

渦巻模様と渦度

久留米工大 種子田 定俊 (Sadatoshi Taneda)

緒言

粘性流体の流れに現れるいろいろの渦巻模様を種々の可視化技術を用いて調べた。

定常流剥離渦巻

図1は極低レイノルズ数における半円弧のまわりの流線模様を示す。極低レイノルズ数流れの特徴は、主

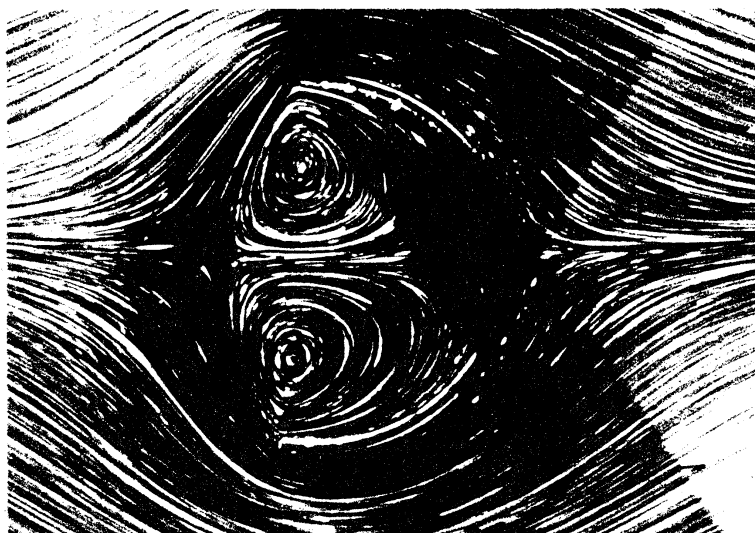


図1 半円弧まわりの流れ $R=0.03$

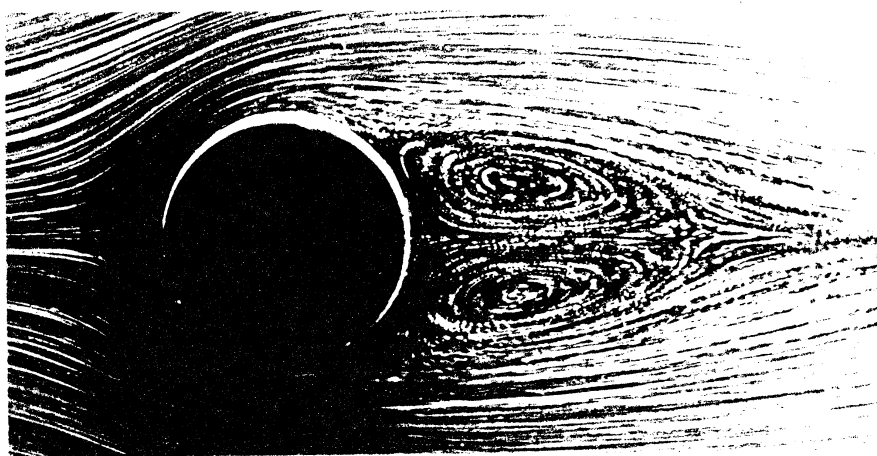


図2 円柱まわりの流れ $R=26$

流の向きを逆にしても流線模様がまったく変化しないことである。図2はレイノルズ数が1よりも大きい定常流の剥離渦の例を示す。図3は数値実験で得られた流線と等渦度線を示す。注目すべきことは、渦巻模様を中心と渦度が集中している場所が一致しないことである。

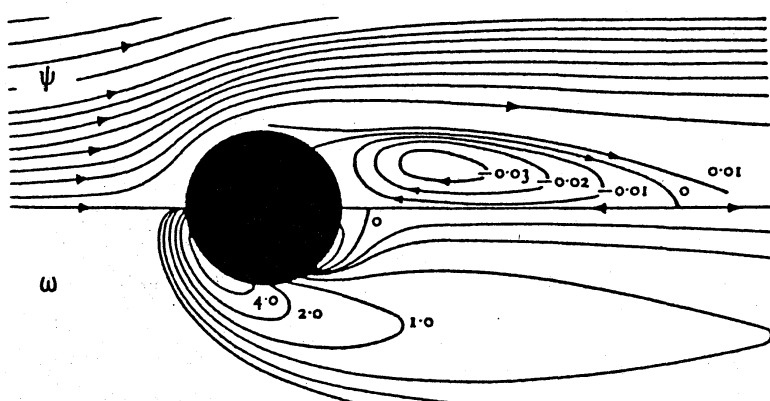
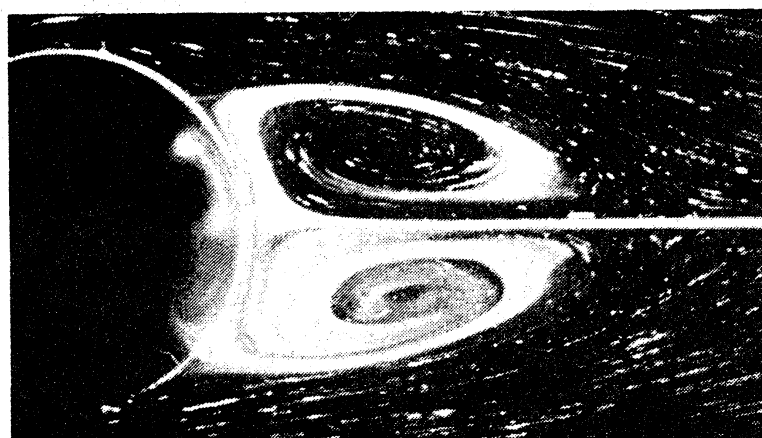
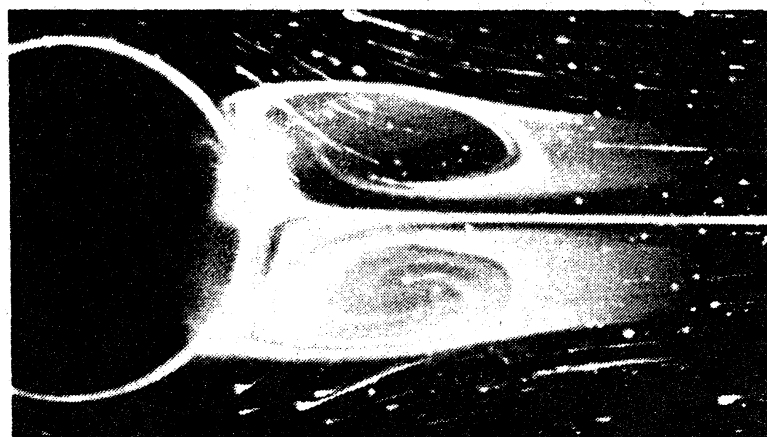


