

静水中に瞬間的に投下された粒子群の挙動

九州工業大学工学部 学生員 ○岩橋 高彰

九州工業大学大学院 学生員 西森 秀樹

九州工業大学工学部 正 員 秋山 壽一郎、浦 勝

1. はじめに

人工島の建設などを目的とした水域への土砂直投工や廃棄物の投棄では、水表面付近から投下される多量の土砂が引き起こす大規模な汚濁が大きな問題となっている。本研究は、水表面から静水中に瞬間的に投下された粒子群の流動・拡散過程、特に粒子サーマル的な落下形態から自由沈降的な落下形態への遷移点について大まかな目安を示すとともに、粒子サーマル的な落下形態における落下粒子群の最大拡がり幅、平均浮力、落下速度、形状係数、連行係数などを実験的に明らかにしたものである。

2. 実験装置および方法

実験装置は前面アクリル製の水槽(幅1.5m、深さ1.5m、奥行き0.1m)である。密度 ρ_a の静水中に流入装置から中央粒径 d 、水中比重 s の粒子を初期総浮力 $W_0(=sgA_0)$ で水表面より瞬間的に流入させ、落下粒子群を発生させた。ここに、 A_0 =空隙を除いた粒子の初期単位幅体積、 g =重力加速度である。表1に実験条件を示す。CASE1と2はガラスビーズ、CASE3と4はふるい分けしたケイ砂である。図1はCASE2-3の落下粒子群の流動状況である。このように、落下粒子群は中心軸に左右対称でほぼ楕円形状の相似形を保ちながら降下していく。そこで、表1では A_0 および W_0 を全投下量の半分として定義してある。

このようにして形成された落下粒子群をスリット光で可視化し粒子群の流動状況をCCDカメラで撮影し、パソコン制御が可能な高性能VTRに収録された画像を解析することにより、落下粒子群の落下速度 V_z および形状を求めた。流れの再現性は比較的良好であったので、同一条件下で5回の繰り返し実験を行ない、データの信頼性を高めた。落下粒子群の定義図を図2に示す。

3. 実験結果

図3は粒子群の落下速度 V_z と粒子の沈降速度 V_f との比 V_z/V_f と無次元落下距離 $z^*(=z/z_0)$ との関係を示したものである。ここに、 $z_0=A_0^{1/2}$ である。これより、全てのデータが $V_z/V_f \geq 1.0$ の範囲に存在しており、粒子群の落下速度は粒子の沈降速度よりも数倍から数10倍大きいこと。 $V_z \sim z^{-1/2}$ の関係が成立していることなどがわかる。乱流サーマル的な流動形態では、 $H \sim z$ 、 $B \sim z^{-2}$ および $V_z \sim z^{-1/2}$ なる関係が成立することが著者らによって知られているが¹⁾、これより本研究で得られた落下粒子群が粒子サーマル的な落下形態に属していることがわかる。また、 $H \sim z$ および $B \sim z^{-2}$ の関係が成立することも確認されたが、ここでは紙面の都合で図は省略する。さて、図3より両領域の遷移条件を大まかに算定することができる。つまり、 $V_z/V_f=1.0$ となる値 $z^*_{1.0}$ を図3より求め、 $z^*_{1.0}$ と粒子Reynolds数 $R_p(=dV_f/\nu)$ との関係を調べると、図4のような関係が得られる。ここに、 ν =水の動粘性係数である。従って、両領域の大まかな遷移条件は、 $z^*_{1.0}=2250R_p^{-1}$ のようになる。

以下では、静水中における粒子サーマルの主要な流動特性量について検討を加える。

(1) 断面アスペクト比 F および断面面積比 S_1 と初期総浮力 W_0 との関係

サーマル的な落下形態では、その流動特性は W_0 の絶対量によって規定される。そこで、断面アスペクト比 $F(=H/L)$ と W_0 との関係について調べたものが図5である。これより、粒子サーマルの F は落下塩水塊の値とほぼ同じであることがわかる。また、断面面積比 S_1 は W_0 に傾向的に依存せず、 $S_1=0.7854$ で近似され、楕円形状の S_1 値である $\pi/4(=0.785)$ にほぼ等しいことが認められた。

(2) 連行係数 E_a と初期総浮力 W_0 との関係

連行係数 $E_a(=q_e/CV_z)$ と W_0 との関係を示したものが図6である。ここに、 q_e =単位時間当たり連行量、 C =

表1 実験条件

CASE	中央粒径 d(cm)	粒子の 水中比重s	初期単位幅 体積A ₀ (cm ³)	初期総浮力 W ₀ (cm ³ /s ²)
1-1	0.0044	1.467	0.48	697
1-2			0.97	1 394
1-3			1.45	2 091
1-4			1.94	2 789
2-1	0.0088	1.48	0.52	754
2-2			1.04	1 508
2-3			1.56	2 263
2-4			2.09	3 031
3-1	0.014	1.65	0.54	878
3-2			1.09	1 757
4-1	0.027		0.57	922
4-2			1.14	1 845

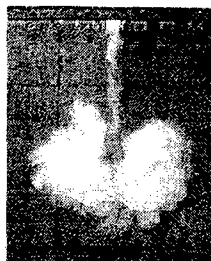


図1 落下粒子群の流動状況(CASE2-3)

粒子群の周囲長である。これより、 E_d は W_0 に対して傾向的に依存しないこと。粒径が小さなCASEでは周囲流体の連行が活発で落下塩水塊と同様な値を取るが、粒径が大きなCASEではそれよりも連行係数がかなり小さくなることわかる。

