

煙ならびにスモーク・ワイヤによる渦輪の可視化

山 田 日 出 夫・岩 船 誠

計 測 工 学 科

(1975年9月2日受理)

Visualization of Vortex Rings by Smoke and/or Smoke Wire

Hideo YAMADA and Makoto IWAFUNE

Department of Fine Measurements

(Received September 2, 1975)

Vortex rings were made visible by utilizing cigarette smoke and smoke wire. The rings were generated by pulsing air through a somewhat convergent orifice using a pendulum.

It was found that the vortex rings are classified, according to the Reynolds number, into three types such as laminar ring vortex, transient vortex ring, and turbulent vortex ring. The photographs of the side views of the vortex rings are presented as well as the corresponding front views of them. The vortex ring formation and the entrainment of the ambient fluid were visualized by smoke wire technique.

1. 緒 言

渦輪の実験については、すでに多くの報告がある^{1), 2), 3), 4)}・Maxworthy⁵⁾も指摘しているように粘性の影響を考慮しなければならぬ実在の渦輪は巻込みの機構、伴流の存在、並びに渦度の散逸という点で完全流体のモデルにもとづく渦輪の運動とは随分違った振舞をする。渦輪はまた興味深い変形をすることが知られており、いくつかの研究者達の注意を惹いてきた^{6), 7)}。

本報告では、まず煙草の煙で可視化をこころみ、いく

ぶん縮流を伴う円形オリフィスから渦輪を放出させ、レイノルズ数にもとづく渦輪の変化の様子を渦輪の側面から、また変形の様子を正面から観察した。次にオリフィスの内側にスモーク・ワイヤ⁸⁾を張り、渦輪の形成の様子を、また外側にワイヤを張って周囲流体の巻き込みの様子を撮影した。

2. 実験装置および方法

2.1 装 置

本実験では渦輪を可視化するために、まず煙草の煙が

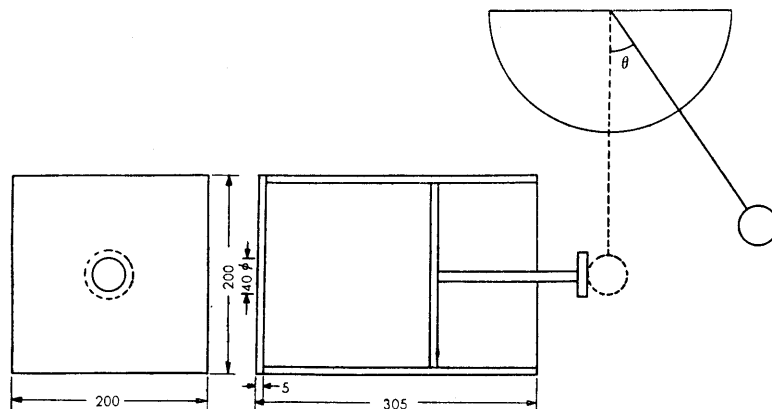


Fig.1 Schematic of vortex ring generation system

用いられた。渦輪を発生させる容器は正面が $200\text{mm} \times 200\text{mm}$ で、奥行は 305mm のアクリル板で作られており、正面の板の中央部分に外側から見て直径 40mm の穴があけてある、図 1。流体は 5mm の板厚部分を縮流しながら通過する。箱の反対側の部分にはピストン装置があり、ふり子の衝撃力によって駆動する。ふり子の角度によって制御され、作り出された渦輪の再現性は相当よいものであった。

2.2 撮影方法

本実験では、まず渦輪の運動状況を調べるために、オリフィスから 120cm 程度の範囲を視野にして渦輪の側面をストロボスコープにより撮影した。次に、上述の側面に対応する渦輪の正面の状態を流しカメラを用いて観察した。最後に、スモーク・ワイヤを用いて、渦輪の出口近傍における側面の様子を調べた。スモーク・ワイヤの回路図を図 2 に示す。なお、ワイヤは直径 0.054mm 、長さ 90mm のニクロム線が用いられた。

