



HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|------------------|---|
| Title | 平面壁に付着した矩形柱の後流に関する一実験 |
| Author(s) | 福迫, 尚一郎; Fukusako, Shoichiro; 木谷, 勝 他 |
| Citation | 北海道大學工學部研究報告, 54, 155-171 |
| Issue Date | 1969-10-20 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/40968 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 54_155-172.pdf |



平面壁に付着した矩形柱の後流に関する一実験

福迫尚一郎*

木谷勝*

有江幹男*

(昭和44年5月1日受理)

An Experimental Study on a Two-Dimensional Wake of a Rectangular Cylinder Attached to a Plane Wall

Schoichiro FUKUSAKO

Masaru KIYA

Mikio ARIE

(Received May 1, 1969)

Abstract

Two flow visualization techniques using dye and aluminium flakes were applied to investigate the flow around a rectangular cylinder attached to a plane wall. The length of the standing eddy to the lee of the cylinder was found to have a tendency to increase linearly with respect to $\log R$, R being the Reynolds number in terms of the height of the rectangular cylinder and the oncoming fluid velocity. The ratio of the length of the rectangular cylinder to its height was varied from 0 to 3 and the Reynolds number from 19 to 2500.

1. 緒 言

平面壁に付着した物体周辺の流れは自然界にも、また工学的にもしばしば遭遇するものである。平地に建てられた構造物周辺の流れ、河床内の凸起物周辺の流れ、パイプの接合部にしばしばみられるはみ出したパッキング周辺の流れなどがこれに対応する。機械工学的見地からすれば、このようなパイプ内面等に生ずる不規則性は流れの抵抗を増大せしめるために、可能なかぎりこれを除去するように努めなければならない。さらにスルース弁をよぎる流れ、断面急拡大部の流れなども例としてあげうるであろう。このような凸起物はその下流側に拘束された渦を形成するという点で共通の性質を有する。しかるに土木工学においては、この拘束された渦を積極的に利用し、河床あるいは堤防の保護を行なっている場合がある。すなわち、堤防等に矩形柱を連続的に固定させるか、適当な一連の凹凸をつけることによって、前方の矩形柱

* 機械工学科 流体工学第一講座

からの剝離流線をすぐ後方の矩形柱の表面上で閉じさせるように工夫すれば、堤防はつねに主流の速度に比較して極めて遅い拘束された渦に接するのみとなって、堤防の浸蝕を防止できる。このような保護物体の有効な設計に当っては、矩形柱の縦横比と主流速度との変化にともなう拘束された渦の形状についての詳細な知識が必要である。

実際問題としてはこのような物体が多数存在するため、相互の干渉も考慮に入れなければならない。しかしそのためにはまず最も簡単な単一矩形柱についての拘束された渦の形状を明らかにしておく必要がある。

本報告はかかる観点に立って、平面壁に固着しておかれた単一矩形柱周辺の流れ、とくにその拘束された渦に関する実験的研究について述べたものである。矩形柱の縦横比、レイノルズ数をいく通りかに変化させて拘束された渦の長さを測定してある。比較的 d/h (d : 矩形柱の長さ, h : 矩形柱の高さ) の大きな矩形柱においてはその前面、および上面にも剝離した渦が形成される。本実験ではこれらの渦についても観察を行なったが、今回の可視化測定法では渦の境界を明確に規定することは困難であるため詳細な定量的な測定は行なわなかった。

著者らは、境界層の中におかれた物体周辺の流れに関する一連の研究を続行しつつあるが^{1),2)}、本報告はその一環として平面壁に付着して設置された矩形柱周辺の流れを全体的に把握する目的をもって行なった実験について述べたものである。

2. 実験装置および実験方法

実験は流体力学第一講座の実験用開水路を用いて行なった。この水路の両側面は透明なガラス板で構成され、容易に流れの観察を行なうことができる。また試験部の上流と下流に水槽を有し、斜流ポンプを用いて回流できるようにしてある。上流側の水槽は流れをできるだけ安定、均一にするため、整流板、整流格子および絞り装置等の種々の工夫がほどこされている。流れの観察は矩形柱が静止してこれに流れが当たる場合およびその反対に流体が静止して矩形柱が移動する場合について行なった。流れの可視化は前者はインクにより、後者はアルミニウム粉末によって行なった。

(a) インクによる観測

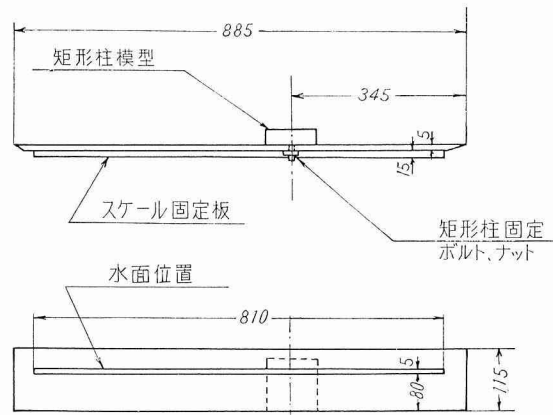
上記水路の試験部に実験用水流の二次元性および安定性を向上させるために、長さ 1650 mm、幅 300 mm、高さ 100 mm の小水路を挿入した。底は黒色の不透明プラスチック、両側面は透明なアクリル板でそれぞれ構成されている。供試矩形柱は $h=30$ mm, $d=60$ mm および $h=30$ mm, $d=120$ mm なる寸法を有する二種のもので、これらはそれぞれ透明アクリル板にその先端から 500 mm の位置に接着剤によって固定した。透明アクリル板の先端は片方をそいで滑らかな水路への流入が実現されるようにしてある。

可視化用インクは直径 0.5 mm の注射針から流れの中に放出される。この注射針は先端を 90° に曲げ、出口が下流側に向くように設置しこれに外径 6 mm のビニールチューブを接続し

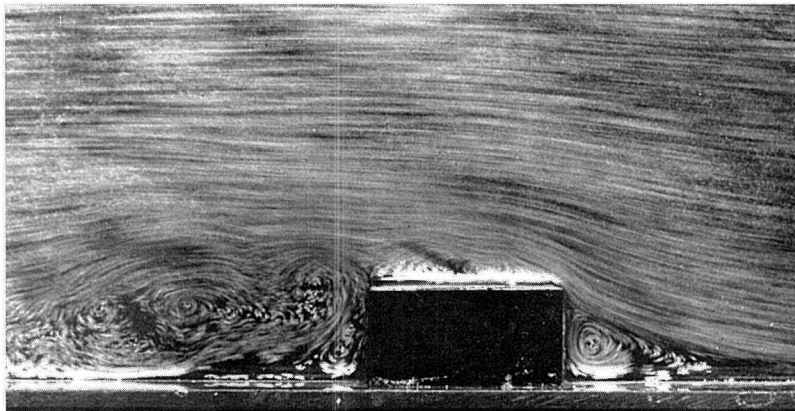
回転数を制御し連続的な変速も行なうことができる。

供試矩形柱は高さ $h=300$ mm, 長さ $d=0, 10, 20, 30, 40, 50$ および 90 mm の 7 種類である。これら矩形柱は第 3 図に示す高さ 115 mm, 長さ 885 mm, 厚さ 5 mm のアクリル板に固定した。またアクリル板には 1 mm きざみのスケールを固定させ、拘束された渦の諸元の測定に便利なようにしてある。

