

非平衡浮遊砂過程の確率論的検討

京都大学工学部 正 員 中川 博次
阪急電鉄(株) 正 員 〇八杉 隆

京都大学工学部 正 員 村上 正吾
京都大学工学部 学生員 後藤 仁志

1. はじめに 一般の河川においてよく見られる河床波においては底面剪断応力、乱れ強度分布、流れ等が場所的に変化し、また剝離渦の存在による河床の境界条件が著しく異なる部分が存在する。さらに一波長内で流砂は平衡に達せず、新たな非平衡性が重なり合ってゆくという複雑な現象を生みだしている。本報においては、掃流砂と浮遊砂を統一して取り扱い、河床波背面上での浮遊砂量及び濃度分布を求めるための基礎的な知見の収集に努めた。

2. 背面上での掃流砂 今、定常進行(平衡)河床波背面上での局所底面剪断応力の分布を次式の様に仮定する。 $\tau(\xi) = \tau_{s*}/k_2 \cdot \tau_{*c} = \eta_p(\xi + \xi_0)^m \cdots (1)$ ここに τ_{s*} は無次元摩擦剪断応力、 $\xi \equiv X/X_c$ (X : reattachment pointからの距離)、 $\xi_0 = (1/\eta_p)^{1/m}$ で、河床波の定常進行する条件と全抵抗の釣り合いより間接的に背面上での剪断応力の評価を試みた¹⁾。その結果、パラメータ η_p と m が外部条件 $q \cdot I_*$ に対して図-1, 2の様に求まり、 η_p が外部条件 $q \cdot I_*$ に対してほぼ線形に決まる一方、同じ $q \cdot I_*$ に対して水路勾配が大きいものほど形成される河床波勾配が小さいことより、 m は波形勾配と相関が強いことが理解される。また背面上での流速分布を $u/u_* = A(y/h)^{1/m}$ の形で与え、 A を各断面での実測値に適合する様にし、先の底面剪断応力分布を用いて irregular successive saltation による simulation を行った結果が図-3で、掃流砂の平均存在高さが波長の0.1~0.2倍程度で平衡に達することがわかる。図中にこの時の水理条件を示すとともに河床波の仮定された平衡形状も付しておいた。

3. 背面上での浮遊砂 背面上の各断面での平均存在高さに見合った saltation を想定し、各断面での乱れ強度分布を図-4に示す様に $\sqrt{v^2}/u_* = A \cdot \exp(-(y-B)^2/C)) + D$ の形で実験値に合う様に定め、得られる水深方向の平均遷移確率²⁾を平均化して流下方向変化を見たものが図-5である。これより crest に向けて平均遷移確率が大きくなるとともに乱れが一様化され水深方向に遷移確率が一様化されていくことが理解できる。また浮遊砂の運動を平均 $-w_0 \Delta t$, 標準偏差 $k_1 \sqrt{v^2} \Delta t$ (Δt は浮遊砂運動の時間スケール、 w_0 は沈降速度、 $k_1 \approx 1$) に従うランダム運動と考え、これに従う正規乱数を発生させ、ある断面のある高さから粒子を飛び出させる。今、平坦河床で $\pi_t = \Delta t \cdot u_* / h = 0.208$, $U/u_* = \ln(11.0 \cdot h/d) / \kappa$ とし、図-4を意識して $\Phi_v = \sqrt{v^2}/u_*$ を reattachment point から crest に相当する部分で 1.6~0.8 に変化させ、これを一波長分 $L = 5 \cdot h$ の周期で繰り返した場合と、 $\Phi_v = 0.8$ で一定とした場合の浮遊砂の飛距離の平均値、及び鉛直方向存在確率密度が図-6, 7である。図中の y_0/h は粒子の出発点高さで、水理条件も図中に示す。これより浮遊砂の飛距離は w_0/u_* が小さい範囲ではその差があまりないが、 w_0/u_* が大きい範囲では特に出発点高さ

