

徳島大学工学部 正会員 杉尾 捨三郎
 同 上 学生員 ○土井 建朗
 同 上 学生員 坂東 高

1 概説：浮遊土砂量を算定する際、河床付近の濃度の決定が大きな問題とされている。本研究は、河床付近における浮遊砂の挙動を、流速分布の点から論じたものである。すなわち Rouse が提案した土砂濃度分布式を再検討し、その欠点を指摘するとともに、流速分布の $1/7$ 乗則が土砂流中において成り立つと仮定して、新に、Lane, Kalinske 型の濃度分布式を誘導し、これより得られた流砂強度分布について若干の考察をおこなっている。

2 浮遊砂の濃度分布について：Rouse の濃度分布式は次式で与えられる。任意高さの濃度を C とすれば

$$\frac{C}{C_a} = \left(\frac{h-y}{y} \cdot \frac{a}{h-a} \right)^5 \quad \chi = \frac{\omega_s}{\kappa \cdot U_*} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 h = 全水深、 ω_s = 沈降速度、 C_a = 河床から a の高さにおける土砂濃度である。この際次の欠速度則が利用されている。
$$\frac{U_{\max} - U}{U_*} = \frac{2.3}{\kappa} \cdot \log_0 \frac{h}{y} \quad (2)$$

この両式を用いて浮遊土砂量を算定する際、(1) 式においては、水面において常に $C=0$ となり、また河床付近でやや過大な流砂量を与えるおそれがあり、(2) 式においては、カルマン定数を変数と取り扱っても、土砂流中の流速分布を表現しつくせない弱点がある。

(1)：濃度分布式：上述の考察に基づいて、流速分布の $1/7$ 乗則が成り立つと仮定すれば、

$$\frac{U}{U_{\max}} = \left(\frac{y}{h} \right)^{1/7}, \quad U_{\max} = \frac{8}{7} \cdot \frac{\tau}{h} \quad (3)$$

ここに、 τ = 単位巾流量である。なお(2)式と(3)式の流速分布形状は Vanoni⁽¹⁾の実験結果を用いて $F_{12}=1$ に比較されている。

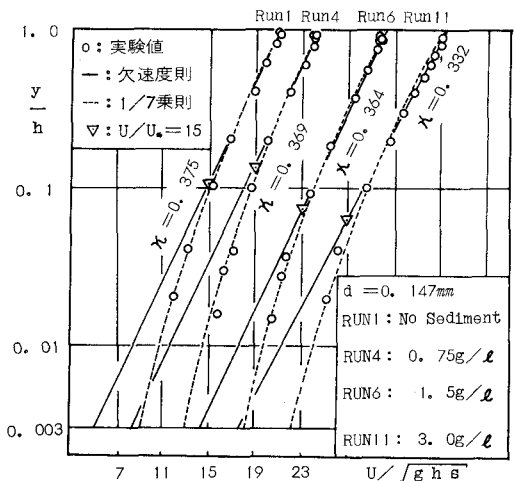


Fig. 1 欠速度則と $1/7$ 乗則

せん断力 τ と平均速度 U の間には次の関係が成り立ち、かつせん断応力分布は直線的であるとすれば、

$$\tau = \rho \cdot \eta \cdot \frac{du}{dy} = \rho \cdot g \cdot h \cdot S \left(1 - \frac{y}{h} \right) \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 S = エネルギーこう配、 ρ = 土砂流の密度、 h = 水深、 η = 広義の粘性係数。(3)式により du/dy を求めて(4)式に代入し、 η について整理して、その断面平均 η_m を考える。浮遊物質の拡散係数を水深方向に一定 ($=\eta_m$) として取り扱えば、土砂濃度分布式は次式で与えられる。(式中の n はマニングの粗度係数である。)

$$\frac{C}{C_a} = \exp \left(- \frac{\omega_s (y-a)}{\eta_m} \right), \quad \eta_m = 1.1543 \frac{h^2 \cdot U_*^2}{g} = \beta \cdot U_*^2, \quad \beta = 1.1543 n \cdot g^{1/2} \cdot h^{5/2} \quad (5)$$

