

No.7

層流境界層の剥離の実験

佐藤 浩、 斉藤博之助、中村 宏（ながれ研究集団）

Experiments on the separation of laminar boundary layers

H.Sato H.Saito and H.Nakamura

Institute of Flow Research

ABSTRACT

The separation of laminar boundary layer was observed in the flow of water by hydrogen bubble technique and hot-wire velocimeter. The purpose of experiment is to compare results of two different methods. The separation was caused by 4 different devices including a fence, a semi-cylinder in the boundary layer and separation from trailing edge. In all cases we observed the remarkable disagreement between two results. It is clear that in order to understand complicated turbulent flows we have to use all available devices and fuse them by numerical computations.

Key Words : laminar boundary layer, separation, hydrogen bubble, hot wire in water

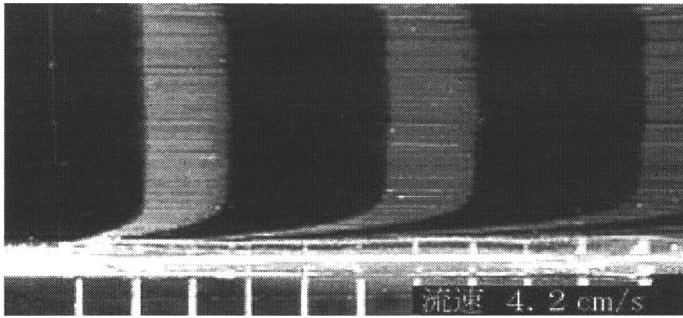
0. はしがき

流れを理解するための実験技術は数多くありますが、我々の流れの理解は使う技術によって違います。時にはまるっきり正反対になることも珍しくはありません。特に大きな違いは熱線風速計のような、空間中の一点での連続観察と、可視化と言われる全空間の短時間観察です。この両方にはそれぞれ専門家がいて、自分の領域を守っていますが、もっと交流を密にする必要があります。ここに提供するの流水槽の中に置かれた平板の上の層流境界層がいろいろな方法で剥離するときの流れについての熱線流速計と水素気泡観察の結果の比較です。

実験は小型の流水槽、全体の大きさが

100 cm x 50 cm、測定部の断面15 cm x 15 cmの中で行われました。流速範囲は3 - 13 cm/sで、平板の長さが11 cmのとき境界層の排除厚さにもとずくレイノルズ数は290 - 600です。

使用流体は0.1%の食塩水で、その中で35ミクロンの水素気泡線と太さ10ミクロン、長さ5 mmの白金を使った熱線流速計が使用されました。水の中の熱線は空気の場合に比べて一桁以上のエネルギー消費があり、定温度作動にはパワー部分を付加する必要があります。今回はそれは取り付けられておらず、定電流作動となっています。熱線はトラバース装置の上に載せられて、1/100 mmのきざみで移動させることができます。

