

振動流下における浮泥層特性に関する研究

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

1. はじめに

振動流実験によって得られた、懸濁物質の鉛直濃度分布の経時変化を図-1に示す。時間の経過と共に底面近傍に高濃度な水塊が形成されていく様子が見られ、しかもその形成までの時間は比較的早く、数分から数十分のオーダーである。底面近傍に形成された浮泥層は、波などの外力が作用する結果、底面上を流動することになる。この浮泥層の厚さは薄いものの、その濃度は上層水と比して、非常に高濃度であるために、シルテーションの定量化にとって、これらの量的推定は重要となってくる。すでに著者ら¹⁾はこの浮泥層厚が実験開始後2~3時間程度ではほぼ定常となることを実験的に示し、振動流下における浮泥層の形成過程並びにその挙動について定性的に示してはいるものの、その流動特性や層厚の保持機構について、未だそのメカニズムとも合わせて説明するには至っていない。本研究では、振動流下における浮泥層内の運動に着目し、そのシミュレーションを行い、浮泥層保持のメカニズムを解明する第一段階とするものである。

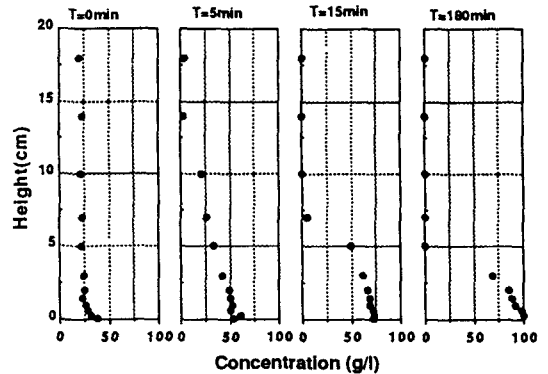


図-1 鉛直濃度分布の経時変化

2. 浮泥層内シミュレーション

図-1のような鉛直濃度分布の実験結果を踏まえて、振流水槽内を高さ方向に上層水（濃度勾配が急変する界面から上側）と浮泥層とに分ける。さらに、上層水と浮泥層との界面近傍には波動境界層を考慮する。

本モデルを構築する際の仮定を以下に示す；

- a)境界層の厚さは水深に比して薄い。
- b)Navier-Stokes方程式における慣性項は無視しうる。
- c)浮泥層内の鉛直運動は、上層水の往復流によって生成される界面波によって生じる。
- d)界面波の振幅は水深に比して非常に小さい。
- e)各層内での動粘性係数 ν 、見かけ密度 ρ は一定とし、取り扱う流体はニュートン流体である。

<基礎式>

$$\frac{\partial U}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_1} \frac{\partial P_1}{\partial x} \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_1} \frac{\partial P_1}{\partial x} + \nu_1 \left(\frac{\partial^2 u_1}{\partial z^2} \right) \quad \dots (2)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_2} \frac{\partial P_2}{\partial x} + \nu_2 \left(\frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_2}{\partial z^2} \right) \quad \dots (3)$$

$$\frac{\partial w_2}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_2} \frac{\partial P_2}{\partial z} + \nu_2 \left(\frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_2}{\partial z^2} \right) \quad \dots (4)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial x} + \frac{\partial w_2}{\partial z} = 0 \quad \dots (5)$$

u_i, w_i, p_i の解を次のようにおく。

$$\begin{aligned} u_m &= \hat{u}_m(z) e^{i(kx - \sigma t)} & m=1,2 \\ w_m &= \hat{w}_m(z) e^{i(kx - \sigma t)} & m=1,2 \\ p_m &= \hat{p}_m(z) e^{i(kx - \sigma t)} & m=1,2 \end{aligned} \quad \dots (6)$$

界面の振幅を同様に次のようにおく。

$$\eta = \eta_0 e^{-i\sigma t} \quad \dots (7)$$

ここで、 U, u_1, u_2 : 上層、波動境界層、浮泥層内における水平流速、 w_2 : 浮泥層内における鉛直方向流速

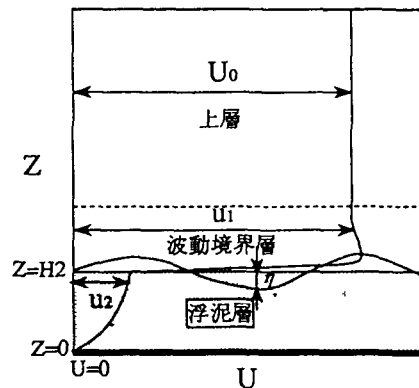


図-2 概念図

η : 界面波の振幅、 P_1 、 P_2 : 上層・波動境界層、浮泥層内における圧力

ν_1 、 ν_2 : 波動境界層、浮泥層内における動粘性係数 (なお、それぞれの記号に関しては図-2を参照)

