

II-162 河床近傍での砂粒の挙動とそれが浮遊砂濃度分布に与える影響について

金沢大学大学院 学生員 ○山元 達郎
金沢大学工学部 正員 辻本 哲郎

1. まえがき

従来掃流砂と浮遊砂はそれぞれ別々に検討されることが多く、そのことに起因して次のような事例が問題となっているように思われる。①浮遊砂は拡散モデルなどで扱われるが、床面近傍の境界条件、具体的には基準面濃度の評価モデルがあいまいである。②掃流砂、浮遊砂が共存するような条件の扱いが困難である。著者らは上記の問題点に鑑み、掃流砂から浮遊砂への遷移機構についても研究を行っている¹⁾が、本報では掃流砂、浮遊砂を含む *bed material load* のモデルを確立する目的の研究の一環として、主として掃流から浮遊への遷移が浮遊砂濃度分布に与える影響について検討を行った結果を述べる。

2. *bed material load* の流送モデル

本研究では *bed material load* の流送が次の5つのサブメカニズムから構成されていると考える。①初期移動----流体力による河床材料の離脱過程で、pick-up rateによって表現される。②掃流過程----不規則連続跳躍(irregular successive saltation)として表わさる。個々のsaltationの軌跡は確定的なものであるが、河床との不規則な反発により、irregular successive saltationとして出現、初期移動から河床での停止までの間に有限距離を呈す(step length)。掃流砂粒の存在高さの確率密度 f_b 、平均step length λ などが代表量である。③掃流から浮遊への遷移----saltationの確定的軌跡が乱れ的作用で異常に逸脱し浮遊へ遷移する。saltationのもつ固有の速度と乱れ速度との関係から遷移確率 $\alpha_r(y)$ が評価される¹⁾。④浮遊----浮遊砂粒の存在高さの確率密度 $f_s(y)$ 、またはそれに相似とみなされる浮遊砂濃度分布が重要となる。⑤浮遊から河床材料(at rest)または掃流への遷移----浮遊に遷移した砂粒はランダム運動を続けたあと、再び河床に接触すると、停止したり、あるいは掃流運動にはいって再び浮遊へ遷移する機会を待ったり、停止の機会を待つ。こうした5つのサブシステムが互いに斉合性のとれた形で合理的に評価されることが必要と考える。こうした観点から、今回主として(3)、(5)のサブシステムを考慮しての(4)のサブシステムの検討を行った。

3. 掃流から浮遊への遷移が浮遊砂濃度分布に与える影響

上述のようなフレームワークで *bed material load* の挙動をとらえると、浮遊砂の濃度分布を考えるための単位時間、単位面積当りの高さ y と $y+dy$ の間の層内の質量保存則は次のようになる。通常考えられる'沈降'と'乱流拡散'による出入りの差は、

$$C_s w_b + E_s \frac{\partial C_s}{\partial y} - \left\{ C_s w_b + \frac{\partial}{\partial y} (C_s w_b) dy + E_s \frac{\partial C_s}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} (E_s \frac{\partial C_s}{\partial y}) dy \right\}$$

であり(但し C_s : 浮遊砂濃度, E_s : 浮遊砂の拡散係数, w_b : 沈降速度), これを零とすると通常の濃度分布についての拡散方程式が得られる(式(1))。しかしとくに河床に近いところでは上述の掃流から浮遊への遷移があり、これによる浮遊砂の'生成'についての項を加えねばならない。一方浮遊砂の'消滅'は上記のモデル⑤により河床面に限って考えれば良い。



図-1 *bed material load* の流送過程
○ 浮遊砂 ● 掃流砂

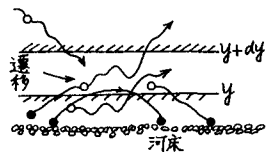


図-2 説明図

単位時間、単位面積当りの掃流から浮遊への遷移による浮遊砂の‘生成’実質体積を S とすると、浮遊砂濃度分布についての基礎式は式(2)のようになる。

$$-\frac{\partial}{\partial y}(C_s W_0 + E_s \frac{\partial C_s}{\partial y}) = 0 \quad \text{----(1)} \quad -\frac{\partial}{\partial y}(C_s W_0 + E_s \frac{\partial C_s}{\partial y}) = S \quad \text{----(2)}$$

いま簡単のため E_s を y 方向に一定として扱おうと、式(2)の解は次のように書ける。

$$C_s(y)/C_s(0) = \gamma \cdot \phi_1(y) + (1-\gamma) \cdot \phi_2(y) \quad \text{----(3)}$$

但し、 $C_s(0) = C_{s0} + \{ \int_0^h S(y) dy \} / W_0$ 、 $\gamma \equiv C_{s0} / C_s(0)$ 、 $\phi_1(y) \equiv \exp(-\frac{W_0}{E_s} y)$ 、 $\phi_2(y) \equiv \{ \int_y^h S(y) dy + \exp(-\frac{W_0}{E_s} y) \int_0^y S(y) \exp(\frac{W_0}{E_s} y) dy \} / \int_0^h S(y) dy$ である。 $\gamma=1$ は掃流からの遷移を考えない場合(式(1))の解で、式(3)は濃度分布形が $\phi_1(y)$ と $\phi_2(y)$ の線型和で表わされることを示している。なお、 $S(y)$ が知られてもなお積分定数 C_{s0} が(通常の拡散モデルの基表面濃度と同様)残っている。式(3)によると γ の値(C_{s0} に依存している)が小さく、 $\phi_2(y)$ の形が $\phi_1(y)$ のそれから偏倚しているほど、掃流からの遷移が濃度分布形に与える影響が大きいと判断される。

