

乱流境界層の中におかれた平板のまわりの 二次元流れに関する研究 (第3報)

— 二枚の平板の抗力 —

坂 本 弘 志**

森 谷 優**

阿 部 清**

(昭和47年4月13日受理)

A Study on Two-Dimensional Flow Around Flat Plates Vertically Immersed in Turbulent Boundary layers (Part 3)

— On the form drag of double flat plates —

by Hiroshi SAKAMOTO, Masaru MORIYA and Kiyoshi ABE

This paper is a part of the experimental investigations on the characteristics of the flow around flat plates vertically immersed in turbulent boundary layers. In the first and second papers, were the characteristics of the flow around a flat plate i.e. the distributions of velocity and pressure, the flow patterns and interference effects of the tunnel walls on the form drag, discussed.

In the present paper, correlations are obtained for the variation of the form drag of double flat plates with the distance of the flat plates and the characteristics of the boundary layer in which it is vertically mounted.

1. 緒 論

流れの方向に、ある間隔をおいて存在する複数物体に働く抵抗および周辺の流れは相互の干渉によって、複雑な変化をすることが知られており、従来は主として一様流の中におかれた複数円筒、平板などに関して研究されている。しかし実際には地表面に沿って発達する境界層内に建てられた構造物周辺の流れや種々の形状を有する突起を持った水路およびパイプ内の流れのように、境界層の中に物体が存在する状態の流れの例が数多くあるにもかかわらず、これらについての研究は非常に少ないのが現状である。

本報告は乱流境界層の中で直列状に設置した平板のまわりの流れ模様および抵抗を測定

* 日本機械学会 第49期総会講演会(昭和47年4月)で講演

** 北見工業大学機械工学科

し、これと境界層厚さおよび二枚平板の間隔との関係について、実験的考察を行なったものである。

2. 実験装置およびその方法

実験は断面 600 mm×600 mm、長さ 5,400 mm の試験断面を有する低速環流型風洞を使用した。第 1 報で示したように風洞床面に発達する乱流境界層は、上流測平板の設置した風洞入口より 1,200 mm 下流の位置において、すでに十分発達しており、各断面における速度分布には良好な相似性が存在する。また壁面近傍においては *Clauser* による対数速度分布

$$\frac{u}{u_\tau} = 5.62 \log \frac{yu_\tau}{\nu} + 4.9$$

によく適合しており、さらに $u/U \sim y/\delta^*$ なる無次元化した速度分布 (前方平板の設置した位置における R_θ は 7,152) は *Klevanoff* らの実験結果と非常によく一致している。一方、直列に設置した平板は同一の高さを有し、長さ 600 mm で高さは $h=25$ mm, 50 mm なる二種類であり、いずれも真鍮製で前面および背面に圧力孔を有している。試験断面に浴う主流速度は天井壁の形状を適当に調整することによって、一定となるようにしてある。上流側平板は試験断面入口より 1,200 mm 下流の位置に設置し、下流側平板を移動させることによって、二枚の平板の間隔を自由に变化させることができるようにしてある。また流れ模様の観測に使用した曳行式水路は幅 400 mm、深さ 200 mm、長さ 4,000 mm のもので水面上にアルミニウム粉末を一様に分布させ、供試平板を設置した測定台を曳行することによって、写真観測を行なった。

3. 実験結果および考察

3.1 平板のまわりの平均流線図

図 1~7 は曳行式水路を用いて、平面壁に固定した平板のまわりにおける平均流線図の観測結果である。いずれもレイノルズ数 ($=U_0 h/\nu$) は 2×10^2 程度であり、上流側平板の設置位置における境界層は層流境界層 ($R_\theta = U_0 l/\nu \doteq 2 \times 10^3$) であり、その厚さは約 40 mm ($\delta = x \times 4.65 R_\theta^{-\frac{1}{2}} = 400 \times 4.65 \times (2,030)^{-\frac{1}{2}} \doteq 40$) で平板の高さとの比 δ/h は 1 程度である。まず図 2~5 に示すように平板の間隔が小さい場合、上流側平板の先端からはく離する流線の形状および後流の状態は下流平板の存在によって、図 1 に示すように単独で存在する場合にくらべて著しく異なっている。また、下流側平板は上流側平板の後流の中に埋没し、かつそのまわりを通過する流れは主流と逆方向の流れになっている。したがって、これらの流動状態から二つの平板の抗力は単独で存在する場合にくらべて相当異なるものと推察できる。一方、図 6, 7 に示すように間隔が大きくなるにしたがって、それぞれの平板は後方に独立した渦を有し、相互の干渉はしだいに少なくなる傾向を示すが、これらの平板もまた間隔が相当大きくなるまで相互の干渉を受けるものと推察される。また図 8 は風洞床面に発達する乱流境界層の中に間隔 $10h$ で設置した二