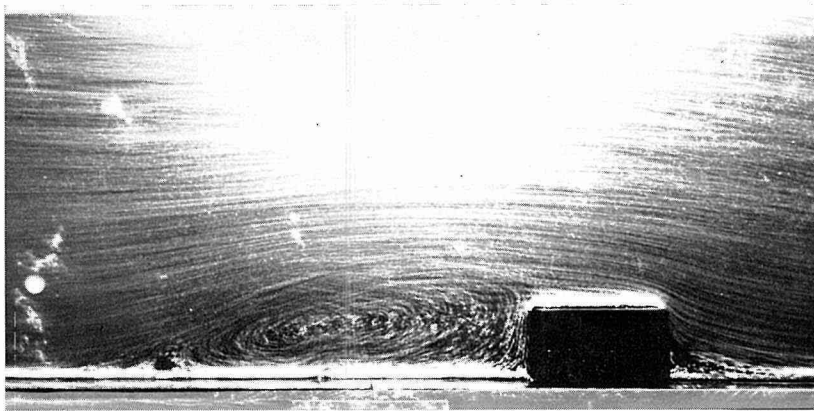
実験はレイノルズ数 $R=Uh/\nu$ (U は矩形柱の移動速度) が $19\sim 1900$ の範囲について行なった。剝離した渦内の流れはほとんどの場



第 3 図 矩形柱固定台



(a) F 11 1 sec, $R=1714$



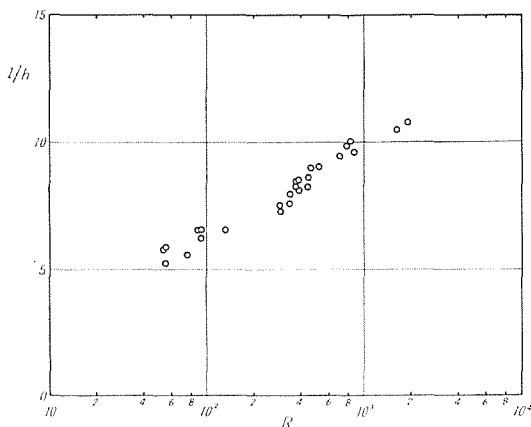
(b) B 40 sec, $R=498$

第 4 図 露光時間による flow pattern の変化

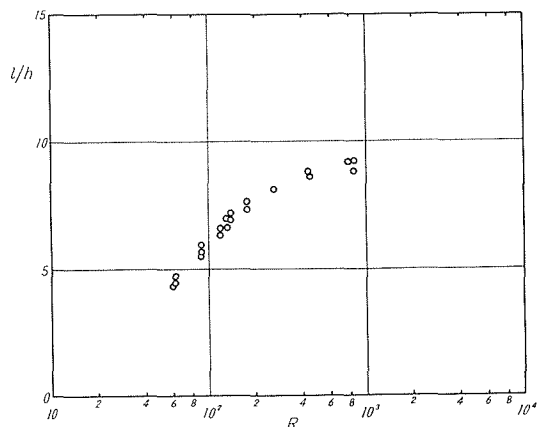
合乱流であり、写真撮影時の露光時間の長短により、得られる流線図に顕著な差異が見られる。1例として第4図(a)および(b)に露光時間を1秒および40秒としたときの流線図を示す。短時間露出によって得られた写真では矩形柱前面および上面の剝離渦が明瞭に認められ、また後面の剝離流中には4~5個の渦が存在することがわかる。40 secの露光を行なった(b)図では前面および上面剝離渦はそれほど明瞭ではないが、後面の剝離流は一つの大きな拘束された渦の形状をとっていることは注目すべきである。従来円筒あるいは球の下流側に生ずる一対の渦については多くの実験的研究^{3),4)}が報告されているが、これらはほとんどすべて渦内の流れが層流の場合に限られているようである。この場合渦内の流れは定常となるために露光時間に関係なく一定の流線図が得られる。しかるに乱流の場合には事情が異なって来る。例えば1秒間という時間を単位として流れを観察した場合、1秒の周期をもつ渦は平均流とみなすべきであって、これを乱れと解釈することはできないであろう。同様に10秒を単位として流れを観測する場合1秒の周期をもつ渦は乱れとみなすことができるかも知れないが、少なくとも10秒の周期をもつ渦は平均流として取り扱わなければならない。すなわち乱流の場合には観測する時間の長さにより流線図は異なるのである。しかるに特別な場合を除き工学的に重要なのは比較的長い時間における平均値であるから、可能な限り露光時間を長くにとって撮影を行なうことが望ましい。しかし露光時間を次第に増加させて撮影を繰り返すと、もうそれ以上の時間をかけても流線図はほとんど変化しないような限界が存在するはずであるから、実際問題としてさほど長時間の露出は必要でない。第4図(b)における40秒なる露光時間は、この限界露光時間よりもかなり大きな値であることは一連の実験によって確かめてある。以下に示すアルミニウム粉末による流線図の撮影は特別の場合を除き35~40秒の露光時間をかけて行なったものである。

3. 実験結果および考察

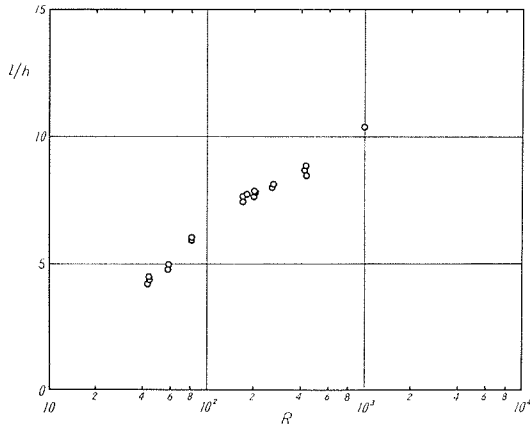
第5~11図には各矩形柱周辺の流れをいくつかのレイノルズ数について示してある。これ



