

平板の乱流境界層附近におかれた球に働らく流体力

山 崎 堯 右

(農学部機械工学研究室)

The Hydrodynamic Forces Affected on a Sphere in the Vicinity of a Plate Turbulent Boundary Layer

Takasuke YAMASAKI

Laboratory of Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture

Synopsis

In connection with pneumatic conveyor and a bubble trajectory, the hydrodynamic forces affected on the vicinity of the turbulent boundary layer have been dealt with many papers, discussing only the drag force up to this time.

In this paper, the time averaged lift and drag forces in the shear layer flow is measured experimentally because its phenomenon has a very complicated three dimensional wake.

It is concluded that there is a kind of barrier having a force of shutting up the sphere itself in the vicinity of a plate.

緒 言

空気輸送における壁面付近での粒体の軌跡^{1),2)}, 河川の限界掃流力の問題^{3),4),5),6)}, キャビテーション気泡の軌跡^{7),8),9)}などに関連して、従来は着目している球体への抗力成分のみを考慮して、その運動を検討している例がほとんどである。

実際には、剪断流れ下で生じる揚力¹¹⁾や Wake の様相の変化も考慮しなければならないであろう。

このような問題を背景として、ここでは、平板の乱流境界層附近に球体を固定したとき、時間平均的にどのような流体力をうけるかを風洞実験から求めた結果、みかけ上球体自身に上下方向に斥力を与える一種の barrier を示す層が存在することがわかったので報告する。

上記例等に対する一資料を提供するであろう。

記 号

以下用いる記号をここに規定する。

C_{Dy} : 球中心が y の位置での u 方向に働らく球の抗力係数

$C_{D\infty}$: 無限遠方にはなれた位置での球の抗力係数

C_L : 平板より球中心の位置が y だけ離れた個所での揚力係数

D : 供試球の直径, ここでは 24.8mm

$Re_D \equiv u_\infty \cdot D/\nu$ と定義したレイノルズ数

$Re_x \equiv u_\infty \cdot x/\nu$ と定義したレイノルズ数

u : 平板より y だけ離れた位置での x 方向の流速

U_∞ : 平板より無限遠方にはなれた位置での流速

x : 平板先端から下流にむかって規定した距離

y : x での平板より上方鉛直にとった距離

δ : $0.99 U_{\infty}$ とした境界層厚さ

実験装置と方法

小型風胴として、吐出圧 95mmAq. 風量 $220\text{m}^3/\text{mm}$, シロッコファン使用の開放形吹き出し風胴を用いた。

吹きだしダクトは縦435mm, 横330mm である。この後方150mm のところに図1に示すようにダクト底辺より 100mm の高さに平板を主流に対して平行となるように設けた。

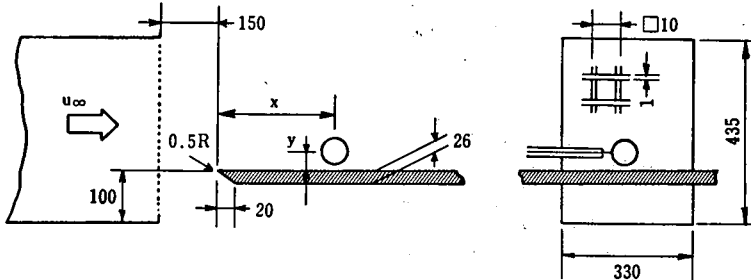


Fig. 1 Wind tunnel Nose and Apparatus

風速分布は供試平板上方に 100mm は少くとも一様に吹きだし, そのバラツキも $\pm 1\%$ 内であった。

供試球は直径 24.8mm のプラスチック球を鋼板製の支持棒でとりつけ, 支持棒自身は翼形おこいでかこい, 支持棒に加わる流体力を極力さけた。この鋼製支持板には歪ゲージを貼り, 片持ばりの歪を増幅記録し, その平均値から揚抗力を求めた。

