

微細粒子の沈降特性と浮泥層の形成に関する実験的検討

九州大学工学部 学生員 ○堤 哲也 学生員 末次敏弘
同上 正 員 山西博幸 正 員 楠田哲也

1. はじめに

エスチュアリーにおけるシルテーション問題の一つとして航路や泊地の埋没問題が挙げられる。例えば、東南アジア諸国では港湾航路の維持管理に毎年多量の維持浚渫を行わなければならない、多額の経費がかかることを余儀なくされている¹⁾。そのためエスチュアリーにおける泥やシルト、粘土のような微細粒子の波や潮流などによる周期的な水面変動や流速の変化による挙動を把握する必要がある。本報告では振動流中での微細粒子の沈降速度及びフロック径の評価を行うとともに、また定常状態での浮泥層の保持に関して、沈降フラックスと拡散フラックスの双方から考察と検討を加えた。

2. 実験装置及び方法

本実験は前報の大津らによる実験と同じ装置²⁾を用いて行なった。実験条件は表-1に示す。

表-1 実験条件 (周期 3.0 sec)

RUN	Co (g/l)	τ (Pa)
1-1	11.0	0.126
1-2		0.201
1-3		0.277
1-4		0.352
1-5		0.453
2-1	20.0	0.126
2-2		0.201
2-3		0.277
2-4		0.352
2-5		0.402
2-6		0.453

3. 実験結果及び考察

a) 振動流中における沈降速度

懸濁液中での微細粒子の鉛直方向の輸送やルートクライン及び浮泥層の発生、安定及び消滅といった現象は、沈降フラックスと拡散フラックスによって支配される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}(F_s - F_d) = \frac{\partial F_{a,s}}{\partial z} \quad \text{---(1)}$$

$$F_s = W_s C$$

$$F_d = -K_z \frac{\partial C}{\partial z}$$

F_s : 沈降フラックス

F_d : 拡散フラックス

$F_{a,s}$: 見かけ沈降フラックス

W : 沈降速度

K_z : 拡散係数

dC/dz : 濃度勾配

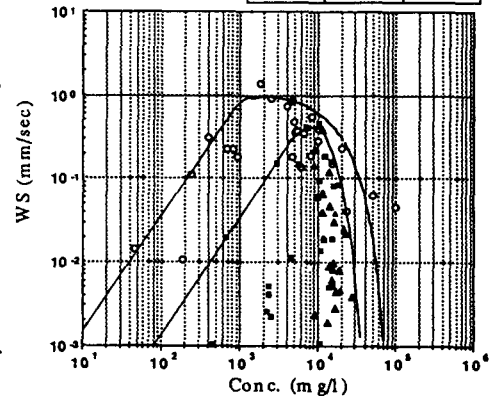


図-1 濃度-沈降速度の関係 (白: 静水中 黒: 振動流中)

式(1)から振動流中における見かけ沈降速度を求め、また合わせて静水中での沈降実験の結果も図-1に示した。ここでは今回行った実験結果を従来の研究^{3), 4)}の整理法に従って以下のように沈降速度を濃度の関数として表した。図より明らかなように、静水中及び振動流中ともに沈降速度は濃度の増加とともにある点まで増加し、その後は減少する傾向がみられる。またこの図のようにプロットにばらつきがあるのは、沈降速度が濃度の関数だけで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。

静水中の場合

$$C \leq 1100 \text{ (mg/l)} \quad W_s = 2.1 \times 10^{-4} C^{1/3} \quad \text{(mm/s)}$$

$$1100 \leq C < 2000 \text{ (mg/l)} \quad W_s = \text{const.} = 1.0 \quad \text{(mm/s)} \quad \text{---(2)}$$

$$C \geq 2000 \text{ (mg/l)} \quad W_s = 0.4 (1 - 2 \times 10^{-5} C)^{1/5} \quad \text{(mm/s)}$$

b) 上層水中での沈降粒子のフロック径の評価

ここでは同一の振動流実験についての楠田ら⁵⁾の定義に従い、初期沈降フラックスを初期濃度 C_0 と単粒子沈降速度 W (ストークスの式で計算)で無次元化したものを縦軸にとり、底面剪断応力 τ_0 を最大粒径粒子が沈降する限界の剪断応力 τ_{cd1} で無次元化したものとの関係を図-2に示した。ここで W 算出に用いた粒径 d がフロック径となるが、 d の算出法として図中のプロットが縦軸の1を越えないように d を決定している。その結果、フロック径は最小のもので $d = 65 \mu\text{m}$ となった。これは実験に使用した試料が $d_{50} = 6 \mu\text{m}$ であることから判断して、振動流中の初期の沈降においては最小でも試料の中央粒径 d_{50} の10倍のフロックを作って沈降しているものと考えられる。