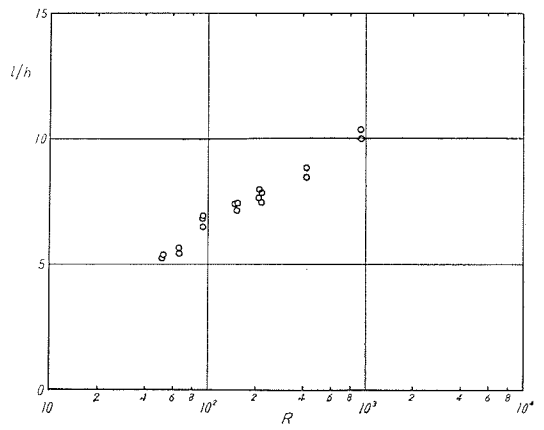
(a) $d/h=0$



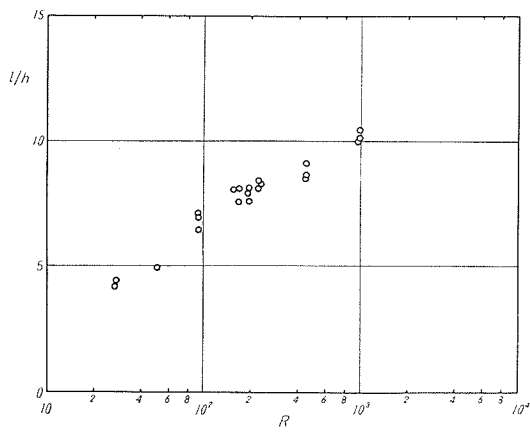
(b) $d/h=1/3$



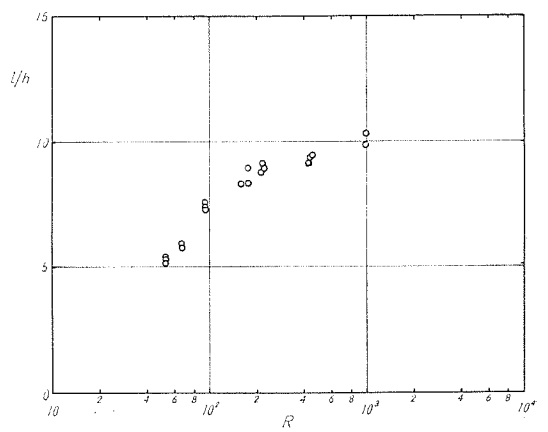
(c) $d/h = 2/3$



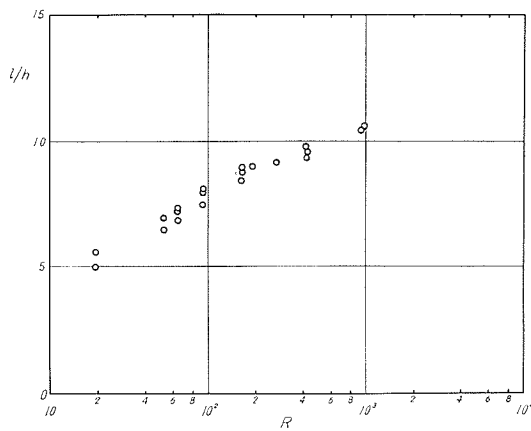
(d) $d/h = 1.0$



(e) $d/h = 4/3$



(f) $d/h = 5/3$

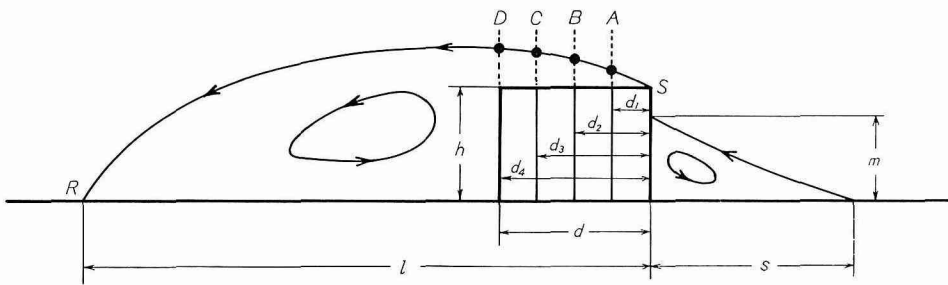


(g) $d/h = 3.0$

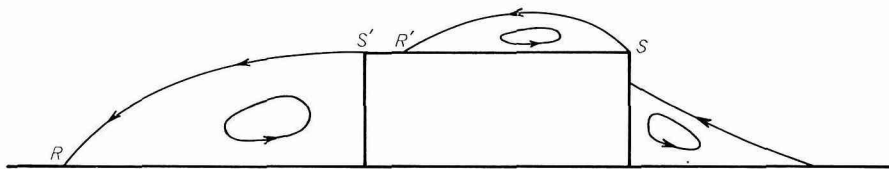
第 12 図 レイノルズ数と confined eddy 長さの関係

らの写真から判定できるように、拘束された渦の長さ（矩形柱先端から拘束された渦が平面鏡界壁上で閉じる点までの長さ）は、レイノルズ数の増加にともなって次第に増加している。

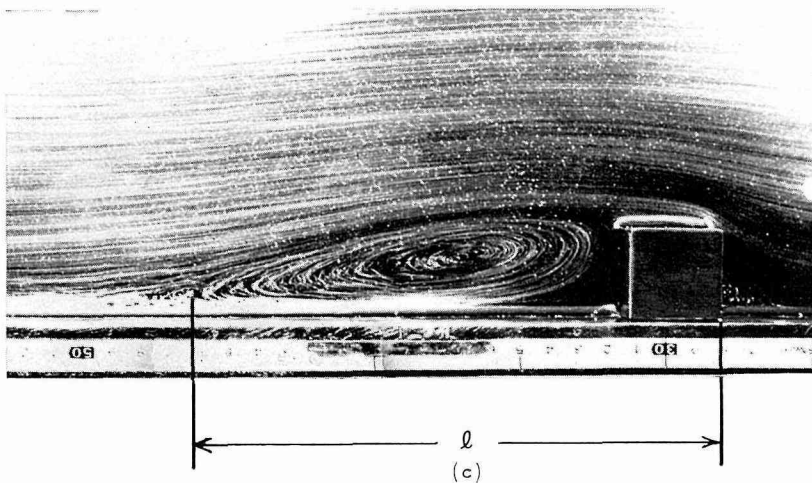
第5図は $d = 6 \text{ mm}$ なる矩形柱の先端を下流側にそいだ場合における流線図を示すものであって、平面壁に付着して設置された平板の後流を表わすものと考えてよい。各レイノルズ数に対して後流の長さ l を読みとり、横軸にレイノルズ数、縦軸に l/h を取って各測定値をプロットすれば第12図(a)のようになる。測定結果は比較的ばらついているが、後流の長さはレイノルズ数の関数であって、片対数目盛の座標上で、少なくとも本実験の範囲内では、ほぼ直



(a)



(b)



(c)