風速分布はピトー管によった。

測定結果

あらかじめ球をおかない場合の供試平板附近の乱流境界層の速度分布を図2に示す。

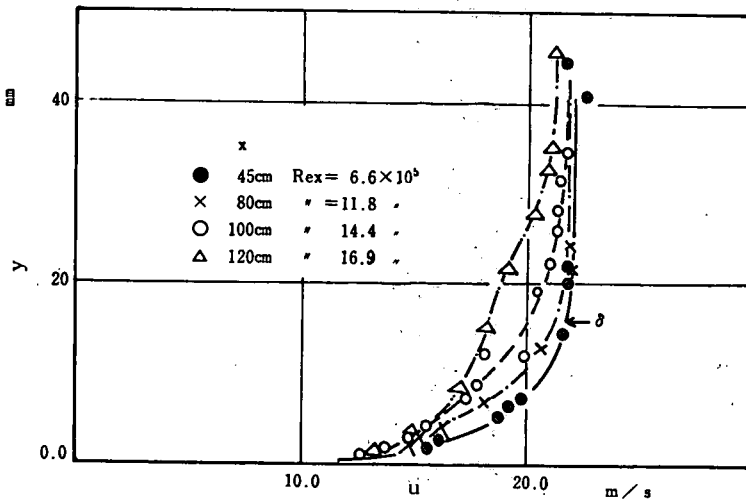


Fig. 2 Velocity distributions in the Turbulent Boundary Layer

図の黒丸印に沿った実線は $\frac{1}{2}\rho U^2$ 乗則分布であって、先端から 0.45m くらいは十分に圧力勾配は無視しえる領域である。一方 1.2m のところは分布に欠損がみられ、圧力損失の効果がみられる。

次に、先端より 0.45m の位置における球の抗力係数の分布を図 3 に示す。ただし、横軸の値は無窮遠方に働くそのときの抗力係数に対する比をもって示した。

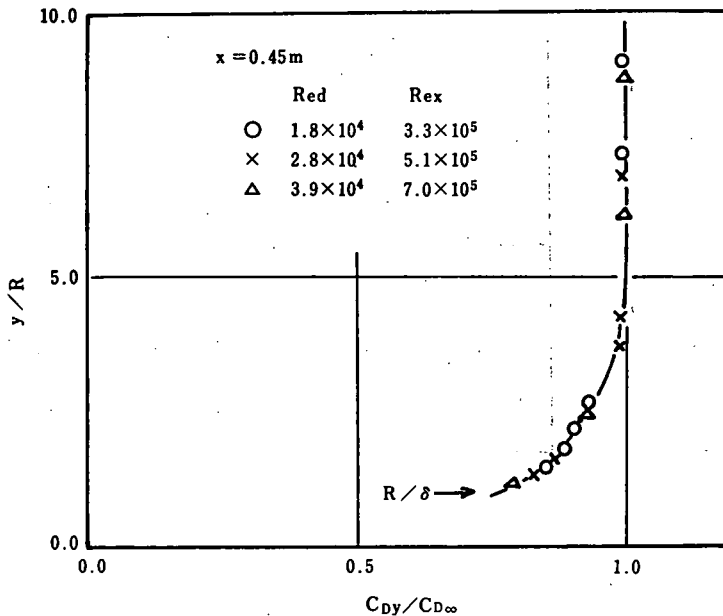


Fig. 3 Drag Force Distribution in the Vicinity of Turbulent Boundary Layer

0.99 U_∞ の境界層厚み δ についていえば、約 5 δ 程度迄影響をうけていることがわかる。

次に、主流に対して直角方向に働く力をそのときの無窮遠方における抗力係数に対する揚力係数の比によって表わし、図 4, 5 に示す。

いずれの場合も、ほぼ y 方向に直径の 2.0~2.5 倍の高さを境として、それより平板から離れた位置では球をひき離す方向に、それより近い位置では吸いよせる方向に働くことがわかる。いいかえれば、その境より外側にある球はその層内に突入しにくい傾向となり、下流に向ってその個所に流れてきた粒子を考えるとその場所附近に偏析することとなる。一方その境界より内側に最初あった粒子は層外にとびだしにくい性質をもつこととなる。したがってこの境界面を一種の膜(barrier)とみなすこともできよう。

