

剪断流場における微細粒子群の沈降速度に関する実験的検討

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

1.はじめに

微細粒子(粘土、シルト)からなる底泥が堆積した沿岸域や感潮域では、波・流れにより懸濁物質が容易に輸送され、航路や泊地に堆積するいわゆるシルテーションと呼ばれる現象が生じている。最近の研究(例えば、Ross and Mehta, 1989)によれば、底泥面上を高濃度で流動する浮泥がきわめて重要であることが明らかにされている。この浮泥層が形成されていく過程での粒子群の沈降速度を評価することは、浮泥層の形成や保持機構を解明する上で重要な問題である。本研究では、剪断流場における微細粒子群の沈降現象を振動流水槽を用いて実験的に観察し、その沈降速度式を構築することを目的としている。

2.実験装置および方法

本実験では、全長5m、幅及び高さ20cmの正方形断面を有するアクリル製U字型振動流水槽を用いた。この装置では、水路の片側に接続されたピストンをモーターによって駆動させることにより、往復振動流を発生させることができる。またピストンのストローク長及び周期を変化させることができる。さらに、この水槽の特性は、波動場における水面変形の影響を除外できること、波動下における底泥の質量輸送を無視できることである。

試料には有明海に注ぐ佐賀県六角川水系の現地泥を用い、これを海水と混合し所定濃度にした後、試料を素早く振動流水槽に注入し、完全混合状態より実験を開始した。

実験中は所定時間毎に、水路側面中央部から鉛直方向9および12点で採水を行った。また随時電磁流速計を用いて流速測定も行った。なお、今回の実験条件を表1に示した。

表1 実験条件(土粒子密度2460 kg/m³)

	初期濃度(kg/m ³)	周期(s)	振幅(m)
R1	12.1	6	0.05
R2	17.8	6	0.05
R3	10.2	6	0.1
R4	14.7	6	0.1

3.実験結果及び考察

(1) 静水中の沈降速度W_{so}の算出

ここでは初期濃度を20、40、60、80、100(kg/m³)の5通りに変化させたときの各沈降筒内で形成される界面高の経時変化を測定し、実験開始初期にあらわれる直線部の勾配を各濃度における沈降速度と定義した。図1は、この結果を両対数紙上にプロットしたものである。従来の研究(例えば、Smith and Kirby, 1989)によると、静水中における凝集性粒子の沈降速度は、温度・塩分等の影響を無視すると濃度のみの関数として表示することが可能であり、ここでもこれにならうものとする次式が得られる。

$$W_{s0} = (1 - 6.7 \times 10^{-3} C)^5 \times 10^{-3} \text{ (m/s)} \dots (1)$$

ここで、W_{so}:静水中の界面沈降速度、C:初期濃度(kg/m³)である。

(2) 振動流中での沈降速度W_sの算出

図2はR1~4までの界面の経時変化を示したものである。振動流中においても静水中と同様に実験開始後に界面の急速な低下が見られ、その後は定常状態に近づいていく。振動流中における沈降速度も静水中における沈降速度の算出同様界面の経時変化をもとに導いた。

(3) 濃度の鉛直分布及び水槽内の流速分布

図3は鉛直濃度分布の経時変化である。実験開始直後、濃度は鉛直方向にはほぼ一様であるが、時間の経過とともに底面に高濃度な領域があらわれ、浮泥が形成されていく様子が分かる。また図4は、R1における実験開始後

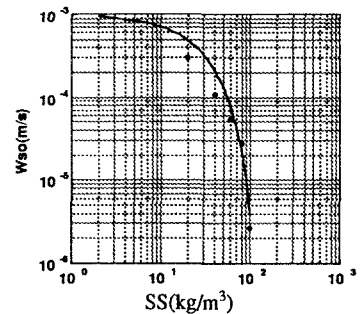


図1 静水中の界面沈降速度

30分の濃度分布及び流速分布を示している。これよりルートクライン（濃度急変領域）以下の高濃度層内では、急激な速度勾配を持つ剪断流場になっていることがわかる。

(4) 沈降速度式

振動流場での沈降速度を支配する要因として多くの物理量が考えられる。ここでは静水中での沈降速度を減少させる速度を W_{sf} とし、この W_{sf} を評価することで振動流下における沈降速度を求めることとする。

$$W_s = W_{s0} - W_{sf} \dots (2)$$

この際、 W_{sf} を支配する要因として静水中の沈降速度 W_{s0} 、微細粒子に働く剪断応力 τ 、見かけ密度 ρ 、拡散フラックス $K \partial C / \partial z$ を考え、これらを用いて次元解析を行うものとする。

$$W_{sf} = f \left(W_{s0}, \rho, \tau, K \frac{\partial C}{\partial z} \right) \dots (3)$$

