

II-237

土砂直投工における濁りの発生過程

大阪大学工学部 正員 玉井昌宏

大阪大学工学部 正員 室田 明

講師 奥 村 組 正員 町田博紀

1. まえがき 土砂直投工において生じる濁りの問題は水域環境保全の立場から工事関係者の高い関心を集めている。発生した濁りは、土砂粒子の水中落下運動により誘起される流動場と潮流等の周囲環境中の流動とによって移流・拡散される。本研究では前者による濁りの拡散を対象としている。土砂投下により生じる流れ場は土砂・水の混相流体塊の海底面への衝突現象として捉えられるが、その流動は非定常であるばかりでなく、土砂の堆積・巻き上げなどの複雑な水理現象が絡み合っている。したがって、濁りの調査の大半は現地観測であり、調査結果の一般性は乏しい。また、数値モデルにより濁りや土砂の拡散を予測した例も見られるが¹⁾²⁾、誘起流動場による拡散現象を取り扱うことはなかなか難しいと考えられる。本研究では土砂直投工をモデル化した水理実験を実施して、濁りの主要な発生要因であると予想される濁水塊の挙動特性について検討する。

2. 実験の概要 投下された土砂の大半

は投下点直下近傍に堆積し、比較的沈降

速度の遅い微小な粒子が濁質となって拡

散すると考えられる。本実験では表-1

に示した2種類の土砂の混合砂を投下す

ることにより実現現象の再現を試みた。こ

こに、 $Re_d (= U_d \cdot d_{50} / \nu)$ は粒子レイノルズ数である。実験は幅600cm、高さ50cm、奥行き15cmの二次元水槽を用いて行った。静水中で底開バージを模倣した投下箱の底扉を開くことにより、土砂を瞬間的に投下させた。実験条件は、粗粒径砂の単位奥行き当りの投下量を2種類($q_L = 10, 20 \text{ cm}^2$)、投下高さを3種類($H = 10, 20, 30 \text{ cm}$)を設定した。また、細粒砂の混入量 q_s と粗粒砂の投下量の比率(q_s/q_L)は1.7~33.3%の範囲で系統的に変化させた。

3. 実験結果と考察 写真-1に $q_L = 20 \text{ cm}^2$ 、 $H =$

20cmの投下条件での濁りの発生および拡散の様相を

示したものである。(a)、(b)はそれぞれ $q_s/q_L =$

3.3%と16.7%の場合である。細粒砂は投下土

砂が落下する際に誘起した流体運動とともに濁水塊

を形成し、海底面上を移動する。両ケースともに、

濁水塊内部には循環が認められ、後端部から周囲水

を活発に連行している。濁質混入量の小さい(a)

においては、濁水塊の高さは流下とともに一様に増

大し、水表面にまで到達している。水表面にまで達

すると濁水塊の移動速度は急速に遅減し、濁質は沈

降し始める。一方、濁質混入量の大きな(b)にお

いては、高さは初期において増大したのちに、概ね

一定となる。

表-1 供試土砂

	$d_{50}(\text{mm})$	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$U_d(\text{cm/s})$	Re_d
粗粒径砂	3.38	2.65	26.5	895
細粒径砂	0.15	2.65	2.02	3.03

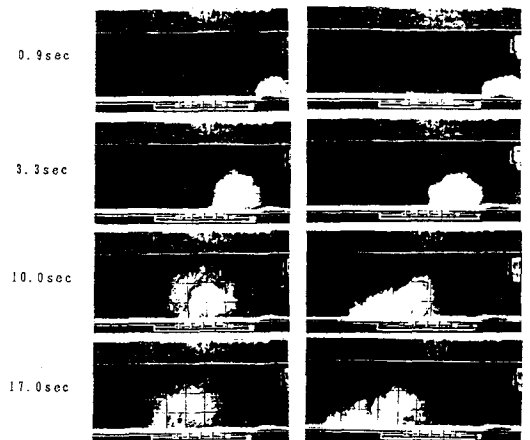
(a) $q_s/q_L = 3.3\%$ (b) $q_s/q_L = 16.7\%$

