

# 曳航風洞を用いた後流の乱流遷移の研究

前川 博 (電通大)      西村 英樹 (電通大院)

## Study of transition to turbulence in a plane wake using a towing tunnel

Hiroshi MAEKAWA, Hideki Nishimura

Dept. of Mechanical Engineering & Intelligent Systems, Univ. of Electro-Comm

### ABSTRACT

An experimental study was conducted to investigate the transition mechanism in a plane wake using a novel experimental technique in a towing tunnel. The wake at  $Re=300$  based on the half-width of mean velocity profile was studied by means of moving hot-wire techniques and linear stability theory. The experimental results show that the instability mode in the tentative wake generates a starting vortex street but does not sustain itself behind flat plates because of a globally stable nature of the  $Re=300$  wake. The unstable mode in the steady wake grows after convection of the starting vortex street and the local absolutely instability mode appears in the near wake. The slight frequency difference between these modes affects the generation of low-frequency fluctuations, which are commonly observed in natural transition wakes. Linear stability analyses indicate that the size of absolutely instability region in the wake at  $Re=300$  is less than the critical length (three times the half-width). This observation shows a good agreement with the DNS results<sup>2)</sup> of a spatially developing wake that large-deficit wakes are globally stable when the size of the absolutely unstable region is smaller than about three times the half-width of the wake.

Key Words: Wake, Transition, Towing Tunnel, Absolutely Instability

### 1 緒言

平板後流については、これまで多くの実験的・理論的研究がなされてきた<sup>1)</sup>。剥離域のないこの後流中において線形不安定攪乱の成長によってカルマン渦列が形成されることはよく知られている。自然遷移において攪乱は流れの中に存在する小さな乱れであり、極微小な攪乱も線形成長過程で大きく成長し、非線形過程で渦構造を形成する。本実験は、平板後流の層流乱流遷移機構を調べるために、平板と熱線プローブを載せた台車を静止空気中において牽引する曳航風洞を用いた。最近、後流はその欠損の大

きさによって局所絶対不安定性を示すことが知られるようになった。これは、せん断流の数値計算では初期条件が流れ場に影響を残す機構が存在することとして理解され、曳航風洞によって従来の風洞による実験では非常に困難な初期条件の影響をとらえることが可能になることが期待される。本研究では、実験で得られた平均速度分布をもとに安定性理論によって絶対不安定性を示す領域を解析し、下流に形成された渦構造の遷移機構に及ぼす絶対不安定領域の大きさの影響を調べた。

### 2 実験装置および方法

実験装置を図1に示すように、外部の攪乱から隔離するため幅0.9m高さ1.8mのトンネル内に平板を載せた台車をDCモーターによって牽引する。平板後縁の中心を原点として、牽引方向と反対方向にx、主専断方向にy、スパン方向にzとし、それぞれの方向の速度成分をu,vおよびwとする。牽引は定加速後に一定速度(おおよそ1m/s)、そして定減速するように設定される。流速の計測は台車に載せた熱線プローブ(X型)を使って行う。サンプリング周波数512Hzでコ

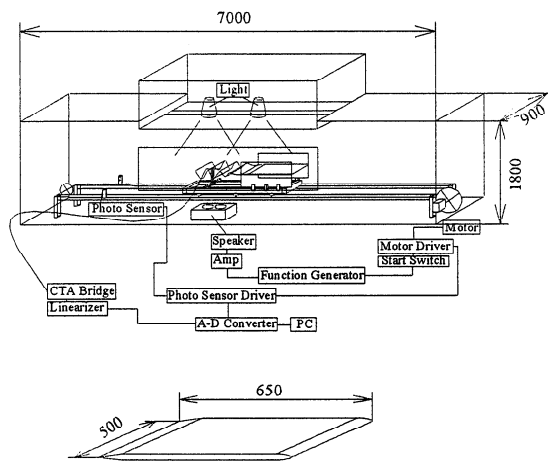


図1 実験装置概略(単位:mm)

