

非平衡浮遊砂の濃度分布

金沢大学工学部 正 員 辻 哲郎
 金沢大学大学院 学生員 ○山元 達郎
 金沢大学工学部 藤本 俊晃

1. まえがき

本研究は、浮遊砂濃度の平衡・非平衡の問題と、定常・非定常の問題について、考察するものである。従来の浮遊砂濃度についての研究は、平衡・定常状態について取り扱っているものが多く、他の状態に対する興味は最近になって高まった。一方、掃流砂と浮遊砂の運動機構の統一的なモデルを確立するためにも、浮遊砂濃度の発達過程は明らかにされねばならない。ここでは、浮遊砂濃度の場所的な変化と時間的な変化を、確率過程モデルを用いて取り扱った。

2. 浮遊砂濃度の発達過程の数値模擬

濃度分布の状態は、場所的な面では平衡状態と非平衡状態に分類され、時間的な面からは定常状態と非定常状態に分類される。従って、両者による四つの組み合わせがあり、それぞれの状態に対応した浮遊砂の濃度分布が存在する。

さて、数値模擬の対象として考える水路は図-1のように上流から給砂のない固定床に接続する移動床であり砂粒子はある高さ ($y_B = 0.05h$) から、一定の時間間隔で、一定の距離間隔をおいた地点 X_j から離散的に発生する状態を考える。まず、最初の地点 X_0 だけから発生する粒子による濃度分布の形成を考える。粒子は微小時間 ΔT ごとに N 個発生し、 ΔT 間に動く鉛直方向の移動距離は平均値が $-w_0 \Delta T$ (w_0 : 沈降速度)、標準偏差 $\sigma_\xi = k_0 \cdot \Phi_v(y) \cdot u_*$ 、 ΔT の正規乱数で与えられる。一方、流下方向には渦動粘性係数を一定とした流速分布に追従して運動するものとする。 ΔT : 浮遊砂運動の時間スケール、 $\Phi_v \equiv \sqrt{v'^2}/u_*$ 、 v' : 鉛直方向の乱れ速度であり、 Φ_v にはその水深平均の0.8を用い、渦動粘性係数も水深平均を用いて、 $\Pi_T \equiv u_* \Delta T / h \approx 0.2$ とした。

3. 非定常・非平衡状態の浮遊砂濃度分布

このようにして粒子の軌跡を追跡すると、図-2のように各時間、断面に対する濃度分布の配列が得られ、次に各断面の濃度分布についてアンサンブル平均をとる。この各断面の濃度分布を、その断面の粒子個数 n_j と、面積が1になるように規格化した濃度分布形 f_j とに分解する。ここで各時間の全ての粒子個数に対する各断面内の粒子個数の割合を図-3 (a) で、 f_j を図-3 (b) に示した。

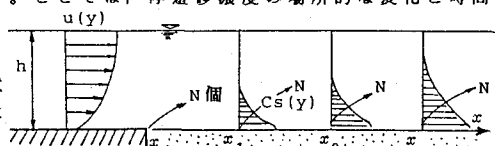


図-1 移動床流路のモデル

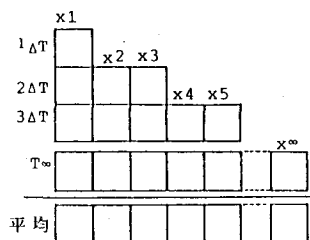


図-2 濃度分布の時間的、位置的な配列

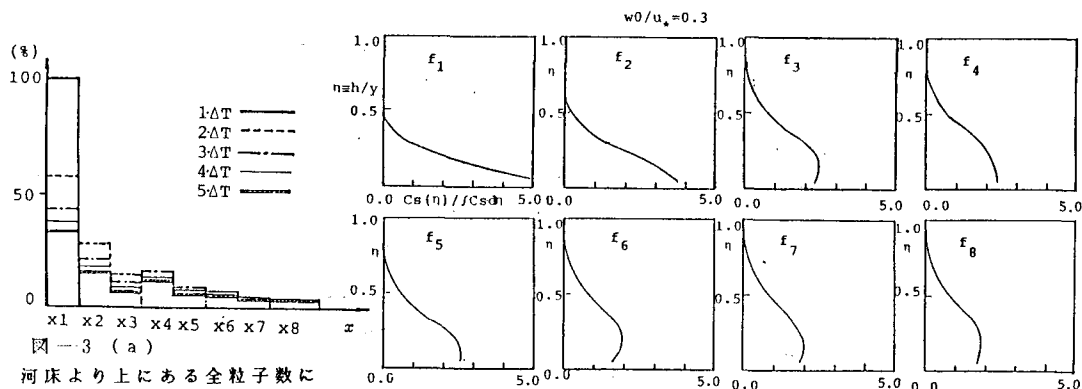


図-3 (a) 河床より上にある全粒子数に対する各断面内の個数の割合

図-3 (b) 濃度分布形 f_j の流れ方向への変化

モデルでは、粒子の発生源は、流下方向に等間隔で並んでいるのだから、さきに求めた f_j を n_j によって、以下の式のように重みづけして加え合わせればよい。

$$g(i, k) = \begin{cases} \tilde{g}(i, k) & i \leq I(k) \\ \tilde{g}(I(k), k) & i > I(k) \end{cases}, \quad \tilde{g}(m, k) = \sum_{j=1}^m n_j f_j / \sum_{j=1}^m n_j \quad (1)$$