図3 円柱まわりの流れ $R=40$
(数値実験)

上半分は流線, 下半分は等渦度線



(a) 加速前 $R=21.5$



(b) 加速直後 $R=149$

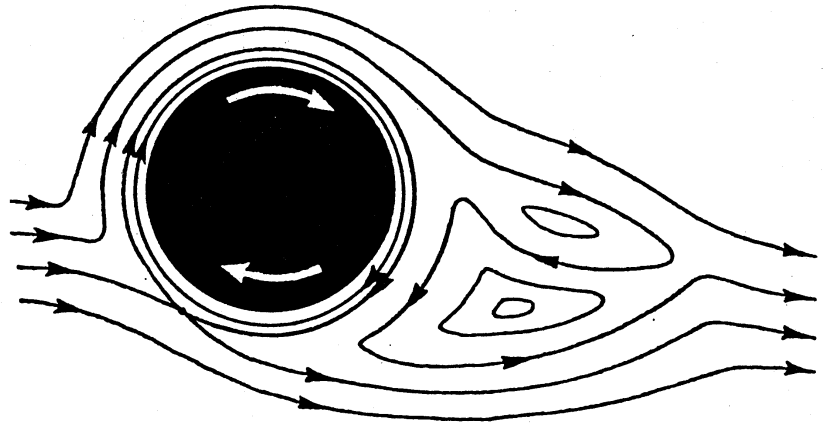
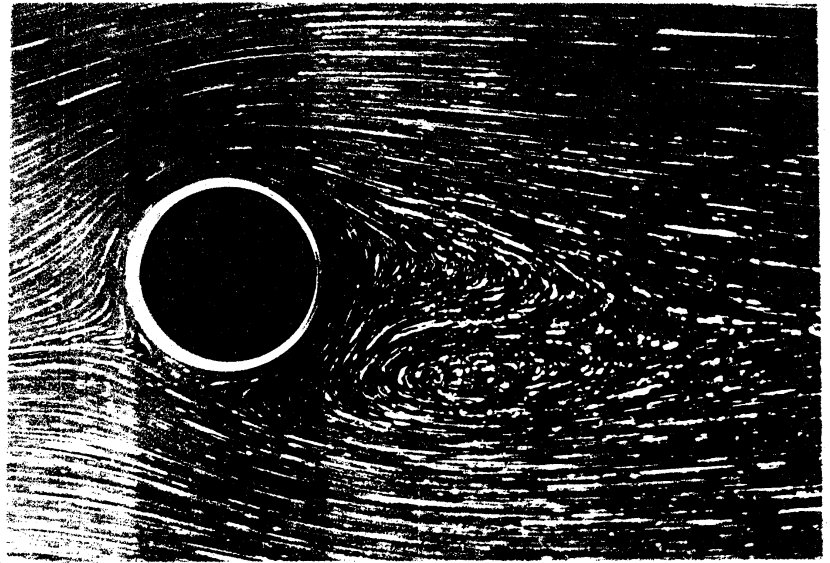
図4 一定速度からの急加速

非定常流剥離渦巻

図4は静水中を一定速度で進行中の円柱が途中からそれよりも高い第二の速度まで急加速された直

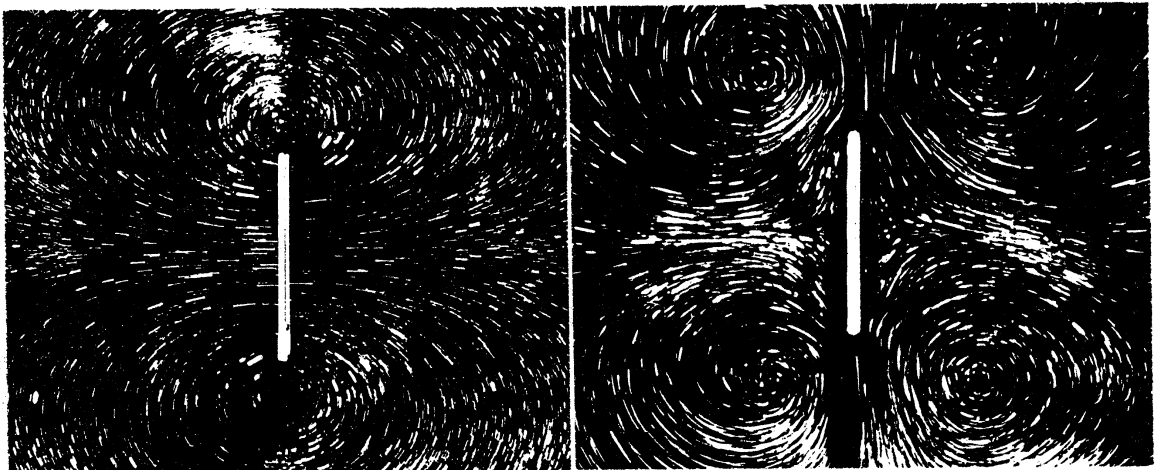
後の流れを、アル
ミ粉懸濁法と電解
沈澱法を同時に使
用して可視化した
ものである。カメ
ラは円柱に対して
固定されている。

注目すべきことは、
非定常流の場合に
は流線と流脈が一
致しないことであ
る。



動壁からの剥離

図5 一様流中で定常回転する円柱



(a) 露出時間が短い場合 (b) 露出時間が長い場合

図6 静止流体中で並進振動する平板まわりの流れ

図5は一様流中で一様回転する円柱まわりの定常流を示す。この座標から見て円柱表面上には淀み点は存在し得ない。したがって、動壁から流れが2次元的に剝離することは不可能である。