この膜の厚さは先端より 0.45m の位置の方が 1.2m の位置におけるそれよりもやゝ厚く揚力分布もわずかに上方にずれているようである。

これらの法線方向の力の向きが逆転する原因については、平板に近いところは球の頂部が主流の動圧をうけるため圧力抗力として平均的に下に押し下げられ、また離れた位置については、はくりした流れが下方に押しまげられ、 y 方向の運動量の変化分だけが上方に作用すること、 x 方向の平板附近の運動量欠損分の循環が効いてくることなどが考えられる。

なお、以上のことから、チューブラー効果を考えてみる。管入口からこの境界層外で、常に管中心に向って揚力をうけるとすれば、 $2.5D \leq y \leq 5.0D$ の範囲の中で濃度勾配が偏析すると考えれば、上の実験事実とチューブラー²⁾効果の傾向は一致するようと思われる。

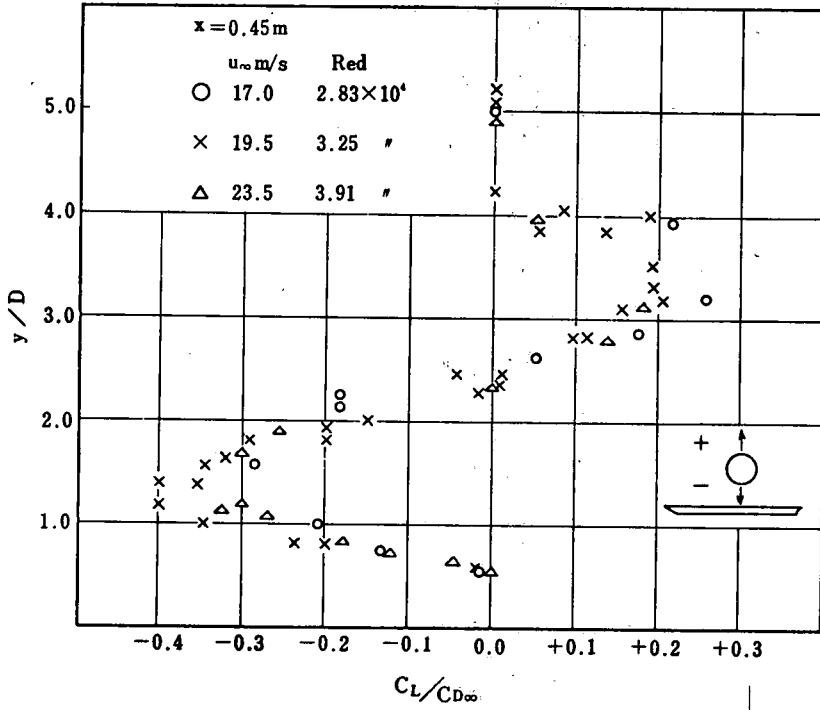


Fig. 4 Lift Force Distribution in the Vicinity of Turbulent Boundary Layer

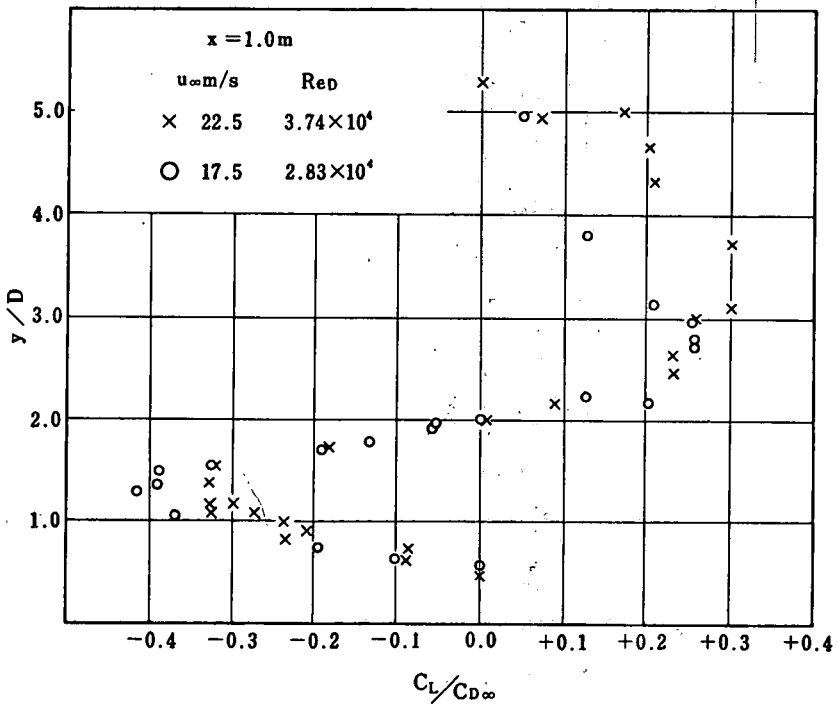


Fig. 5 Lift Force Distribution in the Vicinity of Turbulent Boundary Layer

結 論

主流に対して法線方向の力については、隣接した2枚の平板間に生じる力の向きとは逆に、本実験の場合に限り平板近傍でひき合い、遠方でさけ合う傾向がえられ、その大きさも比較的大きいことがわかった。

これらのことから、壁面附近での粒体の運動に及ぼす法線方向の流体力の効果は極めて重要である。

今後は、広いレイノルズ数に亘った定量的な測定や、球背後の Wake の flow pattern、さらに Wake 中に発生する渦など興味ある問題が残されている。多相系の輸送や、キャビテーション現象の理論的解析に対する示唆ともなれば幸いである。

文 献

- 1) 池森, 粉粒体の空気輸送に関する基本的問題, 機械の研究, 23-1 (1971-1), 275.
- 2) 岩浪, ほか1名, 水力輸送における最近の問題, 機械の研究, 23-1 (1971-1), 281.
- 3) 土屋, 混合砂礫の限界掃流力に関する研究, 京大防災研究所年報, 6 (1963-7), 1.
