

掃流砂礫の分散過程(1) — 河床変動の影響について —

京都大学防災研究所 正員 今本 博 健
 京都大学防災研究所 正員 澤井 健 二
 京都大学大学院 学生員 小久保 鉄 也
 査 川 県 正 員 ○三 宅 正 敏

1. まえがき 流送砂礫の分散過程を明らかにすることは、土砂流出や河床変動の機構をより詳細に解明していく上で、有力な手がかりとなる。本研究は、河床変動のある場における掃流砂礫の分散過程について、若干の実験を行うとともに、その機構をモデル化した確率シミュレーション法について検討を加えたものである。

2. 掃流砂の分散過程に関する実験 用いた水路は幅20cm、長さ20mで、中央部の10mを移動床とし、その下流端に床止めと採砂器を設けている。河床材料の粒度範囲は4.0~5.3mmで、移動床上流端付近の表面粒子200個を着色トレーサーとし、勾配1/100、流量10 L/sの条件のもとで、給砂量を0、175、780 g/minの3通りに変えて、分散状況を測定した。

図-1は、水路中心線に沿う河床形状の変化を示したもので、高さの基準は移動床下流端の床止めにとっている。適度な流砂があってしかも顕著な河床波が発生しないよう、upper flow regimeで transitionに近い水理条件($\tau_* = 0.084$, $h/d \approx 14$, $Fr \approx 0.97$)を設定したが、図に見られるような若干の河床波(反砂堆)の発生は避けられなかった。全体的な河床変動の傾向は、 $Q_{bi} = 0$ の場合、上流から洗掘が進行して勾配が減少、 $Q_{bi} = 175$ g/minの場合、ほぼ平衡、 $Q_{bi} = 780$ g/minの場合、上流から堆積が進行して勾配が増加となっている。図中の計は、通水開始後における移動床上流端付近の勾配を示したもので、時間的にほぼ一定に保たれている。

図-2は、60cmごとの区間におけるトレーサーの分布状況を、また図-3は水路下流端へ流出したトレーサーの割合を示したものであり、平衡状態の場合に比べて、洗掘過程では粒子の流下速度がやや速く、堆積過程ではやや遅くなっている。堆積過程においてある程度時間が経過すると上流部のトレーサーの分布の時間変化が緩慢になり、かつそのような領域が下流へ広がっているのは、粒子の埋没によるものである。

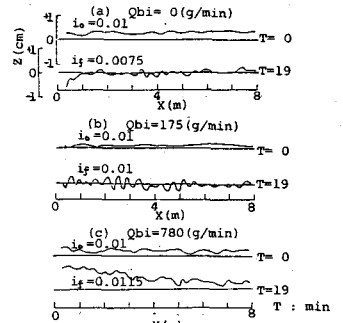


図-1 河床形状の変化

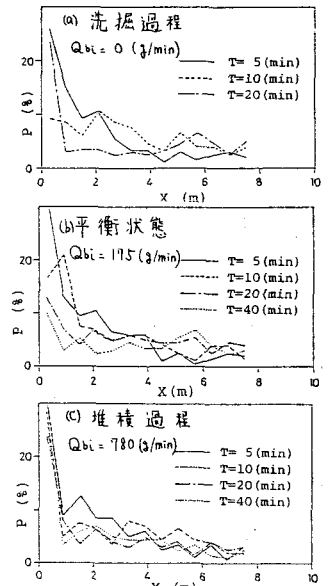


図-2 トレーサーの分散性状

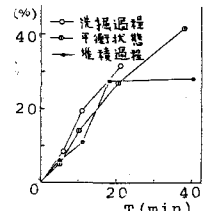


図-3 トレーサーの流出割合

Hirotake IMAMOTO, Kenji SAWAI, Tetsuya KOKUBO, Masatoshi MIYAKE

3. 掃流砂の分散過程に関するモデル化 掃流砂の流下過程は不規則な step と rest period の反復から成っており、それらの確率特性がわかれば、時間 t 内の流下距離 x の確率密度 $f(x)$ を求めることができる。平坦河床における step length の分布は河床変動の影響をあまり受けず、平衡状態の場合に見られる粒径の 100 倍程度を平均値とする指数分布で近似されるであろう。ところが、rest period については、顕著な河床変動がある場合にはその確率母集団そのものが変化してしまう可能性があり、より基本的な量である pick up rate に着目する必要がある。pick up rate を支配する要因としては、粒子の特性や水理量の他に、河床面における粒子の存在状態が挙げられ、その存在状態の変化と、存在状態ごとの pick up rate がわかれば、着目粒子の流下過程を確率的にシミュレートすることができる。