<境界条件>

$$\begin{aligned}
 U &= U_0 e^{-i\sigma t} && \text{at } z \geq H_2 && \dots (8) \\
 u_1 &= u_2 = 0 && \text{at } z = 0 && \dots (9) \\
 u_1 &= u_2 && && \dots (10) \\
 w_2 &= \frac{\partial \eta}{\partial t} && \text{at } z = H_2 && \dots (11) \\
 p_1 &= p_2 && && \dots (12) \\
 \rho_1 \nu_1 \frac{\partial u_1}{\partial z} &= \rho_2 \nu_2 \frac{\partial u_2}{\partial z} && && \dots (13)
 \end{aligned}$$

以上をもとに(6),(7)式を(1)~(5)式に代入して、(8)~(13)式までの境界条件によって浮泥層内の運動を解析的に表現することが出来る。

3. 解析結果及び考察

図-3は計算により得た水平方向流速を図-4は流体の水平移動距離を示している。

今回の計算では、上層と浮泥層の運動に位相差を生じる結果となっている。解析結果よりこの位相差を生じさせる主要因として、界面上に作用する剪断応力よりも、圧力勾配によるもの影響が大であると推測され、また、これに関してはH.N.Trien・磯部ら⁴⁾による実験においても定性的に示されている。しかしながら、浮泥の流動・保持に関するメカニズムについては言及されておらず、今後の検討課題として残っている。なお、この位相差は、本実験においての測定上の問題により明らかにはされず、実験値との比較検討を行なうことはできなかった。

以上から今後の課題として、①上層と浮泥層内における運動の位相差の測定、②鉛直方向に変化するものと思われる密度、粘性をも考慮できるよう、浮泥層内の多層化を行ない、得られた流速分布から層内に作用する剪断応力やそれに伴って生じる揚力を考慮したモデルを提案し、浮泥層の保持機構の解明、が挙げられる。

(参考文献) 1) 末次,他; 振動流下における高濃度層の挙動に関する実験的研究, 第46回年次学術講演会論文集, pp.502-503, 1991. 2) 林,他; 往復流乱流境界層に関する基礎的研究, 第23回水理講演会論文集, pp.41-48, 1979. 3) A.J.Mehta et al.; Wave over mud: Modeling erosion, Third international symposium on river sedimentation, pp.588-601, 1986. 4) H.N.Trien, 磯部他; 波による底泥の質量輸送における底泥のレオロジー特性の影響について, 第38回海岸工学論文集, pp.466-470, 1991.

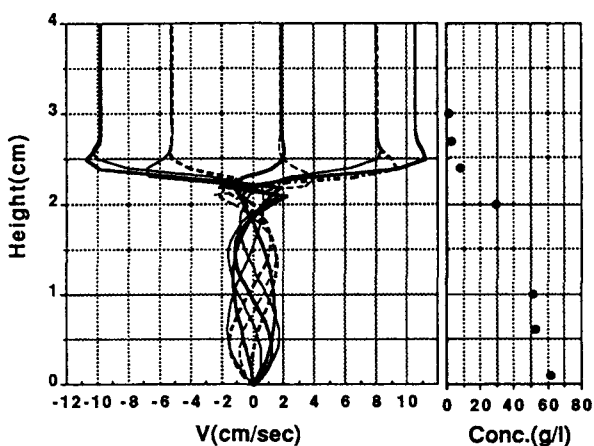


図-3 水平流速の経時変化及び鉛直濃度分布

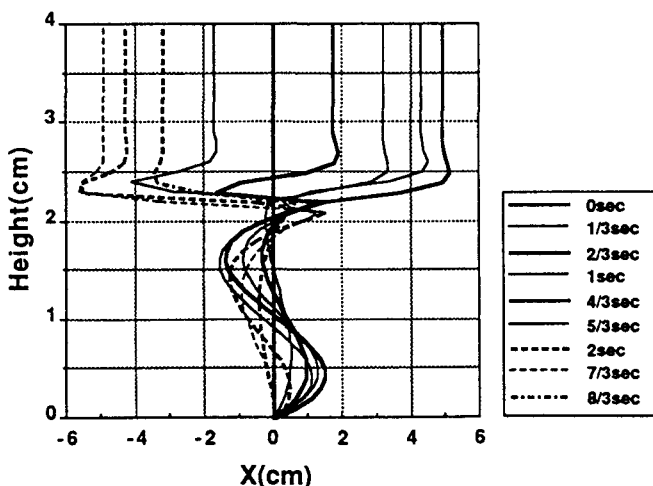


図-4 水平移動距離の経時変化