

京都大学防災研究所 正会員 土屋 義人

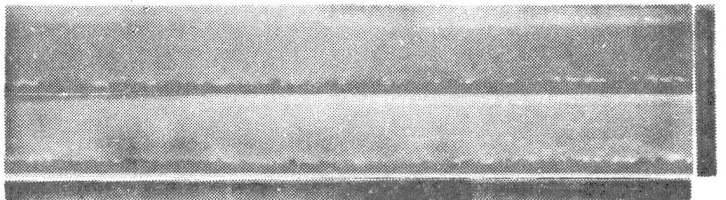
同上 正会員 O角野 稔

1 緒言

水流による砂粒の運動機構は、流水の内部特性と床面の複雑さのために、一般にきわめて複雑であり、その力学的機構は十分解明されていないのが現状である。最近溜砂の運動との類似性から流砂の運動機構を理論的に究明し、流砂量公式を導いた *yalin* の研究や実験的に床面付近における粒子の運動を写真撮影し、その跳躍機構を解明しようとした岸らの研究が発表され、流砂機構の解明に新しい方向を示しつつあるのは、きわめて有意義なことである。著者らも同様の観点に立って、流砂機構の力学的基礎を確立するための一歩として、岸らと同様な実験的研究を進めてきたので、その結果の概要について報告したい。

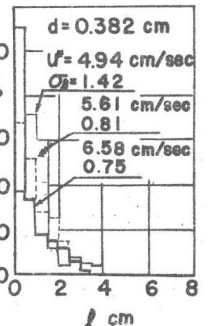
2. 実験装置および実験方法

実験水路は巾 50 cm、深さ 20 cm、長さ約 16 m の鋼製水路で、その長さ 13 m の部分がアクリライト板でつくられ、粒子の写真撮影ができるようになっている。水路こう配は任意に変えることができるが、ここで述べる実験はこう配 0.00875 で実施した。実験粒子はナイロン球の表面と均一に鉄粉で被覆したもので、粒径 0.382 cm、0.593 cm および 0.853 cm、比重はそれぞれ 1.502、1.343 および 1.234 の三種であり、また床面に粒径 0.375 cm の均一な砂粒をニスづけした。実験は岸らと同様に静止時からの粒子の運動をストロボ装置によって写真撮影した。しかし、対象とした粒子の運動は、1 回の跳躍または転動のみでなく、数回に亘るこれらの運動について実験を進めた。なお、同一条件における実験を少なくとも 100 回以上繰返して、現象の統計的特性を調べるべく考慮した。



3. 実験結果とその考察

写真-1 は粒子の運動状況を写真-1 粒子の運動状況 (上) $d=0.382\text{ cm}$ (下) $d=0.593\text{ cm}$ 、 $U^*=5.86\text{ cm/sec}$ 、 $U^*=5.08\text{ cm/sec}$ 分布
示したものの一例であるが、このように、粒子の運動において転動と跳躍との区別が可能であるので、以下の考察においては最初の跳躍までの現象では両者を区別することにした。図-1 は転動距離の分布を示したものであって、必ずしも直ちに粒子は跳躍運動に入るとは限らないことがわかる。また、図-2 はこの転動によって移動し、跳躍に入るまでの距離の平均値と摩擦速度との関係を示したものであって、これから明らかなように、摩擦速度のほぼ 2 乗に比例して減少し、その傾向は粒径に関係しないことがわかる。いま、このような粒子の転動機構について簡単に考察することになれば、つぎのようである。床面の凹凸による摩擦力の不均一をすべ



て無視し、Coulomb の法則にしたがう様な摩擦力の場における粒子運動を討究すれば、Magnus 効果も無視して、速度の2乗に比例する流体抵抗を考えると、つぎの運動方程式がえられる。

$$\frac{dU}{dt} = -\frac{\mu g}{(1+p/2\sigma)} + \frac{3}{4d} \frac{C_0(U-U^*)^2}{(1+p/2\sigma)} \quad U^* \text{ (cm/sec)}$$

