

早稲田大学理工学部 正会員 鮎川 登
 日本テトラポッド 正会員 ○錦織 和紀郎
 早稲田大学大学院 学生員 下村 博史

1.はじめに 浮流砂を伴う流水が水深の大きな貯水池や河口部に流入すると、浮流砂は次第に沈降し、河床に堆積していく。ここでは、水路床からの土砂のまき上げがないような2次元等流状態の流水に上流から浮流砂が供給された場合の浮流砂の濃度分布の流下方向の変化を数値計算により算定し、浮流砂の堆積過程に関して考察した結果について述べる。

2.浮流砂濃度の基礎方程式 2次元定常流における浮流砂の濃度に関する方程式は次式で与えられる。

$$u \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) - W_0 \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

(1)式を無次元変数

$$X = \frac{x}{h}, \quad Z = \frac{z}{h}, \quad C = \frac{C}{C_{a0}}, \quad W_0 = \frac{W_0}{u_*}, \quad U = \frac{u}{u_*}, \quad E_z = \frac{\varepsilon_z}{u_* h} \quad (2)$$

に関する方程式に書きなおすと、次のようになる。

$$U \frac{\partial C}{\partial X} - \frac{\partial}{\partial Z} \left(E_z \frac{\partial C}{\partial Z} \right) - W_0 \frac{\partial C}{\partial Z} = 0 \quad (3)$$

境界条件は次のようになる。

$$\text{水面における境界条件:} \quad \left[E_z \frac{\partial C}{\partial Z} + W_0 C \right]_{Z=1} = 0 \quad (4)$$

$$\text{水路床における境界条件:} \quad \left[\frac{\partial C}{\partial Z} \right]_{Z=0} = 0 \quad (5)$$

$$\text{上流端における境界条件:} \quad C(0, Z) = C_0(Z) \quad (6)$$

ここで、 x および z はそれぞれ流下方向および鉛直上向きにの距離座標、 C は浮流砂濃度、 u は流速、 ε_z は浮流砂の拡散係数、 W_0 は浮流砂の沈降速度、 h は水深、 u_* は摩擦速度、 C_{a0} は上流端における浮流砂の底面濃度である。

流速分布は対数則に従うものとし、また浮流砂の拡散係数は流水の渦動粘性係数に等しいものとして、それぞれ次式で与える。

$$\text{流速分布} \quad \text{滑面: } U = \frac{1}{K} \ln \left(\gamma \frac{u_* h}{\nu} Z \right), \quad \text{粗面: } U = \frac{1}{K} \ln \left(30 \frac{h}{k_s} Z \right) \quad (7)$$

$$\text{浮流砂の拡散係数} \quad E_z = K Z (1 - Z) \quad (8)$$

ここで、 K はカルマン定数、 k_s は水路床面の粗さである。

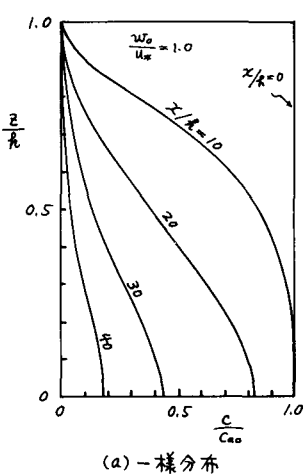
3.浮流砂濃度分布の流下方向の変化 上流端における浮流砂の濃度分布として一様分布と三角形分布の二通りを考え、(3)式をCrank-Nicolsonの差分スキームにより差分化した式をそれぞれの場合について解き、浮流砂濃度分布の流下方向の変化を求めた。ただし、流速分布は滑面の対数分布式に従うものとし ($u_* h / \nu = 10^5$ とし)、カルマン定数は $K = 0.4$ とした。 $W_0 / u_* = 1.0$ の場合の計算結果を図1に示す。図1によると、浮流砂濃度が流下につれて次第に減少していく様子を見ることができ。

4. 浮流砂量の流下方向の変化 浮流砂の濃度分布の計算結果に基づいて、 w_0/u_* をパラメーターとして浮流砂量の流下方向の変化を示すと、図2のようになる。図中の Q_{s0} は上流からの流入浮流砂量である。図2によると、浮流砂が一様分布をして流入してくる場合と三角形分布をして流入してくる場合とで、浮流砂量の流下方向の変化はほぼ同様の傾向を示すことがわかる。