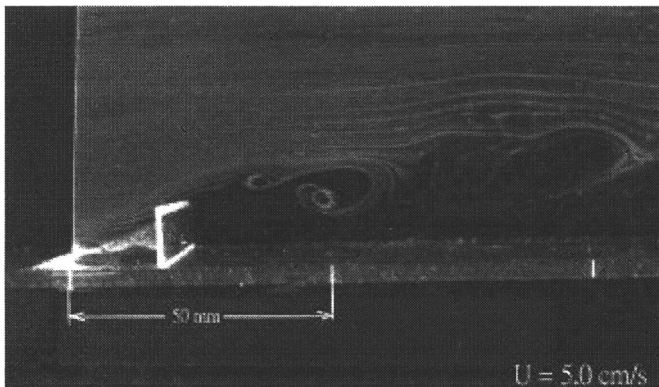


第1図

第1図は断続水素気泡で観察された境界層の速度分布です。ブラジウスの分布がはっきりと見られます。

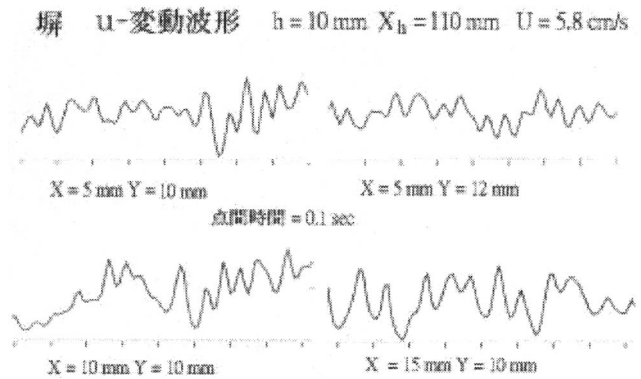
1. 境界層の中の堀

前縁の110 mm下流に、高さ10 mmの2次元の堀を立てました。境界層は上縁で剥離します。気泡写真が第2図で、下流



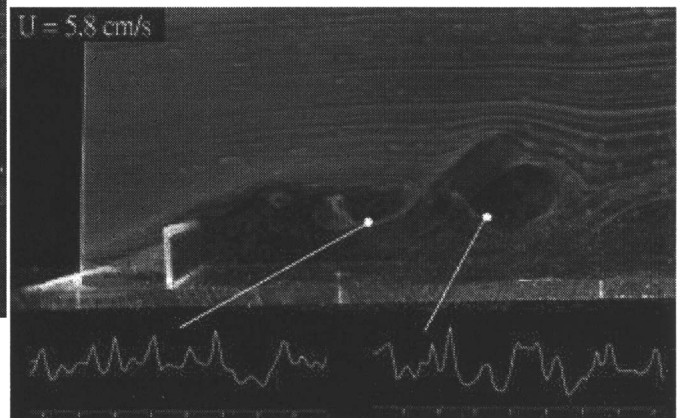
第2図

に渦らしいものが見られます。ここで注意が必要なのは、この実験条件で何時も渦が発生すると思いきまないことです。この種の実験をしているときの最大の誘惑は、綺麗な渦の絵を撮りたいということです。渦が出ていないときは勿論、出ていても大きく変形しているものは見過ごして、綺麗なものを追いかけます。しかし崩れたような渦もそれが実在の流れなのですから、それを無視することは公平ではありません。またもう一つの注意は泡の見えない部分です。ついうっかりすると、この暗いところには流れが無いと思ってしまいますがそれは間違いです。



第3図

熱線流速計の出力の例を第3図に示しました。熱線の周波数特性には疑問があります。また水温の変化による特性の変化もあります。なんかややで精度が下がりますので、定性的なものと思って下さい。波形を見ると周期的な変動も見られます。しかし水槽は低乱ではありませんので、定量的な議論は止めておきます。

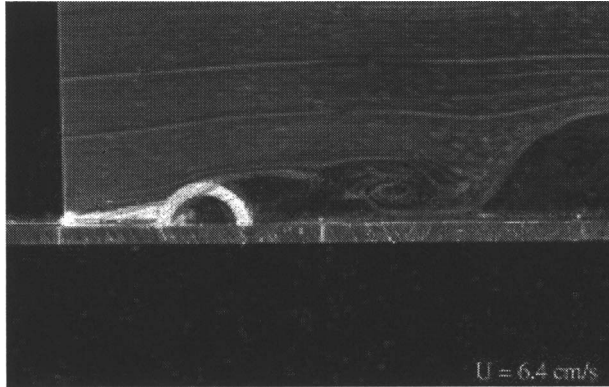


第4図

第4図は泡写真と熱線との対応を示しています。これは同時測定ではありません。熱線では堀の近くに関心があるのに比べて、泡はもっと大規模な範囲を見ています。このような大雑把な泡写真では速度の細かい変動を見ることは出来ません。

