

III-226

表面流によるしらす土粒子の移動抵抗について

日本大学工学部 正員○梅村 順

九州大学工学部 正員 落合英俊

佐賀大学低平地防災研究センター 正員 林 重徳

1.はじめに しらす地帯では豪雨の度に表面流に伴う侵食に起因した表層崩壊が度々発生しているが、表面流によるしらすの侵食現象には未解明な点が多く残されており、より効果的な侵食対策は確立されていない。著者らは、しらす斜面の表面流に伴う侵食抵抗の評価法確立のために、侵食を土粒子が個々に移動する現象であるとみなして個々のしらす土粒子に着目し、その移動特性と侵食の関係について検討している¹⁾。本文では、表面流によるしらす土粒子の移動抵抗を、実験で得た表面流による移動限界状態での動水勾配および流速の2つの評価指標に基づいて比較、検討し、それらの評価式の提案を目指した。

2.試料・実験装置・方法 実験には鹿児島県国分市で採取したしらすを用いた。このしらすをほぼ同じ粒径および土粒子密度をもつ土粒子群に分けて供試体とした。土粒子群は20種類で、その粒径と土粒子密度の関係はFig.-1の通りである。実験装置は、移動限界を調べるために作成した矩形管路型の実験装置²⁾である。実験はまず供試体を装置の管路部底面に土粒子が1段に並ぶように敷き詰めた後天盤を取り付け、管路内に静かに注水した。次いで、流量制御用バルブを徐々に開放しピエゾメータで動水勾配を確認しながら所定の流量まで増加して、その状態で5分間放置した。その後、流量制御用バルブを動水勾配で0.0005づつ増加するように段階的に開放し、その都度5分間、管路中央に設けた土粒子観察用窓からマイクロスコープで土粒子の動きを観察した。そして、土粒子全てが移動を開始して停止しなくなったときをその土粒子の移動限界状態とみなし、そのときの動水勾配と流量を測定した。

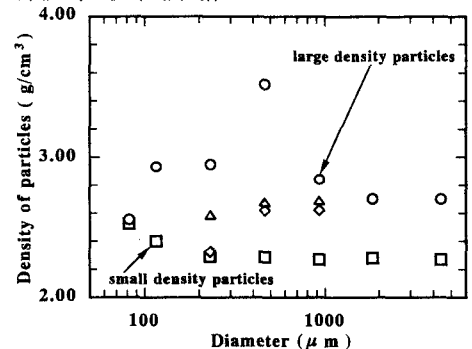


Fig.-1 供試体の粒径と土粒子密度の関係

3.移動抵抗の評価 測定した移動限界状態での動水勾配から、限界掃流力 τ_c を、水の単位体積重量を γ_w 、装置管路の高さを h 、測定した移動限界状態での動水勾配を i_c として、(1)式で求めた。(1)式で表わした作用力に対する抵抗力を土粒子の重量に起因する底面との摩擦抵抗と考え、動水勾配を指標とする土粒子-底面間の摩擦係数を μ とすると、土粒子 i の限界状態での動水勾配は、土粒子の単位体積重量を γ_{si} 、粒径を d_i として、(2)式のようになる。

$$\tau_c = \frac{1}{2} \gamma_w h i_c \quad (1) \quad , \quad i_c = \frac{4}{3} \mu \frac{d_i}{h} \left(\frac{\gamma_{si}}{\gamma_w} - 1 \right) \quad (2)$$

一方、測定した移動限界状態での流量から、管路内の流速分布がNikuradseの粗面管路に関する実験式³⁾に従うとみなし、測定した流量から求めた平均流速とこの式で土粒子近傍の流速を算出して移動限界流速 v_{hc} とした。そしてこの流速を用いて、移動限界状態で土粒子 i が水の流れから受ける力 D_{ci} を(3)式で求めた。ここに、 A_i は土粒子の流れに対する投影面積、 C_{Di} は土粒子 i の形状係数で流れから受ける作用の割合を表わし、土粒子の形状および流れの乱れの状態に影響を受けるといわれている³⁾。なお、開水路では管路の高さを h を水深に置き換えれば、同じ式で限界掃流力を評価することができる。(3)式で表わした作用力に対する流速を指標とする土粒子-底面間の摩擦係数を μ' とすると、土粒子 i の限界状態での移動限界流速は(4)式のようになる。

$$D_{ci} = C_{Di} A_i \gamma_w \frac{v_{ci}^2}{2g} \quad (3) \quad , \quad v_{hci} = \sqrt{\frac{4 \mu' \left(\frac{\gamma_{si}}{\gamma_w} - 1 \right)}{3 C_{Di}}} d_i g \quad (4)$$

