

高濃度浮泥層界面の連行現象に関する実験的研究

九州大学工学部 学生員○ 崎田省吾 正員 山西博幸
 学生員 酒井啓範 正員 楠田哲也

1. はじめに

粘土、シルト等の微細粒子よりなる軟弱な底泥を有する沿岸域では、波作用によって底面近傍に高濃度浮泥層が、その上に比較的低濃度の上層水層が形成される。濃度分布の安定した状態にあるこのような系にさらに大きな外力がかかると底泥から高濃度層へ、そして高濃度層から上層水層への懸濁物質の巻き上がりが生じ、新たな定常濃度分布に達する。

本研究では沈降性粒子を多量に含んだいわゆる高濃度浮泥層から、上層水層への質量輸送（連行現象）に着目し、従来型の密度流の連行現象との比較、検討を行なうことを目的とする。

2. 実験装置及び方法

本研究では図-1に示すようなU字型振動流水槽を使用した。また、試料には佐賀県六角川河口域で大潮干潮時に底泥面上を流動していた浮泥（土粒子密度 $\rho_s=2460\text{kg/m}^3$ 、中央粒径 $d_{50}=2.4\mu\text{m}$ ）を用いた。これを海水と混合させ所定の濃度に設定した後、振動流水槽内へ注入し、完全混合状態から濃度分布がほぼ定常状態になるまで振動させた。その後、周期一定のまま振幅を大きくして実験を続け、所定の時間毎に水路側面から鉛直方向9点で採水を行った。また、電磁流速計を用い、適宜、鉛直方向流速分布を測定した。なお、実験条件を表-1に示す。

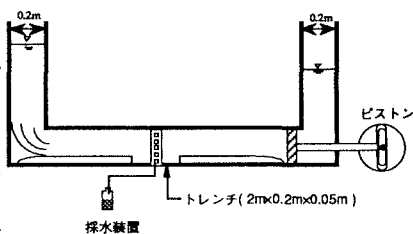


図-1. 実験概略図

3. 実験結果及び考察

(1) 鉛直方向濃度分布

図-2はRun1（周期 6 sec、振幅 0.05 m の条件下で濃度分布がほぼ定常状態に達した後、周期は一定のまま振幅のみを 0.08 m に変えたもの）の鉛直方向濃度分布の経時変化を示している。図より、時間の経過とともに浮泥層界面から上層水中へ懸濁物質が連行されていく様子が分かる。実験開始数分後には上層水層と高濃度浮泥層との間に濃度遷移層が現れ、この遷移層を介して2つの明瞭な界面（以後、上側界面、下側界面と呼ぶ。）が生じた。ただし、Run3の場合、実験開始後20分ほどで上側界面は消滅し、底面近傍を除いて高さ方向にはほぼ一様な濃度分布となった。

また、濃度分布と同時に測定した鉛直方向の流速分布（図-3）より、底面直上の不動層を除いた残り3層のうち上側2層（上層水層と遷移層）の懸濁物質は水平方向に周期運動するだけであったが、浮泥層内では微細粒子を多量に含んだ混相流体としての高粘性のため急峻な速度勾配が生じていた。また、浮泥層内での周期的な粒子運動を観察した結果、従来の研究（山西・楠田、(1994)）同様、上層水のそれに比べて位相が先に進んでいた。

(2) 見かけ連行量の算出

各時間毎の界面の位置を基準としてそれより上方に存在する懸濁物質量を濃度分布より算出し、Flux換算したものを見かけ連行量とした。この経時変化を図-4に示す。図より、浮泥層内の懸濁物質は実験開始10分程度で急激に上層水中へ連行され、その後、見かけ連行量は一定となるとともに濃度分布もほぼ一定となった。また、同一周期では振幅が大きい（つまり外力が大きい）ほど見かけ連行量も大きくなっ

表-1. 実験条件

Run No.	初期濃度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	周期 (sec)	振幅 (m)
1	9.1	6.0	0.05→0.08
2	10.8		0.05→0.14
3	10.4		0.05→0.18

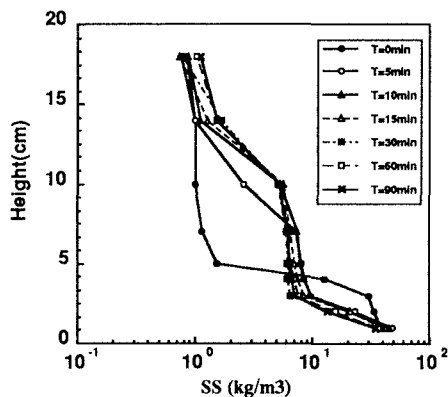


図-2. 鉛直方向濃度分布 (Run 1)

