

II-354 固液混相ブルームの流動特性

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

1. まえがき 既存の流動に微小粒子を低濃度で混入させた場合などには、乱流輸送など流動構造の変調が問題となる。筆者らはこのような「先ず流動ありき」の場合を連続相主動型混相流と呼んでいる。これに対比させて、分散相の挙動が混相流動を形成あるいはその流動特性を支配するような場合を分散相主動型の混相流と呼んでいる。後者を対象とした研究は少なく、その典型例である気泡噴流について平均流動場が計測されている程度である。本研究では、後者の一例として固体粒子を静水中に連続的に投下した場合に形成される固液混相流動を対象として、レーザードップラー流速計を用いて誘起流動場の計測を試みた。

2. 実験方法 実験は幅と高さが80cm、奥行き30cmの前後面アクリル製の鋼鉄製水槽の前面5cmを仕切って行った。直径4.7cmの溝付き円筒型ドラムを回転させることにより粒子を連続的に供給した。供給周波数は40Hzである。粒子放出口は幅1cm、奥行き5cmのスリットになっている。放出口先端は水面下12cmに設置されており、若干の変動を除けばスリットからの流体流出は存在しない。誘起流動場は前方散乱型のレーザードップラー流速計により、また粒子の挙動はビデオシステムを用いて計測した。固体粒子としてはガラスビーズを用いた。その諸元を表-1に示す。単位奥行き当りの投下量 q (cm^2/sec)は、 $d=1\text{mm}$ の場合には、1.0(case1-S)と1.8(1-L)を、また $d=3\text{mm}$ の場合には、1.1(3-S)と1.8(3-L)の各2種類を設定した。

表-1 供試材料の諸元

d	ρ	U_p	Re_d	C_{DE}	C_{DC}
1.0	2.64	15.4	154	0.90	0.90
3.0	2.64	31.1	935	0.67	0.43

ここに、 d (mm): 平均粒子径, ρ (g/cm^3): 密度, U_p (cm/sec): 自由沈降速度(測定値), $Re_d(=U_p d/\nu)$: 粒子レイノルズ数, C_{DE} : 抵抗係数(自由沈降速度より逆算), C_{DC} : 抵抗係数($C_{DC}=24/Re_d(1+Re_d^{2/3}/6)$ を用いた計算値)である。

3. 実験結果 図-1に流速変動 u の時系列を示す。図中の U_a は計測点での平均値である。 x は放出口先端からの鉛直方向距離、 y は中心軸からの横方向距離である。 $d=1\text{mm}$ の場合には約0.6秒の周期で間欠的に高流速部が現れている。その上に短周期の乱雑な変動が現れている。長周期の変動は噴流やブルームにおいて観察される揺らぎ現象に相当するものであり、短周期変動は個々の粒子の後流に起因すると考えられる。 $d=3\text{mm}$ の場合には個々の粒子の後流による変動が際だっている。図-2に平均流速 U 、平均粒子速度 V_p 、粒子体積フラックス N の断面内分布を示す。縦軸は、 U 、 V_p については U の中心軸上値 U_{cl} で、また、 N については軸上値 N_{cl} で無次元化されている。横軸は U 分布の半値半幅 y_H で無次元化した横方向距離である。また、図中の実線はガウス分布である。 $d=3\text{mm}$ のケースでは、 U と N の分布は概ね一致している。流動外縁における粒子と流体との相対速度差は、単一粒子の自由沈降速度に等しい。固体粒子群が単一粒子の自由沈降状態で落下していると仮定すれば、単一粒子の後流による運動量に N を掛け合わせるにより求まる運動量から流速分布の概形

