

II-32 飛砂における砂粒の運動機構に関する実験的研究 (1)

—— 砂粒の Saltation について ——

京都大学防災研究所 正員 土屋義人

京都大学大学院 学生員 〇河田恵昭

1. 緒言 飛砂および流砂はともに砂粒が流体中を移動する現象であるが、これまでたがいに独立な現象のように考えられてきた。本研究では、これらの現象を統一的に究明するために砂粒が掃流状態で輸送される場合の飛砂現象における砂粒の運動機構を流砂現象との関連で考察し、固定床における砂粒の運動に関する実験を行ない、とくにその Saltation の機構について考察した結果を報告する。

2. 実験方法 実験に用いた砂粒は3種類であり、ほかに反発係数の効果を調べるために種子を2種類使用した。これらの粒子が対象とする粒子をスプーンした床面上を移動する状態を高速度カメラで写真撮影し、その運動をフィルムモーションアナライザーで詳細に解析した。

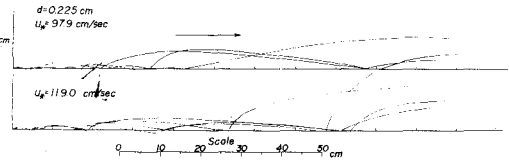


図-1 砂粒の運動軌跡

3. Saltation の機構 図-1にみられるように、床面上に置かれた砂粒はその移動限界を越えると静止状態から急に跳躍運動すなわち Saltation を開始する。ここでは、これら第1, 2, 3の Saltation について考察することにした。

(1) 砂粒の跳躍特性 図-2は粒子の跳躍高さおよび距離の平均値を、図-3はとくに第1の Saltation についての跳躍高さの平均値を示し、図-4はその跳躍高さおよび距離の分布をまた図-5は掃流力による $\bar{H}_m/\bar{L}_m$ の変化を示したものである。図-2における曲線は着着らの Successive Saltation の理論において、いわゆる Stationary Saltation が成立する場合の飛高および飛距離を表わす関係

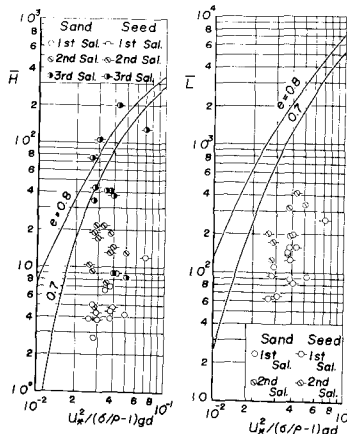


図-2 粒子の跳躍高さおよび距離の平均値

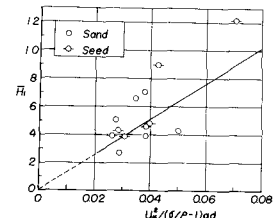


図-3 First Saltation の跳躍高さ

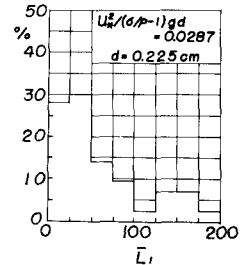
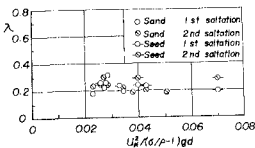


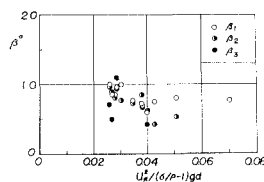
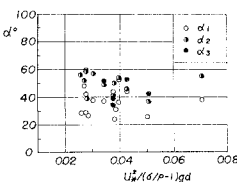
図-4 跳躍距離の分布

