

強い外乱に対する境界層の応答

浅井 雅人*

境界層の層流から乱流への遷移は、航空機の摩擦抵抗低減やスペースシャトルの空力加熱対策など航空宇宙工学の諸問題に関わる重要な現象である。気流中の乱れが弱い場合、境界層遷移は、粘性型のいわゆる T-S 波動の空間増幅から始まる。波動は最初二次元的であるが、増幅と共に急速に三次元化し（二次不安定）、遂には小スケールのヘアピン渦へ崩壊する（二次高周波不安定）。この波動増幅から始まる遷移については Schubauer &

Skramstad¹⁾以来多くの研究がなされ、一連の不安定機構の中身はかなり明らかにされた^{2)~4)}。しかしながら、強い気流乱れにさらされる流体機械内の翼や、静穏大気中でも後退翼の場合、前縁（アタッチメント・ライン）に沿って翼根部から強い乱流変動が伝播すると、上記波動増幅を経由することなく乱流への遷移が生じ得る。このような強い攪乱（渦）が流下するときの遷移の詳細についてはまだほとんど理解されておらず、例えば、最小の遷移レイノルズ数がいくらかについても明らかでない。そこで本研究では、気流中の強い乱れ（渦）が境界層にどのような変動構造を発達させ乱流遷移に導くかを明らかにするため、上記遷移の後期段階²⁾⁵⁾に見られるようなヘアピン渦を音波を用いて平板前縁のすぐ下流に導入し（後述）、その強い外乱に対する境界層の応答を実験的に調べた。

実験は、流速 $U_\infty = 4 \text{ m/s}$ の一様気流中におかれた長さ 600mm の平板上の境界層で行われた。前縁 ($x=0$) から 300mm 位置での排除厚に基づくレイノルズ数 R^* は約 500 であり、観察は主に $x=300\text{mm}$ までの範囲でなされた。風洞の乱

れ強度は 0.3% 程度で、観察範囲内ではブラジウス境界層が実現されている。音波 (50Hz) を平板に直角方向から放射し、その強さを増すと、前縁（鋭利に加工）で周期的に小さな剥離泡 (1/3 周期以下) が生じ、剥離剪断層の崩壊により孤立渦が生まれる。それはすぐに三次元変形しヘアピン渦に発達する。スピーカ出力電圧（音波の強さ）を調節することにより、励起されるヘアピン渦の強さを容易に制御できる。

前縁で生まれたヘアピン渦は、流下と共に粘性減衰するが、その過程でヘアピン渦の通過に伴い壁近くの低速流体が浮上し、その結果三次元的な壁剪断層（縦渦を伴う）が生まれる。壁剪断層は、 R^* が約 330（線形安定性理論の臨界レイノルズ数

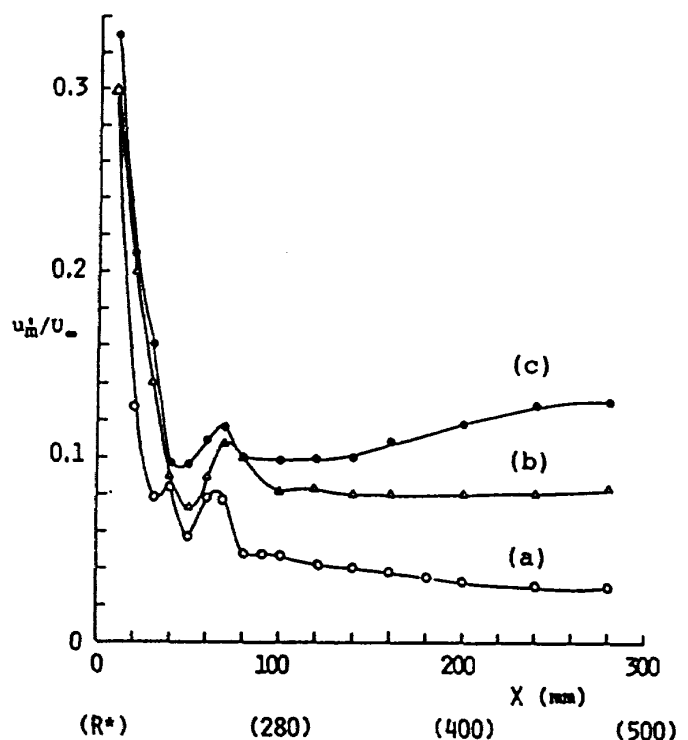


図1 u' 変動の発達 (u'_m ; u' 変動の最大実効値) :
(abc はスピーカ出力電圧が 25% ずつ増加)

