

II-149 球列水路底付近における球に作用する流体力について

武蔵工業大学 正員 王 方一
横須賀市役所 正員 ○山田 宏幸

1. 序文

河床付近の粒子に作用する流体力を明らかにすることは、粒子の始動条件や移動量の推算にとって大変重要な事柄である。数年前にA型圧力測定球を用いて、抗力と揚力を実験的に求め、球の露出程度と充填状態に伴う変化の傾向を調べた(1),(2)。昨年、B型測定球を追加し、A、B型を用いて以前に行なった実験条件のうちの1種($i=1/60$, $h_o=8.63\text{cm}$)を測定し、A、B型の相違を検討した(3)。その後、(3)と同様の方法でさらに $h_o=6.13\text{cm}$, 11.13cm と水深を変化させ、その影響を調べた(4)。本文ではこれらの実験方法、及び(3),(4)の実験データを異なる変量で再整理した結果を示す。

2. 実験水路、方法及び条件

長さ 13m, 幅 29.5cm の水路底に直径 25mm のガラス球を千鳥型に密に配列し、水路長の間における断面の中央の球を1つ抜き取り、その空間内で同じ直径の真鍮製圧力測定球を下流側の底球と2点接触させながら、支持棒で高度を変化させて圧力孔の水頭を測定した(図-1)。静圧との差と球面上での分担面積との相乗積の x , z 方向の成分を合計して抗力と揚力を求め、抗力係数 C_D と揚力係数 C_L は測定球のないときのピトー管実測流速を用いて求めた。実験勾配は、 $i=1/60$ の1種類、球頂を0とする水深は $h_o=6.13\text{cm}$, 8.63cm , 11.13cm の3種類、摩擦速度はそれぞれ $U_* = 9.83\text{cm/sec}$, 11.4cm/sec , 12.5cm/sec である。

3. 圧力測定球の種類

A型圧力測定球(1) : A_1 型と A_2 型の2個を用いる。 A_1 型(図-2)は流れの来る方向に向って 0° の円周上に 0° (球頂), 45° , 90° , 135° , 180° (球底)の5点に穿孔したものである。 A_2 型は流れの来る方向に対して 45° 方向の円周上に A_1 と同じ個所に5個穿孔したものである。支持棒はそれによる水流の乱れを少なくするために薄い水切り型にし、圧力孔とは離れた位置にしている。また、圧力伝達管は、その中を通してマンメータと接続している。 180° , 225° 方向の圧力は、 A_1 型と A_2 を反転して測定し、 135° , 315° 方向の圧力は測定せずに流相は対称であるという仮定のもとに、既に測った4種類の値をそのまま共用して、圧力測定球全体に対しての抗力 F_D , 揚力 F_L を求めた。分担面積は円弧の長さを辺とする台形、三角形に近似して求めた。

B型圧力測定球(3) : B_1 型と B_2 型の2個を用いる。 B_1 型(図-3)は上流に向かって 22.5° 方向の円周上に、球頂より 22.5° , 67.5° , 112.5° , 157.5° の4個所に穿孔したものである。 B_2 型は、上流に向かって 67.5° 方向の円周上に B_1 型と同じ個所に4個穿孔したものである。 202.5° と 247.5° 方向の圧力は、 B_1 型と B_2 型測定球を反転して測定し、その他の方向の圧力は実測せず流相が左右対称であると仮定し、既に測定した他の4種類の方向の値を共用し、全球に対する F_D , F_L を求めた。

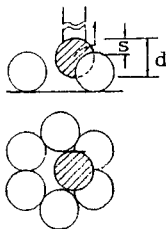


図-1

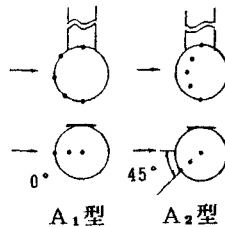


図-2

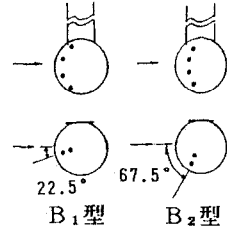


図-3

AB型球: 実在の圧力球ではなく、同じ実験条件におけるA型による測定値とB型による測定値を共用し、両方の孔が球面に存在すると考え、分担面積を再分割して成分を集計して抗力と揚力を求める方法である。分割には経度円周線による縦割方式と緯度円周線による横割方式の2種類あるが、縦割方式による F_D と F_L の計算値はちょうどA型による値とB型による値との平均値に相当する。横割方式では、 F_D 、 F_L ともA、Bの平均にはならず、実際に計算しなければならない。以下の諸検討では、縦割方式すなわちA、Bの平均値を用いて、その結果を示している。