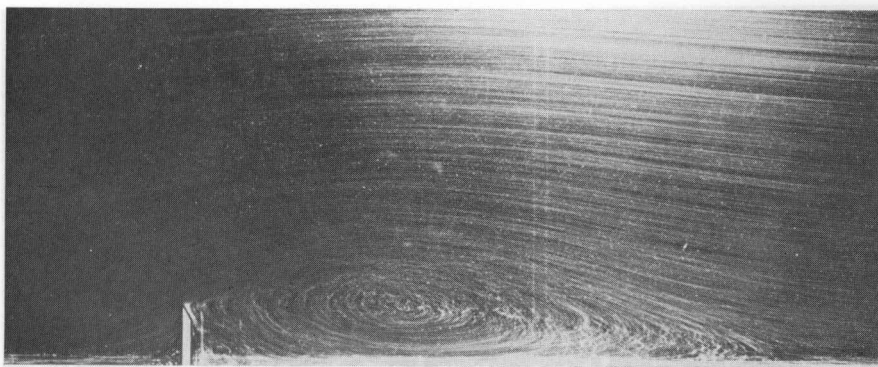


図 1 単独平板周辺の流れ模様: $Re=200$

Fig. 1. Flow pattern around the single flat plate: $Re=200$.

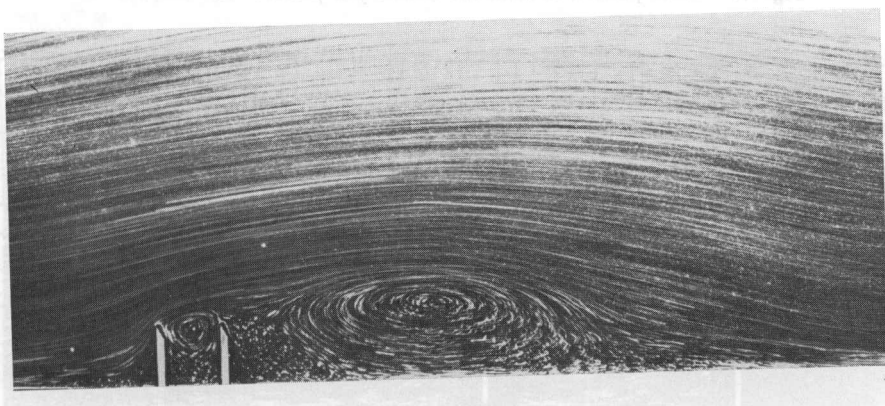


図 2 二枚平板周辺の流れ模様: $Re=200, l/h=1$

Fig. 2. Flow pattern around the double flat plates: $Re=200, l/h=1$.

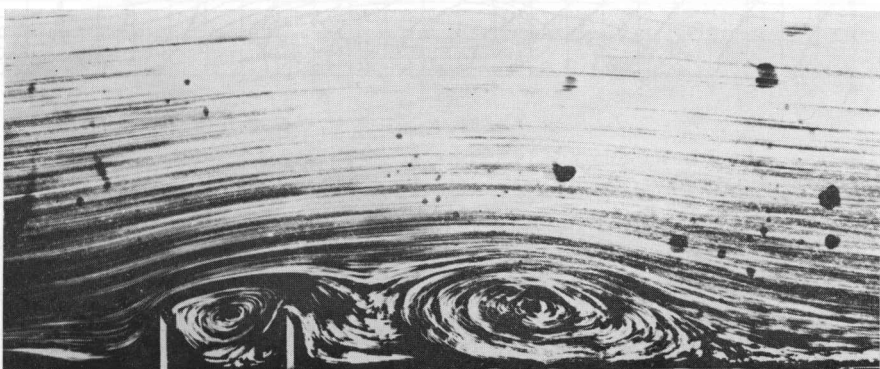


図 3 二枚平板周辺の流れ模様: $Re=200, l/h=2$

Fig. 3. Flow pattern around the double flat plates: $Re=200, l/h=2$.

