

すれ違い運動をする半径の異なる2円柱 まわりの流れの可視化*

Visualization of Flow around Two Circular Cylinders in Passing Motion

加藤 義和¹⁾
Yoshikazu KATO

松田 充生²⁾
Mitsuo MATSUDA

In this report, the flow around two cylinders of different radius moving with different velocity and direction was studied with visualization technique. The visualization was carried out by an aluminium tracer method.

The results were analysed qualitatively and were also compared with the theoretical results in two dimensional and potential flow.

Rapid velocity between the stationary cylinder and the moving one was observed. Therefore, the force appears to act on the stationary cylinder toward the moving cylinder.

The experimental results do not agree with the theoretical results in two dimensional and potential flow, because of a wake in the actual fluid. But, the variation of stagnation point (angle) on the stationary cylinder with variations of position of both cylinders is nearly linear on both the theoretical result and the experimental result.

1. ま え が き

都市近郊での住宅地の急増にともない、近郊での通勤者、通学者が増加する一方で、同一路面上を自動車と歩行者、自転車が、通行する機会も増加している。近郊では、都市部に比べて交通規制もゆるく、道路事情も良くないこともあって、自動車が、速い速度で歩行者、自転車に接近して、すれ違う機会も頻繁になっている。そのために、自動車による歩行者、自転車の事故の危険もますます増加している。

特に、狭い道路を、近接して自動車が自転車、歩行者の傍を走行する際の、空気力学的影響は無視できないものがあると予想される。その中で、自動車とのすれ違い時の、いわゆる「すいこまれ」現象について、著者らは、すでに、歩行者、自転車について、空気諸力の測定をこころみた。⁽¹⁾⁽²⁾同時に、2円柱のすれ違いの2次元ポテンシャル流について、Image Doublet 方法をもちいて、数値解析もみた。⁽¹⁾⁽²⁾

今回、著者らは、このような2物体のすれ違い時の流れを解明するために、可視化法をもちいて、定性的解明を試みた。本報では、半径の異なる2円柱がすれ違う際の流れをアルミ粉の表面浮遊法をもちいて、可視化を行なう一方、2次元ポテンシャル流との比較検討も行なった。

*昭和59年4月16日原稿受理

1), 2) 大阪産業大学

2. 実験方法と装置

流れの可視化は、長さ3000mm、幅600mm、高さ600mmの曳行式水槽を用いて、トレーサとして、アルミ粉をもちいた表面浮遊法によって行なった (Fig.1, Fig.2)。本報では、半径の異なる2つの

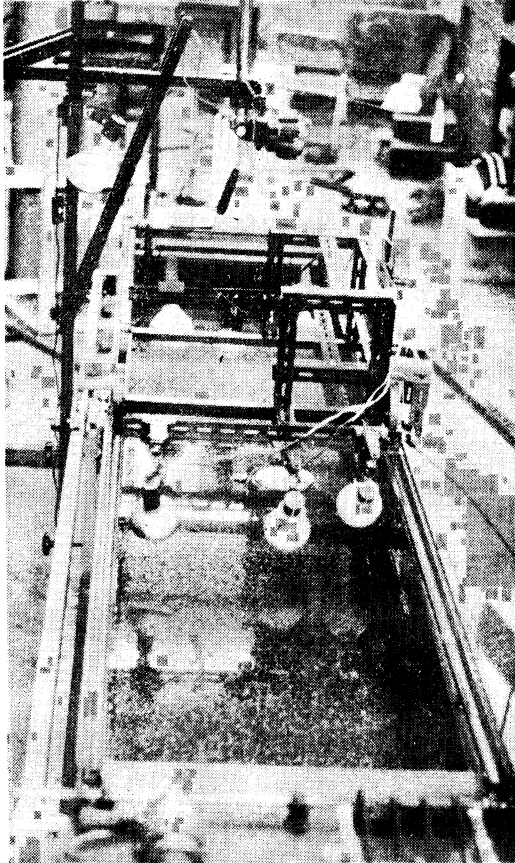


Fig.1 Experimental channel

カメラを固定させて行なう場合と、半径の大きい移動円柱に固定させて行なう場合の2通りについて行なった。

前者の方法のとき、静止流体中を円柱が移動することによって生じる非定常流が得られ、その中にある静止円柱のまわりの流れを観察するために役立つ。Fig.3はその例である (大きい円柱は、右から左に移動している)。

後者の方法のとき、一定速度の流れの中にある静止状態の半径の大きい円柱と、その流れと同じ速度で移動する半径の小さい円柱のまわりの流れが得られる。このときは、大きい半径の円柱のまわりの流れの観察に役立つ。Fig.4はその例である (大きい円柱は、右から左に移動している)。

