

早稲田大学理工学部 正員 鮎川 登
早稲田大学大学院 学生員 〇下村博史

1.はじめに 河口部や貯木池に流入した浮流砂は、流速の減少に伴、沈降し始め河床に堆積する。ここでは木理量と浮流砂の堆積過程との定性的な傾向を知るために、2次元等流状態の流れに上流から浮流砂が供給された場合について、濃度分布、基礎方程式を数値的に解き、浮流砂量の流下方向の変化を求めて、浮流砂の堆積過程について考察し結果について述べる。

2.基礎方程式と境界条件 2次元定常流における浮流砂の濃度分布に関する基礎方程式は(1)式で与えられる。

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

(1)式を無次元変数, $X = x/h$, $Z = z/h$, $C = C/C_{\infty}$, $W_0 = W_0/U_{*}$, $U = u/U_{*}$, $E_z = E_z/U_* h$ に関する方程式に書き直すと(2)式のようにになる。

$$U \frac{\partial C}{\partial X} - \frac{\partial}{\partial Z} (E_z \frac{\partial C}{\partial Z}) - W_0 \frac{\partial C}{\partial Z} = 0 \quad (2)$$

境界条件は次のように定める。すなわち

$$\text{水面 } [E_z \frac{\partial C}{\partial Z} + W_0 C]_{Z=1} = 0, \text{河床 } [\frac{\partial C}{\partial Z}]_{Z=0} = 0, \text{上流端 } C(0, Z) = C_0(Z) \quad (3)$$

である。ここで、 x 及び z はそれぞれ流下方向、鉛直上向きに距離座標、 C は浮流砂濃度、 u は流速、 E_z は浮流砂の拡散係数、 W_0 は流木中における砂粒子の沈降速度、 h は木深、 U_* は摩擦速度、 C_{∞} は上流端における浮流砂の底面濃度である。流速は対数則に従い、砂粒子の拡散係数は運動粘性係数に等しいものとし、それぞれ次式で与える。

$$\text{流速分布 滑面 } U = \frac{1}{K} \ln(q U_* h / U_* Z) \quad (4)$$

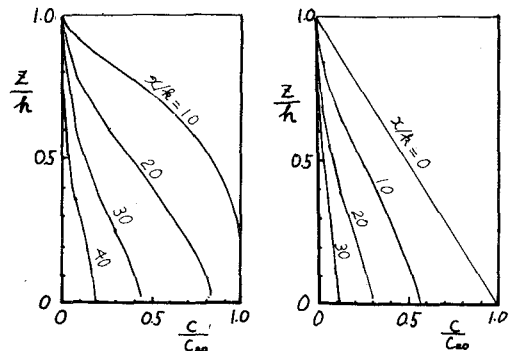
$$\text{粗面 } U = \frac{1}{K} \ln(30 h / k_s Z) \quad (5)$$

$$\text{浮流砂の拡散係数 } E_z = K Z (1 - Z) \quad (6)$$

ここで、 K はカルマン定数、 ν は運動粘性係数、 k_s は木路床の粗さである。

3. 浮流砂濃度分布と浮流砂量の流下方向の変化

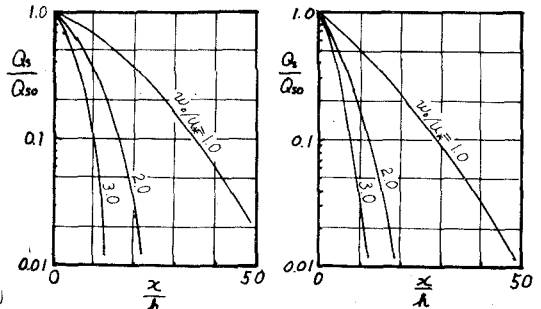
(2)式をCrank-Nicholsonの差分スキームにより差分化し、浮流砂濃度分布の流下方向の変化を求めた。上流端における浮流砂の濃度分布として、一様分布と三角形分布を想定し、 $U_* h / \nu = 10^5$, or $h / k_s = 3.33 \times 10^4$, $W_0 / U_* = 1.0$ の場合について計算を行った結果を図-1, 2に示す。図-1, 2によると、流下するにつれて浮流砂濃度は及び浮流砂量が、減少していく様子が分る。



(a) 一様分布

(b) 三角形分布

図1. 濃度分布、流下方向、変化 ($U_* h / \nu = 10^5$; $h / k_s = 3.33 \times 10^4$)



(a) 一様分布

(b) 三角形分布

図2. 浮流砂量の流下方向の変化 ($U_* h / \nu = 10^5$; $h / k_s = 3.33 \times 10^4$)