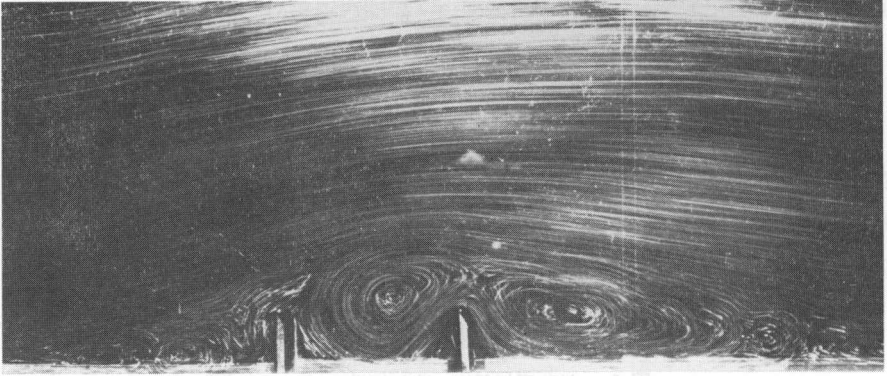


図 4 二枚平板周辺の流れ模様: $Re=200, l/h=3$

Fig. 4. Flow pattern around the double flat plates: $Re=200, l/h=3$.

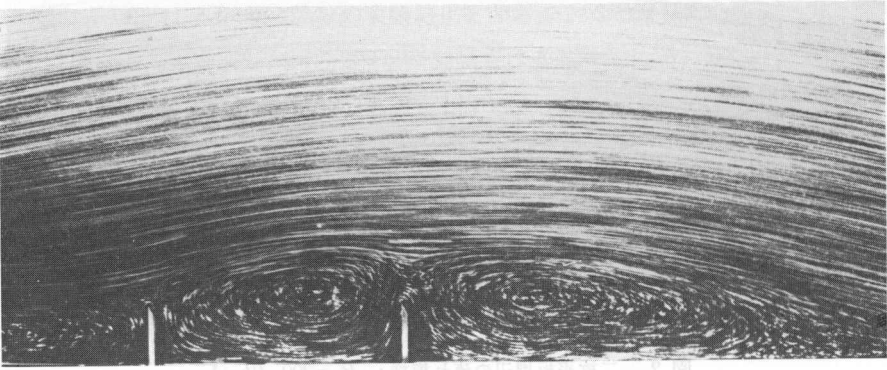


図 5 二枚平板周辺の流れ模様: $Re=200, l/h=4$

Fig. 5. Flow pattern around the double flat plates: $Re=200, l/h=4$.

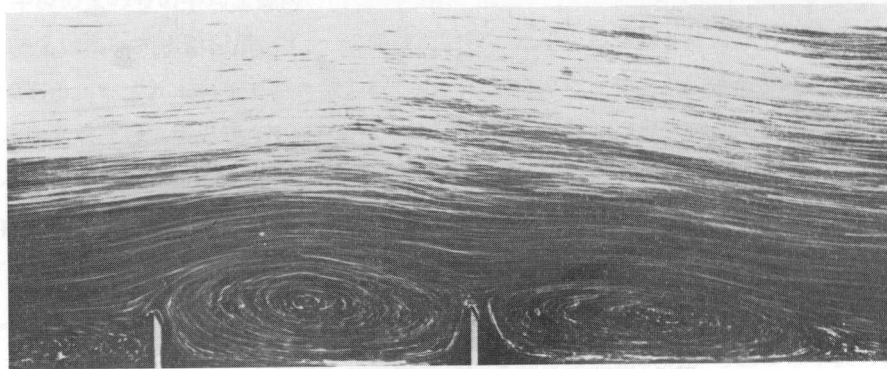


図 6 二枚平板周辺の流れ模様: $Re=200, l/h=5$

Fig. 6. Flow pattern around the double flat plates: $Re=200, l/h=5$.

