

# 回転円柱近傍にある静止円柱に作用する流体力の特 性 第 1 報

Characteristics of Fluid-dynamic Forces Acting on a Stationary Circular Cylinder

Near a Rotating Circular Cylinder, 1st Report

—履歴現象—

—Hysteresis—

佐藤 良\*・石原 智男\*・小林 敏雄\*・佐賀 徹雄\*

Ryo SATOH, Tomo-o ISHIHARA, Toshio KOBAYASHI and Tetsuo SAGA

## 1. ま え が き

壁の近傍を物体が高速で通過するとき物体は壁の影響を受ける。特に物体と壁とが近接している場合には流れの安定性が物体に作用する流体力の特性に著しい影響を与えらると思われ。本研究はこのような問題に関連して流れに直角に配置された 2 本の平行円柱の一方を回転させた場合に他方の静止円柱に作用する流体力の特性的変化を実験的に考察したものである。また従来、一様流中の同径あるいは異径の静止 2 円柱まわりの流れの研究が行なわれているが、本研究を進展させることによりこれらの流れの安定性に及ぼす回転の影響を知ることでもできる。本研究の結果、主流速度、回転円柱回転数および 2 円柱の間隔の変化によって 2 円柱まわりのフローパターンが不連続的に変化し、同時に静止円柱に作用する流体力も不連続的に変化すること、およびこの変化過程に履歴現象が存在することを見出した。

## 2. 実験装置・実験方法

一様流中に図 1 に示すように 2 個の異径円柱を接近させて配置し、その一方を円柱中心軸まわりに回転させたとき静止円柱に作用する流体力を測定した。一様流はゲッチングン型風洞によって与え、静止円柱に作用する流体力は円柱両端にとりつけた磷青銅の薄い板バネ（幅 4 mm, 有効長さ 40 mm, 厚さ 0.5 mm, 1 mm）に貼布した抵抗線ひずみゲージを用いて測定した。静止円柱は

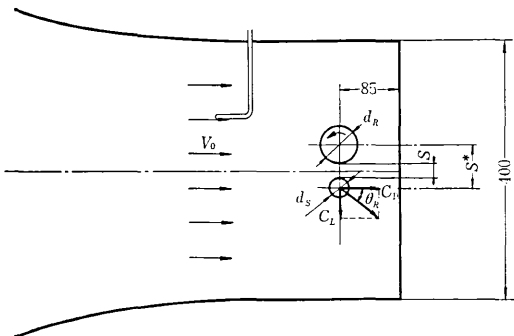


図 1 円柱配置

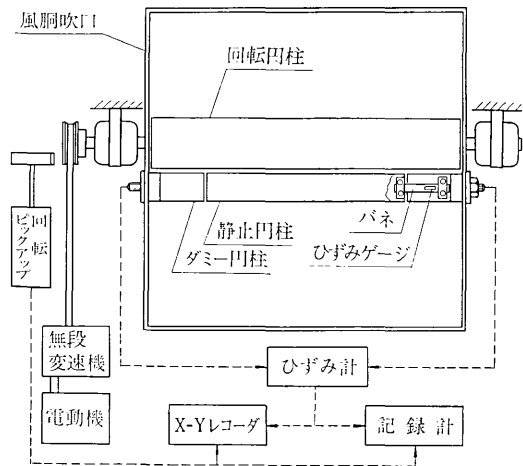


図 2 装置概略図

表 1 記号と諸元

$d_R$ : 回転円柱直径, 58 mm	$d_S$ : 静止円柱直径, 29 mm
$d_m$ : 平均直径, $(d_R + d_S)/2$	$l$ : 静止円柱長さ, 260 mm
$S$ : 円柱間隔, 2.5~19.5 mm	} 可変
$S^*$ : 円柱軸間距離, $S + d_m$	
$V_0$ : 主流代表速度, 9~30 m/sec	
$n$ : 回転数, -4720~+4720 rpm	
$C_D$ : 抗力係数, $D/(1/2\rho V_0^2 d_S l)$	$C_L$ : 揚力係数, $L/(1/2\rho V_0^2 d_S l)$
$Re$ : レイノルズ数, $V_0 d_S / \nu$	$Re_R$ : レイノルズ数, $V_0 d_R / \nu$
$Ren$ : 回転レイノルズ数 $\pi d_R^2 n / \nu$	
(添字 cr は臨界値を示す)	