た。

(3) 連行係数とリチャードソン数の関係

浮泥層界面から連行される物質量の評価として連行係数を次のように定めた。連行速度、すなわち浮泥層界面を介して上層水中へ連行される単位時間当たりのFlux量(図-4のグラフにおける傾き)を上層水平平均見かけ密度と上層水最大流速で割ったものを見かけの連行係数とした。この見かけ連行係数とリチャードソン数 Ri との関係を図-5に示す。この図で、E1は上述の連行係数を、E2はE1に粒子群の沈降分を加算したものである。(ただし、沈降速度として静水中の沈降速度式(楠田・山西、(1992))を用いた。)なお、ここで用いたリチャードソン数は層平均リチャードソン数で、次式となる。

$$Ri = \frac{\Delta\rho}{\rho} \frac{g h_s}{U^2}$$

ここで、 ρ : 上層水平平均密度、 $\Delta\rho$: 上層水と高濃度層の密度差、 U : 上層水最大流速、 h_s : 上層水層高さ、 g : 重力加速度、である。

本研究でのリチャードソン数に対する連行係数の値は、従来からの密度流の研究(たとえば玉井、1987)で主として対象とされている塩水や温度等における場合(図-5の直線E)よりもオーダーで2から3桁程度小さな値となっている。この理由としては、懸濁物質を高濃度に含む浮泥の場合、浮泥層界面から上層水中への物質輸送は生じるものの粒子群の下方への沈降により見かけ上連行が抑制され、沈降性懸濁粒子群により形成された密度界面では、常に復元力が作用しているからと考えられる。また、懸濁物質がフロックを形成しているので連行にはさらにエネルギーが必要とされることも考えられる。この意味ではリチャードソン数についても、慣性力と浮力とのエネルギー比という本来の定義では小さく見積もってしまうことになり厳密な値であるとは言い難く、さらにフロック等の影響を考慮していく必要がある。

また、懸濁粒子が沈降した分を加算したもの(図-5のE2)は、静水中の沈降速度式を用いて算出したにもかかわらず、従来からの経験則に近い値を示した。さらに、実験条件が異なった場合についても調べていく必要があろう。

4. おわりに

今回の研究では高濃度浮泥層から上層水層への連行について実験を行ない、見かけの連行量を算出すること

でその評価を行なった。今後は実験とともに、理論的な面からも検討を進めていく予定である。

<参考文献> 楠田哲也・山西博幸(1992):「振動流下における高濃度層の形成・保持機構に関する研究」、海岸工学論文集第39巻、pp.286-290。玉井信行(1987):「連行概念の統一化と連行係数の評価法」、土木学会論文集第381号Ⅲ-7、pp.1-11。山西博幸・楠田哲也(1994):「振動流下における高濃度浮泥層の流動特性とその保持機構に関する研究」、海岸工学論文集第41巻、pp.426-430。

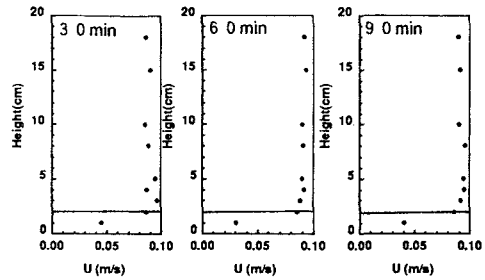


図-3. 鉛直方向流速分布(Run1の場合)
(ただし、— は下側界面高を表す)

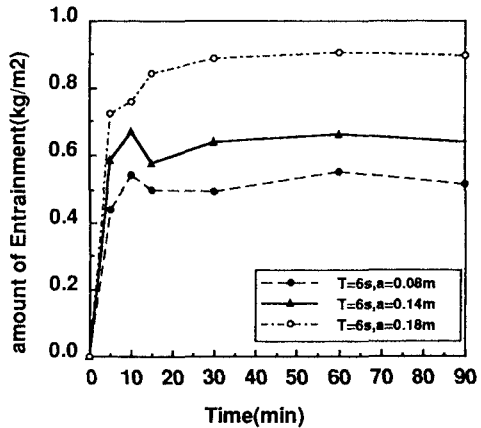


図-4. 連行量の経時変化

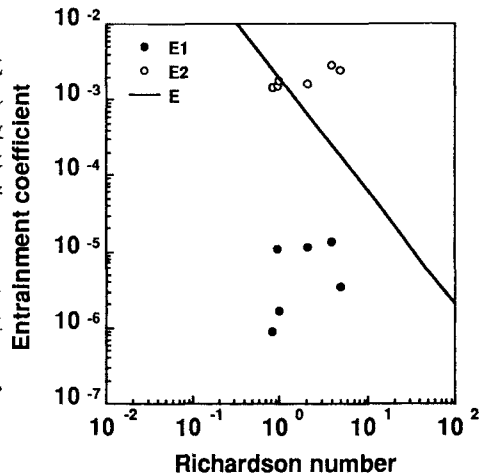


図-5. リチャードソン数と連行係数の関係