

II-110 土石流の流速分布と濃度分布

京都大学大学院 学生員 矢島 啓
 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 進治
 京都大学大学院 学生員 高濱 淳一郎

1. まえがき 土石流の流速分布や濃度分布は、流れのエネルギー散逸を規定する粒子の物理的特性値と外力(供給エネルギー)に依存するものと考えて、これらを定式化した。¹⁾ 本報ではこれに引き続き、理論解析や実験データに基づいて流速と濃度とのinteractionについて検討する。

2. 流速・濃度の垂直分布 著者らはこの全国大会の報告において、2次元等流における土石流の流速分布と濃度分布を導いている。¹⁾ 流速分布は、

$$\frac{du'}{dz'} = \frac{h}{d} \left\{ \frac{1}{f_t + f_g} \int_{z'}^1 (G - Y) dz' \right\}^{1/2}, \quad (G - Y > 0) \quad (1)$$

ここに、 $f_t = k_t(1-c)^{3/2}$, $f_g = k_g \sigma \rho (1-c)^2$

$$G = \{(\sigma \rho - 1)c + 1\} \sin \theta, \quad Y = (\sigma \rho - 1)c \cos \theta \tan \phi / (1 + \alpha)$$

$$u' = u / \sqrt{gh}, \quad z' = z/h$$

ρ は水の密度、 σ は粒子の密度、 c は粒子体積濃度、 θ は勾配、 e は粒子の反発係数である。 $k_t = 0.16 \sim 0.25$ 、 $k_g = 0.0828$ 、 $\alpha = 0.25$ 程度の値である。 z 軸は路床より垂直上向きである。また、濃度分布は、

$$\frac{dc}{dz'} = \frac{f_{n1}(c)}{a_1 f_{n1}(c)} \frac{1}{(du'/dz')^2} \quad (2)$$

ここに、 $f_{n1}(c) = \{(1-c)/c\}^{5/2} + \frac{3}{5} \{(1-c)/c\}^{2/3}$, $f_{n2}(c) = G - Y - a_2(1-c)^{5/3} - a_3 c$

$$a_1 = k_t \frac{u_m^2}{gh} \left(\frac{h}{d}\right)^2, \quad a_2 = \frac{k_t}{k_g} \frac{\alpha}{1 + \alpha} \frac{\sigma \rho - 1}{\sigma \rho} \frac{1}{e^2} \cos \theta, \quad a_3 = \frac{\alpha}{1 + \alpha} \frac{(\sigma - 1)}{\rho} \frac{1 - e^2}{e^2} \cos \theta$$

(U_m は表面流速)

式(1)、(2)の第1次近似解は、

$$u' = \frac{2}{3} K \{1 - (1 - z')^{3/2}\} \quad (3) \quad z' = 1 - \exp \left[\frac{9}{4} a_1 \int_{c(z')}^1 \frac{f_{n1}(c)}{f_{n2}(c)} dc \right] \quad (4)$$

ここに、 c_0 は水路床底面濃度で、 K は次のようである。

$$K = \{(G - Y)/(f_t + f_g)\}^{1/2} (h/d)$$

ここで、流速分布に関する第1次近似解は、粒子濃度が一様として求められたものであり、濃度のそれは流速分布が式(3)で近似できる場合のものである。

3. 流速と濃度分布の解析 幅1.5cm、長さ4m、片面ガラス張りの水路を用い、上流端より水と粒子を定常的に供給して土石流を発生させた。側面においてビデオ撮影を行い、流速の垂直分布を測定するとともに、水路下流端にもうけたスリット式の採砂装置を用いて濃度の垂直分布を測定した。ただし、粒径に対するスリット口の開きに関する制約条件のため、濃度の測定点は、垂直方向に多くて3点程度である。用いた粒子材料は、0.090、0.193、0.264、0.358、0.411cm、比重2.65の砂と粒径0.389cm、比重2.48のガラスビーズである。砂の摩擦角 ϕ は $\phi = 38.5^\circ$ であり、ガラスは $\phi = 26.5^\circ$ である。反発係数は、砂の場合 $e = 0.7 \sim 0.8$ 、ガラスの場合には0.9前後ではないかと推察される。

