

静止流体中に瞬間的に投下された重い流体塊の 底面衝突後の挙動について

九州工業大学工学部 学生員 ○中西 弥生、富岡 直人、出口 純二
同上 正 員 秋山 壽一郎、浦 勝

1. はじめに

海上空港などの建設を目的とした直投工では、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することがある。その際の具体的な対策法としては、水表面近くの濁質拡散防止と微細粒子の沈降促進のための「懸垂型汚濁防止膜」と底面近くの濁質拡散防止のための「自立型汚濁防止膜」が広く用いられている。ところが、汚濁防止膜の有効性が必ずしも認められない多くの事例が報告されている。特に、底面に衝突した濁水塊は底面に沿って流動し、場合によっては自立型防止膜を乗り越え、短時間の間に広範囲な汚濁を引き起こす要因となることがわかっている。

本研究は、このような事実を踏まえ、直投工に起因して底面に沿って流動する濁水塊の流動特性に関する基礎的な知見を得ることを目的としたものである。

2. 実験

実験装置は、長さ7.5m、深さ1.0m、幅0.2mの両面アクリル製の水槽に流入箱を取り付けたものである。密度 ρ_a で水深 h の静水中に単位幅体積 A_0 の投下装置からウラン着色した初期密度 ρ_0 の塩水を水表面より瞬間的に流入させ、塩水塊を発生させた。このようにして形成された塩水塊の流動状況をVTRカメラで水槽側面より撮影を行ない、収録された画像を解析することにより、移動速度 U および V や塩水塊の形状を求めた。流れの再現性は比較的良好であったので、5回の繰り返し実験を同一条件下で行なった。実験条件は表1に示す通りで、初期総有効重力 $W_0(=A_0\varepsilon_0g)$ が4通りになるように初期相対密度差 $\varepsilon_0(=(\rho_0-\rho_a)/\rho_a)$ と初期単位幅体積 A_0 を変化させた。ただし、 W_0 は全投下量の半分として表中に表示してある。なお、CASE番号末尾の t と d 、衝突から水平運動への遷移領域と発達領域とをそれぞれ表わす。

3. 実験結果

図1にCASE3の塩水塊の流動状況の一例を示す。これより、塩水塊はほぼ左右対称の循環流より構成されており、激しく周囲流体を塩水塊内部に取り込みながら落下・発達していくが、底面衝突後は、塩水塊が分離し左右の循環流がそれぞれ半楕円形状を保ちながら水平方向に移動していく様子がわかる。この

表1 実験条件

CASE	初期相対密度差 ε_0	初期単位幅体積 A_0 (cm ²)	初期総有効重力 W_0 (cm ² /s ²)	水深 h (cm)
1'	0.150	2.0	147.0	90.0
2	0.175	4.0	343.0	90.0
3	0.200	6.0	588.0	90.0
4	0.225	8.0	882.0	90.0

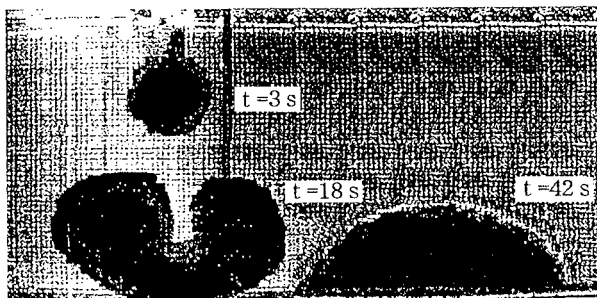


図1 流況の写真(CASE3)

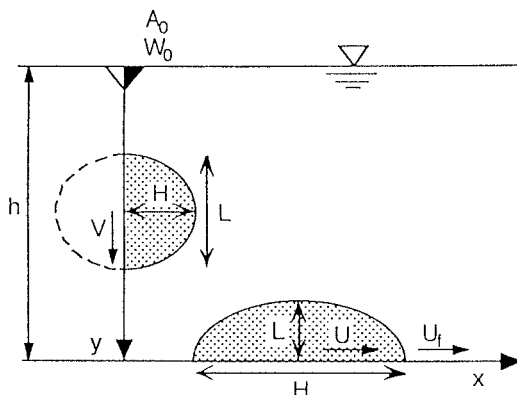


図2 流れの定義図

ように、水平方向の流動現象は左右対称であるので、以下では、右半分について考える。そこで、塩水塊の挙動を図2のようにモデル化して考える。ただし、得られた各特性量は無次元水平移動距離 $x/h=0\sim1.0$ の間における関係である。ここに、 L =塩水塊の最大高さ、 W_0 =投下量の半分の有効重量、 H =最大長さ、 B =平均浮力($=\epsilon g$)、 U_f =塩水塊最先端部の水平移動速度、 V =衝突直前の塩水塊の落下速度、 A_x =衝突直後の塩水塊の単位幅体積、および A_y =衝突直前の塩水塊の単位体積である。また、平均浮力 B の算定に当たっては、落下中と衝突後の塩水塊の投下総有効重力 $2W_0$ は左右に等分されると仮定している。

