

固液混相ブルームの乱れ特性に関する実験的研究

大阪大学大学院 学生員○下屋陽八郎  
大阪大学工学部 正 員 玉井昌宏  
大阪大学工学部 正 員 村岡浩爾

1. まえがき 固体粒子群を静水中に連続的に投下すると、周囲水が連行されて混相の誘起流動が形成される。前報<sup>1)</sup>では平均粒径  $d_{50} = 1\text{ mm}$  と  $3\text{ mm}$  の粒子を2次的に投下することにより、その平均流動特性について検討した。その結果、いずれも比較的粗い粒子であるにも拘らず、粒径の違いにより平均流動特性や粒子の拡散性が大きく変化することが明かとなった。本報では、粒径によるこうした流動特性の変化の機構を誘起流動の乱れ特性から考察することを試みた。紙面の都合により、ここでは  $d_{50} = 1\text{ mm}$  を投下した場合の乱れ特性についてのみ紹介する。

2. 実験方法 実験は、前後面アクリル製の鋼鉄製2次元水槽を用い、粒子供給装置より一定量のガラスビーズ粒子を連続的に静水中に投下させて誘起流動場を形成させる。偏光二次元前方散乱型LDVを用いて誘起流動場の鉛直・水平二方向測定を行った。実験に用いた粒子は、比重2.64、平均粒子径1.0mm、粒子レイノルズ数154のガラスビーズである。単位奥行き当たりの投下量  $q$  は、 $0.996\text{ cm}^2$  (case1-S) と  $1.277\text{ cm}^2$  (1-L) の2ケースを設定した。実験装置およびガラスビーズ諸元の詳細については、前報を参照されたい。粗大粒子混入時にはその信号処理方法が問題となる。粗大粒子がLDVのサンプリングボリュームを通過すると、通常の散乱粒子をはるかに上回る強度の反射光が生じることにより、不要なノイズが生じる。図-1は光電変換された散乱光(反射光)強度と流速変動の時系列を示している。サンプリング周波数は2kHzである。粒子通過により過大なベデスタルが検出され、いわゆるショットノイズが生じていることがわかる。ここでは、ベデスタル高さに敷居値を設けることにより、流体の信号時系列から粒子信号を分離した。粒子信号の分離による時系列欠損部は、欠損直前の値で補間している。

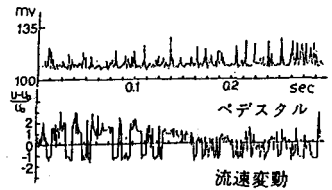


図-1 ベデスタルと流速変動の時系列

3. 実験結果と考察 図-2に流下方向平均流速  $U$  の断面内分布を示す。縦軸は中心軸上値  $U_{cl}$  で無次元化した鉛直方向流速である。また、横軸は流速分布の半値幅  $y_H$  で無次元化した流動中心軸からの水平方向距離  $y$  を示している。以後の図面においても同様の規格化を行っている。図中の  $x/D$  は放流口幅  $D$  で無次元化した鉛直方向距離を示している。図中の実線はガウス分布である。分布形状は、いずれのケースにおいても概ねガウス分布に近似できる。図-3は水平方向平均流速  $V$  の断面内分布である。図中の実線と破線は、Ramaprianら<sup>2)</sup>による单相二次元の乱流ブルームとジェットの実験結果である。いずれの断面においても分布形状は单相ブルームのそれと概ね相似であると考えられる。 $x/D = 15$  の断面において外縁付近の流速の絶対値が大きくなっているのは、対象としている流動が初期流量を持たない完全連行流動であることに起因すると考えられる。 $x/D = 25$  では、单相ジェットに観られるような、中心軸付近の外縁方向の流速が現れはじめ、外縁付近の中心軸方向の流速値も減少していることがわかる。この断面では周囲水の連行は单相のブルームほど活発でなく

