

感潮河川傾斜面における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 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

微細な粘土が多量に水域内に存在している六角川等の強混合型感潮河川では、満潮時付近に流れが停滞する時間帯が出現する。この時、上層から微細粒子がフロックを形成して底面上に沈降するため、非常に高濃度の浮泥層が形成され、底面が傾斜していることによって流動し始めることは多くの研究者らの観測によって明らかになっている。しかしながら、強混合型の感潮河川において、どのくらいの濃度および流速で高濃度の流れが形成されているかは、現時点では明確に示されているとは言えない。このことは、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ことに起因していると考えられる。このため、傾斜面上を流下する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、現地観測に先立って行われた室内実験結果を基に、傾斜底面上での浮泥流を相似則を用いて簡略的にモデル化しシミュレーションを行い、実際の感潮河川に適用可能なモデルを構築することを目的としている。

### 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、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。また、相似則が適用可能であるとする層平均化方程式は(1)～(3)のようになる。

$$\text{層平均化連続式} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \left[ \int_0^\infty \zeta_u d\eta \right] \frac{\partial U h}{\partial x} = w_s - w_d \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{層平均化運動方程式} \quad & \left[ \int_0^\infty \zeta_u d\eta \right] \frac{\partial U h}{\partial t} + \left[ \int_0^\infty \zeta_u^2 d\eta \right] \frac{\partial U^2 h}{\partial x} = - \left[ \int_0^\infty \int_\eta^\infty \zeta_c d\eta' d\eta \right] R g \frac{\partial C h^2}{\partial x} \\ & + \left[ \int_0^\infty \zeta_c d\eta \right] R g (C - C_a) h S - u_*^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{層平均化懸濁物質保存式} \quad \left[ \int_0^\infty \zeta_c d\eta \right] \frac{\partial C h}{\partial t} + \left[ \int_0^\infty \zeta_u \zeta_c d\eta \right] \frac{\partial U C h}{\partial x} = w_{sd} C_a - w_d C_b \quad (3)$$

$$\text{流速に関する形状係数} \quad \zeta_u = A \eta^{1/7} (1 - \eta)^B \quad 0 \leq \eta \leq 1 \quad (4)$$

$$\text{濃度に関する形状係数} \quad \zeta_c = 1 - 0.04 \left( \frac{C}{1 + D \times \text{EXP}[-E\eta]} \right) \quad 0 \leq \eta \leq 1 \quad (5)$$

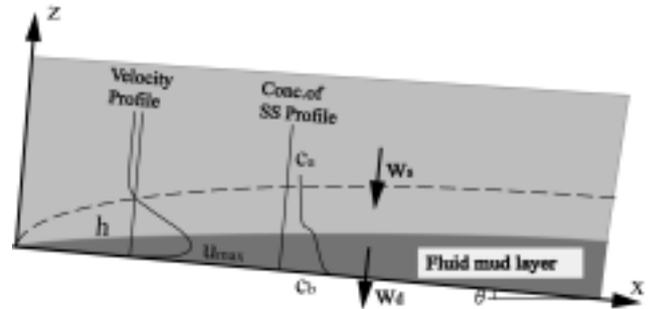


図1 浮泥流の概略

キーワード：浮泥、底泥、傾斜面、感潮河川

連絡先：〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部社会デザイン工学科水圏システム研究室  
 TEL 092-871-6631 (内線 6462) FAX 092-865-9460