(1) dL/dt および dH/dt と W_0 との関係: 図3と4より、CASE2では遷移領域のデータにやや問題が認められ、最大高さ L は W_0 には依存せず、遷移領域の L は流動に伴いほぼ一定の割合($dL/dt \approx -0.074$)で減少するが、発達領域では $L \approx$ 一定であることがわかる。一方、遷移領域の最大長さ H は W_0 が大きくなると増加する傾向が見られ、発達領域では W_0 には依存せず $H \approx$ 一定であることがわかる。

(2) dU_f/dt と W_0 との関係: 図5より、やはりCASE2の遷移領域のデータにやや問題が残るものの、いずれの領域においても dU_f/dt は W_0 には依存せず、遷移領域では $dU_f/dt \approx -0.035$ であり、発達領域では $U_f \approx$ 一定であることがわかる。

(3) dB/dx と W_0 との関係: 図6より、遷移領域では、 dB/dx は W_0 が増加するとともに減少するが、発達領域では、 $dB/dx \approx$ 一定となることがわかる。

(4) F_i と W_0 との関係: 塩水塊の内部フルード数 $F_i (=U_f/(\epsilon g H)^{1/2})$ と相対水平移動距離 x/h との関係を調べた結果、 F_i は x/h に傾向的に依存しないことがわかった。図7より、領域と W_0 の大小を問わず、 $F_i \approx 1.0$ となることがわかる。

(5) U/V と W_0 との関係: 衝突前後の塩水塊の運動エネルギーの比は、衝突前後で塩水塊の質量は変化しないので、結果的に重心移動速度の比の2乗となる。図8より、 U/V は W_0 に依存せず、 $U/V \approx 0.8$ 、従って、運動エネルギーの比は、 $(U/V)^2 \approx 0.64$ となることがわかる。

(6) A_x/A_y と W_0 との関係: 図8より、 A_x/A_y は W_0 に依存せず、 $A_x/A_y \approx 1.3$ となることがわかる。

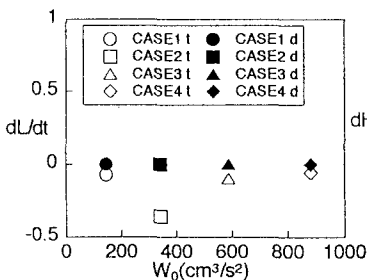


図3 dL/dt と W_0 との関係

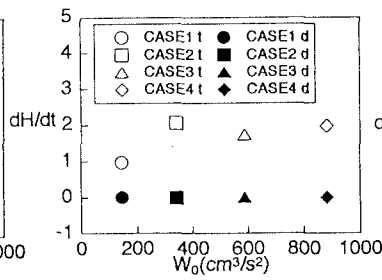


図4 dH/dt と W_0 との関係

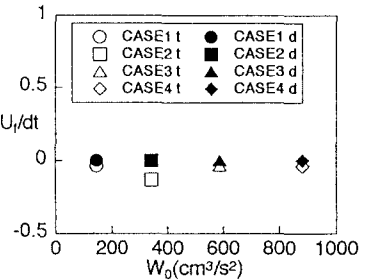


図5 dU_f/dt と W_0 との関係

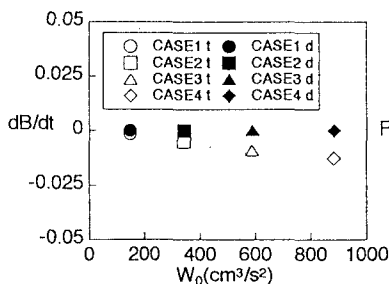


図6 dB/dt と W_0 との関係

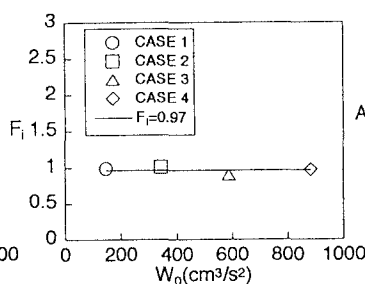


図7 F_i と W_0 との関係

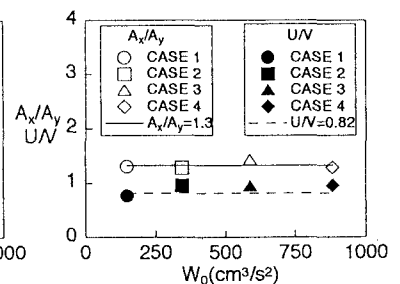


図8 U/V 、 A_x/A_y と W_0 との関係