において、反発係数 e をパラメーターとしかつ近似的に γ/d を 10^2 として計算したものであり、また図-3における直線は第1の Saltation に関する同様な関係すなわち $\bar{L}_m/d < 1$ であるから $\bar{H}_m = (1/2)\beta^2 Ar^2 \{(\gamma/P + 1/2)(C_D/C_{D1})\} \{2N/(1 + \sqrt{2N})^2\} \{u_*^2/(\gamma/P - 1)gd\}$ を示したものである。ここに、 $\bar{H}_m = H_m/d$, $\bar{L}_m = L_m/d$, e : 反発係数, β : 飛び出し角度の

$\tan \epsilon, N = (3/4)\{C_0/(0.5p+1/2)\}$ および $K^2 = (4/3)\{(0.5p-1)gd/u_*^2\} \{1/C_0\}$ である。これらの結果より以下のことがわかる。(i) 同一の掃流力に対しては, Saltationの回数が増加するにつれて跳躍高さおよび距離は急激に増加し, この実験の範囲では Stationary Saltation にならない。また, 反発係数の大きい種子は $\bar{H}$ および $\bar{L}$ のどちらも砂粒の場合より大きくなっている。(ii) 図-3より無次元掃流力の値が0.02付近は, 本実験において対象とした砂粒のほぼ移動限界であるが, 砂粒の飛び出しに対する転動距離の無次元量 l_m/d が1より小さい場合の前述の理論直線と傾向が一致するが, いま図中に示した直線とすれば $\beta = 0.92$ 程度となる。これらの事実と観察の結果より判断すると飛砂の場合, ほとんど粒径程度も転動せずに直ちに Saltation を開始すると考えられる。(iii) 図-4より跳躍高さおよび距離の分布形はいずれも流砂におけると同じく左右非対称となる。(iv) 図-5より $\bar{H}_m/\bar{L}_m$ の平均値はほとんど無次元掃流力や Saltation の回数に影響されずにほぼ0.23となり, 流砂の場合の $\lambda = 0.4$ よりかなり小さい。このことは, $\bar{H}$ がかなり大きいので, $u = f(z)$ であって $u \propto Ar u_*$ によって近似できないことおよび後述するような平均的な反発係数 e の大小によるものと考えられる。



(2) 砂粒の衝突特性 図-6は砂粒および種子の飛び出し角度と落下角度の平均値を示したものであり, 図中1, 2および3はそれぞれ第1, 第2および第3の Saltation を示す。図-7は反発係



数 e の値の平均値の掃流力による変化を 図-6 飛び出し角度および落下角度の平均値示したものである。これらの結果を考察すると, つぎのようである。(i) 図-

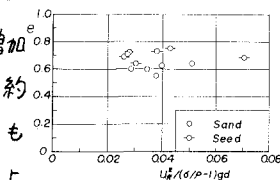


図-7 反発係数

6より飛び出し角度 α_1, α_2 および α_3 のすべてについて, 無次元掃流力の増加に対しわずかに増加する傾向にある。また, これらの平均値は α_1 については約 33° , α_2 および α_3 については約 48° であり, いずれも流砂の場合の平均値よりもかなり大きな値となっている。(ii) 図-6より落下角度 β_1, β_2 および β_3 は上記におけると同様に, 無次元掃流力が増加するにつれてわずかに減少する傾向が認められる。これらの平均値は, β_1 については約 8° であり, β_2 および β_3 については約 7° である。移動床による Bagnold の実験結果では, その落下角度は約 12° であり, 著者らの固定床における実験値よりも若干大きな値となっている。(iii) 図-7において平均的な反発係数 e は, 流砂における場合と同じ方法で求めたものであって, 掃流力によって変化しないことがわかる。

以上, 飛砂現象における砂粒の運動機構を明らかにするために, 流砂現象の場合と同じく砂粒の運動を写真撮影し, その現象を詳細に考察して両者と比較検討した結果の概要を述べた。現象が複雑であって十分説明できない点もあるが両者の関係はこれまでの著者らの理論によってかなり系統的に説明できそうであるので, さらに検討を進めた。最後に, 図面の整理に熱心に協力していただいた芝野照夫技官に感謝する。