

II-248

海域での土砂投下を観られる Buoyant Cloud の形成過程

大阪大学工学部 正 員 玉井昌宏
 繆 奥 村 組 正 員 町田博紀
 大阪大学工学部 正 員 中辻啓二
 大阪大学工学部 正 員 室田 明

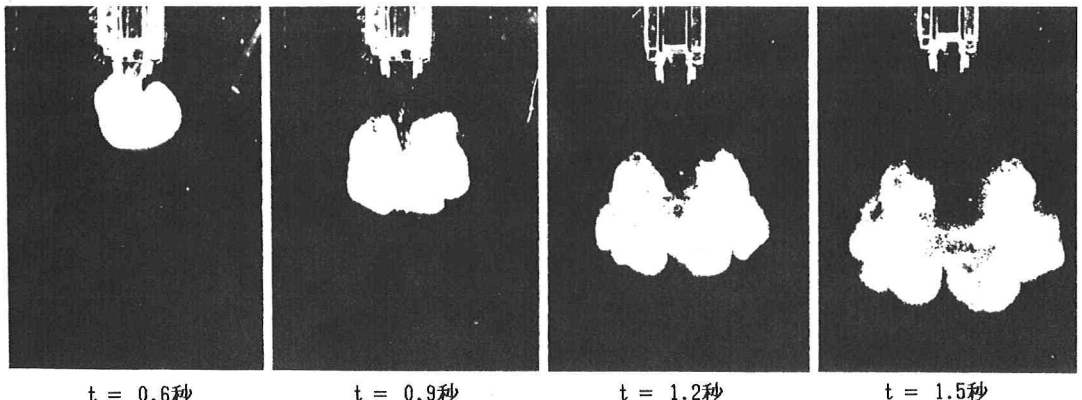
1. はじめに 底開バージから直投された土砂あるいは捨石の堆積形状の予測に対して、単一粒子の自由沈降特性や拡散方程式を基礎とした解析が行われている。¹⁾²⁾ それらは土砂と流体間の相互干渉、密度効果等の未解決の問題を数多く含んでおり、それらの解析方法を適用することの妥当性については十分検討されていない。土砂は水中を落下するとともに流体運動を誘起し、土砂と水の固液混相流体塊を形成する。とくに、土砂の粒径が小さい場合には、誘起される流動は個々の粒子の沈降運動との関連が乏しくなり、密度差を有した流体塊としての挙動が現れてくる。本研究では、土砂の混入によってもたらされる流体塊の局所的な密度の増大に注目して、土砂粒子群の落下運動を密度流的知見に基づいて検討する。

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のアクリル製箱の底部を瞬時に開口することにより供試土砂を投下した。供試土砂としては粒子間の粒径や形状のバラツキを極力抑制するために、表-1に示す4種類のガラスビーズを用いた。ここに d_{50} は中央粒径、 ρ_d は粒子密度、 U_d は自由沈降速度、 $Re_d (= U_d \cdot d_{50} / \nu)$ は粒子レイノルズ数である。各々の粒径に対して投下量 Q を 75cm^3 、 150cm^3 、 300cm^3 の3段階に変化させ、12の投下条件を設けた。また、実験が非定常な流動を対象としていることに鑑み、各投下条件に対して2回以上の繰り返し実験を行うことにより、実験の再現性を確認した。ビーズの落下挙動はビデオシステムにより解析した。

表-1 供試材料

$d_{50}(\text{mm})$	$\rho_d(\text{g/cm}^3)$	$U_d(\text{cm/s})$	Re_d
5.0	2.42	46.3	2315
3.0	2.42	34.7	1041
1.3	2.42	17.9	179
0.8	2.42	11.1	89

3. 実験結果とその考察 ガラスビーズ群の落下挙動を露出時間 1/125秒、時間間隔 0.3秒で撮影した。写真-1に投下条件 $d_{50} = 1.3\text{mm}$ ， $Q = 300\text{cm}^3$ における落下挙動を示す。この挙動パターンは粒径が小さく且つ投下量の大きな実験ケースにおいて共通して観察される。ビーズ群は放出直後に横方向に急激に成長し、それとともに中心軸に関して左右対称で逆方向の回転を有する循環が現れている。この流動によりビーズ群の後端より周囲水を連行加入し、凹型形状の固液混相流体塊を形成する。混相流体塊全体の規模の凹凸を有していることから、ビーズ群の落下挙動がこのスケールの流動に支配されており、ビーズ個々の自由沈降



t = 0.6秒

t = 0.9秒

t = 1.2秒

t = 1.5秒

写真-1 ガラスビーズ群の落下挙動

運動の影響が無視できる程度のものであることが推察される。また、混相流体塊は極めて複雑な形状を有しているにも拘らず、相似な形状を保ちながら落下していることがわかる。こうした挙動は浮力（あるいは過剰重力）を瞬間的に放出した場合に形成される乱流サーマルに類似している。つまり、固体粒子の混入が流体に対して密度の増大として貢献していることの現れであると解釈できる。