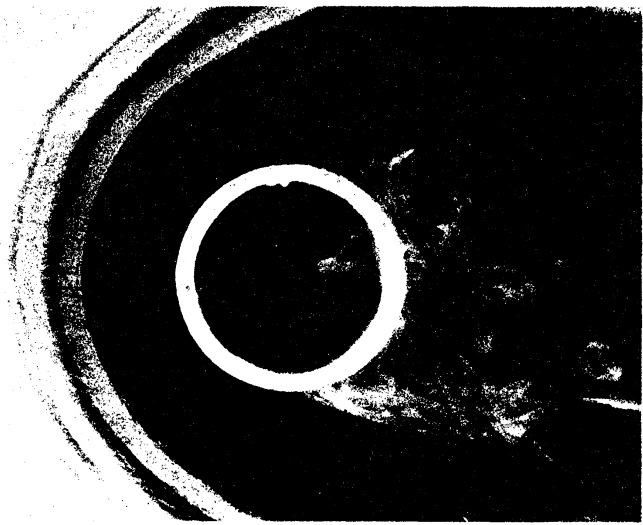


図7(a) 平面上に立てられた円筒

振動物体まわりの渦巻

図6は静止流体中で並進振動する平板まわりの流れを示す。注目すべきことは撮影の露出時間が短いときには2個の渦巻が現れるが長いときには4個の渦巻が現れることである。

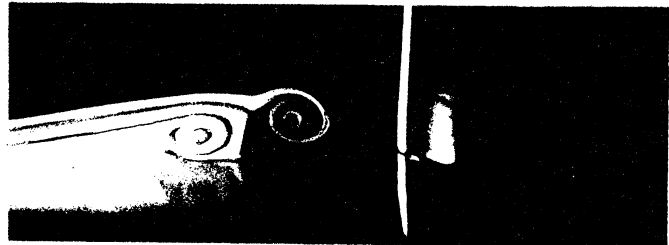
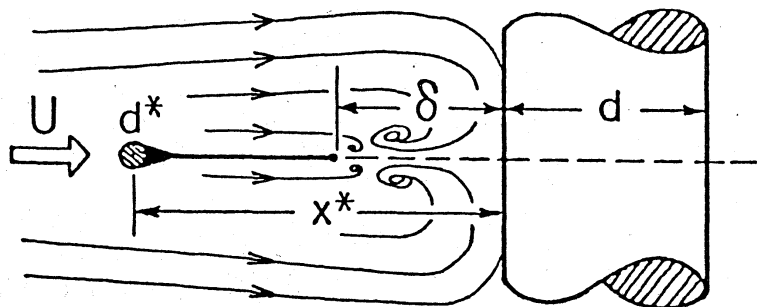
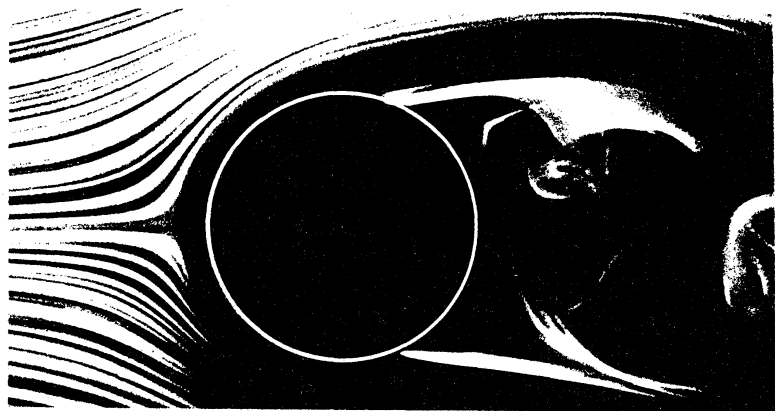


図7(b) 中央縦断面



襟巻渦

図7に示されるよ

図8 円柱前方に張られた線の後流

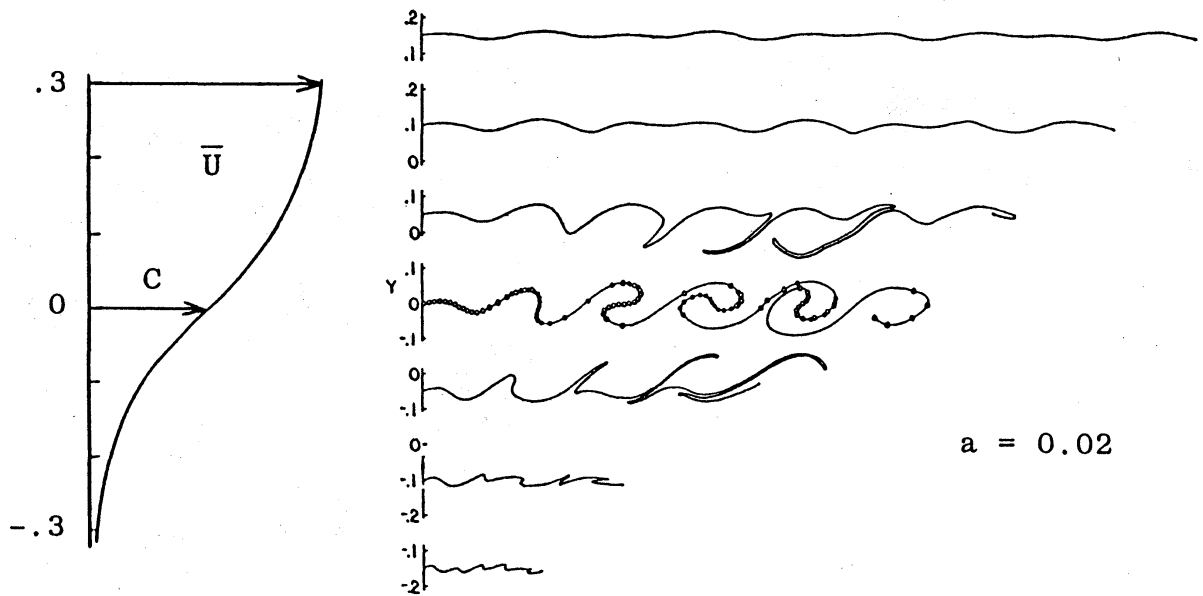


図9 混合層の流脈
(Hama, 1962)

うに、壁面に突起物があると、そのまわりには馬蹄形の渦巻が発生する。また、物体の上流側に細線を張ると、その後流は物体の前方で行き止まり、物体のまわりには馬蹄形の渦巻が形成される(図8)。

