

## 鉛直管内の上昇固液二相流の乱流構造について

九州大学大学院 学生員○木本大介 九州大学工学部 正 員 平野宗夫  
九州大学工学部 正 員 楊 永荻 九州大学工学部 学生員 安田伸司

### 1. はじめに

混相流では单相流と異なり、粒子と流体との運動量およびエネルギー交換などの粒子と流体の相互作用を考慮する必要がある。粒子の存在による乱流構造の変化は、主に粒子と流体の密度差、粒子濃度、粒径などの影響によるものと考えられている。しかし、それらの粒子に関する条件が詳しく与えられても、どのように流体の乱れが変化するかについて予測することはきわめて困難であり、乱流構造のメカニズムに関する統一した見解はまだ得られていないのが現状である。

本研究では、粒子と流体の相互作用を究明することを目的とする。浮遊粒子としてはポリスチレンビーズを用いた。重力の粒子と流体の相互作用に及ぼす影響を避けるため、鉛直上方に流れる固液二相流を対象にし、乱れを測定した。

### 2. 実験方法

実験装置の概略を図1に示す。図中の矢印は流体および粒子の流れを示す。本実験では、流体としては水を、粒子としては水中比重0.167のポリスチレンビーズを用いる。タンクに貯められた水と粒子は、ポンプにより直径19cm、長さ380cmの縦形鉛直管内を鉛直上方に流れ、固液二相流を形成する。測定部を通過した固液二相流は、オーバーフローのあと再びタンクに戻り、循環を続ける。鉛管内部には整流のため多孔板を設けている。実験は流量をほぼ一定にして、粒子の粒径、濃度を变化させて行う。また、粒子単位体積濃度は採水して測定する。

流速の計測はSONTEK製の超音波ドップラー3D高精度流速計(ADV)を用いて行う。流れ方向にx軸、円周方向にy軸、半径方向にz軸をとり、それぞれの流速をu、v、wと定義する。実験結果を含めた実験条件を表1に示す。本実験の摩擦流速は断面におけるレイノルズ応力分布より求める。また、KからS、WからZKがポリスチレンビーズ、Tが清水流の実験である。

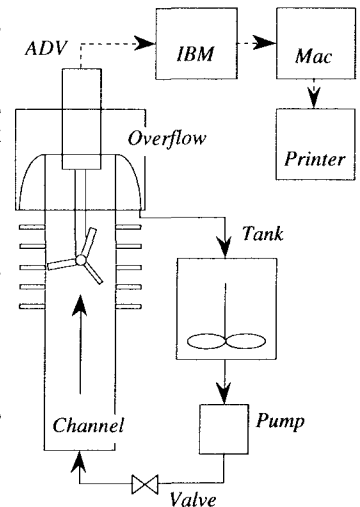


図1 実験装置

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 平均流速分布

図2は粒径 $d=0.66\text{mm}$ で濃度を変えたときの流れ方向の平均流速分布を示したものである。粒子を含む流れの平均流速は清水流の場合とほとんど一致しており、粒子の存在による影響は見られない。他の粒径においてもほぼ同じ傾向が見られる。

#### 3.2 乱れ強度の分布

図3と図4に $d=0.66\text{mm}$ の場合の流れ方向と半径方向の乱れ強度の分布を示す。いずれの場合も乱れ強度は清水流よりも大きくなっている。また、管路中央付近のuの乱れ強度は壁面のそれよりも小さくなっており、逆にwの乱れ強度は管路中央付近で大きくなっている。

次に、混相流の乱れ強度と单相流の乱れ強度とを比較するために、乱れ強度の分布を流れの断面

表1 実験条件

No.	粒径 (mm)	平均流速 (cm/s)	摩擦速度 (cm/s)	単位体積濃度 (%)	Re数 (-)
K	1.40	8.17	0.40	0.0424	15524
L	1.40	8.00	0.35	0.0512	15200
N	1.40	8.33	0.32	0.1619	15832
Q	1.40	8.99	0.37	0.1901	17078
S	1.40	8.59	0.40	0.2609	16313
T	—	9.65	0.42	—	18340
W	0.66	8.06	0.33	0.0178	15309
Y	0.66	9.51	0.38	0.0457	18077
Z	0.66	9.00	0.35	0.1117	17107
ZB	0.66	7.85	0.32	0.1367	14911
ZE	0.66	8.28	0.32	0.1926	15741
ZG	0.33	9.04	0.36	0.0119	17178
ZH	0.33	8.76	0.33	0.0407	16650
ZI	0.33	8.80	0.35	0.0874	16726
ZJ	0.33	8.77	0.32	0.1572	16656
ZK	0.33	8.59	0.32	0.2091	16329

