

7

主流中の乱れによる境界層遷移

應 和 靖 浩* 坂 尾 富士彦** 松 岡 祥 浩***

Laminar-Turbulent Transition of a Boundary Layer by Disturbances in the Main Stream

by

Yasuhiro OUWA, Fujihiko SAKAO
Kinki University Hiroshima University

and

Yoshihiro MATSUOKA
Kinki University

ABSTRACT

Development of disturbances in, and transition to turbulence of, a laminar boundary layer on a flat plate caused by free stream disturbances which are in turn introduced by a stational circular cylinder or an impulsively swung wing near the layer is investigated. For most cases, transition to turbulence is observed at a place where disturbance by the cylinder or the wing supposedly first arrives at the boundary layer.

Keywords: transition, boundary layer

軸対称噴流の発する音に関する研究において、流線に対して凸な曲面に沿う流れの剥離点が、境界層がほぼ層流で僅かに乱されている状態のときに、著しく非定常に変動する現象が見出された¹⁾。これと同じ現象は2次元の凸面壁に沿う流れにおいても見られ、我々はその原因や機構を詳しく調べている^{2~5)}。その結果、この現象は境界層が主流中の乱れにより時々乱流に遷移し、その際にのみ凸な曲面に沿う流れの剥離点が後退するものであることがわかった⁴⁾。ここでは、主流中の乱れによる境界層の遷移に関する実験とその結果の概要を記す。

先端を半楕円形にした平板を流れに平行になるように測定部開放型回流式風洞の出口に置き、後

端に円柱面を滑らかに接続して2次元凸面壁としている。風洞の乱れは0.5%以内で、その大部分は20Hz以下の成分であり、境界層を乱す作用は小さい。特に流れを乱さないときには、境界層は凸面部から剥離するまで層流のままである。主流中に攪乱を与えるために、円柱面入口の上流620mmの平板近傍に、円柱軸に平行な丸棒を置くか、または回転振動する翼を置いた。それらが遠く離れていると、境界層は層流のまま凸面部から剥離するが、平板に近接して置くと、剥離する前に乱流になる。

丸棒の場合、平板からの距離を適当にすると、境界層はほとんどの時間、層流のままで、時々乱流になる結果、剥離点が前後に大きく変動する現象が見られる²⁾。その場合について、剥離剪断層の揺れを示す速度変動波形の一例を図1に示す³⁾。図には円柱面の入口の所に置いた熱線による速度

* 近畿大学工学部

** 広島大学工学部

*** 近畿大学理工学部

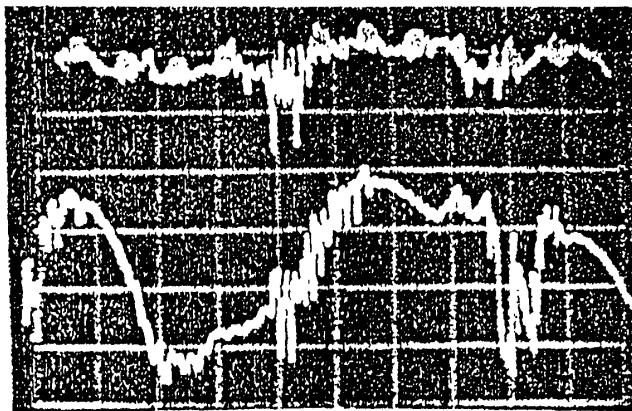


図 1 速度変動波形

上側は円柱面入口 ($Y=5\text{mm}$)、
下側は剥離剪断層の揺れを示す。

測定信号も同時に記録している。剥離点が後退することは下流の速度(図で下の波形)が上昇することに対応し、その際は乱流を増す細かい波形が重なっているが、それには必ず円柱面入口での速度(図で上の波形)のスパイク状変動が先行している。このスパイク状速度変動の起源を上流に遡って調べてみると、丸棒の伴流の速度変動の端が平板の境界層に達する所で初めて現われることから、丸棒の伴流の乱れが平板に沿う境界層を揺さぶることが源となっていると考えられる。なお、下流ではスパイクには乱れが伴っているようであるが、上流では乱れは少なく、スパイク波形の振幅も減少し単純な波形になる。この“スパイク”を含む乱れの流れ方向の発達状況は、以下のようなである。

