

京都大学工学部地球工学科	学生会員	○ 柳生 大輔
京都大学学術情報メディアセンター	正員	牛島 省
京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻	学生会員	鳥生 大祐
京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻	学生会員	青木 一真

1. 緒言

日本では気候条件や地形条件などにより、斜面の崩壊や浸食など、様々な土砂災害の問題が発生する¹⁾。それらの問題に対して対策を行うことは、防災上重要であると考えられる。降雨時には、砂面浸食過程の初期段階として、雨滴が砂面に衝突することで発生する雨滴浸食が挙げられる²⁾。

本研究では、3次元の固気液多相場の数値解析手法 MICS³⁾を利用して、水滴落下による砂粒子群運動を計算し、水滴落下速度と浸食量の関係について考察を行った。

2. 数値解析手法

本研究では、3次元の固気液多相場の数値解析手法 MICS³⁾を用いる。計算手順は、気液相のみからなる多相場の基礎式を有限体積法を用いてコロケート格子で離散化し、MAC系解法⁴⁾に基づく予測段階、圧力計算段階、修正段階の演算を順に適用して、密度、流速及び圧力の計算を行う。次に、この計算から得られた、流速、圧力などを用いて、T型固体モデル⁵⁾で表される物体の移動、衝突計算を複数回行い、その演算結果を多相場に反映する。

気液相のみからなる多相場の基礎式は、以下の質量保存則、非圧縮条件、運動量保存則から構成される。

$$\frac{\partial \rho_f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho_f u_j) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_i u_j) = f_i - \frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho_f} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad (3)$$

ここで、 t は時間、 x_i は直交座標成分、 u_i は気相と液相の質量平均速度であり、 p 、 ρ_f 、 μ はそれぞれ気相と液相の体積平均圧力、密度、粘性係数である。また、 f_i は外力加速度の x_i 成分である。なお、計算プログラムはflat MPIを用いて並列化されている。

3. 水滴落下速度と浸食量の関係

(1) 計算条件

計算領域および初期の砂粒子の配置の概略図を図1および図2に、また計算で用いた初期配置の断面図を図3に示す。ここで、 $l_1 = l_2 = 3.0 \times 10^{-2}$ [m]であり、 $l_3 = 2.5 \times 10^{-2}$ [m]である。 H_s は $(l_1/2, l_2/2)$ を中心とする半径 1.0×10^{-3} [m]の範囲内にある最大砂層厚であり $H_s = 7.5 \times 10^{-3}$ [m]である。 h_w は、平面 $x_3 = H_s$ から水滴の中心までの距離であり、 $h_w = 3.5 \times 10^{-3}$ [m]とした。また、水滴の直径 $D = 5.619 \times 10^{-3}$ [m]とし、水滴落下速度 v を1.0, 4.0, 9.5 [m/s]と変えて計算を行った。なお、 $0 \leq x_3 < 5.0 \times 10^{-3}$ [m]における間隙率 $N = 0.464$ 、砂粒子数 n_b は7416個であり、図3に示す砂粒子を模した回転楕円体の短径を粒径 $d = 0.754$ [mm]とした。

