

II-154

正弦波状河床上での saltation 運動に関する検討

京都大学工学部 正 員 村上 正吾
富 山 県 正 員 山元 達郎
金 沢 市 山田 邦之

1. まえがき

掃流砂と浮遊砂が共存する移動床系は、実際河川においてもしばしば見られ、特に両者の非平衡状態を認識したモデル化の必要性があるものと考えられる。一般に、両者が共存する水理条件下では、河床波が形成されることが多い。ところで、浮遊砂の拡散源である河床波背面上での掃流砂運動は、不規則な saltation の繰り返しで特徴づけられるが、河床波背面上での saltation 運動と平坦河床上でのそれとの違いを明らかにするためには、saltation 運動に及ぼすつぎのような効果の検討が必要であるものと考えられる；

(i) 流れの流下方向への周期的な変化、(ii) 剥離域の存在、(iii) 局所河床勾配の粒子の河床面での衝突・反発事象に与える影響、(iv) 流線の曲がりによる水流の鉛直速度成分。本研究では、saltation 運動に及ぼす(i)の効果についての検討を、河床は平坦で、流れのみが正弦状に変化する場合を想定し、検討を行う(図-1参照)。

2. 流れが周期的に変化する場における individual saltation

流れが変化する場における粒子の運動方程式は、平坦河床でのそれが鉛直方向の運動方程式だけで十分であるのに対して、水平方向の運動方程式をも考慮しなければならない。流れが定常で、流下方向に変化する場における saltation の運動方程式はつぎのように表される。但し、流線の曲率は十分小さいものとする。

$$\rho (\sigma / \rho + C_M) A_3 d^3 dv_x / dt = D \cos \phi + \rho A_3 d^3 du / dx \quad (1)$$

$$\rho (\sigma / \rho + C_M) A_3 d^3 dv_y / dt = D \sin \phi - \rho (\sigma / \rho - 1) g A_3 d^3 \quad (2)$$

$$D = C_0 \frac{1}{2} A_2 d^2 \{ (U - v_x)^2 + (V - v_y)^2 \} ; \quad \tan \phi = (V - v_y) / (U - v_x) \quad (3)$$

ここで、 σ 、 ρ ：砂粒、水の密度、 C_M ：仮想質量係数、 A_2 、 A_3 ：砂の2,3次元の形状係数、 d ：砂粒径、 v_x 、 v_y ：砂粒速度の流下・鉛直方向成分、 D ：抗力、 ϕ ：抗力の作用方向、 C_0 ：抗力係数、 U 、 V ：流速の流下、鉛直方向成分である。図-1は、平坦河床において流れを周期的に変化させるための実験管路を示しており、こうした場における saltation 運動の特性の検討を進める。ここで、管路上部境界は正弦波 $y_b = a \cdot \sin \kappa x$ (a ：振幅、 $\kappa = 2\pi/L$ 、 L ：波長) で、一方底面は平坦である。この時平均流速は $U_m = U_0(1 - r \sin \kappa x)$ と表わされる(添字0は平均的な流れでの値を示す)。図-2は式(1)右辺第2項の効果を検討したものであり、 L に対して単一 saltation 長 L_{s0} (= 等流状態での saltation 長) が大きいほど流れの変化の saltation の軌跡に与える影響は大きいことがわかる。計算に当っては、 $C_0 = 0.4 + 24/Re$ ($Re = \sqrt{(U - v_x)^2 + (V - v_y)^2} d / \nu$ ； Reynolds数； ν ：動粘性係数)、流速 U としては各断面での平均流速 U_m を用い、 $r = 0.2$ とした。等流状態での無次元底面剪断応力を $\tau_{*0} = 2$ 、 $d = 0.2$ (cm)、 $D_0/d = 30$ 、 $\phi_0 = U_0/u_{*0} = 15$ (=一定) とし、 $x = 0$ より粒子を出発させた。図-3は τ_{*0} の変化による軌跡の違いを見たものであり、 τ_{*0} が大きい時ほど流れの変化の saltation への影響が大きく、軌跡自体も変化することがわかる。図-4は $du/dx = 0$ の場合における出発点の違いによる軌跡の違いを見たものであり、ある断面における掃流砂の鉛直方向分布を検討する上において粒子の出発点の重み付けが必要であることがわかる。

3. 流れが周期的に変化する場での irregular successive saltation

流れが変化する場における掃流砂運動を明らかにするという意味においては、個々の saltation の運動の集合体としてのいわゆる不規則連続 saltation 運動の特性を明らかにする必要がある。中川らの平坦河床で

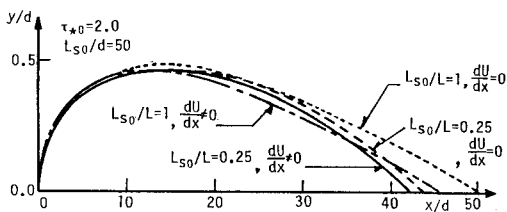


図-2 saltation 軌跡の変化 ($L_{s0}/L, du/dx$ の効果)

