

水中における渦輪の運動

お茶の水大・理 大島 裕子

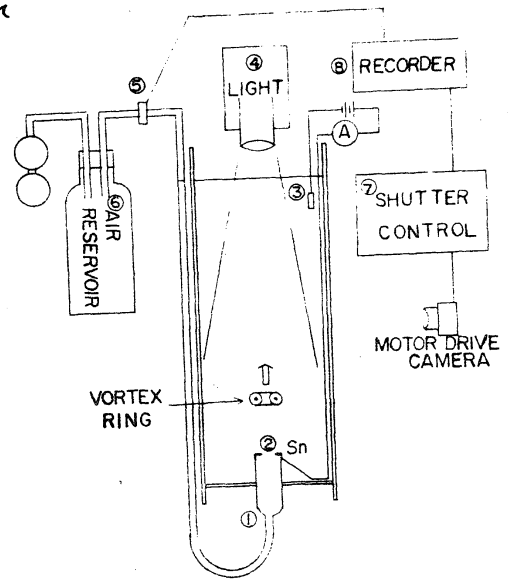
はじめに

渦輪の運動とは、渦度の集中している輪がその断面の中心のまわりを回転しながら、渦輪平面に対して垂直に動いてゆく運動である。渦輪をつくる出口が円形のばあいには、輪に沿って一様な渦度をもつため、円形の渦輪となり、渦輪平面に対して垂直に進行するが、出口が円形でないときには、渦度が一様でないために渦による誘導速度が渦輪の各点によって異なり、そのために変形しながらの進行運動となる。

ここでは水を用いて一様流体中での渦輪の運動を、円形の出口とレンズ型の出口のものについて実験によってしらべた。実験は錫を陽極として用いた電解法によって渦輪を可視化して、写真撮影によってその運動を定量的に測定した。

測定装置 及び 方法

第1図に示すよう $20^{cm} \times 20^{cm} \times 55^{cm}$
 のアクリル製の水槽の底部中心よ
 り、貯気槽の空気圧によつて渦輪
 が作られる。渦輪の出口は錫を溶
 融して作り、陽極につなぐこと
 によつて水酸化物を生成して、渦輪
 を可視化して写真撮影を行なうこ
 とができ、その変化を時間的に追
 跡して解析が行なわれた。



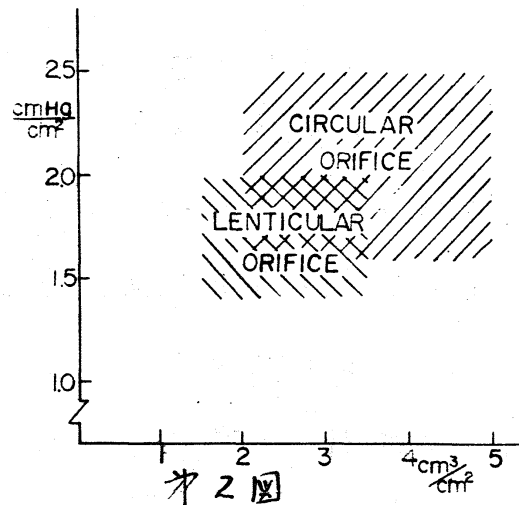
第1図

円形の出口は直径 1.6 cm , 1.9 cm , 2.3 cm , 2.7 cm の四種、レ
 ンズ型の出口は長径と短径の比が $1:0.3$, $1:0.4$, $1:0.5$ の三
 種でレンズ型出口の面積はどれも直径 1.9 cm の円形の出口と
 同面積にしてある。

3 測定結果

放出された渦は時間がたつにつれてその速度を減じながら
 上昇する。出口からのある範囲での平均速度を測定すると、
 与えられた impulse 即ち貯気槽の圧力と排出された水の体
 積に關係する。それは貯気槽の圧力が高い程、又排出された
 体積が多い程 平均速度は早くなるが、出口の面積に反比例
 して速度はおそくなり、出口の単位面積あたりの圧力と体積

によつて定められる。しかも圧力、排出水量には各々定まった大きさの範囲あって、その範囲内でないときれいな渦が形成されない。すなわち第2図に示すように、円形渦のばあいには圧力で $1.6 \sim 2.5 \text{ cmHg}$ 、体積で

