

数値解析による崩壊土塊の到達範囲予測

Numerical simulation of grain-fluid flow due to slope collapse

張 馳^{a)*} · 吉松弘行^{b)} · 岩堀康希^{a)} · 阿部真郎^{a)}

Chi ZHANG, Hiroyuki YOSHIMATSU, Yasunori IWAHORI and Shinro ABE

Abstract

The Coulomb mixture model that was developed to predict the behavior of grain-fluid flows due to slope collapse is also promising to predict the behavior of debris-laden flash floods. The model assumes that grain-fluid flows behave as mixtures of interacting Newtonian fluids and Coulomb solids. Solid and fluid constituents obey three-dimensional mass and momentum balances, which are summed and depth-integrated to yield equations that describe shallow flows of the mixture as a whole. The leapfrog finite difference method provides an effective tool for solving the shallow water flow equations. In order to exactly predict the range of sediment, a stop condition of grain-fluid flow, the third-order upwind scheme and the preserving mass conservation method are applied to the numerical model. The numerical method is verified by comparing with Denlinger's (2001) small-scale granular avalanche experiment. In addition, the simulated result for a slope collapse occurred in the suburb Hirosaki Japan is in good agreement with the actual phenomena.

Key words : grain-fluid flow, the third-order upwind scheme, mass conservation method, stop condition

和文要旨

地震や豪雨、火山活動などによりしばしば斜面崩壊などの甚大な土砂災害が生じることが報告されている。これら災害を防止するために崩壊土塊の到達範囲を把握することが必要である。本稿では、土塊の運動停止前後での底面クーロン摩擦の不連続な挙動を示すためにクーロン混合モデルおよび深度平均理論に基づく運動の開始・停止条件と移流項の三次精度風上スキームおよび質量保存の取り扱い方法を導入し、斜面崩壊による土塊の運動や堆積範囲の平面2次元のシミュレーション手法を開発した。提案手法の有効性はDenlingerら (2001) の乾燥粒子流の小型模型実験および弘前市郊外の崩壊事例に基づき検証した結果、解析手法の妥当性が確認された。

キーワード：崩壊土塊、三次精度風上スキーム、質量保存法、停止条件

1. はじめに

わが国は国土面積の約70%が山地であり、火山活動や地震、あるいは豪雨に伴って大規模な斜面崩壊の発生が報告されている^{1)~3)}。このような斜面崩壊はそれ自体大規模な災害を生じさせる原因となるが、さらにその崩壊土塊が水域に突入した場合には高い段波を生じ、遙かに規模の大きな災害に結びつくことがある。例えば1963年10月9日イタリア北部ピアベ川のバイオンダム左岸に発生した岩盤地すべりの場合、2.7億 m^3 の土塊がダム湖に流入した結果、2,500万 m^3 の水がダムを溢水して下流の村落を襲い、死者2,125名、全壊家屋594戸の大惨事となった⁴⁾。また1792年(寛政4年)、島原半島の眉山大崩壊によって発生した段波は有明海を伝播し、対岸の肥後・天草を襲い15,000名以上の死者を出す大災害となっている⁵⁾。このような災害の影響範囲を予測する場合には、段波の形成過程や規模を支配する崩壊土塊の到達範囲、および水域に突入する際の土塊速度などを知ることが重要となる。

上述したような災害はこれまで山岳地帯で発生することが一般的であった。しかし、近年では都市開発に伴う家屋密集地での斜面崩壊の危険性も高まってきており、

やはり事前に災害危険区域及び被害程度の詳細な予測が求められている。

しかし、斜面崩壊に伴う土塊の流動・堆積機構は極めて複雑であり、従来から多くの研究者によって土塊運動の構成則としての散逸応力に関する研究が報告されている。これらは道上ら (1998)⁶⁾の粒子流モデルと、佐々 (1987)⁷⁾、中村ら (1989)⁸⁾、Chenら (2000)⁹⁾に代表されるクーロン摩擦モデルおよびIversonら (2001)¹⁰⁾のクーロン混合モデルに大別される。道上ら (1998)の方法は江頭ら (1997)¹¹⁾の土石流の構成則を用いて崩壊土塊を高濃度の土石流とし、土粒子間の衝突によるせん断応力と間隙流体のせん断応力および底面せん断応力を考慮して崩壊土塊の流動・堆積を解析している。このモデルの特徴は崩壊土塊が土石流のように粒子が散乱し、流れの内部散逸を粒子間の非弾性衝突による散逸も含めて評価していることである。しかし、崩壊土塊の流動は粒子の散乱が少なく崩壊土塊内の鉛直力と内部せん断力がほぼ一定であり、クーロン理論に基づく体積せん断力で内部散逸力が評価できるという報告もある¹⁰⁾。クーロン摩擦モデルとクーロン混合モデルの区別は、クーロン摩擦モデルが崩壊土塊を固体相の連続体としているのに対し、クーロン混合モデルの場合には崩壊土塊を間隙流体相と固体相の固液混相の連続体として扱っているところに特徴がある。しかし、クーロン摩擦モデルの場合は崩壊土塊の内部散逸を考慮していない。Iversonら (2001)の

* 連絡著者 / corresponding author

a) 奥山ボーリング株式会社

Okuyama Boring Co., Ltd.

〒013-0046 秋田県横手市神明町10-39

10-39, Shinmei-chou, Yokote City, Akita, 013-0046, Japan

b) 財団法人 砂防・地すべり技術センター

Sabo Technical Center