

琉球大学学術リポジトリ

層流境界層の遷移過程における伝熱機構の研究(第1報)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学理工学部 公開日: 2012-07-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 親川, 兼勇, Oyakawa, Kenyu メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/24964

層流境界層の遷移過程における 伝熱機構の研究 (第1報)

親 川 兼 勇*

A study of the Heat-transfer Mechanism on the Transition (1st Rep)

Kenyu OYAKAWA

The transition from Laminar to turbulent flow were made by two-dimensional roughness element (cylindrical) affached to the flat plate.

The experiments were made on the boundary layer along a flat plate in a two-dimensional wind tunnel. The purpose of this experiments is to make the fundamental data, and discuss the effect of the ratio of its roughness element diameter K to the displacement thickness δ^* on the local value of the heat transfer coefficients in the transition region. When k/δ^* is large, large Value of the heat transfer coefficient is obtained at the place affached the element, and its Value is larger than that of the turbulent flow in a flat plate

1. はじめに

壁面に沿う流れは層流から乱流となる。層流域に Trip wireをおけば、早く乱流に遷移することは広く知られている。遷移過程における流れの場は谷⁽¹⁾によって、層流域に2次元、3次元粗さを置いてその粗さの存在によって生じる遷移を推定しうる一般的な関係を導いている。さらに層流が安定か、不安定かという議論もなされている。熱伝達研究においては、層流、乱流の伝熱特性は解明されているが遷移過程における伝熱機構に関してはあまりない。水平平板に関してN.V⁽²⁾ Zozulyaが2次元の矩形粗さをを用いて実験を行い、また1:3楕円柱からの熱伝達がナイロンフィラメントを用いた粗さ⁽³⁾によって、どのように影響するかをR.A.Sebanは調べている。

本研究は層流から乱流に遷移する過程における伝熱機構を解明しようとするもので、主流乱れ、2次元粗さ、レイノルズ数等がどのような関係で伝熱特性を決定するかを調べようとするものです。まず本報告は本研究の基礎的な資料として、主流乱れ、速度を一定と

し層流域におかれた2次元粗さと境界層の排除厚さの比によって伝熱特性にどのような影響を与えるかに主眼をおく、すなわち、粗さの存在によって、前方の層流域の熱伝達に影響を与えずに、後方だけに影響を与える粗さの大きさを知ることを目的とする。

2. 記号

- X : 流れ方向への距離 (m)
- Y : 平板から垂直上向き距離 (m)
- U : 主流速度 (m/s)
- u : 局 (m/s)
- u' : 乱れ成分 (m/s)
- k : 粗さの直径 (m)
- δ^* : 排除厚さ (m)
- Re_x : 局所レイノルズ数 (ux/ν)
- Nu_x : 局所ヌセルド数 ($hx \cdot x/\lambda$)