(a) 矩形柱上面で再付着しない場合

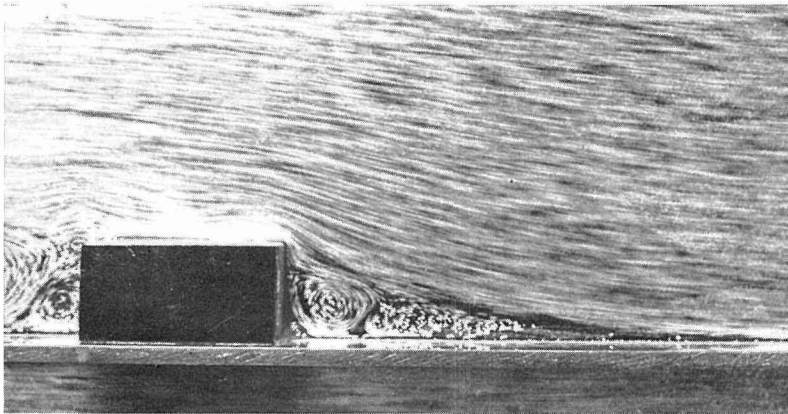
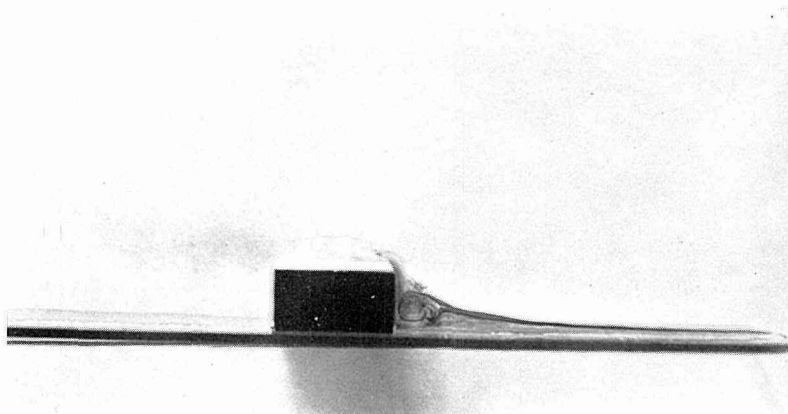
(b) 矩形柱上面で再付着する場合

(c) 長さ l の決定

第13図 剥離渦の二形状および測定例

線的に増加していることが認められる。他の矩形柱の拘束された渦についても同様の結果が得られる。これらは第12図(b)~(g)に示してあるが、 $R=900\sim 1000$ のときすべての矩形柱について l/h の値は大体 $10.0\sim 10.5$ の範囲内にあることがわかる。これは矩形柱の高さが同一ならばその長さが異なっても、矩形柱先端から剥離流線再付着点までの長さは一定であることを意味する。この事実は、第13図(a)において点 S から剥離した流線が矩形柱上面で(b)図のように再付着せず、そのまま平面壁上の R 点まで達することを示唆するものと考えられる。

いま第13図(a)において d_1 , d_2 , d_3 および d_4 なる長さを有する同一高さの矩形柱を考えると、各矩形柱の後面の圧力はそれぞれ点 A , B , C , D における剥離流線上の静圧によってほぼ規定されるであろう。剥離流線上の静圧は一般に下流側ほど大きくなる⁵⁾。一方矩形柱の形状抵抗は前面および後面における圧力差の積分値として与えられるから、矩形柱の長さが大なるほど一般に形状抵抗は減少するものと予想される。中口等⁶⁾ は一様流の中におかれた矩形断

(a) $R=1714$ (b) $R=2541$

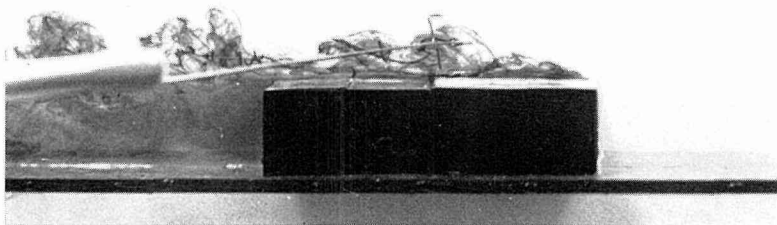
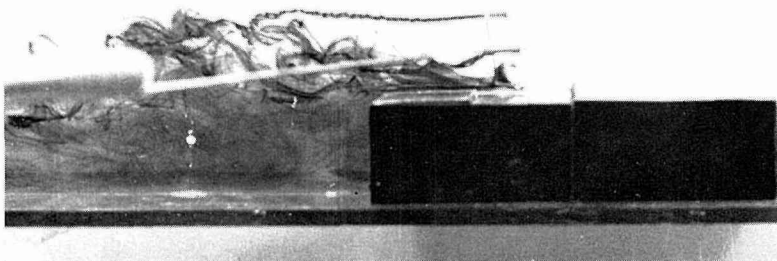
(a) アルミ粉末による観測 (b) インクによる観測

第14図 矩形柱前面の剥離渦

面柱に関して一連の実験を行ない、 d/h の増加にともなって形状抵抗は減少する傾向があることを見出している。中口らの測定によれば $d/h=2.8$ のとき形状抵抗係数は 0.55 程度である。ただ平面壁に固定された矩形柱の場合には剥離した渦が下流側に固定されるために形状抵抗は大幅に減少するであろう。この点に関する定量的な測定は今後の課題である。

平面壁に固着された矩形柱あるいは平板の前面に発生する拘束された渦の存在はすでに Föttinger⁷⁾, Wieghardt⁸⁾, Good & Joubert⁹⁾ らによって指摘されている。Good & Joubert は $R=10^5$ の場合、平板前面に生ずる拘束された渦においては $m \doteq 0.6h$, $s \doteq h$ であることを示している。しかるに第 14 図に見るように $d/h=2$, $R=1714$ および 2541 のときの拘束された渦については、 $m \doteq 0.7h$, $s=3h$ 程度であり、 s の値が Good & Joubert の結果とは大分異なっている。これはレイノルズ数および上流の速度分布の相違にもとづくものであろう。

第 15 図 (a), (b) は剥離流線再付着点の観察例を示すものである。(a) 図においてはインクは上流側に向かっており、インク放出点は逆流領域内に存在するが、(b) 図では事情が反対になっ

(a) $R=843$ (b) $R=843$

第 15 図 インクによる再付着点の観察

ている。したがって再付着点は二つのインク放出点の中間に存在することになる。この操作を繰り返して範囲をせばめて行けば剝離点の位置を決定することができる。

4. 結 言

平面壁に付着して設置された矩形柱周辺の流れを観察し、つぎの結果を得た。なお実験範囲は $d/h=0\sim 3$ (h は矩形柱の高さ, d は矩形柱の長さ), レイノルズ数 $Uh/\nu=19\sim 2500$ (U : 流速) である。