(3) 式による次元解析の結果を踏まえ、 W_{sf} として次式を仮定する。

$$W_{sf} = \alpha W_{s0} \left(\frac{W_{s0}}{U} \right)^\beta \dots (4)$$

(4) 式を(2)式に代入することで次式が求まる。

$$\frac{W_{s0} - W_s}{W_{s0}} = \alpha W_{s0} \left(\frac{W_{s0}}{U} \right)^\beta \dots (5)$$

図5は横軸に W_{s0}/U 、縦軸に $(W_{s0}-W_s)/W_{s0}$ をとり実験結果をプロットしたものである。ただし U は振動流の最大流速振幅を用いている。図より次の関係が導かれた。

< $T=6(s)$ $a=0.05(m)$ のとき >

$$W_s = W_{s0} \left\{ 1 - 7.16 \times 10^{-4} \left(\frac{W_{s0}}{U} \right)^{-1.5} \right\} \dots (6)$$

< $T=6(s)$ $a=0.1(m)$ のとき >

$$W_s = W_{s0} \left\{ 1 - 2.47 \times 10^{-4} \left(\frac{W_{s0}}{U} \right)^{-1.5} \right\} \dots (7)$$

図6はR1~4までの実験結果と式(6)(7)の各濃度における W_s 及び静水中における W_{s0} をプロットしたものである。この図から振幅の変化による W_s の差異はほとんどみられないものの次元解析という手法により W_s を表示し得た。本研究では周期性による沈降速度の変化を考慮していないことなど多くの問題があり、今後の検討課題としたい。

<参考文献> Mark A.Ross and Ashish J.Mehta(1989): "On the Mechanics of Lutocline and Fluid Mud" Journal of Coastal Research SL5 p51~61.
Timothy J.Smith and Robert Kirby(1989): "Generation,Stabilization and Dissipation of Layered Fine Sediment Suspensions" Journal of Coastal Research SL5 p63~73

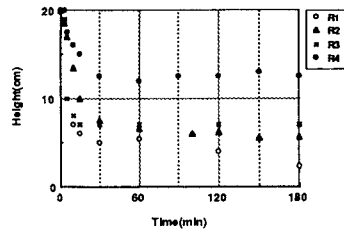


図2 界面経時変化

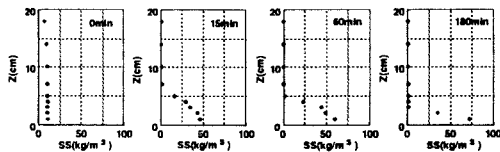


図3 鉛直濃度分布

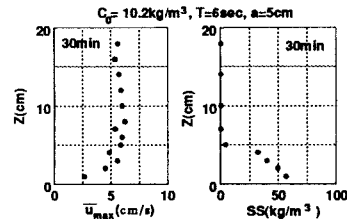


図4 実験開始後30分の濃度・流速分布

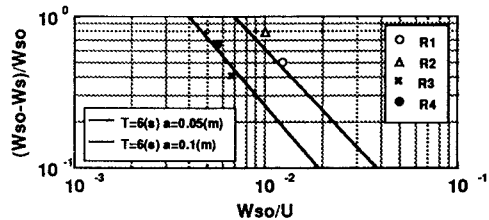


図5 W_{s0}/U と $(W_{s0}-W_s)/W_{s0}$ との関係

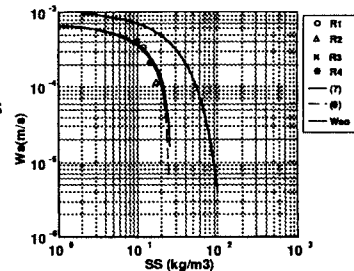


図6 濃度と沈降速度との関係
(静水中と振動流中)