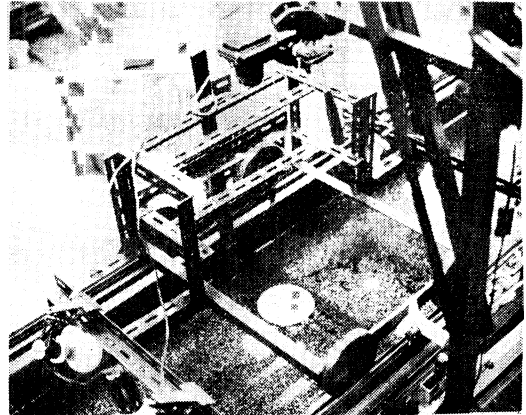


Fig.2 Photographing area

円柱まわりの2次元流れについて、可視化実験を行なった。半径の小さい円柱は、上部を水面より一部露出させて、固定し、静止円柱とし、その近傍を半径の大きい円柱を、一定速度で移動させた。そして、上方に設置したカメラで、2円柱まわりのアルミ粉の軌跡を、写真撮影することによって、流れの可視化を行なった。アルミ粉の軌跡は、流跡であり、流れが非定常なときは、流跡と流線は一致しないが、短時間露出によって得られた流跡から流線を推察することができる。

写真撮影は、半径の小さい静止円柱の上方に

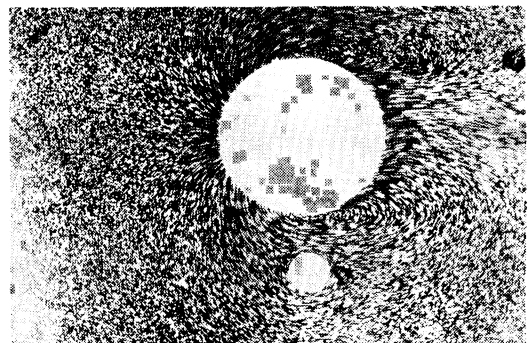


Fig.3 Flow around two cylinders ($Re=1410$)
(camera is fixed at stationary small cylinder)

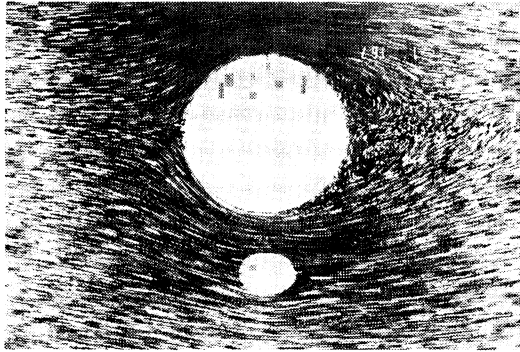


Fig.4 Flow around two cylinders ($Re=800$)
(camera in motion with moving cylinder)

3. 実験条件

今回の実験では、供試2円柱の半径比 n が $n = a/b = 4$ で、2円柱のすき間が、無次元量で表わして、 $h = \{2k - (a + b)\}/b = 2$ について行なった。ただし、 $a = 140\text{mm}$ 、 $b = 35\text{mm}$ 、 $k = 122.5\text{mm}$ である Fig.5。2kは、円柱の移動方向に垂直な方向の2円柱の中心間距離である。移動円柱の移動速度は、7.8mm/secから16.7mm/secの範囲で、レイノルズ数は、 $Re = 700 \sim 1,600$ である。ただし、 $Re = V \cdot 2a/\nu$ である。Vは大きい半径の円柱の移動速度、 ν は水の動粘性係数である。

写真撮影は、モータドライブを使用して、2円柱の相対位置関係が Fig.5 のような場合について、連続撮影を行なった。図中のTは、2円柱の相対位置関係をあらわす数値で、 $T = Vt/2b$ である。ただし、tは時間である。

