

# 粒子パッキングシミュレーションを用いた土石流間隙流体密度の推定

信州大学農学部 ○黒田康太郎, 堤大三, 福山泰治郎

## 1 はじめに

現行の土石流シミュレーションモデルでは、粒度分布に関わらず、パラメータである土石流間隙流体密度が  $1200 \text{ kg/m}^3$  と一定値で与えられていることが多い。しかし、この数値を流体密度として用いる明確な根拠は定かではない。自由粒子は、土砂粒子が土石流間隙流体内で骨格をなす大粒径の粒子の間を自由に動くことができる程度の小粒径の土砂粒子のことであり、水と一体になり液相としての挙動をする。粒度分布の変化によって、自由粒子の存在量は変化し流体密度に影響を与えられている。本研究では、混合砂礫河床材料の空隙に関するシミュレーションモデル(堤ら, 2006)を基に、粒度分布から自由粒子の液相化効果を考慮した間隙流体密度を推定する手法を確立することを目指す。

## 2 シミュレーションの方法

### 2.1 粒子径の決定

充填に用いる粒子の粒径は、乱数群を用いて対数正規分布の分布関数に従いランダムに決定した。これにより、任意の粒度分布で連続的な粒径を持つ粒子群を作成した。本研究では、粒度分布の標準偏差を9通り用意し、平均粒径を2 cmとした。

### 2.2 粒子の充填

作成した粒子群を用いて、 $x, y, z$  軸に囲まれた仮想容器内で、以下の規則に従い充填を行う(図-1)。

- (a) 1番目の粒子の中心は、座標原点に設置
- (b) 2番目の粒子の中心は、第1番目の粒子と接するように、 $x$ 軸上に設置
- (c) 3番目の粒子の中心は、第1,2番目の粒子と接するように、 $x-y$ 平面上に設置
- (d)  $n$ 番目の粒子は、 $x-y$ 平面上もしくは既に設置された3個の粒子に接する位置の内、 $z$ 座標が最小となる点に設置

立方体である容器の一辺の長さ $L_v$ は、以下の式(1)で表される。

$$L_v = r_d d_m \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $d_m$ :粒子群の平均粒径、 $r_d$ :係数であり、 $r_d=5$ とした。

### 2.3 流体密度の計算

充填した土砂粒子に対して、液相化するとみなす条件を設定した。本研究では、ある粒子の上部に接触点がない場合、粒子の充填規則から粒子の接触点が土台となる粒子との3接点のみとなる。そこで、粒子上部に固定する要因となる粒子がなく、接触点が3点以下である粒子を自由粒子とした。式(2)から、抽出した自由粒子の体積を求める。式(3)を用いて流体密度を計算した。

$$V_s = \frac{\pi}{6} d_k^3 \dots\dots\dots (2)$$

$$\rho_{mix} = \frac{\rho_s V_s + \rho_w V_w}{V_s + V_w} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $d_k$ :粒径、 $\rho_{mix}$ :混合流体密度、 $\rho_s$ :土砂粒子の密度、 $\rho_w$ :水の密度、 $V_s$ :自由粒子の体積、 $V_w$ :水の体積である。水の体積は仮想容器の空隙部の体積とした。水と土砂粒子の密度はそれぞれ  $1000 \text{ kg/m}^3$ 、 $2650 \text{ kg/m}^3$ を用いた。

### 3 結果と考察

標準偏差と、(a) 自由粒子の粒径、(b) 自由粒子を除く土石流の土砂濃度、(c) 流体密度の平均値との関係を示す(図-1)。黒丸は平均値、Error bar は最小値-最大値範囲である。標準偏差  $\ln \sigma$  は、0.01, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 の9つに設定した。各標準偏差において、用いる乱数群を毎回変更し10通りの計算を行った。計算量の都合上、 $\ln \sigma = 0.8$ の計算値については、1通りの結果となっている。

自由粒子の粒径に注目すると、標準偏差の広がりに伴い、自由粒子が小さくなっていることが分かる(図-1a)。

標準偏差が大きくなるに従い、流体密度が増加していくことがわかる(図-1c)。また、 $\sigma = 0.5$  辺りから標準偏差の増加による流体密度の増加量が減少していることから、標準偏差が十分に大きな値をとるとき、流体密度は一定値に収まるのではないかと予想される。

