

九州大学 工学部 学生員 大本照憲

九州大学 工学部 学生員 永野 広

九州大学 工学部 学生員 岡山 修

1. まえがき

確率論的立場から浮流砂濃度分布を求める基礎式である積分方程式は、Yalin により誘導され数値計算が行われている。又、石川等は Wiener-Hopf の積分方程式を深さ方向に乱れの一様な水理条件において解析的に解いている。本研究は、せき上げ管水曲線 (S_b 曲線) を介して流れ方向にしだいに増加する間水路漸拡流に於ける二次元濃度分布をシミュレーションする際に必要な積分方程式の核に相当する遷移確率密度関数を求めるために、ポリスチレン粒子を漸拡定常流に投入して、その移動に関する統計的特性量を得たのでその結果を報告する。

2. 実験装置および方法

図1は、貯水池をモデルとした長さ5m幅25cm深さ20cmの両面アクリル製の変勾配水路であり、底面には中央粒径 $d_{50} = 3.2\text{mm}$ の砂粒を密に張付けている。流入口には整流装置を、流出端には排水水深を調整するために可動堰を設けている。実験は、河床勾配が $1/25$, $1/50$ および $1/100$ の三種について、各勾配に対して水路中心線上の二断面に於いて直径5mmの小型プロベラ流速計を使って深さ方向の流速分布を測定した。粒子の軌跡は比重1.06粒径1.7mmのポリスチレン粒子を上流より投入し、二地点において水路側方から16mmカメラを用いコマスピード64 (mm/sec) で撮影した。粒子の移動量 (ξ, η) は Sonic Digitizer を用いて時間間隔 5/64 sec 間で解析した。

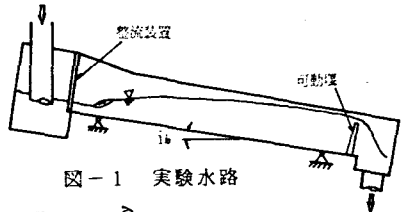


図-1 実験水路

た。粒子の統計的特性量である平均移動量 ($\bar{\xi}, \bar{\eta}$)、標準偏差 ($\sigma_{\xi}, \sigma_{\eta}$) と ξ と η の相関係数 r は、各断面に於いて水深を10層に分割し各層ごとに求めた。次に、漸拡流に於ける二次元濃度分布の測定は一定量のパールクレイ濁水を注入し、Source より $X = 60\text{cm}, 110\text{cm}, 160\text{cm}, 210\text{cm}$ に於いてサイフォン式採水装置を用いて行われた。乱れによる濃度の変動を考慮して採水時間は約10 sec程度に取った。

3. 実験結果および考察

図2および図3は、上流側(堰より260cm)および下流側(堰より150cm)に於けるX方向とY方向の粒子移動量の頻度分布である。いずれも、河床勾配 $1/25$, $1/50$ に於ける測定値である。図中の実線は測定値から求めた平均移動量および標準偏差をもとにした正規曲線である。図2, 図3は測定の一例であり、全般的には等流と同様に漸拡流に於いて遷移確率密度関数に正規分布を仮定しても妥当であるように思われる。

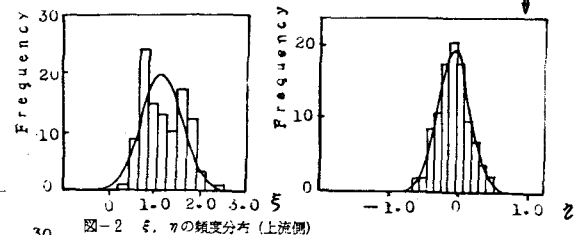


図-2 ξ, ηの頻度分布 (上流側)

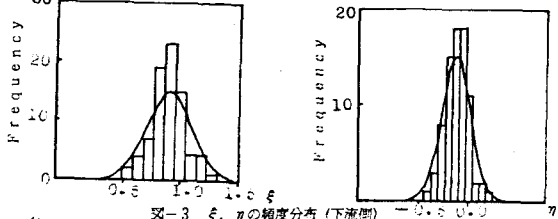


図-3 ξ, ηの頻度分布 (下流側)

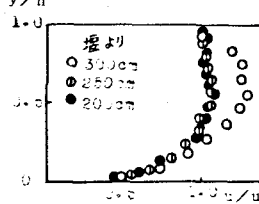


図-4 流速分布

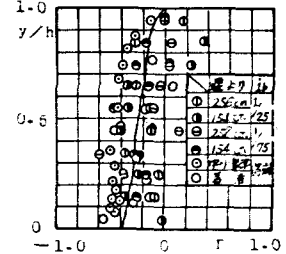


図-5 相関係数

図4は、勾配 $1/25$ に対する鉛直方向の流速分布を示したものである。この図より流速は下流へ行くに従って一様化しており、跳水による自由表面の激しい渦あるいは乱れの影響はしだいに小さくなっていくようである。