図-4 は、粒子の露出度を $e = (z - \bar{z})/d \cdots (1)$ と定義し、平衡状態におけるトレーサの露出度の分布を測定したものである。ここに、 z はトレーサの露出高さ、 $\bar{z}$ はトレーサ及びその周辺の粒子の平均露出高さであり、 e の値はほぼ $-0.3 \sim +0.7$ の間に分布している。図-5 は、同じく平衡状態の実験で、トレーサの原点残留確率を初期の露出度別に調べたもので、 e の値が大きいほど残留確率が小さくなる傾向が見られる。そこで、河床面近くの移動層内の露出度と pick up rate の関係として、 $P_s = \bar{P}_s \{1 + k(e - \bar{e})\} \cdots (2)$ を仮定する。ここに、 $\bar{e}$ は移動層内の粒子の平均露出度、 $\bar{P}_s$ は平均 pick up rate で、中川・辻本¹⁾の式 $\bar{P}_s \sqrt{d/s_g} = 0.03 \tau_* \{1 + (\tau_{*c}/\tau_*)^3\} \cdots (3)$ より算出する。移動層より下の粒子については $P_s = 0$ である。ここで $(0, 1)$ の一様乱数 r を発生させ、 $r \geq P_s \cdot \Delta t$ ならばトレーサが静止しているものとして、露出度を $\Delta e = -(d\bar{e}/dt) \Delta t / d \cdots (4)$ だけ変化させる。ただし、 e の値がその上限値を越えれば step を生じさせる。一方、 $r < P_s \cdot \Delta t$ の場合にも step を生じさせるが、step を終了した時点での露出度は移動層内に一様に分布させる。

図-6 は、以上の考え方のもとに、先の実験に対応する粒子の分散過程をシミュレートしたものである。ただし、河床変動は、拡散方程式を用いた道上²⁾の方法により計算し、境界条件は上流端で $\partial/\partial x = 0$ 、下流端で $\partial/\partial x = 0$ とした。実験結果と比較すると、十分な適合性を有するには至っていないが、分散過程に及ぼす河床変動の影響がかなり模擬できている。

今後、さらに混合粒径の場合にモデルを拡張していきたいと考えている。

- 参考文献 1) 中川博次・辻本哲郎：水流による砂れきの移動機構に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第244号，1975。
2) 道上正規：流砂と河床変動に関する基礎的研究，京都大学学位論文，1972。

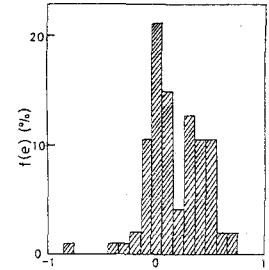


図-4 露出度の分布

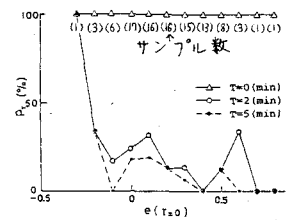


図-5 露出度別の残留確率

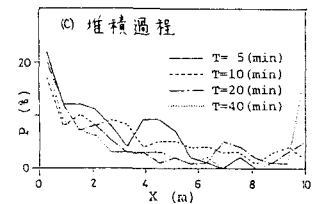
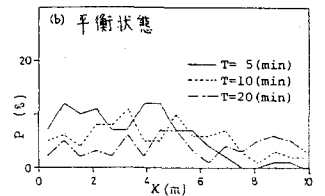
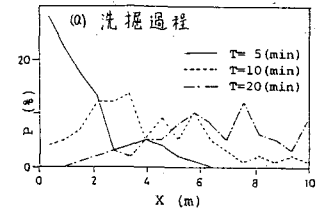


図-6 シミュレーション結果