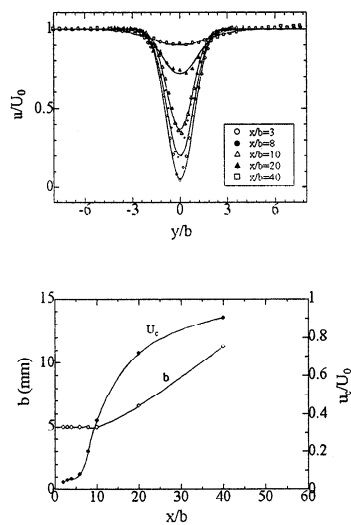


図2 速度分布、半値半幅および中心速度

ンピュータに入力されデータは100Hzのローパスフィルターをかけて解析される。

### 3 実験結果および考察

#### 3.1 速度変動

実験で得られた速度分布を図2に示す。x/b=10までは半値半幅は一定(おおよそ5mm)である。また、速度欠損値はx/b=4まではほとんど一定でありわずかに小さくなる。図3の速度時系列信号にみられるように、加速度運動による過渡的な状態の後流において速度変動が観察される。特に、等速運動が開始され、定常な後流が形成されるまでの間のスペクトルを調べると、定常後流における速度変動より高い周波数の変動が観察される。これは、可視化でもわかるように、初期渦列の速度変動に対応している速度変動が計測される。この周波数は牽引速度U=0.95m/sでおおよそ20Hzである。過渡的な初期渦が形成された後、平板のすぐ下流では、線形安定性理論によって解析するように、速度欠損が大きくなり定常な後流において絶対不安定領域が形成されるようになる。ただし、本実験で過渡的な状態が計測時間のおおよそ1/2である。

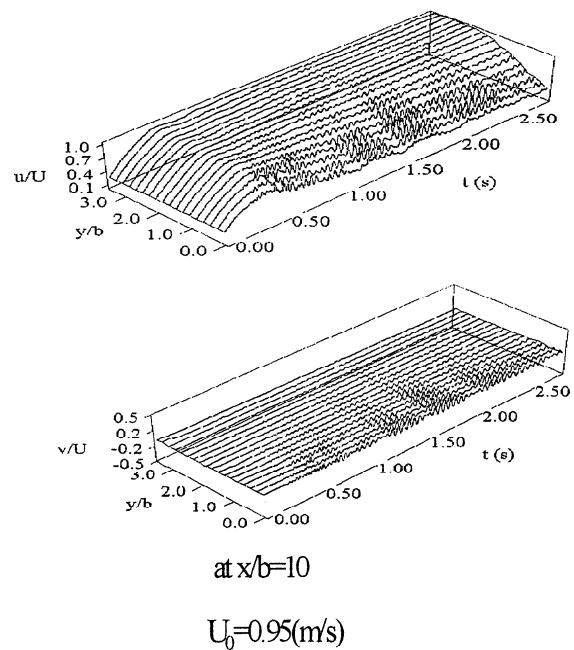


図3 速度変動 (u',v)

これらの速度変動のスペクトルを見ると、図4に示すように、後に解析した結果から得られる最も不安定な周波数の近傍に広がった（正確には、 $x/b$  の位置によって異なる）スペクトル分布を示す。