写真-1 濁水塊の挙動

図-1は濁水塊高さの移動にともなう変化を示す。縦軸・横軸はそれぞれ高さ Δ と投下点直下からの距離 x であり、両軸ともに底面衝突直前の土砂・水の混相流体塊の面積の平方根 $A_0^{1/2}$ により無次元化した。図中の実線は水表面の位置を示している。濁水塊の挙動は底面衝突直後の放出速度と濁質混入による密度差により支配されると予想される。そこで、ここでは両者の影響度の比率を示すパラメーターである密度フルード数 $F_{d0} (= U_0 / (\varepsilon_0 g A_0^{1/2})^{1/2})$ を用いて実験条件を整理する。衝突直後の濁水塊の条件を決定することが困難であることから、 U_0 、 A_0 に対して衝突直前の落下速度と面積とを用いた。濁水塊高さは投下点近傍では線形に増大している。その増加率は $d\Delta/dx = 0.5$ 程度であり、 F_{d0} には無関係である。 $F_{d0} = 8.1$ と11.3のケースでは濁水塊は水表面にまで到達している。 F_{d0} が小さい実験条件においては、この増大傾向から逸脱し一定の高さとなる。図-2は濁水塊の最大高さ Δ_m と F_{d0} の関係を示している。縦軸は濁水塊の最大到達高さ Δ_m であり、横軸は F_{d0} である。 Δ_m と F_{d0} は強い正の相関関係を示している。密度フルード数が小さいほど密度差により鉛直方向の流体運動が抑制されることが予想される。

図-3に濁水塊先端の移動速度の変化を示す。縦軸・横軸は移動速度 u と投下点直下からの距離 x であり、両軸は U_0 および A_0 により無次元化した。 F_{d0} が大きいかほど急速に移動速度が小さくなっている。これは濁水塊の高さが大きくなるほど、より大きな抵抗を受けるためであると考えられる。図中の実線は濁水塊の形状成長についての実験結果と運動量保存則とにより得られる半理論式である。今回の実験結果によれば濁水塊の水平方向長さは F_{d0} に無関係にほぼ線形に増大する。高さについては、(1)全領域にわたって線形に増大する場合と(2)初期から一定高さの場合との2つの極端なケースを想定した。濁水塊の形状が楕円形であり、その変化を $\Delta(x) = \alpha x + \beta$ 、 $\lambda(x) = \gamma x + \delta$ と仮定する。さらに、底面の摩擦は小さいとして無視すると、濁水塊の移動速度は $u = C \{ (\alpha x + \beta) (\gamma x + \delta) \}^{-1}$ のようになる。ここに、 C は定数である。実験結果に基づいて $\gamma = 0.9$ 、 $\delta = 0$ とした。さらに、(1)に対しては $\alpha = 0.45$ 、 $\beta = 0$ 、(2)に対しては $\alpha = 0$ 、 $\beta = \text{const.}$ と仮定した。得られた2つの半理論式が実験結果の上限と下限を与えていることがわかる。

以上の結果より、濁水塊の挙動が密度フルード数をパラメータとして変化し、その移動が運動量の保存則を用いて概ね表現できることを確認した。

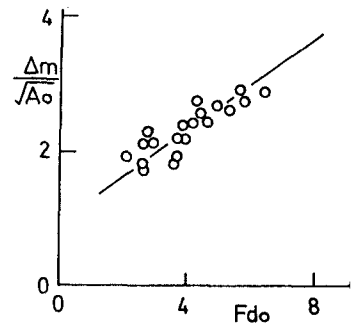


図-2 最大高さ Δ_m と F_{d0} の関係

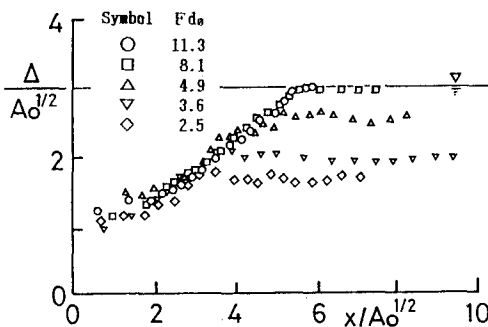


図-1 濁水塊高さの変化

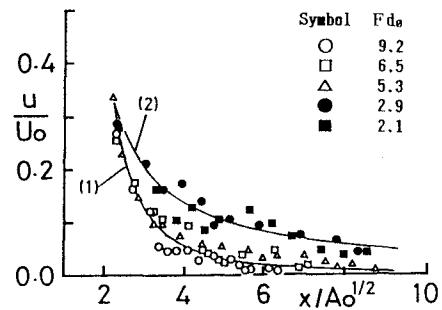


図-3 濁水塊の移動速度の変化

(参考文献) 1)堀口・古土井・堀江：海岸工学講演会論文集，1985。

2)堀江：運輸省港湾技術研究報告、No.471，1983。