(2)；流砂強度 g'_s ：鉛直水深方向に単位厚さの部分を通して流速される浮遊砂量を仮りに流砂強度と名付けるとし、 g'_s を表わせば

$$g'_s = U \cdot \frac{C}{C_a} \quad \text{----- (6)}$$

(6) 式で定義される流砂強度分布を芦田⁽²⁾の行った実験結果の一部を借用して(実験砂の粒度分布図: Fig-2) , 面濃度分布式(1), (5)式>について比較する。流速分布は, 各々, (2)式, (3)式で与えられるとする。ただし(2)式において, $U_{max} = U_* \cdot (8.5 + 5.75 \log h / \delta_s)$ を用いている。まず実験砂を図のように10群に分割し, 各粒径範囲の砂の粒径を, その幾何平均で代表させることにする。Fig-3は, 第I群の砂について計算された流砂強度分布図である。(粒径範囲0.3~0.185mm, 全体に対する重量割合3%, 幾何平均0.236mm)。諸元は次の様に与えられているものとする。 $h=10\text{cm}$, 水路巾 $B=20\text{cm}$, $g=250\text{cm}^2/\text{s}$, 総流砂量 $G=30.48/\text{s}$ 。これらの資料から, 広巾長方形断面とみなして次の諸量が計算される。 $U_* = 1.587\text{cm/s}$, マニングの $n=0.0138$ 。この場合, 浮遊砂の最大粒径0.3mmの砂が水深 $h=10\text{cm}$ において限界掃流流状態に達すると仮定して岩垣公式より U_{*c} を求め, 上記流量と水深の下で $U_* = U_{*c}$ となる n とマニング式から逆算した。また第I群の砂に対する河床付近の濃度 C_a の値は, この粒径範囲の砂の流砂量 $0.03 \times G$ δ/s , および高さ a として最大粒径の大きさを(0.3mm)与えることにより逆算された。ここに流砂強度 g_s の極大値を与える高さ y_m はラウス分布式, $1/\eta$ 乗則を用いた場合の各々について, (7), (8)式により計算される。

$$\frac{y_m}{h} = 1 - 5(3.4 + \ln \frac{y_m}{\delta_s}) \quad (7)$$

$$y_m = \frac{B \cdot U_*}{7 \cdot \omega_s} \quad \text{-----} (8)$$

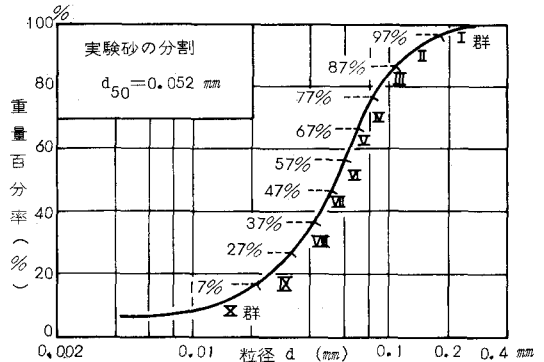


Fig. -2 使用砂の粒度分布

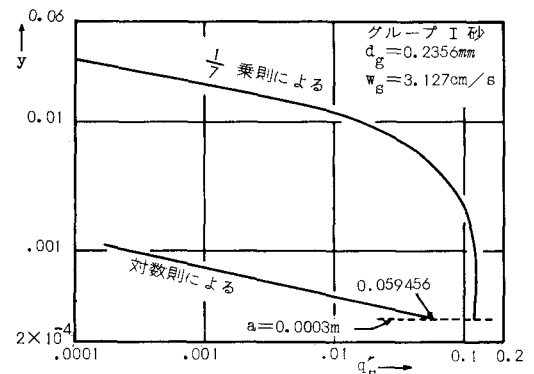


Fig-3 流砂強度分布図

3 流速分布について: 2において, 流速分布の $1/\eta$ 乗則が成り立つとして濃度分布を求めたが, ここでは逆にせん断力分布と平均速度こう配から定まる係数としての粘性係数を, 浮遊砂の濃度 C および粒径 d の関数として, 次式のように仮定する。

$$\eta = U_* \cdot h \cdot f(C, d; \frac{y}{h}) \quad \text{-----} (9)$$

権貝⁽³⁾のおこなった数学的取り扱いを考慮して, 簡単のため, (10)式を仮定して(4)式に代入すれば, (11)式が得られる。

$$f(C, d; \frac{y}{h}) = (1 - \frac{y}{h}) \cdot (\eta \frac{y}{h})^\eta \quad (10)$$

$$\frac{dU}{dy} = \frac{U_*}{\eta^\eta h (\frac{y}{h})^\eta} \quad \text{-----} (11)$$

(11)式において, $\eta = 1$ とおけば(2)式, $\eta = 0/\eta$ とおけば(3)式が得られる。

4 結 言: Fig-3によれば, ラウス式の方は水底の1mm厚さ付近に流砂が集中し, 特に水底に近づくほど急速に g_s が増大することになり, 現実に容認しがたい結果を与える。一方 $1/\eta$ 乗則を用いた場合には, 水底から2mm厚さあたりまでは y の減少と共に g_s は急激に増すが, それ以下ではほぼ一定を保つと見ることができ, むしろ合理的である。

本研究は, 昭和50年度文部省科学研究費の支給を受けておこなわれたことを記し, 謝意を表す。

参考文献: ⁽¹⁾Vito A. Vanoni: Transportation of suspended sediment by water, ASCE, June, 1944.

⁽²⁾矢野・芦田・大同: 浮遊砂による貯水池の堆砂に関する研究; 京大防災研年報, No 7, 1964.

⁽³⁾権貝: 乱流の速度分布則について; 土木学会論文集第152号(昭和43.5)