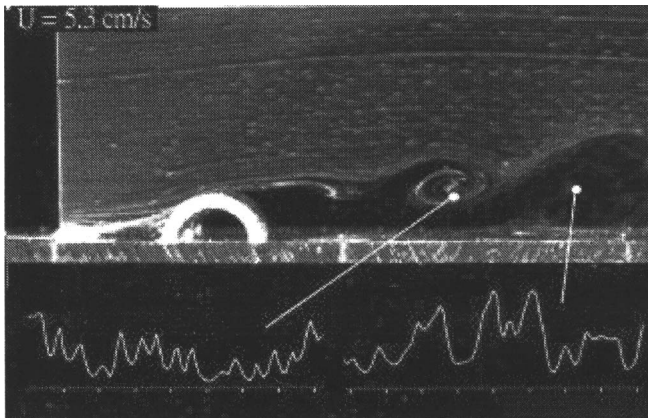
2. 境界層の中の半円柱

剥離点が固定されて動かない堀に比べて自由に動ける滑らかな曲面では違いがあるかと思い、半円柱を流れと直角に、境界層



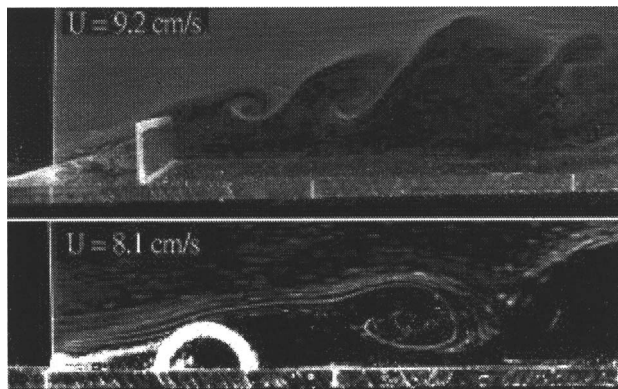
第5図

の中に置きました。この場合は剥離層がもう一度平板に付着しやすくなります。第5



第6図

図は泡線写真の一例です。塀の場合と同じように泡の写真と熱線の出力の比較を第6図に示しました。塀を立てた場合と同じように、熱線は剥離点の近くばかりに気を取られているし、泡の方は全体の流れを見えています。

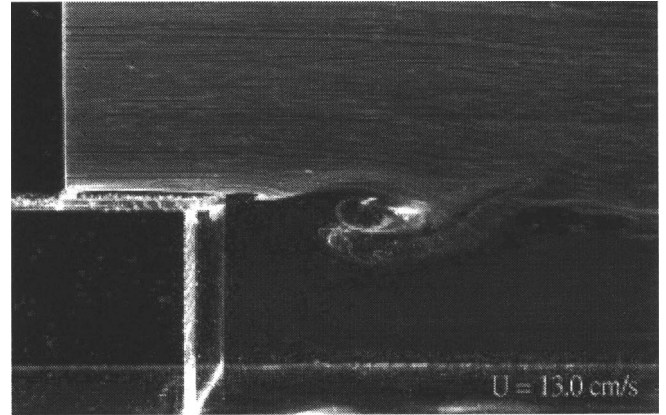


第7図

第7図は同じ泡写真で塀と半円柱の場合の比較です。渦の出来方のちょっとした違

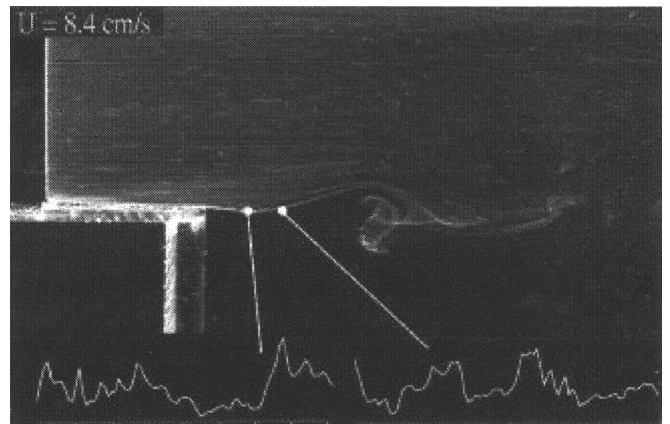
いを見ることが出来ます。塀に比べて半円柱の場合は渦が平板に近づいています。

3. 直角後縁からの剥離



第8図

次は後縁が直角に落ちた、境界条件の急変という形の剥離です。第8図は泡写真の一例です。下流では渦が出来ているのが見られます。泡の届かない下半分は真っ暗で、そこで何が起きているか分かりません。

