

早稲田大学 大学院 学生員 城 衛
佐藤工業(株) 正員 藤堂 寛幸
早稲田大学 理工学部 正員 吉川 秀夫

1. はじめに

掃流砂の解析を行う際に、砂粒が受ける流体力を正しく求めることは、非常に重要である。河床では流速分布があるので、砂粒に働く抗力を求める為の代表流速をいかに取るか、また抗力係数 C_D はどうか、が問題となる。この問題を解決する為に、第一段階として、風洞を用いて、滑らかな壁面上に固定されたピンポン玉の表面の圧力分布を測定によって求め、その特性を調べる。さらに、抗力 D と揚力 L を求めた。

2. 実験方法

実験は、高さ37cm、幅40cm、長さ800cmの風洞の滑らかな壁面中央に、小さな穴一つあいた直径3.76cmのピンポン玉を固定して行った。ピンポン玉の底の穴につけたビニール管を壁面に通し、MDマノメータの一方につないだ。もう一方には、ピンポン玉の近くの壁面にあいた小さな穴につないだビニール管をつなぎ、双方の圧力差を測定した。ピンポン玉を中心軸まわりに回転させたり、穴の位置の異なったピンポン玉に取り替えたりして、ピンポン玉の全表面の圧力を、 10° きざみに測定した。次に、ピンポン玉を取り除き、その位置における流速分布を、ピトー管とMDマノメータを用いて測定した。

3. 実験結果

図1に示すような流速分布をもつ場合、ピンポン玉の中心を通る、壁面に平行な断面における圧力分布を、Peter Sachs⁽¹⁾の測定した一様流中にある球体の圧力分布と比較したものを、図2と図3に示す。ただし、ここで言うPressure coefficient C_p とは、球体の $\theta=0^\circ$, $\varphi=0^\circ$ の点の圧力を1とした場合の各点の圧力を表わしたものである。また、Reynolds数は、球体の中心の高さにおける流速を用いている。

ピンポン玉の表面の圧力分布を、図4～6に示した。図4は、壁面に垂直で、風向に平行な3つの平面(ピンポン玉の中心を通る平面、その平面から $(d/2)\sin 30^\circ$, $(d/2)\sin 60^\circ$ の距離をもつ2平面)上のピンポン玉の断面における圧力分布である。また図5と図6は、壁面に平行な5つの平面(ピンポン玉の中心を通る平面、その平面から $(d/2)\sin(\pm 30^\circ)$, $(d/2)\sin(\pm 60^\circ)$ の距離をもつ4平面)上のピンポン玉の断面における圧力分布である。ただし、これらの断面は、実線、破線、一点鎖線で区別しており、内の外側にある部は正の圧力を示し、内側にある部分は負の圧力を示している。

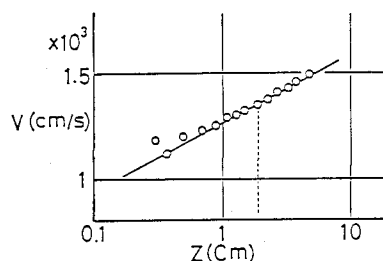


図1. 流速分布

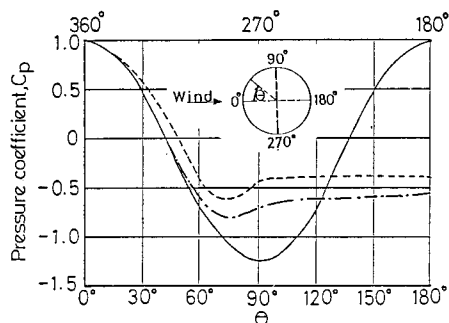


図2. 圧力係数分布(その1)

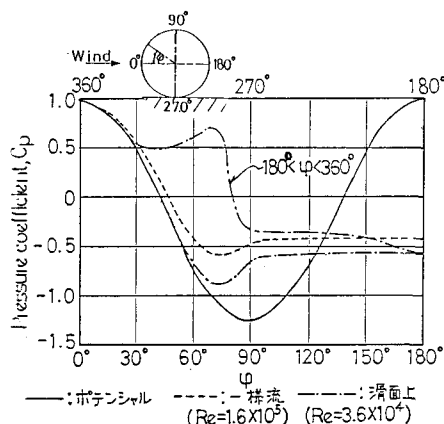


図3. 圧力係数分布(その2)

