

固定床上の土石流の流動機構

筑波大学大学院生命環境科学研究科 ○宮本邦明

(株)建設技術研究所 鶴見侑生

1. はじめに 河床が堆積土砂で構成されている移動床と岩盤などで構成されている固定床では土石流の流動特性が異なることが知られている。移動床上の土石流の流動特性については多くの研究がありかなり明らかにされているが固定床上の流れについては断片的な理解にとどまっている。ここでは、江頭らの構成則を用いて固定床上の土石流の流動特性について考察する。

2. 固定床上の定常等流の土石流の支配方程式 江頭らの構成則については参考文献に譲ることとし、ここでは定常等流の運動方程式に代入して得られる濃度分布、流速分布に関する支配方程式を示す。

$$\frac{\partial c}{\partial z} = \frac{1}{\partial \bar{c} / \partial c} \frac{\bar{c} - c}{h - z} \dots (1) \quad \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{g(G - Y)}{f_d + f_f}} \dots (2)$$

ここに、 c は濃度、 u は流速、 h は流動深、 d は粒径、 f_d, f_f はそれぞれ、

$$f_d = k_d(1 - e^2)(\sigma/\rho)c^{1/3}, \quad f_f = k_f(1 - c)^{5/3}/c^{2/3}, \quad G, Y \text{はそれぞれ、} G = \tau/(\rho g), \\ Y = \tau_y/(\rho g), \quad k_d, k_f \text{はそれぞれ定数である。}$$

\bar{c} は平均濃度で、 $\bar{c} = \int_z^h c dz / (h - z) \dots (3)$ で定義されるが、運動方程式から、

$$\bar{c} = \frac{f_{pd} \tan \theta}{(\sigma/\rho)[(1 - \alpha)(f_d + f_f) - f_{pd}(\alpha \tan \phi_s - \tan \theta)]} \dots (4)$$

と求められる。ここに、 f_{pd} は $f_{pd} = k_d e^2 (\sigma/\rho) c^{1/3}$ 、 α は $\alpha = (c/c^*)^{0.2}$ である。

3. 固定床上の土石流の流動特性

3.1 濃度分布 式(1), (3), (4)より固定床上の土石流の濃度分布特性が分かる。式(3)の

$\partial \bar{c} / \partial c > 0$ であることから、ある深さにおける濃度勾配はその点の濃度とその点から上部の平均濃度との差により決まることが分かる。ある深さにおける平均濃度がその点の濃度より高ければ濃度勾配は正、逆であれば負、0であれば濃度勾配も0である。このことから、濃度の深さ方向の分布は単調に増加・減少することが分かる。一方、式(3), (4)から、 $z=0$ とおくことにより断面平均濃度 \bar{c}_0 に対応する河床面濃度 c_0 を得ることができる。

\bar{c}_0 と c_0 の関係、濃度分布が単調増加・減少することから濃度分布を直線で近似することにより、濃度分布形を粒子が流れの表面にまで達しない場合（領域Ⅰ： $\bar{c}_0 < c_0/2$ ）、粒子が流れの表面まで到達しているが濃度勾配が負である場合（領域Ⅱ： $c_0/2 < \bar{c}_0 < c_0$ ）、濃度勾配が正の場合（領域Ⅲ： $c_0 < \bar{c}_0$ ）、の3つに分類することができる。図1にその領域区分図を示す。領域Ⅱ、Ⅲは粒子は流れの表面まで到達しており、そういう意味で土石流と呼ぶことができる。同様に、領域Ⅰは粒子が流れの表面まで達しておらず土砂流と呼ぶことができよう。

3.2 抵抗則 土石流、土砂流の砂礫流動層は土石流としての流動則が、砂礫流動層の上部は対数則が成り立つことが期待される。しかしながら、急勾配（19°）で濃度が小さい領域で土石流や砂礫流動層が土石流としての流動則に従うかどうかは疑問である。そこで、その領域で

実験を行い、流れの抵抗を調べた。ここでは流れの概略を把握するため解析的に解けるよう、濃度分布は砂礫流動層内で均一であると近似する。図2はこうして得た抵抗則に関する実験結果と土石流の抵抗則、対数則との関係を示したものである。当然であるが、濃度が低くなるとむしろ対数則に従うようになる。図3は流速分布の一例を示したもので、速度勾配が対数則とも土石流とも近いことが分かる。これは、粒子間距離のスケールと混合距離のスケールが近いことを意味する。

4. むすび 固定床上の土石流の流動特性を包括的に捉えるべく江頭らの構成則をもとに流れの領域区分を行い、流れの抵抗について若干の考察を行った。流れの抵抗についてはこれまでの知見から大きく外れるものではない。今後、粒子間距離や混合距離、粗度高さと粒子間距離などのスケールを比較しながら固定床上の土石流の流れの構造に迫っていきたい。

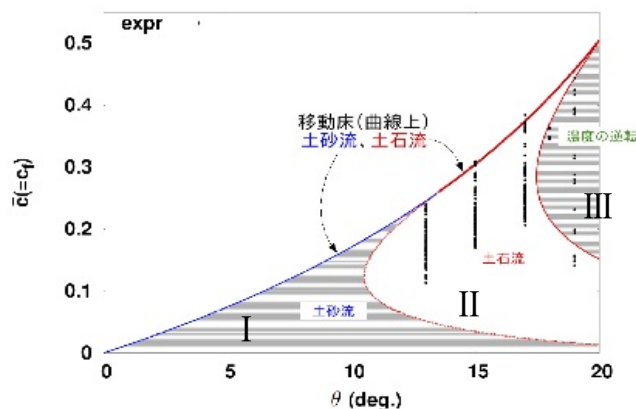


図1 流れの領域区分

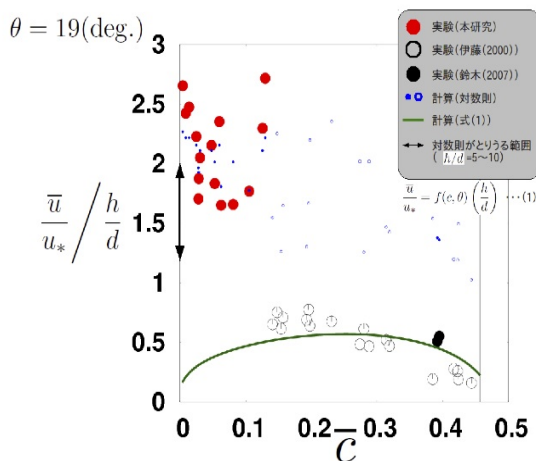


図2 流れの抵抗

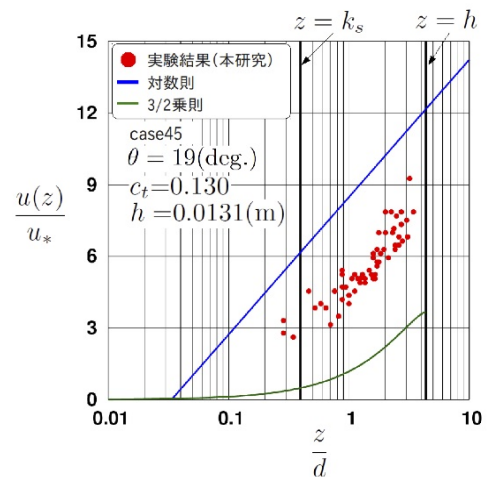


図3 流速分布

参考文献：Egashira S., et al., Debris-Flow Hazards Mitigation, Water Resources Engineering Division/ASCE, pp.340-349,1997.