3. 実験装置および実験方法

実験装置概要は Fig 1 に示す。風胴は入口部、測定部、広がり部、それにシロッコ型送風機を使用した吸い込み型 (全長が約11mである。空気は入口部で整流

受付: 1972年11月20日

* 琉球大学理工学部機械工学科

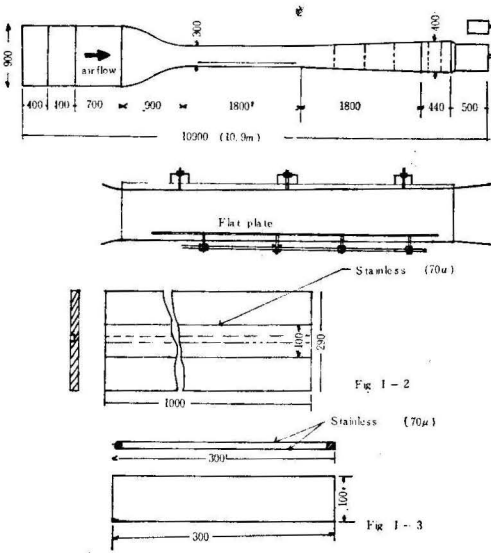


Fig. 1. Experimental Apparatus

され、測定部、広がり部を通り実験室外に排出される。まず入口部は整流用としてガーゼ3枚を取り付けた正方断面(900×900)で長さが1.5mの整流部と、スムーズに空気を測定部に導くための絞り部(絞り比9)より成る。絞り部は乱れの促進を押えるように流れが一様加速するような形状にした。測定部は透明の亚克力板(5mm)でできた矩形断面(300×300)で全長が1.8mである調整ネジを取りつけた上板によって測定部断面積が可変できる。測定部を通過した空気は広がり部に致る。この広がり部は、圧力降下を少なくするために、広がり角 $2\theta=8^\circ$ をもち、シロッコ型送風機によって生じさせられるせん回流を除去するように haney-Comb と3枚の整流用金網が取り付けられている。測定用平板は、流れの場合と、伝熱特性を測定する平板の2種類あり、測定部に保持されるようになっている。流れの場合には290×1500のアルミ平板(厚さ5mm)より成り、中央部に0.4mmφの壁面静圧測定用の孔が10本設けられている。また伝熱用平板は中央部に深さ1.2mmで幅18mmの溝を設けたベークライト板(290×1000, 厚さ15mm)に幅100mmのステンレス箔(厚さ70μ)を接着したものである。さらにベークライト等の熱伝導による熱の放散をなくすために、Fig 1-3に示すような中空の平板(100×300)を製作した。平板の加熱はステンレス両端にハンダ付けした銅板に電圧を加えることで行なわれる。電源として6V(150AH)のバッテリーを用いた。またステンレス箔の裏面(流れにさらされていない部分)に30μの銅

ーコスタンタン熱電対50本(中空の場合には11本)ハンダ付けされている。実験は流れ方向に圧力勾配が零となるように、測定部上板の位置を調節したのちに、境界層内部の速度分布を矩形ピトー管、主流の乱れを熱線風速計、壁面、主流の温度測定をペン書きオシログラフを用いて行なった。なお本実験は風速9.7 m/sで2次元粗さ(円柱)の種々の径について伝熱特性を調べた。

4. 実験結果および考察

4-1 風洞特性

本実験の目的が層流境界層の遷移過程における伝熱機構の解明であるので、流れが層流、遷移流域を同時に得る必要がある、したがって主流の乱れが小さく、かつ乱れの分布が一様でなければいけない。Fig 2には測定部中央に於ける主流乱れの時間的変化の度合

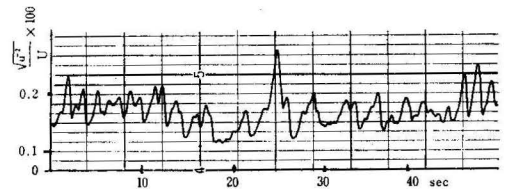


Fig. 2. Distribution of intensity of Velocity fluctuation at center

を、横軸に時間、縦軸に $\sqrt{u'}/U \times 100$ を取り示してあり、時間的に0.1~0.2%の範囲内にある。また $x=200, 250, 450, 500$ の位置における主流乱れ $\sqrt{u'}/U$ をFig 3に示してある。図から明らかなように時間的に多少の変化はするにしても局所的に乱れの度合の変化はなく、一様な乱れ分布をしていることがわかる。

4-2 流れの場合

主流の乱れは x の位置に関係なく、ほぼ同程度であった。しかし壁面の近傍では、流体の粘性によって、乱れは促進され、 x が大きくなるにつれて増大するはずである。Fig 4に各 x について壁面から0.5mmの位置における時間的な乱れの度合 $\sqrt{u'}/U \times 100$ を示してある。この位置は境界層内にあり、同じ x の位置における主流乱れに比べてはるかに大きく、 $x=200, 500$ において、主流は約0.2%であるが、壁面近傍では約2%と9%をそれぞれ示している。その乱れの促進は外乱によるものでなく、すべて壁面での流体の粘性

