

# 傾斜円柱境界層遷移における進行波不安定性について

小 濱 泰 昭

## Traveling Disturbances Appearing in Yawed Cylinder Boundary Layer Transition

by

Yasuaki KOHAMA  
Tohoku University

### ABSTRACT

Unsteady disturbances with two different frequency  $f_1, f_2$  were detected in the boundary layer transition process on a yawed cylinder surface. Detailed velocity field measurement were performed using rotatable hot wire system. It was found out that high frequency ( $f_2$ ) disturbance seems to be streamwise inflectional instability appeared locally over each top of crossflow vortices, and drive the flow field directly to full turbulent state. Directions and phase velocities of these disturbances are measured and found out that high frequency disturbance ( $f_2$ ) is the secondary instability which was visualized by smoke previously.

**Keywords:** swept wing flow, 3-D boundary-layer transition, randomization process, traveling disturbance

### 1. はじめに

航空機主翼の後退翼は衝撃波の発生限界をおくらせて、高亜音速飛行を行うためにも必要であるが、他方、横流れ不安定性を誘発し、粘性抵抗を増大させる役割もしている。横流れ不安定性発生メカニズムには不明な点が多く残されており、従って境界層制御のめども立っていない。後退円柱は後退翼前縁まわりの流れを模擬するので、本実験においてはこの流れ場を詳細に測定することにより遷移のメカニズムを解明することを試みる。

### 2. 測定結果と考察

図1に熱線流速計により検出された速度信号を周波数分析した結果を示す。円柱直径は300mmであり、その他の流速条件は図中に示してある。

およそ  $f_1=1\text{kHz}$  と  $f_2=12\text{kHz}$  にピークを有する攪乱が存在していることが解る。Poll<sup>1)</sup>も1kHzと17.5kHzの2種類の進行波を検出しているが、その詳細については言及しておらず、不安定性の種類を含め、物理的なメカニズムは不明であった。一方、著者らの過去の煙による可視化写真<sup>2)</sup>には細かな構造を有する横流れ渦とは異なる不安定性が視認されており、これが著者らが主張する横流れ場における2次不安定<sup>3)</sup>ではないかと考えられていたが、これまでそれを裏付ける実験結果が得られていない。そこでここでは平行プローブを回転させ、 $f_1, f_2$ の発生位置、伝播(位相)速度、伝播方向を詳細に測定した。その結果、 $f_1$ は境界層底部に乱れ強さピークを有し、 $f_2$ は境界層外縁近くの、横流れ渦軸に近い位置に局所的に乱れ強さのピークを有していることが判明した。また、図2(a)~(c)に示すように、伝播方向は $f_1$ はほぼ

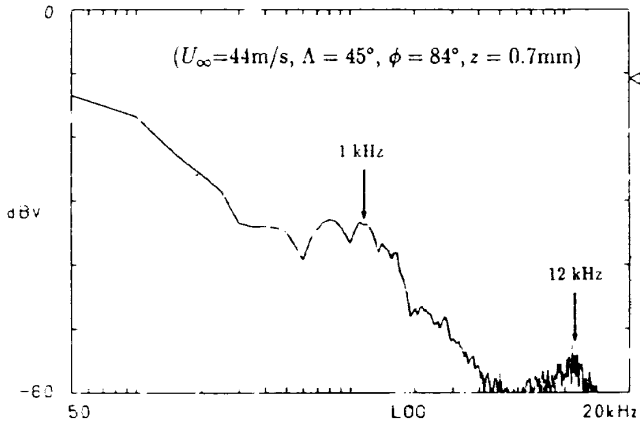
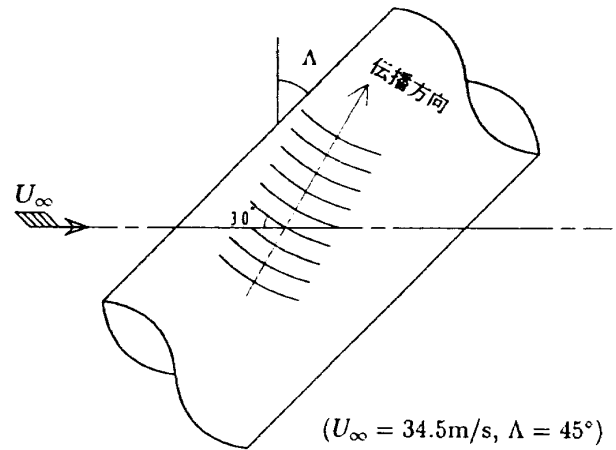


図1 熱線波形の周波数分析結果  
( $U_\infty = 44 \text{ m/s}$ ,  $\Lambda = 45^\circ$ ,  $\phi = 84^\circ$ ,  $Z = 0.7 \text{ mm}$ )