4. 考 察

図2と図3を比較すると、図2では一様流中の場合と滑面上の場合の双方で、分布の形はよく似ているが、図3では $270^\circ < \varphi < 330^\circ$ の範囲で著しい違いが認められる。滑面上の場合は、 $\varphi = 285^\circ$ 付近で $C_p = 0.7$ 程度となるのに対し、一様流の場合は最小値をとる。このことから、壁面の影響は、壁面と平行な面では顕著には現れず、壁面と垂直な面の前面では特に著しいことがわかる。また図4より中央面から離れるにつれて、壁面の影響が薄れることがわかる。図5と図6を比較すると、球の上部では中央面から離れるにつれ、前面における圧力も負となるが、下部では中央面から離れても、前面における圧力は正のまま、圧力分布の形も変化しない。これは、底面の存在のために流れが自由に加速できないためである。以上から、壁面の影響は球体下部の前面中央付近で著しく現れる。さらにこの付近の圧力の増加は抗力と揚力に大きく影響する。

微小面積 ds を $d\varphi = d\theta = 10^\circ$ で囲まれた部分の面積として、抗力 D と揚力 L を次式によって求める。各点の圧力を $P(\varphi, \theta)$ とすると

$$D = \int_S -P(\varphi, \theta) \sin\varphi \sin\theta \cdot ds$$

$$= -\left(\frac{d}{2}\right)^2 \sum_{n=0}^{18} \left\{ \sum_{m=0}^{35} P(10n, 10m) \sin^2\left(\frac{n\pi}{18}\right) \cos\left(\frac{m\pi}{18}\right) \left(\frac{\pi}{18}\right)^2 \right\} \dots (1)$$

$$L = \int_S -P(\varphi, \theta) \cos\varphi \cdot ds$$

$$= -\left(\frac{d}{2}\right)^2 \sum_{n=0}^{18} \left\{ \sum_{m=0}^{35} P(10n, 10m) \sin\left(\frac{n\pi}{18}\right) \cos\left(\frac{m\pi}{18}\right) \left(\frac{\pi}{18}\right)^2 \right\} \dots (2)$$

$$(1), (2) \text{式より} \quad D = 2.60 \times 10^4 \text{ (dyn)}$$

$$L = 1.28 \times 10^4 \text{ (dyn)}$$

抗力係数 C_D を求めるために、代表流速をとる位置を、

$$A v^2 = \int_A v^2 dA \quad (A: \text{円面積}) \dots (3)$$

が成り立つ位置と仮定すると、この位置は、 $y = 0.43d$ となり、

一様流の場合と滑面上の流れの場合の C_D を求めると、

一様流中では、 $C_D = 0.5$ ($Re = 3.7 \times 10^4$)、滑面上の流れでは、 $C_D = 1.95$

また、代表流速を、底面より球の直径 d までの平均流速 $\bar{U} = 1266 \text{ (cm/sec)}$ を用いると、

一様流中では、 $C_D = 0.5$ ($Re = 3.2 \times 10^4$)、滑面上の流れでは、 $C_D = 2.43$

$\varphi = \theta = 0^\circ$ の点は、淀み点であることを利用して、この点の圧力測定値 $P(0, 0) = 1.2 \text{ (g/cm}^2\text{)}$ から、

$y = 1.88 \text{ cm}$ の位置の流速を求めると、 $v = 1373 \text{ (cm/sec)}$ となり、図1ともほぼ一致することから、各測定結果の妥当性がうかがわれる。

5. おわりに

次の段階として、粗面において同様の実験を行い、実際の問題に近づけていく予定である。

6. 参考文献

1) WIND FORCES IN ENGINEERING (Peter Sachs, M.A., C.Eng.)

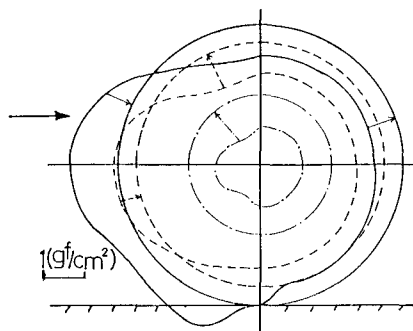


図4. 垂直面の圧力分布

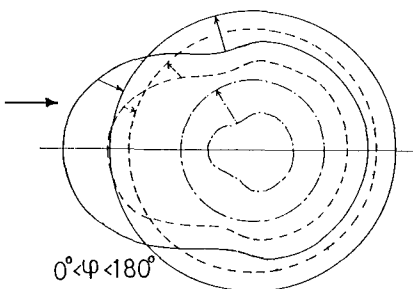


図5. 水平面の圧力分布(その1)

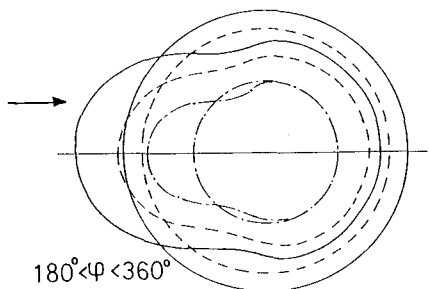


図6. 水平面の圧力分布(その2)