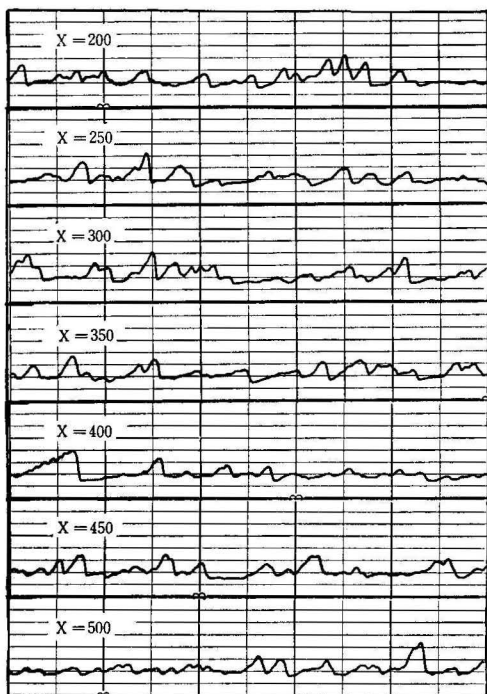


Fig 3. Distribution of intensity of velocity fluctuation along the center (Amplitude is not in scale)

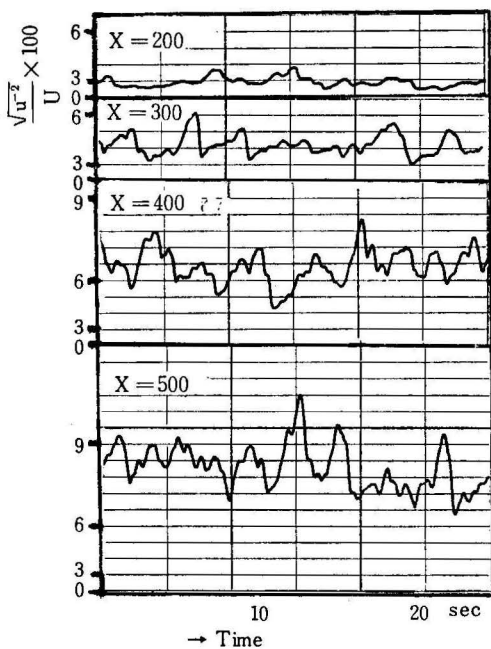


Fig 4. Distribution of intensity of Velocity fluctuation near the plate ($y=0.5\text{mm}$)

によるものである。つぎに境界層内の速度分布を各 x に対して、横軸に $\eta = y \sqrt{u/\nu}$ 、縦軸に u/U を取り Fig 5 に示す。速度分布は $x=200, 250$ の位置においては Blasius の解によく一致しているが、 x が大き

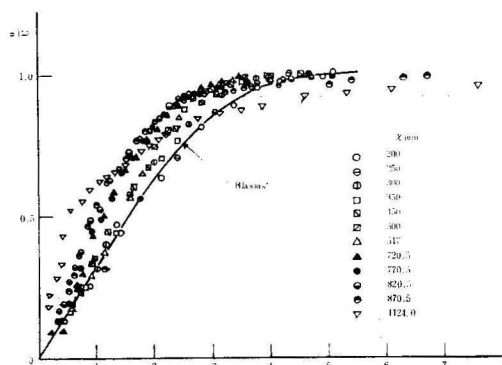


Fig 5. Distribution of mean Velocity

くなるにつれて、それよりはずれの傾向にあり、 $\eta = 1.0$ 位から急にはずれ、速度分布そのものがふくらみをもつようになる。 $x=770.5\text{mm}$ (図中黒丸印) にな