ゲッチングン型風洞諸元 最大風速 36 m/sec 風速連続可変, 縮流比 4, 最大乱れ 0.2%  
吹口 400mm×400mm, 電動機 5.5kW

動的応答性を良くするため軽量に作られており（ジュラルミン製、直径 29 mm, 肉厚 0.5 mm, 長さ 260 mm の中空円筒でバネを加えた重量 43 g）, また風洞壁の影響を少なくするため静止円柱の両端にはダミー円柱が置かれている。実験は 2 円柱間隔, 主流速度, 回転数を変化させ、揚力、抗力を測定しフローパターンを観察した。揚・抗力は抵抗線ひずみゲージの出力を直読するとともに電磁オシログラフや X-Y レコーダによって回転数による揚・抗力の変化過程を記録している（図 2）。

\* 東京大学生技術研究所 第 2 部

研究速報

実験の諸元および主な記号を表 1 に示す。

3. フローパターンの急変と履歴現象

両円柱をある程度接近させて配置し  $V_0$  を一定に保ちながら  $n$  を変化させると両円柱まわりのフローパターンが不連続的に変化し、静止円柱に作用する流体力も急変する現象が見出された。図 3 は  $S=12.6 \text{ mm}$ ,  $V_0 \approx 10 \text{ m/s}$  を一定に保ち  $n$  をゆっくり変化させたときの抗力の変化過程を  $X-Y$  レコーダで記録したものである。回転円柱の回転数を静止状態から (+) 方向に増していくと  $(n_1)_{cr} = 1680 \text{ rpm}$  で抗力の急減が観察される。この後  $n$  を増加させても抗力の変化はほとんど観察されない。次に  $n$  を減少させていくと  $(n_1)_{cr}$  よりも小さな回転数  $(n_2)_{cr} = 850 \text{ rpm}$  で抗力は急増し以前の値にもどる。この後  $n$  を減少させさらに (-) 方向回転を与えても抗力に大きな変化はみられない。この抗力の急変する臨界回転数  $(n)_{cr}$  の再現性はよく、揚力の場合も同じ結果が得られる。図 3 に示す履歴現象は層流→乱流の遷移に現われる履歴現象と同質のものであると考えられる。すなわち  $S^*/d_m = 1.29 (S=12.6 \text{ mm})$  のように両円柱の間隔がある程度広いときには円柱の大小関係・位置関係によって回転円柱は単独円柱に近い挙動をし静止円柱は回転円柱の影響を受ける。従って  $V_0$  がある値以下では回転円柱まわりの境界層は層流剥離をし、その wake が静止円柱

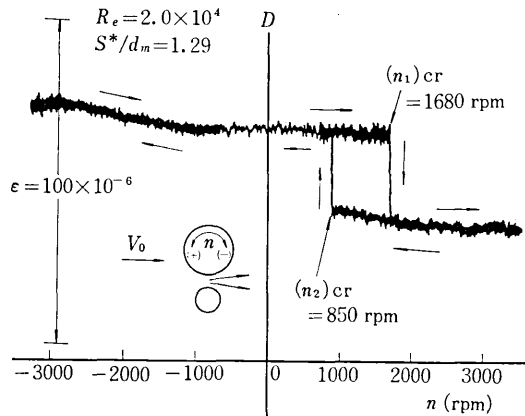


図 3 抗力の履歴現象

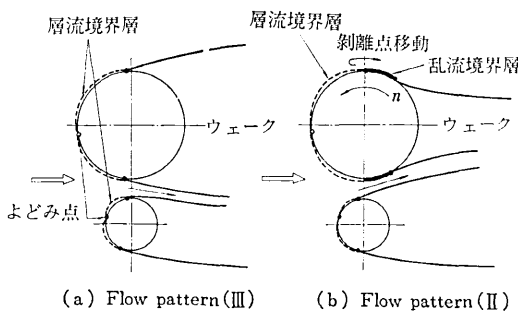


図 4 2 円柱まわりのフローパターン ( $S^*/d_m = 1.29$ )