シャッタ速度は、2秒 \sim 1/2秒の範囲である。

照明は、白黒写真用フラットランプ 300W 2個と150W 4個を使用した。

使用したフィルムは、フジミニコピーフィルム (ASA32) を使用した。

4. 数値解析

著者らは、すでに、半径の異なる2つの円柱のすれ違いの場合について、Image-Doublet法によって、2次元ポテンシャル流の数値解析を行なった⁽¹⁾⁽²⁾。

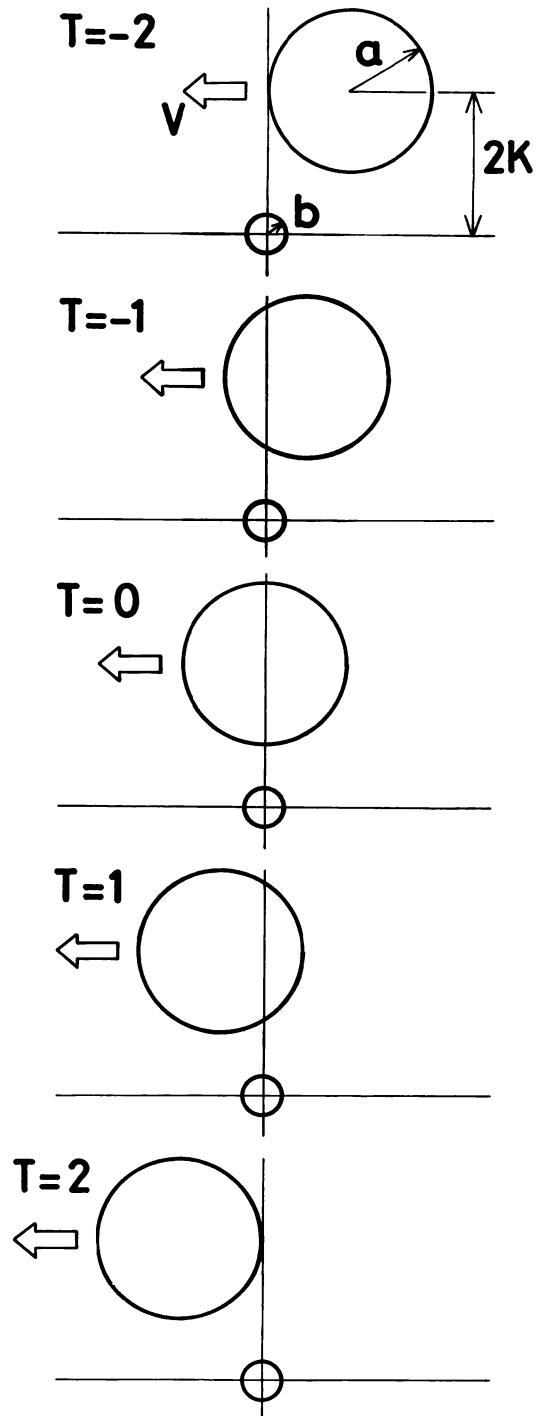


Fig.5 Five variations of position between moving large cylinder and stationary small cylinder

同じ方程式を使用し、可視化実験と同じ半径比率 ($n=4$) の2円柱が、同じすき間 ($h=2$) について、静止円柱に働く合力とその方向を求めたのがFig. 6である。図においては、静止円柱に働く合力の係数 C とその方向を矢印で表わしている。そして、2円柱の位置関係が、 $T=-12$ から $T=12$ の範囲にある場合の力の係数と方向を一枚の図に表わしたものである。ここで、合力の係数 C は $C = F / (\sigma V^2 S / 2)$ で表わしたものであり、 F は合力、 σ は流体の密度、 S は $S = 2b \times 1$ である。

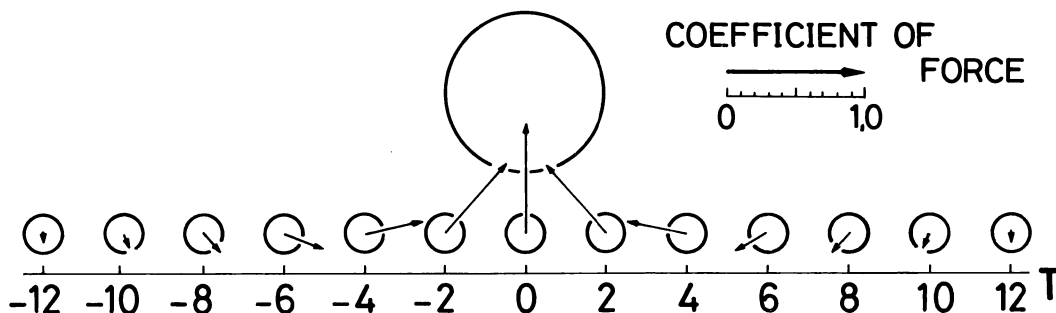


Fig. 6 Coefficient and direction of resultant force acting on stationary cylinder in two dimensional and potential flow ($a/b=4, h=2$)

合力の方向は、 $T=-5$ 付近まで、図上において、下向きに作用している。2円柱が接近につれてその方向は、移動円柱に向うように作用する。そして、2円柱がもっとも接近した $T=0$ のとき、合力は移動円柱の中心に向って作用し、いわゆる「すいこまれる」力の大きさは、最大になる。なお $T>0$ については、理想流体であるため、 $T<0$ のときと左右対称になる。

