

直投混合粒子による濁りに関する実験的研究

九州工業大学 工学部 学生員 ○野中 雅之、井手野 創
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大きい粒子との混合粒子の直投で発生した落下濁水塊の底面衝突後の挙動について実験的に検討を加え、粗粒成分が濁水塊の流動特性に及ぼす影響について調べたものである。

2. 実験と実験結果

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 $2W_0 (=2s g A_0 s_0)$ 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_0 =単位幅当りの粒子投下量、 s =粒子の水中比重および 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。実験条件は、表-1に示すとおりである。

表-1 実験条件

	h (cm)	d (cm)	$2A_{0f}$ (cm^3)	$2A_{0c}$ (cm^3)	$2W_0$ (cm^3/s^2)	$2W_0$ (cm^3/s^2)
DPM-1-1	50	0.0044	4.063	13.054	5770	17117
		0.0165	7.991		11347	
		0.0044	6.872		9758	
DPM-1-2	50	0.0165	13.508	20.38	19182	28940
		0.0044	9.612		13649	
DPM-1-3	50	0.0165	18.91	28.522	26853	40502
		0.0044	4.063		5770	
DPM-2-1	90	0.0165	7.991	13.054	11347	17117
		0.0044	6.872		9758	
DPM-2-2	90	0.0165	13.508	20.38	19182	28940
		0.0044	9.612		13649	
DPM-2-3	90	0.0165	18.91	28.522	26853	40502
		0.0044	4.063		5770	



図-1 流動状況 (DPM-1-3)

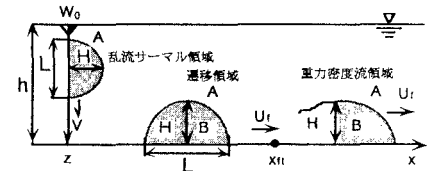


図-2 流れの特性量の定義図

濁水塊の流動状況を把握するための可視化実験、濁水塊先端部の総浮遊粒子の総浮力 W_0 の保存状況を調べるための実験および堆積粒子量 W_a を算定するための実験を同一条件下でそれぞれ独立に実施した。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により、濁水塊の先端移動速度 U_r と形状を算定した。この際、同一条件下で繰り返し実験を行い、落下濁水塊がほぼ左右対称に分離したと認められるデータを5セット得た。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すばやく降ろし、仕切りゲートの上流側と下流側に沈積した粒子を丁寧に採集し、その乾燥重量より W_a を求めた。対象とする流れは一過性の非定常現象であるので、仕切りゲートの設置位置を移動させ、数断面で同様な実験を繰り返した。堆積粒子量に関する実験では、沈積粒子を丁寧に採集し、その乾燥重量より W_a 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ほぼ左右対称と認められた場合に限り、粒子の採集を行った。ただし、見掛け上はほぼ左右対称であっても必ずし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。

図-1は、落下濁水塊の底面衝突から水平流動に至る流況の一例を示したものである。これより、混合粒子であっても、ほぼ左右対称の循環流より構成される落下濁水塊が底面衝突後を経て左右に分離し、形状を縦長の楕円形状から1/4楕円形状へと変化しながら底面に沿って流動する様子がわかる。このような一連の濁水塊の挙動は、 $d=0.0044\text{cm}$ の一樣粒子を用いた場合¹⁾あるいは本研究より粒径が大きい粒子を用いた玉井ら²⁾の実験結果とほぼ同様である。このような観測結果に基づき、直投濁水塊の底面衝突後の流動状況を重力密度流への遷移領域および重力密度流領域の2領域に区分し、主要な流動特性量を図-2のように定義する。なお、同図において、 L 、 H 、 B および U_r はそれぞれ濁水塊の最大長さ、最大高さ、平均浮力および先端移動速度であり、図中の x_n は後述する遷移領域から重力密度流領域への遷移位置である。

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_f および平均浮力 $B(=\epsilon g)$ と流下距離 x_f との関係について検討したものが図-3である。底面衝突後の濁水塊の流動特性は、投下条件(粒子の初期単位幅体積 A_{p0} 、初期総浮力 W_0 、粒子粒径 d 、粒子混合比)および周囲水条件(水深 h)で規定されると考えられるので、これらの諸量を用いて流動特性量の無次元化を行なった。ただし、粒径 d と混合比は一定であるので、これらの影響は考慮していない。

図-3aより、無次元断面面積 A/A_{p0} と A/h^2 はいずれも流下方向に一旦増加し、その後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_{tr} と定義した。 x_{tr} 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_{tr} の値にほとんど違いが認められなかったが、DPM-2では x_{tr} の値が減少することが確認された。このような傾向は、投下点付近への粗粒成分の沈積効果によって生じたと考えられる。さらに、遷移領域では A/h^2 、重力密度流領域では A/A_{p0} の方がデータのまとまりが良く、一様粒径粒子の場合と同様に¹⁾、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要なパラメータであることがわかる。図-3bより、無次元最大高さ $H/A_{p0}^{1/2}$ と H/h はいずれも流下方向に減少する傾向が認められ、図-3a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、一様粒径粒子の場合ほど明確ではないものの、遷移領域では水深、重力密度流領域では A_{p0} が支配的であると考えられる。図-3c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、濁水塊の形状に関する結果とは異なり、 U_f については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ことがわかる。図-3d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-4は、濁水塊の無次元堆積粒子量 W_d/W_i と無次元流下距離 x/h との関係について調べたものである。図中のCASE番号に付した細と粗はそれぞれ細粒と粗粒成分を示しており、各成分の W_d は各粒径に対応する W_i で正規化されている。これより、一様粒径粒子の場合と比較して、DPM-1では落下時に細粒成分と粗粒成分の分離があまり進行せず、細粒成分はより広範囲に拡がる傾向があることがわかる。一方、DPM-2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径粒子のそれとほぼ同一となる傾向が認められる。

3. まとめ

水深が大きくなると、濁水塊の落下時に細粒成分と粗粒成分の分離が進行するため、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。一方、水深が小さくなると、落下時の粒子成分の分離が進行しないため、遷移領域の減少は認められないが、濁水塊は粗粒成分の影響を受け、より広範囲に細粒成分による汚濁が拡がる可能性がある。などの有益な知見が得られた。

参考文献：1) 秋山壽一郎ら：水工学論文集, 第45巻, 2001. 2) 玉井昌宏ら：土木学会論文集, No.515/II-31, 1995.

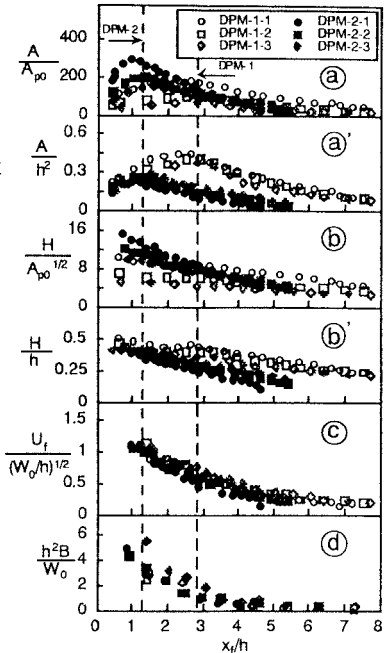


図-3 流動特性と流下距離との関係

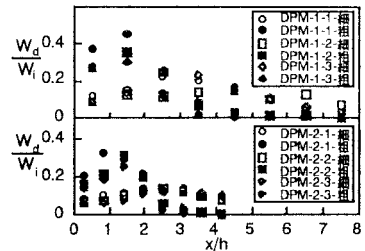


図-4 堆積粒子量と流下距離との関係