図-1、2は、砂粒子を用いて行なわれた流速分布と濃度分布に関する水路実験の結果、ならびに式(3)、(4)に

よる第1次近似解、式(1)、(2)による厳密解を示したものである。図-3はビーズに関するものである。計算においては $K_f=0.16$ 、 $k_g=0.0828$ 、砂の反発係数は $e=0.8$ としてあり、他は図示の通りである。

図-1の結果を見る。流速分布に関する計算値はいずれも実験値とかなりよく一致している。計算値において近似解と厳密解とを比較すると、前者において流動深が大きく、表面流速は小さい。これは近似解が濃度一定として求められているからである。ついで、濃度分布についてみると、いずれの計算値も実験値とよく一致している。二つの計算値を比較すると、水路底面近傍において近似解の方が大きな値を与えている。図-2は、勾配が大きく、実験において濃度が一様分布に近くなるとされるものの例であり、流速に関しては第1次近似解と厳密解との差異は殆どない。濃度についても二つの解には差異は見られないが、いずれの解も上方へ向かって増加している。これに対し、実験値は上層において若干減少傾向を示している。

図-3はビーズの例である。実験の精度を考慮すれば、前二者同様に実験値と二つの計算値とはほぼ一致していると見なせる。ただし、水面近傍における濃度は、いずれの計算値もかなり増加する傾向を示し、第1次近似解において

特にこの傾向はきびしい。このようなことが、実際に起こり得るかどうかについては、十分な検討が必要である。

以上より、濃度がほぼ一様になるような条件下においては、流速は濃度一定とした第1次近似解で十分に近似できるが、勾配が緩くなって濃度分布が顕著になれば、流速、濃度ともに厳密解による評価が必要であるといえる。特に、移動床においては、土石流の底面濃度は河床堆積物の濃度に接続するため、流速分布は一般に変曲点をもち、近似解では現象を評価し得ない面が生ずる。

4. あとがき 土石流の流速分布と濃度分布に関する固定床実験の結果と、これらに対する第1次近似解と厳密解とを比較し、これらの適用性について検討した。今後、表層近傍における濃度の逆転現象や移動床の現象について検討したい。

参考文献 1) 江頭 進治・芦田 和男・矢島 啓・高濱 淳一郎：土木学会全国大会、1989。

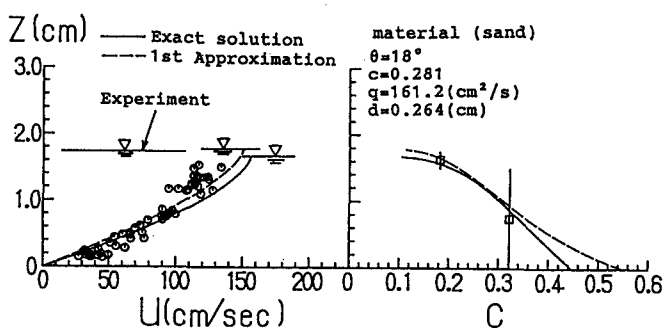


図-1

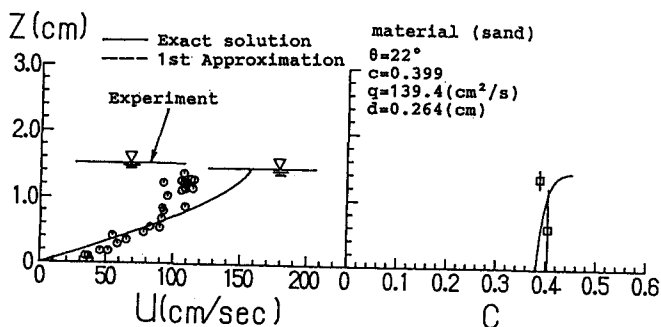


図-2

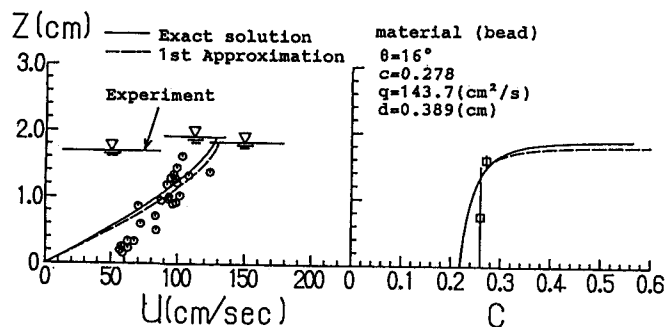


図-3