

# 実在流体の流れに及ぼす粘性の影響 (渦輪および回転円柱の場合)

松井辰彌（岐阜大）

The effect of viscosity on the flow of real fluids  
(The cases of vortex rings and of a rotating cylinder)

T. Matsui (Gifu University)

## ABSTRACT

For some time it was believed that in a pair of vortex rings successively ejected in a real fluid, the second one could not pass through the first one due to viscosity. But it was due to the smallness of Reynolds number, not to the viscosity, that the passing-through was unsuccessful. Next, in a uniform flow passing a rotating circular cylinder, viscous effects appear in the boundary layer of the cylinder and in the wake of the cylinder. In the boundary layer, vortices of the same kind as Taylor vortices could be observed. In the flow outside the boundary layer near the front stagnation point, longitudinal vortices of the same type as Görtler vortices were observed depending on the curvature of streamlines. The periodicity in the direction of the cylinder axis in Karman vortex street in the wake is due to the Taylor vortices left in the separated boundary layer.

Key Words: vortex ring, boundary layer, wake, Taylor vortex, Karman vortex street, Görtler vortex.

## A. 渦輪の場合

### 1. 序論

1970年代初期に大島の実験では、水を使って相次いで放出された二つの渦輪が、理想流体の場合のように相互の追い抜きを行わず、絡みあって一つの渦輪になった。同じ条件で粘性項を含むNavier-Stokesの方程式の数値解を求めた神部の計算結果は大島の実験結果を良く表しわした。<sup>1)</sup> そのため講演当日の会場では、相次いで放出された二つの

同一特性の渦輪は流体に粘性がある場合には、相互追抜きをしないで、一つの渦輪になると思われた。そこで、山田は、松井の計画で、空気中で同様な条件で円形オリフィスから相次いで放出された二つの渦輪の追い抜きの実験を行い、渦輪の速度、直径の時間的変化などが理想流体の計算と良く一致することを示した<sup>2)</sup>。

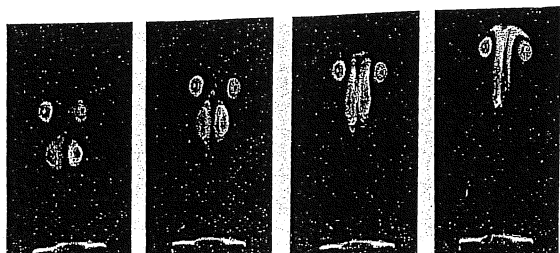


図1 大島の実験<sup>1)</sup>

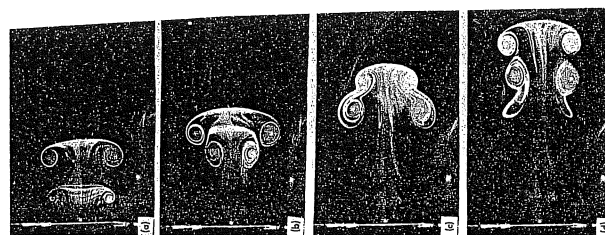


図2 山田・松井の実験<sup>2)</sup>

## 2. 二研究の相違

大島の実験では、オリフィスの直径3 cm以下、噴流速度2.4 cm/s以下、 $Re$ 数300以下で噴流出口の流れは剪断流となって、形成された渦輪の全断面に渦度が分布していて、渦輪軸の周りには渦度が0のポテンシャル流は殆ど残されていない。オリフィス断面も噴流速度も小で渦の循環も小となるから、第二渦輪の誘導速度による第一渦輪の拡大も小程度に過ぎない。従って第二の渦輪が通過すべき十分な面積のポテンシャル流は第一渦輪の軸周りには存在しない。従って第二渦輪が第一渦輪の内部を通過することはできない。山田の実験は、 $Re$ 数が1600で、オリフィス出口で円形噴流の周辺の円筒形の薄い剪断層のみが渦を形成し、渦輪軸周りに渦度0の広いポテンシャル流の領域が残される。この場合、渦度のある剪断層の幅は小だが、直径が大であるので渦の循環は大となる。従って、第二渦輪の誘導速度で拡大して速度が小となった第一渦輪の内部を、縮小して速度が大となった第二渦輪が通過することになる。

## 3. 結論

非圧縮粘性流体で、相次いで放出された二つの渦輪の追い抜き現象の考察によって、粘性効果が現れるのは、流れの全域ではなくて渦度場に限り、 $Re$ 数が大であれば渦度場は小となることが示された。従って二つの渦輪の追い抜きの可否は、粘性の有無ではなくて、 $Re$ 数の大小に依る。

## B. 回転円柱の場合

### 1. 序論

一様流の中で円柱が回転している場合、渦度があるのは円柱の表面の境界層と伴流の中だけである。一様流速度と円柱直径による $Re$ 数が $10^2 \sim 10^3$ 程度の場合、円柱の伴流にKarman渦列が構成されるが、回転円柱の場合、回転による円柱表面の境界層の発生とその影響が問題である。

### 2. 円柱表面の境界層と伴流

水槽中の流れを直径50 $\mu$ の白金線による水素気泡法で可視化した写真について考察する。円柱直径は10mm、流速は約3 cm/s、 $Re$ 数は約230の程度であった。伴流の円柱軸に垂直な断面にKarman渦列が見られる。回転による円柱表面の速度が一様流

の速度の2倍以上の場合、白金線を円柱表面の近傍に置くと図3が得られる。<sup>3)</sup>これは円柱と共に回転

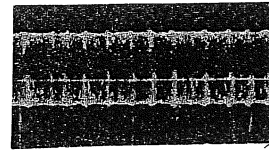


図3 回転円柱境界層内の渦

する境界層内の流れであって、回転二重円筒の隙間に現れるTaylor渦と同種の渦であると思われる。この円柱表面に接着した境界層の内層は常に円柱と共に回転しているが、外層はある点で剥離して剥離渦を作って、それが放出されて伴流にKarman渦列を形成する。この渦列のある伴流の水平面上から見下ろした写真が図4<sup>3)</sup>である。

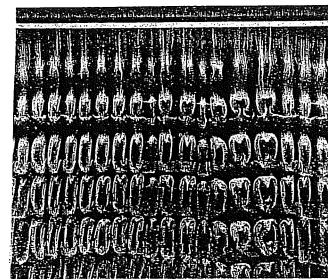


図4. 回転円柱の伴流（流れは上下方向）

流れ方向の周期性はKarman渦列によるもので、円柱軸方向の周期性はTaylor渦によるものと思われる。

## C. 総括

非圧縮粘性流体の運動に於いて、粘性の影響は渦度領域内に現れ、その広さは $Re$ 数に反比例する。一對の渦輪の相互追い抜きの可否は $Re$ 数の大きさによる。回転円柱を過ぎる一様流の渦度領域は円柱表面の境界層と伴流とである。境界層内にはTaylor渦があり、伴流のKarman渦列もその影響で渦軸方向に顕著な周期性を示す。境界層外層の剥離条件は明らかでない。

## 参考文献

- 1) Y. Oshima, T. Kambe, and S. Asaka: Phys. Soc. Japan 38 (1975) pp. 1158-1166.
- 2) H. Yamada, and T. Matsui: Phys. Fluids 21, (1978) p. 292-294.
- 3) T. Matsui Proc. of EUROMECH 90 at NANCY (1977) VI. b 2.