

統計的な Successive Saltation 理論とそのシミュレーション

京都大学工学部 正員 中川 博次
 京都大学工学部 正員 辻本 哲郎
 水資源開発公団 正員 ○赤尾 恒博

1. まえがき 本報は掃流現象のより深い理解と掃流砂から浮遊砂への遷移機構の基礎的知見を得る目的で行われた不規則性を考慮した successive saltation についての研究の一部で、その理論構成とそれにもヒブくシミュレーションの方法、結果について述べる。

2. Successive saltation モデル successive saltation モデルは反発により、継続する小跳躍を記述しようとするものであるが、とくに河床での反発に起因する不規則性に着目して確率的取り扱いをしている点、掃流砂存在確率密度、moving step の確率的特性の評価へ発展させている点が特徴である。この場合一つの saltation の運動方程式の精粗は必ずしも重要でなく、前報¹⁾に示した抗力と重力のみを考慮したものを用いる。運動方程式の役割はむしろ saltation の初速度の不規則性が saltation の特性量 (saltation 高、saltation period、saltation の終末速度) にどう影響するか (分布の変換) 及び、saltation のスケールの条件付での粒子の鉛直方向存在確率密度がどう与えられるかにある。successive saltation を考える時のもう一つの力学機構は反発面の傾斜角が与えられたときの反発事象 (一つの saltation の終末速度から次の saltation の初速度への分布を含めた変換) であり、これも反発係数を導入して簡単に与えることとする (文献 2) において $e=f$ 、 $C_0=C_1$ とする。条件を縛っての基礎実験で概ねこれらの力学的関係に関するモデルの適合性は検証された。また、仮想反発面の傾斜角も saltation の終末速度によって与えられる水路床面への入射角の条件付でその分布性状を知るシミュレーションモデルがすでに¹⁾提案されており、以下ではこれらを用いた successive saltation 全体のシミュレーションモデルについて述べる。この場合 saltation の継続が停止する (moving step の形成) 条件を考える必要があり、ここでは、反発直後の上向き運動エネルギーが位置エネルギーに変換された時の上昇量が Δb 以下である時停止すると仮定し、 $\Delta_* \equiv \Delta b/d$ (d : 粒径) を、 e 、 f とともにモデルの未知パラメータとした。すなわち、反発後の上向き速度 v_0 について $v_{0*} < \sqrt{2/(\sigma_p \cdot C_n)} \cdot \Delta_*$ の場合を停止とした。ここに、 $v_* \equiv v/\sqrt{(\sigma_p - 1)gd}$ 、 σ_p : 砂の比重、 C_n : 砂の仮想質量係数である。

3. Successive saltation のシミュレーション シミュレーションは、 $e=f$ 、 Δ_* をパラメータとしてこれらといくつか設定して行ったが後述するように $e=f=0.6$ 、 $\Delta_*=0.1$ が適切 (実測値との対応が良好) と判断されたので、以下その場合の計算結果について述べる。なお $\sigma_p=2.65$ 、 $C_0=C_1=0.5$ とした。

まず、個々の saltation の特性量である砂粒子の初速度 (v_{g0}, v_0)、終末速度 (u_{gr}, v_s)、saltation period T_s ($T_{s*} \equiv T_s \sqrt{(\sigma_p - 1)gd}$)、入射角 θ_r 、反射角 θ_0 、saltation 高 (最高点の高さ) H_s 、saltation 長 L_s について、無次元掃流力 τ_b に対するそれぞれの確率密度分布の変化を求めた。計算条件は異なるが分布形の形自体は前報¹⁾に示したものと酷似している。そこで、

* Hiroji NAKAGAWA, Testuro TSUJIMOTO and Tsunehiro AKAO

平均値についての結果のみ図-1~2に示す。なお各量によつて変動係数は異なるが、掃流力によつてはあまり変化が認められなかった。

次に Successive saltation の特性量である saltation の継続回数、

step length、moving period の分布 図-1 個々の saltation の特性量の平均値 (a) を図-3 に示す。これらのいずれも指数分布に良く適合するよう