### 3. 2 安定性解析

安定性理論によって計測された平均速度分布を使っ

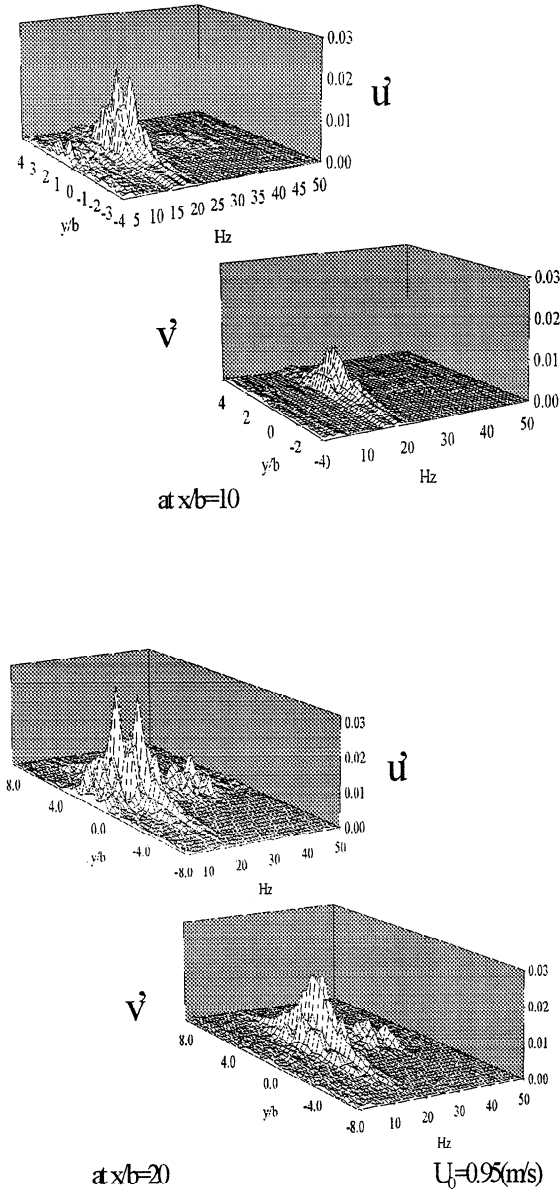


図4 速度変動スペクトル

て（ガウス分布）不安定モードを計算した。絶対不安定領域は半値半幅のおおよそ2倍（3倍未満）であることが計算される。また、その時、計算された絶対不安定モードの周波数は15.76Hzであり、 $(\alpha_r = 0.97, \alpha_i = -0.85, \omega_r = 0.52, \omega_i = 0.0085, atx/b = 2)$

実験で観察された周波数は15Hz( $\pm 0.5$ Hz)である。いっぽう、この周波数より高い17.5Hz（図5の基本波成分）は下流において観察される支配的な速度

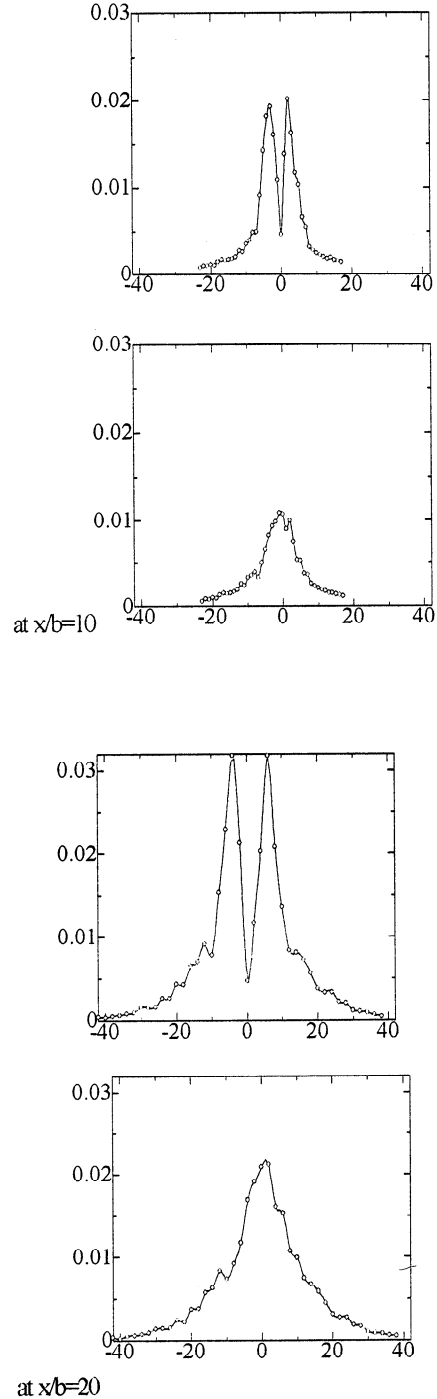


図5 基本波 ( $u, v$ ) 成分分布

変動である。この事実は渦形成のシナリオを示唆している。初期渦は明らかに20Hzの周波数をもつ振幅も小さな渦列が下流にまず形成される。その後は、

変動周波数が徐々に小さくなっていることが可視化結果と速度変動の結果から観察される。その中で図5に示される基本波成分は渦列が形成される  $x/b=8 \sim x/b=10$  における最も成長した周波数成分が支配的になっている。この基本波と絶対不安定領域の伝播する不安定モードとの差周波数 (2.5Hz) をもつモードが観察される。図6は群速度 0 付近の時間発展成長率が正の領域 (絶対不安定) があることを

