

第II部門 大粒径粒子を含む固液混相衝突噴流の乱流計測

京都大学 大学院工学研究科 環境地球工学専攻 正会員 牛島 省  
京都大学 大学院工学研究科 環境地球工学専攻 フェロー 瀬津 家久  
京都大学 大学院工学研究科 修士課程 学生員 ○長谷 直子

1. はじめに

粒子を含む流れの乱流構造は、固体粒子の長さスケールに大きく依存している。固気混相流の実験<sup>1) 2)</sup>においては、粒子径( $d$ )が乱流場を規定する最小スケールであるコルモゴロフスケール( $\eta$ )より十分小さい場合、流れ場の乱流強度が減少する。また、この場合波数空間においては、低波数領域で流速変動のパワースペクトルが減少し、高波数領域で増加するという計測結果が示されている。

本報では、大粒径粒子( $d \simeq 10\eta$ )を含む固液混相衝突噴流について、LDAとPIVを用いて両相の速度を面的かつ時系列に測定することにより、大粒径粒子が乱流構造の変化に及ぼす影響を実験的に検討した。

2. 実験装置及び計測方法

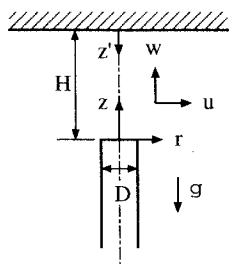


図1 実験装置概略図

本実験で使用した実験装置の概略図を図1に示す。流体は鉛直上向きに、内径 $D = 8\text{mm}$ の円管のノズルから吹き出し、 $H = 80\text{mm}$ の位置に設置されたアクリル壁面に垂直に衝突する。座標系は、ノズル先端から鉛直上向きに $z$ 軸を、噴流中心軸から半径方向に $r$ 軸をとった。流速は鉛直上向き(軸方向)と半径方向の平均流速成分をそれぞれ $w, u$ とし、乱れ強度成分(rms値)をそれぞれ $w', u'$ と表す。

ノズル出口における中心軸上の流速 $w_0$ は、単相液相で $24.6\text{cm/s}$ であり、 $w_0$ と $D$ に基づくレイノルズ数は1970である。粒子体積率は、0.13%とした。固体粒子には、粒子径が $1.05\text{mm}$ で比重が1.03の球形のエチレンビーズを使用した。

本実験では、出力2WのAr-ionレーザードップラー流速計(LDA)を用いて、液相瞬間速度の軸方向成分と半径方向成分を計測した。また、画像処理流速計(PIV)を用いて、固体粒子速度を計測した。光源としては、出力20mJのダブルパルスNd:YAGレーザーを用いた。

3. 実験結果及び考察

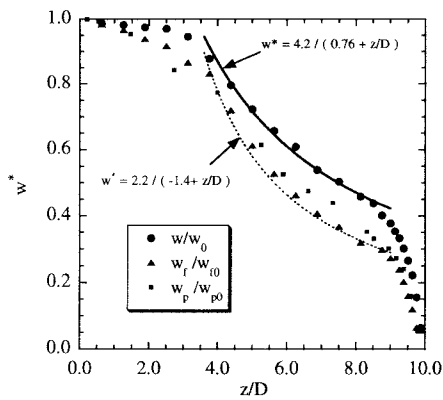


図2 中心軸上の軸方向平均流速分布

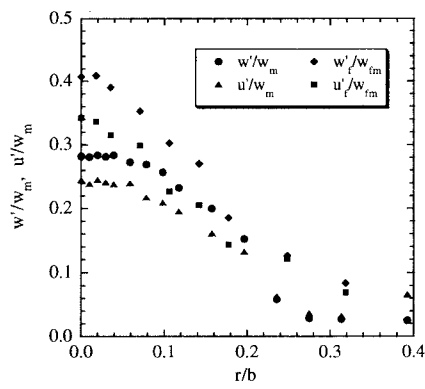


図3 水平断面上の流速変動強度分布

図2に中心軸上の平均流速分布を示す。ここでは軸方向平均流速として、単相流流速( $w$ )、混相流液相流速( $w_f$ )及び混相流固相速度( $w_p$ )を計測した。図中の $w^*$ は、各相の流速( $w, w_f, w_p$ )をそれぞれ、各相のノズル

