

一様流中で回転振動する円柱のまわりの流れ

種子田, 定俊
九州大学応用力学研究所 : 教授

石井, 幸治
九州大学応用力学研究所 : 文部技官

<https://doi.org/10.15017/4743585>

出版情報 : 應用力學研究所所報. 46, pp.9-16, 1977-09. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :



一様流中で回転振動する円柱のまわりの流れ†

種子田 定俊* 石井 幸治**

概 要

一様流中で自身の軸を中心として回転振動を行う円柱のまわりの流れを可視化技術により調べた。主な実験結果は次のとおりである。(1) 回転振動により死水領域は縮小する。(2) 回転振動が強い場合には死水領域は円柱を離れて存在する。(3) 回転振動が非常に強い場合には死水領域は完全に消失する。(4) 死水領域が消失する臨界ストローハル数は角度振幅に逆比例し、レイノルズ数には無関係である。

1. 緒 言

前に、静止流体中で回転振動を行う円柱のまわりの流れについて報告した¹⁾²⁾。今回は、一様流中で回転振動を行う場合について報告する。回転振動する円柱のまわりの流れは平均的に見て左右対称であることは当然であるが、注目すべきことは、円柱の振動に伴って振動するのは円柱表面に接する非常にうすい流体層のみであり、その層の外側の流体は振動しないことである。本研究の目的は、外部の非振動的流れの振舞ならびに境界層の剝離の状況を明らかにすることである。

2. 実験装置と実験方法

実験は長さ600 cm、幅50 cm、深さ50 cmの静水槽を使用して行われた。試験円柱は水槽中に鉛直に支えられ、水平に移動する。円柱の支持は図1の(A)又は(B)の二通りの方法で行われた。図2は円柱に回転振動を与えるために使用された加振装置の略図を示す。この装置によりモーターの回転は正確に正弦的な回転振動に変換される。角度振幅 θ_0 は 45° 、 90° の二通り、円柱直径 d は1.0 cm、2.2 cm、3.2 cmの三通り、円柱の進行速度 U は0.3~1.0 cm/sの範囲で変化させることができる(図3)。試験円柱と水槽の相対位置は図4に示される。

流れの可視化はアルミ粉法、電解沈澱法、及び水素気泡法によって行われた。アルミ粉法は流線模様を、電解沈澱法は円柱表面から出発する流脈を、そして水素気泡法は円柱後方の流れのタイムラインを可視化するのに使用された。