図5は、 $5/4$ sec 間の粒子の移動量に関する相関係数である。バラツキは大きいものの河床では負の相関が強く、自由表面ではいくぶん小さくなっており等流とほぼ同様の傾向にある。又、等流に於いて剪断応力と Reynolds 応力との関係で速度変動を粒子の変動量で置換して求めた図中の実線は、中川根津による Hot-film 流速計を用いて測定した速度変動の相関係数と比べて小さい値を示している。

流れ方向および鉛直方向の粒子の移動量の標準偏差は、上流側においては勾配 $1/25$ および $1/650$ に対して、下流側では $1/25$ に対して各々図6、図7のようである。なお、流れ方向には平均移動量鉛直方向については沈降速度で無次元化している。 G_1, G_2 とともに跳水に近い上流では、勾配の影響が表われているが水深の大きくなる下流側では顕著な差異は認められないことがわかる。

図8は河床勾配 $1/75$ に対して図9は流れが等流の場合に対して、それぞれ断面平均濃度で無次元化した鉛直方向の濃度分布の流れ方向への変化の様子を示したものである。 G_1, G_2 の大きさに応じて一様化の傾向は異なるが、それに加えて流速分布の影響も効いているようである。図9の実線は、同一の水理条件の下に(1)式をシミュレーションした結果である。ここに、 $f(x, y)$ は濃度と相似な関係にある存在確率密度関数であり、 $\phi(x-5, y-2)$ は遷移確率密度関数である。

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x-5, y-2) \phi(5, 2) d5 d2 \quad (1)$$

$$\phi(5, 2) = \frac{1}{2\pi G_1 G_2 \sqrt{1-r^2}} \exp \left[-\frac{1}{2(1-r^2)} \left\{ \frac{(5-\bar{5})^2}{G_1^2} - \frac{2r(5-\bar{5})(2-\bar{2})}{G_1 G_2} + \frac{(2-\bar{2})^2}{G_2^2} \right\} \right]$$

4. あとがき

本研究では、新拡流に於ける遷移確率密度関数の分布形並びにそのパラメータについて検討を行った。現在、以上の実験結果を下にシミュレーションを行っている。最後に、本研究を進めるにあたって適切な御助言および御指導を頂いた九州大学平野助教授に、また実験およびデータ整理に協力してもらった本学学生長友淳君に深く謝意を表します。

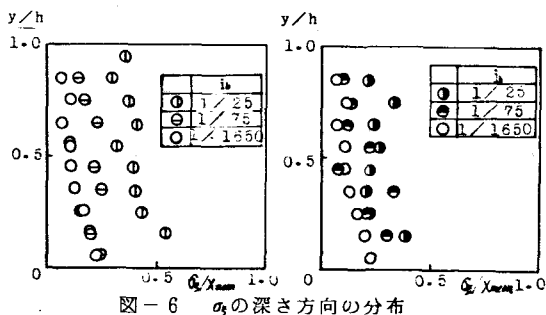


図-6 G_2 の深さ方向の分布

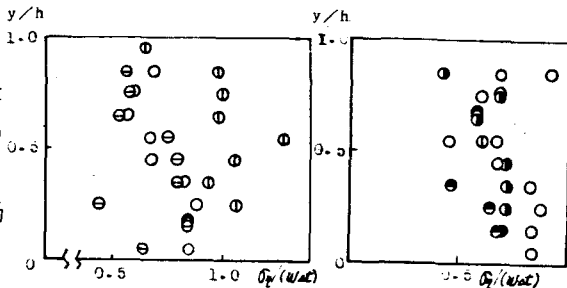


図-7 G_2 の深さ方向の分布

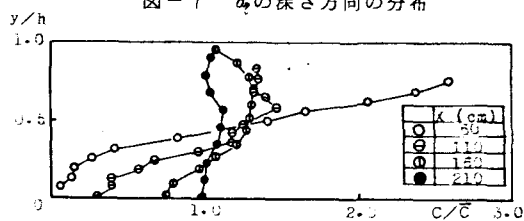


図-8 漸拡流に於ける濃度分布 ($i = 1/75$)

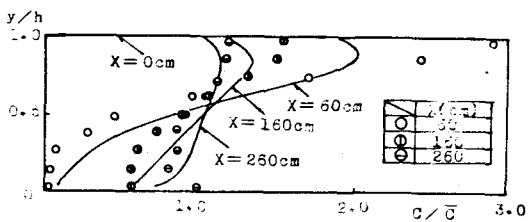


図-9 等流に於ける濃度分布