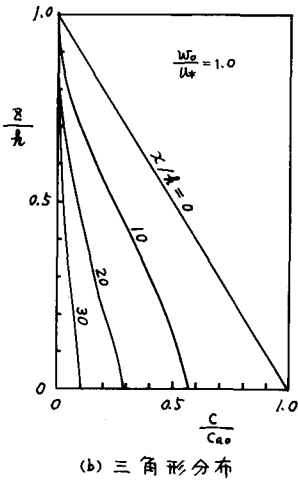
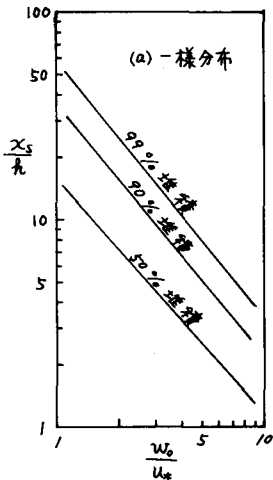
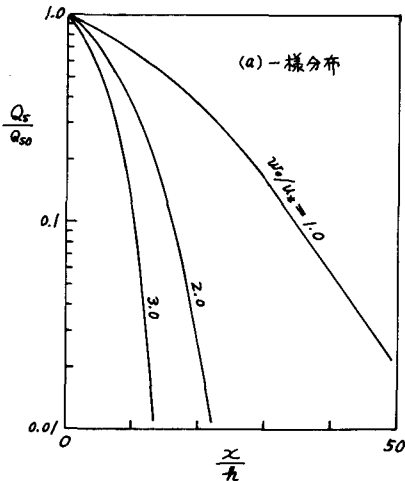
5. 浮流砂の堆積に要する距離 浮流砂量の流下方向の変化を示す図2から浮流砂量が流入浮流砂量の50%、10% および1%に減少する（流入浮流砂量の50%、90%および99%が堆積する）距離 x_s/l を読み取り、 w_0/u_* との関係を示すと、図3のようになる。図3によると、浮流砂が一様分布をして流入してくる場合と三角形分布をして流入してくる場合とも、 x_s/l と w_0/u_* の関係はほぼ同様の傾向を示し、次式で表示されるこゝがわかる。

$$\frac{x_s}{l} = a \left(\frac{w_0}{u_*} \right)^{-b} \tag{9}$$

6. おわりに 図1～3に示した関係は流速分布として滑面の対数分布を仮定し、 $u_* R/\nu = 10^5$ とした場合についてのものであり、 $u_* R/\nu$ の値がこれらの関係におよぼす影響を調べることが必要である。流速分布として粗面の対数分布を仮定する場合には R/l_s の値の影響を調べることが必要である。



(a) 一様分布



(b) 三角形分布

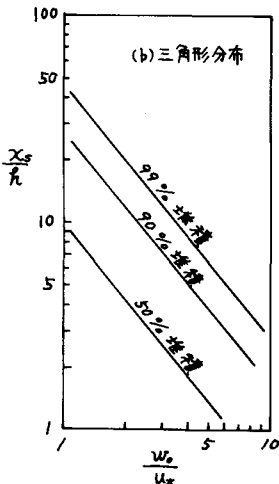
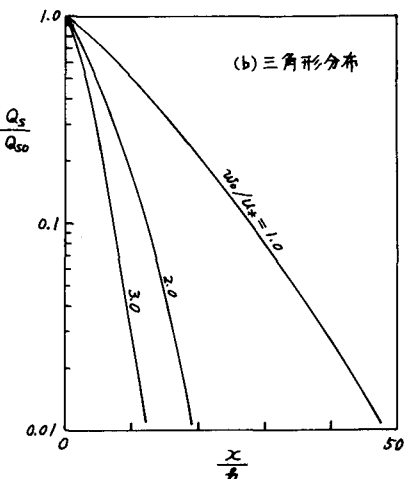


図1. 濃度分布の流下方向の変化

図2. 浮流砂量の流下方向の変化

図3. 浮流砂の堆積に要する距離