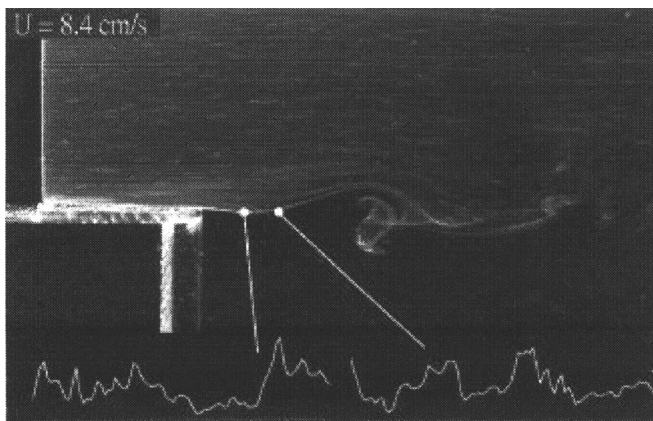


第9図

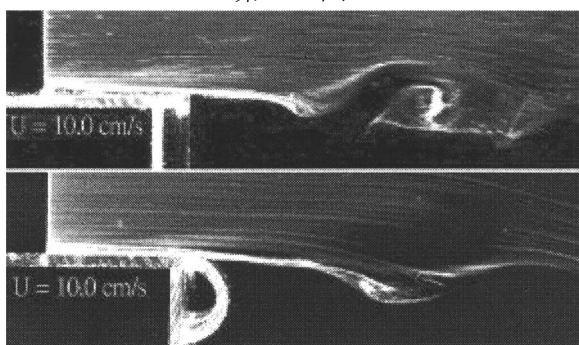
第9図は熱線出力との比較です。熱線には周期的な変動が含まれています。この種の実験は広く行われており、今回の結果もそれらとほぼ一致しています。

4. 半円後縁からの剥離

剥離点が固定していない場合として後縁に丸みが付いているときの実験をしました。流れは基本的には直角後縁の場合と違います。第10図は泡写真と熱線との比較です。



第 10 図



第 11 図

第 11 図は後縁の形の違いによる流れの違いを示しています。同じ流速ですが半円後縁の方がやや滑らかな流れになっているようにも見えます。しかしこれらはある瞬間の絵であって、いつでもそうゆうふうになっているわけでもありません。

5. 考察

まずこの実験で使われた幾つかの測定技術について考察します。

水素気泡による観察には避けられない本質的な弱点があります。それは写真に撮られた泡の位置はそれが発生してから撮られるまでの時間または空間の間の積分効果だということです。これを我々はかつて”古い煙は人をだます。”と表現しました。煙や泡はいわばラグランジュ的に追跡されているのですが、我々に馴染み深いオイラー量であるかのように扱っているのです。

この実験でどのような剥離にも共通しているのは泡線観察と熱線測定の驚くべき不

一致です。それには理由があります。泡線写真はいつも流れ場の全体を見ているに対して熱線はその置かれた場所の付近だけの情報に重点があるのです。この規模の違いが大きな不一致の原因になります。泡線の動画は我々にもっと豊富な情報を提供しますが、現在の制度ではこれを出版して周知することはできません。これも時間的変動が大切な流体運動には非常に大切なことです。

2次元、軸対称といった、単純で、基礎的な流れについての我々の知見は豊富で、正確なものになってきました。しかし台風や、内燃機関のシリンダーの中の流れのような、いわゆる複雑乱流については手も足も出ないのが実状です。すべての流体力学者は基礎的な流れが理解できれば、その組み合わせでどんな流れも理解できると信じてきました。しかし流体運動に本質的な非線形性はそんな甘い考えをふっとばしてしまいました。複雑乱流についてはいわゆるベテランも頭を抱えます。

ここに提案するのは色々な測定、観察技術と、数値計算の協力です。流れの中に入れる熱線風速計の数には限りがあります。また粒子を使う観察、測定にもそれなりの限界があります。これらを補うのが数値計算です。ただの数学的な内挿、外挿でなく、NS方程式を含む力学的な内、外挿を行ってデータを豊富にします。気泡観察に固有な問題もこれで解決できるでしょう。色々な測定技術にはそれぞれ固有の誤差があります。それらも考えにいれなければなりません。複雑乱流の持つ情報量は気が遠くなるほどのもので、それをどのように引き出すかという技術の開発も問題になります。これらは決して容易な仕事ではありませんが、これ以外に複雑乱流を扱う手段はありません。