の wake に影響を与え円柱まわりの流れは図 4 (a) に示すように 2 円柱間において静止円柱側に偏向した流れをもつフローパターン (III) となる。ところが (+) 方向の回転を増すと静止円柱と反対側の回転円柱表面上で  $V_0$  と回転周速度との相対速度が増加し、相対レイノルズ数が臨界レイノルズ数を超えると乱流剥離に変わる。このとき単独回転円柱の研究で確かめられているように<sup>1)2)</sup>、それまで  $n$  とともに回転方向に移動していた剥離点が突然後方に移動し同時に wake の幅が減少する。この影響を受けて図 4 (b) に示すような回転円柱側に偏向した流れをもつフローパターン (II) が形成されるものと思われる。フローパターンが急変する  $(n)_{cr}$  は  $S$  が一定でも  $V_0$  によって異なる。図 5 に  $(Re_n)_{cr}$  と  $Re_R$  との関係を示す。  $Re_R$  が約  $8 \times 10^4$  に達するまでは両者の比はほぼ一定であるがそれ以上の  $Re_R$  になると  $(Re_n)_{cr}$  は約  $4.5 \times 10^4$  に漸近する傾向にある。この傾向は単独回転円柱の場合の傾向とよく似ている。

4. 流体力の特性とフローパターン

流れに直角に置かれた静止同径 2 円柱の場合に  $V_0$  と  $S$  によって数種のフローパターンが存在することを報告

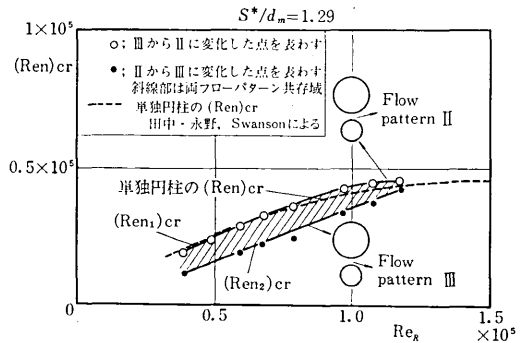


図 5 臨界レイノルズ数

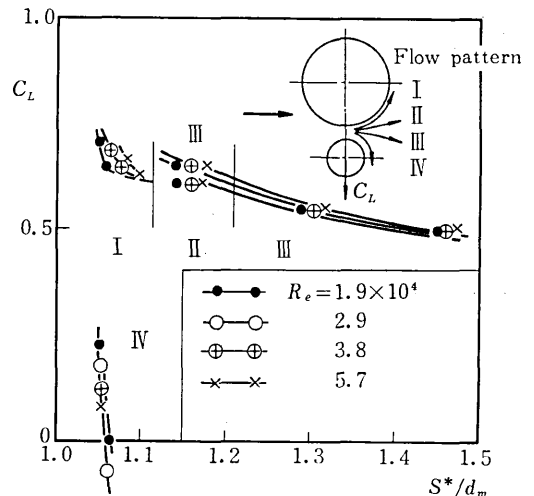


図 6 フローパターンと揚力係数

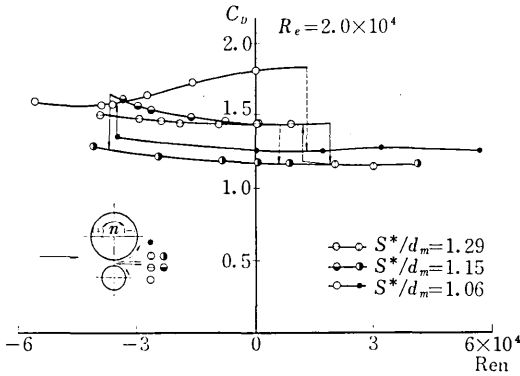


図 7 抗力係数の特性

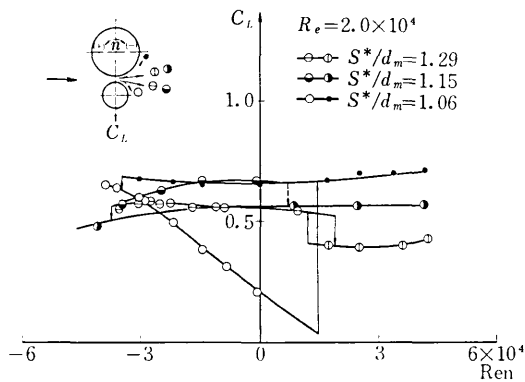


図 8 揚力係数の特性

	$S^*/d_m=1.45, 1.29$	$S^*/d_m=1.15$	$S^*/d_m=1.06$
$C_L$	0.55 0.4	0.66 0.55	0.67
$C_n$	1.5 1.2	1.5 1.2	1.8 1.3
$\theta_E$	20°~21° 17° 18°	25°	27°~29°

図 9 フローパターンと流体力の特性

したが<sup>3)</sup>、異径 2 円柱の場合にも円柱間の流れの方向だけに着目しても図 6 に示すように 4 種類のパターンが存在する。

流速を一定にし  $S$  をパラメタとしたときの  $C_D, C_L$  と  $n$  との関係を図 7, 8 に示す。この図をもとに  $S$  による流体力の特性の変化をモデル化して示したのが図 9 である。