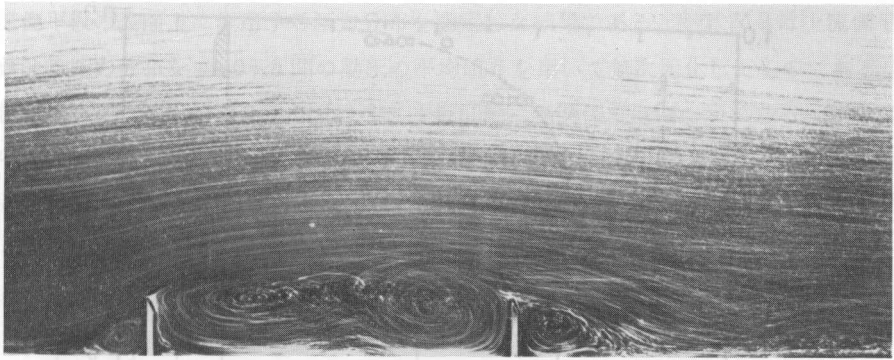


図7 二枚平板周辺の流れ模様: $Re=200, l/h=6$

Fig. 7. Flow pattern around the double flat plates: $Re=200, l/h=6$.

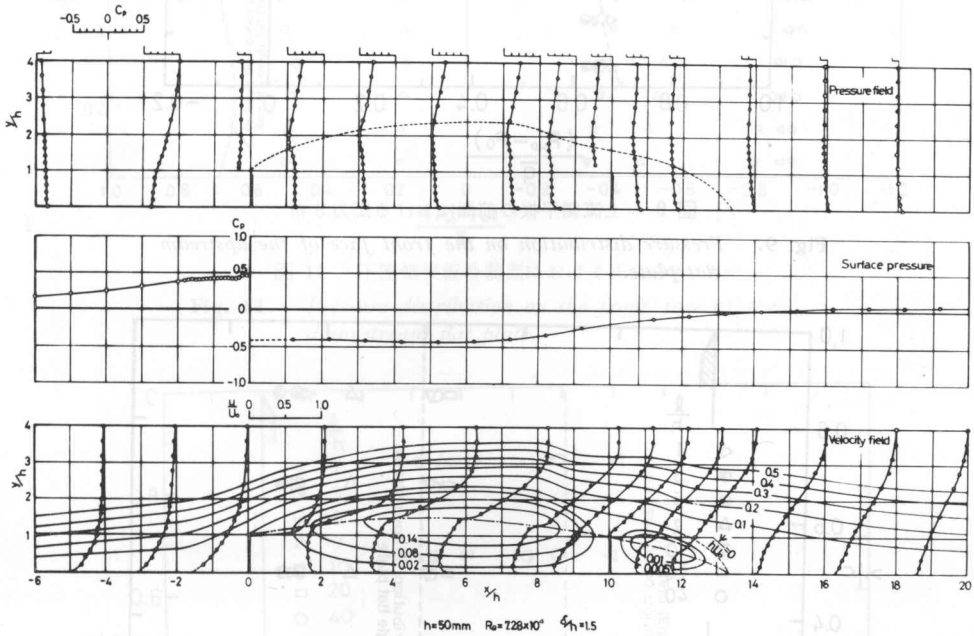


図8 平均流れ様流: $Re=7.28 \times 10^4, l/h=10, \delta/h=1.5$

Fig. 8. Mean flow pattern: $Re=7.28 \times 10^4, l/h=10, \delta/h=1.5$.