3. 実験結果

図5は流れ模様の振動数による変化の代表的例を示す。円柱直径 $d=1.0$ cm、角度振幅 $\theta_0=45^\circ$ 、レ

†日本物理学会(1977年4月山口大)において講演

*九州大学教授、応用力学研究所

**九州大学応用力学研究所文部技官

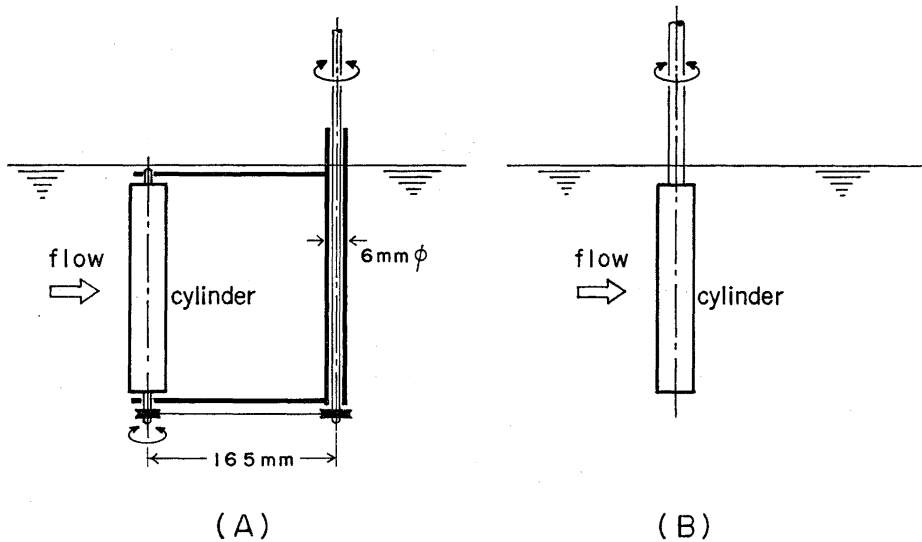


図1 円柱支持法略図

レイノルズ数 $R=61$ ，アルミ粉法と電解沈澱法が同時に使用されている。円柱が回転振動しないときには後流はカルマン渦列を発生しているが（図5(a)），振動数 $N=1.5\text{ Hz}$ （ストローハル数 $Nd/U=2.0$ ）では死水領域が縮小し流れは定常になる（図5(b)）。さらに振動数が高くなり $N=1.9\text{ Hz}$ （ $Nd/U=2.5$ ）の場合には死水領域は円柱とほとんど一点で接触するようになり（図5(c)）， $N=2.1\text{ Hz}$ （ $Nd/U=2.8$ ）では死水は完全に消失する（図5(d)）。この場合の死水消失の臨界ストローハル数 θ_0 は約2.8である。

図6は円柱直径2.2 cm，角度振幅 45° ，レイノルズ数127の場合の後流のタイムラインを示す。円柱後方に主流に対して直角に張られた白金細線から水素気泡を間欠的に発生させたもので，速度分布を知ることができる。円柱が振動しないとき（ $Nd/U=0$ ）には円柱背部に逆流が存在するが，強く振動する場合（ $Nd/U=6.1$ ）には逆流が完全に消失し，後流の幅が狭くなっていることがわかる。

図7は円柱に強い回転振動を与えたときに時間とともに死水が縮小し，遂に完全に消失する過程を示す³⁾。振動開始後，流脈が円柱近傍から離れる点は一回の振動ごとに互いにゆっくりと接近し，遂に円柱の最後端で合体して一本の直線状の流脈になる。この写真の例では振動開始から死水が完全に消失するまでに約60回の振動が必要である。

図8は死水消失の臨界ストローハル数 S_c に及ぼす角度振幅 θ_0 の効果を示す。円柱直径 d とレイノルズ数 R が全く同じであるにもかかわらず， $\theta_0=45^\circ$ の場合には $S_c=5.0$ であるが $\theta_0=90^\circ$ の場合には $S_c=2.4$ であり， S_c は θ_0 にほぼ逆比例する。この例に限らず， S_c が θ_0 に逆比例するという関係は一般的に成立つように見える。