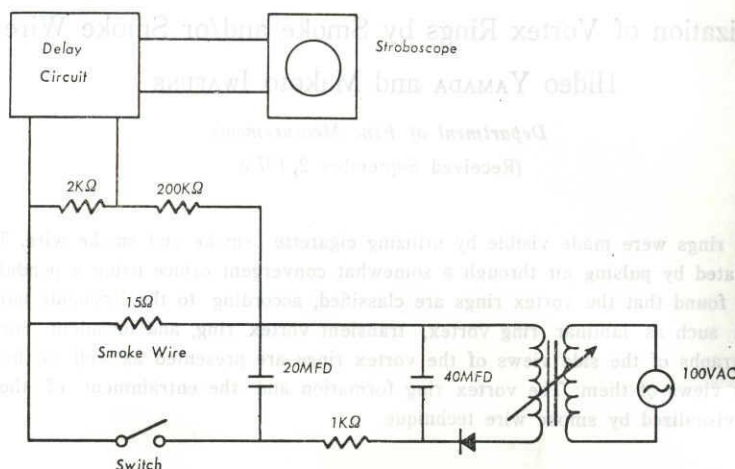


Fig.2 Schematic of electronic circuits of smoke wire

3. 実験結果と考察

3.1 レイノルズ数にもとづく渦輪の状態

本実験では、 $R_e=980 \sim 7,000$ 程度の渦輪が作り出されたが、それらは便宜的に以下に述べられるように三種類に分けられた。(R_e は $U_e D / \nu$ によって与えられる。 U_e

は出口近傍における渦輪の並進速度、 D はオリフィス最小断面の径である。) すなわち、 R_e 数が $1,000$ 程度以下で代表される層流型渦輪、 $2,000$ 程度で代表される遷移型渦輪、そして、およそ $5,000$ 程度以上のばあいの乱流型渦輪である。図 3 (a) は $R_e=980$ の渦輪であり、ストロ

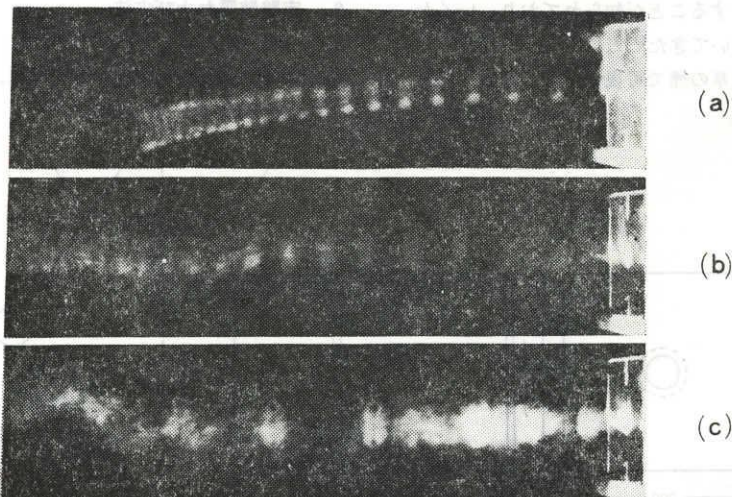


Fig.3 Side view of motion of vortex rings: (a) Laminar vortex ring $R_e=980$, (b) Transient vortex ring $R_e=2200$, (c) Turbulent vortex ring $R_e=7000$

が発光数は $f=240/\text{min.}$ である。図3(b)は $Re=2200$ のものであり、 $f=600/\text{min.}$ である。図3(c)は $Re=7000$, $f=900/\text{min.}$ である。図3(a), (b), (c) に対応する渦輪の正面の変形状況を図4(a), (b), (c) に示す。層流型渦

輪では、外形が円形であることは変わらず、しだいに中空の黒い部分が大きくなって行き、そのまま拡散、消滅するに至る。図4(a)。遷移型渦輪は最も興味ある変形を行なう。すなわち、出口より噴出した渦輪は急速に成長し、