で積分して調べる。断面における流れの平均乱れ強度はそれぞれ次式のように定義される<sup>1)</sup>。

$$\sigma_{TP} = \frac{1}{r} \int_0^r \frac{\sqrt{u'^2}}{U} dz \quad (\text{混相流})$$

$$\sigma_F = \frac{1}{r} \int_0^r \frac{\sqrt{u'_f{}^2}}{U} dz \quad (\text{单相流}) \quad (1)$$

ここで、 $r$ は鉛直管の半径、添字のTPおよびFはそれぞれ混相流、单相流を表している。式(1)により求められた平均乱れ強度は図5、図6に示されている。図5は粒径の変化による乱れ強度の変化、図6は濃度の変化による乱れ強度の変化である。図5より粒子の粒径が大きくなるにつれて乱れの大きさは清水流よりもかなり大きくなる。しかし、 $d=0.33\text{mm}$ の場合は逆に清水流よりも小さくなるケースが見られた。また、図6より同程度の濃度でも粒径が大きいほど乱れ強度は大きくなっている。以上のことから、乱れ強度は粒子の大きさにかなり依存していることが分かる。

#### 4. むすび

以上、乱流構造を調べるため、典型的な流れ場として鉛直管内に固液二相流を発生させ実験を行った。今回の実験では管路の長さが不十分であることから、乱れ強度の変化にばらつきが生じたと思われる。今後は、精度の良い装置に改良し、濃度の範囲を大きくし、また粒子の比重を変化させ、さらに詳細な検討を続けていく予定である。

参考文献：

- 1) R.A.GORE and C.T.CROW: Effect of particle size on modulating turbulent intensity. *Int. J. Multiphase Flow* Vol. 15, No. 2, pp. 279-285, 1989

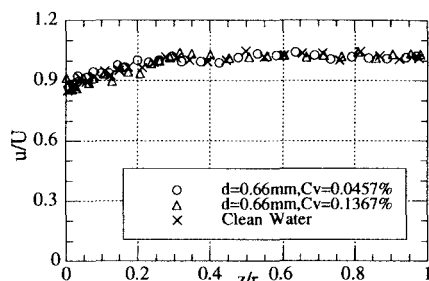


図2 平均流速の分布

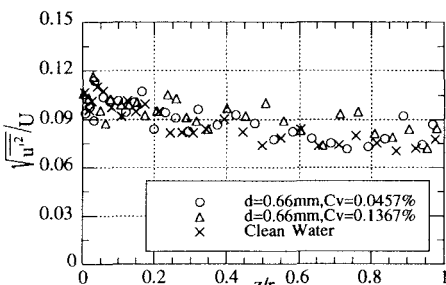


図3 uの乱れ強度の分布

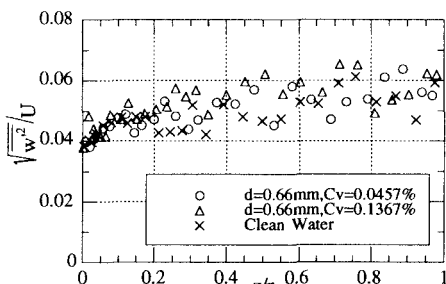


図4 wの乱れ強度分布

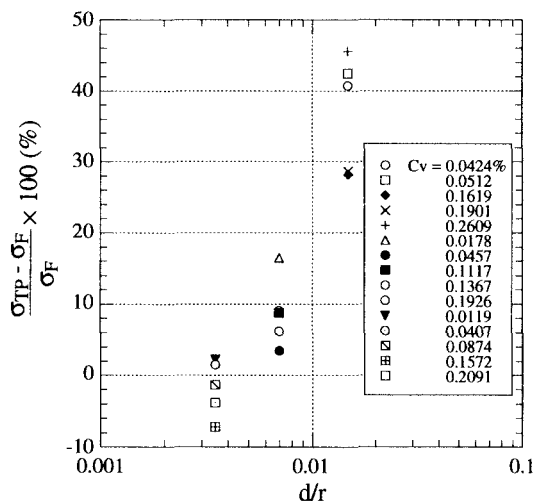


図5 粒径の変化による乱れ強度の変化

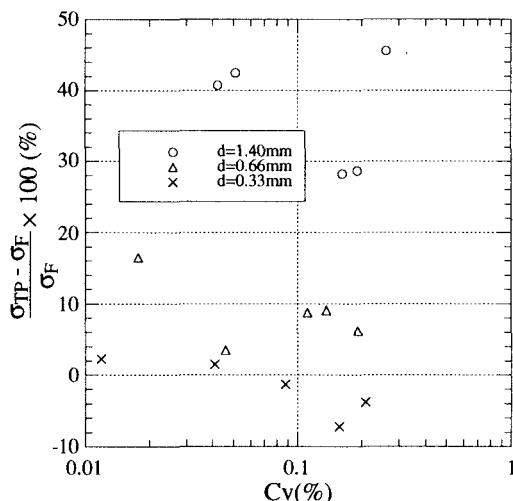


図6 濃度の変化による乱れ強度の変化