本実験はレイノルズ数 $R=30\sim 300$ の範囲で行われたが，非常に興味深いことは S_c は R にほとんど無関係であることである。

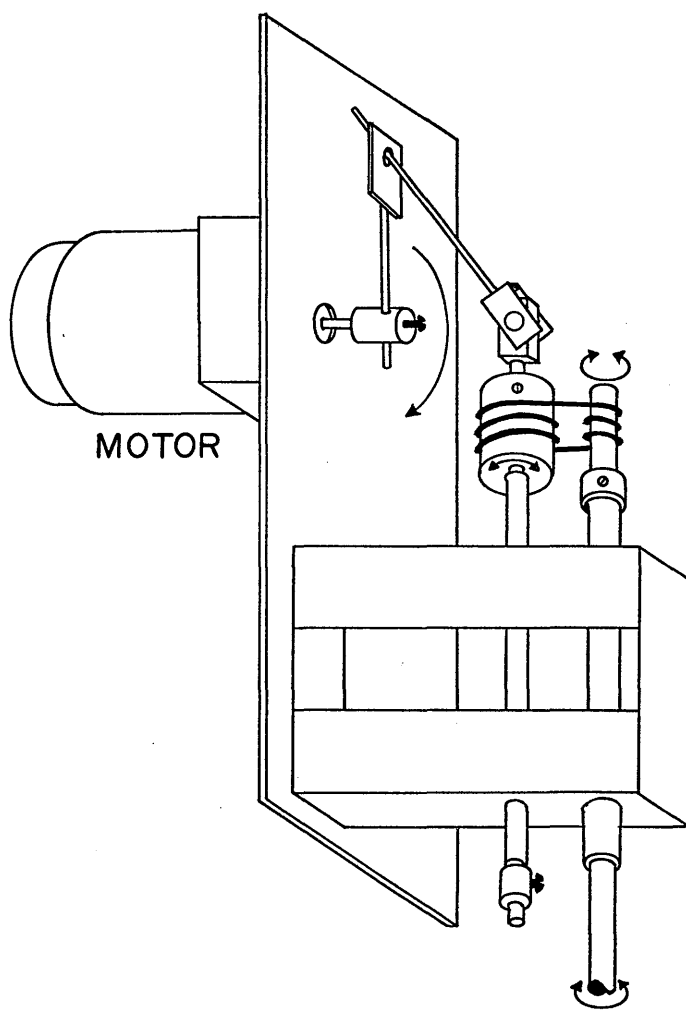


図2 回転振動発生装置

次元解析の結果によれば、無限に広い一様流の中で一本の円柱が回転振動を行う場合、 S_c を支配する無次元量は θ_0 と R のみである。ところが、表1に示されるとおり、実験は有限幅の水槽の中で有限長さの円柱を用いて行われるので、 S_c は水槽幅 D と円柱長さ L の影響をうける。図9は大きな直径の円柱を使用した場合の流れ模様の例で、 D/d および L/d の値により S_c が変化することを示す。表1から S_c は $(D/d)^{-\frac{1}{2}}$ および $(L/d)^{-\frac{1}{2}}$ に比例することがわかる。結局、本実験の範囲では

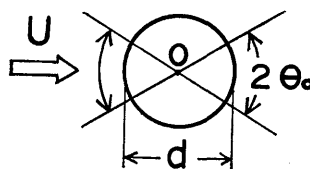


図3 円柱の運動説明図

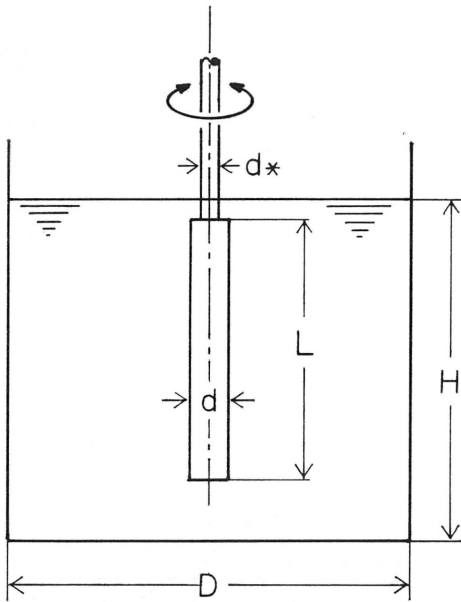


図4 水槽中の円柱の配置図

$$S_c \propto \theta_0^{-1} \cdot R^0 \cdot (D/d)^{\frac{1}{2}} \cdot (L/d)^{-\frac{1}{2}}$$

が成立する。

以上に述べたように、一様流中で円柱に強い回転振動を与えれば死水領域は消失し、円柱表面から流れ出る流脈は一本の直線となり、それ以上振動を強めてもはや変化しない。しかし、流線模様の方は死水が消失したのちもなお変化を続ける。図10は高いストローハル数領域における流線模様の変化を行す。図からわかるように、ストローハル数が S_c に近いときには流線は前後非対称で、後方の流線の間隔が前方の流線にくらべて広がっている。しかし、ストローハル数が増大するにつれて、後方の流線の間隔は次第に狭くなり、前後対称になる。本実験で到達し得た最高のストローハル数では、