(3) 無次元最大幅 H^* 、無次元平均浮力 B^* 、無次元落下速度 V^* と無次元落下距離 z^* との関係

粒子群の無次元最大幅 H^* 、無次元平均浮力 B^* 、無次元落下速度 V^* をそれぞれ $H^*=H/z_0$ 、 $B^*=B/B_0$ 、 $V^*=V_z/V_0$ のように定義する。ここに、 $V_0=(sgW_0)^{1/4}$ および $B_0=V_0^2z_0^{-1}$ である。 H^* は z^* のみの関数として表現できるが、 B^* と V^* については明らかに他のパラメーターが関与していることが認められた。そこで、落下粒子群の平均浮力と落下速度がそれぞれ $(B^* \cdot R_p^{0.1})$ と $(V^* \cdot R_p^{0.1})$ で表わせると仮定し、similarity collapse法を用いて m_1 と m_2 について調べたものが図7である。図7から明らかなように、全ての実験結果を良好に表現できる値として、 $m_1=m_2=-0.1$ が得られた。 H^* 、 $(B^* \cdot R_p^{-0.1})$ および $(V^* \cdot R_p^{-0.1})$ と z^* との関係を示したものが図8、9および10であり、いずれも両者の関係を良好に表現していることがわかる。

以上をまとめると、 H^* は z^* に線形的に依存すること。 B^* と V^* はそれぞれ z^* の-2乗と-1/2乗に比例すること。 H^* は粒子の沈降速度の影響を受けないが、 B^* と V^* は影響されること。などの知見が得られた。

参考文献：(1)秋山ら、水工学論文集、第42巻、pp.529-534、1998。

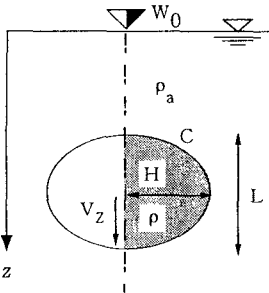


図2 落下粒子群の定義図

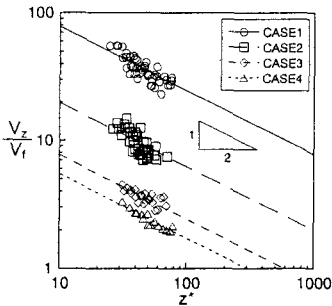


図3 V_z/V_f と z^* との関係

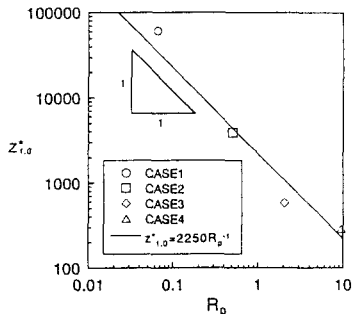


図4 $z^*_{1.0}$ と R_p との関係

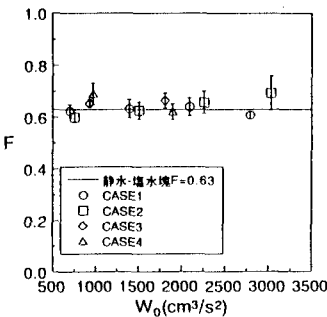


図5 F と W_0 との関係

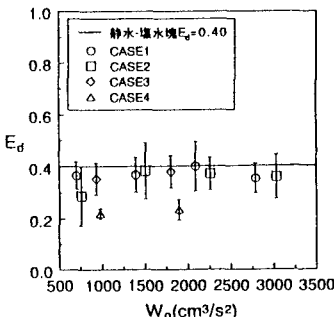


図6 連行係数 E_d と W_0 との関係

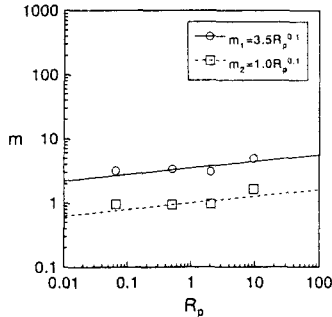


図7 m_1 、 m_2 と R_p との関係

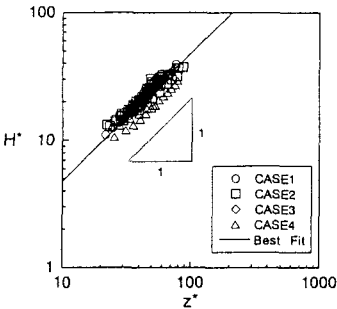


図8 H^* と z^* との関係

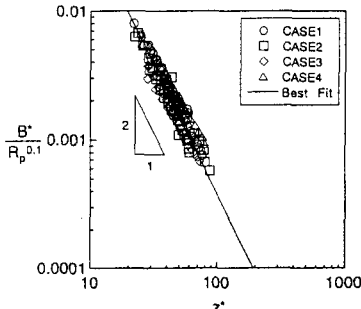


図9 $(B^* \cdot R_p^{-0.1})$ と z^* との関係

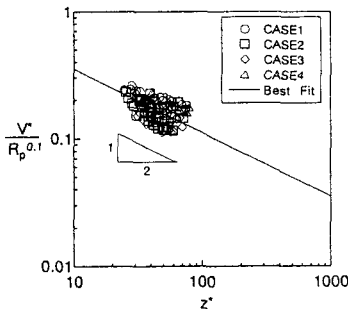


図10 $(V^* \cdot R_p^{-0.1})$ と z^* との関係