

京都大学大学院 学生員 旗持 和洋
 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 流砂の運動は確かに運動方程式に支配されているものの不規則性の関与のし方が重要な要件となっている。例えば、滑動を主体とした掃流運動でも床面突起との衝突の無い間は摩擦の卓越した運動方程式で扱えるが突起との衝突事象やその間隔は不規則性の強いものである¹⁾。saltation 粒子の場合も、個々の saltation 軌跡は確かに運動方程式に支配されるが、床面との不規則な反発事象により運動方程式の初期条件が確率変数となる確率過程である²⁾し、浮遊粒子になると床面と独立な運動状態ですら外力項の不規則性が運動方程式自体を確率的なものとしている。このような不規則性の関与のし方に着目して流砂運動を分類したり、その遷移を検討する研究の一環として、saltation 運動に着目し、不規則な successive saltation のモデルを提案した³⁾。本報では、前報²⁾で充分検討されなかった床面との反発に関するモデルについて議論するとともに、前報²⁾では試算的に例示するにとどまったシミュレーションを系統的に実施し、それにもとづいて successive saltation の特性、存在確率分布性状が掃流力によってどのように変化するかを検討する。不規則性を考慮した successive saltation のモデルは saltation の運動方程式にもとづく個々の saltation に関するモデルと、床面での反発についてこのモデルとから成るが、前者については前報²⁾で詳述しているのでここは省略する。

2. 反発モデルの検討 著者らの反発モデルは前報²⁾で述べたように河床表面に存在する粒径オーダーの凹凸に対する衝突のし方によって入射角に対する反射角の分布が決定されるという形式になっている。すなわち、個々の saltation 運動中に水流から流下方向の運動量を得て、床面突起との衝突によりこれが鉛直上向きにそれの一部交換されることにより、saltation 層の厚さが保たれていると考えられている。すなわち、図-1 のようなモデルを考えて形成される仮想反発面での衝突を考えると、その傾斜角 α の不規則性によって入射状況と反射状況との関係が不規則になる。この傾斜角 α は図の点 (a_q, b_q) を知ることから、 $\alpha = \arctan\{(3d - 2a_q)/2b_q\}$ (d : 粒径) として与えられ、入射角 θ_r が既知でもその位置(図の T-S 間に分布)により分布している。このモデルで、入射状況の確率的性質を反射後諸量のそれに変換されるが、これを検証するため、水路横断方向に軸を持つガラス円柱を密に並べた勾配可変斜面上で粒子(静水中)の反発前後の諸量をフィルム解析によって測定した(図-2 参照)。図-3 は入射角 θ_r の分布(実測)であり、図-4 に仮想反発面の傾斜角 α の分布の実測結果(破線)と、本モデルと図-3 の結果から推定された計算結果(実線)とを比較して示した。また図-5 は実測された反発直前の粒子速度の分布であり、斜面に沿う方向の速度は実験の性格上ほぼ一様、垂直

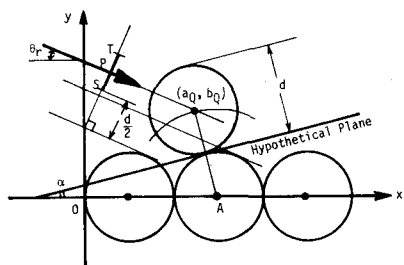


図-1 反発モデル

方向速度の分布はほぼ $r=13$ の gamma 分布 (r : shape parameter) に適合している。図-6 に反発モデルから推定される反発直後の速度分布を

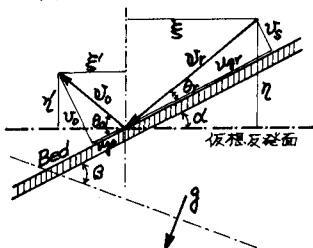


図-2 記号図

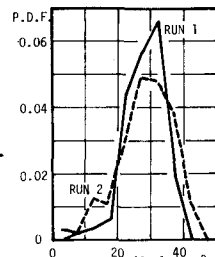


図-3 入射角 θ_r の分布

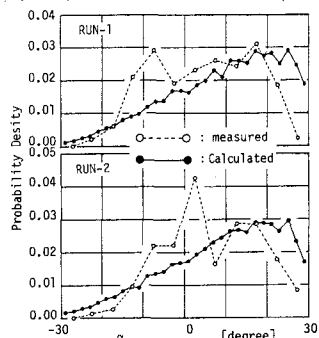


図-4 α の分布

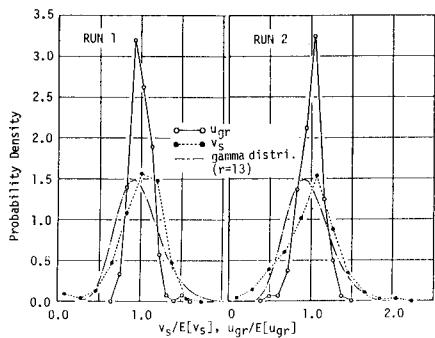


図-5 反発直前の粒子速度の分布

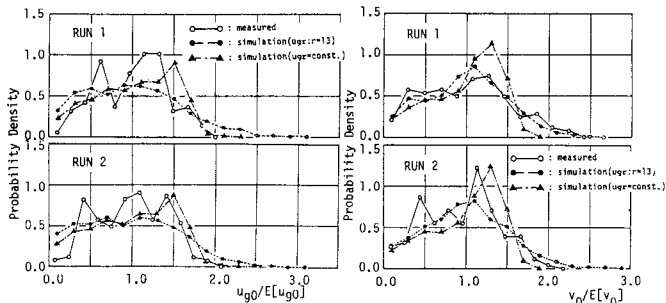


図-6 反発直後の粒子速度の分布

実験結果(実線)と比較した。こうした実験によって、ここに提案された反発モデルで successive saltation のサブシステムとしての反発事象を記述することの妥当性がほぼ検証されたものとする。

