

非一様な底面せん断力場における saltation 運動について

金沢大学工学部 正 員 辻本 哲郎
 京都大学工学部 正 員 村上 正吾
 金沢大学大学院 学生員 山元 達郎
 金沢大学工学部 ○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意識したモデル化の必要性があるものと考えられる。こうした両者が共存する水理条件下では、一般に、水路には河床波が形成されることが多い。著者らの室内水路実験によれば、河床波上の浮遊砂といえども、掃流砂から底面付近の乱れによって、水流中に取り込まれていることがビデオ画像解析から読み取られている一方、近年では、crest から剝離した渦の再付着点付近から発生する組織渦が砂粒の巻き上げ・輸送に重要であるとの研究も進められているが、何れにしても、浮遊砂の拡散源としての、河床波背面上の非平衡状態にある掃流砂の特性を把握することが必須である。本研究では、浮遊砂量及びその濃度分布形成に重要な役割を果たす非平衡掃流砂の特性を明らかにするため、ビデオ解析を通してその主たる運動形態が saltation であるとの認識にたち、著者らが平坦河床で展開してきた不規則継続跳躍理論を、河床波背面のような非一様な底面せん断力場に適用しようとするものである。なお、河床波上の浮遊砂を考えるに当っては、剝離域の存在が重要であるが、ここでは、背面上の saltation 運動に着目しているため、振幅が小さく剝離を起こしていない正弦波状河床波を対象とする。

2. 非一様な流れ場における単一 saltation

非一様な流れの場における単一の saltation の運動を考えるに当っては、流速が場所的に変化し、砂粒との相対速度の変化がかなり大きいことに留意すると、平坦河床上の saltation 運動が鉛直方向の運動方程式だけで十分であったのに対して、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、流下方向に空間的に変化する場における粒子の運動方程式は次式で表される。但し、河床の曲率は、十分小さく流下方向とそれに対する鉛直方向成分の運動方程式で十分記述可能と仮定する。

$$\rho(\sigma/\rho+C_M)A_3d^3\frac{dv_x}{dt} = D\cos\phi + \rho A_3d^3u\frac{du}{dx} \tag{1}$$

$$\rho(\sigma/\rho+C_M)A_3d^3\frac{dv_y}{dt} = D\sin\phi - \rho(\sigma/\rho-1)gA_3d^3 \tag{2}$$

$$D = \frac{1}{2}C_D\rho A_2d^2[(U-v_x)^2 + (V-v_y)^2] \tag{3}$$

$$\tan\phi = (V-v_y)/(U-v_x) \tag{4}$$

但し、 σ 、 ρ ：砂粒、水の密度、 C_M ：仮想質量係数、 A_2, A_3 ：砂の2次元、3次元形状係数、 d ：砂粒径、 v_x, v_y ：砂粒の速度の流下方向、鉛直方向成分、 C_D ：砂粒の抗力係数、 U, V ：水流の流下方向、鉛直方向成分、 D ：抗力、 ϕ ：抗力の方向である。図-1は、振幅 $a = 0.5\text{cm}$ 、波長 $L = 40\text{cm}$ の正弦波状河床上での単一の saltation 粒子の運動の様子を示したもので、式(1)の右辺第2項を無視した場合と、そうでない場合を比較したものであり、出発点の違いによる軌跡の比較も行っている。計算に当っては、 $C_D = 0.4 + 24/\text{Re}$ ($\text{Re} = [(U-v_x)^2 + (V-v_y)^2] \cdot \frac{d}{\nu}$ ：Reynolds数、 ν ：動粘性係数)とし、式(1)の右辺第2項中の流速 u は各断面の平均流速 U_m を用いるとともに、鉛直方向の速度成分 $V = 0$ とした。この時、流れの条件としては、平均的な水理量により定まる無次元底面せん断応力 $\tau_* = 5$ とし、それに対する流速係数 $\phi_0 = U_{m0}/u_{*0} = 10$ とした。図より、 $u \frac{du}{dx}$ に関わる項の影響はほとんど無いように見えるが、これは、対象とした正弦波河床では、 $\frac{du}{dx}$ が急速に小さくなっているためで、例えば、図-3に示したように、 $\frac{du}{dx}$ が一定である場合を想定すると、かなりの効果が認められる。また、出発点の違いによる、 $\frac{du}{dx}$ の効き方も図-1には

示されている。

3. 非一様な流れ場における不規則継続跳躍

1. で述べたように、非一様な流れ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 irregular successive saltation (不規則継続跳躍) の、こうした場における特性を明らかにしなければならない。successive saltation において重要な要素は、床面との衝突・反発であり、中川らの平坦河床でのモデルに、河床波の勾配を考慮すると、図-4 に示すような反発モデルが得られる。これを用いて、中川らと同様の simulation を行い、正弦波状河床上での掃流粒子の鉛直方向の存在確率密度の流下方向変化の例を示したのが、図-5 である。simulation を行った水理量に対する平坦河床での平均存在高さ $E(y)/d$ 及び変動係数 α_y がそれぞれ 13.0, 0.67 であるのに対して、河床波上では、crest に向って、 $E(y)/d$ は減少していくと期待されよう。一方、図-6 は、 $\frac{du}{dx}$ が掃流砂の存在高さの確率密度に及ぼす効果を見るために、平坦河床上で流れが変化しているとの想定の下に、simulation を行った結果であり、個々の saltation に対しては、小さな効果しか持たなかったものの、successive saltation としての特性は、平坦河床のものとはやや異なることが見出される。

4. あとがき

本研究では、河床波背面上の非平衡流砂運動を明らかにする上で重要と考えられる saltation 運動の特性把握のため、正弦波状河床を想定し、そこでの非一様な流れ場の単一 saltation 及び irregular successive saltation に及ぼす影響の検討を行った。

<参考文献> 1) 中川ら; 京都大学防災研究所年報, 第26号 B-2, pp.379~392, 1983.

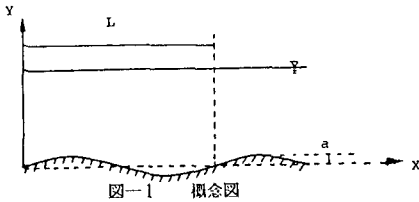


表-1 計算条件

τ_*	U/u_*	波長 (cm)	平均水深 (cm)	河床振幅 (cm)	粒径 (cm)
5	10	40	5	0.5	0.02

