

# 土砂流動シミュレーションの開発と解析事例

応用地質株式会社      ○安田勇次・本木浩也・伊藤一誠  
東京農工大学              中村浩之・鈴木啓介

## 1, はじめに

筆者らは、中村ら<sup>1)</sup>により開発された「地すべり流動シミュレーションプログラム」を用い、地すべり土塊の到達範囲予測<sup>2)</sup>を試みてきた。その過程において、プログラムの特性や適用限界等が明らかとなった。これらの経験をもとに、シミュレーションが実際の土砂移動形態をよりの確に表現することおよび、プログラムの適用限界を拡大することを目指してプログラムを改良した。本報告では、プログラムの主な改良点と改良されたプログラムを用いた解析事例を紹介する。なお、プログラムの改良にあたって(株)計算力学研究センターにご尽力を頂いたことを付記する。

## 2, プログラムの改良点

中村らによるプログラムは完全陽解法を使用しており、計算が不安定となり易いため、地形が急勾配である事例や砂防ダムのような急激な凹凸のある地表面が存在する事例には適用できない。また解析に使用している閾値の設定によっては、解析結果が大きく異なることがある。その他、質量の保存が困難であったり、不動地盤と移動土砂との境界面で移動土砂の流速をゼロとしているなど、解決すべき課題がいくつか存在する。

今回の改良では、これらの問題を以下の方針により解決し、適用可能事例の拡大を図った。

- ・陰的解法の採用により計算を安定化し、トータルの質量の保存を保証する。
- ・閾値のうち、結果に大きく影響する閾値を排除する。
- ・対流項の離散化に高精度かつ安定なスキームを使用する。
- ・土砂分布境界に特殊な処理を行わず、基礎式を忠実に解く方法を採用する。

これらプログラムの改良点を、新旧プログラム対照表として表-1に示した。

表-1 新旧対照表

項目	旧プログラム	新プログラム
基礎式	質量保存式 $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot h \rho \bar{u} = 0$	旧プログラムと同じ
	運動量式 $\frac{\partial h \rho \bar{u}}{\partial t} + \nabla \cdot h \rho \bar{u} \bar{u} = -h \nabla p + \nabla \cdot \mu \nabla h \bar{u} - h f_m - \bar{f}_i - h \bar{f}$	$\frac{\partial h \rho \bar{u}}{\partial t} + \nabla \cdot h \rho \bar{u} \bar{u} = -h \nabla p + \nabla \cdot \mu h \nabla \bar{u} - h f_m - \bar{f}_i - h \bar{f}$
	粘性項 $\nabla \cdot \mu \nabla h \bar{u}$	$\nabla \cdot \mu h \nabla \bar{u}$
離散化	手法 完全陽解法 有限差分法 (FDM)	半陰解法 有限体積法 (FVM)
	独立変数 フラックス (土砂厚さ × 流速)	土砂厚さ (h)、X, Y 方向の流速 (ux, uy)
	対流項 1次精度スキーム (1次風上差分法)	2次精度スキーム (TVDスキームの採用)

プログラムの改良により、解の安定性が向上しただけでなく、以下のような解析を行えるようになった。

- ・流動の過程で物性値等の条件を変化させる (リスタート機能の追加)。
- ・砂防ダム等の砂防設備を条件設定に加え、施設の効果を検討する。

## 3, 事例解析

### (1) 流動機構

事例解析には、平成9年7月に発生した出西市針原地区の土石流災害を解析事例として示した。

災害直後に撮影された空中写真判読により土砂移動範囲、機構を推定し、図-1に判読図として示した。図-1に示したとおり、移動後の堆積土砂に流れ山地形やブロック構造が見られる。また、砂防ダム堆砂地内のブロックに樹木が立木の状態で残されていることなどから、崩壊した土塊は、ある程度原形を留めた形で移動したと推定できる。砂防ダムよりさらに流下した土塊についても、①残された堆積物がいくつものローブ構造をもっている、②直進して台地に乗りに上がっている、③人家の破壊の程度は比較的弱く急激に停止している、④土塊の停止部で末端崖を形成している、ことなどから、溜池や砂防ダム、河床などから供給された多量の水とは分離した状態で、流動化傾向を強めながらも本質的には土塊として移動したと推定できる。土塊の停止後、土塊の前面や周辺および土塊から排水された多量の水は、あまり土砂を含まない状態で流下し海岸に達している。したがって、多量の土砂の移動は、崩壊から停止まで一貫して土石流と言うより高速地すべりのような性格をもっていたと言える。