枚の平板周辺の平均流線図である。水路を用いた写真結果とはレイノルズ数および境界層の性質において差異はあるが、平板と平板との間に一つの渦が形成され、かつ下流側平板の後方にも安定した渦が生成されており、図7の写真結果と非常に類似しているようすを示している。これらのことから、平板が単独で存在する場合にくらべ、それらのまわりの流動状態は相互干渉によって大きな変化を示し、その結果、それぞれに作用する抗力は単独平板とは異なる値を示すものとなるべきことが推察される。

3.2 平板表面上の圧力分布

図9~12は25 mm ($\delta/h=3$)の同一高さを有する二枚の平板間隔 l を変化させて、上流側平

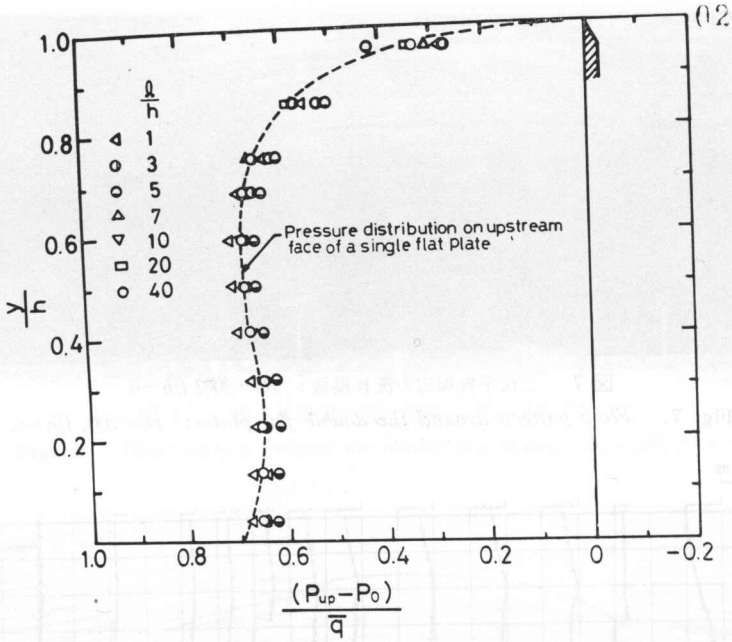


図 9 上流側平板の前面における圧力分布

Fig. 9. Pressure distribution on the front face of the upstream flat plate.

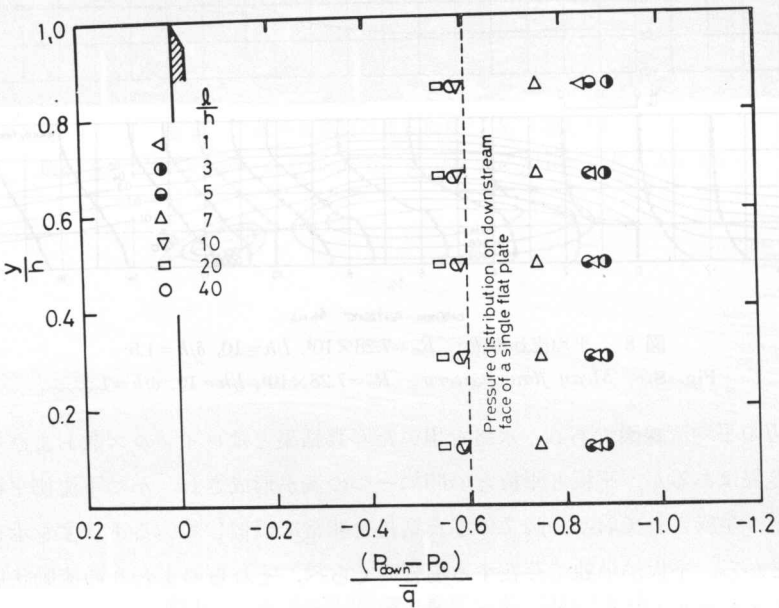


図 10 上流側平板の背面における圧力分布

Fig. 10. Pressure distribution on the back face of the upstream flat plate.