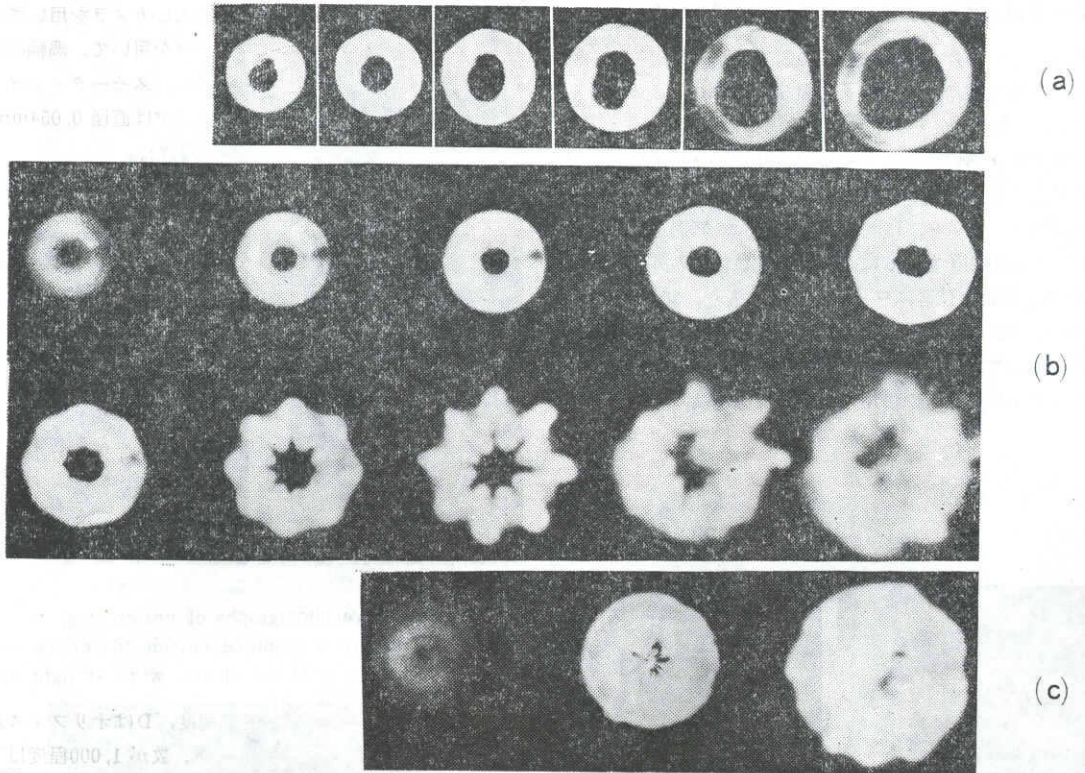


Fig.4 Front views of vortex rings, showing ring distortion: (a) Laminar vortex ring $Re=980$, (b) Transient vortex ring $Re=2200$, (c) Turbulent vortex ring $Re=7000$

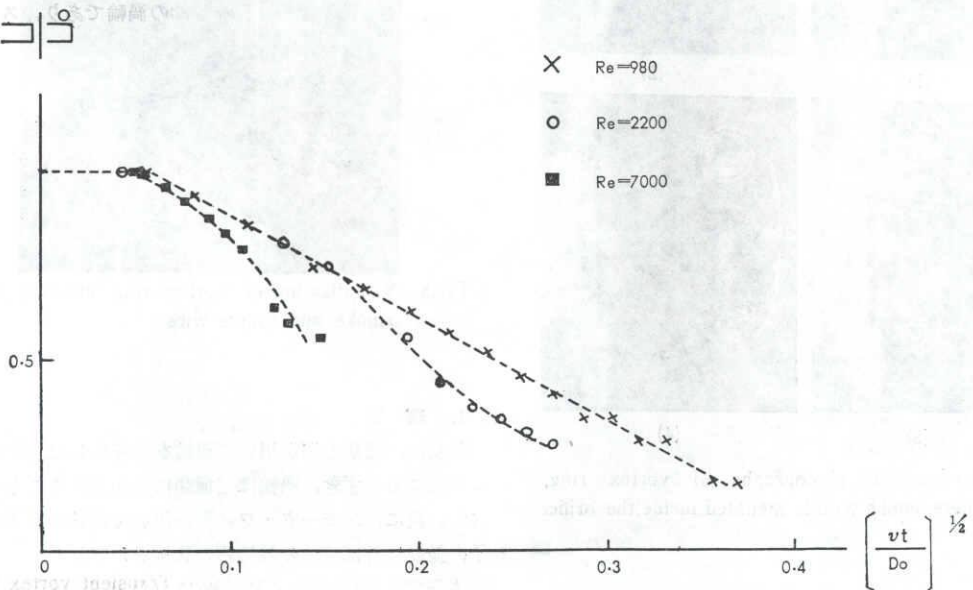


Fig.5 Velocity of translation of vortex rings versus time from the orifice

安定したものになり、渦層を美しく巻き上げ、層流渦輪の状況を示すが、これが40~50cm移動すると、正面から見て渦輪の外形が8つの山と谷を持った波状となり、それが更に発達すると、ある部分から急激にくずれて全体が乱流渦と化する、図4(b)。図4(c)は乱流型渦輪の状況を示す。なお、上述の三種類の渦輪の経過時間に対する並進速度の変化の様子を図5に示す。

3.2 スモーク・ワイヤによる渦輪の観察

オリフィスの内側にワイヤを張り、ふり子がピストンに触れた瞬間に図2のスイッチが入るように仕掛け、その瞬間から10ms, 15ms, 25ms, 65ms経過した後の渦輪の発達の様子を図6に示す。オリフィスの外側の面から2cm離れた位置にワイヤを垂直に張り、30ms, 50ms, 70ms, 90ms経過した後の周囲流体の巻込まれる様子を図7に示す。最後に、発生箱の中に煙草の煙を入れ、スモーク・ワイヤとの併用で渦輪の撮影を試みた、図8。