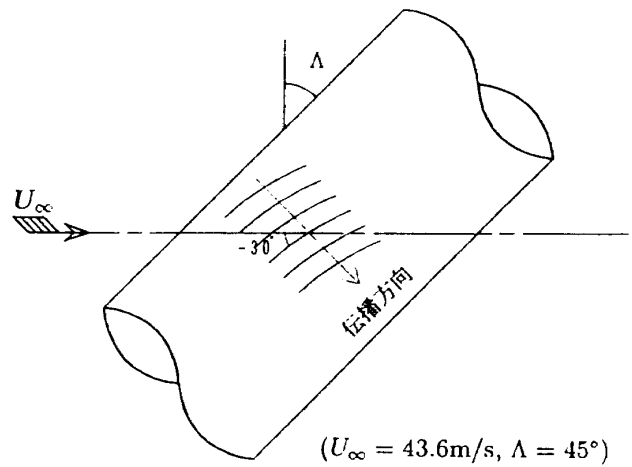
スパン方向に、 $f_2$  は主流に対しておよそ  $30^\circ$  の方向に伝播していることが判明した。又、 $f_2$  は、図(c)に示すように煙による可視化の結果とほぼ一致していることから、横流れ不安定場における2次不安定である可能性が強い。類似の2次不安定は回転円板<sup>4)</sup>、球<sup>5)</sup>そして後退翼<sup>6)</sup>にも検出されており、3次元境界層一般<sup>7),8)</sup>にも見いだすことができる。伝播速度は、 $f_1$  は  $2.4 \text{ m/s}$  ( $U_\infty = 34.5 \text{ m/s}$ )、 $f_2$  は  $18 \text{ m/s}$  ( $U_\infty = 43.6 \text{ m/s}$ ) であった。

### 3. おわりに

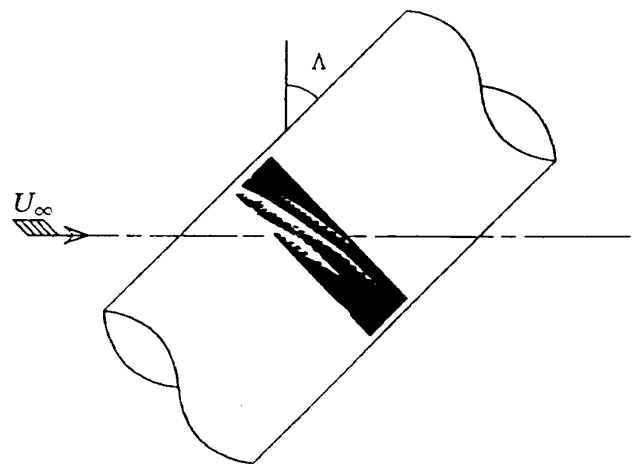
横流れ不安定場には、まだまだ不明な点が多い。本研究結果を発表した折り、根本的な質問が航技研の高木氏から出された。「本研究の題目の中の“進行波不安定性”とはどういう意味か？」というのである。横流れ渦(1次不安定)は壁面に固定して発生するのが常識と思っていたが、高木氏の測定では、固定している証拠は1つも出てきていないという。どのようなメカニズムが横流れ渦を壁に対して固定させる役割をしているのかが、3次元境界層の受容性とのかわり方で極めて重要であると思う。又、低周波の擾乱  $f_1$  の物理的構造も明らかになっていない。加えて、安定計算によれば、1次不安定として壁に固定した擾乱に先んじて位相速度を有する横流れ不安定性が発生するはずである。 $f_1$  はこれとは異なる位置に発生しているが、伝播方向は似ている。今のところ、どう頑張ってもその複雑な構造を想像することはできない。



(a) 低周波擾乱  $f_1$



(b) 高周波擾乱  $f_2$



(c) 2次不安定波の可視化<sup>2)</sup>

図2 進行波擾乱の伝播方向

### 参考文献

- 1) D. I. A. Poll : J. Fluid Mech., Vol.150 (1985), 329-356.

- 2) Y. Kohama, F. Ohta and K. Segawa :  
Laminar-Turbulent Transition, D. Arnal,  
R. Michel Eds., Springer-Verlag (1989),  
431-440.
- 3) Y. Kohama : Acta Mech., Vol.66 (1987),  
21-38.
- 4) Y. Kohama and R. Kobayashi : J. Fluid  
Mech., Vol.1371 (1983), 153-164.
- 5) Y. Kohama, W. S. Saric and J. H. Hoos :  
Proc. Boundary Layer Transition Control  
Conf. Cambridge, UK (1991), 4.1-4.13.
- 6) 伊藤 光 : 日本航空宇宙学会誌, 25巻, 283号  
(1977), 390-394.
- 7) S. Masuda and M. Matubara : Laminar-  
Turbulent Transition, D. Arnal, R. Michel  
Eds., Springer-Verlag (1989), 465-474.
- 8) R.Kobayashi, Y.Kohama and M. Kurosawa  
: J. Fluid Mech., Vol.127 (1983), 341-352.

