

GIS を用いた駒の湯温泉の土石流準三次元シミュレーション

長崎大学工学部 学生会員 ○近藤 学 正会員 王 純祥
長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 フェロー会員 棚橋由彦

1. はじめに

近年、地震・集中豪雨など自然災害によるものや、風化劣化によって起こる土砂災害が多数発生している。わが国ではこの災害による安全の確保（人的被害）やインフラへの影響が大きな問題となっている。災害による経済的な損失は計り知れないものがある。岩手・宮城内陸地震でも土砂災害が多数発生していることが確認されている。このような被害を最小限に抑えるためには、被害対策の一つとして、災害により起こりうる被害の影響範囲を予測することが必要である。本研究では土石流を対象としており、土石流による被害予測を行うため、GIS によりラスターデータを作成し、有限差分法を用い解析を行うことによって、土石流時に起こる土砂の流動とそれに伴う氾濫量・区域を予測しリスク評価を行うことを目的とする。複雑な自然の地形下で地すべり・土石流の準三次元シミュレーションの精度の向上を図るために、GIS のグリッドメッシュ（grid mesh）を有限差分法のメッシュとして、連続流体の連続式と運動方程式の基礎式を差分法により離散化して計算し、土砂移動の状況、到達距離、危険区域の分布を計算により明らかにし、本シミュレーションの妥当性を明らかにする。

2. 駒の湯温泉被害概要

2008 年 6 月 14 日午前 8 時 43 分に発生した岩手・宮城内陸地震で、岩手・宮城の県境にまたがる栗駒山とその山麓部に多くの浅い表層斜面崩壊や深層地滑りを引き起こした。ここでは、三迫川最上流部の東栗駒山山頂に近いドゾウ沢に面する斜面で発生した崩壊によって起こった土石流を対象とする。（図-1）この崩壊物質は、積雪を巻き込み、水分の多い泥流的な土石流となってドゾウ沢を流れ下った。長さ約 200m、最大幅約 300m、最大厚さ 30m、崩壊土砂量約 150 万 m^3 （東京ドーム約 1.2 杯分）の土砂が、土石流となりドゾウ沢を約 4.8km にわたり流下し、駒の湯温泉周辺に堆積した。

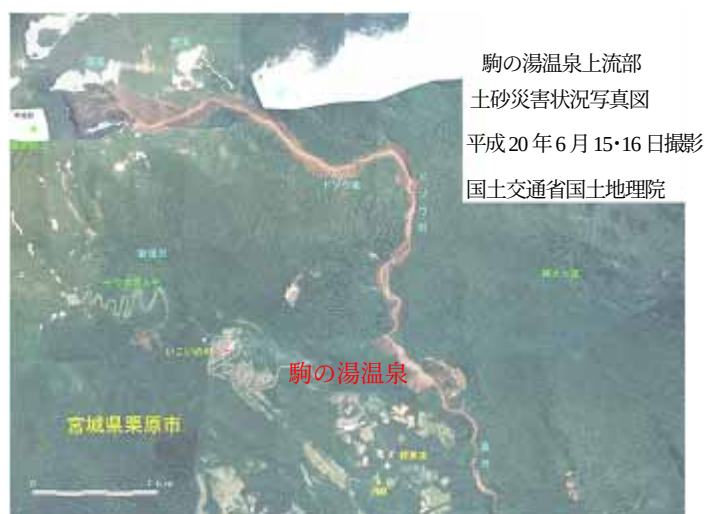


図-1 駒の湯温泉上流部航空写真¹⁾

このような土石流は溪谷や沢などに沿って 40km/h 以上の速さで流下し、最高で 140km/h にもなった¹⁾。駒の湯温泉で堆積が多くなったのは、同地点付近で生じた斜面崩壊によって河道が閉塞されたためである。

3. 土石流の支配方程式と GIS におけるアルゴリズム

本研究では、土石流の運動をモデル化することによって、土石流の流動とそれに伴う氾濫量・区域を予測する。モデルの構成を考える上で考慮すべき点は、土石流は非定常であり、堆積が考慮されなければならない。また、土石流は水と砂礫の混合物である。土石流の発生過程から堆積が終了するまでの過程を追跡するための 2 次元連続方程式は式(1)に示し、また支配方程式は、流れの質量保存則、運動量保存則から構成される。