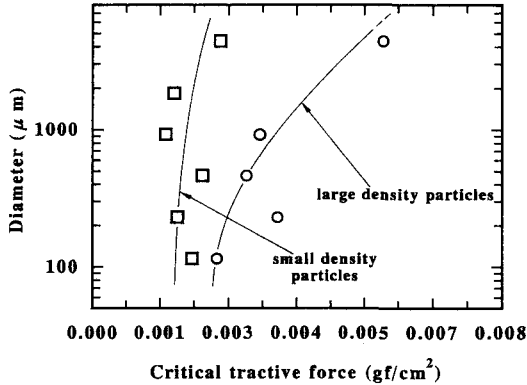


Fig. -2 限界掃流力と粒径の関係

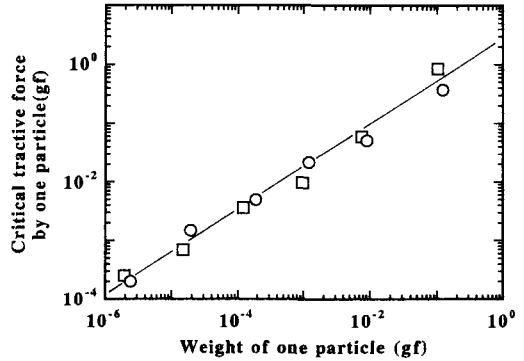


Fig. -3 土粒子1個当たりの掃流力と土粒子重量の関係

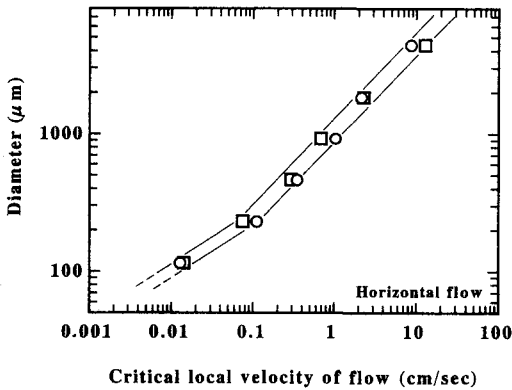


Fig. -4 移動限界流速と粒径の関係

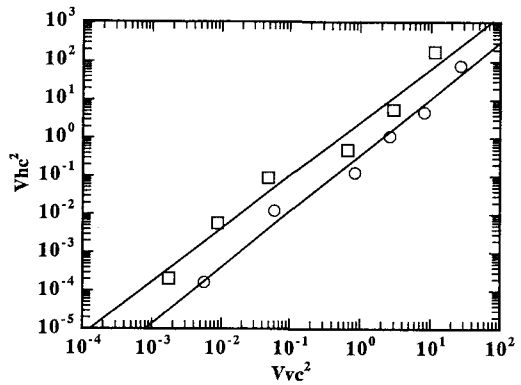


Fig. -5 v_{vc}^2 と v_{hc}^2 の関係

4. 実験結果・考察 Fig. -2は、実験の結果から限界掃流力と粒径の関係を示したものである。この結果から、(2)式での土粒子-底面間の摩擦係数 μ を調べるために、土粒子を球形と見なして1個の土粒子に作用する限界掃流力とその重量の関係を示したのがFig. -3である。Fig. -3の関係には、土粒子密度の違いによる差は殆ど認められずほぼ1つの直線関係とみなすことができ、その傾きは、 $\mu \approx 5.7$ であった。一方Fig. -4は、実験結果から移動限界流速と粒径の関係を示したものである。この結果から(4)式での摩擦係数 μ' を調べるために浸透流によるJustinの限界流速を考慮し、山内・林ら⁴⁾の作成した限界流速実験装置を用いて、Fig. -1の試料に対してJustinの限界流速を調べた。そして、形状係数 C_{Di} が移動限界流速とJustinの限界流速でほぼ等しいと仮定し、それぞれの流速の2乗の値の関係を示したのがFig. -5である。これらの関係線の傾きは大密度土粒子、小密度土粒子共、 $\mu' \approx 1.4$ であった。以上の結果から、(2)、(4)式は、次のようになる。

$$i_c = 7.6 \frac{d_j}{h} \left(\frac{\gamma_{si}}{\gamma_w} - 1 \right) \quad (5) \quad , \quad v_{hci} = \sqrt{\frac{5.6 \left(\frac{\gamma_{si}}{\gamma_w} - 1 \right)}{3 C_{Di}}} d_i g \quad (6)$$

なお(6)式について、比較した2つの実験で管路形状が異なるので流れの状態が違い、そのために形状係数 C_{Di} が異なる影響や、移動限界流速を調べる実験では土粒子が管路底面の流速が複雑に変化する位置にあるので、その評価が適切にできなかった影響等が含まれていると考えられ、問題が残されている。なお、本研究は文部省科研費（課題番号04452228）の補助を受けた。

参考文献 1) 梅村ら：表面流によるしらすの侵食特性，九大工学集報，第64巻6号，pp.533-540，1991。 2) 梅村ら：表面流によるしらす土粒子の移動限界評価について，第29回土質工学研究発表会講演概要集，1994。（投稿中） 3) 土木学会水理委員会編：水理公式集-昭和60年版-，（社）土木学会，1985。 4) 山内・林ら：しらすの侵食特性，九大工学集報，第56巻5号，pp.619-627，1983。