

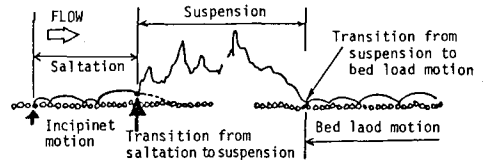
京都大学工学部 正員 村上 正吾
 京都大学工学部 正員 中川 博次
 金沢大学工学部 正員 辻本 哲郎
 京都大学大学院 学生員 八杉 隆

1. まえがき 実河川においては、流れあるいは流砂の境界条件の変化によって、浮遊砂の非平衡状態が出現する場が多く、掃流砂を含めて両者の流砂量、濃度分布形がその運動特性にもとづいて記述されることが望ましい。河床波が形成された水路などでは、河床付近の濃度あるいは河床よりの巻き上げ量と、浮遊砂量とは一対一に対応せず、その濃度分布形の場所的变化をも記述する非平衡性を考慮した取り扱いが必須となる。こうした条件に対しては、掃流砂と浮遊砂を統一的に理解した確率論的なアプローチが有効であると考えられる。本研究は河床波上の浮遊砂運動を明らかにすることを目的として、数値シミュレーションと基礎的な実験を試みたものである。

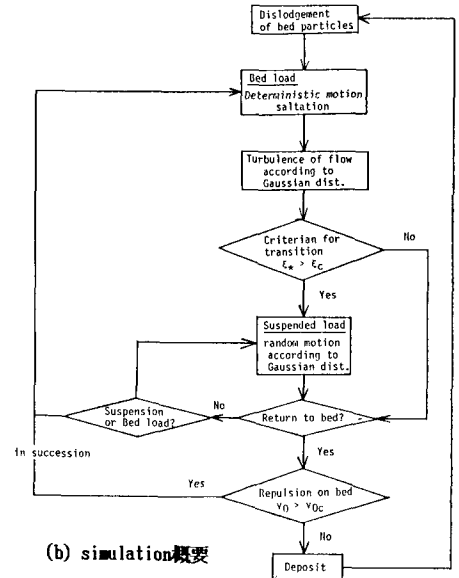
2. Bed material load 流送過程の数値模擬 河床波背面上のような強い非平衡流砂状況を呈する場において掃流砂運動を含めて浮遊砂運動を記述することは困難であり、数値シミュレーションによって流砂運動を

記述することを試みた。図-1(a)の概念図に示されるように掃流砂・浮遊砂運動をbed material loadの流送として連続的に理解すると、これまで著者らによって検討されてきた流送過程の各機構のモデルにもとづき、図-1(b)のようにLagrange的に砂粒の流送を模擬することが可能となる。すなわち、砂粒の初期移動として、ある断面より、単位時間・面積当りのpick-up rate p_s に応じた個数を飛び出させ、掃流砂の運動は確定論的な運動性状を示し平均的にsaltationの運動方程式¹⁾に従うものとし、浮遊砂への遷移を考慮し、遷移の時間スケール Δt ごとに軌跡を追跡し、各時間各位置において、水流の乱れによって遷移する状態確率を、乱れによる鉛直方向偏倚量 ξ_* と遷移基準 ξ_{*c} ²⁾を用いて評価し、遷移した砂粒については、その後ランダム運動するものとみなし、その変位量 η が平均値 $-w_0 \Delta t_s$ 、標準偏差 $\sigma = k_0 \Phi_v(y) \cdot u_* \Delta t_s$ の正規分布に従うランダム運動を行うものとした。ここで、 w_0 : 沈降速度、 Δt_s : 浮遊砂運動に関する時間スケール、 k_0 : 粒子の鉛直方向速度と鉛直方向乱れ速度 v' との比、 $\Phi_v = \sqrt{v'^2}/u_*$ である。時間スケールの相似律を $\Pi_t \equiv u_* \cdot \Delta t/h$ とし、浮遊砂の拡散係数に水流の運動量拡散係数の断面平均値、 $k_0=1.0$ 、 $\Phi_v(y)=0.8$ (断面平均値)を用い、 $\Pi_t = \kappa/(3k_0^2 \Phi_v^2)=0.2$ とした³⁾。これは、Yalinらの用いた値の2倍程度になっている。saltationあるいは浮遊砂運動を継続して、河床に到達した砂粒については、2次元反発モデル¹⁾を用いて、bed loadとしての運動が継続するかどうかを半断し、停止するまで砂粒の運動を模擬する。