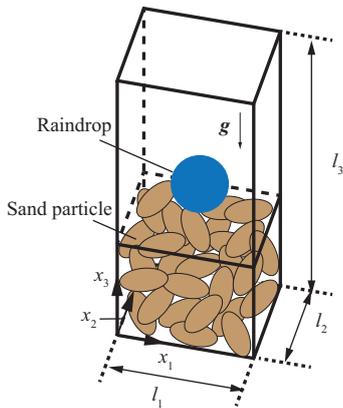


図-1 計算領域と座標系

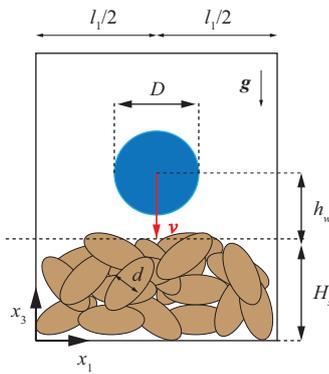


図-2 $x_1 - x_3$ 断面図

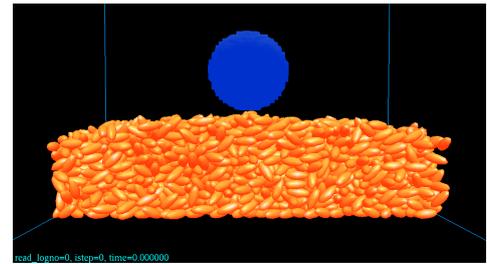


図-3 計算における初期砂粒子配置と水滴

(2) 計算結果

計算で得られた砂面形状を図4に、落下速度 v と文献⁶⁾により定義された浸食量 V の関係を表1に示す。なお、図4では、 \bar{h}_s は平滑化された砂面、また r は計算領域中心を原点とする水平な半径方向の座標である。また、 T_0 とは砂粒子がほぼ静止した状態の時刻である。図4に示されるように、落下速度が大きくなるほど、浸食量が大きくなる傾向が得られた。実現象においても水滴の運動量が大きくなれば、浸食量も大きくなる⁷⁾ので、妥当な結果が得られたと推察される。

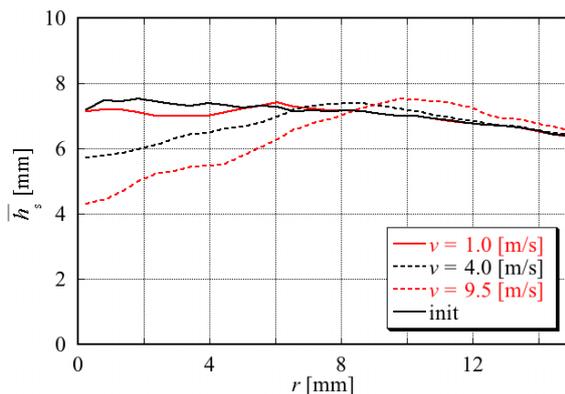


図-4 計算で得られた砂面形状 ($t = T_0$)

表-1 落下速度 v と浸食量 V の関係

v [m/s]	1.0	4.0	9.5
V [mm ³]	14.9	176.2	499.9

4. 結言

本研究では、3次元の固気液多相場の数値解析手法 MICS³⁾を利用して、水滴落下による砂粒子群運動を水滴落下速度を変えて計算を行った。水滴落下速度が大きくなるにつれ、浸食量も大きくなるという実現象に近い傾向⁷⁾がみられ妥当な結果が得られた。

参考文献

- 1) 村上正吾, 辻本哲郎, 中川博次, S.Makhanu: 降雨による裸地斜面の土壌侵食に関する基礎的研究, 水工学論文集, Vol. 40, pp. 855-862, 1996.
- 2) 藤川武信, 内田勝利: 土性と飛散侵食について, 農業土木学会論文集, Vol. 1980 No. 90, pp. 1-8, a1, 1980.
- 3) 牛島省, 福谷彰, 牧野統師: 3次元自由水面流中の接触を伴う任意形状物体運動に対する数値解法, 土木学会論文集 B, Vol. 64 No. 2, pp. 128-138, 2008.
- 4) 牛島省, 竹村雅樹, 禰津家久: コロケート格子配置を用いた MAC 系解法の計算スキームに関する考察, 土木学会論文集, No. 719/II-61, pp. 11-19, 2002.
- 5) 牛島省, 福谷彰, 牧野統師, 禰津家久: 3次元流体中を運動する接触と変形を考慮した任意形状固体モデルの数値解法, 応用力学論文集, Vol. 10, pp. 139-146, 2007.
- 6) 藤原輝男, 金山和雄: 雨滴の終末速度による地面浸食に関する研究 (3), 山口大学工学部研究報告, Vol 28 No. 1, pp. 9-18, 1977.
- 7) 岩垣雄一, 土屋義人: 水滴による地面侵食に関する二, 三の実験, 土木学会論文集, No. 35, pp. 55-63, 1956.