

# 横流れ不安定場の設計と制御

小 濱 泰 昭\*・小野寺 達 也\*

## Design and Control of Crossflow Instability Field

Yasuaki KOHAMA and Tatsuya ONODERA  
Institute of Fluid Science,  
Tohoku University

In order to control crossflow dominant boundary layers, experimental model, which is composed from yawed flat plate with displacement body, is designed and transition process is measured in detail. Results showed that complicated flow structure which is quite similar to that of swept wing boundary layer flow is measured on the yawed flat plate. Stationary crossflow vortices, primary unsteady crossflow instability, high frequency secondary mode are also measured. From these results, it can be said that newly designed experimental model provides us almost same crossflow instability field as a swept wing. Control of crossflow instability field will be performed in the future by applying distributed suction on a yawed flat plate boundary layer.

**Keywords :** three-dimensional boundary-layer transition, flow design, active control, delay of transition

### 1. まえがき

三次元境界層の遷移プロセスの解明や層流制御を行う上で問題になることに、同じレイノルズ数でも境界層が薄く流速が速いこと、翼表面が強い曲率を有し流れに対して傾斜していること等があげられる。これらの諸制約を除去することが出来れば現象の解明が進み、実機の層流制御技術の進歩を大幅に促進させることが可能となる。

Saric, Yeates<sup>(1)</sup> は平板と圧力印加物体との組み合わせに後退角を付けて風洞に設置することにより、平板上に後退翼と同様な横流れ不安定場を作り出すことに成功している。しかし、横流れ不安定性により境界層が完全に乱流遷移するには圧力勾配の強さが不十分であったために、完全乱流までのプロセスを観測出来ていない。後に Bippes ら<sup>(2)</sup> も同様の考え方で類似のモデルを製作し、風洞の開放型測定部に設置して測定を行っている。Bippes らの場合には測定対象が遷移初期の現象であったせいも

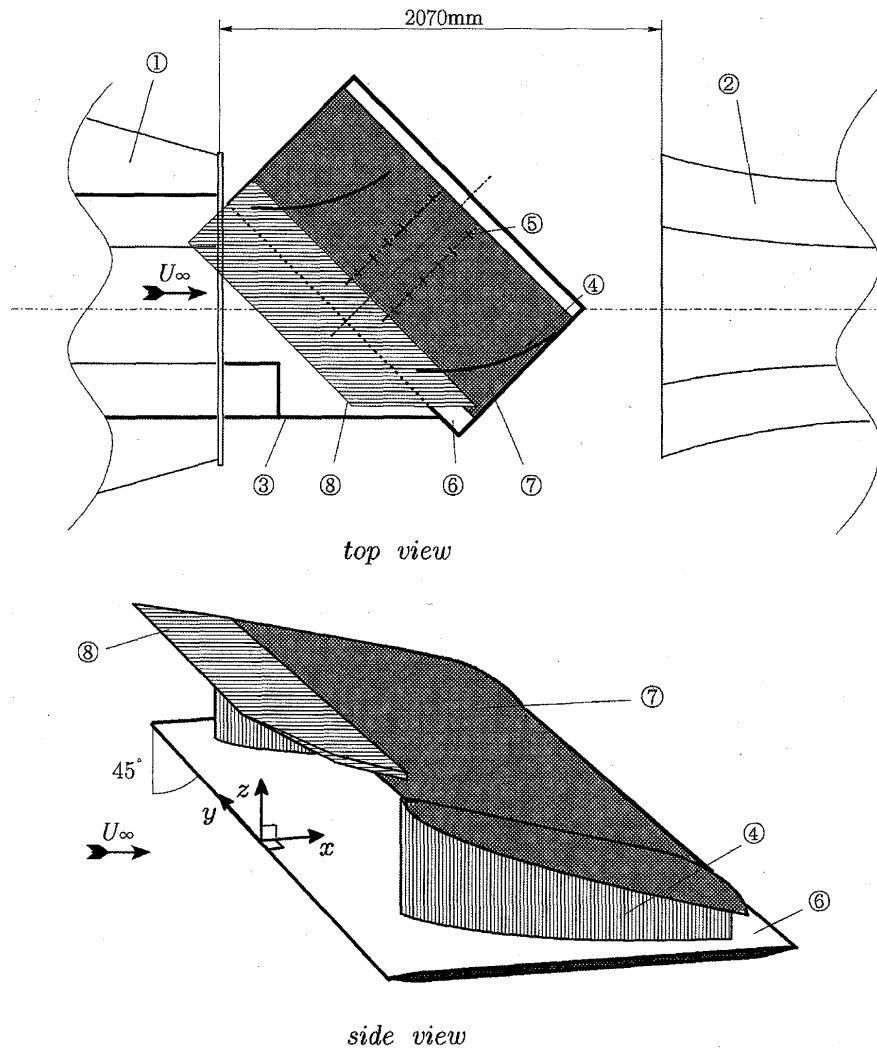
あり、完全乱流に至るプロセスで重要と思われる二次不安定の発生、完全乱流への遷移プロセスなどは確認されていない。