$g(i, k)$ が $k \Delta T$ 時間後の、 i 番目の断面における濃度分布形である。 $I(k)$ は $k \Delta T$ 後に粒子が存在する末端の地点を表す。個数 n_j についてだけ、重ね合わせると図-4 (a) になる。例えば $w_0/u_* = 0.3$ の場合の $k \Delta T$ 後の状況をみると、 $I(k)$ 地点まで濃度分布が発達し、それより下流では平衡となっている。つまり $k \Delta T$ ではまだ非定常なので、 $I(k)$ より前の地点が非定常の非平衡区間となり、 $I(k)$ 以後が非定常の平衡区間となる。また、この図から、 w_0/u_* が小さくなるほど、非平衡区間が長くなることがわかる。

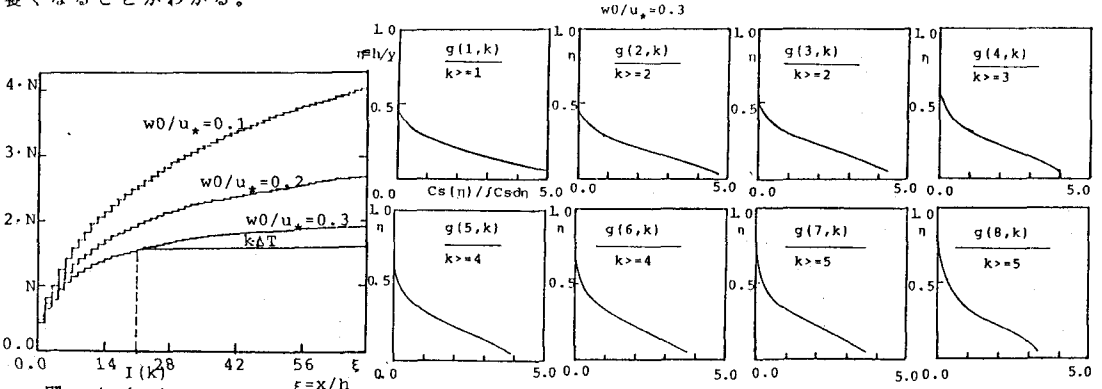


図-4 (a)

図-4 (b) 濃度分布形 $g(i, k)$ の変化

粒子数の時間的、空間的重ね合わせ

図-4 (b) は、式 (1) により求められた濃度分布形を描いたものである。図-5 は、移動床に入った直後の位置 X_1 の底面濃度で基準化した各位置の濃度分布形を描いたもので、流下方向に進むに従い、濃度分布形が上に張り出し、濃度自体も大きくなっていくことがわかる。図-6 は基準面を $y = 0.05h$ の高さにとった最終的な濃度分布図であり、ここでレイン・カリンスクの式との比較を行った。図-6 の実線は粒子の沈降性を考慮することによって得られる砂の運動量拡散係数と渦動粘性係数との比である β を導入したものである。一方、破線は $\beta = 1$ としたものであり著者の評価の適切であったことも傍証された。

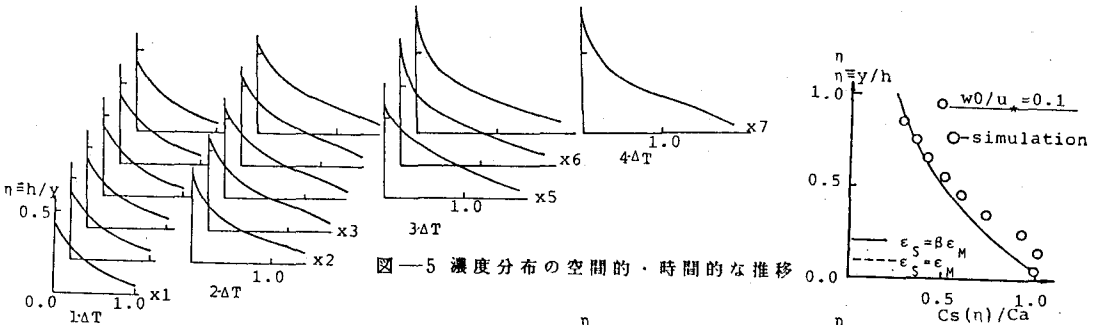


図-5 濃度分布の空間的・時間的な推移

4. あとがき

本研究では、浮遊砂濃度の発達過程について確率過程モデルを用い、数値模擬により考察をおこなった。これにより従来取り扱われることの少なかった非定常、非平衡問題についての記述が可能となった。今後は砂粒子の運動特性や水流の乱流機構についてモデルの検討を行い、実際の現象への適合性を高めていきたい。

1) 辻本 哲郎：第30回水理講演会論文集，1986。

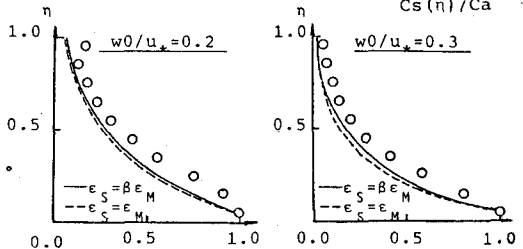


図-6 定常・平衡状態に対応する濃度分布形