

## No. 7

## 斜め円柱の前縁に沿う境界層の不安定性

伊藤 信毅\*

## Instability of the Boundary Layer along the Leading Edge of a Yawed Circular Cylinder

Nobutake ITOH

National Aerospace Laboratory

Linear stability calculations based on an approximate system of disturbance equations are made to show principal characteristics of the attachment-line flow. It is found that critical Reynolds numbers of this flow are determined by the streamline-curvature instability, except for a narrow region close to the attachment line, which the cross-flow instability dominates.

Key Words : attachment-line flow, instability, cross flow, streamline curvature

## 1. はじめに

後退翼の前縁に近い、負の圧力勾配を持つ三次元境界層では、横流れ不安定と流線曲率不安定が発生する。特に付着線付近の流れが不安定になると、その下流の境界層はすぐに乱流に遷移するから、前縁近傍の不安定特性を知ることは後退翼の遷移過程を解明する上で非常に重要である<sup>1, 2)</sup>。そこで、斜め円柱上の付着線流を例に取り、微小攪乱を支配する近似的な常微分方程式の固有値問題を解くことによって、その安定特性を調べる。

## 2. 安定計算の方法

前縁近傍付近を拡張して、注目する領域に適合する簡単な近似攪乱方程式を導き、その固有値問題を数値的に解いて臨界レイノルズ数を算定した。付着線流の速度分布は Falkner-Skan-Cooke 流において圧力勾配を表わすパラメータを  $m = 1$  に置くことによって得られる。攪乱方程式は平行流近似式に基本流の壁に垂直な速度成分と流線の曲率項を付け加えただけの簡単なもので、詳細は他の文献に譲る<sup>3, 4)</sup>。付着線流れでは、臨界値が外部流線の付着線に直交する座標  $X$  からの傾き角  $\gamma$  だけの関数として定まる。したがって、流線の傾き角を翼前縁からの距離の関数に表わすとき、臨界レイノルズ数の翼表面に沿う変化を明確にすることができる。

## 3. 主要結果

計算結果から、付着線流れでは横流れ不安定より流線曲率不安定の方が低い臨界レイノルズ数を与えることが示された。流線曲率不安定の臨界レイノルズ数  $R_c$  を  $\gamma$  の逆数に対して図示するとき、 $\gamma^{-1} \approx 0.85$  で最小値を持ち、両側に向かって上昇する曲線が得られる。与えられた後退角の円柱に対しては、簡単な境界層計算によって  $\gamma^{-1}$  を前縁からの距離  $X$ （前縁から後縁までの表面長で無次元化）の関数として表わすことができ、 $R_c$  の  $X$  に対する変化が図示される。この曲線も  $X$  のある値で最小値を持ち、その両側で上昇する。前縁に向っての上昇は非常に急激であるが、下流方向には比較的緩やかに上昇する。横流れ臨界曲線もほぼ同様な傾向を示すが、こちらは前縁に近づくとき上昇が鈍り、流線曲率の臨界曲線と交差した後、付着線に対して Hall<sup>2)</sup> が与えた臨界点に収束する。

円柱の後退角を小さくしてゆくと、流線曲率不安定の臨界レイノルズ数が最小値を取る位置  $X_{\min}$  は前縁に近づき、 $R_c(X)$  の左右分枝間の距離が狭くなる（図1）。臨界レイノルズ数は  $X_{\min}$  のごく近傍で、急激な下降上昇を行なうことになるが、 $R_c$  の最小値は変化しない。この性質から、三次元付着線流れの安定性は、後退角を0に近づけた極限においても、二次元淀み点流れの安定特性<sup>5)</sup> に一致しないことが結論される。一方、十分大きい後退角を持つ流れでは（図2）、流線曲率不安定の臨界曲線は、前縁近傍で最小値を取ったのち、 $X$  とともに緩やかに上昇する。前縁から離れるに従って、圧力勾配の変化が影響すると考えられるので、この曲線は下流の境界層の流線曲率不安定に対する臨界曲線に接続す