さらに、静止円柱上の前方岐点と後方岐点の角度 (Fig. 7) をくらべたのが、Fig. 8である。ただし、 θ_1 は前方岐点の角度、 θ_2 は後方岐点の角度である。

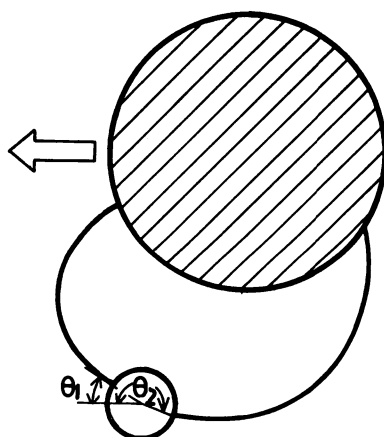


Fig. 7 Notation diagram for front stagnation point and rear stagnation point on stationary cylinder

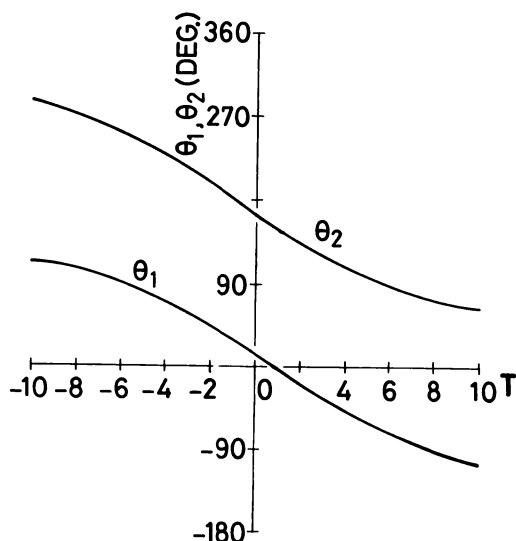


Fig. 8 Two stagnation points on stationary cylinder in two dimensional and potential flow ($a/b=4, h=2$)

いわゆる「すいこまれる」力が作用する、 $T = -5$ から $T = 5$ の間の前方岐点と後方岐点の角度はほぼ直線的に変化している。

5. 実験結果と考察

Fig. 9 は、カメラを移動円柱とともに移動させて撮影したときの流れの例である ($Re = 1570$)。

移動円柱の後流領域は、対称にならず、2 個の円柱の間の早い流れによって、広がりや抑えられ、反対側 (写真の上側) に押しやられているのが観察される。2 円柱の間の流れは、移動円柱の境界層、後流に影響を与えるものと思われる。