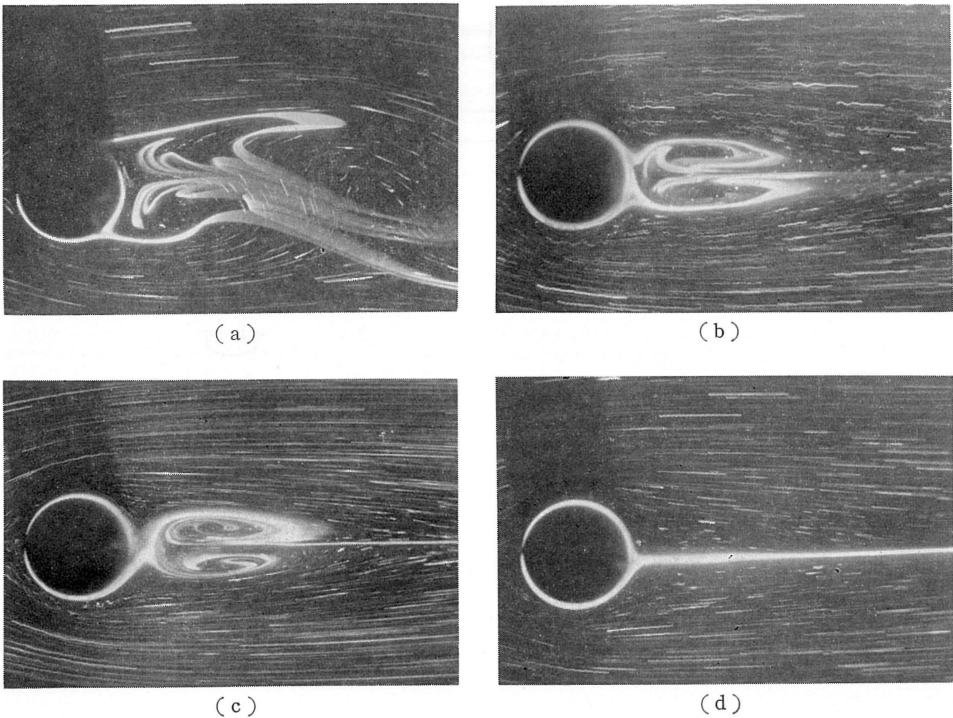


図5 ストローハル数による流れ模様の変化 (アルミ粉法と電解沈澱法の同時使用)
 $d=1.0\text{ cm}$, $\theta_0=45^\circ$, $U=0.74\text{ cm/s}$, $R=61.3$ (a) ストローハル数 $S=0$ (振動数 $N=0$),
 (b) $S=2.0$ ($N=1.5\text{ Hz}$), (c) $S=2.5$ ($N=1.9\text{ Hz}$), (d) $S=2.8$ ($N=2.1\text{ Hz}$)

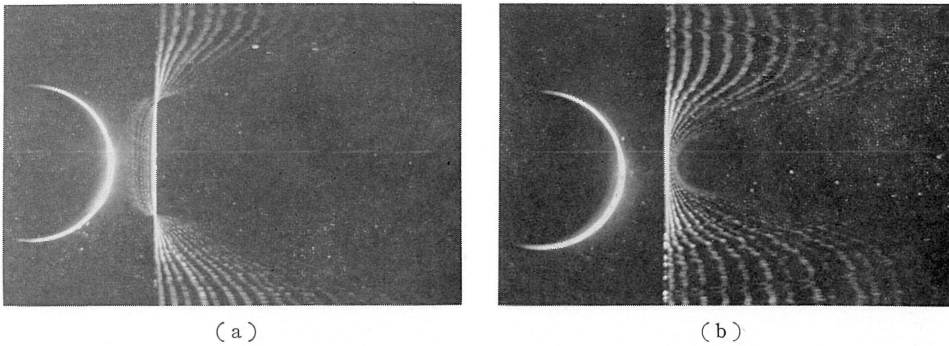


図6 回転振動円柱の後流のタイムライン (水素気泡法)
 $d=2.2\text{ cm}$, $\theta_0=45^\circ$, $U=0.72\text{ cm/s}$, $R=127$
 (a) $S=0$ ($N=0$), (b) $S=6.1$ ($N=2.0\text{ Hz}$)