出口における流速 ( $w_0, w_{f0} = 17.8\text{cm/s}, w_{p0} = 9.1\text{cm/s}$ ) で除して無次元化したものである。円管内で境界層の発達した流れとなるため、各相ともノズル出口付近から徐々に速度が減衰し、壁面付近で急激に速度が落ちている。また、 $z/D = 4.0$  から  $z/D = 7.5$  の領域内にあるデータは逆数を取ると一定の直線上に乗ることから、この領域は、一般の円管噴流における自由噴流領域に相当する。この自由噴流領域において、水平断面上 (単相流では  $z/D = 6.38$ , 混相流では  $z/D = 7.03$ ) の流速変動強度の分布を示したのが、図3である。 $w', u'$  はそれぞれ、単相流の軸方向、半径方向の流速変動強度であり、 $w'_f, u'_f$  は、混相流液相の流速変動強度である。粒子が介在すると流れ場の両方向の乱れが増加している。本実験で使用した粒子の粒径 ( $d$ ) は、自由噴流領域において、コルモゴロフスケール ( $\eta$ ) の約 9.6 倍である。コルモゴロフスケールよりも大きい粒子は流れ場の乱れを増加させるという菱田らの実験結果<sup>3)</sup>と同様の傾向が、図3においても確認できる。

次に、自由噴流領域内にある中心軸上の点 ( $z/D = 4.38 \sim 7.50$ ) において、液相の軸方向変動流速のパワースペクトル分布を求めた。図4(a)に単相流、図4(b)に混相流のスペクトル分布を、Pao<sup>4)</sup>による理論曲線とともに示す。波数  $k_*$  及びスペクトル  $E_*$  は、それぞれ  $k_* = k/(\epsilon\nu^3)^{-1/4}$ ,  $E_* = E/(\epsilon\nu^5)^{1/4}$  と定義される一次元スペクトル量である。ここに、 $\epsilon$  は逸散率、 $\nu$  は動粘性係数である。逸散率  $\epsilon$  は、実験で求めたパワースペクトルの慣性小領域から導出した。単相流のスペクトル分布に比べて混相流のスペクトル分布は、高波数領域のエネルギーが増加していることがわかる。

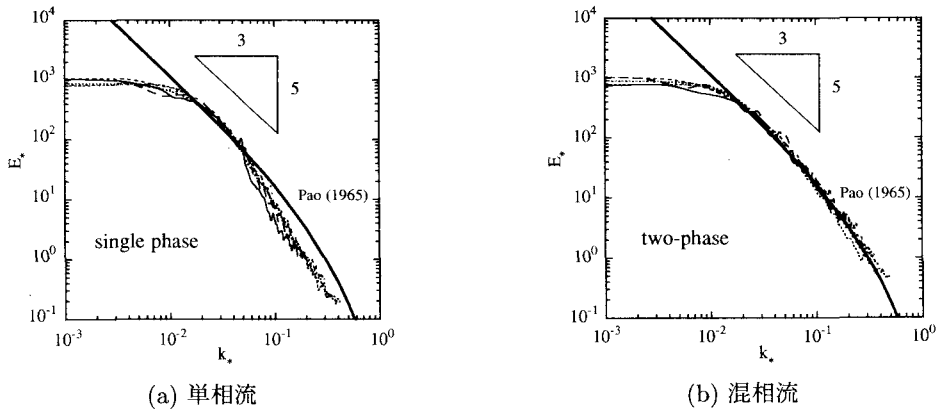


図4 自由噴流領域における軸方向変動流速のパワースペクトル分布

菱田らは、固液混相流の実験<sup>3)</sup>において、コルモゴロフスケールより大きい粒子が介在する時は、スペクトルの高波数領域と低波数領域でエネルギーが増加することを示したが、本実験では低波数領域でのエネルギー増加は見られなかった。

#### 4. おわりに

コルモゴロフスケールより大きい粒子が介在することにより、流れ場の両方向の乱流強度が増加すること、また、軸方向パワースペクトル分布上では、高波数領域でエネルギーが増加することが実験的に確認された。

最後に、本研究を遂行するにあたり協力していただいた京都大学四回生奥山洋平君に感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) C. B. Rogers and J. K. Eaton: The effect of small particles on fluid turbulence in a flat-plate, turbulent boundary layer in air. *Phys. Fluids A*, Vol. 3, p. 928-937, 1991.
- 2) J. D. Kulick, J. R. Fessler and J. K. Eaton: Particle response and turbulence modification in fully developed channel flow. *J. Fluid Mech.*, Vol. 277, p. 109-134, 1994.
- 3) 菱田 公一, 半澤 明, 榊原 潤, 佐藤 洋平, 前田 晶信: 固液二相矩形管内流の乱流構造 (第1報, DPIVによる流れ場の測定). 日本機械学会論文集, 62巻593号, p. 18-25, 1996.
- 4) Yih-Ho Pao: Structure of turbulent velocity and scalar fields at large wavenumbers. *Physics of Fluids*, Vol. 8, No. 6, p. 1063-1075, 1965.