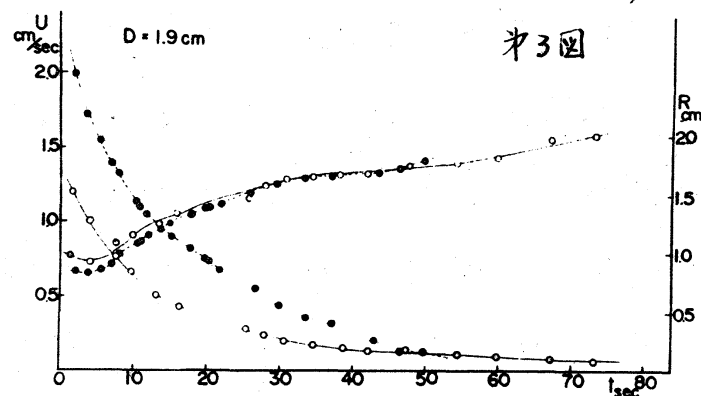


第2図

$2.0 \sim 5.0 \text{ cm}^3$ 、レンズ型渦で $1.4 \sim 2.0 \text{ cmHg}$ の圧力、 $1.5 \sim 3.5 \text{ cm}^3$ の体積の範囲が求められた。これ以下では渦輪が形成されないし、又これ以上の impulse が与えられると、core がたかひにぶつかりあつてこわれてしまう。以下の範囲内で測定が行なわれた。

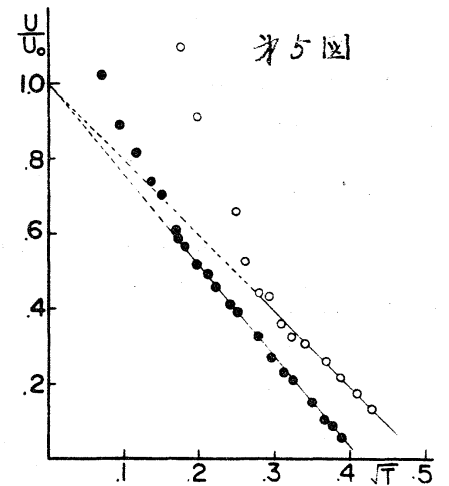
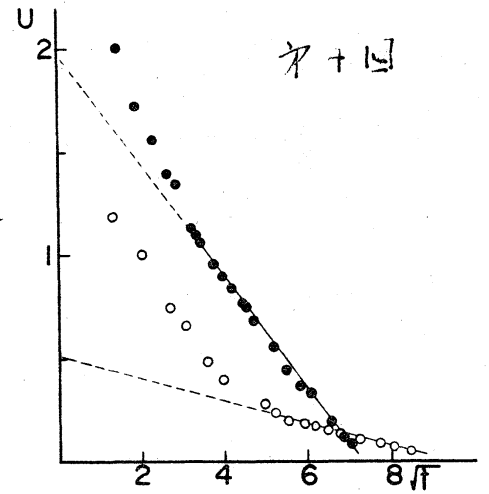
○円形渦

円形渦の速度と半径の時間的な変化の一例を第3図に示す。速度は最初急速に減少するが、時間とともに徐々にゆっくりとなる。これは初期において渦をつくるときの出口での jet 流の速度が、渦の誘導速度と重ねあはれてゐるからで、jet 流は比較的早く減衰してしまふことを示している。このことはアルミ粉末法による流跡線をとることに



第3図

よつてもたしかめられた。第4図に U と $\sqrt{t}$ の関係を示す。初期においては直線からはずれるが、十分時間が経過すると渦の前進速度はほとんど自身渦度による誘導速度のみとなりこれは $\sqrt{t}$ に比例して減衰してゆくことがわかる。 $U \sim \sqrt{t}$ の直線を外挿して $t=0$ での誘導速度 U_0 を求め、 U_0 によって無次元化した速度と、無次元化した時間 $\sqrt{t} = \sqrt{t} U_0 / D$ (D は出口の直径) の関係を示すと第5図となる。この図で示されている二本の線は一定な渦が出来る領域での高い圧力と低い圧力のばあいに対応するが、他のいろいろなばあいについての測定結果はこの二本の間に入る。すなわちこれが粘性の影響によつて $\sqrt{t}$ に比例して減衰する渦の一般的な減衰曲線を示している。

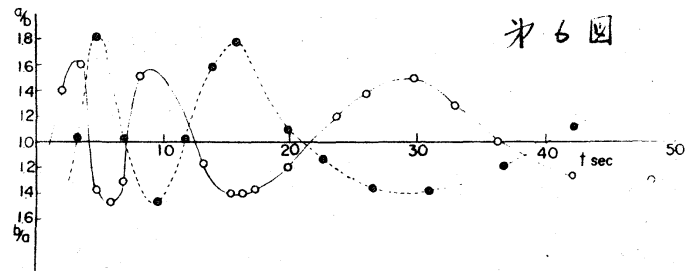


渦輪の直径の变化については、第2図に速度とともに示されている。渦輪は出口とほぼ同じ大きさで放出された後、一たんその径が減せし、時間とともに広がってゆく。時間の経過とともに R は増し、 U は減ずるが、 UR すなわち循環 Γ は渦の生成の初期を除いては一定に保たれることが認められる。