これらの渦巻は襟巻渦と呼ばれる。

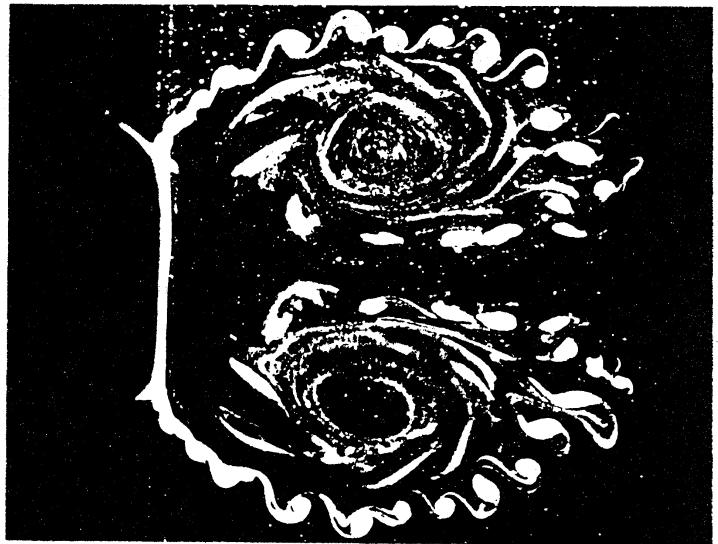


図10 剥離剪断層の不安定波



図11 円柱後流の流線と流脈

不安定波に伴う 渦巻列

すべての剪断層はレイノルズ数が高いとき不安定波を発生するが、これらの不安定波は適当な可視化の方法を使えば渦巻列として観察される。

図9は混合層の不安定波の流脈模様を数値実験で求

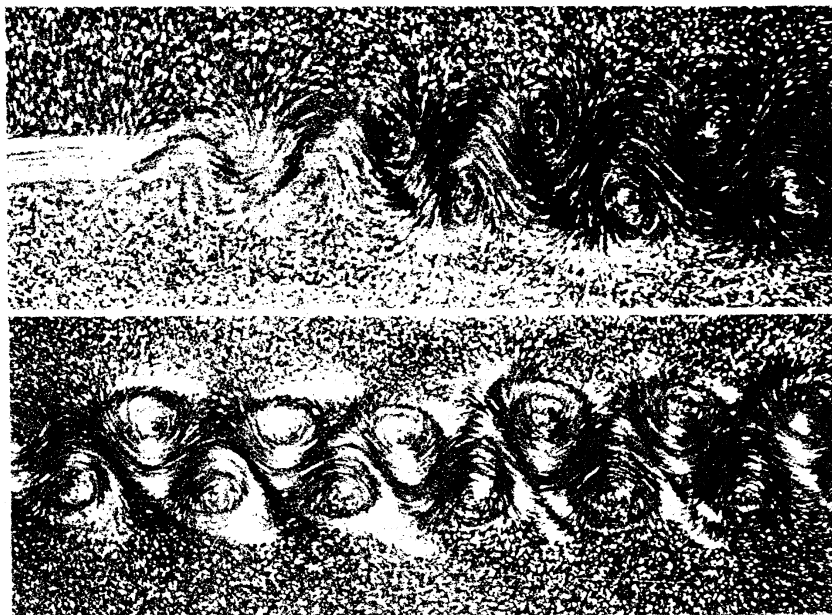


図12 迎角 0° 平板の後流 $R=15800$

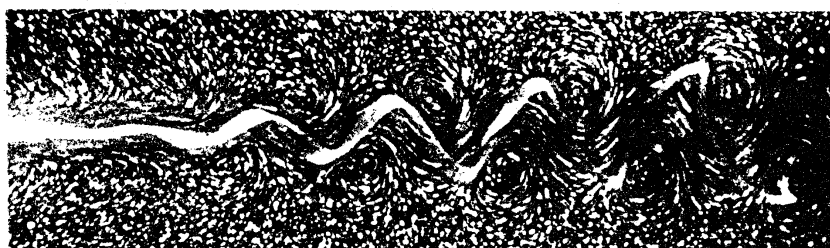


図13 迎角 0° 平板後流の流線と流脈 $R=6600$

めたものである。図10は静水中を急に動き出した迎角 90° 平板の剥離剪断層(混合層)の流脈模様を示す。

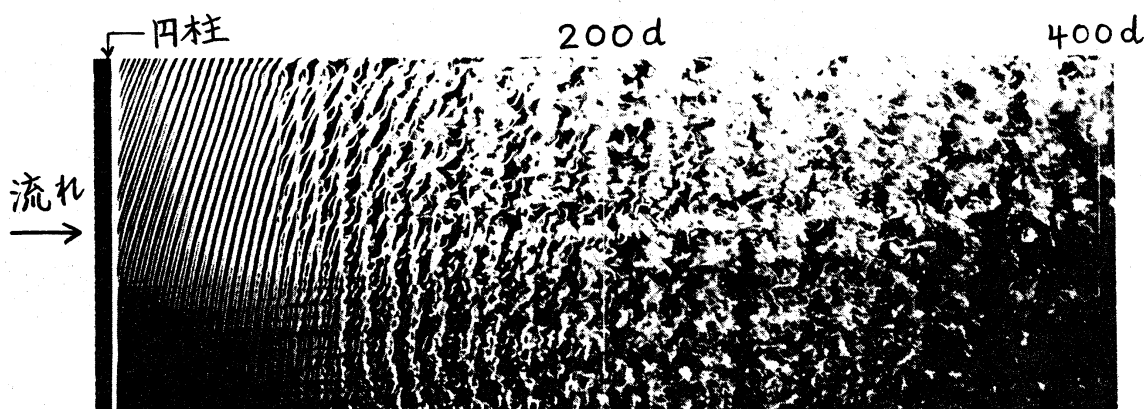


図14 円柱後流の波動運動 $R=350$

図11はレイノルズ数100の円柱後流の流線と流脈を示す。図12は迎角 0° 平板の後流中に発生する不安定波の流線模様を示す。図13はアルミ粉懸濁法と電解沈澱法を同時に使用して可視化したものである。図14はレイノルズ数350における円柱後流をスモークワイヤ法で観察したものであるが、一般に後流はその場所における後流幅に等しい波長を持つ2次元

