

河床波上の浮遊砂濃度分布に関する基礎的検討

京都大学工学部 正員 中川博次 京都大学工学部 正員 村上正吾
清水建設(株) 正員 ○森 幸茂 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、特に浮遊砂が問題となる洪水時のような掃流力が大きい場合には、河床波が形成され、河床は平坦でない場合がほとんどである。それにもかかわらず従来の浮遊砂に関する研究の大部分では、境界条件としての河床(掃流砂)条件が複雑であるため、河床波上の浮遊砂に関しては、流砂の運動力学に基づいたモデル化は十分でない。本報では、実験によって河床波上の浮遊砂濃度分布を測定するとともに、単純化した河床波モデル上の浮遊砂濃度分布を、掃流砂・浮遊砂を統一して取り扱ったモデルにより計算を行い、またそれに対する実験的検証も行った。

2. 河床波上の浮遊砂濃度分布の実験 実験は、幅12cmの河床勾配 $I=0.0009$ に設定された水路に通水し、水深 $h=7.0\text{cm}$ 、摩擦速度 $u_* = 2.35\text{cm/s}$ で、波長 $L=18.5\text{cm}$ 、波高 $H=0.8\text{cm}$ の河床波を形成させ、河床波上の浮遊砂を側方よりビデオ撮影を行い、画像よりある断面に存在する粒子数を読取ることにより濃度を求めた。粒子はABS粒子(粒径 $d=0.128\text{cm}$ 、比重 $\sigma/\rho=1.03$)を用いた。結果は図-1に示す通りである。これによるとcrestに近づくに従い、上方の濃度は発達し、下方の濃度は減少していき、 $X/L=11/20$ あたりから安定したほぼ一定の分布形となる。

3. 単純化河床波モデルの計算及び実験 河床波背面上では非平衡流砂現象ではあるが河床波スケールでは、平衡状態であり周期的に境界条件が変化するとみなせ、それと浮遊砂の非平衡性のスケールである緩和距離との関係を明らかにすることが重要と考えられるこの関係を検討するため、および乱れ強度は場所によって変化しない平坦河床で、河床波背面上を移動床、河床から砂粒の供給がない剥離域を固定床とする単純な状態を想定した。まず、このように平坦河床上に移動床、固定床を交互に設けた水路中の粒子の運動を追跡する数値シミュレーションによって浮遊砂濃度分布及び浮遊砂量を求めた。シミュレーションの方法は、 P_s に応じた個数を河床から飛び出させ、個々の粒子をsaltationの運動方程式¹⁾に従って、浮遊砂への遷移の時間間隔 Δt ごとに追跡した。さらに各点について軌跡からの鉛直方向偏倚量 ξ を求め²⁾、その値が遷移基準 ξ_c を超えた時、浮遊砂へ遷移したとしてその後は平均 $-w_0 \Delta t'$ 、標準偏差 $\sigma=1.5\sqrt{v'^2} \Delta t'$ の正規乱数を発生させて浮遊砂としてのランダム運動を追跡した。さらにシミュレーション結果の検証のため実験を行った。実験は、前出の実験と同じ水理条件で図-2のような水路を用いて行った。固定床、移動床上の浮遊砂を側方からビデオ撮影し、前出の実験と同様の解析を行った。シミュレーション結果及び実験結果は図-3、図-4である。図-3は浮遊砂量で、これによるとシミュレーション結果はおおむね実験値の傾向を説明している。また両者ともに、

固定床、移動床の影響が遅れて現われており、特に浮遊砂の緩和距離が掃流砂のそれに比べて大きいことが、こうした状況に支配的であることが示されている。図-4は図-3より十分同じ繰り返しとなっている移動床部 ($x=820d \sim 880d$)、固定床部 ($x=900d \sim 960d$) における浮遊砂濃度分布である。これによると移動床部では上方の濃度分布が発達し、固定床部ではその逆の傾向があることが、特にシミュレーション結果によく現れている。

