

底面に衝突する濁水塊の挙動

九州工業大学工学部 学生員 ○井手野 創 正 員 秋山 壽一郎・浦 勝
九州工業大学大学院 学生員 末広 祐志

1. はじめに

海上空港などの建設を目的とした土砂直投工では、微細土粒子を含む多量の土砂が水面付近から投入されるため、大規模な汚濁が発生し水産資源をはじめとする水生生物に甚大な被害をもたらすことが大きな問題となっている。本研究は、土砂直投により発生する落下濁水塊の底面衝突後の流動特性について基礎的な知見を得ることを試みたものである。

2. 実験

実験装置は、長さ7.5m、深さ1.0m、幅0.1mの両面アクリル製の水槽に流入装置を取り付けたものである。初期総浮力 $W_0(=sgA_0)$ のガラスビーズの塊を水深 h の静水中に瞬間的に投下することによって落下粒子群を発生させた。ここに、 A_0 は空隙を除いた粒子のみの単位幅当りの初期投入量、 s は粒子の水中比重、 g は重力加速度

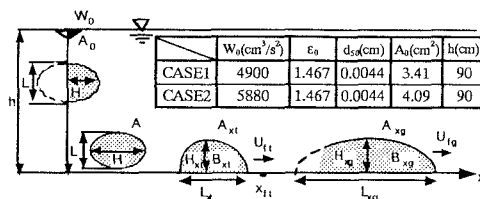


図1 流れの定義図 (実験条件の表を並記)

である。流況の解析結果に基づく、底面衝突後の濁水塊は縦長の楕円形状から半楕円形状、さらには1/4楕円の形状へと変化することがわかった。底面衝突後の一連の流れはほぼ左右対称であったので、流動状態を図1のように定義した。従って、図1中の A_0 と W_0 は全投入量の半分として定義されている。

落下粒子群とその底面衝突後に形成された水平に流動する濁水塊の流動状況をCCDカメラで撮影し、コンピュータ制御が可能なVTRに収録された画像を解析することにより、粒子群の落下速度 V と水平流動濁水塊の最先端部の移動速度 U_f およびそれぞれの形状を求めた。流れの再現性は必ずしも良好ではなかったので、同一条件下で繰り返し実験を行い、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。また、底面に沿って水平流動する濁水塊については、総浮力 W の保存状況あるいは粒子の堆積状況を調べる目的で、堆積量 $W_d(x)$ と浮遊粒子量 $W_s(x)$ とをそれぞれ求めた。その際、同一条件下で繰り返し実験を行い、ほぼ左右対称に分離したと認められるデータを3セット得た。

3. 実験結果

以下では、紙面の都合でCASE1の結果についてのみ報告する。図2と3はそれぞれ堆積量比 $W_d(x_f)/W_0$ および浮遊粒子量比 $W_s(x_f)/W_0$ 、濁水塊先端部 $W_f(x_f)/W_0$ および後流部 $W_b(x_f)/W_0$ の浮遊粒子量比、と無次元流下距離 $x_f^*(=x_f/h)$ との関係について調べた結果である。ここに、 x_f は濁水塊の最先端部の位置である。両図より、落下点からかなり離れた所で堆積量が最大となること、浮遊粒子量は流下方向に単調に減少していくこと、先端部と後流部の浮遊粒子量は流下方向に単調に減少していくこと、などがわかる。

次に、水平流動する濁水塊の最大高さ比 $H_x^*(=H_x/L)$ と長さ比 $L_x^*(=L_x/H)$ 、断面アスペクト比の比 $F_x^*(=H_x^*/L_x^*)$ および単位幅体積比 $A_x^*(=A_x/A)$ 、先端移動速度比 $U_{fx}^*(=U_f/V)$ および先端部平均浮力比 $B_x^*(=B_x/B)$ と無次元流下距離 x_f^* との関係について検討を加える。ここで、*で示された無次元量は衝突直前の値($H=37.0\text{cm}$ 、 $L=50.2\text{cm}$ 、 $F=0.78$ 、 $A=1420\text{cm}^2$ 、 $V=8.27\text{cm/s}$ 、 $B=3.3\text{cm/s}^2$)で正規化された特性量の比であることを示す。これによって、落下粒子群と衝突後の濁水塊と関係付けることができる。

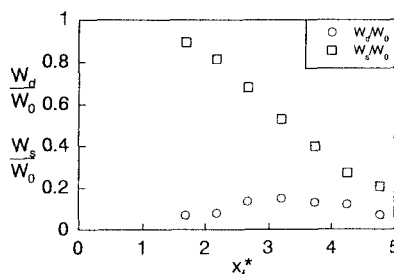


図2 $W_d(x_f)/W_0$ および $W_s(x_f)/W_0$ と x_f^* との関係

図4、5および6よりまず、特性量によって程度の違いは認められるものの、濁水塊の挙動は $x_f^* \approx 2.0$ 付近でその傾向が変化していることがわかる。流れの観察結果を考慮すると、濁水塊は $x_f^* \approx 0.5$ で底面に衝突し、その後は $x_f^* \approx 0.5 \sim 2.0$ で縦長の楕円形状から半楕円形状へと変化し、 $x_f^* > 2.0$ で半楕円形状から1/4楕円形状へ変化していくことが認められた。以下では、それぞれの領域を遷移領域、重力密度流領域と呼ぶ。