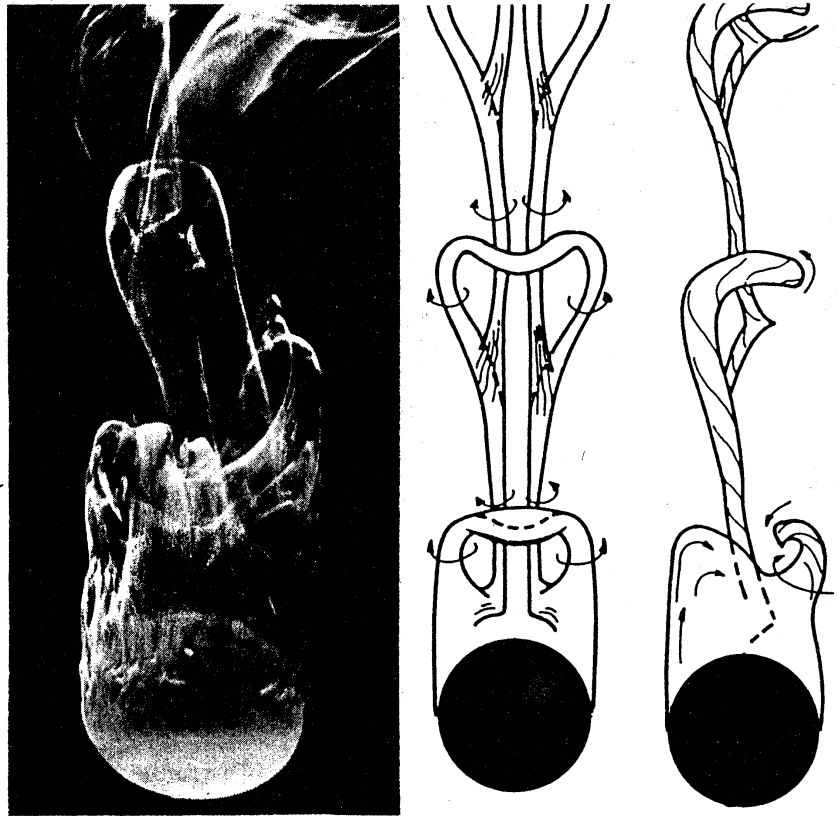


図15 水中を降下する油滴の後流

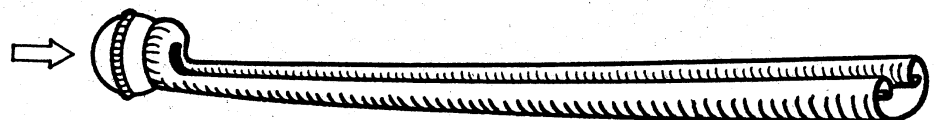
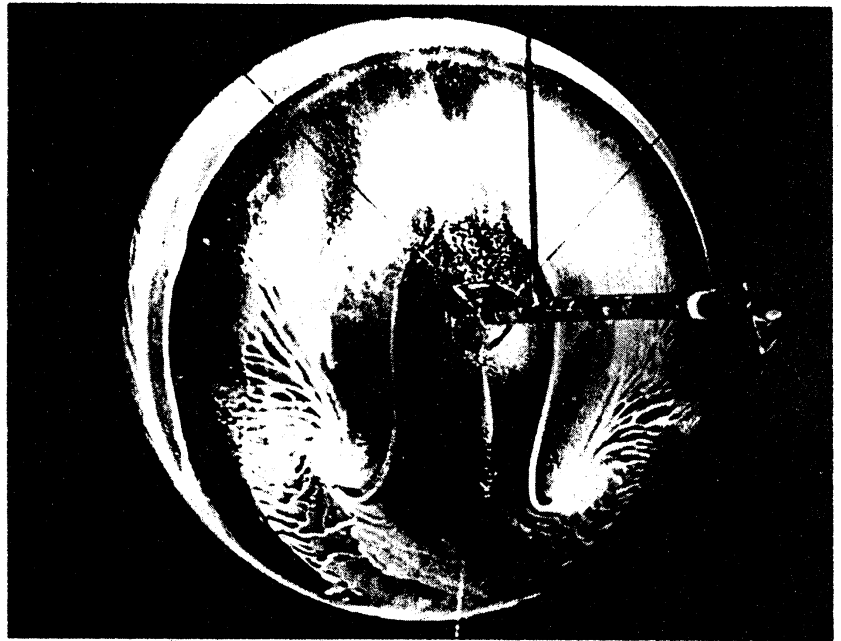