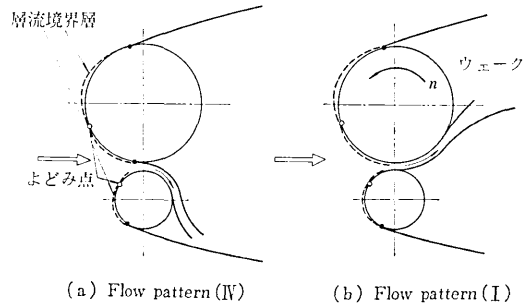


図 10 2 円柱まわりのフローパターン (コアンダ効果)

$S^*/d_m=1.45, 1.29$  のように両円柱の間にある値以上の隙間がある場合には回転円柱は単独円柱に近い挙動を示し、一方静止円柱の wake は回転円柱の wake の影響を受けることを既に述べた。両円柱を極く接近させ  $S^*/d_m=1.06$  にすると静止状態では円柱まわりの流れは図 10 (a) に示すように静止円柱に沿う強いコアンダ効果を伴うフローパターン (IV) となる。この状態から (+) 方向の回転を与えると  $C_L$  は図 8 に示すように直線的に低下するが  $(n)_c$  に達すると急激に上昇し以後一定値を保つ。このときの流れは図 10 (b) に示すように回転円柱に沿うコアンダ流を伴うフローパターン (I) であると予想される。この後  $n$  を減少させても  $C_L$  は一定であるが (-) 方向回転で  $(n_2)_c$  に達すると再びフローパターン (IV) の状態にもどる。

$S^*/d_m=1.15$  は  $S^*/d_m=1.29$  の場合とコアンダ効果を伴うフローパターンをもつ領域との中間領域であるがフローパターン自体は前者に近い。この領域は同径 2 円柱の場合の双安定領域に対応する領域でフローパターンが変化しやすく、流体力の特性も複雑に変化しやすい。

一方、フローパターンの相違は履歴現象にも大きな影響を与えている。図 9 の  $C_L$  の特性図より  $S^*/d_m=1.29$  の場合の履歴現象と  $S^*/d_m=1.06$  の場合の履歴現象が異なる原因によることが予想される。

### 5. あとがき

静止円柱の近傍に回転円柱があるときそのまわりの流れは円柱間隔、回転数によって幾つかのフローパターンに分類でき作用する流体力もそれぞれのフローパターンに対応する特性をもつことおよびその特性の中に履歴現象があることを示した。今後、流れの場を詳しく測定しフローパターンを確認すること、wake の相互干渉の実態を解明することが必要である。また層流乱流の遷移には面の粗さや主流の乱れが影響を与えるがこれらの影響に関する研究も必要であろう。(1973年5月28日受理)

### 参考文献

- 1) 田中・永野, 機械学会論文集, 38-310 (昭 46)
- 2) W. M. Swanson, Trans. ASME, series D, (1961)
- 3) 小林, 生産研究, 23 卷 9 号 (1971)