

波状水路上下での浮遊砂に関する確率論的検討

金沢大学工学部 正員 辻本 哲郎
 京都大学工学部 正員 村上 正吾
 金沢大学大学院 学生員 〇山元 達郎

1. まえがき

河床材料としての浮遊砂が存在する流れの場合は、通常、掃流力が大きいために、河床波を形成している場合が多い。このように、境界が周期的に変化する流れにおいては、浮遊砂濃度分布も、流れの平均的な状態と一対一に対応せず、局所的な状態に左右され、いわゆる非平衡な性状を示していると予想される。このため、平坦な河床上での浮遊砂濃度に対する取り扱いでは不十分な面があると考えられる。本研究では、剥離を伴わない正弦波状河床を対象として、河床波上における浮遊砂濃度分布の形成機構の解明のための確率モデルにもとづくsimulation のフレームワークの構成を図る。

2. 正弦波上での流速分布

浮遊砂は、水流の運動に取り込まれて輸送されるため、まず流れの性質を知ることが重要となる。実際、正弦波上の流れが、平坦河床上のそれとは異なっていることが、従来の管路での実験^{1),2)}や後述する開水路における実験からも認められる。ここでは、流下方向への平均流速分布の構造を取り上げ、椿・斎藤³⁾によって流下方向平均流速分布が、渦動粘性モデルにもとづく放物型流速分布に従うものと仮定し、流れの加速・減速に関わる $\frac{dh}{dx}$ の項を付加した次式を考える。

$$\frac{U(y)}{U_s} = 1 - \Delta \left(1 - \frac{y}{h} \right)^2 \quad (1)$$

但し、

$$\Delta = \Delta_0 \left(1 - \alpha \frac{dh}{dx} \right) \quad \Delta = \frac{u_* h}{2 \epsilon_M} \frac{u_*}{U_s} \quad (2)$$

α : 実験定数, U_s : 表面流速, h_0 : 平均水深, ϵ_M : 渦動粘性係数 であり, ϵ_M を対数則にもとづいて, $\epsilon_M = \frac{1}{6} \kappa u_* h_0$ として与える。図・1に本研究の実験による流速分布を示した。得られた流速分布に式(1)を当てはめて示したものが、図・2であり、これらを見ると、本実験の範囲では、 Δ の分布が式(2)で与えられた結果より $\pi/2$ 左にずれていることがわかる。つまり、水深が平均的な値をとる地点で Δ もまた平均値 Δ_0 をとっている。 α を含めて、こうした流速分布の位相差も、流れの条件や正弦波の形状特性と強く関係していると予想されるが、ここでは、 α も位相差も実験的にあたえるものとする。

3. 掃流砂から浮遊砂への遷移量について

本研究では、掃流砂を浮遊砂の主たる供給源として考えることより、単位時間当りに掃流砂から浮遊砂へ遷移する量を評価する必要がある。本研究で対象としているような波形勾配が十分小さい場合 ($a \kappa \ll 1$; a : 河床の振幅, $\kappa \equiv 2\pi/L$, L : 波長) では、河床における底面剪断応力分布 $\tau_0(x)$ と掃流砂量分布 $q_B(x)$ に、従来の線型近似⁴⁾によって得られた知見が活用できるものと考えられる。すなわち、 $\tau_0(x)$, $q_B(x)$ はそれぞれ次のようにあらわされる。

$$\begin{aligned} \tau_0(x) &= \bar{\tau}_0 \cdot (1 + r_\tau a \sin(\kappa x - \phi_\tau)) & r_B/r_\tau &= 1/\sqrt{1+(\kappa\Lambda)^2} \\ q_B(x) &= q_{B_0} \cdot [1 + r_B a \sin\{\kappa(x - \delta_{B\tau}) - \phi_\tau\}] & \kappa\delta_{B\tau} &= \arctan \kappa\Lambda \end{aligned} \quad (3)$$

これより、掃流砂量は、河床形状と $(\kappa\delta_{B\tau} + \phi_\tau)$ の位相遅れを持つ。掃流砂から浮遊砂への遷移量は、掃流砂量に単位時間当りの遷移率 p_T を掛け合せることにより求められる。ところで、 p_T の τ_* に対する変化は浮遊限界の影響限界を除いて大きくはなく、鉛直方向への乱れ強度 $\sqrt{v'^2}$ の影響を強く受けるものこのように正弦波河床においては、流下方向に大きな変化がないものとみなし、本計算では、 p_T を一定とする。以上のことから、浮遊砂粒子として発生する粒子数は次式のようにあらわせる。

$$v(x) = \frac{1}{A_3 d^2} \cdot \frac{1}{u_g} \tilde{P}_T q_{B_0} [1 + r_B a \sin(\kappa(x - \delta_{B\tau}) - \phi_\tau)] \quad (4)$$