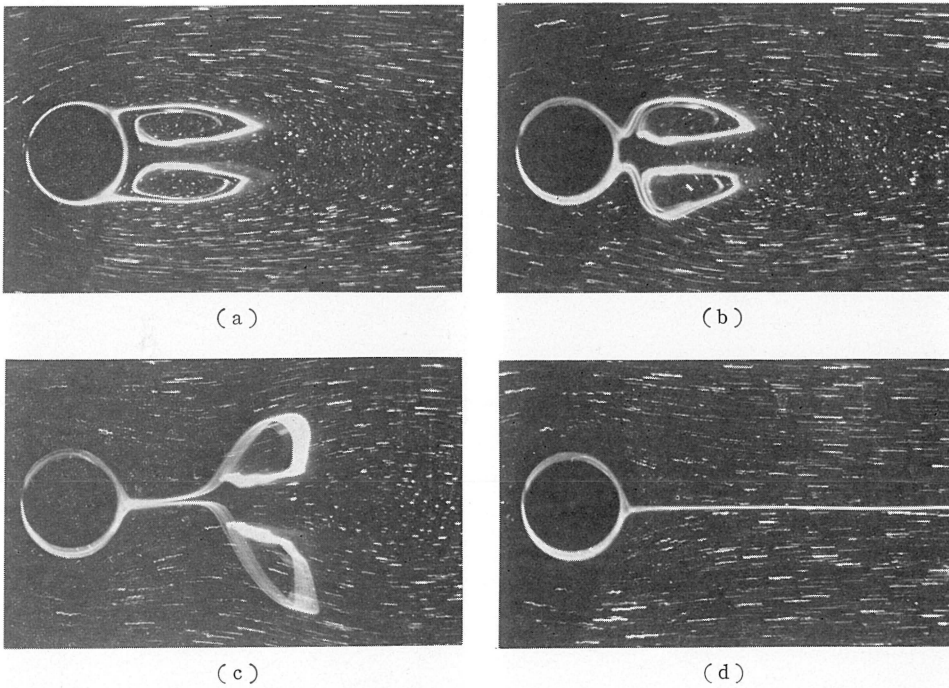


図7 回転振動開始後の流れ模様の変化的変化 (アルミ粉法と電解沈澱法の同時使用)
 $d=1.0\text{ cm}$, $\theta_0=45^\circ$, $U=0.33\text{ cm/s}$, $N=2\text{ Hz}$, $R=35.1$, $S=6.0$
 (a) 運動開始後の時間 $t=0$, (b) $t=4.4\text{ s}$, (c) $t=10.0\text{ s}$, (d) $t=35.0\text{ s}$

後方の流線が前方の流線よりも僅かに狭くなっているように見える (図10 (d)). 今後さらに詳しい実験を行う予定である.

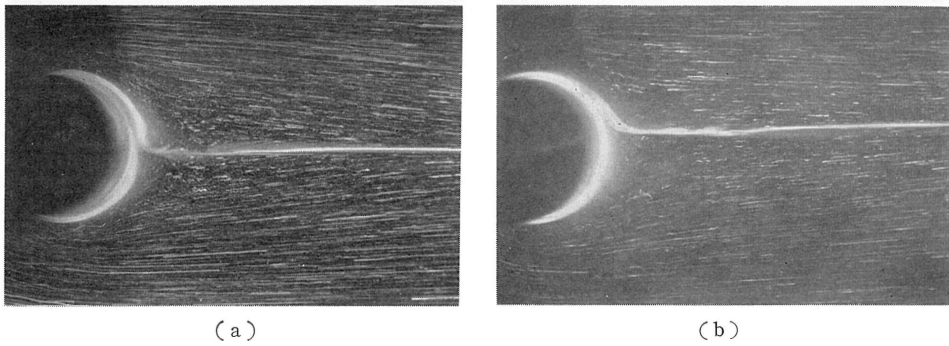


図8 臨界ストローハル数の角度振幅による変化 (アルミ粉法と電解沈澱法の同時使用)
 $d=2.2\text{ cm}$, $R=65$
 (a) $\theta_0=45^\circ$, $S=5.0$, (b) $\theta_0=90^\circ$, $S=2.4$

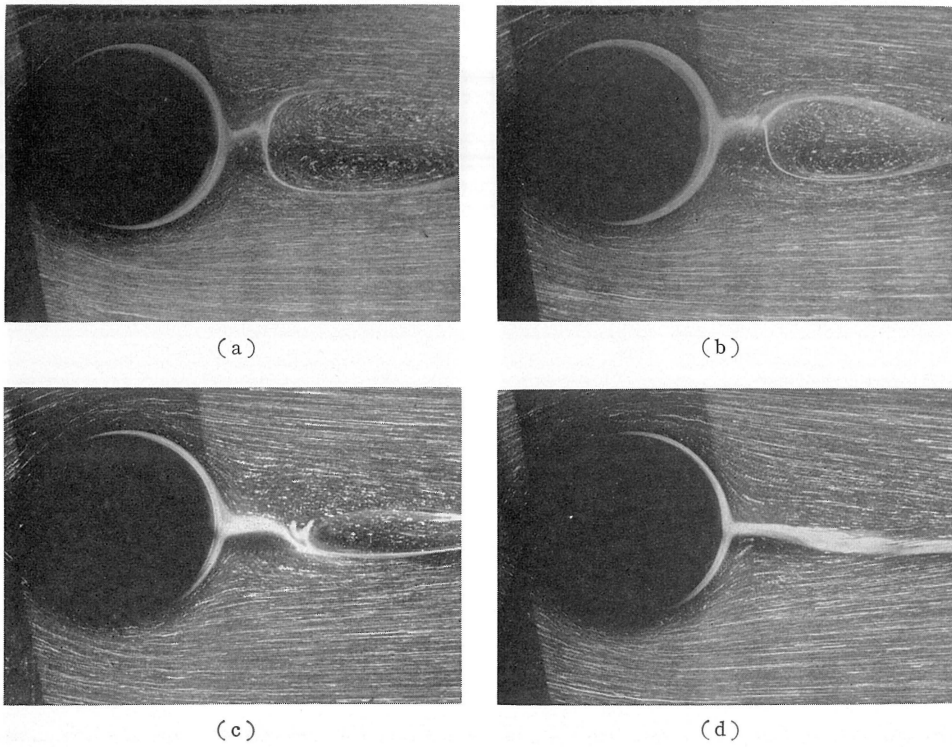
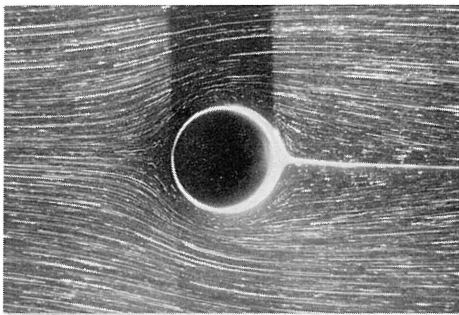


