

傾斜底面上での浮泥流の挙動に関する研究

—相似則を用いた解析について—

福岡大学工学部 学生員○那須伸次 福岡大学工学部 正員 渡辺亮一  
 福岡大学工学部 正員 山崎惟義 九州大学大学院 フェロー-楠田哲也

1. はじめに

粘土・シルト等の微細な粒子からなる底質が広範囲にわたって多量に沈積している水域では、水の流れが停滞する時や波浪が治まった直後に、底面上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、あるいは斜面が傾斜していることによって水平方向へ流動し始める。この浮泥の流動によって、底質が輸送されることにより、港湾内の航路や泊地の埋没といった問題が引き起こされる。このため、シミュレーションによって浮泥の輸送量を定量的に予測することが必要とされる。しかしながら、浮泥の挙動は極めて複雑な非線形現象であるために浮泥による微細粒子群の輸送過程や浮泥層の形成機構及び保持機能等を完全に説明し得ていないのが現状である。また、浮泥の流動状態を的確に表現できるモデルも少ない。本研究では傾斜底面上での浮泥流を全層にわたって積分し層平均化方程式を導き相似則を適用することによって、簡略的に浮泥流を解析する手法を提案している。

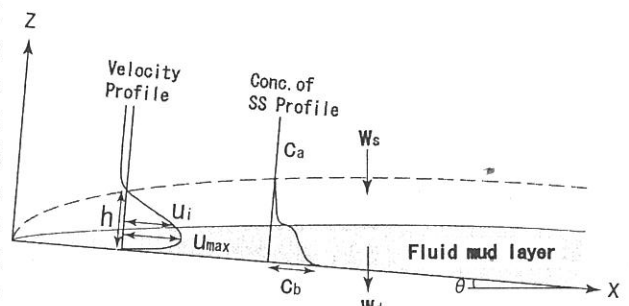


図1 浮泥流の概略

2. 基礎式

図1に示すように座標軸をとり、紙面に垂直な方向には現象は一様として浮泥の流れを2次元的に考える。浮泥層厚は上層懸濁液層の水深に比べて十分に薄いと考える、層内には境界層近似およびブーシネスク近似が適用可能であるとする。このとき浮泥に関する基礎式は式(1)~(3)で表される。また、相似則が適用可能であるとすると層平均化方程式は(4)~(6)のようになる。

$$\text{連続の式 } \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1) \quad \text{運動方程式 } \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -Rg \frac{\partial}{\partial x} \int_z^{\infty} c dz + R(C - C_b)g \sin \theta + \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (2)$$

$$\text{質量保存式 } \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial uc}{\partial x} + \frac{\partial wc}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} (w_s c) \quad (3)$$

$$\text{層平均化した連続の式 } \frac{\partial h}{\partial t} + \left[ \int_0^{\infty} \xi_u d\eta \right] \frac{\partial U h}{\partial x} = w_s - w_d \quad (4)$$

$$\text{層平均化した運動方程式 } \left[ \int_0^{\infty} \xi_u d\eta \right] \frac{\partial U h}{\partial t} + \left[ \int_0^{\infty} \xi_u^2 d\eta \right] \frac{\partial U^2 h}{\partial x} = - \left[ \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \xi_u d\eta' d\eta \right] Rg \frac{\partial C^* h}{\partial x} + \left[ \int_0^{\infty} \xi_u d\eta \right] Rg (C - C_b) h S - \tau_s \quad (5)$$

$$\text{層平均化した質量保存式 } \left[ \int_0^{\infty} \xi_u d\eta \right] \frac{\partial C h}{\partial t} + \left[ \int_0^{\infty} \xi_u \xi_c d\eta \right] \frac{\partial U C h}{\partial x} = w_{s,c} C_s - w_d C_b \quad (6)$$

ここで、 $u$ 、 $w$ はそれぞれ $x$ 、 $z$ 方向の流速成分、 $g$ は重力加速度、 $C$ は浮泥層内の懸濁物濁物質濃度、 $C_b$ は底泥表面での懸濁物質濃度、 $\rho_s$ は粒子の密度、 $\rho$ は清水密度、 $R = (\rho_s - \rho) / \rho$ 、 $v_s$ は静水中の沈降速度、 $\xi_u$ 、 $\xi_c$ はそれぞれ流速、濃度の形状係数、 $w_s$ は浮泥表面での連行速度、 $w_d$ は底泥表面での連行速度、 $C_b$ は底泥表面での懸濁物質濃度である。

3. 流れの無次元化 図2(a)はRUN2, 9, 10, 15, 16に関して流速 $U$ をその断面内での最大流速 $U_{max}$ で除して無次元化した値と、浮泥層の厚さ $h$ で除した値との関係を、図2(b)は層内の懸濁物質濃度 $C$ を浮泥層底面上での懸濁物

