

早稲田大学理工学部 正会員 鮎川 登
 早稲田大学大学院 学生会員 O杉山 弘泰
 水資源開発公団 正会員 浦山 真次郎

1.はじめに 鶴見川の河床変動を掃流砂量式として芦田・道上式、浮遊砂量式として Lane-Kalinske 式を用いて計算したところ突刺値と非常に異なる結果が得られた。計算の結果によると、鶴見川の流砂量の大部分は浮遊砂によって占められており、浮遊砂量の算定のしかたに問題があると考えた。すなわち、浮遊砂は水理量に変化しても、直ちに水理量に応じた流砂量には変化せず、水理量の変化に対して応答が遅れが存在するため、各断面における水理量を用いて Lane-Kalinske 式により浮遊砂量を算定したのでは、水理量が流れ方向に変化する奥瀬河川における浮遊砂による河床変動を説明しえないのではないかと考えた。この点を考慮して Kerssens¹⁾によって提案された方法に基づいて各断面における浮遊砂の濃度分布を数値計算により算定し、浮遊砂量を求め、それを用いて河床変動を計算することを試みた。ここでは、浮遊砂による河床変動に関する水路実験を行ない、突刺値と計算値を比較検討した結果について述べる。

2.浮遊砂による河床変動の解析法

幅一定の長方形断面水路における浮遊砂による河床変動の式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial z_b}{\partial T} + \frac{1}{(1-\lambda)} \frac{\partial q_s}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

ここで、 z_b は河床高、 λ は河床砂の空隙率、 q_s は単位幅あたりの浮遊砂量である。 q_s は次式で計算される。

$$q_s = \int_0^R C u dz \quad (2)$$

ここで、 h は水深、 C は浮遊砂濃度、 u は流速である。浮遊砂濃度 C は、濃度分布式

$$C \frac{\partial u}{\partial z} + u \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial z} (K_x \frac{\partial C}{\partial z}) - w_0 \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

により求める。ここで、 K_x は x 方向の拡散係数、 w_0 は浮遊砂の沈降速度である。流速分布は対数則に従うものとする、

$$u = \frac{U_*}{K} \ln \frac{z}{z_0} \quad (4)$$

となる。ここで、 U_* は摩擦速度、 K はカルマン定数で、 $K = 0.4$ とし、 z_0 は相当粗度である。

3.実験の概要

幅10cm、高さ20cm、長さ8mの鋼製水路の中央付近に勾配1/5の急斜面を設置し、それより上流側の水路床を10cm上げ底にした水路(図1)を用いて実験を行った。実験は水路の下流端に堰を設置して水を流し、上流から図2に示すような粒度分布の砂を上流部の水路床に堆積する程度に供給して行い、急斜面およびその下流部における堆砂状況、流速分布および浮遊砂の濃度分布を測定した。急斜面上では掃流砂の堆積が著しかったが、下流部の堆積は浮遊砂による事が観察された。

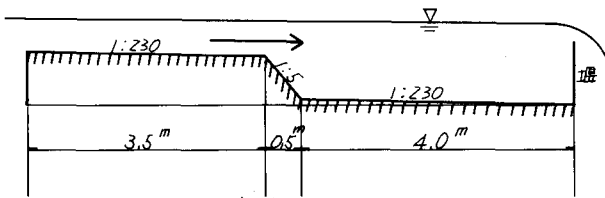


図1 実験水路

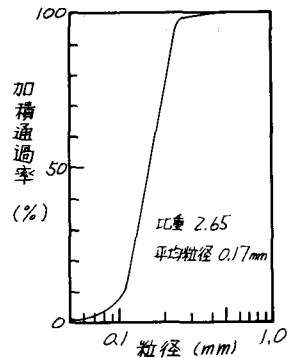


図2 粒径加積曲線

4. 計算法および計算結果と実験結果の比較

流速は対数則(4)式により求める。摩擦速度 u_* と相当粗度 k_s は、

次式により算定した。

$$u_* = \frac{n\sqrt{g}}{R} U_m \quad (5), \quad k_s = R / 10 \exp \frac{K_z}{23} \left(\frac{U_m}{u_*} - 6.0 \right) \quad (6)$$