3. 非平衡浮遊砂に関する検討 図-2は幅12cm, 路床勾配 $i_b=0.0009$ に設定されたABS粒子(粒径 $d=0.12$ 8cm, 比重 $\alpha/\rho=1.03$)のできた移動床に、水深 $h=7.0$ cm, 摩擦速度 $u_* = 2.35$ cm/sで通水した時に形成された河



(a) 概念図



(b) simulation概要

図-1 Bed material loadの流送過程

床波（波長 $l=18.5\text{cm}$ ，波高 $h=0.8\text{cm}$ ）上の浮遊砂濃度分布をビデオ画像解析より実測した例であり，景観域上方を含めて浮遊砂の濃度分布形自体が流下方向に変化していく様子が示されている．定常進行する河床波であっても浮遊砂の拡散源である掃流砂は非平衡状態にあり，しかも景観域を含めて周期的に境界条件として変化していること，および浮遊砂の平衡に達するまでの緩和距離が河床波スケールより長く，二つのスケールによって浮遊砂量のみならず濃度分布形自体も変化するものと考えられ，まず，この2点についての基礎的な検討を行った．非平衡掃流砂の浮遊砂濃度分布に及ぼす影響を，図-3に示されるような固定床から移動床の接続部における，前出の実験条件で有意な河床波が形成されない時点までの浮遊砂の濃度分布の発達過程の実験，および2.で述べた数値シミュレーションによって得られた結果が図-4であり，両者は良好な一致を見せている．また，こうした非平衡浮遊砂の緩和距離を本シミュレーションによって求めたものが図-5であり，Yalinらが得た結果よりやや小さな値となっている．一方，背面上での浮遊砂は景観域を越え下流に流送，重ね合せられ浮遊砂の濃度分布形が形成される．こうした状況を抽出・検討するため，流れ特性が流下方向に変化しない平坦河床上に移動床部と，景観域に対応する固定床部を交互に配置した単純なモデルで実験を行った．得られた浮遊砂量および濃度分布形の流下方向変化が図-6，図-7に示されており，図中にはシミュレーション結果も併示されている．図-7より，移動床部における浮遊砂量がほぼ平衡に至ったと半断される移動床部（ $x=(820\sim 880)\text{d}$ ）においても，分布形の変化は図-4に示される濃度分布の発達過程とは様相が異なっており，今回の実験では固定床と移動床の比が一對一であり，こうした様相が強調されたものと考えられるものの，さらに検討が必要であることを示唆している．本研究においては，河床上での浮遊砂運動のモデリングのための基礎的な検討を行ったが，さらに系統的な実験を加えるとともに，河床波上の流れ特性を考慮したモデリングを行う予定である．本実験を遂行するに当たって，森幸茂君（当時京都大学大学院，現清水建設（株））の協力を得たことを記して謝意を表します．