(1) 矩形柱後面の渦の平均流線図は 35~40 秒の露光時間をかけると比較的明瞭に撮影することができる。

(2) 矩形柱の後面に生ずる拘束された渦の長さはレイノルズ数の関数であり, $R=19\sim 1000$ の範囲では, 片対数方眼紙上ではほぼ直線的に増加する。

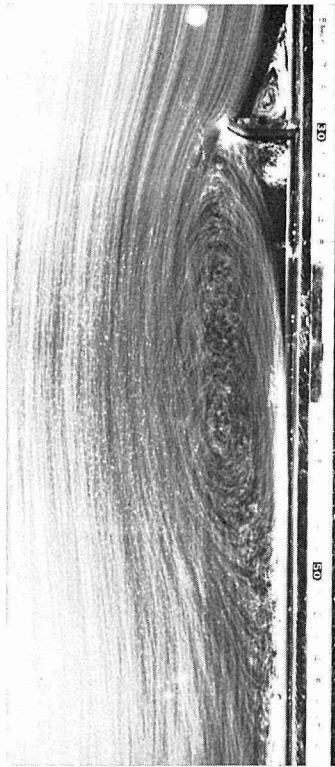
(3) 矩形柱前面に生ずる剝離した渦の長さは矩形柱高さのほぼ 3 倍程度であり, 前面での再付着点は平面壁より $0.7h$ 程度のところにある。

(4) 矩形柱上面で剝離流線が再付着しない場合には, 矩形柱先端から剝離流線の平面壁上再付着点までの長さは, 矩形柱の長さに関係なくほぼ一定である。レイノルズ数が 1000 程度ならばこの長さは, 矩形柱高さのほぼ 10 倍である。

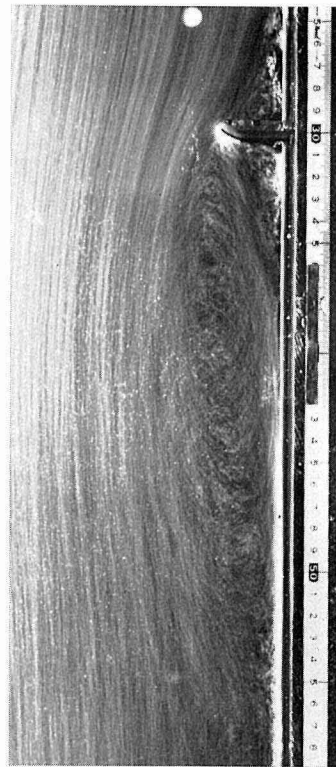
本実験を行なうにあたり, 実験装置の製作, 写真撮影等に関し山崎輝夫技官, 高橋昌道大学院学生の協力を得た。ここに感射の意を表する。

参 考 文 献

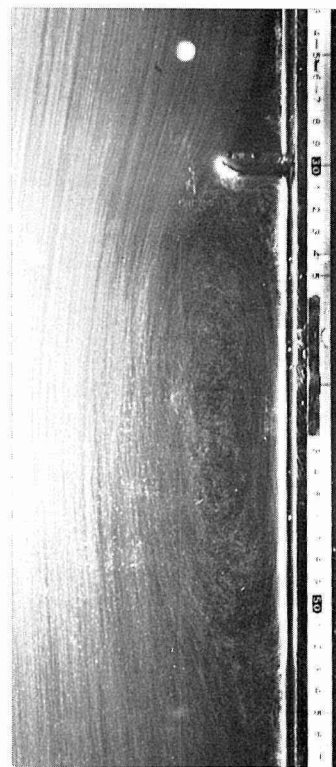
- 1) 有江・木谷: 日本機械学会論文集 33 卷, 246 号 (昭和 42-2), 242.
- 2) 木谷: 北大工学部研究報告, 第 50 号 (昭 43 年), 1.
- 3) Taneda, S.: Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Vol. 4, No. 14 (1956), 29.
- 4) Taneda, S.: Reports of Research Institute for Applied Mechanics, Vol. 4, No. 16 (1956), 99.
- 5) Arie, M.: Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido University, Vol. 10, No. 2 (1956), 211.
- 6) Schlichting, H.: Boundary Layer Theory, 4th ed., McGraw-Hill Book Co., (1962), 33.
- 7) Wiegardt, K.: Forschungshefte für Schiffstechnik, 2 (1953), 65.
- 8) Good, M. C. and Joubert, P. N.: J. Fluid Mech., Vol. 31 (1968), 547.



