

第Ⅲ部門

崩土の到達距離予測手法としてのMPS法の適用性について

神戸大学工学部

神戸大学都市安全研究センター

神戸大学都市安全研究センター

学生会員 ○堀内 雅宏

正会員 沖村 孝

正会員 鳥居 宣之

1. はじめに

我が国は国土の大部分が急峻な山地地形を占めており、その地質は脆弱である。また、温帯に位置し、降雨・降雪が多いという気象条件を有しており、毎年のように土砂災害によって全国各地で甚大な被害が発生している。土砂災害発生件数の中でもがけ崩れの発生件数は大部分を占めており、崩壊土砂による被害低減のためには、がけ崩れの到達距離を予測することは重要である。本報では、粒子法の一つであるMPS法<sup>1)</sup>に着目し、本手法をモデル斜面を対象としてがけ崩れの運動解析を行い、その適用性を検討する。

2. MPS法の概要

粒子法は、連続体の運動を有限個の粒子の集合とみなし、個々の粒子をLagrange的方法で追跡する手法で、有限要素法のようなメッシュを用いない手法である。MPS法<sup>1)</sup>は粒子法の一つで、粒子がもつ物理量の相互作用に重み関数を利用した粒子間相互作用モデルを用いている。計算過程における勾配、発散、ラプラシアンのような微分演算に対して、それぞれの微分演算子に対応した粒子間相互作用モデルを用いて微分方程式を離散化する。以下にMPS法で用いる非圧縮性流れの支配方程式(1),(2)を示す。

$$\frac{D\rho}{Dt} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{g} \tag{2}$$

$\rho$  : 密度[t/m<sup>3</sup>],  $t$  : 時間[s],  $\mathbf{u}$  : 速度ベクトル[m/s<sup>2</sup>]

$P$  : 圧力[kN/m<sup>3</sup>],  $\nu$  : 動粘性係数[m<sup>2</sup>/s],

$\mathbf{g}$  : 重力加速度ベクトル[m/s<sup>2</sup>]

計算は図-1に示すアルゴリズムに従って進められる。粒子は時間ステップ $k$ において位置 $\mathbf{r}^k$ 、速度 $\mathbf{u}^k$ 、圧力 $P^k$ をもち、まず速度、位置を陽的に計算し、仮の速度 $\mathbf{u}^*$ と位置 $\mathbf{r}^*$ を得る。これをもとに圧力を陰的に計算して順次更新し、時間ステップ $k+1$ における位置 $\mathbf{r}^{k+1}$ 、速度 $\mathbf{u}^{k+1}$ 、圧力 $P^{k+1}$ を求める。

3. モデル斜面への適用

MPS法をモデル斜面を対象として適用し、土砂の挙動に大きく影響すると考えられるパラメータを変化させることで、計算結果にどのような影響が出るかを検討した。モデル斜面には、図-2に示すような斜面長10[m]、流出域15[m]の直線流路を有する斜面を用いる。斜面崩壊は円弧すべりを仮定し、動粘性係数は崩壊土砂の運動中一定と仮定した。計算に用いたパラメータを表-1に示す。変化させるパラメータの基準値を $\nu=0.3$ [m<sup>2</sup>/s],  $\theta=30$ [deg],  $d=0.6$ [m]とし、それぞ

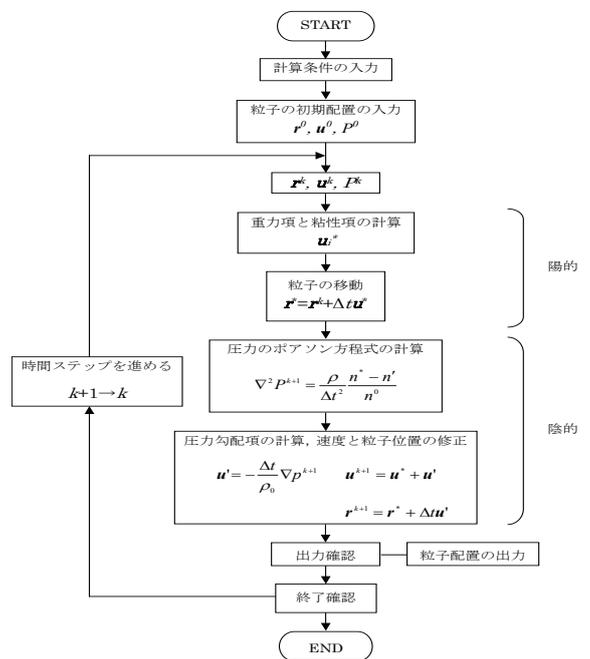


図-1 非圧縮性流れの計算アルゴリズム<sup>1)</sup>

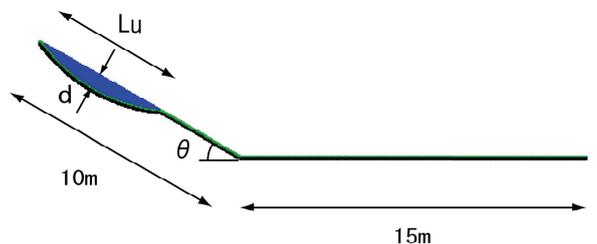


図-2 モデル斜面

れ 4 段階に変化させて評価した. 具体的には, 一つのパラメータを変化させている際には他のパラメータは基準値をとることとした. なお, 斜面下端の勾配変化点を A 点とし, 堆積厚さが 0.2[m]以上で最も遠くに土砂が到達した点を B としたときの距離 AB を土砂到達距離  $D$  とした.