そこで我々は、横流れ不安定場を最終的には制御して層流化することを念頭に、類似のモデルを製作し、完全乱流に至る横流れ不安定場を再現出来る流れ場を設計することを試みている。すなわち、後退角  $\Lambda$  を  $45^\circ$  に固定して横流れ不安定性のみを純粹培養し、パラメータとして風速  $U_\infty$ 、境界層厚さ  $\delta$ 、圧力勾配  $C_p$  を任意に動かし、完全乱流まで遷移させてその遷移プロセスを詳細に測定している。

### 2. 実験結果と考察

実験には東北大学流体科学研究所、低乱風洞を開放型にして使用し、コンピュータ制御されたトラバース装置に熱線流速計を取り付けて測定を行っている。実験装置の概要を図 1 (a), (b) に示す。圧力分布は (b) 図に示

\* 東北大学流体科学研究所



- ① contraction nozzle    ② collector    ③ extended nozzle    ④ side plate
- ⑤ pressure taps    ⑥ flatplate    ⑦ displacement body
- ⑧ separation prevent body

図1 (a) 実験装置概略図

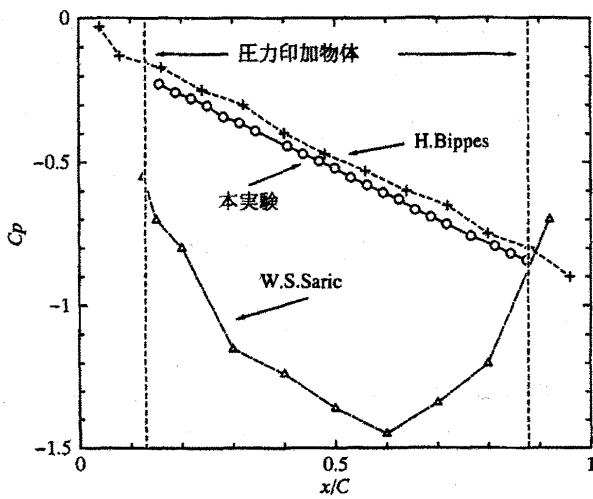


図1 (b) 圧力分布

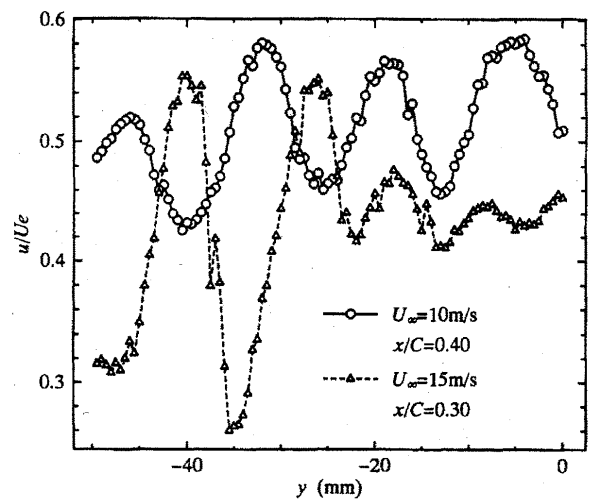


図2 スパン方向の速度分布  
( $z/\delta = 0.25$ )