Fig. 10~Fig. 12 は、静止円柱に固定してカメラで撮影したときの流れの模様を示している ($Re = 720, 1130, 1456$)。

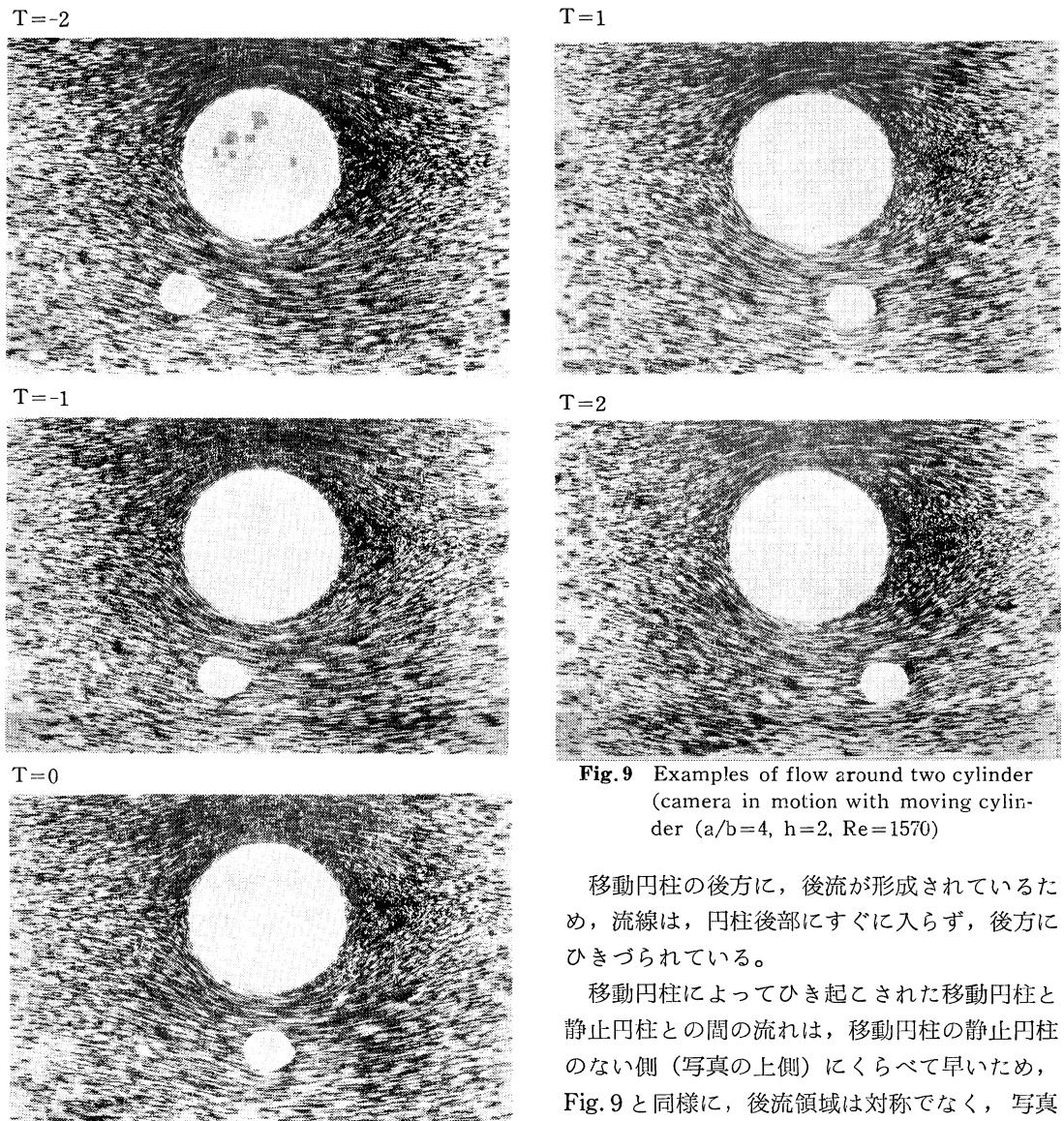


Fig. 9 Examples of flow around two cylinder (camera in motion with moving cylinder ($a/b=4, h=2, Re=1570$))

移動円柱の後方に、後流が形成されているため、流線は、円柱後部にすぐに入らず、後方にひきづられている。

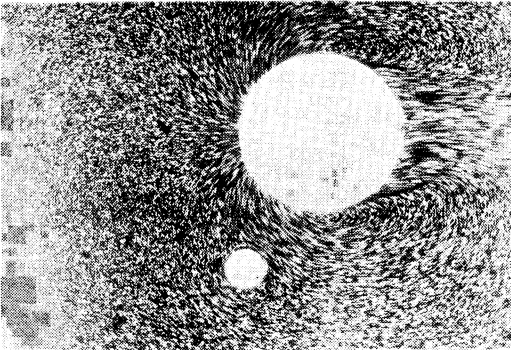
移動円柱によってひき起こされた移動円柱と静止円柱との間の流れは、移動円柱の静止円柱のない側 (写真の上側) にくらべて早いため、Fig. 9 と同様に、後流領域は対称でなく、写真

の上側に押ししているのが観察される。

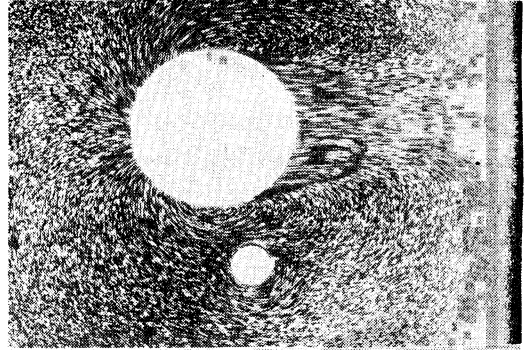
さらに、静止円柱周囲の流れを観察すると、移動円柱側の流れが早いのが観察される。このために移動円柱側の静止円柱表面上の圧力が低くなり、移動円柱側に向って、非定常力が静止円柱に働くものと思われる。

実験結果と2次元ポテンシャル流の結果を比較検討するため、静止円柱の前方岐点の角度 θ 、(Fig. 7) を写真より実測した結果が、Fig.13とFig.14である。図中の破線は、2次元ポテンシャル流

