

# 凹曲面に沿う馬蹄形渦崩壊過程の可視化

伊 藤 光\* 稲 山 行 介\*

## Flow Visualization on Process of Breakdown of Horseshoe-type Vortices Along a Concave Wall

Akira ITO and Kousuke INAYAMA

School of Science and Technology, Meiji University

### ABSTRACT

The breakdown process of the horseshoe-type vortices along a concave wall in radius of 1 m was visualized using smoke-wire method. The experiments were carried out under airflow velocity of 1.6 m/s and Görtler parameter of about 40. The behaviour of the vortices was taken using new moving smoke-wire method with Strobe vision scope. Furthermore, the mean velocity, turbulent intensity and velocity gradient were also measured, and these distributions were compared with the behaviour of the vortices.

**Key Words:** Horseshoe type vortices, Breakdown, Boundary layer transition, Smoke-wire method

### 1. はじめに

凹曲面に沿う境界層内には後流に進むにつれて、一对の Görtler 渦にまたがるように高周波の馬蹄形渦が生成される。この馬蹄形渦の挙動により、層流から乱流への境界層の遷移が促進される<sup>1), 2), 3)</sup>。その渦がどのような過程で崩壊するかを検討するために、煙による可視化と同時に熱線流速計による流速や乱れ度の分布を測定した。筆者らの研究室では、これまでに凹曲面の曲率半径  $r$  が 1 m の観測筒で、主流速  $u_0 = 2.5$  m/s の条件を中心に実験を進めてきた。本実験ではやや大型の観測筒を試作し、 $u_0 = 1.6$  m/s として大規模に発達した馬蹄形渦によって崩壊の進む模様を可視化することにした。実験は凹曲面板前縁からの距離  $x = 1500$  mm から 2300 mm における馬蹄形渦を主に観測したが、その間の Görtler パラメータ  $Gö = u_0 \theta / \nu \cdot \sqrt{\theta/r}$  の実験値は 40 ないし 50 程度となる。 $\theta$  は境界層の運動量厚さ、 $\nu$  は空気の動粘性係数である。

### 2. 馬蹄形渦の可視化と測定

図 1 は実験装置の配置図で、高さ 400 mm、幅 400 mm の風洞吹口に、高さ 300 mm、幅 400 mm、長さ 2500 mm の凹曲面観測筒を装置した。風洞吹口における主流速は一様で、乱れ度は  $u_0 = 1.6$  m/s のとき 0.38 % である。まず凹曲面に沿う境界層内に生成する馬蹄形渦の挙動をみるために、 $x = 800$  mm 位置の壁面に煙供給ノズルを置き、煙の動きをストロボ光で写した。図 2 のように  $x = 1100$  mm での Görtler 渦の平均波長  $\lambda$  は約 30 mm で、35 Hz の周期性を持つ馬蹄形渦が発生している。 $x = 1400$  mm 近くからはその渦の外形が崩れはじめ、 $x = 1800$  mm より後流では渦が消滅に向うようにみえる。

上の区間における馬蹄形渦の  $xy$  面内の構造をみるために、スモーク・ワイヤ法で、ストロボ・ビジョン・スコープにより連続的な渦の挙動を撮影した。このために一つの試みとして、図 3 に示す連続発煙式スモーク・ワイヤ法(仮称)を考案した。図のように筒内部の  $y$  方向にワイヤを張り、油を塗付しながらそのワイヤを巻取る。ワイヤに通電していると、煙が連続的に発生可能となる仕組みである。図 4 は  $x = 1300, 1800$  mm にそれぞれ上述のスモーク・ワイ