図16 高レイノルズ数における球の後流

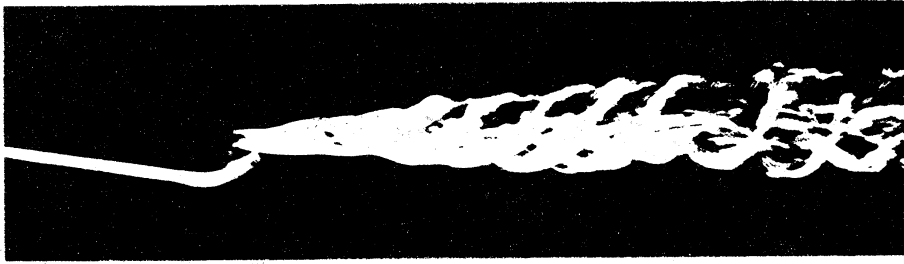


図17 矩形翼のあとひき渦

的不安定波を発生する。図15は水中を降下する油滴（レイノルズ数550）の後流を示す。球の後流の振動様式はレ

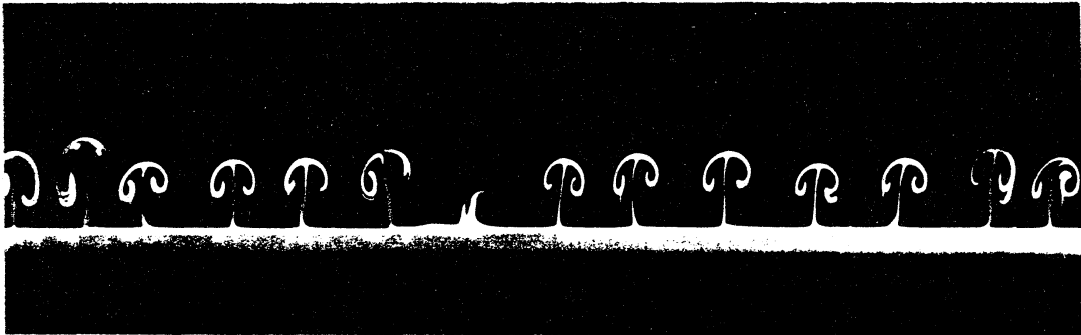


図18 静水中で回転する円柱まわりの流れ

イノルズ数 3×10^3 付近で不連続的に変化する。さらに 3×10^5 を超えると突然に振動が停止し、2本の縦渦を形成する（図16）。

縦渦は細かい3次元的不安定波が重畳し、複雑な構造を示す（図17）。

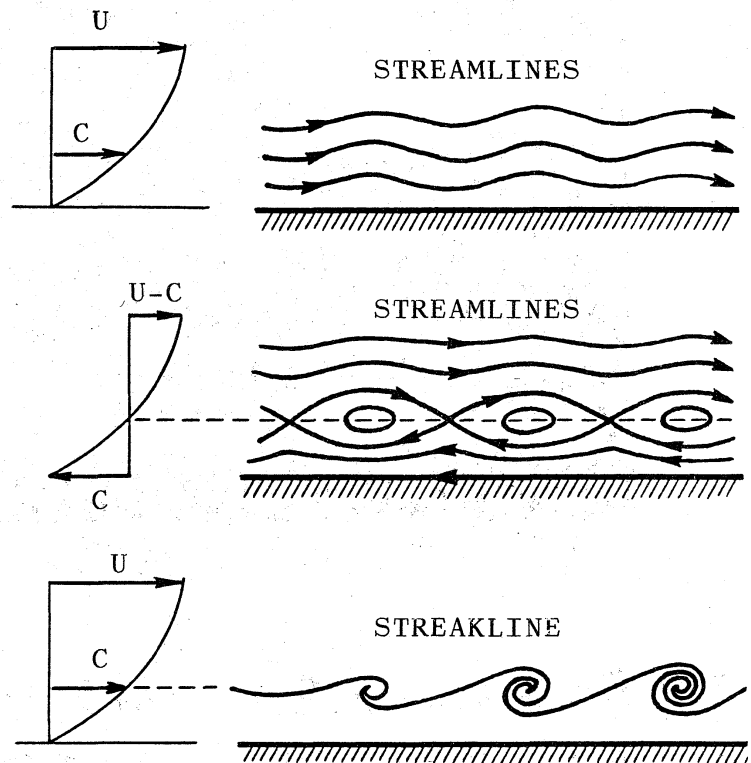


図19 境界層の流線と流脈

図18は静水中で回転を開始した円柱の境界層を示す。遠心力に基づく3次元不安定波は渦輪列として観察される。