H. NAKAGAWA S. MURAKAMI T. YASUGI H. GOTOH

が低い所で Φ_v を変化させた方が飛距離が長く、また図-7より Φ_v を変化させた方が拡散が早く、しかも上部まで達することがわかる。さらに平坦河床でのirregular successive saltationのsimulationより得られた掃流砂の平均存在高さをを用い平均遷移確率を断面一定として同様のsimulationで濃度分布を比べたものが図-8で、 Φ_v を変化させた方が拡散が上部まで達し、乱れ強度が周期的に繰り返すことで濃度分布が平衡に達するまで時間的、距離的遅れが大きくなることを示している。

(参考文献) 1) 中川ら：第40回年次講演会講演概要集Ⅱ-243, 1985 . 2) 中川ら：昭和62年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集Ⅱ-32, 1987 .

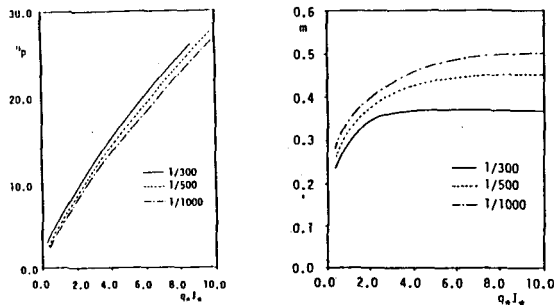


図-1 η_p の q_{*1} に対する変化

図-2 m の q_{*1} に対する変化

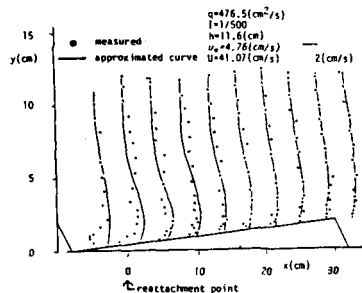


図-4 河床被上での乱れ強度分布

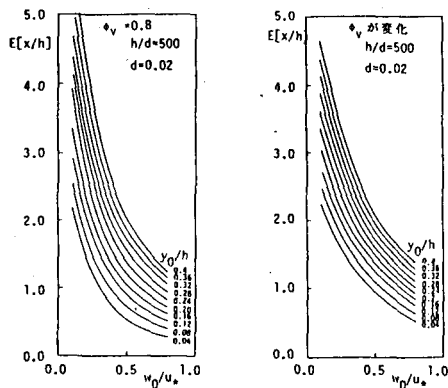


図-6 浮遊砂飛距離の平均値

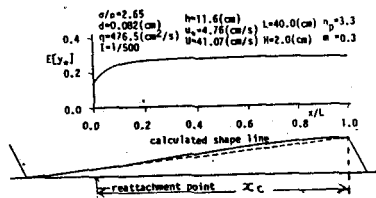


図-3 掃流砂の平均存在高さの流下方向変化

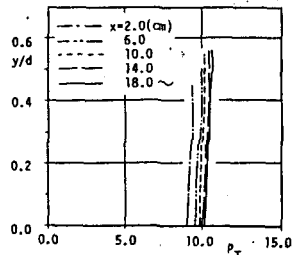


図-5 平均遷移確率の流下方向変化

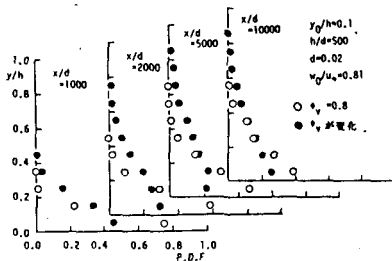


図-7 浮遊砂の鉛直方向存在確率密度

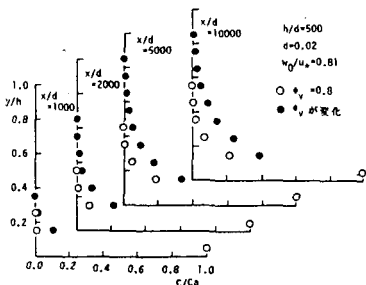


図-8 浮遊砂の濃度分布