である。また、平均 step length λ の τ_* による変化を図-4 に示した。図では計算のパラメータ e, f, Δ_* を変えた結果を示している。また実験データ(文献2)で集められたもの)と比較すると、 τ_* の大きいところでは過大評価となることが

わかる。これは滑動、転動を対象とした中川ら³⁾のモデルでも考えられるような loose な河床での粒子のずれ動きによる運動量減に依るものと思われる。

さて、次に連続する saltation 軌跡を等時間間隔で離散化して、いわゆる粒子の鉛直方向存在高さ $|y|$ の分布を調べた。これは掃流砂濃度分布に相当する。図-5 に $|y|$ の平均及び変動係数を示した。また、図-6 にはシミュレーションで得られた $|y|$ の確率密度分布の例を示す。図-5 による $|y|$ の変動係数は 0.7 程度で殆んど変化せず、また分布の上限は図-6 により、ほぼ平均存在高さの 2.5~3 倍程度である。図-5 によると、saltation の上限は τ_* が 0.1~0.3 で河床から粒径の 4~8 倍となることがわかる。

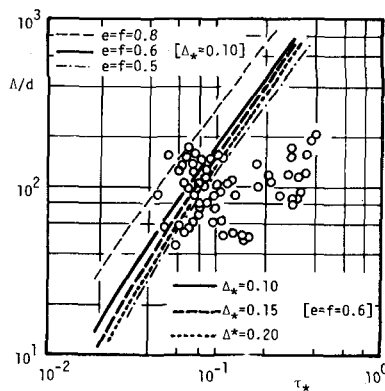
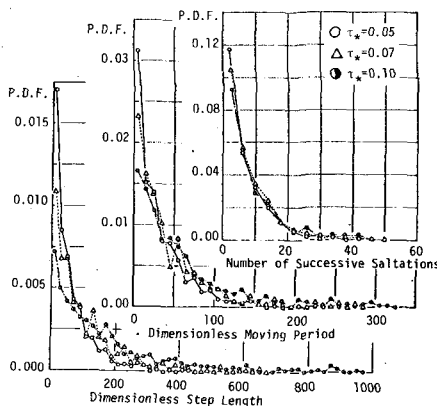
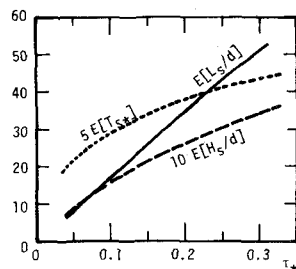
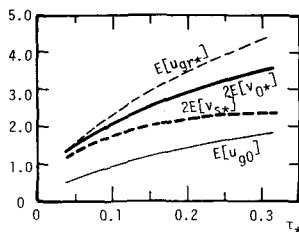


図-4 平均 step length

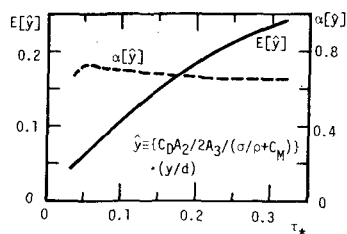


図-5 粒子の存在高さ $|y|$ の平均値及び変動係数

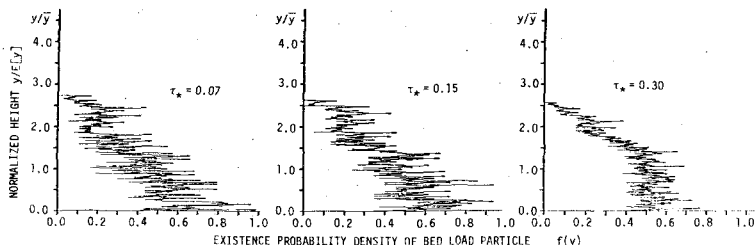


図-6 saltation 粒子の鉛直方向存在確率密度分布(シミュレーション結果)

<参考文献> 1) 中川・辻本 赤尾(1983) 第27回水講、2) Nakagawa & Tsujimoto (1982) Proc ASCE、3) 中川・辻本(1975) 土論集