す通り、ほとんど *Bippes* らのものと一致している。しかし、境界層厚さと風速は我々の方が大きく変化させられ

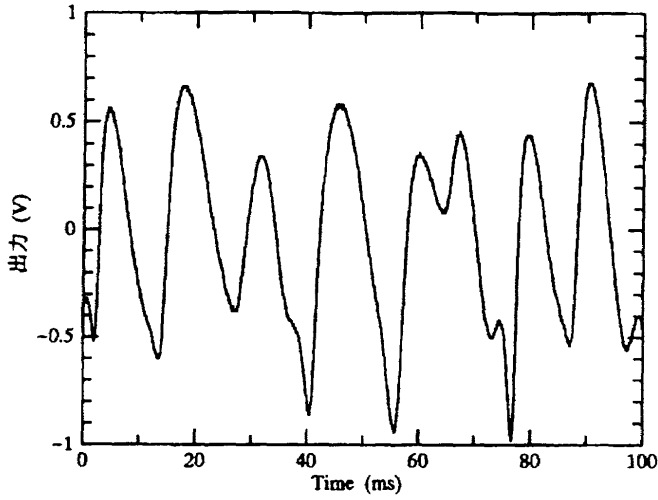


図3 (a) 時間信号波形  
( $U_\infty = 10 \text{ m/s}$ ,  $x/C = 0.40$ ,  $z/\delta = 0.2$ )

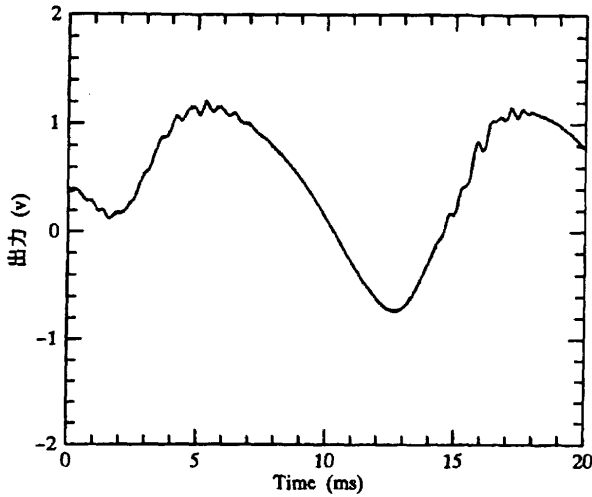


図3 (b) 時間信号波形  
( $U_\infty = 15 \text{ m/s}$ ,  $x/C = 0.42$ )

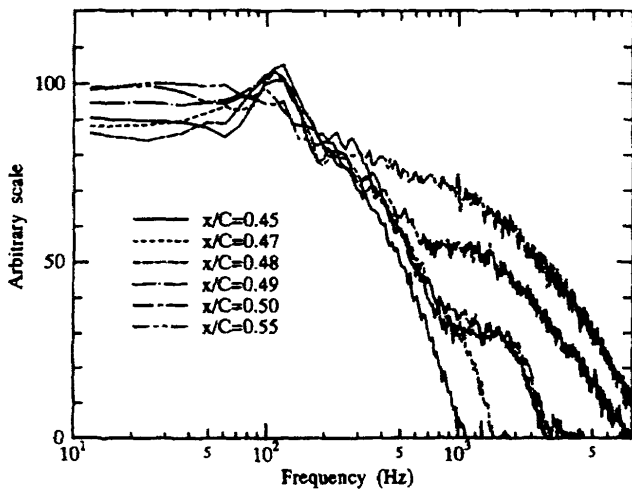


図4 周波数分析  
( $U_\infty = 15 \text{ m/s}$ ,  $z/\delta = 0.25$ , 遷移点付近)

