

飛砂における砂粒の移動限界について

京都大学防災研究所 正会員 土屋 義人
 京都大学大学院 学生会員 O河田 恵昭

1. 緒言 風による砂粒の輸送現象は一般に飛砂とよばれ、水流による砂粒の輸送現象すなわち流砂と類似のものである。本研究は、これら両現象の統一的な力学機構の解明によってはじめて飛砂および流砂力学が確立されるという観点に立って、風による砂粒の移動限界に関する詳細な実験を実施して、水流による砂粒の移動限界すなわち限界掃流力との関連において、両者の相違とその機構を主として実験的に考察しようとしたものである。

2. 砂粒の移動限界についての実験結果と考察

(1) 実験結果とその考察：移動限界の実験に用いた粒子は砂粒5種類、ナイロン粒子3種類、軽量骨材1種類および種子が2種類である。ここで、移動限界の定義としては、さきに土屋によって提案されたものを用いた。すなわち、単位時間、単位面積当りの移動数を単位面積当りに露出している粒子の数でわった値 $P_0\%/sec$ であらわれ、 P_0 の値として水流の場合の実験結果と理論結果の詳細な考察から $P_0 = 0.5\%/sec$ を移動限界とするものであり、いま1つは粒子の移動量が存在しない $P_0 = 0\%/sec$ を移動限界とするものである。図-1は相対密度 σ/p の値の適当な範囲ごとに、 $P_0 = 0.5\%/sec$ に相当する $U_*^2/(\sigma/p-1)gd\tan\phi$ と U_*^2d/v の関係を、図-2は $P_0 = 0\%/sec$ の場合の両者の関係をそれぞれ図示したものである。図中には考察のために $\epsilon = 1$ および 0.4 に対応した限界掃流力に関する岩垣の理論曲線が示されている。これらの実験結果と従来の実験結果との比較によって、(i) 水流による場合の結果より無次元の限界掃流力が風による場合、非常に小さく、実験値の U_*^2d/v による全体的な変化は水流の場合のそれに類似している。(ii) 図-3と比較してこの基準による実験値は水流の場合にはよく一致するが、風による図-2 $P_0 = 0\%/sec$ とした場合の移動限界場合にはかなり大きくあらわれる。とくに U_*^2d/v の値が小さい範囲では顕著である。(iii) 図-2の結果によれば、静止摩擦角 ϕ として $P_0 = 0.5\%/sec$ の場合のものを用いたが、砂粒による実験値は図-3とよく一致している。