連続方程式

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \alpha \frac{\partial (M\bar{u})}{\partial x} + \alpha \frac{\partial (M\bar{v})}{\partial y} = -\frac{\partial H}{\partial x} gh + \frac{\mu\beta}{\rho_d} \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) - \mu\sqrt{gh} \cos \theta_y \tan \varphi \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \alpha \frac{\partial (N\bar{u})}{\partial x} + \alpha \frac{\partial (N\bar{v})}{\partial y} = -\frac{\partial H}{\partial x} gh + \frac{\mu\beta}{\rho_d} \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) - \mu\sqrt{gh} \cos \theta_y \tan \varphi \quad (3)$$

ここで、 t ：時間、 x, y ： xy 方向の距離、 M, N ： xy 方向の単位幅当たりの流量、 $\bar{u}, \bar{v}$ ： xy 方向の水深平均流速、 α, β ：運動量補正係数、 g ：重力加速度、 h ：流動深、 H ：標高+ h 、 μ ：動粘性係数 ρ_d ：等価密度である。

GISのグリッドメッシュ (grid mesh) を有限差分法のメッシュとして、連続流体の連続式と運動方程式の基礎式を差分法により離散化して、既存研究のパラメータ^{2),3),4)}を参考に解析を行い、土砂移動の状況、到達距離、移動速度などを求める。流れの判定としては現地調査データとシミュレーション結果との比較により行う。

4. 解析結果と考察

図-2 は表-1 のパラメータの条件のもとで算定され結果である。また、表-2 には土砂の堆積・移動速度・流動時間を示す。図-2 (c)を参考にして堆積結果を見ると、調査計測した実際の堆積深さに近い値を得ることができた。

表-1 解析用入力パラメータ

ρ (kg/m ³)	α	β	μ (Pa·s)	g (m/s ²)	$\tan\varphi$
2200	1.25	1.00	0.11	9.8	0.4

表-2 解析結果

土砂の最大堆積深さ (m)	流動時間 (秒)	土砂の移動速度 (km/h)
27.6	255	67.8

(実地調査によると崩壊地から駒の湯温泉までの距離は約 4.8km)

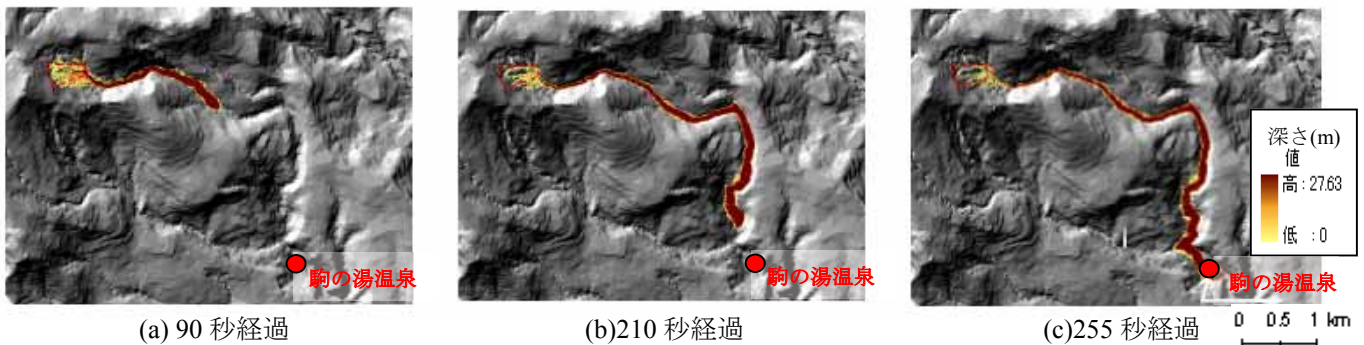


図-2 土石流移動過程シミュレーション結果

5. おわりに

2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震により生じた駒の湯温泉土石流について、有限差分法とGISを用いた準三次元シミュレーションの解析を実施し、現地調査データと比較したところ、妥当な結果を得ることができた。本研究で示したGISと土石流モデルの結合した手法は、すべての入力・出力データがGISにより処理されるため、土石流発生による影響範囲や広域にわたる災害リスク分析のための有効なツールであると考えられる。今後は実際の土石流の堆積挙動を考慮してモデルの改善を行い解析精度の向上を目指す。

【参考文献】

- 1) 国土地理院：<http://www.gsi.go.jp/johosystem/johosystem60030.html>
- 2) 福田義昭, 渡邊康玄, 星清：土石流氾濫シミュレーションモデルの適用検討, 開発土木研究所月報, No.421, pp.14-26, 1988
- 3) 江頭進治, 伊藤隆郭：土石流数値シミュレーション, 日本流体力学会数値流体力学部門会誌第12巻2号, pp.33-43, 2004
- 4) 王純祥：GIS-based two-dimensional numerical simulation of rainfall-induced debris flow, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, pp.47-58, 2008