ここに、U: 粒子の軌動速度、

t: 時間、g: 重力加速度、と摩擦速度との関係

μ および σ: 水および粒子の密度、d: 粒径、U₁: 軌動に対する代表流速、C₀: 抵抗係数であって (U-U^{*})d/μ の関数である。U₁ ∝ ArU^{*} とし、t=0 で U=0 とし、上式を解けばつぎのようにあらわされる。ここに Ar は定数である。

$$U/U^* = (F^2 - Ar^2)(1 - e^{-\frac{3}{4} \frac{U^*}{d} t}) + (F + Ar)e^{\frac{3}{4} \frac{U^*}{d} t} + (F - Ar)^{-1}, \quad T = \{C_0 / (1+p/2\sigma)(\sigma/\rho - 1)\} (U^* t / d),$$

$$F = (4/3) \{ \mu (\sigma/\rho - 1) g d \} / C_0 U^{*2}$$

図-3はこの関係と実験結果と比較したものの一例である。実験値は軌動距離がほぼ等しい数個の実験結果の平均値を示し、またμの値は理論曲線が実験値と一致するように決定したが、この場合その値は0.3となった。しかしながら、一般に粒径が床面、砂粒の大きさより大きくなると、若干変わるようであるが、粒径0.853 cmの場合でも約0.3程度であることをわかった。これらの考察をさらに過程に進めると、粒子が床面に衝突して跳躍する場合の力学的関係を追えば、図-2に示した実験結果もある程度説明されよう。図-4は粒子の跳躍高さの分布と示したものであって、一般に正規分布に近い分布を示すが、その標準偏差は摩擦速度とともに増加する傾向にあることが見えた。図-5は跳躍高さの平均値と摩擦速度との関係を示したものであるが実験に使用した粒子の比重がかなり小さいので、粒子運動が床面付近にのみ限定されないのである。一定の関係を見出すほど実験結果を統一することはできない。

しかしながら粒子運動が行われる範囲までの実測の平均流速をもつて代表流速 $\bar{U}$ として実験結果を整理すると、図-6に一例と示したように、実験値は一定の関係で表示されることがわかる。飛砂の場合と同様に摩擦速度(この場合は $\bar{U}$)の2乗に比例することがわかる。このことは、図-7に一例を示した粒子の跳躍距離と代表流速との関係においても全く同様の結論を見出すことができる。また、粒子運動の写真撮影の結果から判断すると、この程度の粒子に対しては、乱流の影響は顕著に現れなくなる。

思われるので、粒子の軌動特性との関連から跳躍運動の機構も近似的に取扱ひにおいてある程度可能と思われるので、講演時に説明を加えない。なお、本研究は文部省科学研究費による研究の一部であることを付記する。

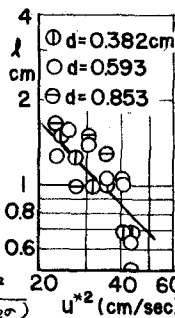


図-2 軌動距離

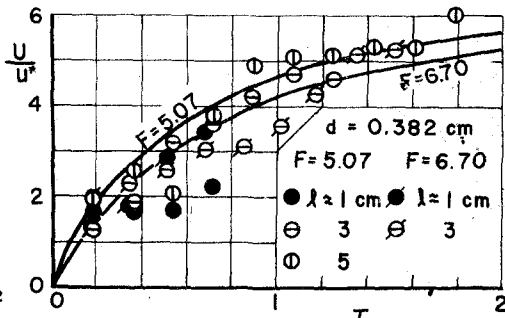


図-3 軌動速度・実験結果と理論曲線との比較

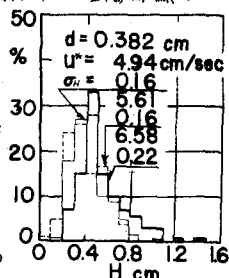


図-4 跳躍高さの分布

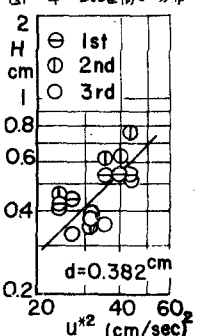


図-5 跳躍高さとの関係

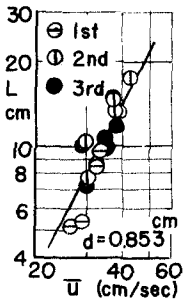


図-7 跳躍距離

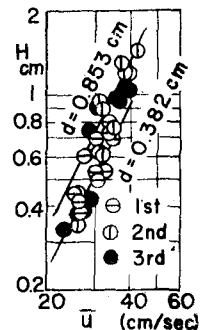


図-6 跳躍高さとの関係