板と下流側平板の表面上に作用する圧力分布を測定した結果である。まず図9は上流側平板の前面における圧力分布を $y=0\sim h$ 間の動圧の平均値 \bar{q} を用いて無次元化したものであるが、下流側平板の存在による影響をあまり受けず、平板間隔に無関係でほぼ一定である。しかし上流側平板の背面における圧力分布を示した図10においては平板間隔 l/h によって大きな変化を呈することが認められる。このことは、写真結果からも明らかなように下流側平板の存在に

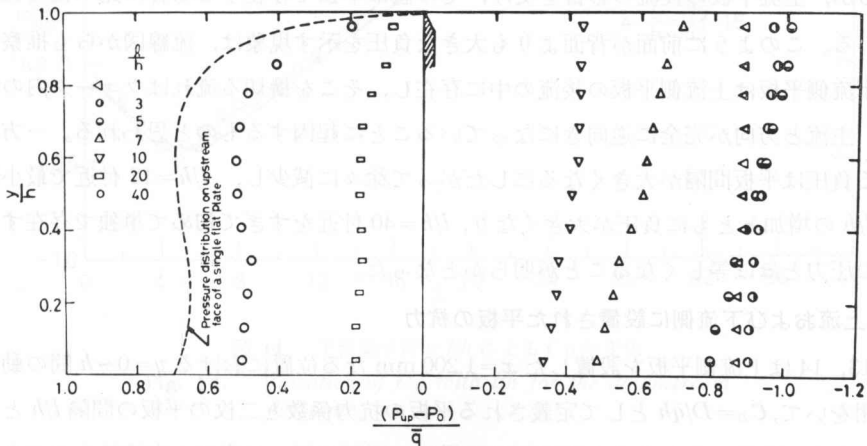


図 11 下流側平板の前面における圧力分布

Fig. 11. Pressure distribution on the front face of the downstream flat plate.

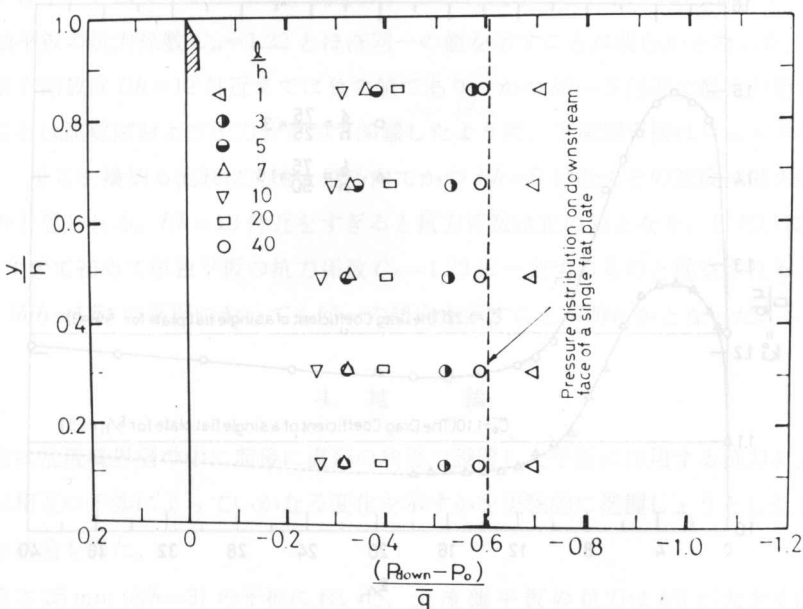


図 12 下流側平板の背面における圧力分布

Fig. 12. Pressure distribution on the back face of the downstream flat plate.

よって上流側平板の先端からはく離する流線の形状および後流が大きく変化し、その結果、背面の圧力も変わるものと推察される。つぎに図 11, 12 は下流側平板の前面と背面に作用する圧力を示したものである。まず、前面に作用する圧力は平板間隔 $l/h=3$ 付近で最大の負圧を呈し、間隔が大きくなるにしたがって、徐々に減少するが $l/h=12$ 近傍までは背面に作用する圧力よりも大きな負圧を示している。そして、 $l/h=18$ 付近において初めて正の圧力値を示すようになるが、上流平板の後流の影響を受け、その値は単独で存在する場合に比べ相当低い値を示している。このように前面が背面よりも大きな負圧を示す現象は、流線図からも推察できるように下流側平板は上流側平板の後流の中に存在し、そこを横切る流れはウエーク内の流れであって、主流と方向が完全に逆向きになっていることに起因するものと思われる。一方、背面における負圧は平板間隔が大きくなるにしたがって徐々に減少し、 $l/h=12$ 付近で最小になるが再び l/h の増加とともに負圧が大きくなり、 $l/h=40$ 付近をすぎて初めて単独で存在する場合の背面の圧力とほぼ等しくなることが明らかとなった。

