

傾斜底面上での浮泥流動のモデル化

九州大学大学院 学生員 渡辺亮一 九州大学工学部 正 員 楠田哲也

1. 研究の目的

微細な底質(粘土・シルト粒子等)が広範囲に渡って多量に存在している水域では、底面近傍に非常に高濃度の浮泥層が形成される。この浮泥層は、波や流れによる外力を受けて、あるいは底面が傾斜していることによって水平方向に流動し始める。この流動によって微細粒子群が輸送されることにより、工学的見地からみれば、港湾内の航路や泊地の埋没といった問題、また生態学的見地からみれば、底生生物への影響といった問題が引き起こされている。

本報の目的は、前報までの解析結果^{1)~7)}を踏まえて、傾斜底面上での浮泥流動をモデル化することにある。

2. 基本的な考え方

傾斜板を内部に設置した十分に大きな矩形の水槽^{1)~4)}に粘土・シルトを多量に含んだ懸濁液を注入し、十分に攪拌する。しばらく静置すると、懸濁粒子がフロックとなって沈降し始め、傾斜底面上に浮泥層が形成される。この時、傾斜底面上には浮泥層内の流動によってせん断応力が作用しているが、この値が沈降限界せん断応力以下であれば、ほぼ同時に浮泥層の下部に底泥層が形成され始める(図1)。

この現象を単純化して捉えるために幾つかの仮定⁷⁾を用いれば、浮泥層の運動方程式および懸濁物質の保存式は、式(1)~(3)となる。また、浮泥層内の流動に関する構成方程式は、式(4)~(6)となっている。

浮泥層内の流動に関する運動方程式

$$-\frac{\partial P}{\partial z} + Rg(C - C_a) = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} (uF_s) - Rg(C - C_a)\theta + Rg \int_z^{H(x)} C \, dz \tag{2}$$

浮泥層内の懸濁物質の保存式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (uC)}{\partial x} + \frac{\partial (wC)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial C}{\partial z} \right) \tag{3}$$

ただし、Pは静水圧、Cは浮泥層内の濃度、Caは上層懸濁液濃度、 τ は傾斜底面に沿ったせん断応力、uは浮泥層内の流速、wは懸濁物質の沈降速度、Fsは沈降フラックス、gは重力加速度、Kは分散係数、 $R=(\rho_s-\rho_l)/\rho_s$ 、 θ は斜面勾配、 ρ_s は懸濁物質の密度、 ρ_l は液体の密度、 μ_w は水の粘性係数、 D_0 は基準せん断、 $(1-\epsilon)$ は固体分率である。なお、座標軸は斜面流下方向に沿ってx軸、斜面垂直方向に向かってz軸(上向き正)としている。

3. 境界条件および分散係数Kについて

(1) 浮泥層と底泥層の境界面での境界条件について

傾斜底面上での浮泥流動をシミュレートするためには、浮泥の流動に関する基礎式(式(1)~(6))に、境界条件として、浮泥層と底泥層の境界面でのせん断応力と沈積フラックス(Fd)の関係を与える必要がある。図2は、底面せん断応力と沈積フラックス(Fd)の関係を示している。この両者の関係を定式化すると、

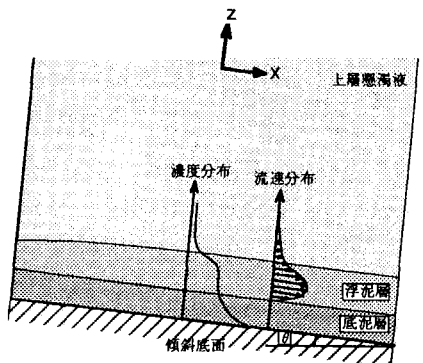


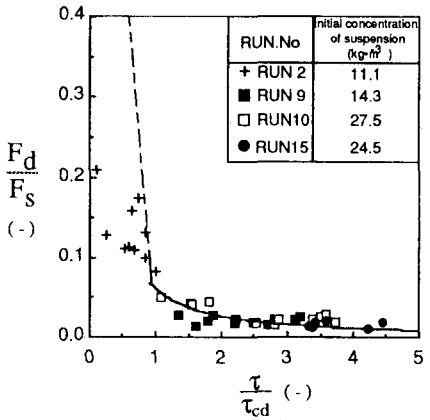
図1 浮泥流動モデルの概念図

流動に関する構成方程式

$$\tau = \mu_a \cdot D \tag{4}$$

$$\mu_a = \mu_p \left(6.4 \left(\frac{D}{D_0} \right)^{-0.68} + 1 \right) \tag{5}$$

$$\mu_p = \mu_w \left(4.7 \times 10^4 (1 - \epsilon)^{1.7} + 1 \right) \tag{6}$$



ただし、Fsは静水中での沈降フラックス、 τ_{cd} は沈積に関する限界せん断応力である。

図2 せん断応力と沈積フラックスの関係

式 (7) と (8) になる。

$$F_d = F_s \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{cd}} \right) \quad \tau < (1 - \alpha)\tau_{cd} \quad (7)$$

$$\frac{F_d}{F_s} = \alpha \left(\frac{\tau}{\tau_{cd}} \right)^{-1.2} \quad \tau_{ce} > \tau \geq (1 - \alpha)\tau_{cd} \quad (8)$$

