

粘着性材料を含む砂礫の移動限界

京都大学防災研究所 正 員 芦田和男
京都大学防災研究所 正 員 江頭達治
京都大学大学院 学生員 大槻英樹
京都大学大学院 学生員 〇加本 実

1. まえがき, 山腹裸地や溪岸などの土砂生産場には, 粘土・シルトなどの微細土砂が, かなり含まれており, その粘着性は, 生産場の侵食・輸送現象を支配する重要なパラメータであることが知られている。本研究は, このような土砂生産場における砂礫の侵食・輸送現象を解明するための一段階として, 砂礫の移動限界に対する微細土砂の効果について検討しようとするものであり, 主として, 移動限界に対する微細土砂の含有率および含水比の効果について考察する。

2. 移動限界の表示式, 芦田・江頭・金屋¹⁾は, 先に, 単一粒径 d の粗粒子が, 非粘着性材料の砂礫床とほぼ同様に配列し, 微細土砂は単に空隙を埋めている状態を想定して, 図-1 のような力のつり合いより, 粗粒子の無次元限界掃流力 τ_{*cc} を次式のように表示している。

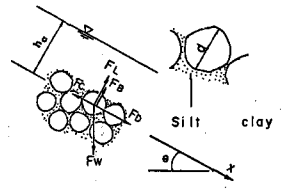


図-1 粗粒子に働く力

$$\tau_{*cc} = \{ \cos \theta \cdot \tan \varphi - \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho)} \sin \theta \} / \tan \varphi \cdot \phi_s + \frac{k_1'}{k_2} \tan \varphi \cdot \phi_s \cdot f_{*c} \quad \text{----- (1)}$$

$\phi_s = 2k_3 \tan \varphi / C_D (k_2 + k_1 C_L / C_D \cdot \tan \varphi)$, $f_{*c} = f_c / (\rho_s - \rho) g d$, k_1, k_2, k_3 : 形状係数, φ : 水中安息角, f_c : 単位面積あたりの粘着力, ρ_s : 砂の密度, ρ : 水の密度である。式(1)の右辺第2項は粘着力による無次元限界掃流力の増加分 $\Delta \tau_{*cc}$ である。これを若干変形すると, 次式のようになる。

$$\Delta \tau_{*cc} = \phi_s / \tan \varphi \cdot k_1 d^2 f_c / (\rho_s - \rho) g k_2 d^3 \quad \text{----- (2)}$$

ここに, $k_1 d^2$ は粘着抵抗に寄与する面積であり, 微細土砂の含有率 P_s 含水比 w によって変化する。いま, これを評価するため, 図-2 のように含水比 w の微細土砂が砂粒球の表面に等厚に付着しているものとし, 砂粒子の実質部分以外を空隙と見なしたときの空隙率を λ とする。すると簡単な幾何学的関係より, 砂粒子間の一つの接点における粘着面積 S は次式のようになる。

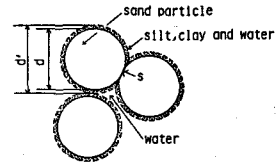


図-2 存在状態のモデル

$$S = \frac{\pi}{4} d^2 \left\{ \left(1 + \frac{1}{1-\lambda} \frac{P_s (1+w)}{P_s w + 1} \right)^{2/3} - 1 \right\} \quad \text{----- (3)}$$

ここに, $\sigma = \rho_s / \rho$ であり, 微細土砂の部分は水で飽和しているものとみなされている。さて, 砂粒子一個に対し, 粘着抵抗に關与する接点が n 点あるとすると, 粘着面積の総和 S は $S = nS$ となり, S を砂粒子球の大円の面積 πd^2 で無次元化し,

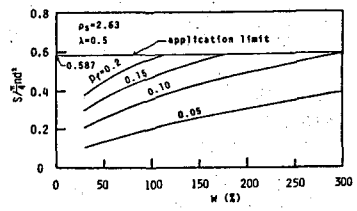


図-3 含有率, 含水比と粘着面積の関係

含有率 P_s , 含水比 w との関係を示したのが図-3である。図中の適用限界の表示線は, 空隙が含水比 w の微細土砂で埋められた状態を意味する。(2)式の $k_1 d^2$ の代わりに S を代入し, $k_2 = \pi/6$ とおくと, 次式を得る。

$$\Delta \tau_{*cc} = \frac{3}{2} \cdot n \phi_s / \tan \varphi \cdot \frac{f_c}{(\rho_s - \rho) g d} \cdot \left\{ \left(1 + \frac{1}{1-\lambda} \frac{P_s (1+w)}{P_s w + 1} \right)^{2/3} - 1 \right\} \quad \text{----- (4)}$$