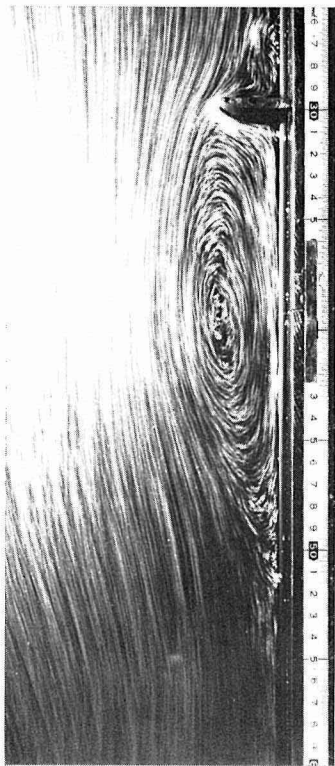
(d) $R=247$



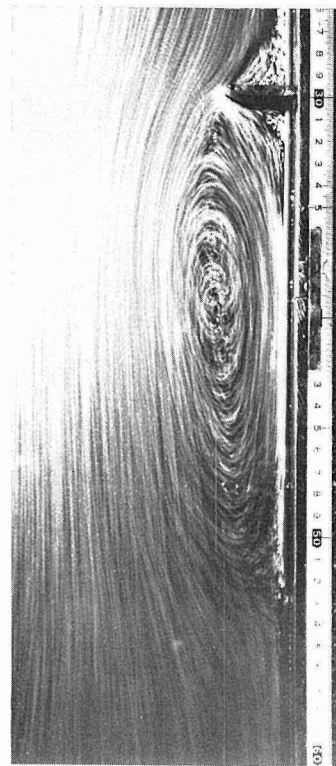
(e) $R=449$



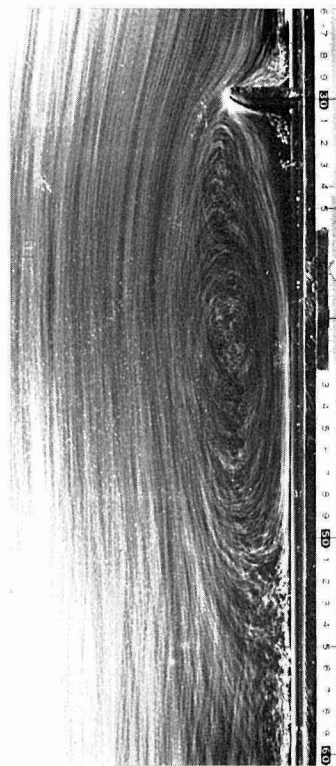
(f) $R=820$



(a) $R=54$

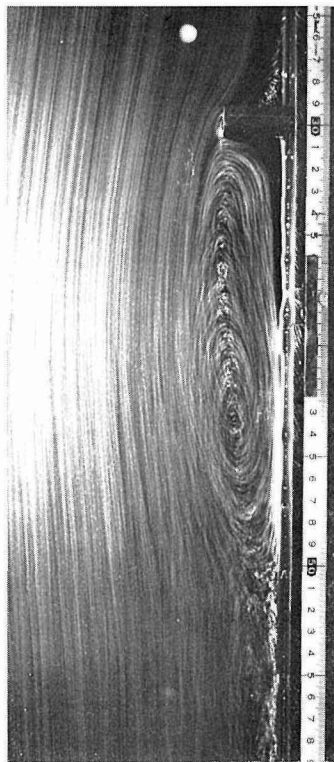


(b) $R=89$

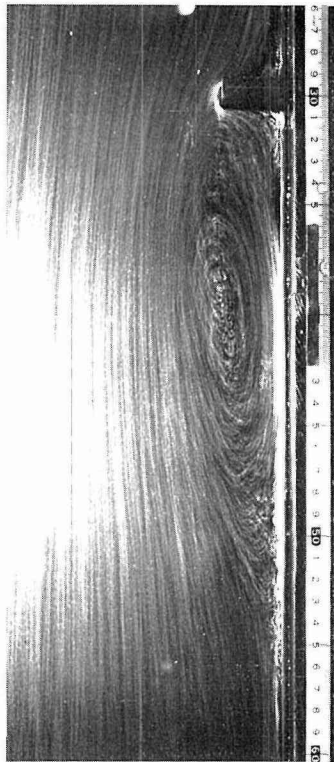


(c) $R=161$

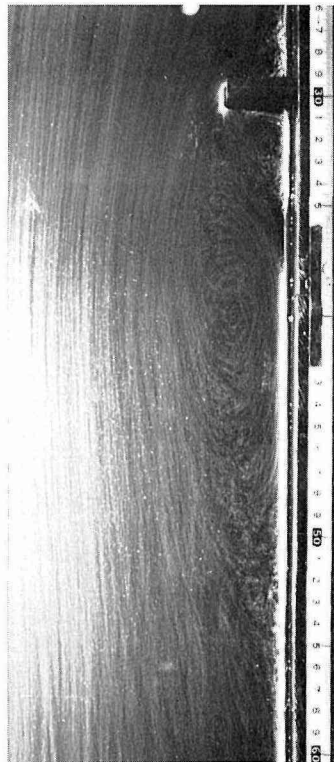
第5図 $d/h=0$



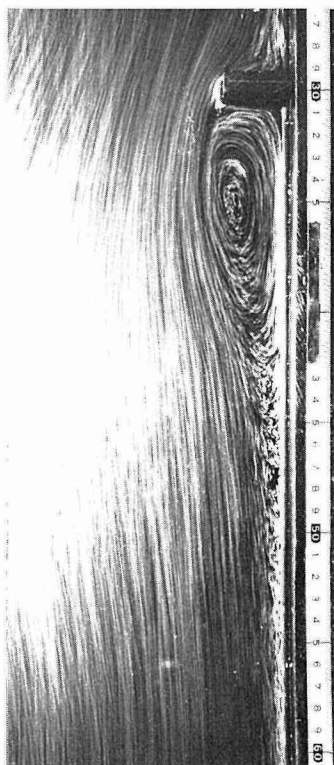
(a) $R=63$



(b) $R=89$