\* 航空宇宙技術研究所

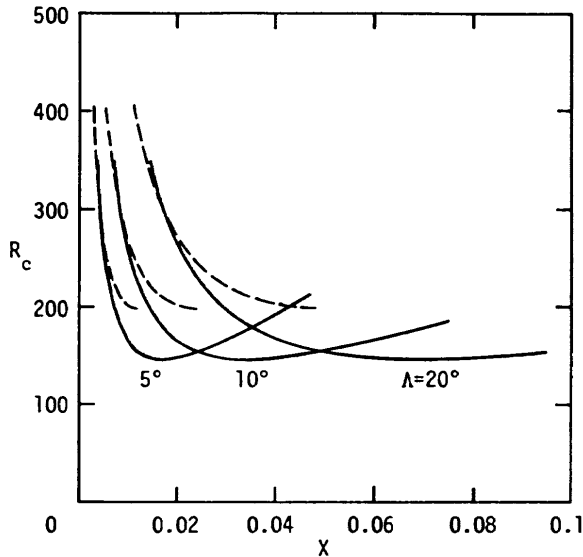


図1 前縁近傍の臨界曲線 ( $X$ : 前縁からの無次元距離;  $\Lambda$ : 後退角; 実線: 流線曲率不安定; 破線: 横流れ不安定)

るものと見てよい。横流れ不安定の臨界曲線も、最小臨界値がやや高い点を除いて、同じ傾向を示す。付着線流れの安定性を記述する近似攪乱方程式は、筆者が一般境界層に対して用いた近似方程式系と本質的に等価であるから、以前の計算法<sup>4)</sup>をそのまま前縁近傍まで適用できることが示されたことになる。

#### 4. むすび

本研究によって、付着線流れで発生する不安定性は流線曲率不安定と同じものであることが示された。横流れ不安定はそれよりも高い臨界レイノルズ数を与えるので、この領域で支配的になることはありえない。しかし十分下流の境界層においては、横流れ不安定の臨界レイノルズ数が流線曲率不安定のそれよりも低くなることが知られている。両者の攪乱の分布形状が非常に似ていることを考えると、強い相互干渉の存在が推測される。三次元

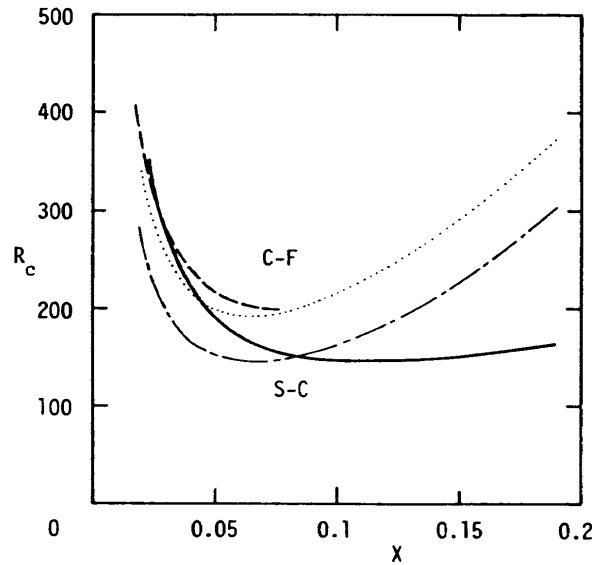


図2 後退角 $30^\circ$ の場合の臨界曲線 (実線: 付着線流れの流線曲率不安定; 破線: 付着線流れの横流れ不安定; 鎖線: 境界層<sup>4)</sup>の流線曲率不安定; 点線: 境界層<sup>4)</sup>の横流れ不安定)

境界層におけるこれら二つの不安定性の相互作用を解明することは、今後の重要な研究課題である。

#### 参考文献

- 1) Poll, D. I. A. (1984) AGARD Rep. No.709, pp. 5.1-5.23.
- 2) Hall, P., Malik, M. R. and Poll, D. I. A. (1984) Proc. R. Soc. Lond. A 395, 229-245.
- 3) Itoh, N. (1994) Fluid Dyn. Res. 14, pp. 353-366.
- 4) Itoh, N. (1995) Laminar-Turbulent Transition, ed. R. Kobayashi, pp. 323-330, Springer-Verlag.
- 5) Wilson, S. D. R. and Gladwell, I. (1978) J. Fluid Mech. 84, 517-527.