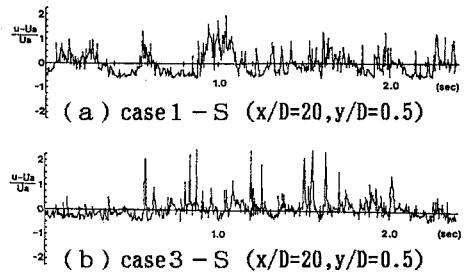


図-1 u 変動時系列

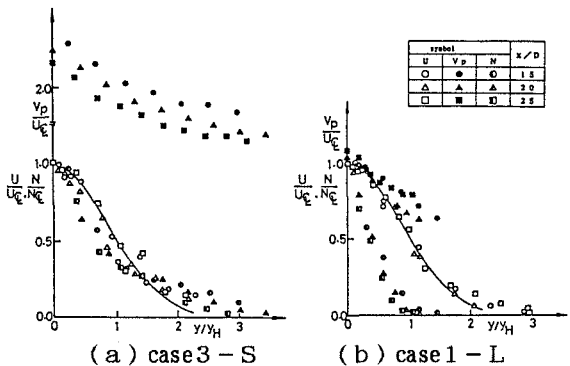


図-2 U , V_p , N の断面内分布

は得られると考えられる。従って、単一粒子の後流の拡がり程度の誤差はあるものの、 U と N の拡がり幅は等しくなる。 $d = 1\text{ mm}$ のケースでは、 U 分布と N 分布の半値半幅の横方向位置から判断して、粒子の拡がり幅は流速分布の拡がりの4割程度になっている。こうした傾向は、Modarres¹⁾や菱田ら²⁾の示した固液混相噴流の実験結果に類似している。また、従来の固気混相噴流の実験結果では、流下にともない大きな相対速度差が現れることが報告されているが $d = 1\text{ mm}$ のケースではそうした傾向は認められなかった。図-3は U 分布の半値半幅 y_H の流下方向変化である。縦軸、横軸とも放流口幅 D で無次元化されている。比較のため、菱田ら²⁾やRamaprian³⁾によって得られた混相噴流や単相ブルーム（実線）の実験結果を同図に示す。混相噴流の実験結果と同様に半値半幅の拡がり率 (dy_H/dx) は流下距離の増大にともない減少している。しかし、その減少率は大きい。図-4は、中心軸上平均流速の流下に伴う変化を示している。放流口から $X = 10\text{ cm}$ 程度までは、いずれのケースにおいても、流速は増大している。これは放流口では初期流速がなく、粒子群の落下にともない周囲水が連行され、流動場が形成されることを示している。 $X > 10\text{ cm}$ では、流速はほぼ一樣になり単一粒子の自由沈降速度 U_p と比較すると、1-Lでは約2倍、1-Sでは約1.5倍、また、3-Lでは約0.9倍、3-Sでは約0.6倍になっている。図-5は流速変動の乱れ強度 u' の断面内分布である。 $d = 1\text{ mm}$ の場合には、図中実線で示した単相噴流の実験結果と概ね相似な形状となっている。 $d = 3\text{ mm}$ のケースでは、中心軸で極大値となる1山形の分布である。粒子の沈降が自由沈降的である場合には個々の後流による乱れが卓越することから、 N_p 分布に類似した形状になったものと推察される。絶対値が大きいのは誘起流動のレベルが低いことに起因している。

4. まとめ 本研究においては、固体粒子を連続的に投下した場合に形成される混相誘起流動場の特性について検討した。粒径が 1 mm の場合には誘起流動場の平均流動特性は単相ブルーム流動のそれと同様の傾向を示した。これに対して、 3 mm の場合には、概して誘起流動場は単一粒子の自由沈降挙動による後流の重畳的なものであると予想される。こうした結果は固体粒子群を瞬間的に投下された場合に形成される流動場の特性とも類似したものであると考えられる。⁴⁾これらの結果を総合して定量的な議論に発展させることが今後の課題である。

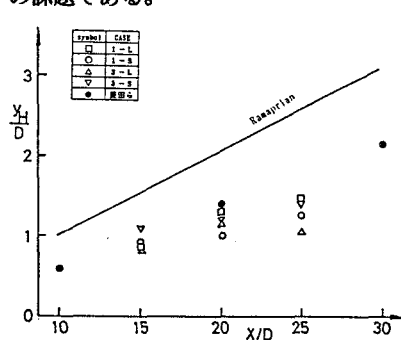
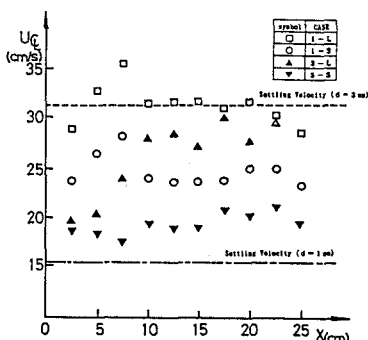
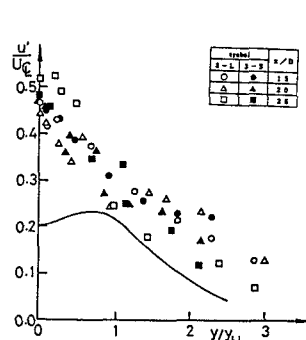
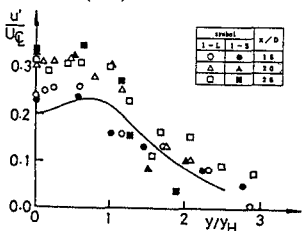

図-3 y_H の流下方向変化

図-4 U_{CL} の流下方向変化

(a) $d = 3\text{ mm}$

(b) $d = 1\text{ mm}$

図-5 u' の断面内分布

(参考文献) 1)Modarres・Wuerer: An experimental study on a turbulent round two-phase jet, Chemi.Eng.Commu., Vol.28, pp.341-354, 1984
2)菱田・竹本・前田: 管内軸対称固気2相噴流の乱流特性, 混相流学会誌, 1巻1号, pp.65-69, 1987. 3)Ramaprian・Chandrasekhara: Study of vertical plane turbulent jets and plumes, IIHR Report, No.257, March 1983. 4)室田・中辻・玉井・町田: 海域での土砂投下による密度流現象, 第35回海岸工学講演会論文集, Vol.35, pp.777-781, 1988.