るので、レイノルズ数範囲は大きく、従って  $x/C = 0.7$  位置で完全乱流に移行している。図2にスパン方向の速度分布を示す。サイン波状の周期的な変動が発生しており、壁に固定して発生する横流れ渦の存在を示している。横流れ渦の波長は境界層厚さの4~4.2倍の範囲にあり、*Arnal* ら<sup>(3)</sup>の測定結果と一致している。図3 (a), (b) は  $x/C = 0.4, 0.42$  に熱線を挿入した場合に得られる時間変動波形であり、低周波と高周波の非定常攪乱が発生していることを示している。遷移末期に得られた波形を周波数分析したものが図4である。下流に行くに従い、高周波成分の成長が著しく、一方、低周波成分はほぼ飽和状態にあることがわかる。図5 (a), (b) にメッシュ計測により得られた速度と乱れ強さの等高線図を示す。下流に進むに従って隣同士同じ方向に回転する構造の横流れ渦が発達し、部分的にはその渦の大きさが境界層厚さを超えて成長する様子が見られる。又、図で示していないが低周波の非定常攪乱の発生位置は渦の巻き込む根元、壁近くに在り、一方高周波のそれは、渦の巻き上がる上方、境界層外縁近くに在ることも判明している。これらはいずれも後退円柱<sup>(4)</sup>、後退翼<sup>(5)</sup>の場合とよく一致している。

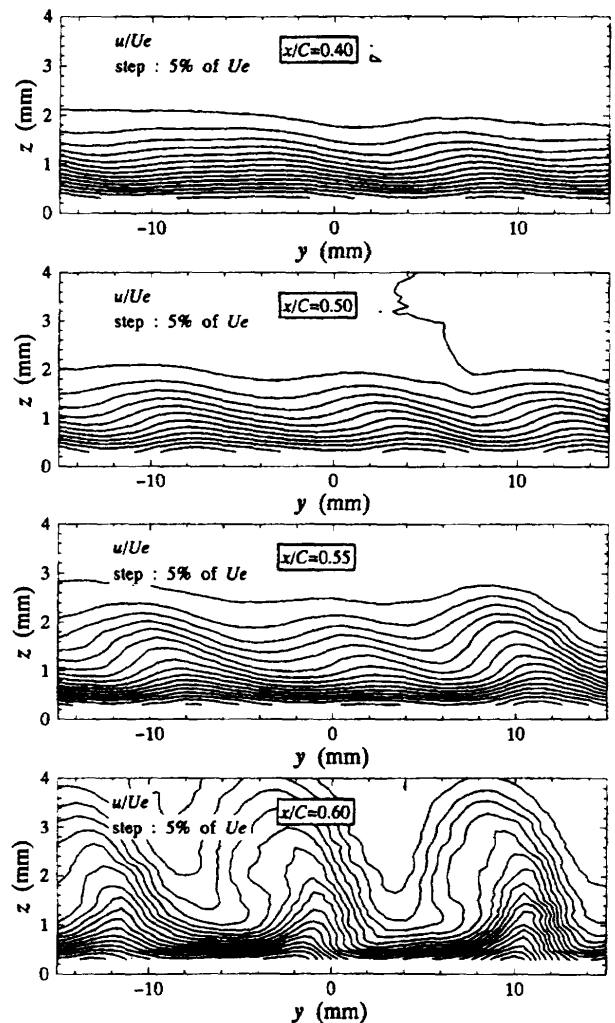


図5 (a) 等速度分布 ( $U_\infty = 15 \text{ m/s}$ )

