

立命館大学大学院 学生員 ○伊藤隆郭
立命館大学理工学部 正会員 江頭進治

1. はじめに 従来の土石流の構成則は、殆どが濃度場を一樣と仮定するか、或いは、それに近い状態を想定して議論されている。そのため、濃度の鉛直構造の議論をしていく上で大きな障害となっている。ここでは、江頭ら¹⁾の構成則に骨格圧力 p_s の表示式を加え、それに基づいて、速度場と濃度場の支配方程式を導くとともに、若干の計算例を示す。

2. 支配方程式と応力モデル 非圧縮性連続体の2次元等流状態における運動量保存則は、江頭ら¹⁾によれば次式で与えられる。

$$p_s \tan \phi_s + \rho(f_f + f_g)d^2(\partial u / \partial z)^2 = \int_z^h \rho\{(\sigma/\rho - 1)c + 1\}g \sin \theta dz \quad (1)$$

$$p_s + \rho f_{pd}d^2(\partial u / \partial z)^2 = \int_z^h \rho(\sigma/\rho - 1)cg \cos \theta dz \quad (2)$$

$$f_f = k_f(1-c)^{2/3}c^{1/3}, \quad f_g = k_g(1-e)^2(\sigma/\rho)c^{1/3}, \quad f_{pd} = k_g(\sigma/\rho)e^2c^{1/3} \text{ である。}$$

ここに、 ϕ_s : 砂粒子の内部摩擦角、 θ : 水平とのなす角、 ρ : 水の密度、 σ : 砂粒子の密度、 c : 砂粒子の体積濃度、 d : 砂粒子の粒径、 e : 反発係数、 g : 重力加速度、 h : 流動深、 p_s : 粒子の骨格圧力、 k_f, k_g : 実験定数でそれぞれ0.52¹⁾, 0.0828²⁾のようである。式(1), (2)において未知のパラメータは u, c, p_s であり、方程式系を閉じるためには p_s に関する表示式が必要である。そこで、移動床流れでは、河床 $z=0$ で $c=c_*$ であり、かつ、 $\partial u / \partial z = 0$ すなわち $p_d = 0$ であることに注意し、 p_s を次のように仮定する。

$$\frac{p_d}{p_s} = \alpha_1 \frac{c_* - c}{c_*} (= f(c)) \quad (3)$$

ここに、 c_* : 砂粒子の静止堆積濃度、 α_1 : 定数である。これについては、江頭ら¹⁾によると、固定床において濃度が一樣な場合には $p_d/p_s \approx 0.25$ 程度になることが示されている。そこで、 $c = 0.3$, $c_* = 0.6$ 程度のものを考えると、 $\alpha_1 = 0.5$ となる。

3. 流速及び濃度の分布則 式(2)に式(3)を適用し、無次元量 $u' = u/\sqrt{gh}$, $z' = z/h$ を用いれば、速度場は次式で与えられる。

$$\frac{\partial u'}{\partial z'} = \frac{h}{d} \left[\frac{f(c)}{\{1+f(c)\}f_{pd}} (\sigma/\rho - 1) \cos \theta \int_z^h c dz' \right]^{1/2} \quad (4)$$

次に、式(1), (2)及び式(3)から $(\partial u / \partial z)^2$ を消去すれば、濃度場は次式で与えられる。

$$\frac{\partial c}{\partial z'} = \frac{\{f(\theta, \sigma/\rho, c, e)\}^2 \frac{(\sigma/\rho - 1)c}{\tan \theta} - f(\theta, \sigma/\rho, c, e)}{\left[\frac{2}{3} \frac{k_f \rho}{k_g e^2 \sigma (1-c)^{1/3}} \frac{f(c)}{1+f(c)} + \frac{1}{\{1+f(c)\}^2} \left(\tan \phi_s - \frac{f_f + f_g}{f_{pd}} \right) \frac{\partial f(c)}{\partial c} \right] (z' - 1)} \quad (5)$$

ここに、 $f(\theta, \sigma/\rho, c, e) = \frac{\tan \phi_s}{1+f(c)} + \frac{f_f + f_g}{f_{pd}} \frac{f(c)}{1+f(c)} - \tan \theta$ である。式(4), (5)を連立して解くことにより、

流速分布と濃度分布が導かれる。

図1-(a)は、固定床上において、流量 q_m と輸送濃度 c_i を一定にしたときの勾配による濃度分布に関する計算結果であり、図1-(b)は、流量を一定にし、給砂量あるいは輸送濃度($c_i = (q_s/q_m)$)を変えたときの濃度の鉛直分布の変化を見たものである。なお、計算では $\phi_s = 38.5^\circ$, $e = 0.85$, $\alpha_1 = 0.5$ としている。これらの結果によれば、勾配が急になれば、濃度は一樣化する。また、同じ勾配で輸送濃度が薄くなると、濃度は一樣化する方向に進み、やがて逆転現象が生じている。逆転現象については、次のように考えている。外部から供給されるエネルギー（例えば勾配）が増加すると、濃度場は一樣化していく。更に供給エネルギーが

