

混合粒子の直投により発生する濁りの流動および堆積特性

九州工業大学工学部 学生員 ○齋賀 仁、野中 雅之
九州工業大学工学部 正会員 秋山 壽一郎

1. はじめに

本研究は、微細粒子とそれより粒径が粗い粒子の混合落下粒子群の底面衝突後の挙動について実験的に検討を加え、粗粒成分が混合粒子群の流動および堆積特性について調べたものである。

2. 実験条件

水深 h の淡水で満たされた前面アクリル製の水槽(長さ7.5m、深さ1.0m、幅0.1m)中に混合粒子と淡水を混合した単位幅あたりの初期総浮力 $2W_0(=2sgA_{p0})$ の濁水塊を投下装置から直投し、落下から底面衝突を経て水平流動する濁水塊を再現した。ここに、 A_{p0} =単位幅当りの粒子投下量、 s =粒子の水中比重、 g =重力加速度である。実験に用いた混合粒子群は、比重 $\sigma=2.45$ のガラスビーズ粒子で、微細粒子(中央粒径 $d=0.0044\text{cm}$)とそれより粒径が4倍程度大きな粗粒子($d=0.0165\text{cm}$)を1:2で良く混ぜたものである。

3. 実験内容与方法

混合粒子群の流動状況を把握するため、可視化実験、底面衝突後の粒子群先端部の総浮遊粒子量 W_s の保存状況を調べる実験および底面に堆積した粒子量 W_d を算定するための実験を行った。

可視化実験では、濁水塊の流動状況をCCDカメラで追跡・撮影し、コンピュータ制御が可能なデジタルVTRに収録された画像を解析することより、濁水塊の先端移動速度 U_t と形状を算定した。総浮遊粒子量に関する実験では、濁水塊が通過した瞬間に所定の断面に設置された仕切りゲートを素早く降ろし、仕切りゲートの上流側と下流側に沈積した粒子を採集し、その乾燥重量より W_s を求めた。堆積粒子量に関する実験では、沈積粒子を採集し、その乾燥重量より W_d を算定した。いずれの場合も同一条件下で繰り返し実験を行い、濁水塊の落下挙動が左右対称と認められた場合に、粒子の採集を行った。ただし、見掛けは左右対称であっても濁水塊の全投下量 $2W_0$ が左右均等に分離されるわけではないので、落下濁水塊の中心軸から右側の堆積量が W_0 の95~105%のものを採用した。

4. 実験結果

底面衝突後の濁水塊の単位幅体積 A 、最大高さ H 、先端移動速度 U_t および平均浮力 $B(=\epsilon g)$ と流下距離 x_t との関係について検討したものが図-1である。

図-1aより、無次元断面面積 A/A_{p0} と A/h^2 は何れも流下方向に増加し、徐々に減少する傾向が認められる。この増加から減少に転ずる位置をもって、遷移領域から重力密度流領域への遷移点位置 x_{t1} と定義した。 x_{t1} は、DPM-1で約2.80、DPM-2で約1.30程度であり、同一の初期総浮力 W_0 と水深 h での一様粒子を用いた場合と比較して、水深が小さなDPM-1では x_{t1} の値に殆ど違いが認められなかったが、DPM-2では x_{t1} の値が減少することが確認された。これは、投下点付近への粗粒成分の沈積効果により生じたと考えられる。さらに、遷移領域では水深、重力密度流領域では A_{p0} が現象を支配する主

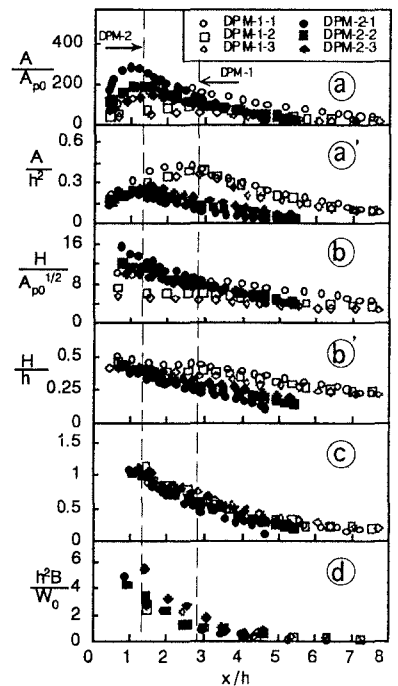


図-1 流動特性と流下距離との関係

なパラメータであることがわかる。

図-1bより、無次元最大高さ $H/A_{p0}^{1/2}$ と H/h はどれも流下方向に減少する傾向が認められ、図-1aと同様に遷移領域では $H/A_{p0}^{1/2}$ より H/h の方が、重力密度流領域では H/h より $H/A_{p0}^{1/2}$ の方が相対的に良好な結果を与えることがわかる。