\* 明治大学理工学部

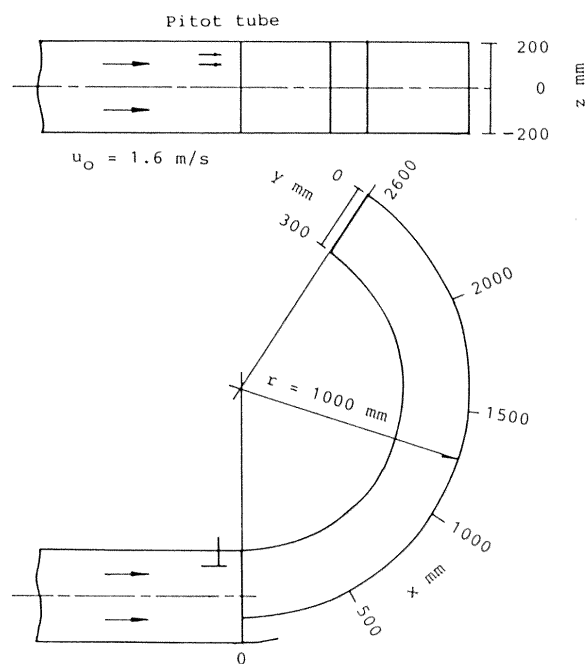


図1 実験装置

ヤを取付け、ストロボ・ビジョン・スコープで写した馬蹄形渦の挙動の1コマである。 $x=1500 \text{ mm}$ では35 Hzの明瞭な渦が、 $x=2000 \text{ mm}$ になると渦の規模が増すと同時に、前後の波状的の渦が重なり合うようにみえてくる。その渦中心が移動してゆく壁面から $y=40 \text{ mm}$ では、乱れ度 $\sqrt{u'^2}/u_0$ が4%程度を保っている。境界層の形状係数は1.2程度である。

図5には、各 $x$ 位置における $yz$ 面内での(a)流速 $u/u_0$ 、(b)乱れ度 $\sqrt{u'^2}/u_0$ 、(c)速度勾配 $du/dy$ の等分布曲線を比較した。馬蹄形渦のある位置はキノコ状の $u/u_0$ 低速域に対応するが、 $x$ の増加に伴って $u/u_0$ の平均化が進み、乱れ度の高い範囲も広がる。それと同時に $du/dy$ の大きな流域も拡大してゆき、境界層内全体が乱流域を構成するようになる。壁面近くの馬蹄形渦下部には、乱れ度が10%を越す揺らぎのある流れが存在している。