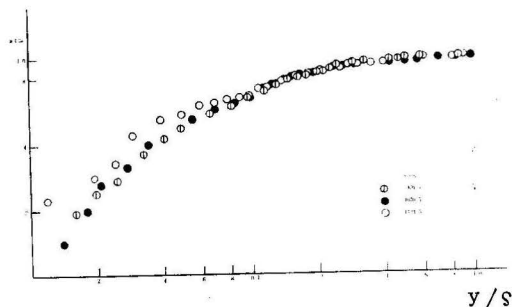


Fig 6. Distribution of mean Velocity

ると、 $\eta = 3$ 位から速度分布の傾きがゆるやかになるのが顕著に表われる。Blasius の解より著しくはずれる速度分布を横軸に y/δ を取って整理すると Fig 6 になる。図より明らかなようにこの位置ではまだ乱流ではなく遷移過程である。つぎに層流境界層の排除厚さ δ^* は $\delta^* = 1.721 \sqrt{\frac{\nu x}{U}}$ で表現できる。そこで x に対して δ^* を整理してみると Fig 7 のよのようになる。厳密に言えば、遷移開始点は速度分布が Blasius の解よりはずれ始める x の位置であるが Fig 7 より $x=400\text{mm}$, $Re_x = 2.5 \times 10^5$ としておく。

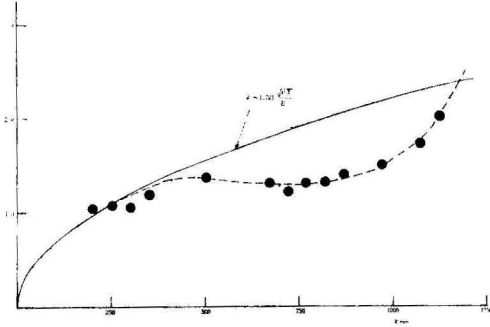


Fig 7. Displacement thickness along the smooth-plate

4-3 伝熱特性

平板を加熱し上向きに設置すると、遷移を早める。したがって流れの場で遷移開始点より早くなる。伝熱の実験において加熱平板その他より熱伝導等により逸散する熱量を補正しなければならない。例えば Fig 1-2 に示す加熱平板を使って主流と壁面温度差を約 10°C に保ち、実験した結果を図示すると Fig 8 のようになる。横軸に Rex 、縦軸に Nux を取って示してある。 $Rex = 5.5 \times 10^4$ 位から乱流の特性 $Nux \propto Rex^{0.8}$

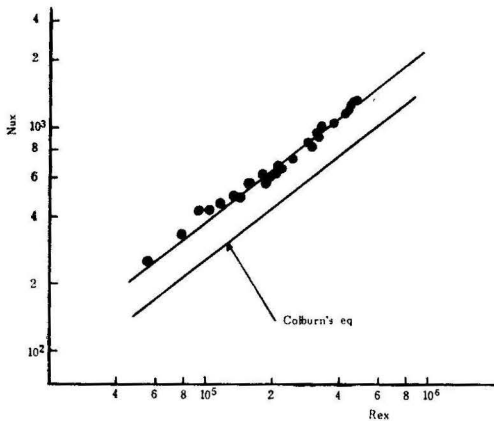


Fig 8. Local Nusselt Number along the plate using a apparatus (Fig 1-2)

になる。しかし Colburn の式より約 40% 大きい値を示す。主流が低乱流なので加熱用ステンレス箔を張り付けたベークライト平板より熱伝導で約 40% 逸散したのであるがその量を正確に知ることは困難である。装置 Fig 1-3 に示す加熱平板は中空であり空気（中空部の）を熱伝導で逸散する熱量は微々たるものである。

