

京都大学防災研究所
京都大学大学院

正 会 員 土屋義人
学 生 会 員 O河田恵昭

飛砂および流砂において、掃流状態で輸送される砂粒の運動を Saltation と考えた場合、とくに後者においてはこれまで、砂粒の Saltation の開始条件に対する各研究者の考え方は必ずしも一致していない。ここでは最近発表された砂粒の Saltation に関する Rossinskiy らの実験結果と飛砂において実施した著者らの結果をもとにして、この問題について若干考察した結果について述べる。

1. Rossinskiy らの実験結果の再整理 一般に、砂粒の Saltation の考え方は、大きく分けて2つあるように思われる。1つは静止していた砂粒が鉛直方向に働く揚力によって移動を開始し、直接 Saltation に移行するものであり、いま1つは、水平方向の流体力によって移動を始め、転動および滑動の後に床面砂粒との衝突の結果、その反発によって Saltation を開始するものとするものである。前者の考え方では、砂粒の初速度が0であって、最大鉛直速度は河床と最大飛高の間で発生することになる。また、後者では、最大鉛直速度が移動する砂粒と床面砂粒との衝突直後に生ずることになる。図-1は Saltation を開始した砂粒の鉛直方向の速度の時間的変化を示したものである。Rossinskiy らはこれから、ほとんどの砂粒は跳躍中、一様に減速するという事実を見出した。つぎに、砂粒の飛高が初速度によって規定されると考えて、この実験結果を用いて砂粒の鉛直初速度と飛高との関係を無次元化して図示したものが図-2である。ここに、 $\bar{w}_0 (=w_0/u_*)$ ；砂粒の鉛直速度 w_0 の無次元量および $\bar{H} (=H/d)$ ；飛高 H の無次元量である。その他の記号は通常用いられるものと同じである。図中の曲線は、移動する砂粒と床面砂粒との衝突による Saltation の開始を求めて求めた著者らの関係をあらわしている。 $\bar{H} = (2/3) \{ (\sigma/\rho + 1/2) / C_D \} \log \{ 1 + (\bar{w}_0/K)^2 \}$ 、ここに、 $K^2 = (4/3) \{ (\sigma/\rho - 1)gd / u_*^2 \} (1/C_D)$ である。実験結果から、砂粒の鉛直初速度 w_0 に対応する Reynolds 数はほぼ $10^2 \sim 10^3$ であるので、抵抗係数 C_D の値は1から

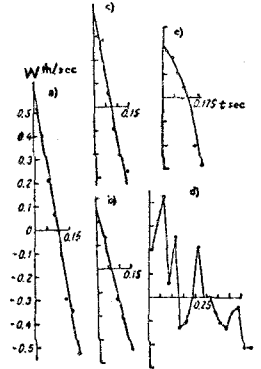


図-1 速度の時間的変化

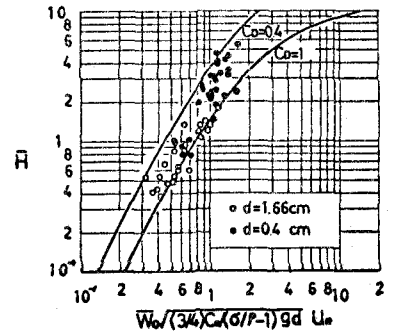


図-2 鉛直初速度と飛高との関係

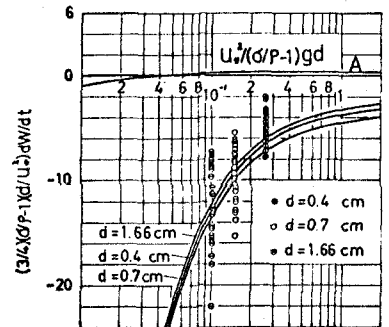


図-3 鉛直方向加速度と掃流力の関係

0.4 程度であると考えられる。この図から実験値はほとんど両曲線の間にプロットされていることがわかる。図-3は無次元掃流力と砂粒の鉛直方向加速度との関係を図示したものである。図中の曲線Aは揚力による Saltation の開始を考えた岸らによる理論式であって、次式であらわされる。 $(4/3)(\sigma/p+1/2)(d/u_*^2)dw/dt = 0.4C + 1/(8.5)^2 \tau^*$ 、ここに、 $\tau^* = u_*^2/(\sigma/p-1)gd$ および C ; Chepil による揚力の係数で 0.85 である。一方、曲線Bは前述した著者らの関係で、次式であらわされる。 $(4/3)(\sigma/p+1/2)(d/u_*^2)dw/dt = C_0 \bar{w}^2 - (1/\tau^*)$ 、ここに、 $\bar{w} = W/u_*$ である。各粒径に対応する曲線が求められているのは、砂粒の鉛直速度の平均値が粒径によって異なるためであるが、これらの曲線はあまり相違しないことがわかる。これから曲線Bは曲線Aよりも非常に実験値の傾向とよく一致することがわかる。図-4は砂粒の最大鉛直速度の発生位置を示したものであって、図中には著者らの飛砂における Saltation の実験結果も図示してある。これから、流砂および飛砂における砂粒の最大鉛直速度の発生位置は、移動する砂粒と床面砂粒の衝突点付近にあることがほぼわかるであろう。

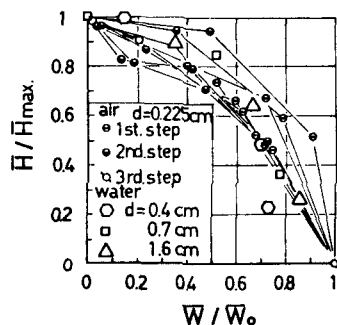


図-4 最大鉛直速度の発生位置

2. 飛砂における Saltation の開始 飛砂においては、Bagnold を始めとして Chepil や河村らによって、移動する砂粒と床面砂粒の衝突による Saltation の開始が観察されている。さらに著者らによって、飛砂の場合移動床および固定床のどちらにおいても砂粒は、静止状態から粒径程度も

図-4

図-5は飛砂の first Saltation における反発係数 e と無次元飛高 H_1 との関係を示したものである。実験条件は、固定床および移動床のどちらの場合でも、無次元掃流力がほぼ 0.03 である。この図から反発係数 e の大きな固定床の種子、固定床の砂粒および移動床の砂粒の順に無次元飛高 H_1 が大きいことがわかる。これは、飛砂の Saltation の開始において、反発係数 e がその運動を支配する非常に重要なパラメーターであることを示している。

以上の考察の結果から考えれば、流砂および飛砂における砂粒の Saltation の開始は、床面上の静止砂粒に働く揚力が、直接の原因となるのではなく、むしろ移動を始めた砂粒と床面砂粒との衝突の結果、その反発によって鉛直方向の速度成分が与えられ、これが主な原因となって Saltation を開始すると思われる。

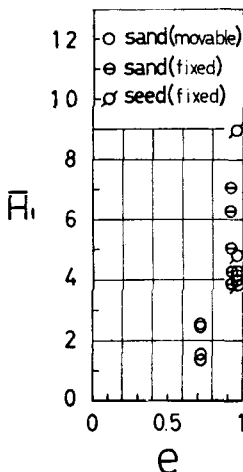


図-5 反発係数と飛高との関係

参考文献

Rossinskiy, K.I., Lyubomirova, K.S.: Jumplike Movement of a Solid Particle at the Bottom of a Turbulent Stream, Soviet Hydrology, 1969.