

固体粒子群の水中落下運動により 誘起される流体運動について

大阪大学工学部 正 員 室田 明
大阪大学工学部 正 員 中辻啓二
大阪大学工学部 正 員 玉井昌宏
大阪大学大学院 学生員○松井俊二

1. まえがき 底開バージによる土砂直投工においては、大量の土砂を一度に投下するために、土砂の拡散が広範囲に及ぶことや濁りが発生することなど解決すべき問題が山積している。投下された土砂は周囲流体を連行しながら落下し、固・液混相の流体塊を形成する。海底面へ衝突するまでの混相流体塊の自由落下過程が、土砂や濁りの拡散に対して支配的な役割を果たしていることが予想される。^{1), 2)} 筆者らは固体粒子群の落下挙動形態およびその土砂や濁りの拡散との関連性について水理実験により検討している。その結果投下条件によっては、落下土砂の運動により誘起される大規模な流動場が固体粒子の拡散に強く関与していることが明らかにされた。ここでは、土砂が落下する際に誘起する流体運動の様相について報告する。

2. 実験の概要 実験は高さ130cm、幅90cm、奥行き90cmの前面ガラス張りの水槽の前面部15cmを仕切って行った。水槽内に設置した高さ10cm、幅5cm、奥行き15cmの底開バージを模倣した箱の底部を開口することにより供試土砂を投下した。粒子間の粒径や形状のばらつきを極力抑制するために、供試土砂として平均粒径 $d_{50}=1.3\sim 5.0\text{mm}$ の3種類のガラスビーズを用いた。各々の粒径に対して投下量 Q を75cm³、150cm³、300cm³の3段階に変化させ、9種類の投下条件の実験を行った。全ての実験は可視化実験であり、粒子と流体運動の挙動はビデオシステムを用いて解析した。

3. 実験結果とその考察 ガラスビーズ粒子群の落下挙動と誘起される流体運動を露出時間1/15秒で撮影した。写真-1の投下条件は $d_{50}=5.0\text{mm}$ 、 $Q=150\text{cm}^3$ である。筆者らの実験によれば、同一の条件では粒子群は単一粒子の自由沈降運動に依存する自由沈降的落下挙動を呈する。また、写真-2の投下条件は $d_{50}=1.3\text{mm}$ 、 $Q=150\text{cm}^3$ である。この条件では粒子群の挙動は、局所的な密度の増大に支配される乱流サーマル的落下挙動を示す。両写真に観られる大きな凹型の塊は固体粒子群である。その周囲にみられる小さな粒子は、流体の運動の様相を可視化するために混入させた比重1.0の不溶性の油滴である。写真-1において、粒子群の後方に中心軸に関して左右対称で、粒子群と同程度の規模を有する循環が形成されていることがわかる。