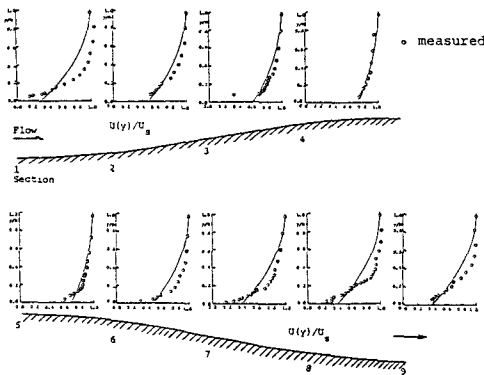
u_g : 掃流砂速度

4. 実験水路モデルおよびSimulationの結果

本実験には、図・3に示した波長40cm, 振幅1cmの正弦波を、流下方向に10波長分並べ固定床水路として用いた。RUN 1の実験における水理条件と実測した流速分布を用いて、移動床水路とした場合の、浮遊砂の濃度分布のSimulationをここで行う。なお、計算を行うにあたっての基本パラメーターの設定は前回の発表に従った。図・4が得られた濃度分布形であり、それぞれの流下方向の位置に対応した分布を持つ。トラフからクレストにかけて濃度分布形が立ち上がる傾向が見られ、同様のことが近年の研究⁶⁾の実測データからも読みとれる。また、基準化した浮遊砂量を図・5に示した。ここでは流砂量の緩和距離に及ばず河床波の影響が問題となり、今後の検討課題の一つとなる。

5. あとがき

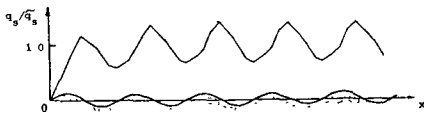
本研究では正弦波状河床をもつ流れにおける浮遊砂濃度の取り扱いについて考察を行った。今後は、実際の現象に即した流れのモデルと流砂機構モデルを取りいれ、Simulation手法をより洗練して、そうした非平衡な場において、流れのいかなる要素がどのように浮遊砂濃度に効いてくるのかを明らかにしていきたい。



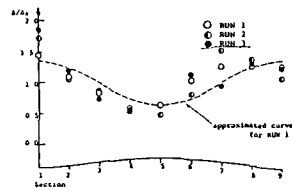
図・1 正弦波上での流速分布の変化

表-1 実験条件表

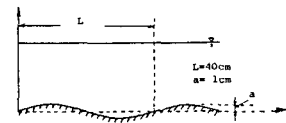
	δ	q_b (cm ² /sec)	h_0 (cm)	$\sqrt{g \delta b h_0}$ (cm/sec)	F_r
RUN-1	0.001	1.03	5.35	2.29	0.276
RUN-2	0.001	1.32	5.35	2.29	0.338
RUN-3	0.0005	1.32	5.95	1.70	0.287



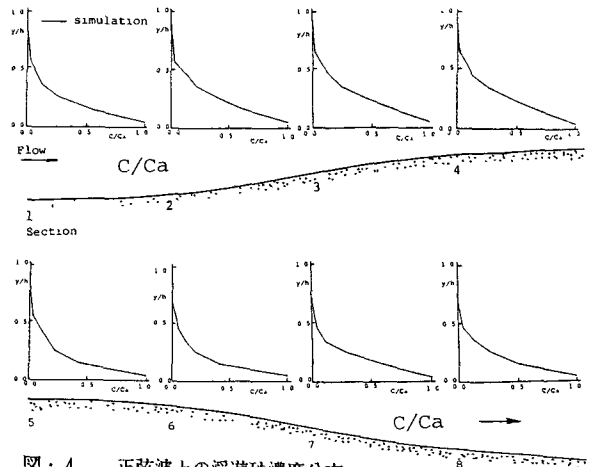
図・5 浮遊砂量の流下方向への変化



図・2 Δ/Δ_0 の変化



図・3 河床波のモデル



図・4 正弦波上の浮遊砂濃度分布

参考文献

1) 日野, 宮永 土木学会論文報告集, No. 246, pp. 63- 75, 1977. 2) Hsu, S.T. and Kennedy, J.F. J. Fluid Mech., 47, pp. 481 -502, 1971. 3) 椿, 斎藤 九州大学工学集報, vol. 40第5号, pp. 741 -748, 1967. 4) 中川ら 土木学会論文報告集, No. 305, pp. 139- 142, 1981. 5) 中川ら 土木学会第42回年次学術講演会概要集 II-136. 6) 中川ら 土木学会第41回年次学術講演会概要集 II- 59.