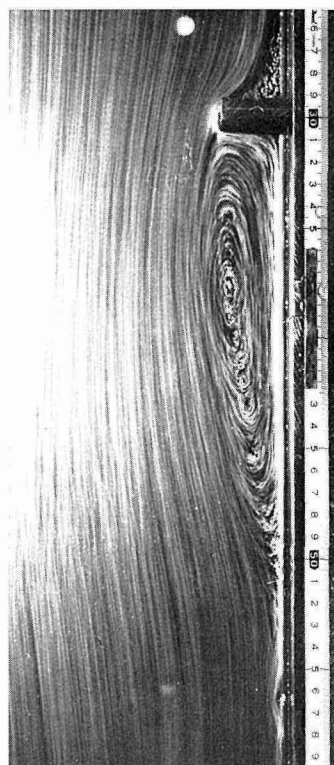
(c) $R=123$



(d) $R=139$

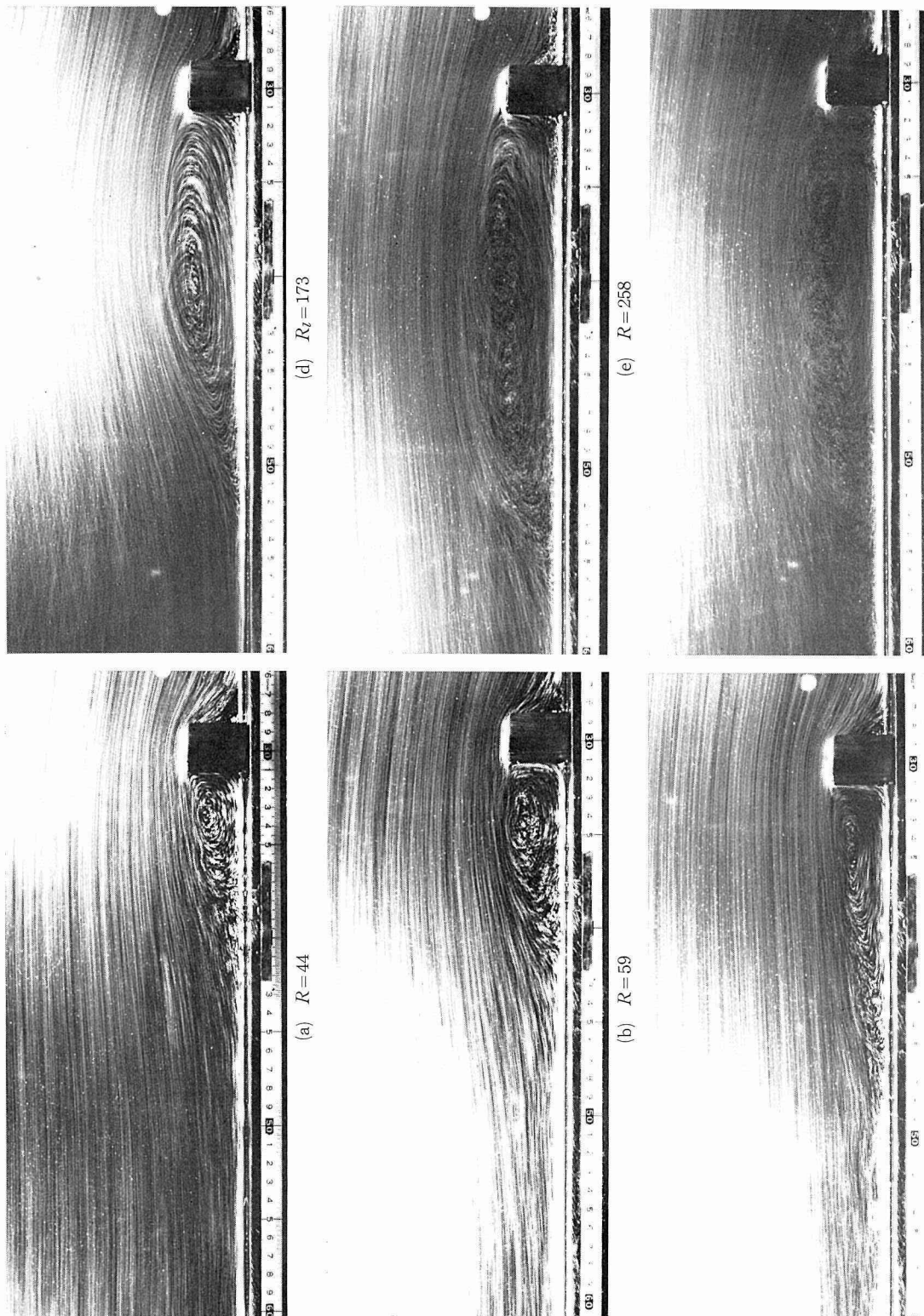


(e) $R=252$

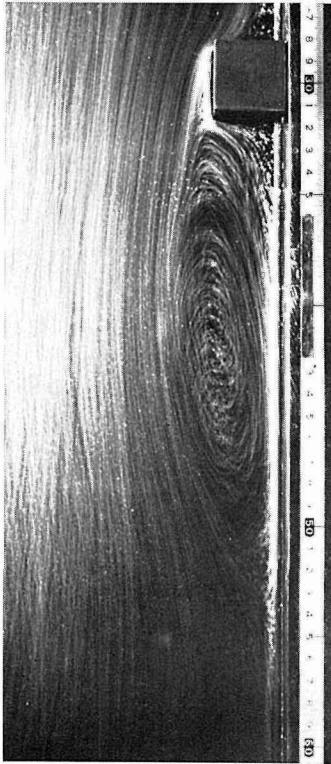


(f) $R=439$

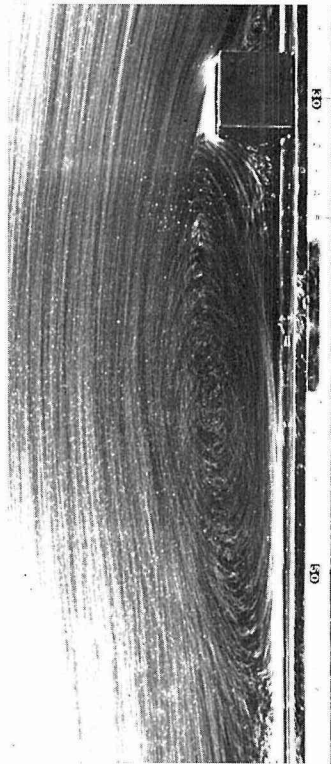
第 6 図 $d/h=1/3$



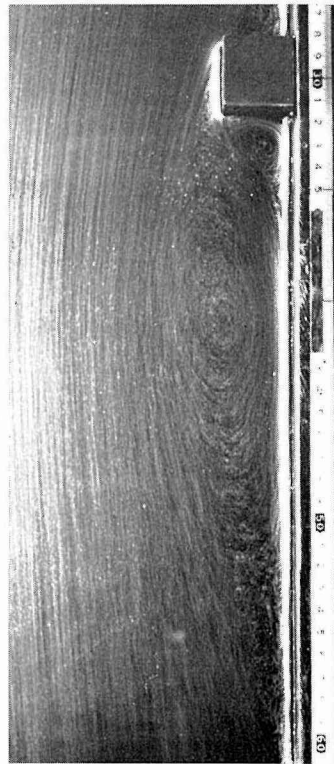
第7図 $d/h=2/3$



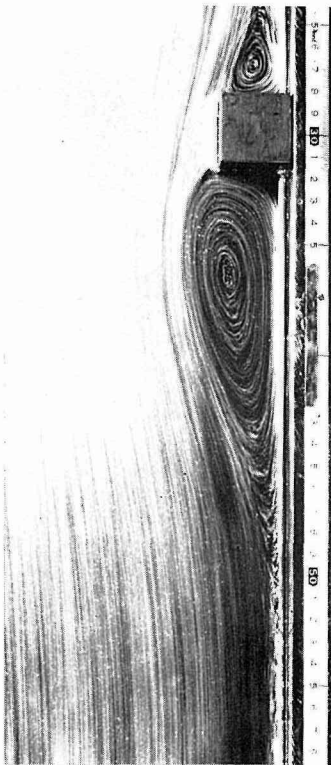
(a) $R=69$



(b) $R=99$



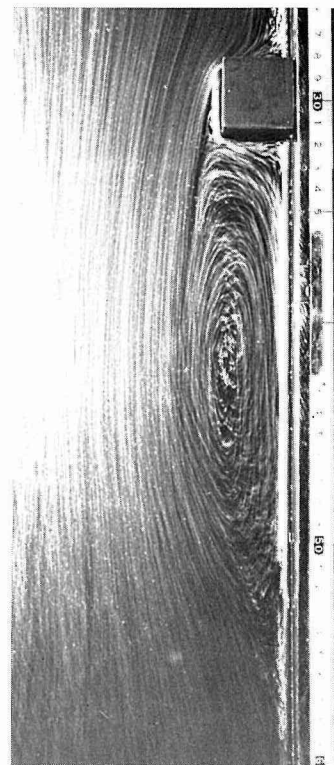
(c) $R=156$