3.3 上流および下流側に設置された平板の抗力

図 13, 14 は上流側平板を設置した $x=1,200$ mm なる位置における $y=0\sim h$ 間の動圧の平均値 \bar{q} を用いて、 $\bar{C}_D=D/\bar{q}h$ として定義される平板の抗力係数と二枚の平板の間隔 l/h との関係を示したものである。なお上流と下流側に設置した平板は同一の高さを有するものである。まず図 13 に示した 25 mm の高さを有する上流側平板の抗力は l/h が大きくなるにしたがって増

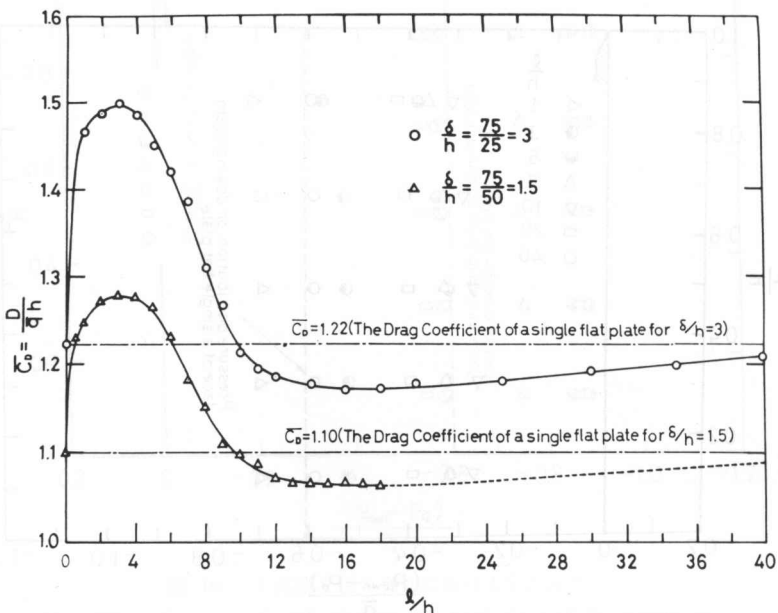


図 13 上流側平板の l/h による \bar{C}_D の変化

Fig. 13. Variation of \bar{C}_D with l/h for the upstream flat plate.

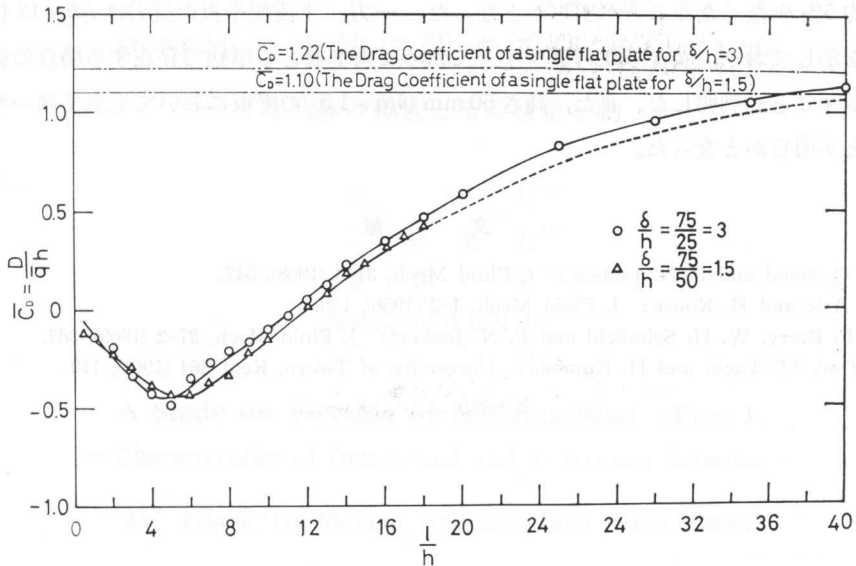


図 14 下流側平板の l/h による \bar{C}_D の変化

Fig. 14. Variation of \bar{C}_D with l/h for the downstream flat plate.