。レンズ型渦

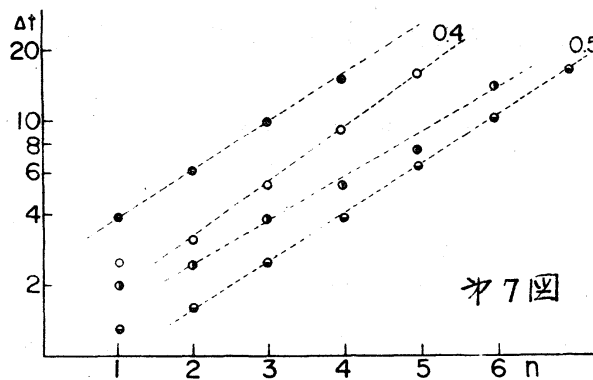
レンズ型渦においては，渦輪平面に対して進行する間に，長径方向にある Vortex core は r が i に近づき，短径方向にある core は遠く。そしてその変形をくり返しながう，進行方向に対しても前後に屈曲する。この振動現象は進行速度の減少につれてその周期が徐々にのびてゆき，変形する振中も減少してゆく。今放出する出口の長径方向の渦の径を a ，それに直角方向の径を b と

して，その振動の時間的変化を示すと オ6図 となる。そしてそれら

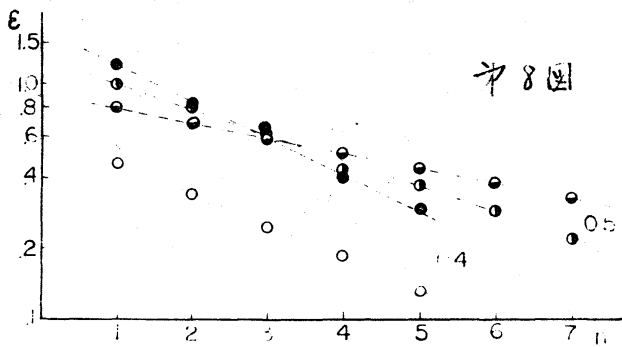


より出した周期 Δt を オ7図 に，各振動における振中の最大値 ε を オ8図 に示す。

振動をくり返すうちに Δt は指数関数的に増加するのに対し，



し，振中 ε は指数関数的に減少する。レンズ型の渦についても，その速度は，渦自身の誘導速度と，出口での jet 流の速度の重ねあわせ



れはものであるが、 U_m としてその周期の間の平均速度をとり、 $U_m \cdot \Delta t$ 即ちその周期の間の進行距離を求めると、 α の図に示すように、変動をくり返してもほぼ一定の値となる。長径と短径の比によつてその進行距離は異なるが、形を子えると放物の条件によつてはその各周期毎の進行距離は変うない。レン

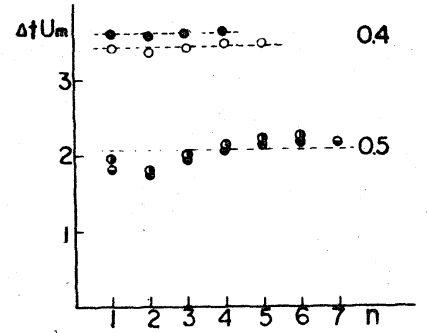


図 9

ズ型出口の渦については三種類の形について実験がなされたが、薄い型即ち比の大さい出口については、安定な渦の領域がせまいうえに、一周期の進行距離が大さくなるため、振動回数が少ないので信頼出来る測定はむづかしい。

なお神部・高尾によつてなされた微小擾乱による解析結果と一致する実験結果がレンズ型の渦の变形について得られた。

参考文献

- 1) H.Lamb: Hydrodynamics (Cambridge University Press, 1932)
- 2) G.K.Batchelor: Introduction to Fluid Dynamics (Cambridge University Press, 1967)
- 3) J.S.Turner: Proc.Roy.Soc.A, 293(1957) 61
- 4) F.R.Hama: Phys.of Fluids 5(1962) 1156
- 5) F.R.Hama: Phys.of Fluids 6(1963) 526
- 6) C.Tung and L.Ting: Phys.of Fluids 10(1967) 901
- 7) T.Kambe and T.Takao: J.Phys. Soc. Japan 31(1971) 591