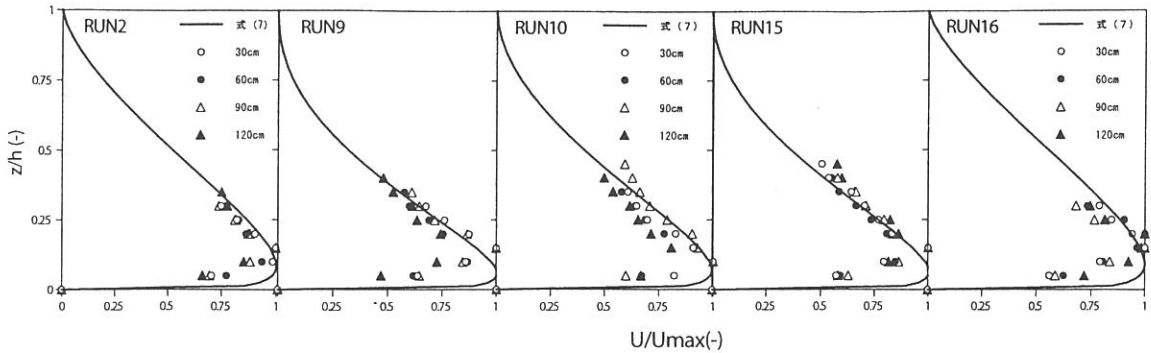


図2(a) 無次元化した浮泥層内の流速分布

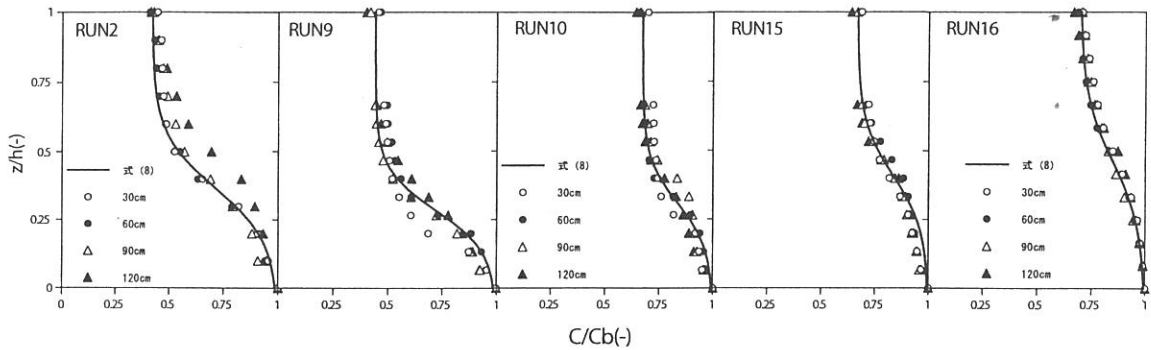


図2(b) 無次元化した浮泥層内の濃度分布

質濃度 $C_b$ で除して無次元化した値と底面からの高さを最大流速地点の高さ $h$ で除して無次元化した値との関係を示している。これらの図から、流速分布および濃度分布は、ともに斜面流下方向に向かって相似形であることがわかる。このことから、浮泥流について相似則が適用可能であることがわ

かった。

#### 4. 流速と濃度分布に関する形状係数

式(7), (8)はそれぞれ流速と濃度に関する形状係数である。

流速に関する形状係数:  $\xi_u = A\eta^{1/7} (1-\eta)^B$  (7)

濃度に関する形状係数:  $\xi_c = 1 - 0.04 \left( \frac{C}{1 + D \times e^{-E\eta}} \right)$  (8)

表1 形状係数の各係数

RUN No	A	B	C	D	E
2	1.63	1.6	14.5	40	10
9	1.73	2.3	14	40	13
10	1.67	1.9	8.2	40	15
11	1.61	1.4			
15	1.71	2.1	8.3	60	16
16	1.61	1.4	7.6	40	8

上式中の各係数を表1に示している。この表から、各係数は浮泥層内の濃度および速度に応じて変化する定数であると考えられる。この結果をもとに、RUN9に関して上流端から30cm地点の流速および濃度分布を層平均化方程式を用いてシミュレーションを行った。

図3は、初期条件として上層懸濁液層の濃度 $C_a$ および境界条件として底面上流端での流速を0としてシミュレートした結果を示している。この図から、流速および濃度分布ともに上層に近づくにつれて実験値との違いが大きくなっていることがわかる。これは、数値計算において上方からの水の連行速度を清水中の懸濁物質の沈降速度に等しいと仮定して計算していることから生じていると考えられる。

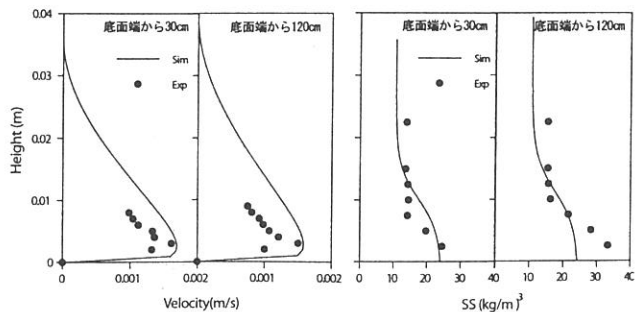


図4 計算値と実験値の比較