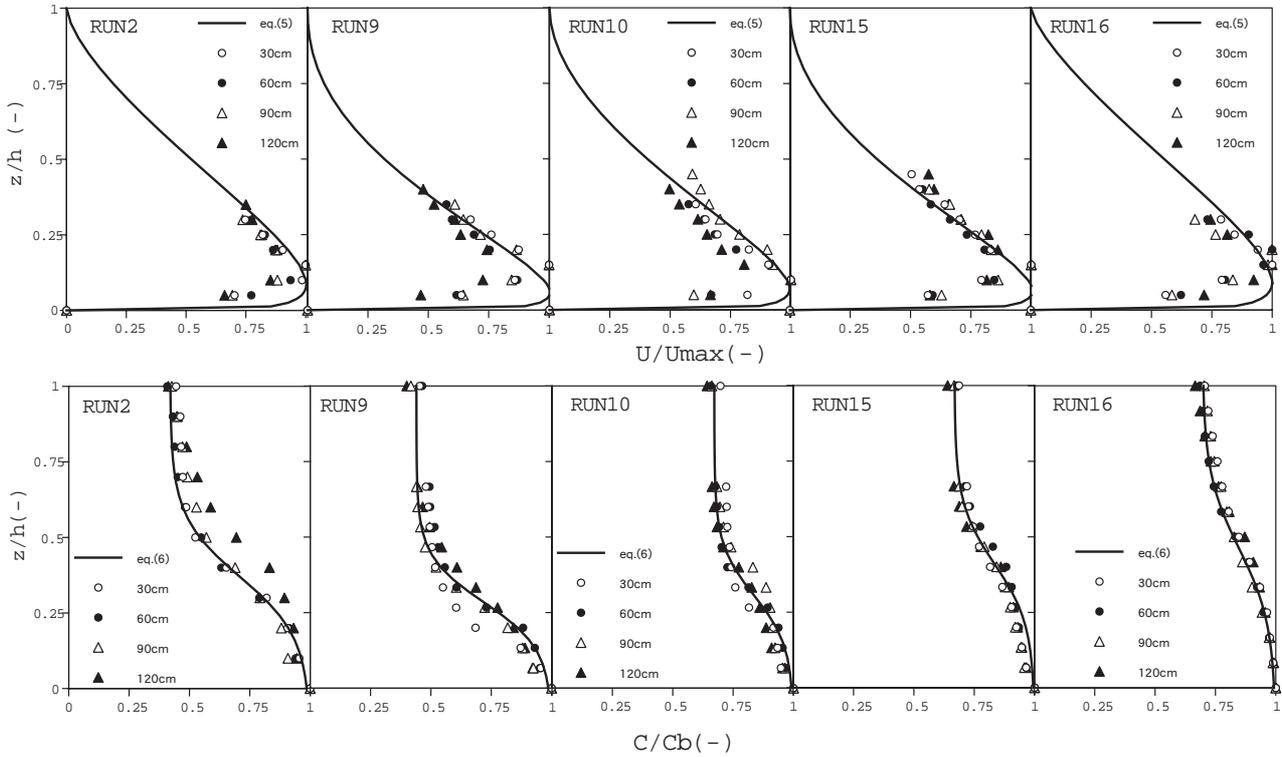


図2 無次元化した浮泥層内の流速および濃度分布

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、 $R = (\rho_s - \rho) / \rho$ 、 $w_{sa}$ は静水中の沈降速度、 $\zeta_u$ 、 $\zeta_c$ 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および層内の懸濁物質濃度 $C$ を浮泥層底面上での懸濁物質濃度 $C_b$ 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(4)、(5)はそれぞれ流速と濃度に関する形状係数である。式中の各係数は図2の分布形状を基に算出されている。これらの係数を用いて、RUN9について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、流速分布は実験値と計算値がよく一致しているが、濃度分布に関しては分布の変曲点付近での差異が大きくなっていることが分かる。これは、実験時の濃度測定方法にも起因していると考えられる。しかしながら、傾斜面上での浮泥による懸濁物質の輸送量を求める場合には、さほど影響しないと考えられる。

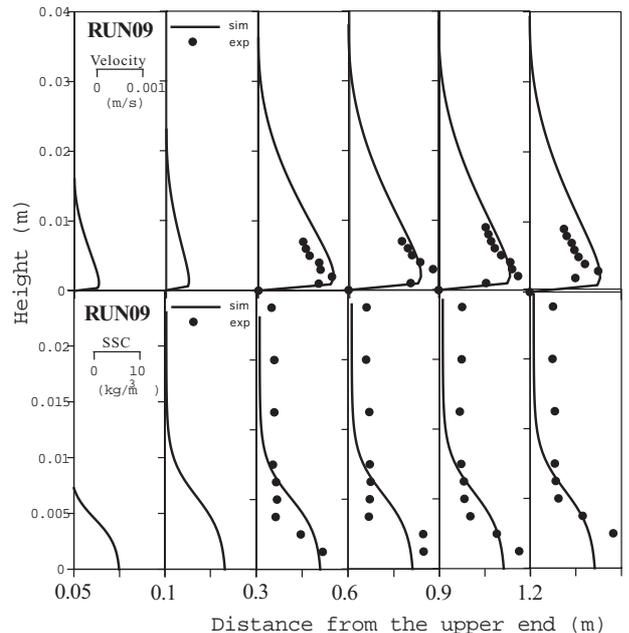


図3 実験値とシミュレーション値の比較