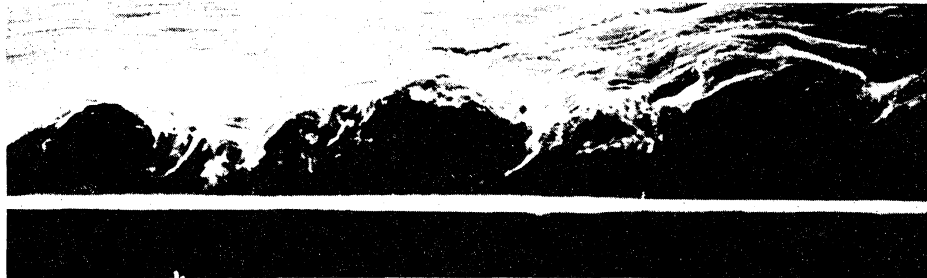


図20 平面に沿う乱流境界層の縦断面

図19は境界層に2次元的不安定波(T-S波)が発生したときの流線模様と観測座標の関係を示す。壁に固定した座標では進行波として観測されるが、波と同じ速度で移動す

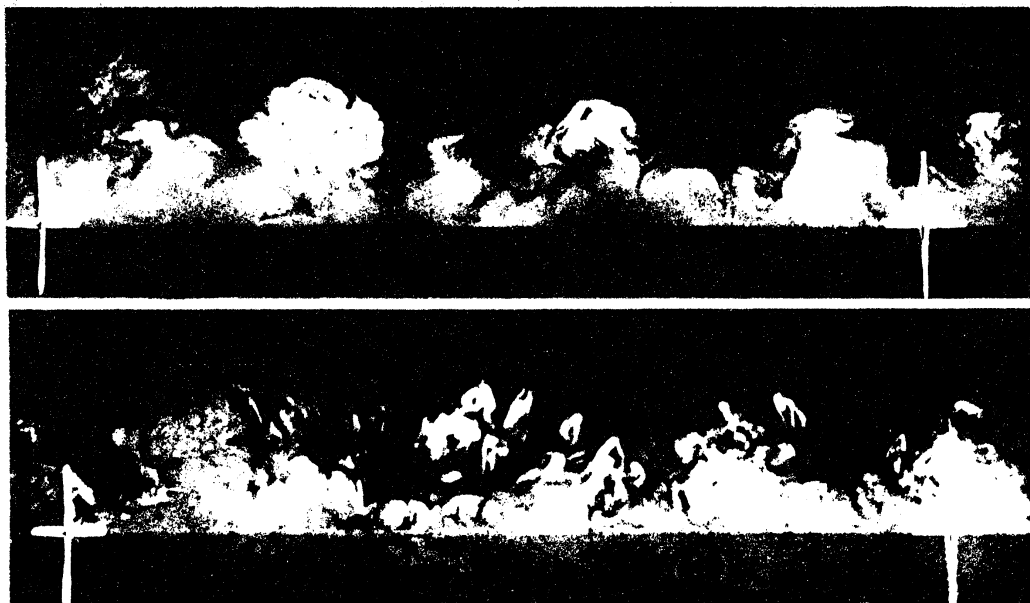


図21 平面に沿う乱流境界層の横断面

る座標では1列の渦巻として観測される。また、流脈も1列の渦巻を形成する。図20は平面壁に沿う乱流境界層を

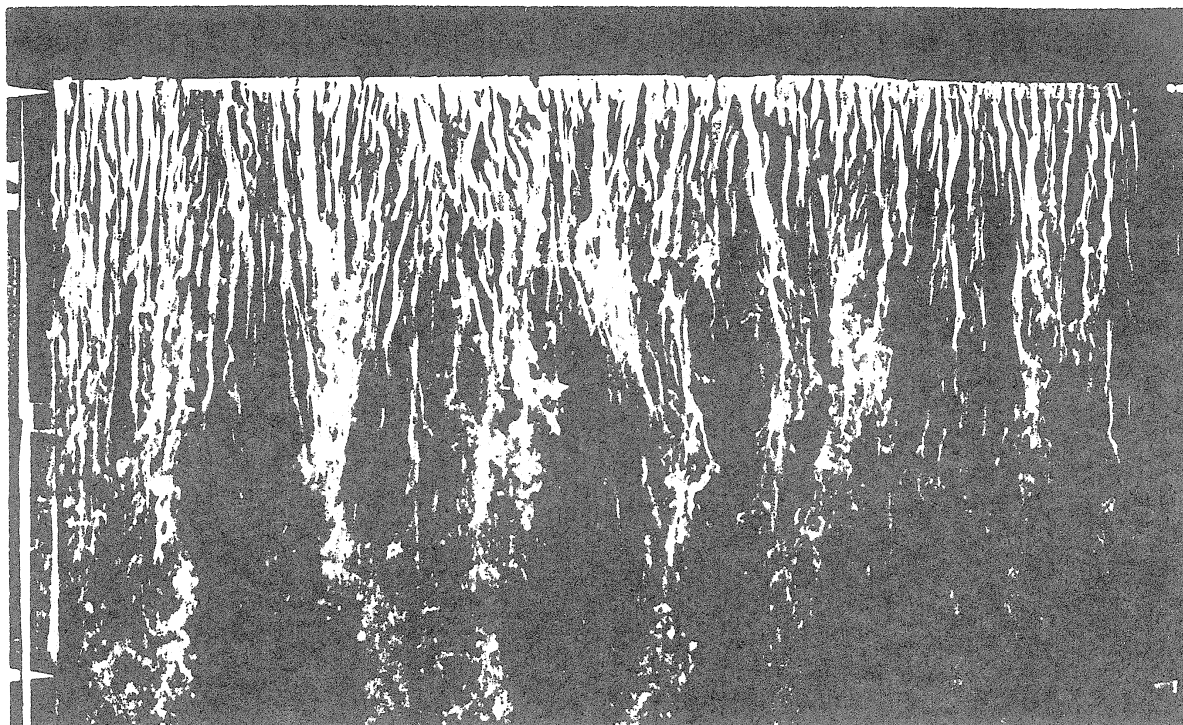
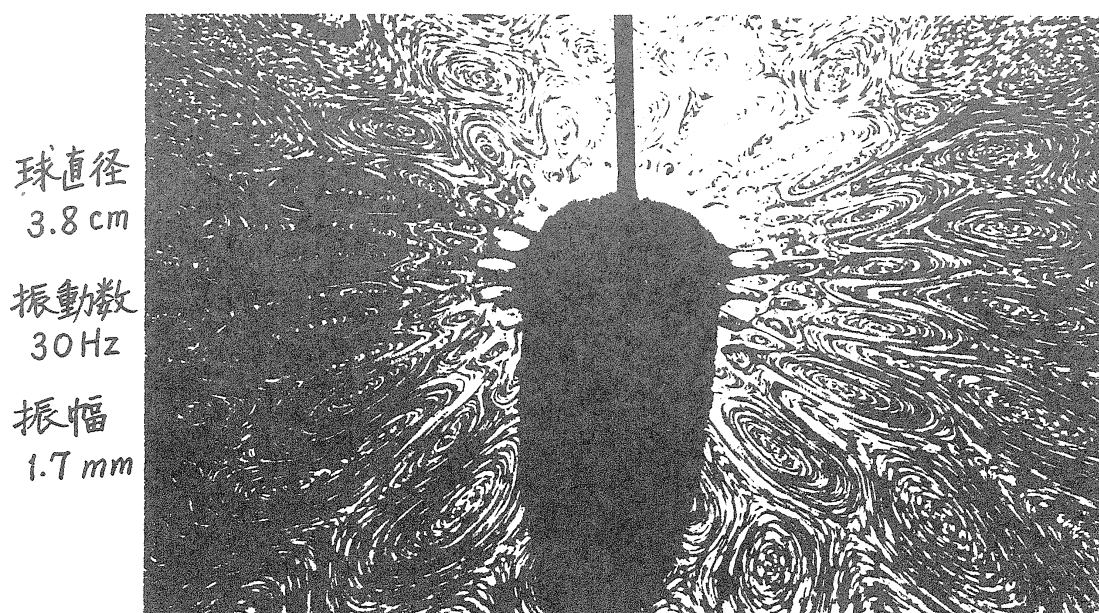


図 22 平面に沿う乱流境界層の縦渦構造

煙を用いて可視化したものである。この写真から乱流境界層には 2 次元的不安定波が存在することがわかる。図 21 は平面壁の境界層の横断面を示す。また図 22 は壁面から発生し