4. 実験結果及び考察

(a) $F_D \sim \eta$, $F_L \sim \eta$ の関係 ($\eta = s/d$)

3種類の水深のうち、一例として $h_o = 8.63\text{cm}$, $i = 1/60$ に関する実験データ(3)に基づいてA型、B型及びA、B平均に関する $F_D \sim \eta$, $F_L \sim \eta$ の関係を図-4に示す。 $\eta = 0 \sim 1.0$ の範囲では F_D はほぼ直線的に増加し、 $\eta > 1$ では漸増している。また F_L は $\eta = 0 \sim 0.816$ (密に隣接する3球上に1球をのせた状態に相当)の範囲では曲線的に増加するが、以後は減少し+から-へと変化、横ばいになり0に漸近していく傾向になっている。A型による F_D の値はB型によるものよりもかなり低い値を示し、また横割方式によるAB型の値は縦割方式によるAB型(A、Bの平均)の値とA型の値とのほぼ中間の値になっている(3)。

(b) F_D , F_L の無次元化

$\eta = 1$ における F_D を F_{D1} とし、各露出比 η に対応する F_D , F_L を F_{D1} で割った $k_d = F_D/F_{D1}$, $k_l = F_L/F_{D1}$ と η との関係を図-5に示す。いずれも、A、Bの平均値を用いて計算し、基準値の F_{D1} は $h_o = 6.13\text{cm}$, 8.63cm , 11.13cm の場合それぞれ 9.93gf , 14.62gf , 20.57gf である。

(c) 抗力係数 C_D

水面付近より $\eta \approx 1$ までの C_D の実験値と同じ Re 数に対応する標準図(一様無限流)による C_{D0} との比を図-6に示す。 F_D は縦割方式AB型(A、B型平均)の値を用い、流速は圧力球のない時の測定流速を用いた。例を示すと、 $\eta = 1$ における実測流速は $h_o = 6.13\text{cm}$, 8.63cm , 11.13cm の場合、それぞれ 86.2cm/sec , 93.0cm/sec , 114.5cm/sec になっている。 Re は $2 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4$ また C_{D0} は $0.42 \sim 0.50$ の範囲にある。図-6では、圧力測定球が底に近づくにしたがって C_D/C_{D0} が増大する傾向が示されており、 $\eta = 1$ では $1.2 \sim 1.6$ 程度になっている。グラフより、水深の影響は確かにあるようであるが、実験の水深範囲が狭くまたその種類も少ないので、その影響は明確ではない。これについては、後の研究に譲ることとする。

参考文献: (1)王: 第36, 37回土木学会年次講演集第II部1981, 1982 (2)小林, 河野, 千野, 水谷: 武蔵工業大卒論概要集1982 (3)小宮, 萩野, 安江: 同概要集1987 (4)梅田, 上林, 山口, 山田: 同概要集1988

図-4 $i = 1/60$ $h_o = 8.63\text{cm}$

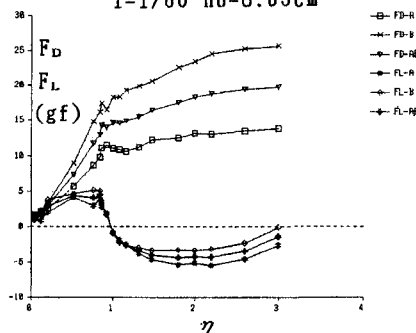


図-5 $i = 1/60$ A, Bの平均

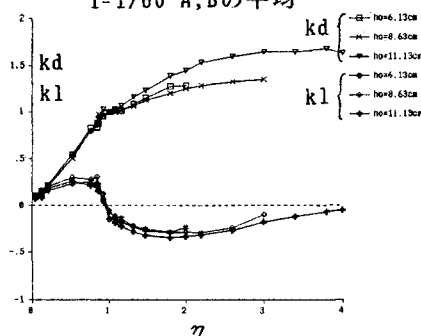


図-6