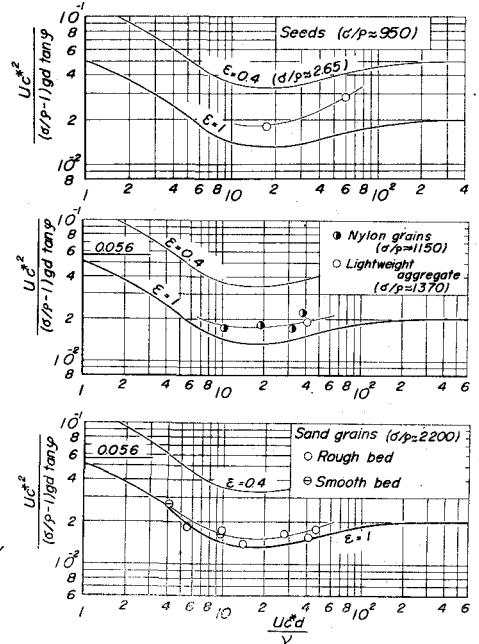


図-1 $P_0 = 0.5\%/sec$ とした場合の移動限界

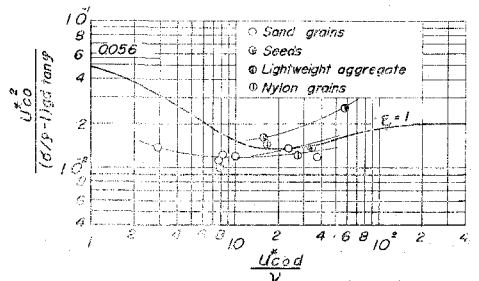


図-2 $P_0 = 0\%/sec$ とした場合の移動限界

この事実から風による砂粒の移動限界の判定は水流による場合と相違して限界掃流力よりかなり小さく、飛砂量が存在しない限界の摩擦速度をあらわしていることがわかる。(iv) 上記各項に共通して、相対密度 σ/p の影響がかなり大きい。なお、図-4は水流の場合の飛砂量がない状態での限界摩擦速度を推定したものであり、図-2と比較してこれによっても相対密度の影響がさらに明らかにされる。

(2) 砂粒の移動限界におよぼす相対密度の影響：一様な砂粒表面における砂粒の移動限界を次元解析的に考察し、さらに流体力に対する砂粒の静的なつり合い条件を考えると、つぎの関係がえられる。

$$F(u_*^2/(\sigma/p-1)gd\tan\varphi, u_*^2d/\nu, \sigma/p, \tan\varphi) = 0$$

この関係においてわかるように、従来の砂粒の移動限界の考察では、式中の第1および第2の無次元量がとりあげられてきた。しかし、著者らの実験的な観察によると、砂粒は移動限界において風の乱れのために微小な揺動をしていることがわかり、このような動的な挙動においては一般に仮想質量力が重要になり、相対密度を1つの独立な無次元量としてとりあげるべきことになる。以上の考え方によって、 u_*^2d/ν の値を一定として $u_*^2/(\sigma/p-1)gd\tan\varphi$ と σ/p との関係を示すと図-5のようになる。これから、相対密度 σ/p の増加にともなって $u_*^2/(\sigma/p-1)gd\tan\varphi$ の値がかなり急激に減少し、ある一定値に近づくような傾向を示し、相対密度の影響がかなり大きいことがわかる。図中には $\varepsilon=1$ の場合の限界掃流力の理論曲線の示す値を付記しておいた。図-6においても実験値は図-5に比べて散乱しているが、全く同様な傾向が見出される。

(3) 砂粒の移動限界に関する考察：砂粒の移動限界に相対密度がかなり大きな影響を持つことがわかったが、今後砂粒の微小な揺動機構を理論的に考察し、砂粒の動的な平衡条件から乱れの統計的特性との関係において、風および水流による砂粒の移動限界を統一的に説明することが必要であり、また Reynolds 数の小さな範囲における砂粒の移動限界についても考察するつもりである。

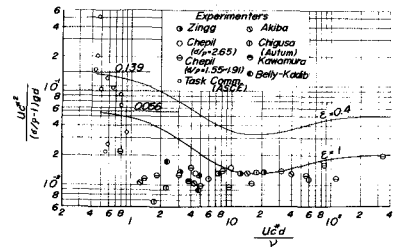


図-3 従来の飛砂の実験結果の無次元表示

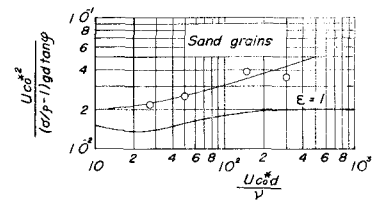


図-4 水流による $P_0=0\%/sec$ とした場合の移動限界

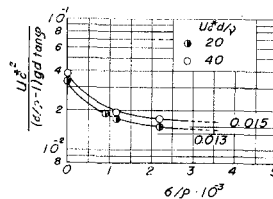


図-5 $P_0=0.5\%/sec$ における相対密度の影響

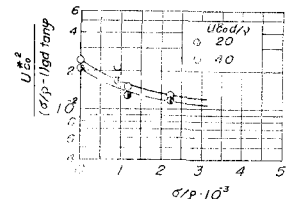


図-6 $P_0=0\%/sec$ における相対密度の影響