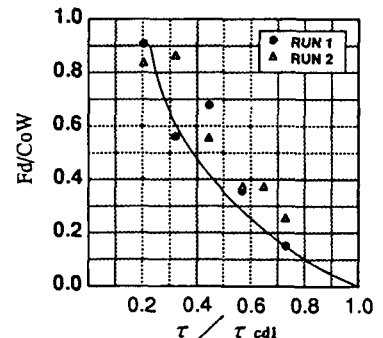


図-2 フロック径の評価

c) 浮泥層形成までの粒子の沈降及び堆積速度について

図-4は浮泥層が形成されるまでの界面の沈降速度を V_s 、下層での粒子の堆積速度を V_d と定義し(図-3参照)これらを理論底面剪断応力 τ_b でまとめたものである。図より剪断応力の比較的弱い領域では、重力による沈降が剪断による浮力に勝るため、 τ_b の増加とともに V_s, V_d も増加することがわかる。しかしながら、 $\tau_b \geq 0.2 \text{ Pa}$ の範囲では τ_b の増加とともに V_s, V_d の減少がみられる。通常のプロックでは粒子の沈降速度はプロック径に比例し、プロックの初期成長は濃度 C の自乗に比例する。一方、成長の障害はプロックの大きさと剪断応力に依存する。よって、一定の初期濃度の条件下では、ある剪断応力の値で最大のプロック径を形成することが予想される。このことから図中の V_s, V_d がある剪断応力でピークをもつことが説明できる。

d) 定常状態における上層水/浮泥層界面での釣合

a) で示した式(1)における定常状態では左辺=0となり $F_s = F_d$ を得る。またルートクライン(あるいは浮泥層の上側界面)では正味の下方向への沈降フラックス(沈降と分散の和)が局所的に最大となる³⁾ことがわかっている。そこで図-1の分布で沈降速度最大となるような包絡線を引き、界面の見かけの沈降速度 W_o' を上述のように式化した。さらに、

$$F_d = W_o' C_o = (W_s C_o - W_o' C_o) \quad \text{--(3)}$$

W_s : 静水中の沈降速度 W_o' : 振動流中の沈降速度

W_o' : 振動流中の見かけの沈降速度

とおき、濃度分布から求めた界面濃度 C_o 、濃度勾配 dC/dZ を用い、式(3)より F_d を算出し、界面近傍(ルートクライン)における拡散係数 K_z を求めた。さらに界面でのリチャードソン数 Ri と拡散係数 K_z の関係を図-5にまとめた。図より K_z を Ri の関数として表現し以下のように表した。

$$K_z = 7.0 \times 10^{-5} \times Ri^{-0.7} \quad (\text{m}^2 \text{s}^{-1})$$

4. おわりに

底泥直上に形成される高濃度な水塊は、シルテーションの定量化を行う際大きなウェイトを占めてくる。今回は、その界面近傍における挙動について沈降速度、拡散係数等について整理を行った。今後は浮泥の流動機構についてさらに研究を進めていく予定である。

<参考文献>

- 1) 入江, 他: シルテーションによる航路・泊地埋没の水理機構に関する研究, 土木学会論文集, No438/II-17, pp1~12, 1991
- 2) 大津, 他: 振動流中の浮遊懸濁物質の挙動に関する実験的研究, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集II, pp264~265, 1991
- 3) M.A. Ross et al.: On the Mechanics of Lutoclines and Fluid Mud, J. of Coastal Res., Special Issue No. 5, pp51~62, 1989
- 4) T.J. Smith et al.: Generation, Stabilization and Dissipation of Layered Fine Sediment Suspensions, J. of Coastal Res., Special Issue No. 5, pp63~73, 1989
- 5) 楠田ら: 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, pp231~235, 1991

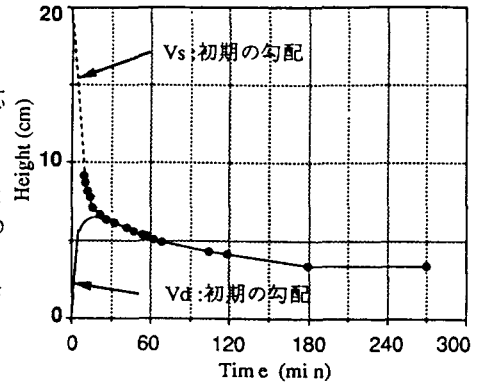


図3-層厚の経時変化

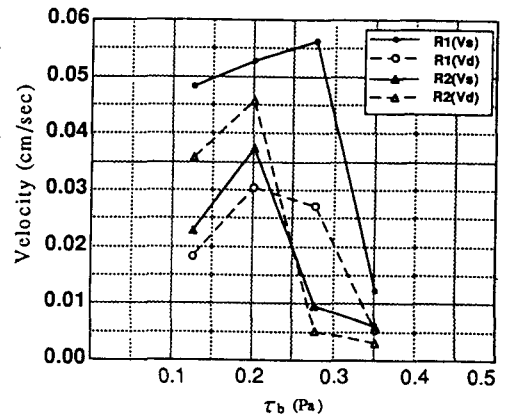


図4 理論底面剪断応力 τ_b と V_s, V_d の関係

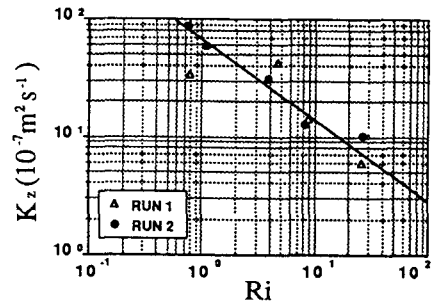


図5 拡散係数とリチャードソン数の関係