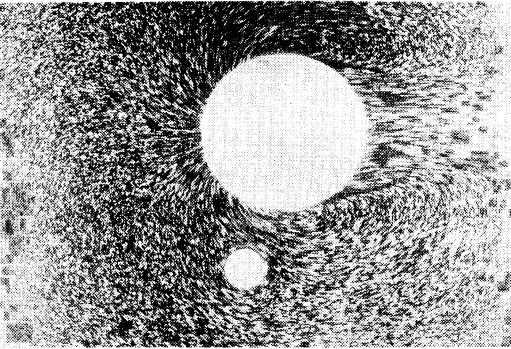
T=-2



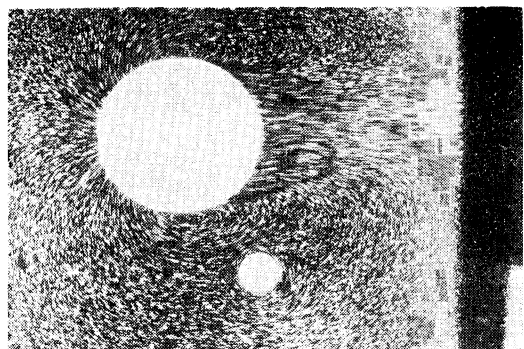
T=1



T=-1



T=2



T=0

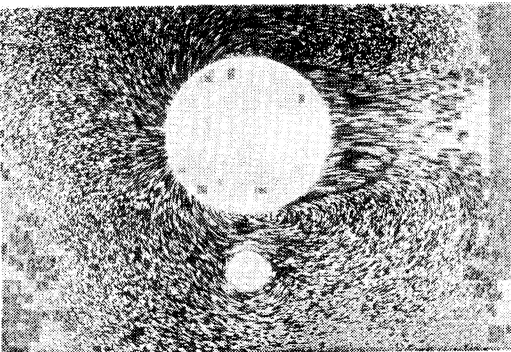


Fig. 10 Examples of flow around two cylinder (camera is fixed at stationary cylinder) ($a/b=4$, $h=2$, $Re=720$)

のときの前方岐点である (Fig. 7)。なお、可視化写真によると、静止円柱の後方岐点はなく、後流領域が形成されている。

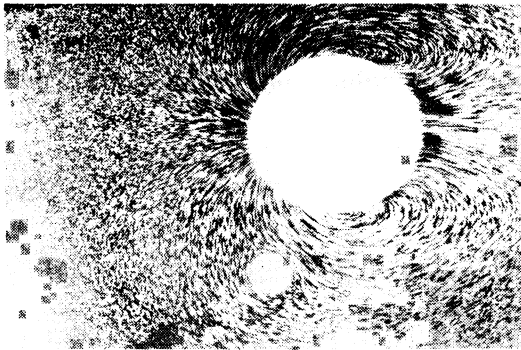
Fig.13より、 $Re=700\sim 1600$ の範囲では、相対位置関係の変化とともに、前方岐点の角度は、ほぼ直線的に変化している。 $-2 < T < 2$ の範囲では、2次元ポテンシャル流もほぼ直線的

に変化し、実験結果は、それより大きく、ほぼ平行である。

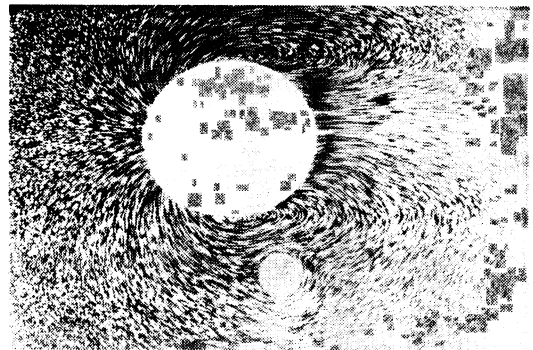
Fig.14は、前方岐点の角度 θ_1 の変化を Re 数に対して、示したものである。