Kazuo ASHIDA・Shingi EGASHIRA・Hideki ÔTSUKI・Minoru KAMOTO

単位面積当りの粘着力 f_a は、含水比が増加すると減少することが予想される。一方、粘着面積 S は含有率 P_f 、含水比 w の増加関数である。したがって、含水比 w が一定の場合、含有率 P_f が増加すると、 $\Delta\tau_{cc}$ は増大し、 P_f を一定の条件で w が増加すると、 $\Delta\tau_{cc}$ はある含水比のときに極大値をとることが予想される。

3. 実験および結果の考察 中央粒径 $d_{50}=2.85\text{mm}$ のほぼ一様な砂、木および10-ルクレイ($d_{50}=1\mu$)あるいはカオリンの混合物を水路床に敷き、水路中央部の、約 $12\text{cm}\times 12\text{cm}$ に存在する砂粒子の5分間の移動個数を種々の流量条件下で計数した。図-4は、微細土砂(パールクレイ)の含有率 $P_f=0.089$ の実験結果で、 w をパラメータとして、無次元掃流力と5分間の移動個数との関係を示したものである。図中には、微細土砂を含まない場合を示してある。岩垣式によると同図に示すように、微細土砂を含まない場合の無次元

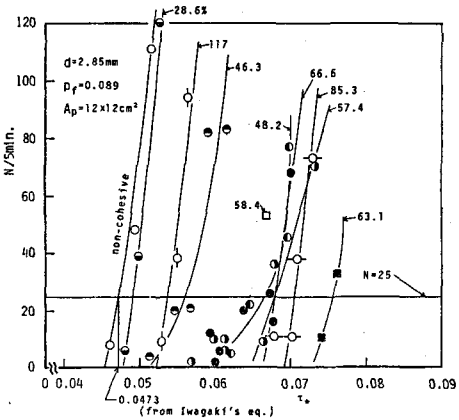


図-4 移動個数と掃流力の関係

限界掃流力は、 $\tau_{wc}=0.0473$ であった。したがって25個/5分を限界状態とし、 τ_{cc} を定義した。図-5は、このようにして求められる τ_{cc} と含水比 w との関係について、 P_f をパラメータとして示したものである。同図の結果によると、2.において述べたように、 P_f が大きくなると τ_{cc} も増大し、液性限界(LL)よりも大きい含水比で τ_{cc} は極値を示している。つぎに(4)式の適用性について若干の検討を行う。(4)式を適用するには、

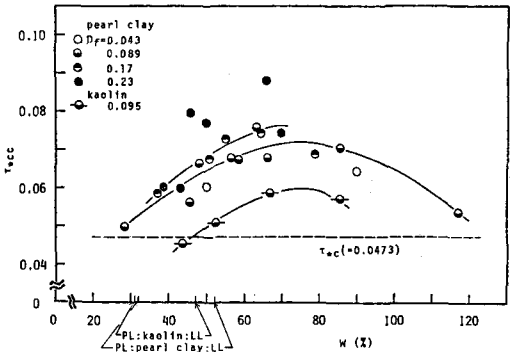


図-5 無次元限界掃流力 τ_{cc} と含水比 w の関係

先を設定する必要があるが、現在これに関する情報がない。そこで、 $\frac{2 \cdot \pi \cdot f_a}{\tan \phi} \cdot \frac{f_a}{(p_f - p)gd} = X$ として、図-5の結果より X を逆算したものをを用いる。このような X を(4)式に適用して得られる $\Delta\tau_{cc}$ ($\tau_{cc} - \tau_{wc}$)の理論曲線と実験値との関係を図-6に示す。データ数が少ないため、十分な比較はできないが、広い範囲の実験値がある $w=50\%$ のものに着目すると、両者は、かなりよく一致しているようである。

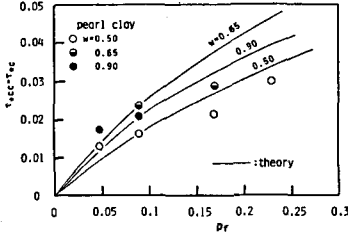


図-6 (4)式と実験値の比較

4. あとがき 以上、粘着性を考慮した限界掃流力の式を提示するとともに、微細土砂の含有率、含水比を種々変えて実験を行い、両者を比較した結果、この式の妥当性がほぼ示された。今後さらに、実験データを累積するとともに、粘着力の推定法について研究を進める必要がある。さらに、実際問題に適用する場合には、降雨時における含水比など、微細土砂の存在状態についての調査研究も進める必要がある。

<参考文献> 1) 芦田和男・江頭豊治・金屋敦忠儀; 斜面侵食による濁産物質の生産・流出機構に関する研究, 第24回水理学会論文集, 1980, PP. 135-141 2) 岩垣雄一; 限界掃流力に関する流体力学的研究, 土木学会論文集, 第41号, 1956, PP. 1-21.