(1) 動粘性係数  $\nu$  を変化させた場合

土砂到達距離  $D$  と動粘性係数  $\nu$  の関係を図-3 に示す. 動粘性係数  $\nu$  が低いほど流動性は高くなるので, 動粘性係数  $\nu$  が大きくなるにつれて土砂到達距離  $D$  は減少していく. 土砂到達距離  $D$  と動粘性係数  $\nu$  の関係は直線ではなく, 動粘性係数  $\nu$  の増大に伴って土砂到達距離  $D$  は一定の値に収束する傾向が見られた.

(2) 斜面傾斜角度  $\theta$  を変化させた場合

土砂到達距離  $D$  と斜面傾斜角度  $\theta$  の関係を図-4 に示す. 斜面下端での速度は傾斜が大きいかほど速く, そのため土砂到達距離  $D$  は斜面傾斜角度  $\theta$  が大きい斜面ほど長くなる. その関係は緩やかな曲線関係にある. 森脇<sup>2)</sup>は, 斜面傾斜角度  $\theta$  と崩壊高/流下距離  $H/L$  を比較している. そこで, 斜面傾斜角度  $\theta$  と崩壊高/流下距離  $H/L$  を比較した (図-4 参照). 図-4 より, 斜面傾斜角度  $\theta$  が小さいほど崩壊高/流下距離  $H/L$  は小さくなっている. これは, 同じ崩壊高をもつ斜面でも斜面の傾斜が緩いほど崩土は遠くまで流下することを意味しており, 森脇<sup>2)</sup>の研究結果と同様の傾向を示した.

(3) 崩壊深さ  $d$  を変化させた場合

土砂到達距離  $D$  と崩壊深さ  $d$  の関係を図-5 に示す. 崩壊深さ  $d$  が大きくなると流下速度が速くなり, それに伴って土砂到達距離  $D$  が長くなっている. 本報では崩壊斜面長  $L_u$  を一定にしているため, 崩壊深さ  $d$  の変化は崩壊土量の変化であるとも言える. 森脇<sup>2)</sup>は, 崩壊土量についても崩壊高/流下距離  $H/L$  との関係性を調べている. そこで, 崩壊深さ  $d$  と崩壊高/流下距離  $H/L$  との関係性を調べた結果, ここでも森脇<sup>2)</sup>の結果と一致する傾向がみられた.

4. まとめ

本報では MPS 法をモデル斜面に適用し, パラメータを変化させて本手法の妥当性を検討した. シミュレーション結果は, 既往の研究で過去の崩壊事例により得られた結果と同様の傾向を示し, 予測手法としての妥当性を示した. なお, 本報では動粘性係数を一定としたため, 土砂内部や基盤面との摩擦を考慮していない. よって摩擦を含んだ抵抗機構を計算に組み込むことにより, 予測手法としての精度向上を図りたいと思う.

参考文献

- 1) 越塚誠一: 計算力学レクチャーシリーズ 5 粒子法, 丸善, pp.1-50, 2005.
- 2) 森脇寛: 崩土の到達距離予測, 地すべり, 24-2, pp.10-16, 1987.

表-1 計算に用いたパラメータ

パラメータ	値
密度 $\rho$ [kN/m <sup>3</sup> ]	1.8
重力加速度 $g$ [m/s <sup>2</sup> ]	9.8
崩壊斜面長 $L_u$ [m]	5.75
動粘性係数 $\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	0.1, 0.3, 0.5, 0.7
斜面傾斜角度 $\theta$ [deg]	20, 30, 40, 50
崩壊深さ $d$ [m]	0.4, 0.6, 0.8, 1.0

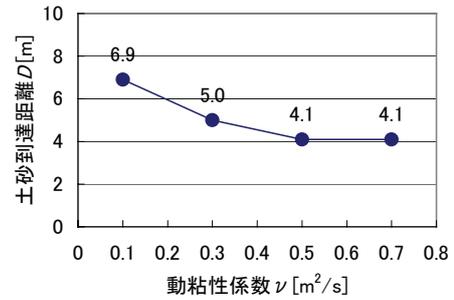


図-3 土砂到達距離と動粘性係数の関係

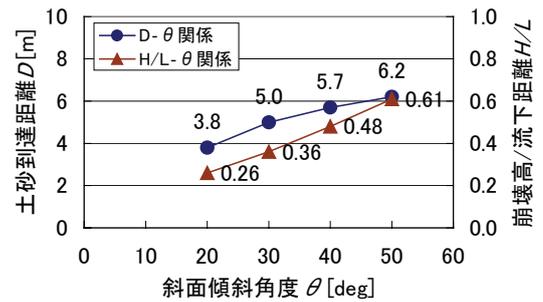


図-4 土砂到達距離及び崩壊高/流下距離と斜面傾斜角度の関係

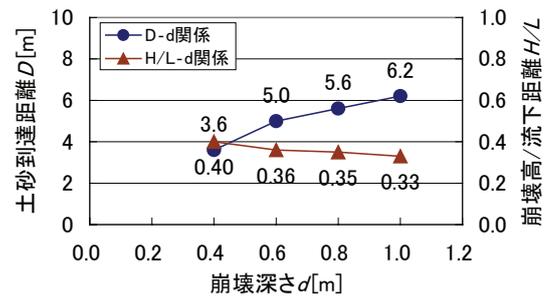


図-5 土砂到達距離及び崩壊高/流下距離と崩壊深さの関係