図-1cより、無次元先端移動速度 $U_f/(W_0/h)^{1/2}$ は流下方向に緩やかに減少する傾向が認められ、粒子の形状に関する結果と異なり、いずれの領域においても水深と投下条件が重要であることがわかる。

図-1dより、無次元平均浮力 h^2B/W_0 も流下方向に単調に減少する傾向が認められ、 B についてもいずれの領域においても水深および投下条件が支配的であると考えられる。

図-2と図-3は、それぞれ無次元流下距離 $x/A_m^{1/2}$ に対する一様粒径微細粒子群の無次元総浮遊粒子量 W_s/W_0 と混合粒子群の無次元浮遊粒子量 W_s/W_i の関係を調べたものである。なお、図-3中のCASE番号に付したFとCはそれぞれ細粒と粗粒成分を示し、各成分の W_a は各粒径に対応する初期総浮力 W_i で正規化されている。これより、水深によって細粒成分と粗粒成分の分布状況が大きく異なることがわかる。DPM1では一様粒子群の場合と比較して、細粒成分はより下流側でも浮遊される傾向が強い。これは、水深が浅い場合では粒子群の落下時に細粒成分と粗粒成分の分離があまり進行せず、一体となり底面沿って流動するためであると考えられる。一方、DPM2では落下距離の増加に伴う細粒成分と粗粒成分の分離が顕著になり、浮遊粒子群の粗粒成分が投下点付近に急激に沈積する。

図-4と図-5は、それぞれ無次元流下距離 $x/A_m^{1/2}$ に対する一様粒径微細粒子の無次元堆積粒子量 W_d/W_0 と混合粒子群の無次元堆積粒子量 W_d/W_i の関係について調べたものである。ここで、 x は直投点直下から流下方向に測った距離である。これより、DPM1では細粒成分が一様粒子群の場合よりも広範囲に拡がる傾向が認められる。一方、DPM2では落下距離の増加に伴う細粒成分と粗粒成分の分離が顕著になり、粗粒成分の沈積が投下点付近に集中するとともに、細粒成分の堆積分布形状は一様粒子群のそれとほぼ同様な傾向となることが認められる。このように、混合粒子群の落下距離が細粒成分の広がりに対して極めて重要な役割を果たすことがわかる。

3. まとめ

同一投下条件下における混合粒子では水深が大きくなると、投下点付近への粗粒成分の沈積が生じ遷移領域が減少するが、細粒成分の拡がりの程度には影響しない。一方、水深が小さくなると、遷移領域の減少は認められないが、粒子群は粗粒成分の影響を受け、細粒成分がより広範囲に拡がる。によって、混合粒子群では水深が大きくなると、濁りはより広範囲に拡がる可能性があるなど有益な知見を得られた。

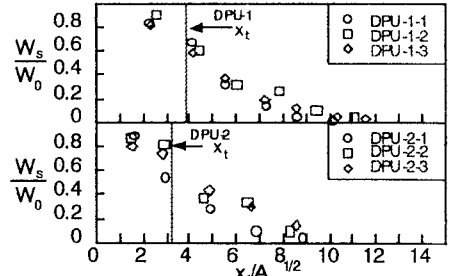


図-2 一様粒径粒子の浮遊粒子と流下距離の関係

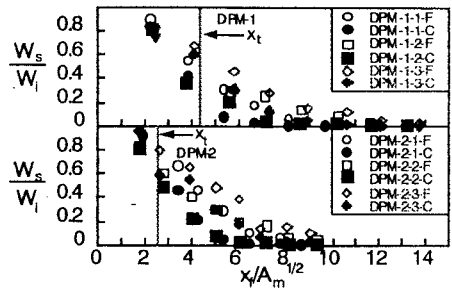


図-3 混合粒子の浮遊粒子と流下距離の関係

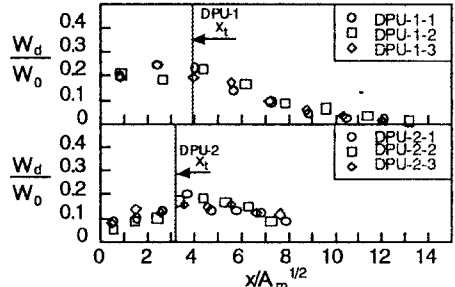


図-4 一様粒径粒子の堆積粒子と流下距離の関係

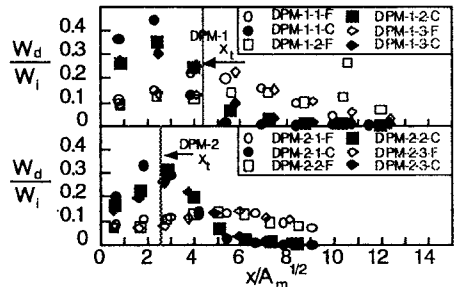


図-5 混合粒子の堆積粒子と流下距離の関係