4. 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表わす図-2より、浮流砂量が流入時の10%に減少する(全体の90%が堆積する)のに要する距離 x_s を読みとり、 x_s/h と w_0/U_* の関係を U_*h/ν をパラメータとして図-3に示す。図-3によると、上流端における浮流砂が一様分布として流入する場合と、三角形分布として流入してくる場合とでは、 x_s/h と w_0/U_* の関係は同様の傾向を示しそれぞれ次式で表示できる。

$$\frac{x_s}{h} = a \left(\frac{w_0}{U_*} \right)^{-b} \quad (7)$$

ここで、 a 、 b は係数である。堆積量が全体の50%、80%、95%、99%の場合も同じ傾向を示す。

図-3から a 、 b を求め、 U_*h/ν 、 Q_s/Q_{s0} などのパラメータとの関係を図-4~6に示す。図中の数字は全流入浮流砂量に対する堆積量の割合を表わす。ここで、 Q_s は浮流砂量、 Q_{s0} は上流端における浮流砂量である。

図-4より a は U_*h/ν (or h/k_s)、 Q_s/Q_{s0} の関数となり、次のように表示される。

$$a = m \left(\frac{U_*h}{\nu} \right)^n \quad (8)$$

$$\text{または } a = m' \left(\frac{h}{k_s} \right)^n \quad (9)$$

ここで、 m は図-5に示すように Q_s/Q_{s0} の関数となる。

n は図-4の直線の勾配から求められ、一様分布の場合、三角形分布の場合とも、 $n = 0.084$ である。また m' は、 $m' = m \times (10/3)^n$ として与えられる。

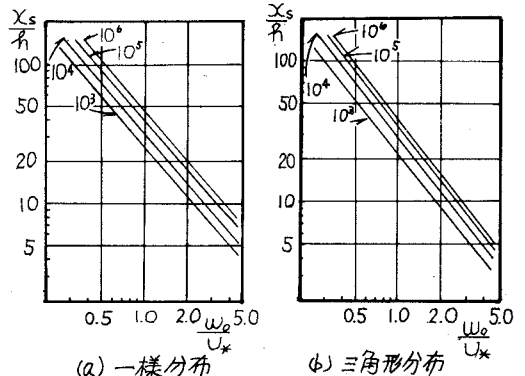
5. まとめ 実際の河川における浮流砂の堆積現象は、多くのパラメータに影響されると考えられるが本報告のシミュレーションでは、問題を簡素化するために、2次元等流状態の純堆積過程にある現象を考えた。この場合には、浮流砂の到達距離は次式で表示されることが示された。

$$\frac{x_s}{h} = m \left(\frac{U_*h}{\nu} \right)^n \left(\frac{w_0}{U_*} \right)^{-b} \quad (10)$$

$$= m \left(\frac{10}{3} \right)^n \left(\frac{h}{k_s} \right)^n \left(\frac{w_0}{U_*} \right)^{-b} \quad (11)$$

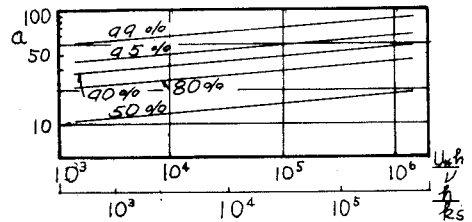
ここで、 $n = 0.084$ であり、 m 、 b は図-5、6により決定することができ。

本研究は早稲田大学特定課題研究助成費を受けて行なわれたことを付記し、謝意を表します。

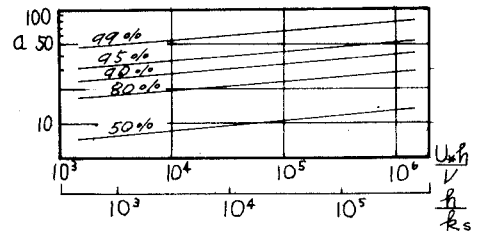


(a) 一様分布 (b) 三角形分布

図3 x_s/h と w_0/U_* の関係



(a) 一様分布



(b) 三角形分布

図4 a と U_*h/ν 、 h/k_s の関係

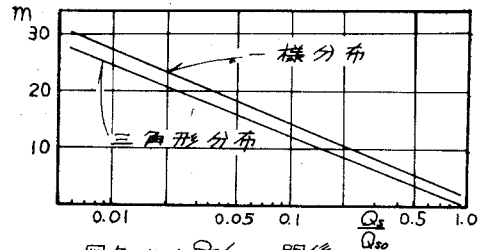


図5 m と Q_s/Q_{s0} の関係

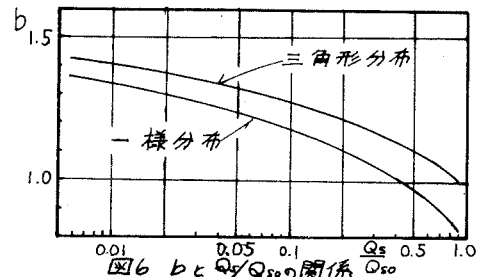


図6 b と Q_s/Q_{s0} の関係