4. あとがき 本研究では、ビデオ解析によりあまり高濃度でない河床波上の浮遊砂濃度分布測定が可能なこと、また浮遊砂量の変動は数波長目後には、同じ繰り返しとなることが明らかにされた。本モデルは河床波上の流れの特徴である τ 、乱れ強度分布の場所による変化を考慮していないものの、河床波スケールで流砂現象を見ると、浮遊砂の緩和距離と河床波のスケールとが明らかにされると浮遊砂量の流下方向の平均的な変化が評価できる可能性を示したが、河床波背面上の濃度分布に関しては、非平衡状態にある掃流砂運動と河床波上の流れ特性を現象に忠実にモデリングする必要があると考えられる。

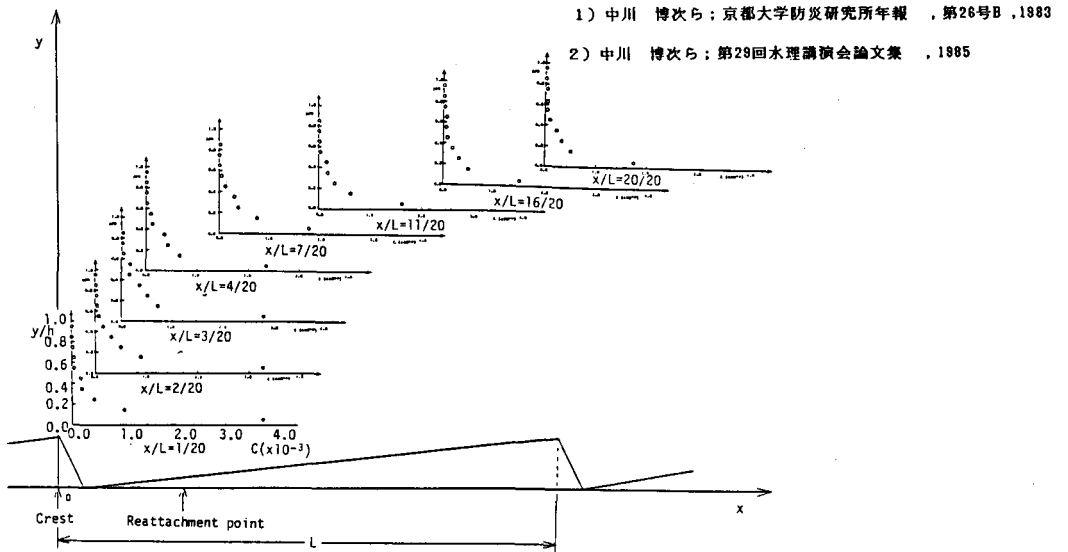


図-1 河床波上の浮遊砂濃度分布



図-2 実験水路観測部

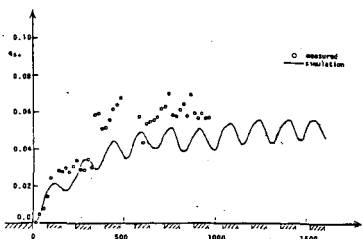


図-3 浮遊砂量

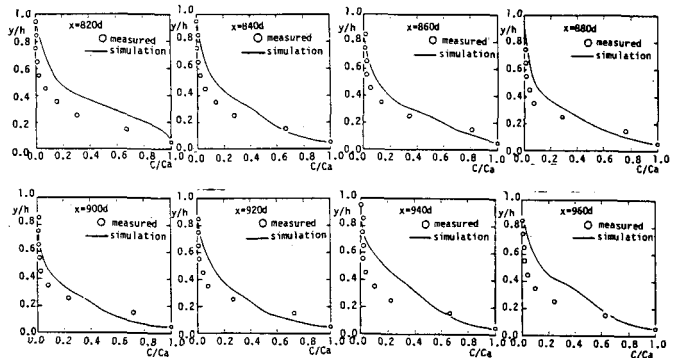


図-4 浮遊砂濃度分布