3. Successive Saltation のシミュレーション

ここでは、saltation の継続が停止する条件を、反発直後の上向き運動エネルギーに着目し、障害高さ Δb を越えることができない場合とし、 $v_0/\sqrt{(0.5-1)gd} < \sqrt{\{2/(1+q_1)\} \Delta b/d}$ の時停止とした。シミュレーションに当っては反発係数に相当するパラメータ $e=f=0.6$, $\Delta b/d=0.1$, $C_p=0.4$, $C_M=0.5$, $\alpha/\beta=2.65$ とした (α/β : 比重, q_1 : 付加質量係数, C_p : 抗力係数)。まず、個々の saltation の特性量の性質のうち、平均値について図-7 を得た。 L_s : saltation 長, H_s : saltation 高さ, T_s : saltation period で $T_s \equiv T_s/(\alpha/\beta-1)g/d$ である。また、successive saltation の特性量として saltation の継続回数、いわゆる 1 step の moving period 及び step length に着目し、その分布を調べた。その結果が図-8 でいずれも指数分布に良く適合している。また平均 step length の無次元掃流力 τ_* に対する変化は図-9 に示す通りである(ここではモデルに合まれるパラメータの効果を概略的に検討している)。図には従来の実験値をも併示しているが、本シミュレーションの結果は τ_* の大きいところで過大評価となっている。

これは反発の際の床面の砂粒の乱れ動きの効果を無視したためと考えられる。なお図-10 には saltation 粒子の平均存在高さ及びその変動係数、図-11 には存在確率密度分布を示した。

4. あとがき

今後、本研究を基盤に、saltation 粒子が浮游へ移行する過程や、浮游粒子の床面近傍での saltation 的挙動の検討を行い、掃・浮流砂粒機構の統一的説明を目指したいと考えている。

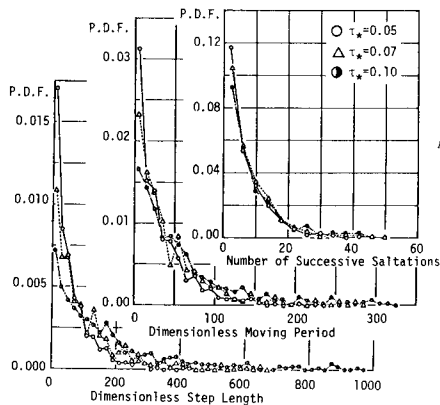


図-8 Successive Saltation の特性量の分布

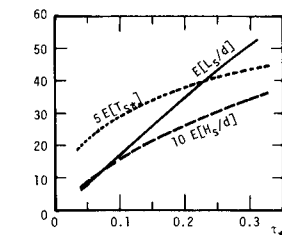


図-7 個々の saltation 特性量

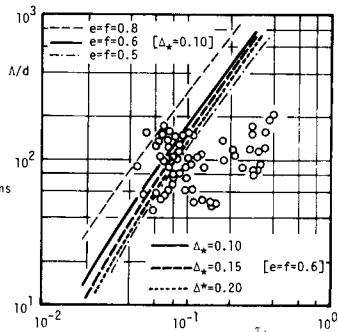


図-9 平均 step length

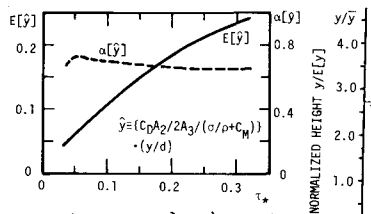


図-10 粒子の平均存在高さの変動係数

<参考文献> D Nakayama et al. (1980)

Proc. 3rd ISSH 2) 中川江平市展(1983): 27 回水講

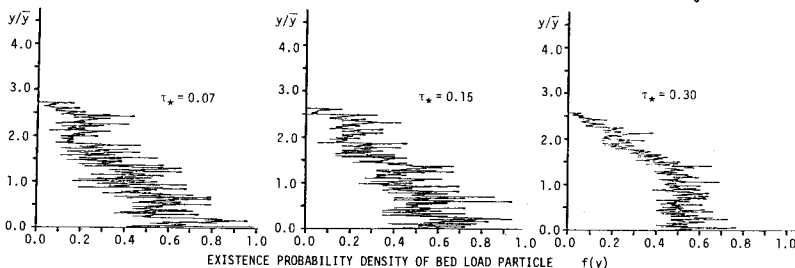


図-11 saltation 粒子の鉛直方向存在確率密度分布