

II - 9

固液混相流における固体粒子群の抗力係数の評価

東北大学大学院 学生員 ○神山 尚人
東北大学工学部 正 員 佐藤 栄司
東北大学工学部 正 員 沢本 正樹

1. はじめに

一般に、流体中におかれた物体に作用する抗力は、

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho A u^2$$

で表される。ここで D は物体に働く抗力、 C_D は抗力係数、 A は物体の流れ方向の投影面積、 u は流速、 ρ は流体の密度である。ここで重要なのは抗力係数 C_D の値で、土砂輸送問題など色々な混相流問題で力の釣り合いを考える際に必要となってくる。この C_D は単一粒子での研究は多くされているが、粒子群に関してはあまりされていない。単一粒子と粒子群との相違は、粒子濃度が入ってくることである。

2. 抗力係数の評価

まず、単一粒子にかかる力を考えると

$$\rho_s g V = - \int_S p \cos \theta dS + \int_S \tau \sin \theta dS$$

で表される。そして粒子と流れの相互に関するものを抗力とみなすと次の式が導かれる。

$$\frac{1}{2} C_D \rho \frac{\pi d^2}{4} u^2 = \frac{\pi g d^3}{6} \{ (\rho_s - \rho) + \rho \frac{dh_0}{dx} \}$$

ここで、 d は粒径、 ρ_s は粒子の密度、 $\frac{dh_0}{dx}$ は粒子がないときの圧力勾配である。ここで流速 u の取り扱いだが、これは実質流速のため

$$u = \frac{Q}{A_0} \frac{1}{1-C}$$

で表される。ここに Q は流量、 A_0 は流路断面積、 C は粒子の体積濃度を表す。

3. 実験方法

実験装置概略図を図-1 に示す。パイプはアクリル製の内径 160mm のものを用い、下から通水し粒子を浮遊させる。実験は、パイプに砂を 15~20cm の高さでいれておきバルブを徐々に開けて各開度において圧力をマノメーターで、流量をバケツとストップウォッチで測定する。また粒子が浮遊した最大高さも測定する。この実験での各条件を表-1 に示す。

4. 結果および考察

粒子径 $d = 0.20, 0.33, 0.48, 0.70, 1.45(\text{mm})$ を用い実験を行い、得られた結果を図-2~4 に示す。図-2 を見ると、流量（流速）が増すに連れて抗力も増し、浮遊高さが上がっているのが分かる。そして層流乱流に関わらず、各ケースとも図に示してある三次の曲線で非常によく回帰できる。そしてさらに粒子径を考慮した粒子レイノルズ数 ($R_d = \frac{\bar{u}d}{\nu}$, $\bar{u} = \frac{Q}{A_0}$, ν : 動粘性係数) で表すと図-3 が得られる。粒子が浮遊し始める R_d はそれぞれ違うが、浮遊し始めてからは同じような上昇率を取っている。そして図-4 において、粒子が浮遊し始めるあたり、つまり相対濃度が 1 付近では抗力係数の低下率が他の領域に比べて大きいことが分かった。これは濃度に対する流速の変化率が多きいためと思われる。図-5 においては各ケースとも直線上に乗っておりその傾きも一緒である。そして、各濃度別に見ると、粒子径が大きい方が濃度の影響が大きいことが分かった。

5. まとめ

抗力係数は粒子径の大きさにより値は異なるが、傾きは同じであることが分かった。

6. 参考文献

振動流におけるシートフロー状低質運動に関する研究、李立亜 1994
土砂水理学 1 河村三郎著 森北出版

表-1:実験条件

粒径 $d(\text{mm})$	密度 $\rho_s(\text{g/cm})$	初期濃度 C_0
0.198	2.84	0.48
0.327	2.76	0.54
0.475	2.72	0.49
0.698	2.60	0.51
1.454	2.61	0.50

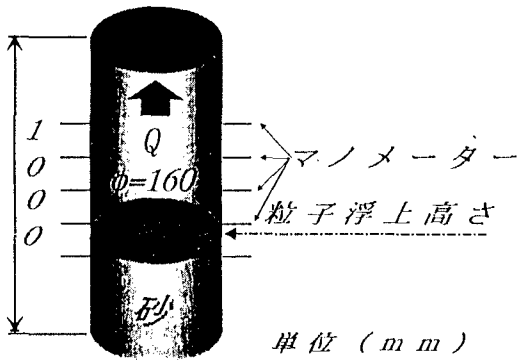


図-1:実験装置概略図

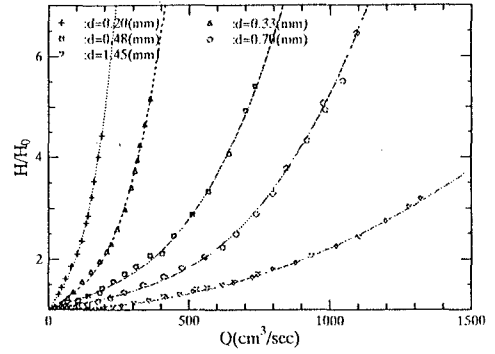


図-2:流量と相対高さの関係

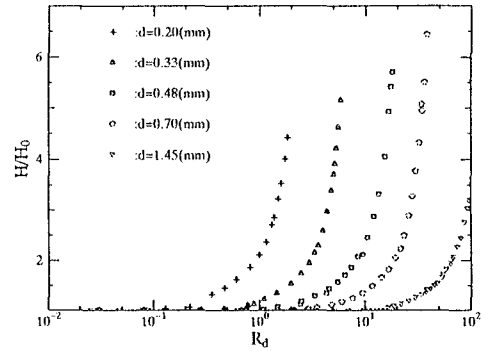


図-3:粒子レイノルズ数と相対高さの関係

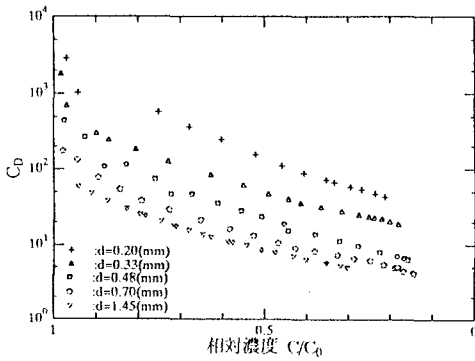


図-4:相対濃度と抗力係数の関係

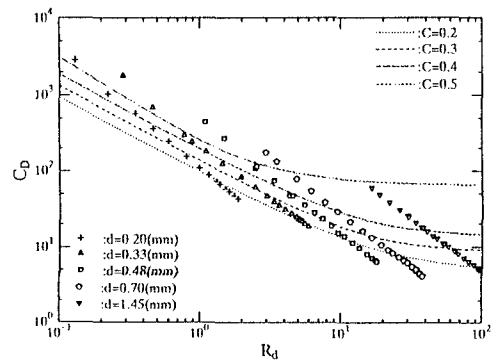


図-5:各体積濃度における
粒子レイノルズ数と抗力係数の関係