

Saltation 粒子の浮遊砂への遷移機構について

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
 関西電力(株) 正 員 〇旗持 和洋
 京都大学大学院 学生員 森 幸茂

1. まえがき 本研究では、従来別々に取り扱われてきた掃流砂と浮遊砂の統一的理解を目的とし、saltation に代表される確定論的運動軌跡からのずれの殆どないものを掃流砂、乱れの効果によりこの軌跡から逸脱し、乱れによるむしろランダム運動の性状を示すに至ったものを浮遊砂と定義した(図-1参照)。こうした観点から、遷移機構のモデルを提案し、その妥当性の検討を行った。

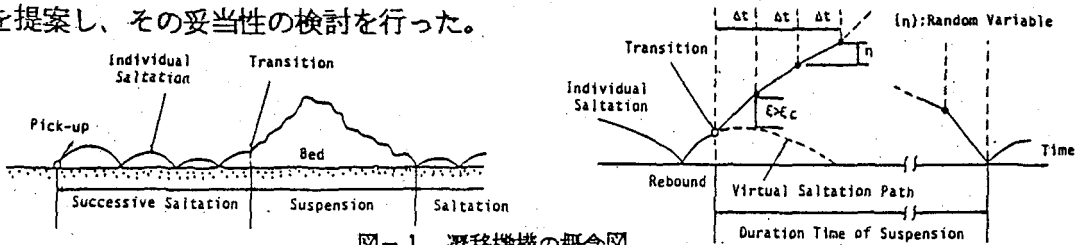


図-1 遷移機構の概念図

2. 流送モデルの構成 本研究では、濃度分布と粒子速度の積という通常の形式により掃・浮遊砂を統一した bed material load 輸送モデルを構成しようとする観点をとっている。いま、saltation 運動により y_B の高さまで持ち上げられた粒子が $p_T(y_B)$ の確率で浮遊状態へ遷移し、この粒子がその後、高さ y に存在する確率を $\hat{f}_s(y|y_B)$ とすれば、浮遊砂濃度 $C_s(y)$ は掃流砂濃度 $C_B(y)$ を用いて次のように表される。

$$C_s(y) = \int_0^h p_T(y_B) C_B(y_B) \hat{f}_s(y|y_B) r_T(y_B) f_B(y_B) dy_B \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 $r_T(y_B)$ は浮遊継続時間による重みづけ関数である。掃流砂の諸量については、不規則継続跳躍の数値模擬結果¹⁾を用いており、 $\hat{f}_s(y|y_B)$ については相対存在確率密度分布と相対濃度分布を同一視することにより、Rouse 式で代用した。

3. 遷移機構のモデル化 saltation 粒子の初速度 v_0 が与えられると、その軌跡が特定され、高さ y での状況(粒子速度や作用力など)が決まる。いま主流方向についての力関係を近似的に無視すると、粒子の鉛直方向の運動方程式は次式で与えられる。

$$\rho(\sigma/\rho + C_H) A_3 d^3 dv_g/dt = 0.5 \cdot C_D \rho |v' - v_g| (v' - v_g) A_2 d^2 - \rho(\sigma/\rho - 1) A_3 g d^3 \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 σ 、 ρ ：それぞれ砂、水の密度、 C_H ：付加質量係数、 C_D ：抗力係数、 d ：粒径、 A_2 、 A_3 ：形状係数、 v_g ：砂の上向き速度、 v' ：乱れによる上向き変動速度である。ある時間スケール Δt の間に v' が作用することによる粒子の saltation 運動軌跡からの偏倚量 ξ は式(3)によって与えられる。ただし、 $\Delta t_* = u_* \Delta t / h$ 、 $\omega = v' / u_*$ 、 $v_* = v_g / u_*$ 、 u_* ：摩擦速度である。saltation への遷移を $|\xi_*| > |\xi_*|_c$ と定義し、こうした条件が満足され