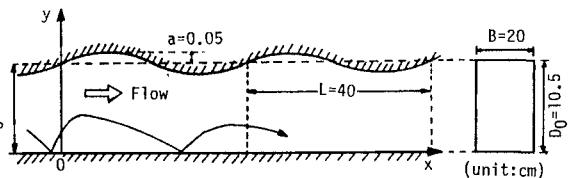


図-1 概略図

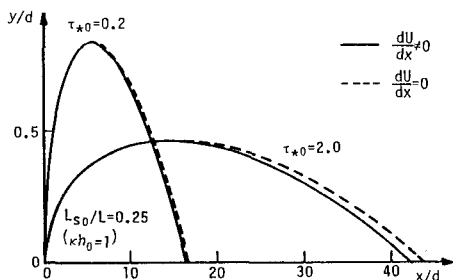


図-3 saltation 軌跡の変化 (τ_{*0} の効果)

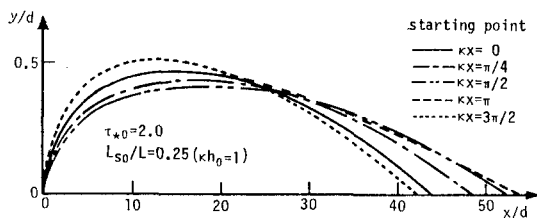


図-4 saltation 軌跡の変化 (出発点の効果)

の不規則継続saltation model¹⁾ に2.での検討結果を考慮して、図-1に示されるような場での不規則継続saltation のsimulationを行った結果が図-5 (L_s, H_s : 平均単一saltation 長及びその高さ) に示されている。図-4で明らかのように、出発点によって単一のsaltation が大きく変化すること、また掃流力も周期的に変化するため、各出発点より移動を開始する砂粒の個数の変化に対する考慮が重要であるが、ここでは、簡単のため、各出発点より同数の粒子を発生させた。平均的な τ_{*0} が同一であっても、流れが変化することにより、平均値 $E[\cdot]$ も標準偏差 $\sigma[\cdot]$ も変化しており、特に後者への影響が大きいことが示されている。図-6は、図-1の管路に表-1に示す条件で通水した時のABS粒子 ($\sigma/\rho=1.03, d=0.128\text{cm}$) のsaltation 運動を側方よりビデオで記録、解析して得られたsaltation 粒子の平均存在高さ $E[y]$ を y_k ($E[y]$ の一波長平均) で規準化したものの一波長内での変化と、irregular successive saltationのsimulation結果とを比較したものであり、若干の位相差が認められるものの、比較的良好な一致を見せている。出発点による重み付けによって、こうした位相差についても議論が可能と思われる。

4. あとがき

本研究では河床波上でのsaltation 運動を明らかにするため、先ず流れの変化のsaltation に与える影響の検討を行った。今後は1.述べた効果の検討を進め、河床波上での掃流砂運動の特性の把握に努める予定である。

参考文献 1) 中川・辻本・赤尾: 京大防災研年報 第26号, B-2, pp.379-393, 昭和58年。

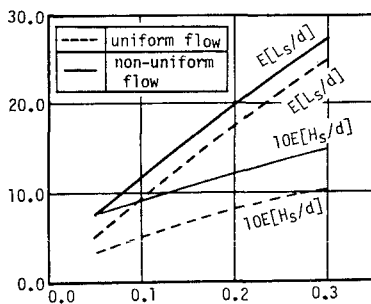


図-5(a) 平均値特性の τ_{*0} に対する変化

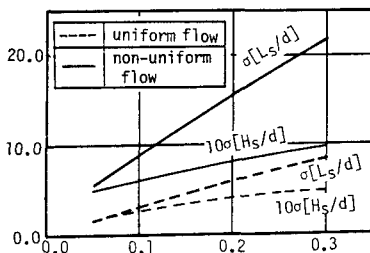


図-5(b) 標準偏差の τ_{*0} に対する変化

表-1 実験条件

Run	D_0 (cm)	流量 Q (l/sec)	U_m (cm/s)	Re ($\times 10^4$)	τ_{*0}
1	10.5	2.466	15.79	2.17	1.06
2	10.5	2.544	17.21	2.37	0.99
3	10.5	3.131	19.60	2.70	1.16

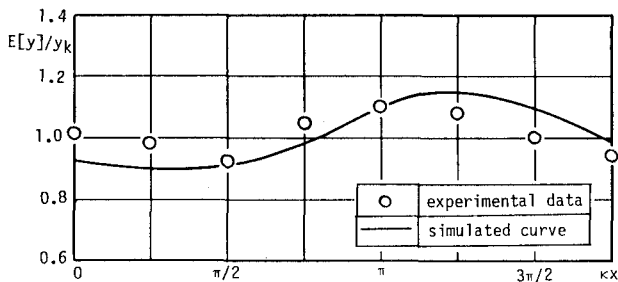


図-6 $E[y]$ の一波長内変化 (実験とsimulationの比較)