

九州大学 工学部 正員 平野宗夫
九州大学 工学部 正員 大本照恵
九州大学 工学部 学生員 永野 広

1. まえがき

本研究は前報に引き続き浮流砂を確率論的視点から検討を行なったものである。前報では、流れが等流の場合の流水中に於ける粒子の挙動に関する統計的的特性量を求め、この特性量をもとにシミュレーションを行なった。今回は、貯水池をモデルとする幅が一様で水深が流れ方向に増加する開水路漸変流を対象にして粒子の追跡実験を行ないその移動特性を考察し、併せて、濃度分布のシミュレーションを行ない実験値と比較検討した。

2. 実験の概要

実験水路は、図1に示す長さ5m、幅25cm、高さ20cmの側面アクリル製の可変勾配水路であり、底面には中央粒径 $d_{50}=2.5\text{ mm}$ の砂粒を密に張り付け、水路上流には整流装置を、下流端には可動堰を備えている。実験は、可床勾配 $i_b=1/25, 1/75, 1/125$ の不等流に於いて種々の測定を行なった。まず、流速は各勾配に対して水路中心線上の2断面に於いて直径5mmの小型プロペラ流速計を用いて測定した。粒子の挙動は、上流よりポリスチレン粒子(比重1.07、

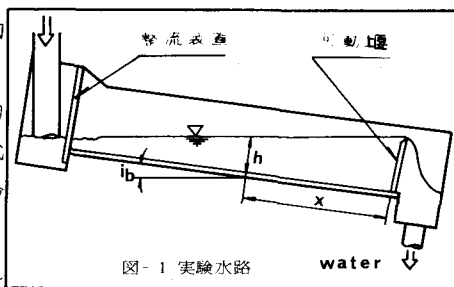


図-1 実験水路

粒径1.7mm)を投入し、2地点にて水路側方より16mmカメラを用いてコマ・スピード(64コマ/sec)で撮影した。また、その移動量はSonic Digitizerを用いて時間間隔 $5/64\text{ sec}$ で解析した。統計的的特性量である粒子の平均移動量 $(\bar{x}, \bar{y})$ 、標準偏差 (σ_x, σ_y) 、歪度 (S_x, S_y) および ξ と η の相関係数は、各断面に於いて水深を10層に分割し各層について求めている。次に、漸変流に於ける二次元濃度分布の測定は、一定量のバークレイ濁水をLine Sourceとして連続的に供給し続け濃度が定常になったのを確認した後、Sourceより下流の4地点に於いてサイフォン式採水装置を用いて行なった。なお、乱れの大きさを考慮して採水時間は約10 sec程度に取っている。

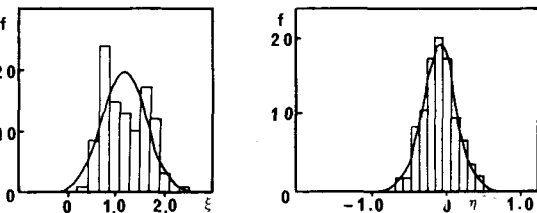


図-2 ξ, η の頻度分布 (上流側)

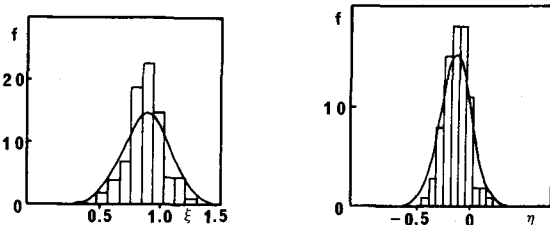


図-3 ξ, η の頻度分布 (下流側)

3. 実験結果および考察

測定結果の一例として、図2および図3は河床勾配 $i_b=1/25$ 、相対水深 $y/h=0.5$ に於いて上流側(堰より260cm)と下流側(堰より150cm)での粒子移動量の頻度分布である。図中の実線は粒子の平均移動量と標準偏差を分布特性値とする正規分布である。頻度分布の正規分布への適合性について χ^2 検定を行なった結果、河床勾配 $i_b=1/25$ の上

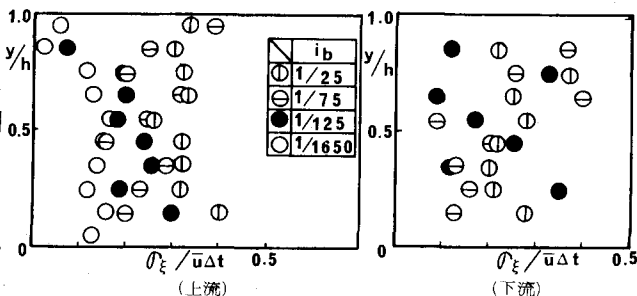


図-4 σ_y の深さ方向の分布

流側では全体の $2/3$ は有意水準 5% で正規分布に従うことがわかり等流の場合と同様に、漸変流に於いて遷移確率に正規分布を仮定しても妥当であるように思われる。