加し, $l/h=3$ 付近で最大となり, 単独で存在する場合に比べ約 22% 増加している。さらに間隔が大きくなると \bar{C}_D は徐々に減少して, $l/h=18$ 付近で最小となり, 単独で存在する場合にくらべ約 5% 程小さい値を示している。そして, この付近をすぎると徐々に増加して, $l/h=40$ をすぎて単独平板の抗力係数 $\bar{C}_D=1.22$ とほぼ同一の値を示すことが明らかとなった。一方下流側平板の抗力係数は $l/h=12$ 付近までは負の値であり, かつ $l/h=5$ 付近で最大の値を示している。このことは流線図および圧力分布図で論議したように, 下流側平板はウェークの中に完全に埋没し, そこを横切る流れは主流と逆方向でかつ $l/h=5$ 付近でその速度は最大になるためであるものと思われる。 $l/h=12$ 付近をすぎると抗力係数は正の値となり, じだいに増加して, $l/h=40$ をすぎて初めて単独平板の抗力係数 $\bar{C}_D=1.22$ に一致するものと推察される。また高さ $h=50$ mm ($\delta/h=1.5$) の平板においても同一の傾向を示すことが明らかとなった。

4. 結 論

本研究は乱流境界層の中に前後に直列の状態を設置した平板に作用する抗力および周辺の流れ模様が相互の干渉によっていかなる変化を示すかを実験的に把握しようとしたもので, つぎのような結論を得た。

まず高さ 25 mm ($\delta/h=3$) の平板において, 上流側平板の抗力は l/h が大きくなるにしたがって増加し, $l/h=3$ 付近で最大となって, 単独で存在する場合にくらべ約 22% 増加している。さらに間隔が大きくなると \bar{C}_D は徐々に減少して, $l/h=18$ 付近で最小となり, 単独平板に

くらべ約5%少なくなることが明らかとなった。一方、下流側平板の抗力は $l/h=12$ 付近まで負の値を示しており、 $l/h=40$ 付近をすぎて初めて両平板とも単独で存在する場合の抗力と同じ値を示すことが判明した。また、高さ 50 mm ($\delta/h=1.5$) の平板においても全く同一の傾向を示すことが明らかとなった。

文 献

- 1) M. C. Good and P. N. Joubert: J. Fluid Mech, **31-3** (1968), 547.
- 2) M. Arie and H. Rouse: J. Fluid Mech, **1-2** (1956), 129.
- 3) A. E. Perry, W. H. Schofield and P. N. Joubert: J. Fluid Mech, **37-2** (1969), 383.
- 4) I. Tani, M. Tuchi and H. Komoda: University of Tokyo, Rept **364** (1961), 119.

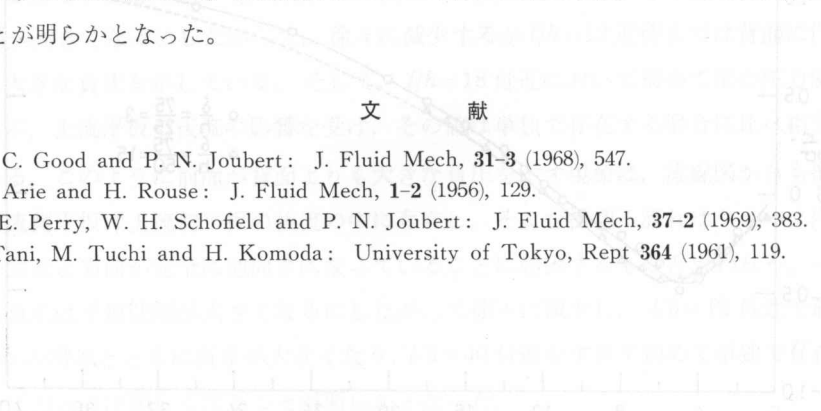


図 14. Variation of C with l/h for the downstream flat plate.