

II-576 振動流下における微細粒子群の沈降特性と高濃度層の形成に関する実験的検討

九州大学工学部 正 員○山西博幸 正 員 楠田哲也

1. はじめに

本研究では、振動流下において形成される高濃度層がある層厚を保持しつつ、高濃度の状態で流動するメカニズムの解明に対する一つのアプローチとして、振動流下における懸濁物質の沈降実験結果を基にその検討を行うことを目的とする。

2. 実験装置及び方法

本研究で用いた実験装置は、著者らが既報¹⁾で使用したものと同様のU字型振動流水槽である。試料には有明海に注ぐ佐賀県六角川水系の現地泥（中央粒径 $6\mu\text{m}$ ）を用い、これを海水との混合により所定の濃度に設定した後、振動流水槽の水路片端よりすばやく試料を注入し、完全混合状態から実験を開始した。実験開始後は、所定時間毎に水路側面から鉛直方向10～12点で採水を行った。なお、実験条件を表-1に示す。

3. 実験結果及び考察

(1) 高濃度層の形成過程と鉛直濃度分布の構造

図-1は鉛直方向濃度分布の経時変化の一例を示したものである。図から時間とともに底面付近に高濃度層が形成されていく様子がわかる。また、水槽側面からの目視観測による界面の発現時間とはほぼ同時刻において、底面付近に界面が形成され始める。このとき、上層水と高濃度層との間にはLutocline²⁾と呼ばれる急激な濃度勾配が生じる。このLutoclineは実験開始初期には濃度勾配が緩やかであるために不明瞭な状態ではあるが、徐々にその形成を強め、時間とともに明瞭な界面として観測されるようになる。高濃度層内は流動している浮泥層と流動しない堆積層にさらに分けられる。ただし、本実験の観測では堆積層の層厚は0.1～1mm程度のオーダーであった。

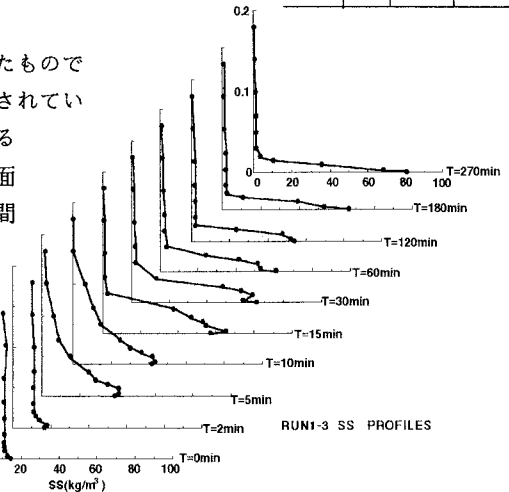


図-1 鉛直方向濃度分布の経時変化の一例

(2) 微細粒子の沈降特性と高濃度層形成に関する一考察

高濃度層が形成されるメカニズムを論じる際、まず考慮しなければならないことは物質の輸送であるが、本実験では水平方向よりも鉛直方向の物質輸送が支配的であると思われる。したがってここでは、鉛直方向一次元の質量保存式を考える（底面から鉛直上向きを正とする）。

$$\frac{\partial C}{\partial t} - \frac{\partial F_a}{\partial z} = 0 \quad \text{----- (1)}$$

$$F_a = w_s C - F_e \quad \text{----- (2)}$$

$$= w_{as} C \quad \text{----- (3)}$$

ただし、 F_a ；見かけ沈降フラックス、 w_s ；沈降速度、 C ；濃度（ $w_s C$ は実質沈降フラックス）、 F_e ；拡散フラックス（巻き上げフラックス）、 w_{as} ；見かけ沈降速度、である。

図-2は沈降筒を用いて行った静水中における沈降実験の結果をまとめたものであり、沈降速度 w_s と沈降フラックス $w_s C$ をそれぞれ濃度に対して示したものである。ただし、 w_s は(1)式を z で積分した式によって算出しており、横軸の濃度は初期濃度 C_0 ではない。従来の研究³⁾に従い、 w_s を C のみの関数として表すと次式となる。

$$\begin{aligned} w_s &= 2.1 \times 10^{-4} C^{1.33} (\text{mm/s}) & C \geq 1 (\text{kg/m}^3) \\ w_s &= 0.4 & 1 \leq C \leq 2 \\ w_s &= 0.4(1.5 \times 10^{-6} C)^5 & C \geq 2 \end{aligned} \quad \text{---(4)}$$

図及び式からも明らかなように、沈降速度は濃度の増加とともにある値までは増加するが、その後は減少する。また、プロットにばらつきがあるのは、沈降速度が濃度のみの関数ではなく、求めた時点での深さ、剪断応力、フロック径の関数となっているからである。同様に、振動流下における上層水中の見かけ沈降速度 w_{as} を求めたものが図-3である。