- 1) 境界層とそのすぐ外側の狭い領域で発達する
- 2) 亂れの特に強い部分(スパイクなど)は主流速度で移動する。
- 3) 振幅は発達するが、流れ方向の幅の増加割合が小さく、スパン方向の幅(ずっと広い)はほとんど増加しない。

これらの特徴は、スパン方向に広がった乱流斑点と考えさせる点もあるが、異なる点がある。その他種々の点から、この速度変動は乱流斑点の前段階に当たるものであると考えられる。上述の結果より、凸面壁に沿う流れの非定常剥離現象は、主流中の乱れにより境界層が遷移した領域が凸面

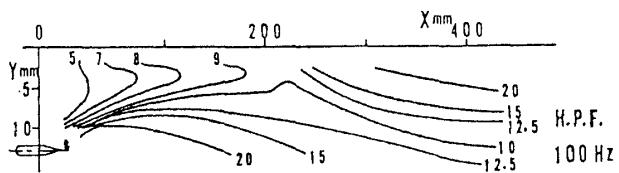


図 2 亂れ強さ分布

Xは翼からの距離、Yは平板からの距離。
図中の数字は変動の P-P 値の主流流速に対する百分率。

部に達したときに剥離点が後退したものであるといえる⁴⁾。

このような次第で、主流中の乱れによる境界層の遷移を調べることにしたが、丸棒の伴流による遷移は、時間も程度もランダムで、詳しい研究には不便である。そこで、丸棒の代わりにパルス的に回転振動する2次元対称翼を用いることにした⁵⁾。これにより、任意のタイミングで遷移を起こさせることができた。この場合の乱れの流下による発達状況は、横幅がより広い点を除いて丸棒の伴流の場合と同様であった。横幅は、丸棒の場合が50mm程度であったが、この場合は150mm以上とより2次元的であった。

図2に速度変動波形の写真より求めた乱れのP-P値の分布を示す。不要な低周波成分を除くために100Hzのハイパスフィルターを通してある。ハイパスフィルター通過後のP-P値を各10回程度測定し、その平均値を主流流速に対する百分率で示している。ハイパスフィルターの遮断周波数を大きくすると、変動は小さくなるが、分布はいずれの周波数でも同様であり、乱れの発達は周波数によって大差はない。翼の回転による剥離流の強い乱れは、流下するにつれて強さを弱めながら幅を拡げ、その影響が境界層に達すると、そこから乱れが急に大きくなり、分布も変わって境界層内が最大になり、下流へ延びている。ここで、外部乱れにより境界層が遷移するとみられる。この乱れの急拡大は、近接した主流内の乱れによりX=0付近で作られた乱れが徐々に発達しながら流下し、この位置で急発達したものであると考えられるかもしれない。しかし、上流において流下に伴う発達の割合が小さいのに、この位置で急に大きくな

ることより、その考えは否定された。今後、この近傍での乱れの模様を詳しく調べる予定である。

なお、翼の回転振動により生じた乱れによる境界層遷移には、上述の主流中の乱れが境界層を乱す機構の他に、境界層内を主流速度より小さい速度で伝わるらしい変動を生じさせる別の機構があると考えさせる現象が認められている。これについても、今後明らかにしたいと考えている。

参考文献

- 1) 坂尾：ながれ，3-1 (1984), 51.
- 2) 應和，坂尾：ながれ 5巻別冊 (1986), 154.
- 3) 坂尾，應和，松岡：ながれ 6巻別冊 (1987), 200.
- 4) 應和，坂尾，松岡：ながれ 7巻別冊 (1988), 120.
- 5) 應和，坂尾，松岡：ながれ 8巻別冊 (1989), 299.