Fig.13で示したように、いずれの位置関係においても、2次元ポテンシャル流よりも大きく、特に Re 数が大きくなると、差は大きくなる傾向がある。

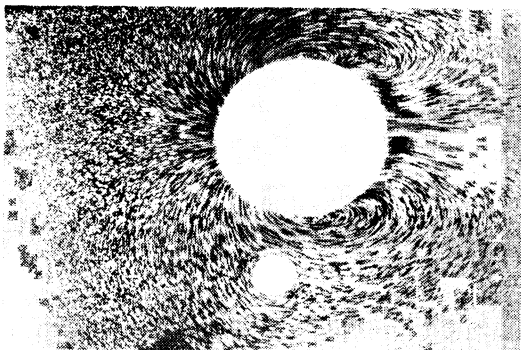
T=-2



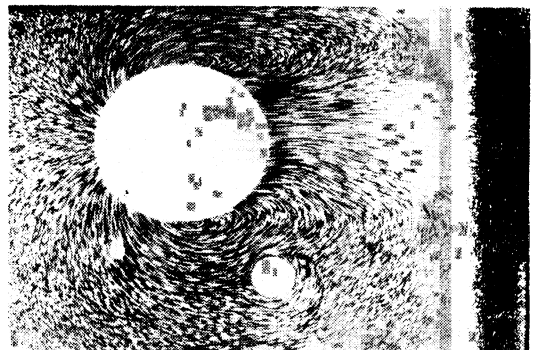
T=1



T=-1



T=2



T=0

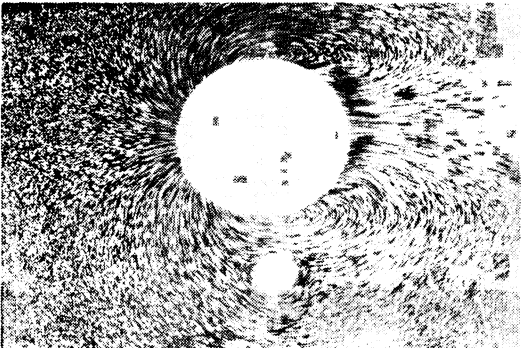
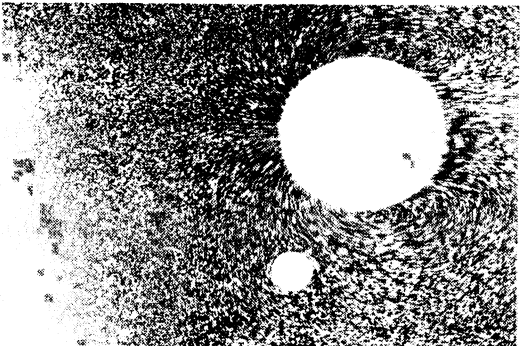
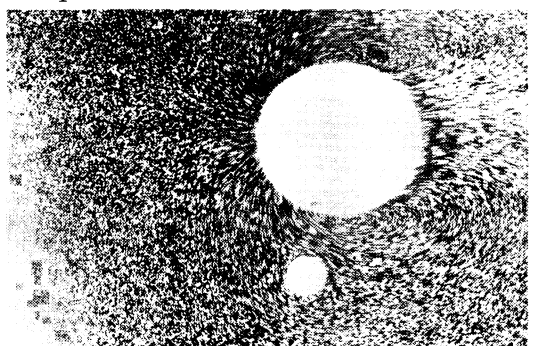


Fig. 11 Examples of flow around two cylinder (camera is fixed at stationary cylinder) ($a/b=4$, $h=2$, $Re=1130$)

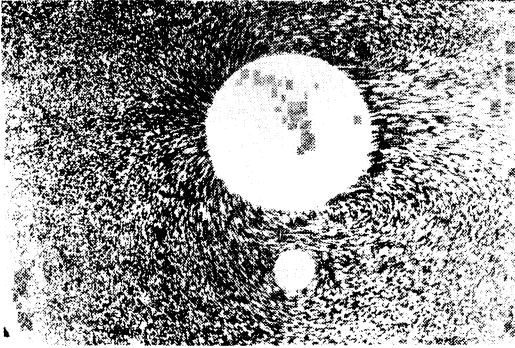
T=-2



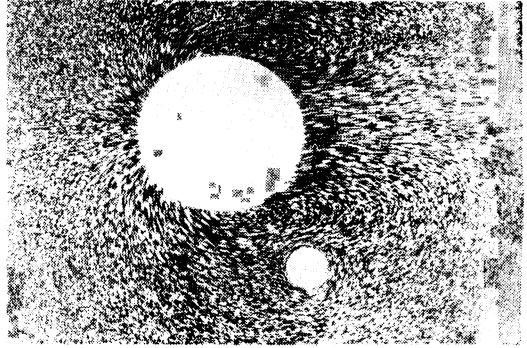
T=-1



T=0



T=2



T=1

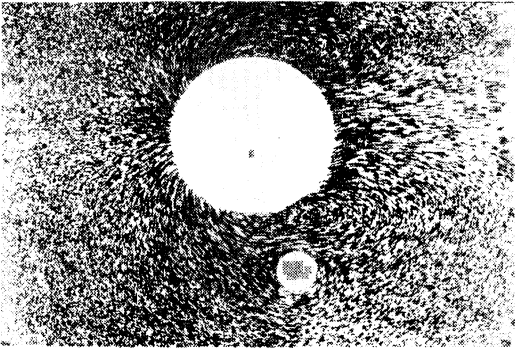


Fig.12 Examples of flow around two cylinder (camera is fixed at stationary cylinder) ($a/b=4$, $h=2$, $Re=1456$)