図-2と同様に沈降フラックスが $C = 10 \text{ kg/m}^3$ 付近で最大値を示すことがわかる。これに関して以下の考察ができる。

(3)式を(1)式に代入して、

$$\frac{\partial C}{\partial t} - \frac{d(w_{as}C)}{dC} \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad \text{---(5)}$$

(5)式は一階の波動方程式であり、左辺第二項の $d(w_{as}C)/dC$ は界面の伝ばん速度を表す。これは見かけ沈降フラックスの濃度変化、すなわち、図-2、3中における沈降フラックスの勾配を示している。この沈降フラックスの勾配が0となる点では界面の伝ばん速度も0となり、見かけ上、界面の移動がなくなる。本実験においても上側界面付近の濃度が 10 kg/m^3 であることがかなり観測された。しかしながら、層厚が定常となるにつれて界面付近では濃度の不連続が生じ、また、上層水の濃度は 10 kg/m^3 よりもかなり低くなる。したがって、上側界面の濃度が 10 kg/m^3 付近になるのは、高濃度層界面上での剪断応力による粒子の攪乱によって生じたものとも思われる。さらに、高濃度層界面上で作用するこの剪断応力は界面下層部へ運動量を伝達し、粒子を浮遊状態にさせる一要因となっている。図-4は界面沈降の高さを水深 H_0 で無次元化し、静水中と振動流中(どちらも初期濃度 C_0 は同じ)において比較したものである。静水中では時間経過とともに圧密沈降が生じているが、振動流中では粒子に上向きの力が作用し、粒子が浮遊した状態の浮泥層の存在が認められる。

4. おわりに

今回の実験によって、高濃度層の形成過程や鉛直濃度分布の構造を明確にすることができた。また、微細粒子の沈降速度を濃度の関数として表現し、沈降フラックス及び高濃度層上側界面での濃度について考察を加えた。さらに、界面に作用する剪断応力が高濃度層形成の重要因子であることが分かった。今回触れなかった有効応力等の効果については高濃度層の保持機構の解明を進めていく上で、今後の検討課題としたい。

<参考文献>

- 1) 楠田ら(1991):振動流下における高濃度層の形成過程とその特性, 第38回海岸工学講演会論文集, pp. 231~235.
- 2) M.A. Ross et al. (1989): On the Mechanics of Lutoclines and Fluid Mud, J. of Coastal Res., Special Issue No. 5, pp. 51~62.
- 3) T. J. Smith et al. (1989): Generation, Stabilization and Dissipation of Layered Fine Sediment Suspensions, J. of Coastal Res., Special Issue No. 5, pp. 63~73.

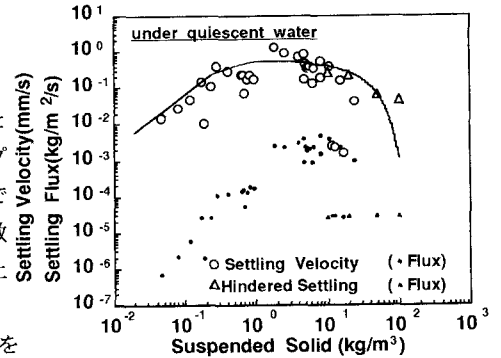


図-2 沈降速度と沈降フラックス(静水中)

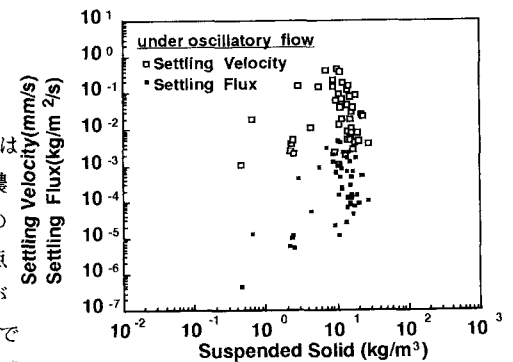


図-3 沈降速度と沈降フラックス(振動流中)

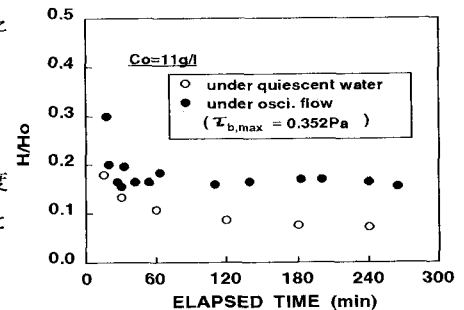


図-4 無次元界面沈降高さの経時変化