図4および図5は、それぞれ Q_1 および Q_2 の深さ方向の分布を主流方向の局所的平均流速により無次元化して表わしており、 Q_1 は上流に於いて勾配の影響が現われているが下流では大きな差異は認められず、且つ、不等流の方が等流に比べ大きな値を示している。 Q_2 は上流、下流とも勾配の影響は認められない。また、 $Q_1 \approx Q_2$ であることがわかる。

図6は、3種類の各勾配に対し上流側および下流側に於いて深さ方向にちととの相関係数をプロットしたものである。バラツキが大きく明確な事は言えないが、全般的に河床で負の相関が強く、自由表面に近づくにつれて相関の弱くなることがわかる。図7は粒子移動量の頻度分布の非対称性を示すパラメータである歪度を表わしている。 S_1, S_2 とも深さ方向に系統的な傾向は認められずゼロを中心にばらついており頻度分布はほぼ対称に近い分布形であると思われる。

図8は、河床勾配 $i_b = 1/25$ に対して断面平均濃度で無次元化した鉛直方向の濃度分布が流れ方向に変化する過程を示している。図中の計算値は(1)式を基礎式としてシミュレーションを行なったものであり、境界条件として、自由表面では水面上方に仮の層を設け(仮想上層)、この層に遷移してくる粒子は水面直上から遷移確率に片側正規分布を仮定し、水面下の各層に拡散させており、河床では仮想上層と同様に河床下に仮想底層を設け、この層に到る粒子は掃流砂とみなして河床直上の層に加えている。図より実測値の方が計算値に比べ多少早く下方へ拡散している。この原因として確率モデルの検証に粒径の非常に小さいパールクレイ粒子を用いたことが考えられる。なお、相関係数 $r = 0$ と置いてある。

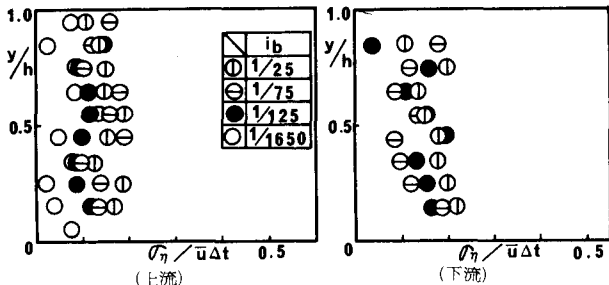


図-5 Q_2 の深さ方向の分布

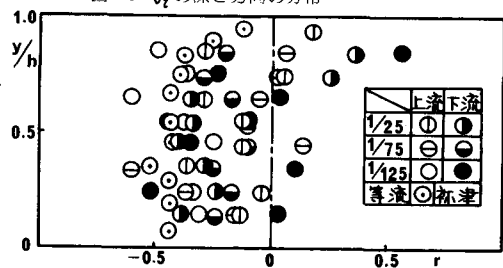


図-6 相関係数

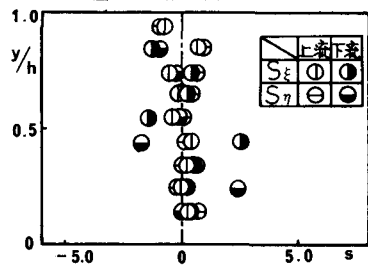


図-7 歪度

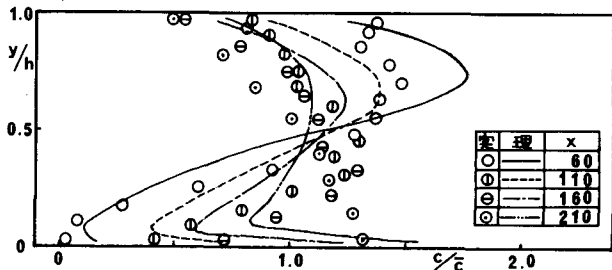


図-8 計算値と実測値との比較 ($i_b = 1/125$)

$$f(x, y) = \int_0^y \int_0^x f(x, y, z) \cdot \phi(z) dz$$

$$\phi(z) = \frac{1}{2\pi \sigma_1 \sigma_2 \sqrt{1-r^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-r^2)} \left\{ \frac{(z-\bar{z})^2}{\sigma_1^2} - 2r \frac{(z-\bar{z})(x-\bar{x})}{\sigma_1 \sigma_2} + \frac{(x-\bar{x})^2}{\sigma_2^2} \right\} \right\} \quad (1)$$

4. あとがき

以上本文では、貯水池をモデルとする漸変流に於いて浮遊粒子の移動特性を実験的に考察し、その結果を踏まえて確率モデルのシミュレーションを行なった。今後は確率モデルの適用できる粒径の範囲について検討を加え、また、河床付近の粒子の挙動に関してより詳細な実験を行なう予定である。

参考文献 1) 平野・志岐・大本; 浮流砂に関する実験的研究 第35回年講 1980