(d) $R=220$

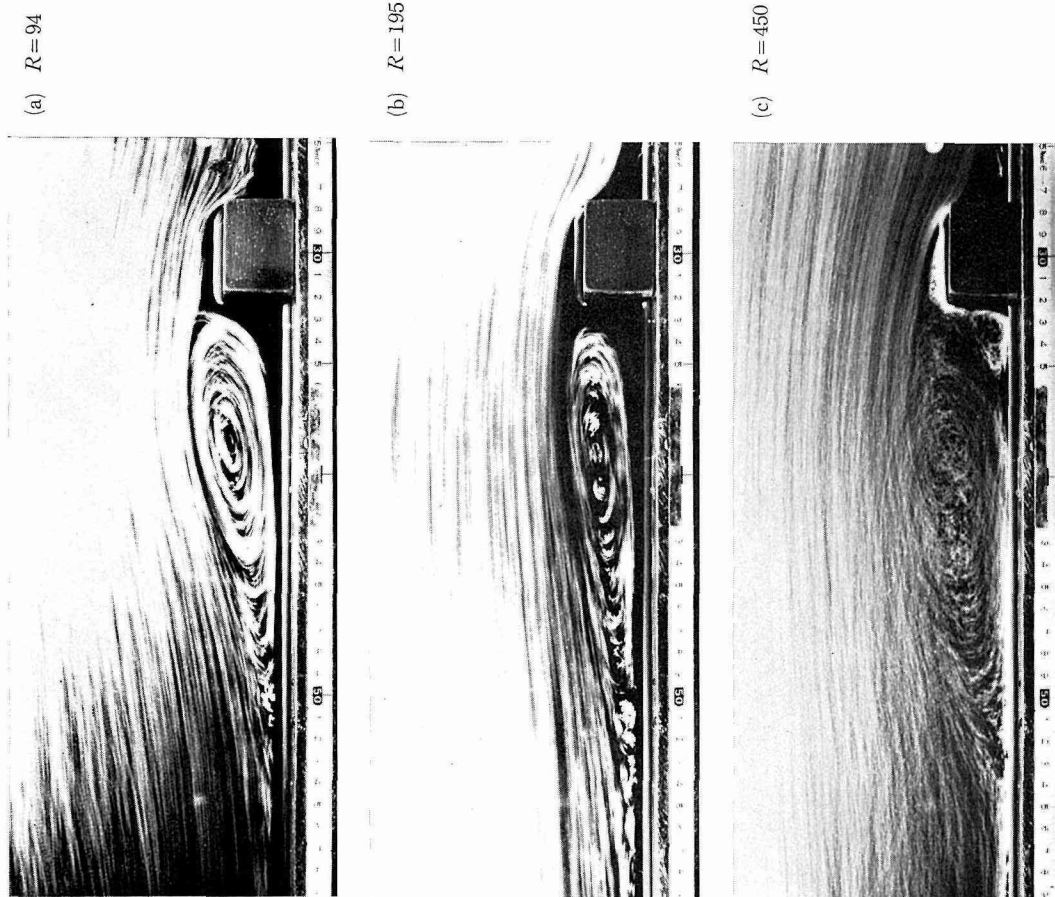


(e) $R=225$



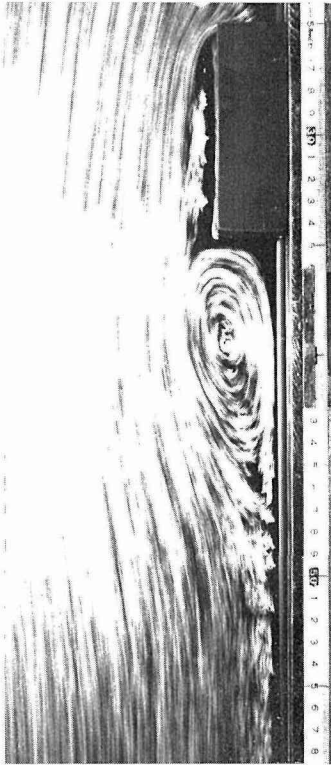
(f) $R=441$

第8図 $d/h=1$

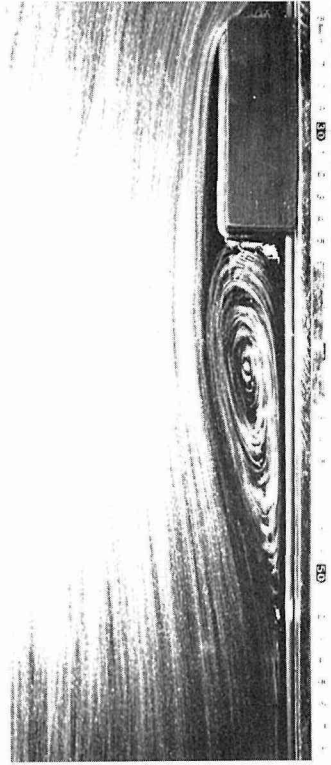




第10図



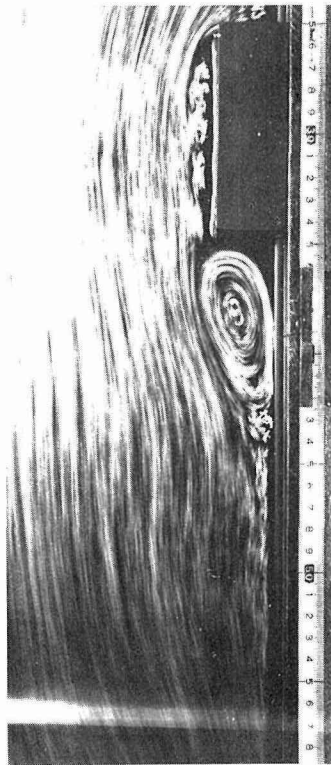
(d) $R=94$



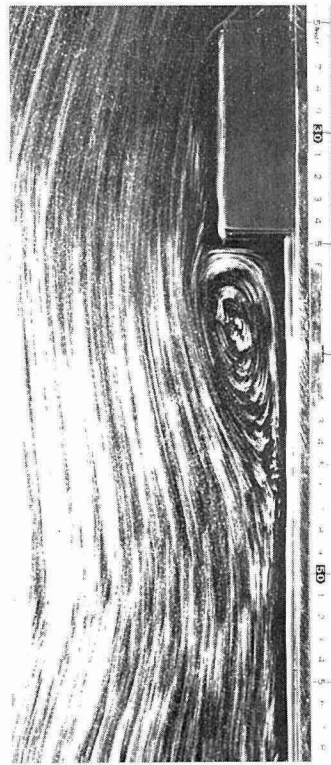
(e) $R=169$



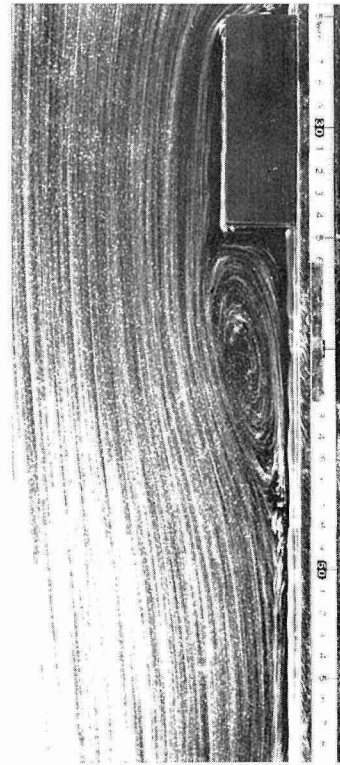
(f) $R=437$



(a) $R=19$



(b) $R=53$



(c) $R=65$

第11図 $d/h=3$