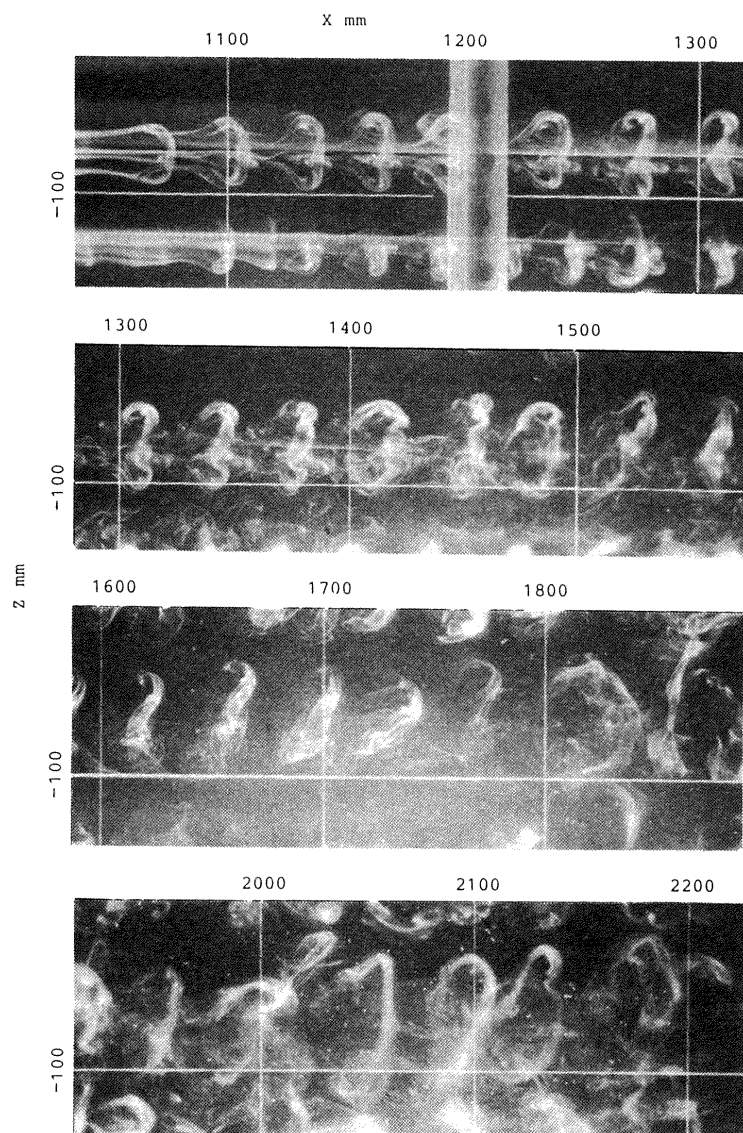


図2 馬蹄形渦崩壊の過程

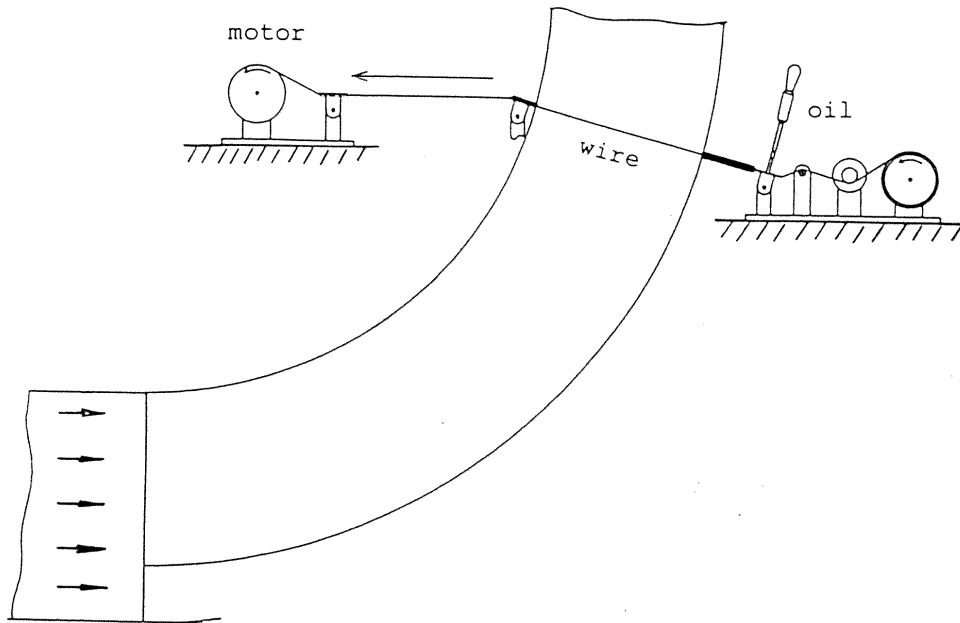


図3 連続発煙式スモーク・ワイヤ装置

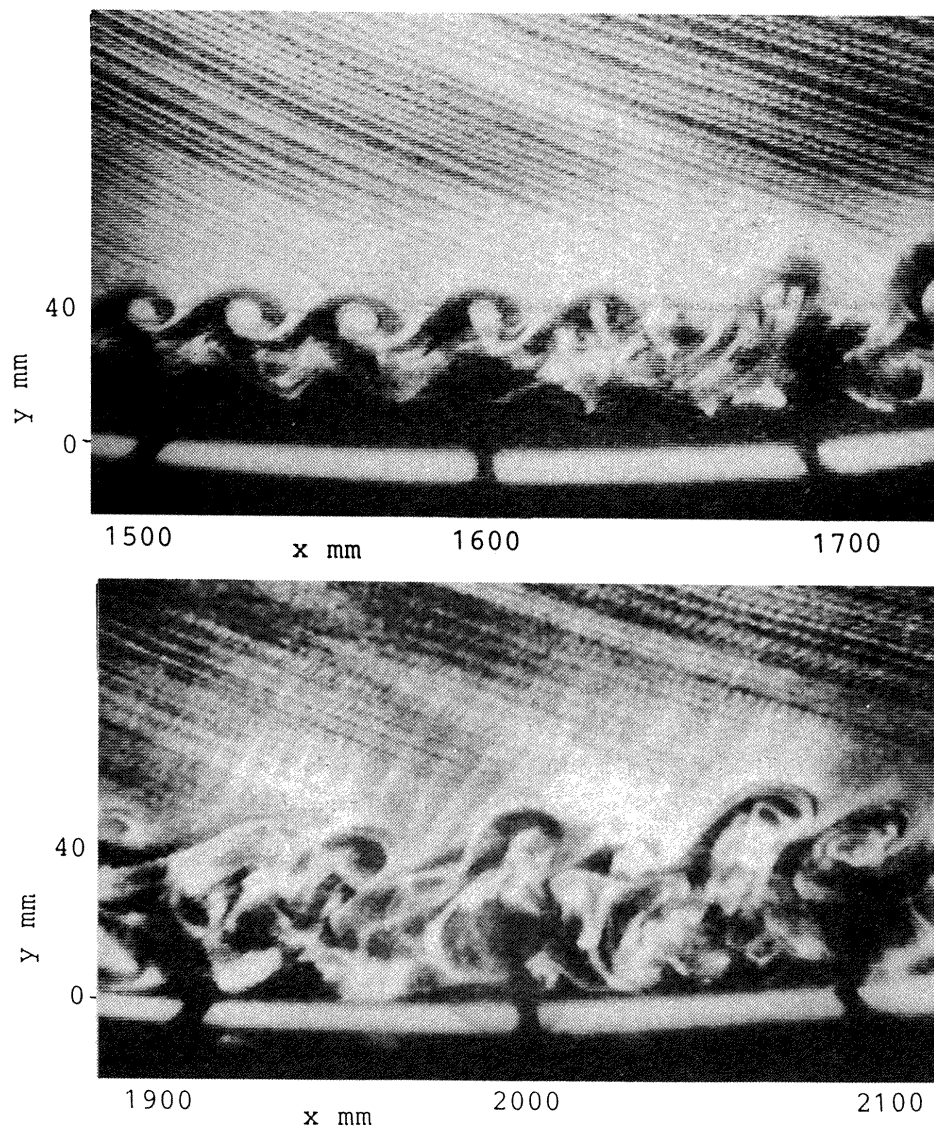
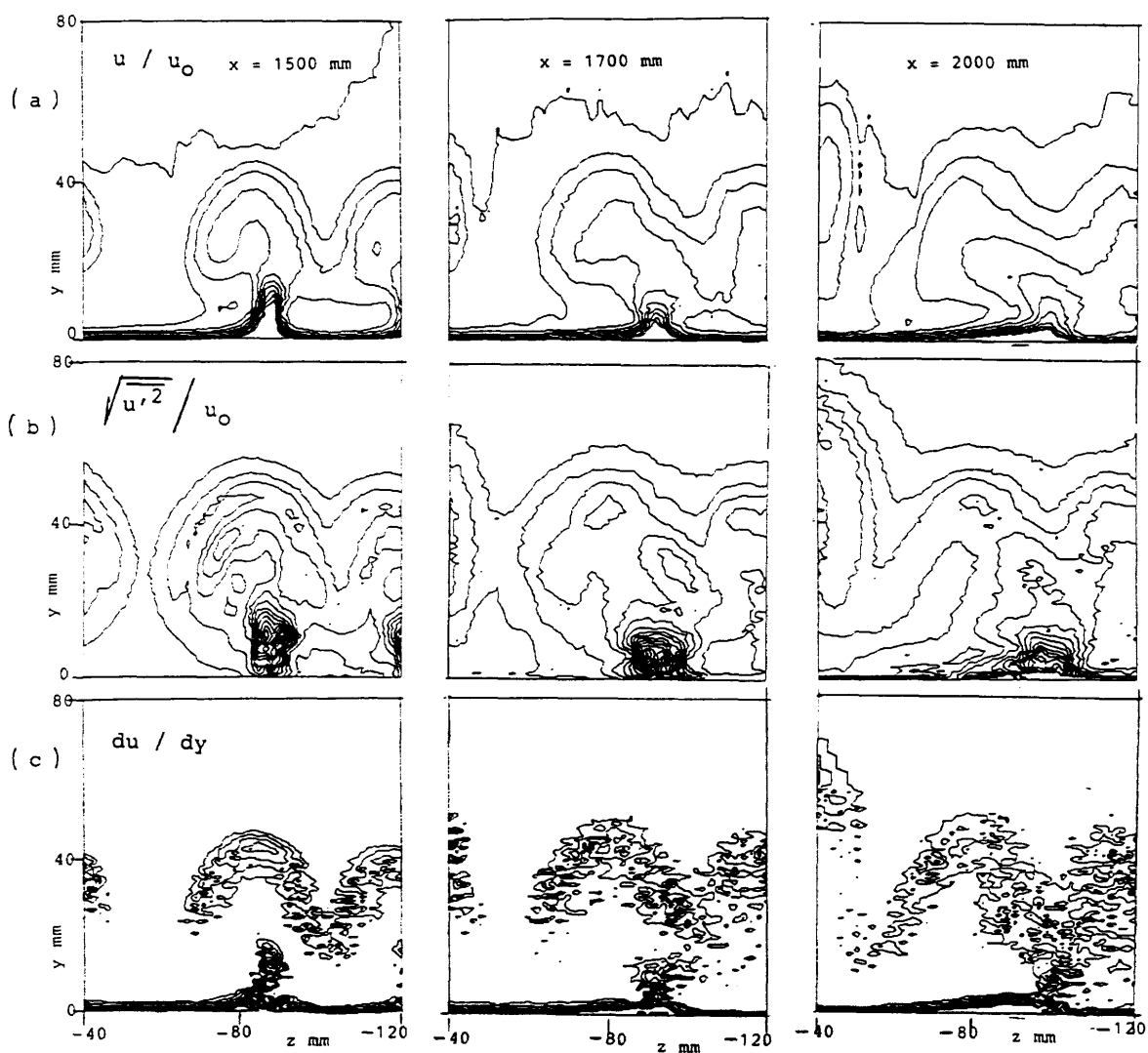


図4 馬蹄形渦の挙動

図5 各  $x$  位置における等分布曲線の比較

### 3. む す び

馬蹄形渦の崩壊の様態について、主にスモーク・ワイヤ法で可視化し、加えて熱線流速計でその概要を測定した。このような崩壊についての詳しい実験を進める上で、煙の可視化法をさらに工夫する必要がある。例えば、連続発煙式スモーク・ワイヤ法（仮称）についても、主流速度とワイヤの巻取り速度との関連や、主流に対するワイヤの傾きなども検討し、実用性を高めたい。

### 文 献

- 1) 伊藤 光：凹曲面に沿う縦渦崩壊の構造，日本航空宇宙学会誌，33巻，374号，(1985)，166-173.
- 2) Akira, ITO: Visualization of Boundary Layer Transition along a Concave Wall, Proc. 4th Int. Symp. Flow Visualization (Paris), Hemisphere, (1986), 339-344.
- 3) Floryan, J.M.: On the Görtler Instability of Boundary Layers, Prog. Aerospace Sci., Vol. 28, (1991), 235-271.