示す。また、絶対不安定モードと基本波モードとの間にわずかな周波数の差があるが、その成分の  $u, v$  速度変動のエネルギーを  $y$  方向に積分して求め、その発展の様子を表した。図7はその様子を示す。 $X/b=6$  までは絶対不安定モードが優勢であるが渦列形成にいたる  $x/b=10$  から  $x/b=20$  までは基本波モードが支配的になることが分かる。

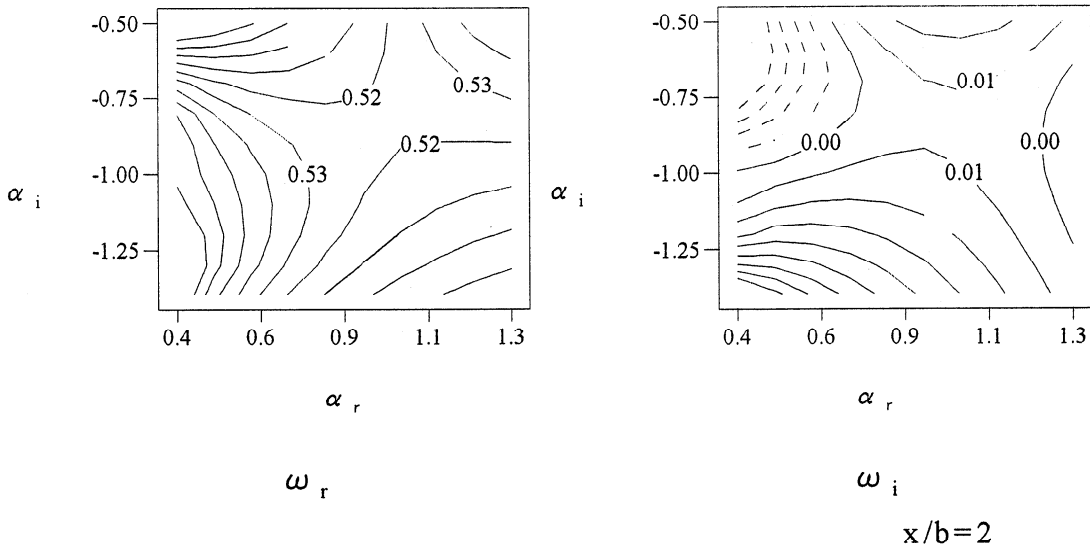
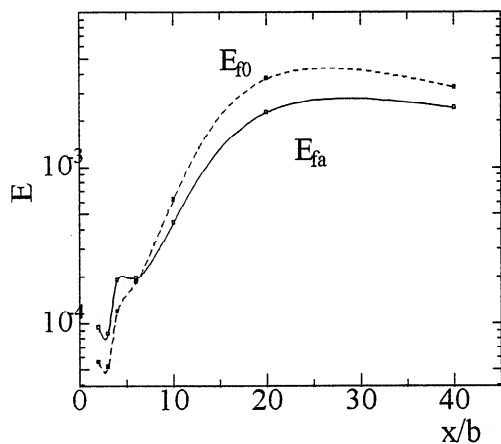


図6 複素 $\alpha$ 面における安定性計算



Evolution of Energies for  $f_0$  and  $f_a$  components

図7 15Hz 攪乱  $f_a$  と基本波成分  $f_0$  の成長

#### 4. まとめ

安定性解析の結果、絶対不安定領域は後流半値半幅のおおよそ2倍の領域に広がっている。この広さを持つ後流では大域的に安定の性質をもち、初期条件の痕跡は徐々に消滅するようになる。 $Re=300$  の後流において大域的安定であることは DNS<sup>2)</sup>の結果と一致する。過渡的な渦構造は出発渦として観察され、その渦は一番早く3次元化するがそれに続き出発渦より低い周波数の渦構造が形成され基本周波数 (17.5Hz) からなる渦構造が形成される。ただし、絶対不安定領域の変動周波数と基本波周波数との間にわずかに差があり、低調波成分が形成される。今後、絶対不安定領域が臨界値を越える後流を形成し、実験装置のスピーカーを使って初期条件の影響を調べる予定である。

#### 参考文献

- (1) Sato H. & Kuriki K., J. Fluid Mech. Vol. 11, (1961)
- (2) Maekawa H. et. al. J. Fluid Mech. Vol. 235, (1992).