*大阪府立大学工学部

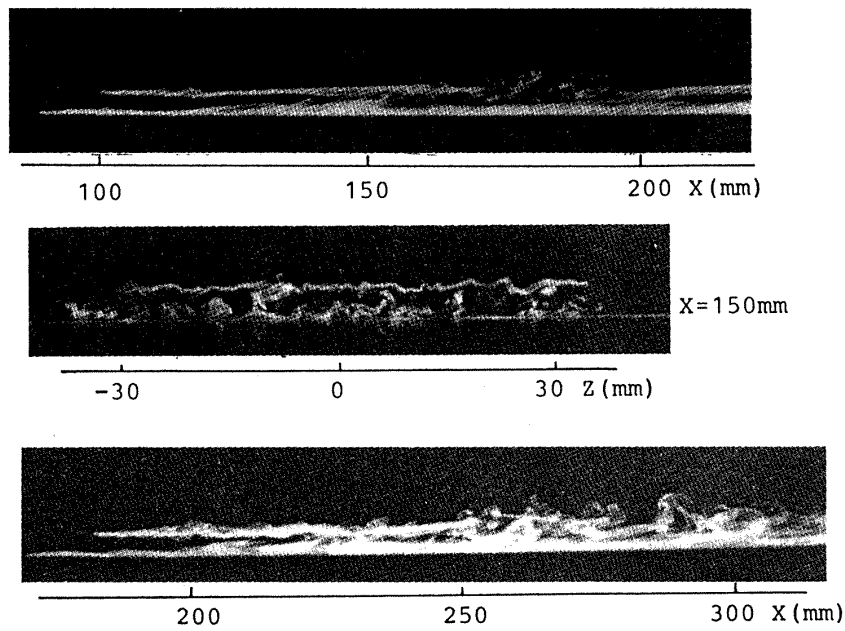


図2 亜臨界乱流遷移の可視化 (図1, cの場合)。

の約63%)までは活躍しないが、上流から流下するヘアピン渦が $R^*=330$ 位置でまだ強さを維持し、乱流時と同程度の強さの変動(u 変動で U_∞ の10%程度)を壁近くに誘起する場合(図1, cの場合), その下流で次々に新たなヘアピン渦に成長し始める(図2)。さらに、生まれるヘアピン渦はスケールを増してゆき、そのスパン方向間隔は乱流粘性底層の平均ストリーク間隔 $\lambda^+=100$ に近づく。一方、初期ヘアピン渦の減衰が速やかで、それが壁近くに誘起する速度変動が上記臨界値以下になれば(図1, aとbの場合), 壁近くの流れは単に受動的で新たなヘアピン渦の生成は起きず、亜臨界レイノルズ数域で遷移軌道に乗ることはない。

参 考 文 献

- 1) Schubauer, G. B. & Skramstad, H. K. : NACA Rep. No. 909, 1947.
- 2) Nishioka, M. & Asai, M. : Turbulence and Chaotic Phenomena in Fluid (ed. T. Tatsumi), 1984.
- 3) Herbert, Th. : Ann. Rev. Fluid Mech. 20, 1988.
- 4) Asai, M. & Nishioka, M. : J. Fluid Mech. 208, 1989.
- 5) Nishioka, M. et al. : Transition and Turbulence (ed. R. E. Meyer), 1981.
- 6) Asai, M. & Nishioka, M. : Proc. IUTAM Symp. Laminar-Turbulent Transition, 1989.