移動の場合のアナロジーは層流には適用できないが, 乱流の場合は, 平均値および発達域の局所値に対して適用できること, ただし乱流の場合も未発達域の局所値および非常に大きな壁物質流束に対しては適用し難いことを示した。

以上要するに本論文は壁面からの高物質流束を伴う流れの輸送現象につき広範な条件につき統一的に行った研究をまとめたもので学術上, 工業上寄与するところが少なくない。

よって, 本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。