- 4) 土屋, 角野, 水流による砂粒の運動機構に関する実験, 京大防災研究所年報, 10-B (1967-3), 1.
- 5) 岩垣, 限界掃流力に関する基礎的研究(I) 限界掃流力の流体力学的研究, 土木学会論文集, 41 (昭31-12), 1.
- 6) 岩垣, ほか1名, 砂面上におかれた礫の限界掃流力について, 土木学会, 41 (昭31-12), 22.
- 7) Arakeri, U. H., Viscous Effects on the Position of Cavitation Separation from Smooth Bodies, J. Fluid Mech., 68-4 (1975), 779.
- 8) Holl J. W. and Kornhauser A. L., Thermodynamic Effects on Desinent Cavitation on Hemispherical Nosed Bodies in Water at Temperatures from 80 deg. F to 260 deg. F, ASME, Ser. D., 92-1 (1970-3), 44.
- 9) Hirata M. and Nishiwaki N., Skin Friction and Heat Transfer for Liquid Flow over a Porous Wall with Gas Injection, Int. J. Heat Mass Transfer, 6 (1963-3), 941.
- 10) Lin C. C., Turbulent Flow and Heat Transfer, (1959) Princeton University Press.
- 11) Saffman, P. G., The Lift on a Small Sphere in a Slow Sphere Flow, J. Fluid Mech., 22-2 (1965), 385.
- 12) Schlichting H. (Keslin J. 訳), Boundary Layer Theory, (1955), Fourth Edition, McGraw-Hill.
- 13) 坂本, ほか2名, 乱流境界層内におかれたにふい物体周辺の流れに関する研究(第二報, 直立した二平板について), 日本機械学会講演論文集, 740-6 (1974-4), 57.