このことから、地すべりの移動・流動化による土塊の強度劣化等の力学的な取扱いで土砂移動現象をシミュレーションできるものと考え、解析を行った。

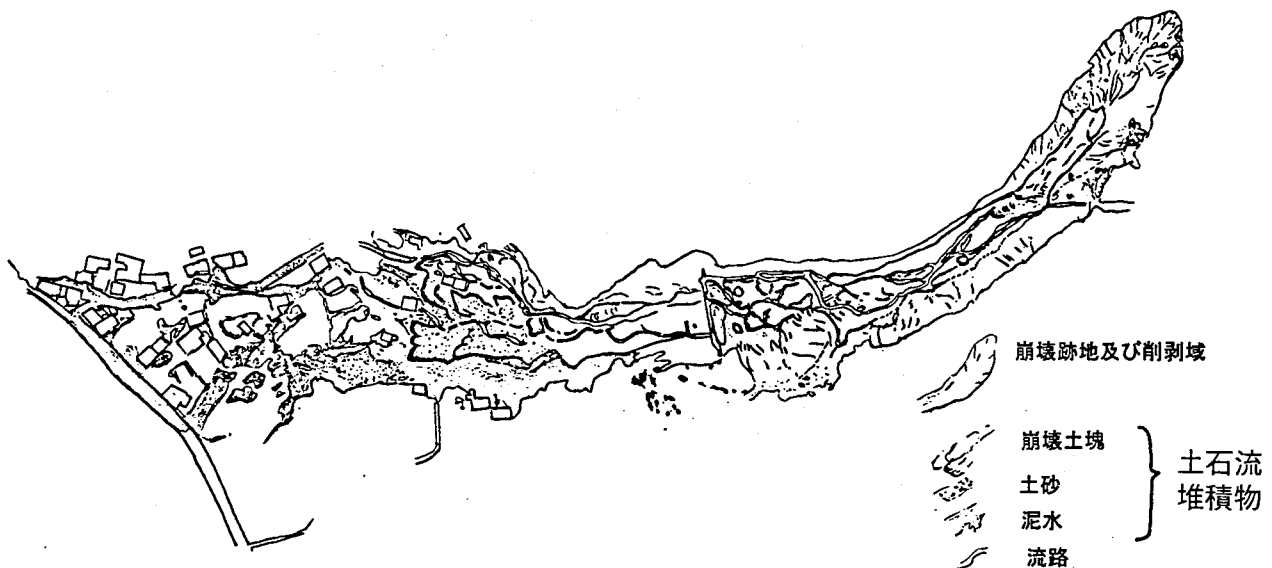


図-1 災害直後の空中写真による土砂移動判読図

(2) 解析モデル

解析範囲：1,630m×505m (メッシュ数：流下方向 326, 直行方向 101 5m 格子)

表-2 採用した物性値

項目	斜面上の物性値	河道部の物性値
移動土塊の単位体積重量	1.8tf/m <sup>3</sup>	1.5tf/m <sup>3</sup>
土塊の動粘性係数	0.01m <sup>2</sup>	0.01m <sup>2</sup>
すべり面の粘着力	0.01tf/m <sup>2</sup>	0.01tf/m <sup>2</sup>
すべり面の内部摩擦角	5°	5°
移動土塊の内部摩擦角	8°	8°

(3) 解析結果

針原地区の事例解析結果を図-2に示した。左側が発生源となった崩壊領域であり、右側が土砂が流下して停止したときの土砂堆積状況である。図-1に示した判読図と良い一致が得られている。

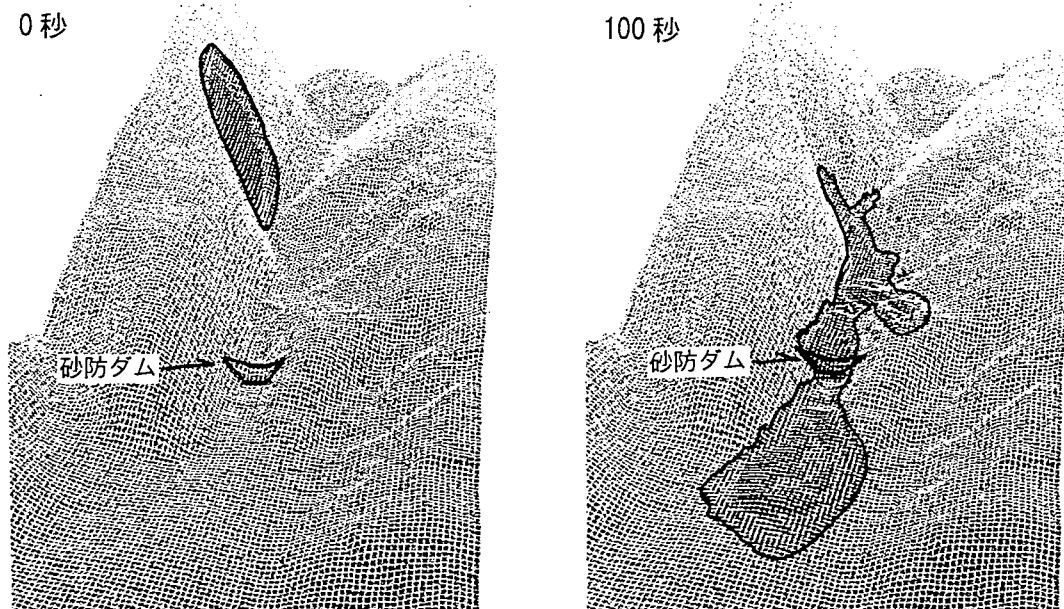


図-2 針原地区解析結果

1) H. Nakamura. et. al : The Japan-China symposium of landslide and debris flows, p. 81-86, 1989

2) 安田勇次・伊藤一誠・菅井一嘉：地すべり流動シミュレーションによる崩土到達範囲の予測事例，日本応用地質学会，平成7年度研究発表会講演集 p. 47～50, 1995