ここで、 $\alpha=0.06$ 、 τ_{cd} は巻き上げに関する限界せん断応力、 $\tau_{cd}=0.1(\text{Pa})$ である。

(2) 浮泥層内での分散係数Kについて

図3は、浮泥層内でのせん断Dと分散係数Kの関係を示している。この図より、せん断が大きくなるにしたがって、分散係数は小さくなって行くことが分かる。また、浮泥層内の懸濁物質濃度が高いほど、層内の分散係数が大きくなる傾向にあることが認められる。

層内の懸濁物質濃度による分散係数への影響を補正するために、分散係数に懸濁物質濃度に応じた係数 $((C/C_0)^{-1.3})$ を乗じた。図4は、この係数に乗じた分散係数とせん断の関係を両対数紙上に表わしている。この図より、両者の関係は式 (9) となることが分かる。

$$K \cdot (C/C_0)^{-1.3} = \beta \cdot D^n \quad (9)$$

ただし、 $C_0=40(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ 、 $\beta=3.1 \times 10^{-6}$ 、 $n=-0.72$ である。

4. 計算結果

基礎式を差分化した式に、境界条件として式 (7) ~ (9) の関係を用いて、浮泥層内の流動に関する数値計算を行なった。その結果（濃度および流速分布）を図5に示している。この図より、数値計算によって求めた値と実験結果はよく一致していることが分かる。ただし、底面上での境界条件の与え方に問題があるために、濃度および流速の値に若干のずれが生じていることが伺える。この点は今後の課題としたい。

参考文献：

- 1) 渡辺、楠田：傾斜底面上での浮泥流の挙動について、平成2年度西部支部研究発表会講演概要集、pp266-267,1991
- 2) 渡辺、楠田：傾斜底面上での浮泥流の挙動に関する研究、土木学会第46回年次学術講演会概要集、pp504-505,1991
- 3) 渡辺、岩本、他：浮泥流の挙動に関する実験的研究、平成3年度西部支部研究発表会講演概要集、pp458-459,1992
- 4) 渡辺、楠田、他：浮泥流の挙動に関する理論的研究、平成3年度西部支部研究発表会講演概要集、pp460-461,1992
- 5) 渡辺、楠田：傾斜底面上での浮泥流の挙動に関する研究(その5)、土木学会第47回年次学術講演会概要集、pp504-505,1992
- 6) 渡辺、楠田：傾斜底面上での浮泥流の挙動に関する研究(その6)、平成4年度西部支部研究発表会講演概要集、pp424-425,1993
- 7) 渡辺、楠田：擬塑性的な流動特性を示す浮泥の構成則について、混相流シンポジウム'93(第12回)講演論文集、pp85-88

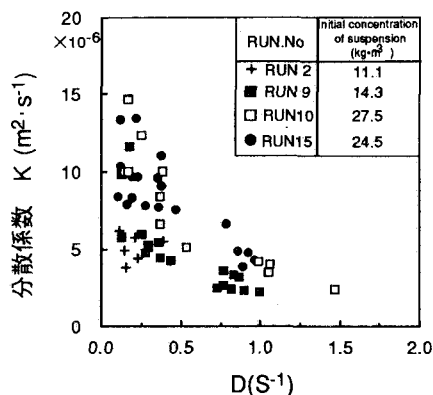
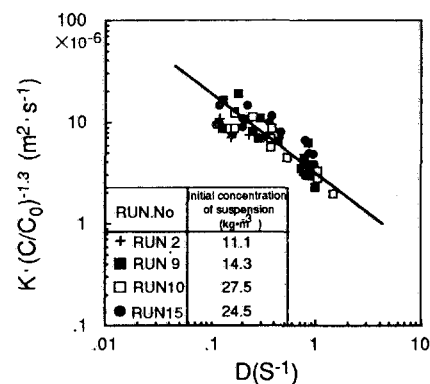


図3 浮泥層内でのせん断Dと分散係数Kの関係



ただし、 $C_0=40(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$ である。

図4 せん断と分散係数(補正後)の関係

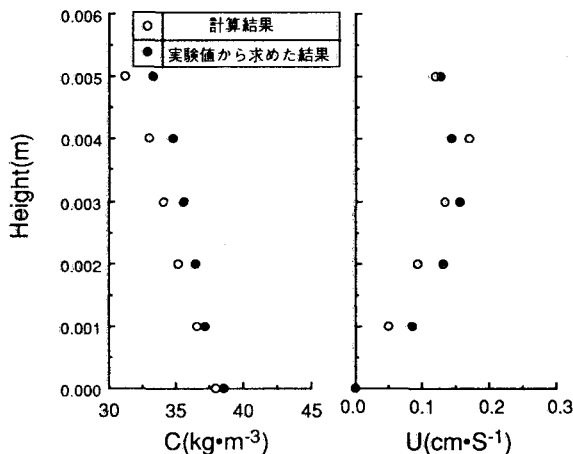


図5 浮泥層内の濃度と流速の計算結果 (RUN15)