

斜面崩壊における土砂の到達距離推定のための数値モデルの提案

東京大学大学院 学生会員 沼田 宗純
 東京大学生産技術研究所 正会員 小長井 一男

1. はじめに

日本は土砂災害の件数は毎年平均 1000 件を超える。また、土砂災害発生の危険があるとされる箇所は国土交通省の管轄だけで 17 万箇所にも及ぶ。現在の土砂災害への対策は、「斜面を安定させる」、それが困難な場合は「監視・警報体制を整える」、のいずれか、あるいは両者が併用されることが多い。しかし、これらの対策が十分講じられたとされる箇所は全体の 2 割程度にしか及んでいない。予測される土砂崩壊の規模が大きくない場合には、「斜面を安定させる」対応策が有効であろう。しかし、その規模が著しく大きい場合には、すべりそのものを止めることは容易でなく、土砂崩壊過程において土砂がどこまで到達するかを知ることが被害の軽減につながる。そこで本研究は、崩壊土砂の到達距離を推定するための数値モデルの提案を行い、土砂災害への対策に科学的に定量的な根拠を提供することを目指す。

2. 土砂崩壊過程の数値モデル

2.1 Lagrangian Particle Finite Difference Method

解析手法としては、地盤の大変形解析法の一つである Lagrangian Particle Finite Difference Method(以下 LPFDM とする)を用いることにする。

LPFDM では解析対象となる物質を多数の粒子(ラグランジュ粒子群)で表現する。これらの粒子は、物質の情報(ラグランジュ変数)を持ち運び、空間に固定された矩形格子(Euler 座標)間を自由に動き回ることによって変形を追跡していくことになる(図 1)。粒子によって運ばれたラグランジュ変数(位置、質量、応力、ひずみ、間隙水圧などのあらゆる物性情報)は一定時間きざみごと、粒子の存在する格子に投影され、矩形格子の節点(計算点)に集約されていく。そしてこの格子点で運動方程式を解くことで、次の時間ステップでの格子点の変位増分が計算される。このように LPFDM はラグランジュ式、オイラー式の両記述法の利点を活用するもので、著しく大きな変形に至っても、数値計算が破綻することはない。

2.2 斜面の設定

斜面は LPFDM のアルゴリズムにおける計算格子(x - y 面)の節点に個別に標高を与え、計算格子を斜面上に投影することで設定する。そしてラグランジュ粒子群を斜面上に投影し、計算は投影された計算格子(ξ - ψ 面)で行う(図 2)。このような計算スキームを採用することで、入力データを①地形②滑り面の物性値③土塊の変形を支配する物性、の 3 つのデータセットに限定することができる。①は現場で計測可能であり、②はせん断試験装置により試験することができる。③を評価するのは非常に困難であるが、まずは解析スキームの有効性を示すため、これを弾塑性体としてモデル化することにする。