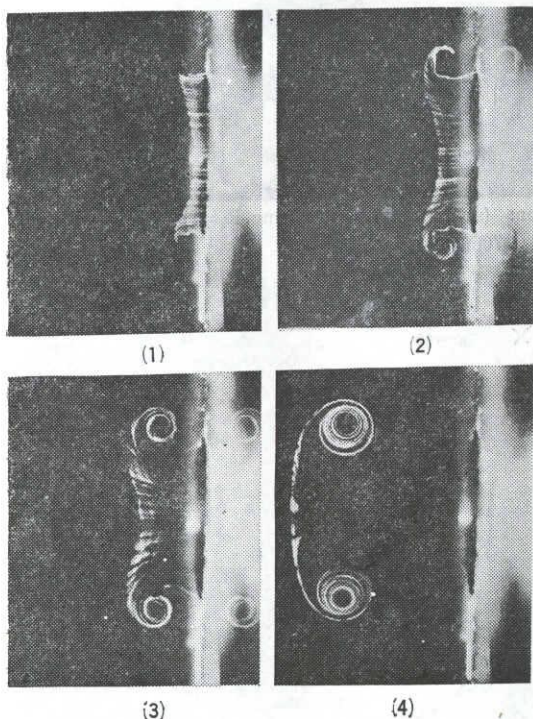


Fig.6 Consecutive photographs of vortex ring, where smoke wire is mounted inside the orifice

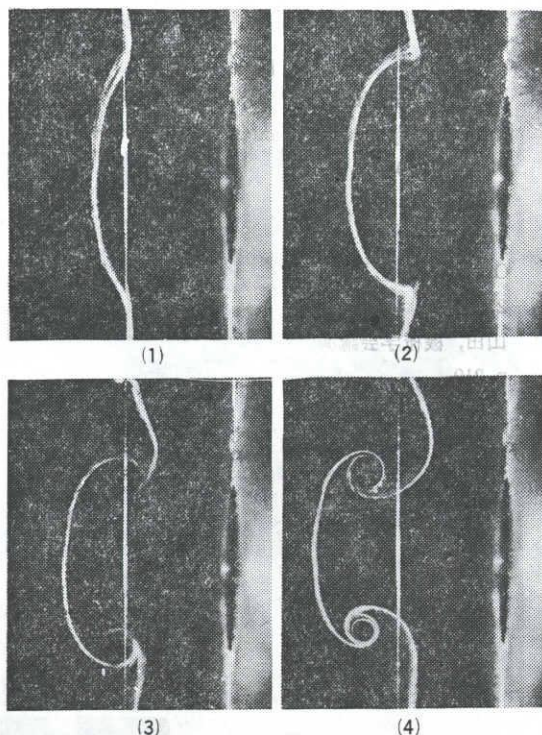


Fig.7 Consecutive photographs of vortex ring, where smoke wire is mounted outside the orifice and its location is observed as a white straight line

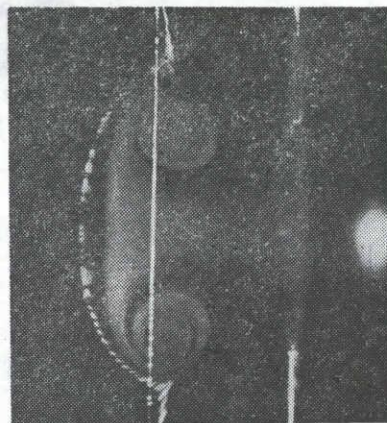


Fig.8 Visualization of vortex ring utilizing both smoke and smoke wire

4. 結 言

最初に、煙草の煙を用いて渦輪を可視化した。レイノルズ数にもとづき、渦輪は三種類に分類されることが判った。次に、スモーク・ワイヤを用いて渦輪の形成の様子、並びに外部流体の巻込みの状況を撮影した。

本研究は昭和50年 7月 開催された第三回流れの可視化シンポジウムで発表されたことを附記しておく。

文 献

- 1) Okabe, J., and Inoue, S., Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu Univ., vol.8, No. 32, 1960
- 2) Kambe, T., and Takao, T., J. Phys. Soc. Japan, vol.31, No.2, p.591, 1971
- 3) Oshima, Y., J. Phys. Soc. Japan, vol.32, No.4, p.1125, 1972
- 4) 山田, 機械学会講演論文集, No.740—9 ('74—8), p. 219
- 5) Maxworthy, T., J. Fluid Mech., vol.51, part. 1, p. 15, 1972
- 6) Kruttsch, C.H., Annalen der Physik. 5. Folge. Band 35, p. 497, 1939
- 7) Widnall, S.E., and Sullivan, J.P., Proc. R. Soc. Lond. A. 332, p. 335, 1973
- 8) 山田, 機械学会論文集, 39巻, 318号 (昭48—2), p. 727