一方で、標準偏差の増加に対し、土砂濃度は増加している(図-1b)。土石流の土砂濃度は主に河床勾配に依存して変化し、0.6 よりも小さな値となることもあるため、今回の結果は河床勾配が大きく土砂濃度が十分に高い条件のみでの間隙流体密度を表しているに過ぎない。今後、土砂濃度を抑えるための充填方法を検討する必要がある。

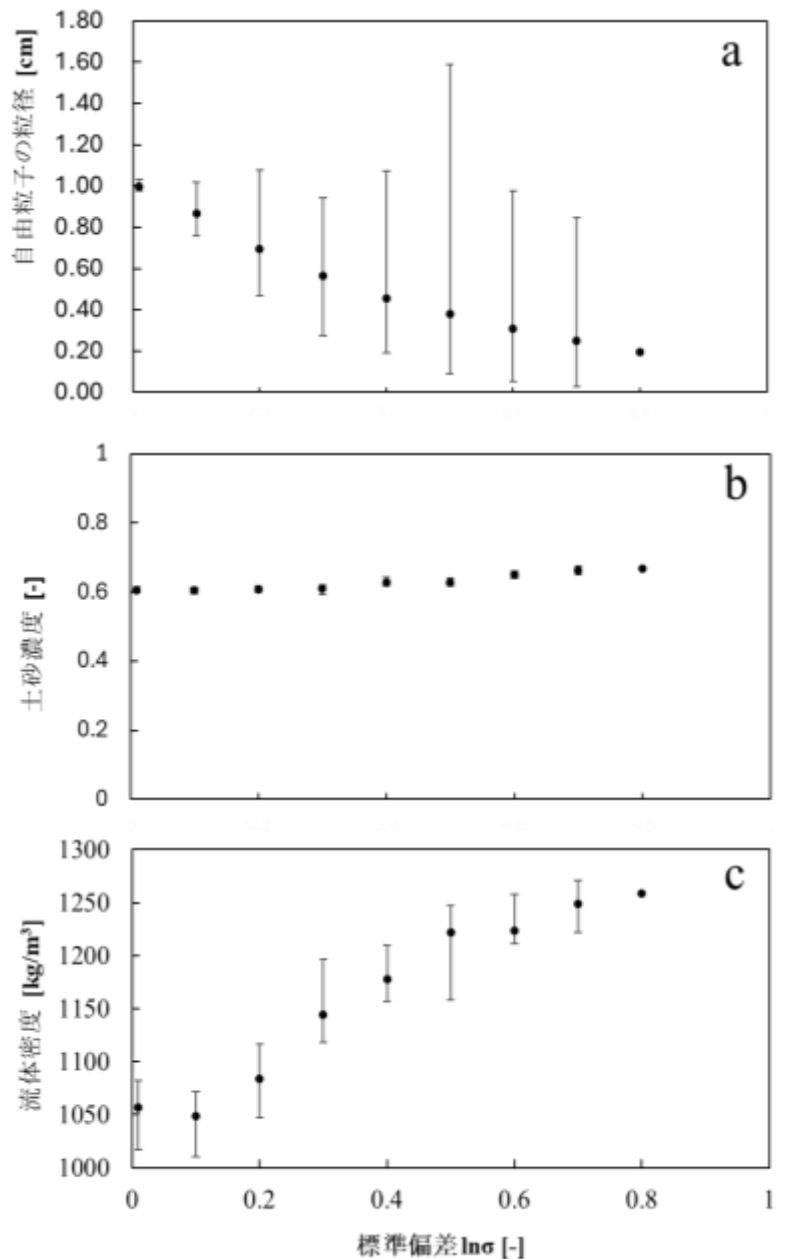


図-1：標準偏差に対する  
(a) 自由粒子の粒径、  
(b) 土砂濃度、(c) 流体密度

#### <引用文献>

堤大三・藤田正治・Muhammad Sulaiman (2006):混合砂礫河床材料の空隙に関するシミュレーションモデル, 水工学論文集, Vol. 50, p. 1021-1026