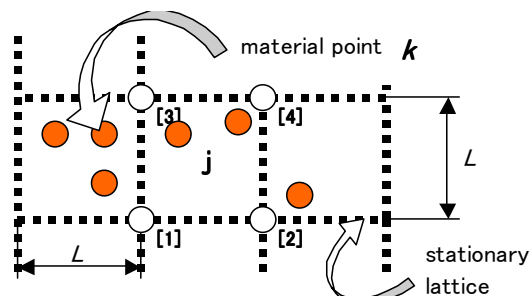


図 1 Euler 格子(破線)とラグランジュ粒子群

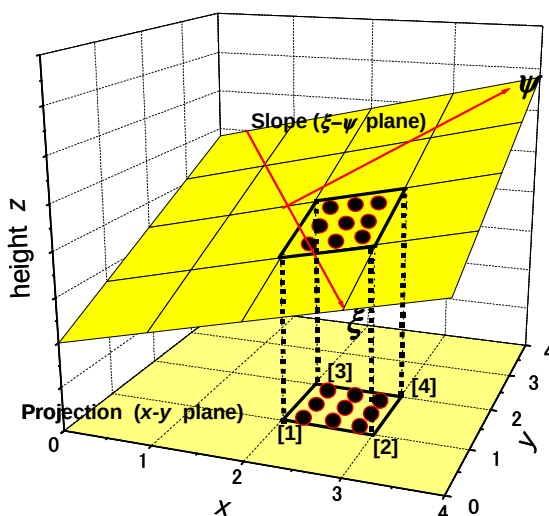


図 2 Euler 格子(x - y 座標系)の斜面(ξ - ψ 面)上への投影

3. シミュレーション例

3.1 土砂の厚さの変動を考慮しない場合

対象とする斜面崩壊は、その土砂の厚さ H に比べて、幅 W 、長さ L が比較的大きく、そして明確な滑り面が想定できるものとし、土砂の厚さの変動は無視できるほど小さいものとする。表 1 に解析パラメータを示す。図 3 中の等高線は、ここに伏角 45° の 2 つの斜面 A, B が異なる方位角で存在していることを示している。この斜面 B に整然と配置されたラグランジュ粒子は瞬時に重力場に置かれ、自重によって斜面を滑り始める。土砂の先頭が平坦部に差し掛かりスピードを落とすと、これが後続の土に押される形になるが、側方に地形の拘束がないので、斜面 B に乗り上げながら次第にはらみだすように側方へ広がっていく様子が見られる。

表 1 解析パラメータ

ヤング係数	$5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$	ピーク強度到達後 c, ϕ の低減	50%
ポアソン比	0.3	滑り面上の初期摩擦角	0.5rad
密度	1700 kg/m^3	粘着力	9800 N/m^2
内部摩擦角	0.5rad	viscous damping	0.8

キーワード：斜面崩壊、地盤の大変形、数値解析、LPFDM、Mohr-Coulomb Failure Criteria

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 小長井研究室 Tel:03-5452-6142, Fax: 03-5452-6144

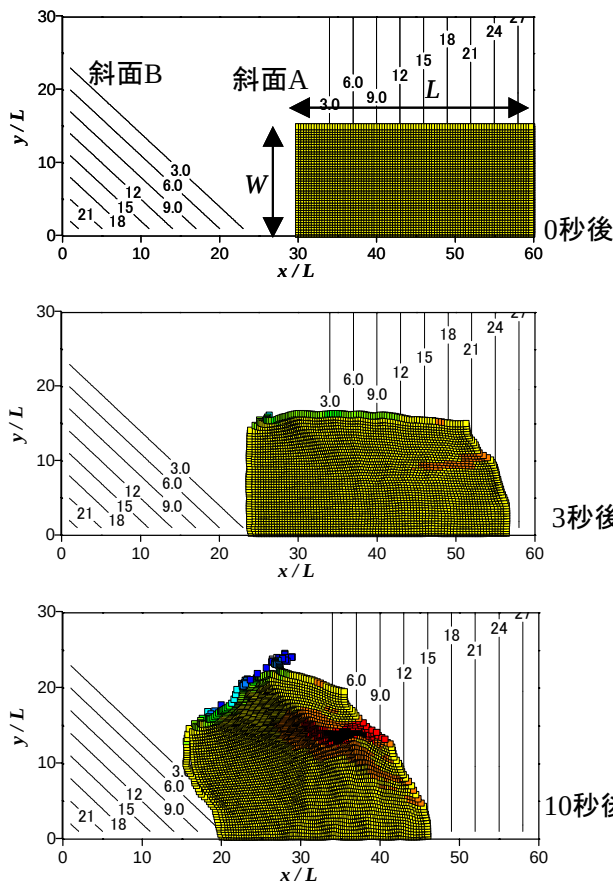


図3 上方から水平面に投影した平面のシミュレーション
(最大せん断ひずみの分布図)

3.2 土砂の厚さの変動を考慮する場合

3.2.1 土砂の厚さの変動のモデル化

次に、土砂の厚さ H の変動が無視し得ない場合についてのモデル化を行う。本来この計算は3次元で行うものであるが、これを3.1と同様2次元曲面で表現しその dt 秒後の厚さ H は次式に従って変化するものとする。

$$H_{t+dt} = \frac{1}{(1-\varepsilon_x)(1-\varepsilon_y)} H_t \quad \text{式1}$$

ここに、 ε_x 、 ε_y は x - y 平面内で生じるひずみである。

応力と破壊条件

土要素の側面に働く応力は①面内面形による応力と②自重によって生じる土圧の合応力となる。①面内変形による応力は土砂が弾塑性的な挙動を示すものとして算出し、一方側面土圧の上下限值は Rankin 土圧論に従うものとする(図4)。