Hiroji NAKAGAWA, Shōgo MURAKAMI, Kazuhiro HATAMOCHI, Yukishige MORI

る状態確率を遷移確率とする。また、遷移には粒子の運動方向、偏倚の方向により4種の相が考えられ、各相に対する遷移確率は、 ω の変動がほぼ正規分布で近似されることから式(4)で与えられる。遷移の相および v_0 の条件を開放すると結局、遷移確率は式(5)によって求められる。ここで v_{0c} は与えられた y に対し $H_s=y$ となるような saltation の初速度である。 v_0 の諸量についても不規則継続跳躍の数値模擬結果を用いている。モデルの検証のため、ABS 粒子(比重:1.03、 $d:0.128\text{cm}$)を用いて実験を行った。図-2に示すのが遷移高さの分布 $f_T(y)$ であり、図中のヒストグラムが実測値、破線が式(6)、実線が実測された saltation 高さの分布を用いた計算結果であり、実測値と理論値は概ね良好に対応している。なお、時間スケールについては次元解析的考察により式(7)によって定まるものとした。

$$\begin{aligned} \varepsilon_* &\equiv \varepsilon/d = K_\varepsilon \{ |\omega - v_*|(\omega - v_*) + |v_*|v_* \} \quad \text{---(3)} \\ K_\varepsilon &= [C_D A_2 / 4A_3 (\sigma/\rho + C_H)] (h/d)^2 (\Delta t_*)^2 \quad \text{---(3')} \\ p_{Tj}^k(y|v_0) &= 1 - \phi(|\omega_{cj}|) \quad \text{---(4)} \\ p_T(y) &= \int_{v_{0c}}^{\infty} p_T(y|v_0) g(v_0) dv_0 / \int_{v_{0c}}^{\infty} g(v_0) dv_0 \quad \text{---(5)} \\ f_T(y) &= p_T(y) f_B(y) / \int_0^h p_T(y) f_B(y) dy \quad \text{---(6)} \\ \tau_t &= \sqrt{(\sigma/\rho - 1)g/d} \cdot \Delta t \quad \text{---(7)} \end{aligned}$$

4. 基準面濃度 本モデルにより求められる浮遊砂濃度は絶対濃度でいわゆる基準面濃度の評価の必要はないが、従来の方法での流砂量推定についての便宜を図る意味とモデルの妥当性の検証のため計算を行い、過去の実測結果^{2), 3)}との比較を行った。図-3(a)、(b)に示すように、両者は良好な定量的一致をみている。

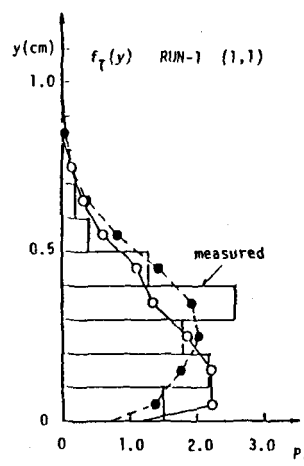


図-2 遷移高さの分布

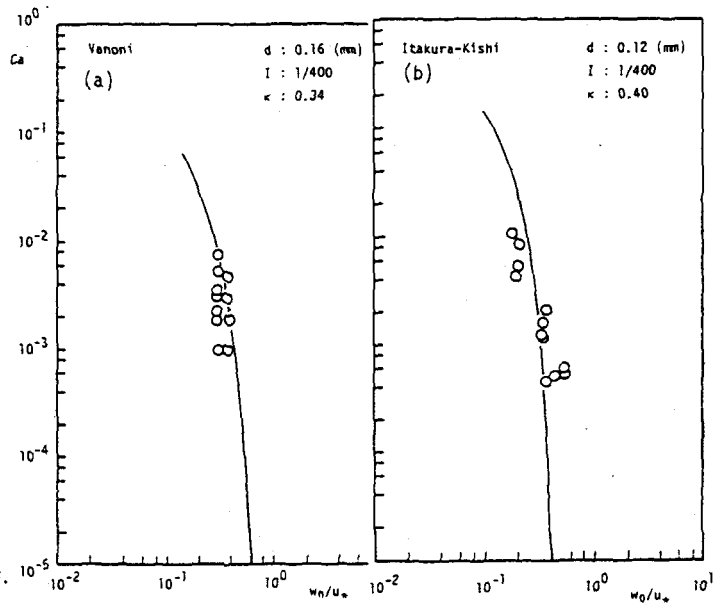


図-3 基準面濃度

【参考文献】

- 1) 辻本・中川、土木学会論文集、第345号、II-1、1984、pp.83-90
- 2) V.A.Vanoni, TRANS.ASCE, Paper No.2267, 1946 3) T.Itakura and T.Kishi, Proc.ASCE, HY8, 1980.