具体的に掃流から浮遊への遷移の効果を見るため、掃流砂濃度と掃流から浮遊への遷移率の積で与えられるであろう $S(y) (= C_B(y) \cdot \eta / t_T)$ 、 t_T :遷移時の交換時間スケール)を次のように仮定した。

$$S^*(\eta) \equiv (S \cdot h / U^*) / C_{s0} = \sigma_{*0} (1 - \eta / \eta_B) \quad \text{但し } \eta \leq \eta_B \quad \text{----(4)}$$

但し、 $\eta = y/h$ 、 $\eta_B \equiv y_B/h$ 、 y_B :掃流砂の存在領域の外縁である。このとき、濃度分布形の偏倚を表わす指標 $\Gamma(\eta) \equiv (1-\gamma) \phi_2(\eta) / \{ \gamma \phi_1(\eta) \}$ は次式で与えられる。但し $E_{s*} \equiv E_s / U^* h$ 、 $\varphi \equiv (W_0 / U^*) / E_{s*}$ とする。

$$\Gamma(\eta) = (\sigma_{*0} / \eta_B) E_{s*} (U^* / W_0)^2 \left[\frac{\varphi}{2} (\eta_B - \eta)^2 \exp(\varphi \eta) + \left\{ (\eta_B + \frac{1}{\varphi}) (\exp \varphi \eta - 1) - \eta \exp \varphi \eta \right\} \right] \quad \text{----(5)}$$

すなわち、 σ_{*0} 、 η_B の評価が重要となる。irregular successive saltation のモデルより推定される掃流砂の平均存在高さは無次元掃流力、 W_0/d の関数(d :粒径)であり、 y_B はその3倍程度と推定される。一方、 $\sigma_{*0} \equiv S(0)h / U^* / C_{s0} \approx (2 \bar{C}_B \bar{\eta} / C_{s0}) / (U^* t_T / h)$ となり、 C_{s0} 、 t_T の評価が難しい。図-3は与えられた (W_0 / U^*) に対し $\phi_1(\eta)$ と $\phi_2(\eta)$ が η_B によってどの程度ずれてくるかを示したもので、図-4はirregular successive saltationにもとづいて推定された y_B と (W_0 / U^*) の関係である。また図-5には便宜的に課した仮定のもとに得られた $\gamma \sim (W_0 / U^*)$ 関係を示した。さらに図-6は実際に出現すると思われる条件のもとでの計算結果を示したものである。

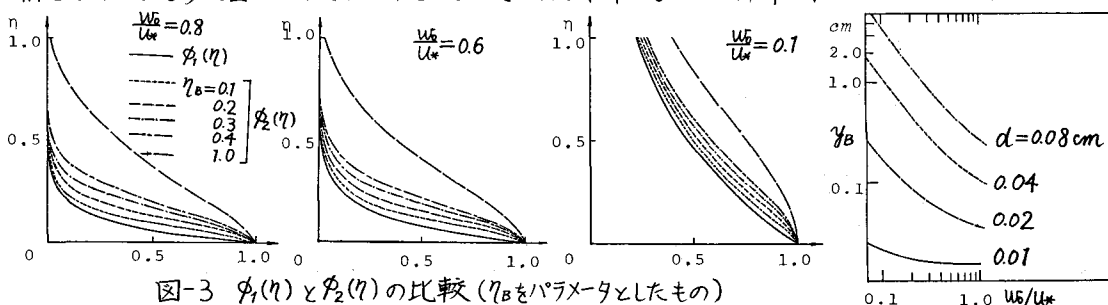


図-3 $\phi_1(\eta)$ と $\phi_2(\eta)$ の比較 (η_B をパラメータとしたもの)

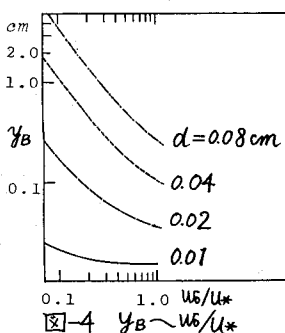


図-4 $y_B \sim W_0 / U^*$

4. あとがき

本研究では bed material load の流送モデルを確立するため、掃流からの遷移を考慮した場合の浮遊砂濃度分布の偏倚を検討した。便宜的に $E_s = \text{const.}$ としたため、かえって C_{s0} 、 t_T などを物理的意味を踏えて評価するのが難しくなっており、今後の検討課題としたい。

参考文献 1) 辻本・中川:土論369, 1986, 2) 辻本・中川:土論345, 1984

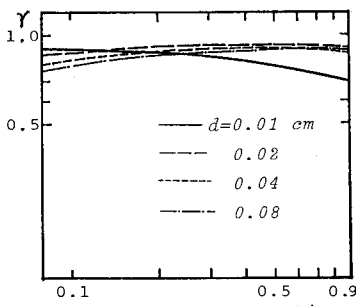


図-5 $\gamma \sim (W_0 / U^*)$

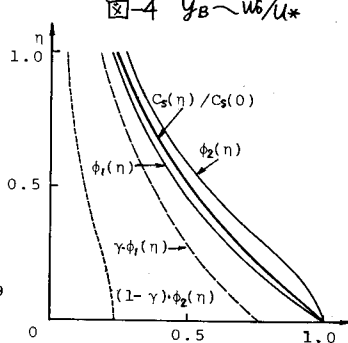


図-6 浮遊砂濃度分布