3.2.2 解析結果

図5にシミュレーション例を示す。初期の土砂の厚さを $H=1\text{m}$ とし、地形は図3と同じ条件を用いる。

3秒後を見ると、先行土砂が平坦部に差し掛かりスピードを落としたところで、後続土砂がこれを押し出す形になり土砂が盛り上がる状況が見られる。そして斜面Aに乗り上げながらも側方に地形の拘束がないので、土砂が次第にその高さを減じながら水平に広がっていく様子が確認できる。

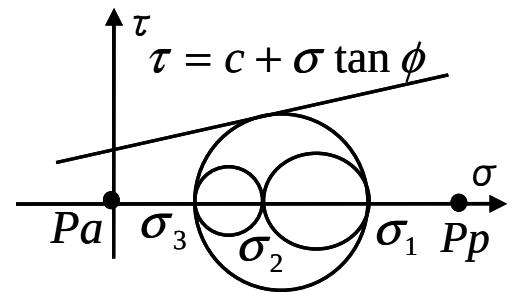


図4 Mohr-Coulomb Failure Criteria と Rankin 土圧

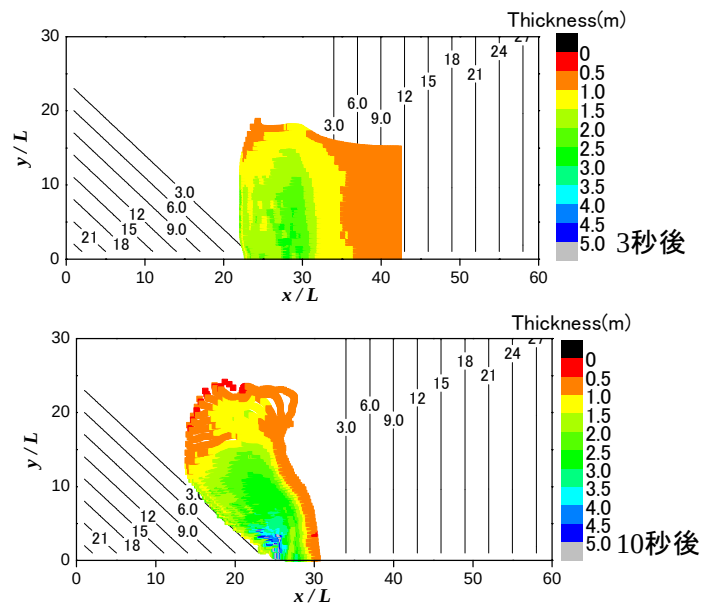


図5 上方から水平面に投影した平面のシミュレーション
(土砂の厚さ H の分布図)

4. おわりに

本報告では、崩壊土砂の到達距離を推定するための数値モデルの提案を行い、2つの斜面が近接する地形状況下で土砂の厚さの変動が小さい場合と大きい場合についてのシミュレーションを行った。その結果、本モデルは土砂災害への対策に定量的な根拠を提供し得る可能性を持つことを示した。

本報告では土塊の変形は弾塑性的な挙動を示すものと仮定したが、現実の斜面崩壊では水を含み著しい攪拌により流動化することがあり、土砂の到達距離は土塊の変形パターンに影響を及ぼすものと考えられる。今後は崩壊土砂が流動化した場合についてモデル化を行う予定である。

【参考文献】

Konagai, K. and J., Johansson [2001], Two Dimensional Lagrangian Particle Finite Difference Method for Modeling Large Soil Deformations, *Structural Eng. / Earthquake Eng.* **18(2)**, 91s-95s.

Konagai, K. and M., Numada [2002b], Pseudo-three dimensional Lagrangian Particle Finite Difference Method for modeling long-traveling soil flows, *Journal of Japan Society of Dam Engineers*, **12(2)**, appearing.