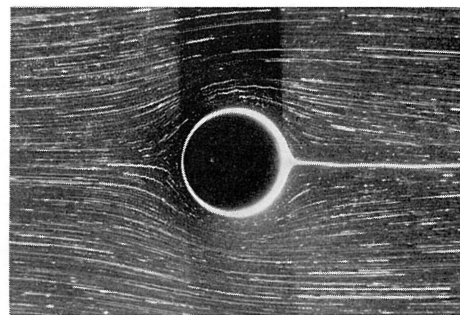
図9 流れ模様にあぼす水槽壁の効果
 $d=3.2\text{ cm}$, $\theta_0=45^\circ$, $R=110$, $D/d=16$, $L/d=9.7$
 (a) $S=4.4$, (b) $S=5.1$, (c) $S=6.6$, (d) $S=6.9$

表1 臨界ストローハル数 S_c の測定値

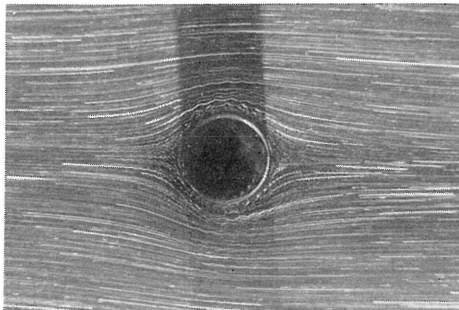
d (cm)	L (cm)	D (cm)	θ_0	R	L/d	D/d	S_c	円柱支持法
1.0	30	50	45°	36	30	50	2.8	A
1.0	30	50	45°	62	30	50	2.8	A
2.2	31	50	45°	36	14	23	5.5	B
2.2	31	50	45°	65	14	23	5.5	B
2.2	31	50	45°	120	14	23	5.5	B
2.2	31	50	90°	65	14	23	2.3	B
2.2	31	50	90°	115	14	23	2.3	B
2.2	31	25	45°	36	14	11.4	7.5	B
2.2	31	25	45°	110	14	11.4	8.5	B
2.2	16	25	45°	32	6.8	11.4	11.0	B
2.2	16	25	45°	111	6.8	11.4	11.0	B
3.2	31	50	45°	110	9.7	16	7.5	A
3.2	31	50	45°	300	9.7	16	7.5	A



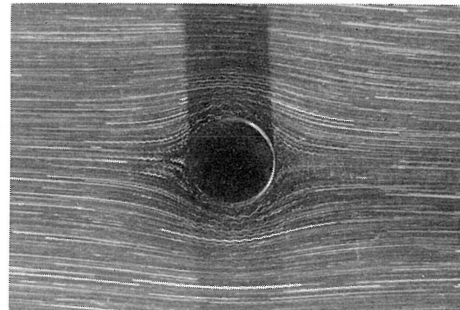
(a)



(b)



(c)



(d)

図10 高ストローハル数における流線模様の変化

$$d=1.0 \text{ cm}, \theta_0=45^\circ, R=34$$

(a) $S=3.6$, (b) $S=6.5$, (c) $S=7.1$, (d) $S=11.3$

謝 辞

原稿の作製を手伝って下さった石村京子さんに感謝する。なお、本研究は文部科学研究費および三菱財団研究助成金の援助によって行われた研究の一部である。

文 献

- 1) 種子田, 天本, 石井: 回転振動する円柱の境界層の安定, 応用力学研究所所報, 36号 (1972) 49.
- 2) Taneda, S.: Visualization experiments on unsteady viscous flows around cylinders and plates, Recent Research on unsteady Boundary Layers, Vol. 2 (Ed. E. Eichelbrenner, Laval University Press, 1971) 1165.
- 3) Taneda, S.: Visual study of unsteady separated flows around bodies, Progress in Aerospace Sciences **17** (1977); to be published.

(昭和52年5月31日受理)