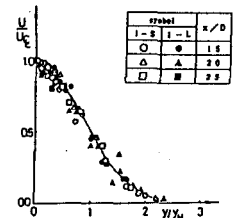


図-2 流下方向平均流速分布

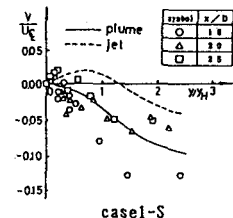


図-3 水平方向平均流速分布

なっていることがわかる。

図-4は流下方向流速の乱れ強度 $u'$ の断面内分布を示す。全体的にはブルームやジェットと同様な分布形状となっており、絶対値は両流動の中間的な規模である。粗い粒子の混入がその後流により乱れ強度を増大させるという従来の見解<sup>3)</sup>とは一致しない。また、流下にともない中心軸付近の乱れの規模が大きくなっていることがわかるが、これは粒子濃度が低減し、その結果として粒子流体間相対速度が増大したことによると推測される。流下にともない乱れ強度の増大は、混相噴流を対象とした既往の実測結果<sup>4)</sup>においても見られる傾向である。

図-5は水平方向流速の乱れ強度 $v'$ の断面内分布であるが、その分布形状はおおよそ単相ブルームやジェットのそれと同様である。乱れの異方性 $u'/v'$ は、高々1.2程度であり、比較的等方的な乱れ場が形成されていることが確認された。Feathら<sup>5)</sup>は空間内で一様に分布して沈降する粒子群により生じる流動の乱れを計測している。その結果、鉛直方向(沈降方向)と水平方向の流速の乱れ強さの比率が概ね2:1となることを示している。粒子群の沈降挙動が単一粒子の自由沈降とは全く異なっていることがわかる。

図-6はレイノルズ応力 $\overline{u'v'}$ の断面内分布を示す。 $x/D=15, 20$ の断面において、 $y/y_H < 0.5$ の粒子が多数存在する領域では、レイノルズ応力の成長が抑制されていることがわかる。また、 $x/D=25$ の断面では、ジェットやブルームに類似した分布形状となっているが、その規模は小さくなっていることがわかる。

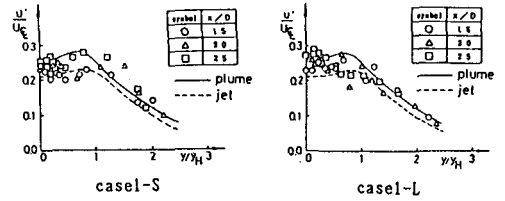


図-4 流下方向乱れ強度分布

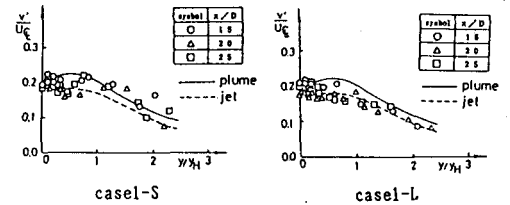


図-5 水平方向乱れ強度分布

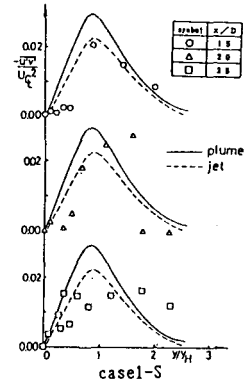


図-6 レイノルズ応力分布

4. まとめ 粒径1mmの粒子を連続的に投下した場合に形成される流動は、概ね単相ブルームと同様な流動であると判断できる。粗い粒子が混入することによる流体運動の乱れ強度の増大は観られなかった。これは粒子濃度が高い場合には、乱れの発生あるいは輸送が著しく抑制されるからであると推察される。流下距離の増大にともない、粒子濃度の低減さらに相間相対速度の増大により乱れの規模は増大する。しかしながら、相間相互作用が希薄となり、粒子の流体駆動力(負の浮力)としての役割が小さくなるために、周囲水の連行などは小さくなっていくものと推察される。

#### (参考文献)

- 1) 下屋・玉井・村岡：固液混相ブルームの流動特性，土木学会第46回年次学術講演会講演概要集，第2部，pp. 748-749, 1991. 2) Ramaprian・Chandrasekhara：Study of vertical plane turbulent jets and plumes, IHR Report, No. 257, March 1983. 3) 辻・森川・潮海：レーザー流速計による鉛直管内固気二相流の測定，日本機械学会論文集（B編），50巻，452号，pp. 1000-1008, 昭59-4. 4) 菱田・竹本・前田：管内軸対称固気二相噴流の乱流特性（粒子密度の影響），混相流，1巻，1号，pp. 56-69, 1987. 5) Parthasarathy・Feath：Turbulence modification in homogeneous dilute particle-laden flows, J. Fluid Mech, Vol 220, pp. 485-514, 1990.