Takahiro ITO, Shinji EGASHIRA

増加すると内部でのエネルギー散逸の増加が必要である。最も有効にエネルギー散逸を起こすためには、底面近傍の間隙の代表スケールが増加することが必要である。これは、河床近傍の濃度が小さくなることに相当する。

4. 適用例 図 2-(a), (b)は、江頭らの実験¹⁾に式(4), (5)を適用した結果である。計算においては、図 1 の計算に用いたものと同じパラメータを用いている。さて、これらの結果によれば、流動深を除き、流速分布及び濃度分布共に、両者はかなり良く一致している。流動深に関し式(4), (5)は少し大きめの値を与えているが、これは、式(1)左辺の第二項の流動応力の表現がまだ十分でないことに起因していると思われる。

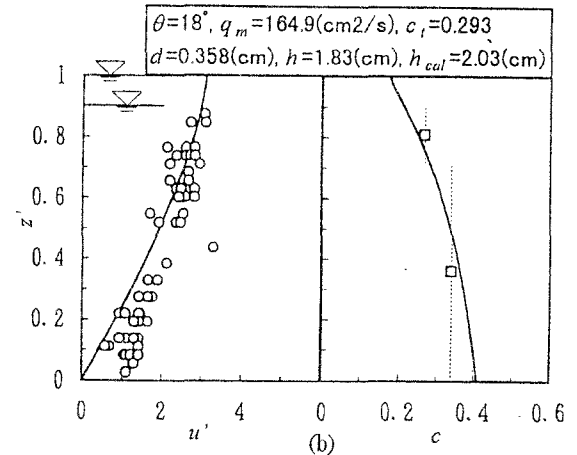
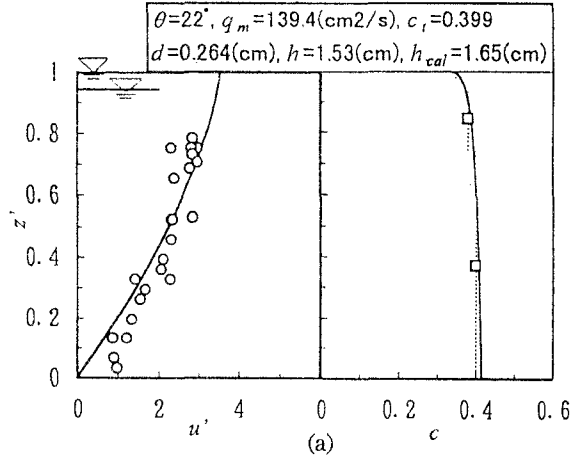
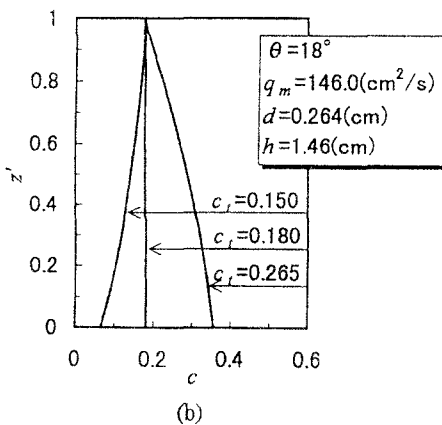
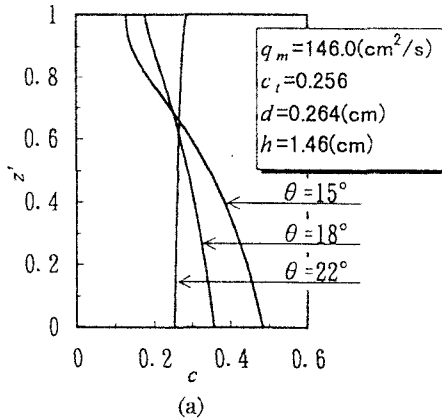


図-1 輸送濃度、勾配による濃度分布の変化

図-2 実験値と計算値との比較

5. おわりに 本研究においては、移動床の $z = 0$ 、すなわち河床面において速度勾配と濃度の満足すべき条件を念頭において、骨格圧力 p_s の表示式を提案し、それに基づいて、固定床上における土石流の流速分布と濃度分布について検討した。全般に良好な結果が得られているが、 p_s ばかりでなく流動応力の構造について、今後さらなる検討が必要である。

本研究は一部文部省科研費一般 C (代表江頭進治) の補助を受けている。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 江頭進治, 芦田和男, 矢島啓, 高濱淳一郎: 土石流の構成則に関する研究, 京都大学防災研究所年報, 第 32 号 B-2, 1989, pp.487-501
- 2) 江頭進治, 佐藤隆宏, 千代啓三: 砂粒子を高濃度に含む流れに及ぼす粒子径の影響, 京都大学防災研究所年報, 第 37 号 B-2, 1994, pp.359-369