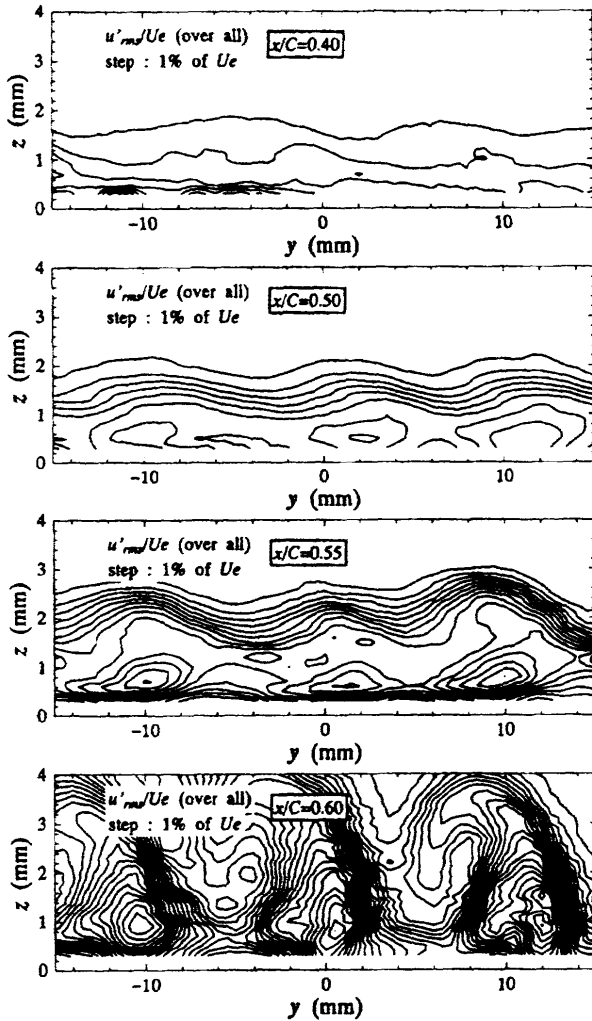


図5 (b) 等乱れ強さ分布 ( $U_{\infty} = 15 \text{ m/s}$ )

### 3. まとめ

以上新たに製作された横流れ不安定場を発生させる実験モデルは、後退翼の流れ場をほぼ忠実に再現しており、

最適な流れ場を設計することが出来たといえる。この流れ場には定常、非定常低周波・高周波攪乱が検出され、完全乱流まで遷移していることが確かめられている。発生する横流れ渦の波長は  $\lambda/\delta \cong 4.1$  であり、又高周波攪乱の周波数は  $U^{3/2}$  にほぼ比例することが確認された。

今後この流れ場に様々な制御を試みる予定である。

### 文献

- 1) Saric, W. S., Yeates, L. G. : Generation of Cross-flow Vortices in a Three-Dimensional Flat-Plate Flow, Laminar-Turbulent Transition, ed. V. V. Kozlov, Springer-Verlag (1984), 429-437.
- 2) Müller, B., Bippes, H. : Experimental Study of Instability Models in a Three-Dimensional Boundary Layer, AGARD Conf. Proc. No. 434 (1988), 13. 1-13. 15.
- 3) Michel, R., Arnal, D., Coustols, E. and Juillen, J. C. : Experimental and Theoretical Studies of Boundary-Layer Transition on a Swept Infinite Wing, Laminar-Turbulent Transition, ed. V. V. Kozlov, Springer-Verlag (1994), 553-561.
- 4) Kohama, Y., Motegi, D. : Traveling Disturbance Appearing in a Yawed Cylinder Boundary-Layer Transition, Intern. J. Exp. and Therm. and Fluid Sci. 8 (1994), 273-278.
- 5) Kohama, Y., Kodashima, Y. Watanabe, H. : Randomization Process in Crossflow-Instability Dominant Three-Dimensional Boundary-Layer Transition, Laminar-Turbulent Transition, ed. R. Kobayashi, Springer-Verlag (1995), 455-462.