図-1, 2は混相流体塊の拡がり幅 W および高さ H の落下にともなう変化を示す。ここでは、可視観測結果から写真-1と同様な落下特性を示していると判断できる実験ケースをまとめて図示した。縦軸と横軸はそれぞれ幅 W および高さ H と混相塊の先端部の流下距離 x である。両軸ともに単位奥行き当りの投下量の平方根 $q^{1/2}(\text{cm})$ により無次元表示した。高さ H の増加勾配は、投下箱からの排出が終了する $x/q^{1/2} = 5$ 付近で、不連続に変化する。 $x/q^{1/2} > 5$ の領域では、拡がり幅、高さともに線形に増大する傾向を示す。これらの線形増大は乱流サーマルの形状特性の傾向に一致している。また、拡がり幅や高さは粒径が小さくなるほど、大きな値を示す。単一粒子の沈降にともなう水平方向への分散が粒径と落下距離との積の平方根に比例することを勘案すれば、ガラスビーズ群の挙動が単一粒子のそれとは全く異なっていることがわかる。

つぎに、図-3は $d_{50} = 0.8\text{mm}$ のガラスビーズを投下した場合の混相流体塊の落下速度 v の流下方向変化を投下量 q をパラメーターとして示す。粒子の混入が浮力として貢献すると予想されることから、投下量 q と粒子群の混入により生じる総浮力 $\epsilon g q$ より得られる速度スケール $\sqrt{\epsilon g q^{1/2}}$ により落下速度を無次元表示した。ここに、 ϵ はガラスビーズの相対密度差、 g は重力加速度である。図中の破線は乱流サーマル理論³⁾を今回の実験に適用して得た理論曲線を示す。また、実線は各投下量に対する単一粒子の自由沈降速度 W_d を示す。落下速度はいずれの投下量においても投下直後に急激に増大し、その後緩やかに逓減する。計測された全領域にわたって落下速度は自由沈降速度を大きく上回っており、そのピーク値が自由沈降速度の3倍以上にも達しているのは特筆に値する。また、全体として落下速度は乱流サーマル理論結果と良好に一致しているのがわかる。粒径の小さな今回の実験では投下量による分布の差異は明瞭には認められない。

（参考文献）

- 1) 矢内・大槻：第30回海岸工学講演会論文集，pp.613-616，1983。
- 2) 小田・角谷・樋口・岩田：第34回海岸工学講演会論文集，pp.281-285，1987。
- 3) Baines・Hopfinger：Atmospheric Environment，Vol.18，No.6，pp.1051-1057，1984。

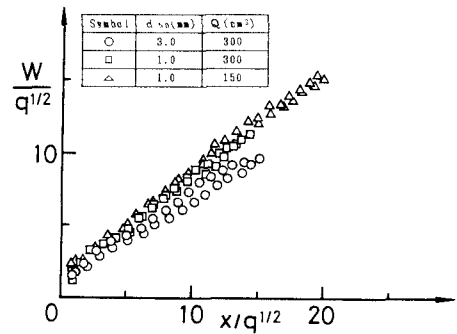


図-1 混相流体塊の拡がり幅の流下方向変化

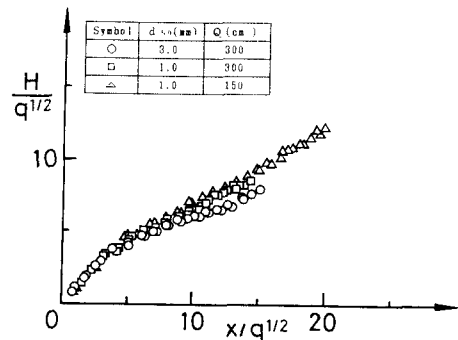


図-2 混相流体塊の高さの流下方向変化

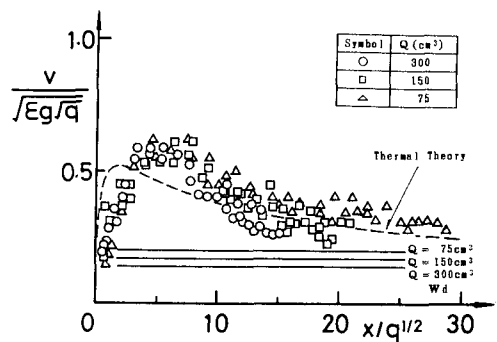


図-3 混相流体塊の落下速度の流下方向変化