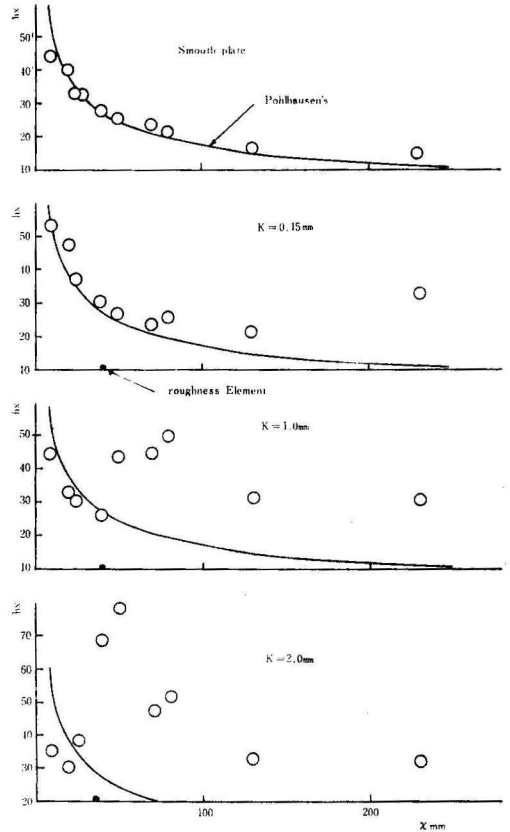


Fig 9. local heat transfer coefficient over the plate

その装置を用いて実験した結果を Fig 9.10 に示す。まず Fig 9 においては Smooth plate と、2 次元粗さの径 $K = 0.15, 1.0, 2.0 \text{ mm } \phi$ について示してある。図中の黒丸印は粗さの位置を示してある。Smooth plate の場合には Pohlhausen の式によく一致するが $K = 0.15$, ($K/\delta^* = 0.30$) では粗さの十分後方より遷移する。しかし $K = 1.0$, ($K/\delta^* = 2.3$) では粗さの位置, $K = 2.0$, ($K/\delta^* = 4.91$) では粗さの前方よりそれぞれ遷移し、急に大きな熱伝達率を示す。また横縦に Rex 縦軸に Nux を取り図示すると、Smooth plate の場合には $Rex = 1.2 \times 10^5$ で遷移する。流れの場での値と異なるのは平板の加熱による流体塊の浮力によるものである。 $K = 0.15 \text{ mm } \phi$ の場合には $Rex = 4 \times 10^4$ 位で遷移し、そうして Colburn の式に漸近する。 K が大きくなるにつれて、遷移前においても層流の Pohlhausen の値よりいく分小さい値を示す、さらに粗さ後方においてもすぐに Colburn の式に合致するのではなく、

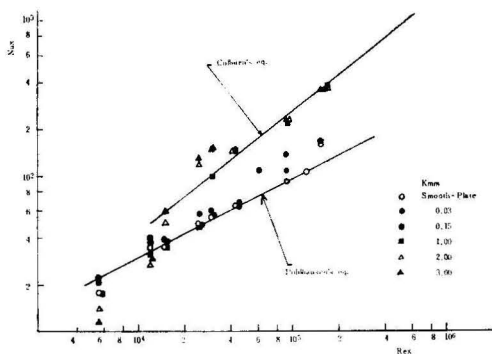


Fig 10. Effect of two-Dimensional roughness on the Nusselt Number.

一たん大きな熱伝達を示したのち Colburn の式に漸近する。これらのことは再付着現象と全く同質の突衝効果にほかならない。すなわち排除厚さより大きな突起を飛び越える場合に再付着現象が起ることを示唆する。

5. 結論

突起等を用いて強制的に遷移せしめる場合にその径が排除厚さより大きくなると突起位置、の前方から遷

移を開始し、再付着現象を伴うために、大きな熱伝達率を示す領域がある。

最後に、本実験を進めるに当り御指導に御協力を賜りました岐阜大学工学部馬淵教授、熊田助手、当機械工学科千谷教授、流れの場についての御指導を賜りました山里教授に厚く謝意を表します。

6. 参考文献

1. 谷一郎：東京大学航空研究集報 第1巻 第5号 P301
 // : Journal of physical Society of JAPAN vol11.No.12 Dec 1956
 // : 数理科学講究録97 sep 1970
2. N.V.Zozulya,B.Lalinin Heat ransfer-Soviet. Research Vol.2 No1 Tan 1970
 // " " Vol13 No.2 Har. 1971
3. R.A.Seban, S.Levy, D.L. Doughty and R.M.Drake. Transaction of ASME May 1934 P319
4. 地田, 小川, 三宅訳
 ポフ機械工学における。空気力学実験法 朝倉書店