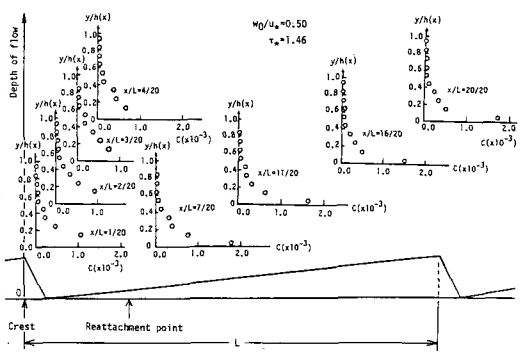


図-2 河床波上の浮遊砂濃度分布

図-3に示されるような固定床から移動床の接続部における，前出の実験条件で有意な河床波が形成されない時点までの浮遊砂の濃度分布の発達過程の実験，および2.で述べた数値シミュレーションによって得られた結果が図-4であり，両者は良好な一致を見せている．また，こうした非平衡浮遊砂の緩和距離を本シミュレーションによって求めたものが図-5であり，Yalinらが得た結果よりやや小さな値となっている．一方，背面上での浮遊砂は景観域を越え下流に流送，重ね合せられ浮遊砂の濃度分布形が形成される．こうした状況を抽出・検討するため，流れ特性が流下方向に変化しない平坦河床上に移動床部と，景観域に対応する固定床部を交互に配置した単純なモデルで実験を行った．得られた浮遊砂量および濃度分布形の流下方向変化が図-6，図-7に示されており，図中にはシミュレーション結果も併示されている．図-7より，移動床部における浮遊砂量がほぼ平衡に至ったと半断される移動床部（ $x=(820\sim 880)\text{d}$ ）においても，分布形の変化は図-4に示される濃度分布の発達過程とは様相が異なっており，今回の実験では固定床と移動床の比が一對一であり，こうした様相が強調されたものと考えられるものの，さらに検討が必要であることを示唆している．本研究においては，河床上での浮遊砂運動のモデリングのための基礎的な検討を行ったが，さらに系統的な実験を加えるとともに，河床波上の流れ特性を考慮したモデリングを行う予定である．本実験を遂行するに当たって，森幸茂君（当時京都大学大学院，現清水建設（株））の協力を得たことを記して謝意を表します．

- 参考文献 1)中川・辻本・赤尾：第27回水理講演会論文集，1983. 2)中川・辻本・村上・旗持：第29回水理講演会論文集，1985. 3)辻本：第30回水理講演会論文集，1986.

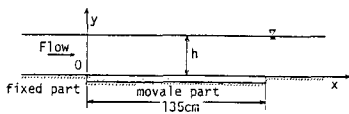


図-3 実験水路図

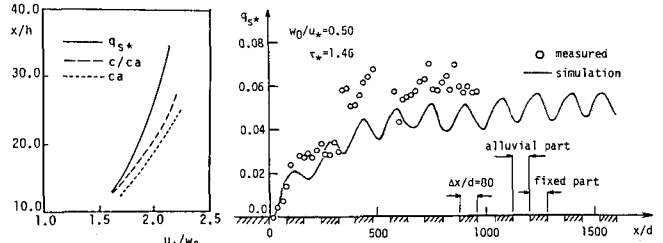


図-5 緩和距離 x/h (h : 水深) 図-6 浮遊砂量の流下方向変化

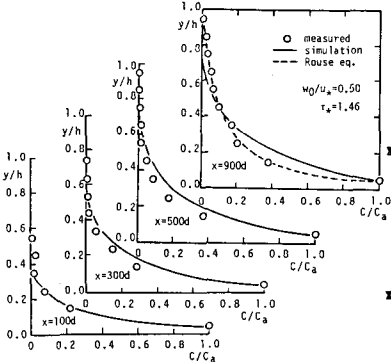


図-4 浮遊砂濃度分布の発達過程

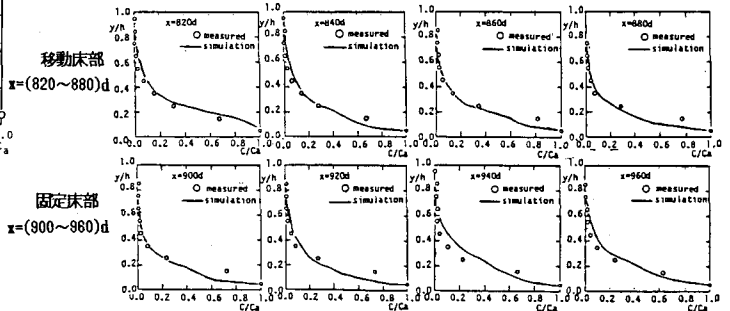


図-7 浮遊砂濃度分布の流下方向変化