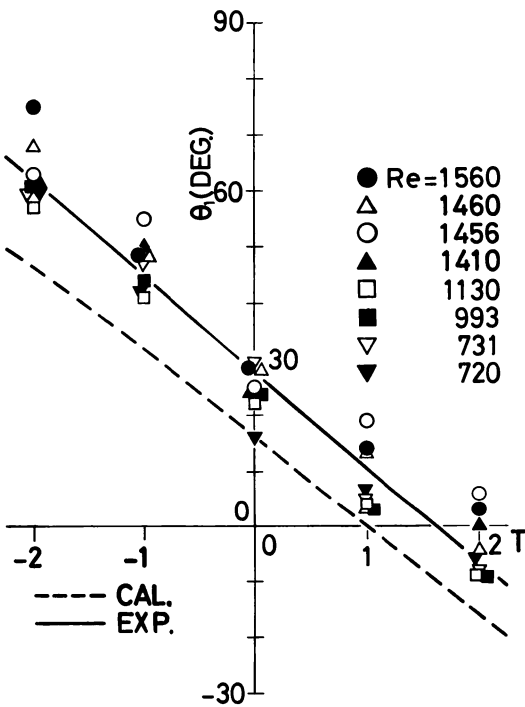


Fig.13 Variation of front stagnation point on stationary cylinder with variation of position of two cylinders for various Reynolds numbers

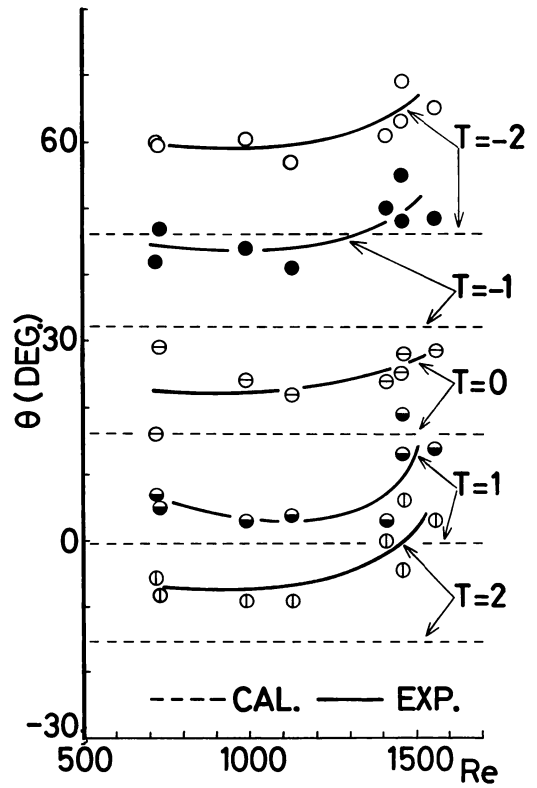


Fig.14 Variation of front stagnation point on stationary cylinder with variation of Reynolds numbers for five variations of position of two cylinders

6. ま と め

可視化写真より、定性的に、次のようなことが観察された。

1. 2円柱の間に、早い流れが発生しているのが観察された。この流れが、静止円柱に移動円柱方向の非定常力を作用させていると思われる。
2. 移動円柱の後流領域に、2円柱の間の流れが干渉していることが観察された。
また、2次元ポテンシャル流との比較検討から、次のことが示された。
3. 本実験において、2円柱の相対位置関係に対して、前方岐点は、ポテンシャル流と同様に、ほぼ直線的に変化する。
4. 2次元ポテンシャル流に比較して、前方岐点は、移動円柱寄りにある。
5. レイノルズ数の増加とともに、2次元ポテンシャル流の前方岐点との差は大きくなる。

最後に、本研究の遂行にあたり、ご指導、ご助言をいただいた近藤政市東京工業大学名誉教授に、深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 加藤, 松田, 歩行者の近傍を通過する自動車が歩行者に及ぼす空気力学的影響(第1報 人体模型用空力天秤の試作と予備的実験), 大阪産業大学論集自然科学編, 37号, 昭和48年2月1日。
- (2) 加藤, 岩佐, 松田, 宮井, 自動車に追い越される自動車の空力的影響に関するシミュレーション, 大阪産業大学産業研究所所報, 第3号, 昭和55年3月1日。
- (3) Kato, Y., Iwasa, T., Matsuda, M., Miyai, Y., Aerodynamic Effects to a Bicycle Caused by a Passing Vehicle, SAE Paper, No. 811425, November, 1981.