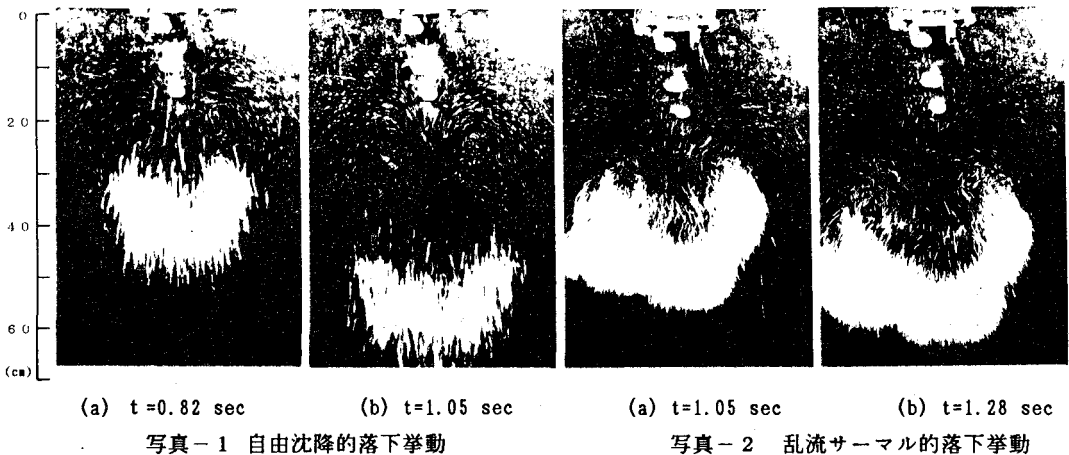


写真-2 乱流サーマル的落下挙動

Akira MURATA, Keiji NAKATUJI, Masahiro TAMAI and Shunji MATSUI

この流動は乱流サーマルの内部構造に類似していると考えられる。また、ガラスビーズはこの流動にほとんど影響を受けずに落下している。また、 $t = 1.05 \text{ sec}$ の粒子群と循環との間の領域に注目すれば、流動は非常に微弱であり、大規模な流体運動は連続的に形成されるものではないと予想される。循環は鉛直下向きに移動してゆくが、その速度は非常に遅く、粒子群との相対的な距離は増大する。一方、写真-2においても写真-1と同様な循環が形成されている。しかし、粒子群と循環とは概ね一体となって落下している。粒子群の後端部において、周囲水が巻き込まれるように連行されていることがわかる。落下が進むと、粒子群と流体運動との相対的な距離は増加するが、写真-1のケースほど大きくはない。また、固体粒子群の後端部は循環運動の中心部分にまで及び、粒子群の形状の増大に対して循環運動が関与していると考えられる。

つぎに、図-1に粒子群と循環の移動速度の流下方向変化を示す。(a)は粒子群の落下挙動が自由沈降的挙動に分類される実験ケースを、(b)には乱流サーマル的挙動に分類されるケースを図示した。横軸は両図とも流下距離 x であり、単位奥行き当りの投下量 $q \text{ (cm}^2\text{)}$ の平方根により無次元化した。縦軸は落下速度 U であり、(a)については単一粒子の自由沈降速度 U_d で無次元化した。また、(b)では固体粒子の総浮力から計算される速度スケール $(\epsilon g q^{1/2})^{1/2}$ により無次元化した。図中の白抜き記号は粒子群を表し、黒塗記号は誘起された循環を表す。実線は U_d を示している。粒子群が自由沈降的に落下する場合には、粒子群は循環からすぐに抜け落ちる。循環は粒子群の重力によって生起すると考えられるが、循環は急速に駆動力を失うために落下速度は急減する。その後、移動速度は極めて緩やかに減速する。固体粒子が乱流サーマル的に落下する場合には、粒子群の落下速度は単一粒子の自由沈降速度より大きくなっている。これは誘起された流動によって粒子が輸送されていることを示している。乱流サーマルに関する既往の実験結果を参照すれば、固体粒子が完全に密度の増大として貢献していると仮定すると、 $U / (\epsilon g q^{1/2})^{1/2} = 0.6$ が流体塊の最大移動速度であると考えられる。移動速度がこの最大値を示した後に減速し始めると、固体粒子は逆に抵抗を受けるようになり、流体運動に追従して減速することになると考えられる。

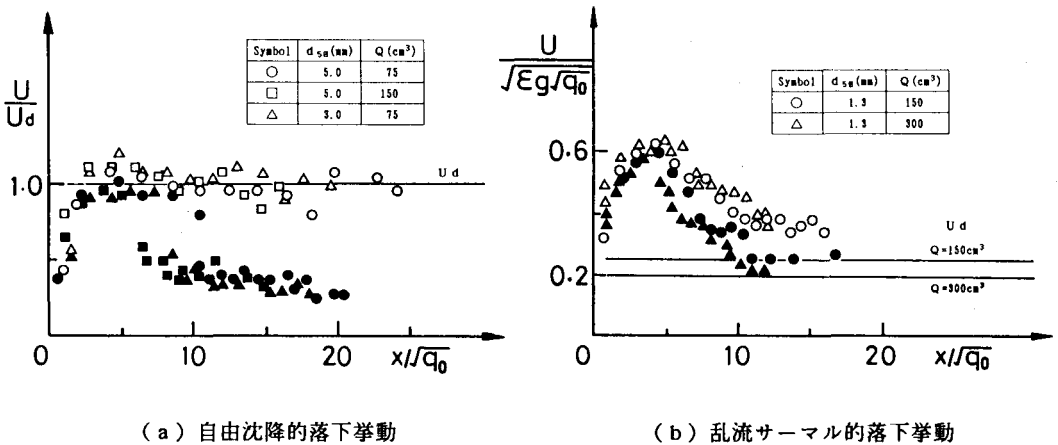


図-1 粒子群と循環の移動速度の流下方向変化

4. あとがき 固体粒子群を水中落下させることにより、大規模な循環が形成される。粒子群の落下速度と循環の移動速度との速度差は、投下粒子の粒径、投下量により変化する。とくに、粒径が小さく、且つ投下量の大きい投下条件においては、両者の速度差は小さくなり、粒子群の拡散に循環運動が強く関与する。

(参考文献) 1) 室田・中辻・玉井・町田：海域での土砂投下における密度流現象、第35回海岸工学講演会論文集、1988。 2) 室田・中辻・玉井・町田：沿岸海域での土砂投棄工事における濁りの発生過程、関西支部年次学術講演概要、1988。