球直径
3.8 cm
振動数
30 Hz
振幅
1.7 mm

図 23 半没振動球まわりの水面の流れ

た煙の分布状況を示す。これらの写真から、乱流境界層には横渦の列と縦渦の列の両方が存在することがわかる。

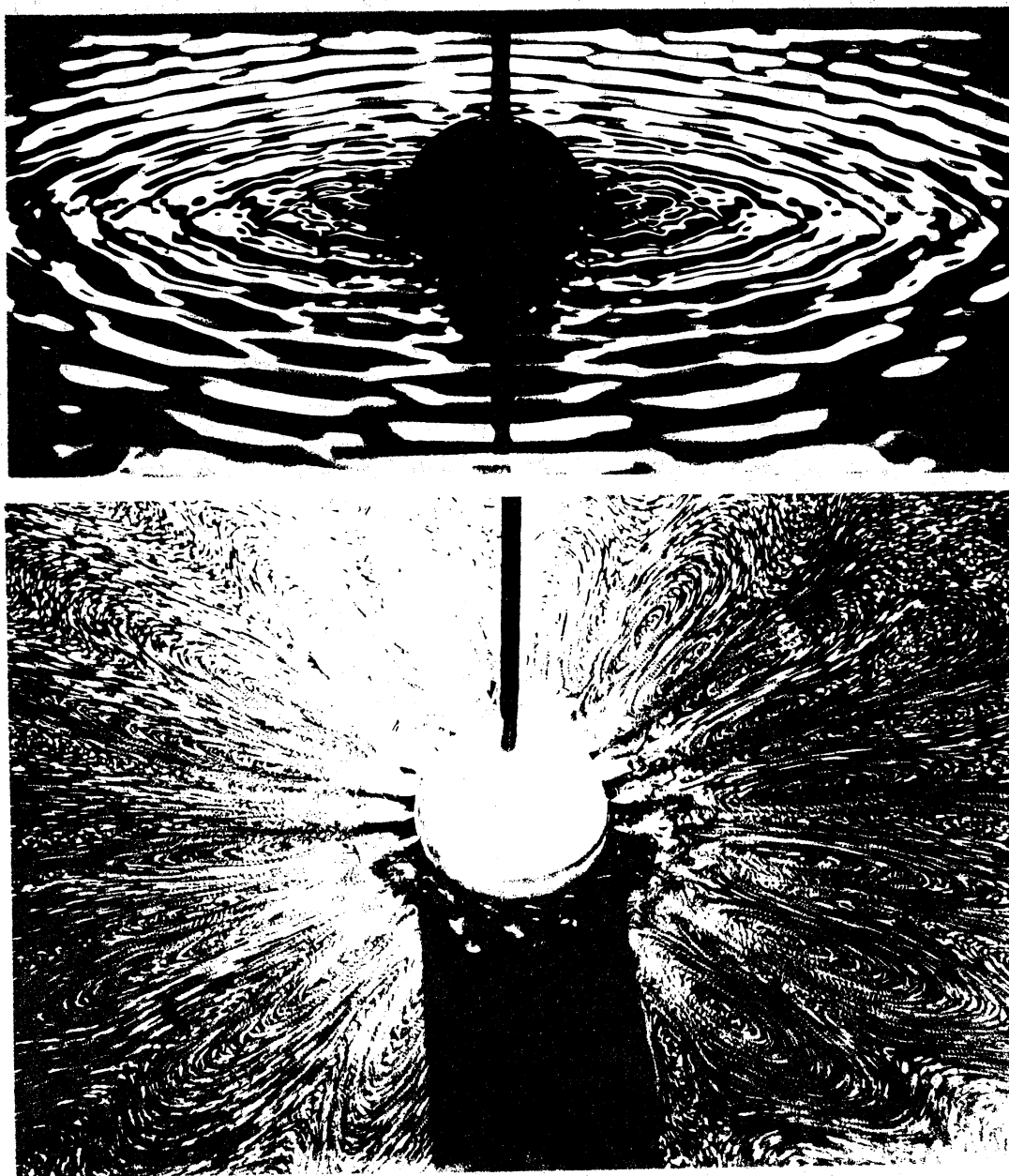


図 24 半没振動球まわりの水面波と水流
(球直径 3.8 cm, 振動数 30 Hz, 振幅 2.1 mm)

水面波に伴う渦巻

上下振動する半没球まわりの水面波は、振動振幅が小さい

ときには同心円状であるが、大きい振幅のときには花びら状になる。振幅が一定の範囲にある間は花びら波はきわめて規

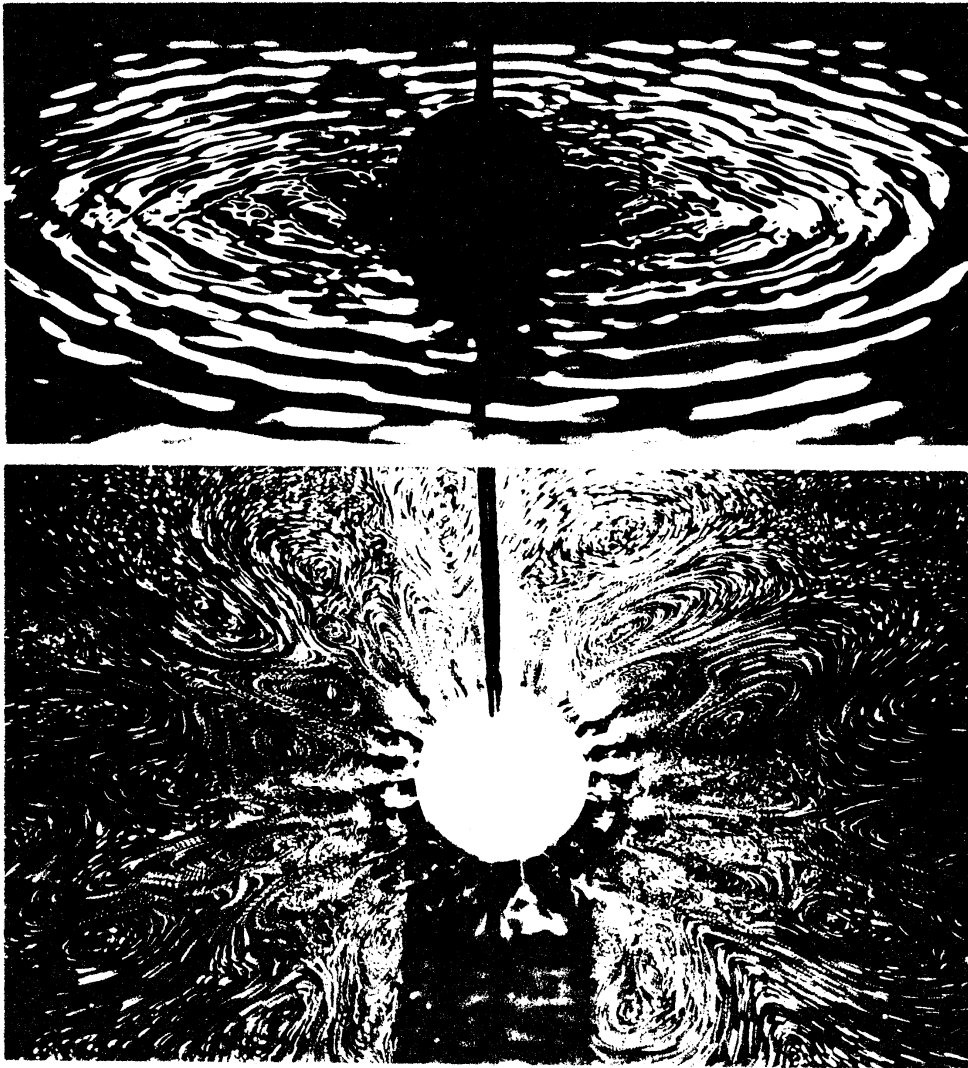


図 25 半没振動球まわりの水面波と水流
(球直径 3.8 cm, 振動数 30 Hz, 振幅 3.1 mm)

則的であるが、それを超えると不規則性が現れるようになる。図 23, 24, 25 は花びら波に伴う水面の流れを示す。これらの写真から、水面波に伴って多数の大規模渦巻が水面付近に形成されることがわかる。