ここで、 n はマンニングの粗度係数、 U_m は平均流速、 R は径深である。平均流速 U_m と径深 R は不等流計算により求めた。浮遊砂濃度は(3)式を数値積分して求める。拡散係数 K_z は、渦動粘性係数に等しいとして、

$$K_z = K U_* z \left(1 - \frac{z}{h} \right) \quad (7)$$

とした。数値計算は図3に示すような差分スキームにより(3)式を Implicit 差分式で表示し、繰返し法により解を求めた。数値計算により浮遊砂濃度を求めるためには、上流端の濃度分布と水面および水路床における浮遊砂濃度を境界条件として与える必要がある。上流端の濃度分布を Lane-Kalinske の式

$$\frac{C}{C_0} = \exp \left(-15 \frac{z}{h} \frac{u_*}{U_*} \right) \quad (8)$$

により与えた。水面における浮遊砂濃度は、

$$(u_* C + K_z \frac{\partial C}{\partial z})_{z=h} = 0 \quad (9)$$

の条件より求めた。水路床における浮遊砂濃度は、Lane-Kalinske の式

$$C_0 = 5.55 \Delta F(w_s) \left\{ \frac{1}{2} \frac{u_*}{w_s} \exp \left[- \left(\frac{w_s}{u_*} \right)^{1.61} \right] \right\} \quad (10)$$

により算定した C_0 (ppm) と α 倍して与えた。ここで $\Delta F(w_s)$ は沈降速度 w_s の砂が水路床

砂中に占める割合である。沈降速度 w_s は Rubey の式により求めた。 α の値は河床変動

計算による堆砂高が実験値にあうように決定し、 $\alpha = 15$ とした。(本計算では水路床砂の粒度分布を上流から供給した砂の粒度分布と同じとし、 $0.110\text{mm}:25\%, 0.158\text{mm}:50\%, 0.227\text{mm}:25\%$ としたが、計算結果によると下流部に流送され堆積する砂の大部分は 0.110mm であるので、下流部の水路床砂を $0.110\text{mm}:100\%$ とすれば、 $\alpha = 4$ 程度になるものと考えられる。)

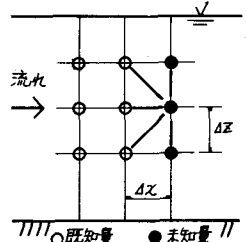


図3 差分スキーム

流量 2.97 l/sec , 下流端水深 17.8cm の場合について、

$n = 0.015$ とし、 $\Delta x = 5\text{cm}$, $\Delta z = h_s/10$ (h_s : 水深), $\Delta t = 15\text{min}$ とし河床変動計算を行った結果と実験結果の比較を図4, 図5に示す。これらの図によると、計算値と実験値はほぼ一致した傾向を与えることがわかる。

5. おわりに 今後は、浮遊砂の濃度分布、粒度分布、流速分布について詳細な測定を行い、浮遊砂の拡散係数、水路床における浮遊砂濃度の算定などについて検討を加える予定である。

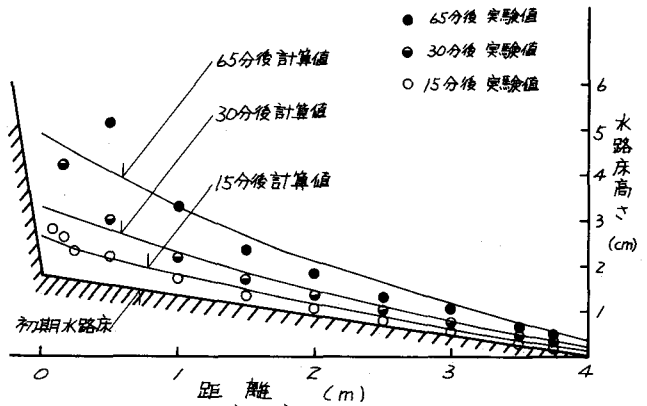


図4 堆砂高の変化

本研究を進めるにあたって、早稲田大学理工学部学生加茂孝之、堀田未知男の両君の援助を得た。また文部省科学研究費(総合研究(A):研究代表者 早稲田大学理工学部吉川秀夫教授)の補助を受けた。ここに記して謝意を表します。

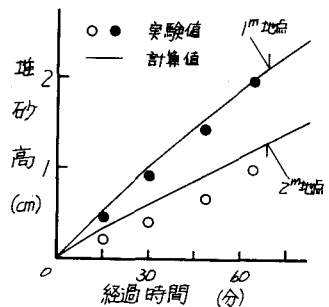


図5 堆砂高の時間変化

参考文献: 1) Peter, M. J. Kerssens, Ad Prins, Leo C. van Rijn: Model for suspended sediment transport, Proc. ASCE, Vol. 105, No. HY5, May, 1979, pp. 461 ~ 476