図4より、最大高さ比 H_x^* は遷移領域で急激に増加した後、重力密度流領域の初期では急激に減少するが、その後は緩やかに減少することが認められる。一方、長さ比 L_x^* はいずれの領域でも緩やかに減少するが、遷移領域と重力密度流領域との間でやや急激に減少することなどがわかる。図5より、断面アスペクト比 F_x^* は遷移領域では急激に減少するが、重力密度流領域では緩やかに増加することがわかる。一方、面積比 A_x^* は遷移領域では急激に増加し、重力密度流領域の初期では早く減少するが、その後は徐々に減少することが認められる。図6よりまず、速度比 U_{fx} は衝突直前の落下速度 V に比べかなり減少しており、従来の解析において仮定されている $U_{fx}/V=1.0$ の関係があまり正確でないことが確認できる。また、 U_{fx}^* は遷移領域から重力密度流領域へと滑らかに遷移していることもわかる。一方、平均浮力比 B_x^* は遷移領域から重力密度流領域の初期にかけてやや増加する傾向が見られるが、その後は緩やかに減少していることがわかる。なお、Bについては図3の W_f とそこでのAを用いて算定した。

重力密度流領域の流動特性は、水面上の有限な重い流体を瞬間的に解放することによって生じる通常重力密度流と同様な特性を持つと期待される。Huppert & Simpson¹⁾は彼等とその他の実験データに基づき、保存性の重力密度流の内部Froude数($=U_f/\sqrt{gH}$)が $H/h \leq 0.075$ で $F_{fr}=1.19$ 、 $H/h=0.075 \sim 1.0$ で $F_{fr}=0.5(H/h)^{-1/2}$ となることを示している。そこで、 F_f を F_{fr} で正規化した F_f^* と x_f^* との関係を調べたものが図7である。これより、濁水重力密度流の F_f は保存性の重力密度流の F_{fr} よりも小さくなっていることがわかる。これは、濁水重力密度流では底面への粒子の沈降のために流下方向に浮力が減少するために先端移動速度が減少するためであると考えられる。

参考文献：(1) Huppert, H.E. & Simpson, J.E., J. of Fluid Mechanics, vol.99, pp.785-799, 1980.

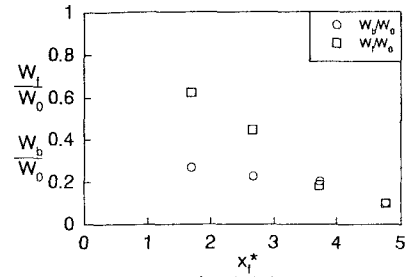


図3 $W_f(x_f)/W_0$ および $W_b(x_f)/W_0$ と x_f^* との関係

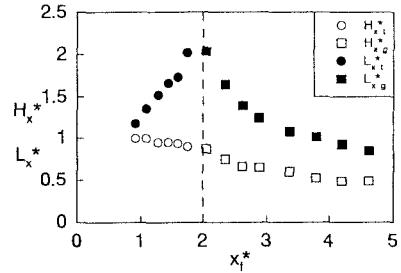


図4 H_x^* および L_x^* と x_f^* との関係

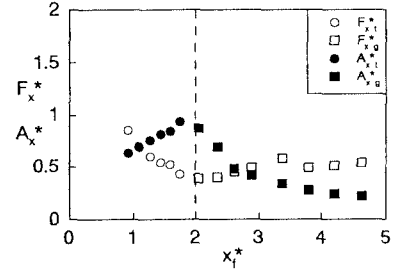


図5 F_x^* および A_x^* と x_f^* との関係

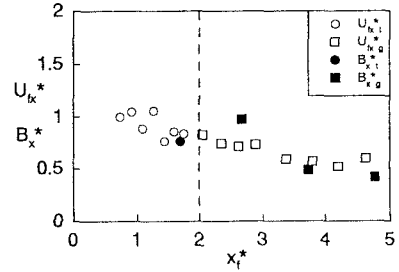


図6 U_{fx}^* および B_x^* と x_f^* との関係

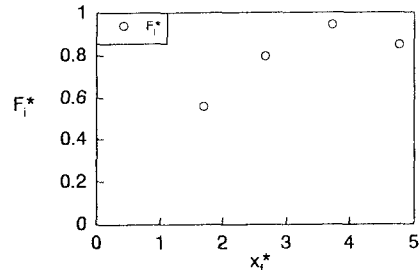


図7 F_f^* と x_f^* との関係