

LS-FLOW モデルを用いた深層崩壊に伴い形成される天然ダム（河道閉塞）形状の予測について

一般財団法人 砂防フロンティア整備推進機構

○佐光洋一・森俊勇・中村浩之・渡部文人（現国土技術政策総合研究所）
国土防災技術株式会社 福田睦寿・遊佐直樹

1 はじめに

直轄砂防事務所では、深層崩壊危険度調査を実施し、管内及びその周辺における深層崩壊発生のおそれのある単元流域の危険度が整理され、結果が平成 24 年度に公表された。今後は、危険度の高い流域等で深層崩壊が発生した場合に、どのような災害が発生するかを事前に想定するとともに、発生時の二次災害防止のため必要な対策について事前に検討しておく必要があると考えた。

大規模な崩壊などによる土砂移動から堆積にいたる一連の過程を定量的に評価できる崩壊土砂の運動シミュレーション手法（土木研究所¹⁾により LS-FLOW と称す準三次元の運動解析プログラム）がある。LS-FLOW は、安田・中村ら²⁾によりさらに研究が積み重ねられ、実際の土砂移動をかなり精度よく再現できるようになってきている。しかし、従来の検討は、崩壊土砂が比較的平坦な地形に拡散堆積する範囲などの土砂移動現象の再現解析を中心に行われており、崩壊土砂が河道を閉塞し形成する天然ダムの堆積高さなどの検討への適用を対象とした研究は行われていない。

そこで、深層崩壊により形成される天然ダム（河道閉塞）の予測（規模・形状）を目的に、平成 23 年台風 12 号による紀伊半島での天然ダム形成事例をもとに、本手法により天然ダムの規模・形状を対象とした解析を行い、その再現性を検証し、本手法による深層崩壊発生時の天然ダム（河道閉塞）の形成予測を試みたので紹介する。

2 LS-FLOW による天然ダムの再現計算

2.1 LS-FLOW 概要

LS-FLOW は、崩土を非圧縮性粘性流体の流れと仮定して、運動方程式(1)と連続式(2)に従うものとして解析を行う。

（運動方程式）

$$\frac{\partial h\rho\vec{u}}{\partial t} + \nabla \cdot h\rho\vec{u}\vec{u} = -h\nabla p + \nabla \cdot \mu h\nabla\vec{u} - hf_m - \vec{f}_s - hf \quad (1)$$

（連続式）

$$\frac{\partial h\rho}{\partial t} + \nabla \cdot h\rho\vec{u} = 0 \quad (2)$$

ここで、 h ：移動層の厚さ、 ρ ：密度、 \vec{u} ：流速、 p ：圧力、 μ ：粘性係数、 t ：時間、 p ：圧力、 f_m ：内部損失、 \vec{f}_s ：すべり面での摩擦力の各軸方向成分、 \vec{f} ：外力（震度）

の各軸成分を表す。

したがって、多くの未知数が存在するが、郎・中村³⁾は、すべり面の動的摩擦係数 $\tan \phi_s$ と土塊の動的内部摩擦係数 $\tan \phi_m$ が最も重要な未知数になっている。また、20 事例の $\tan \phi_s$ と $\tan \phi_m$ の組み合わせとすべり面の静的摩擦係数 ϕ_c との関係を検討し、さらに $\tan \phi_c$ を臨界すべり面解析から求めることで、予測幅 ($\pm \tan 4^\circ$) を考慮して、地すべり面と地すべり崩土の動的摩擦係数 ($\tan \phi_s + \tan \phi_m$) を設定する式(3)を提案している。

$$\tan \phi_s + \tan \phi_m = 0.41 \tan \phi_c + 0.10 (\pm \tan 4^\circ) \quad (3)$$

2.2 再現計算結果

深層崩壊による天然ダムに対する検証計算例として、平成 23 年 9 月に発生した紀伊半島台風災害における赤谷地区について再現計算を行った。

図 1 に実際の地形と再現計算結果の比較図を示す。また、図 2 に地形変化量の比較を示す。いずれも良好に堆積形状を再現できている。

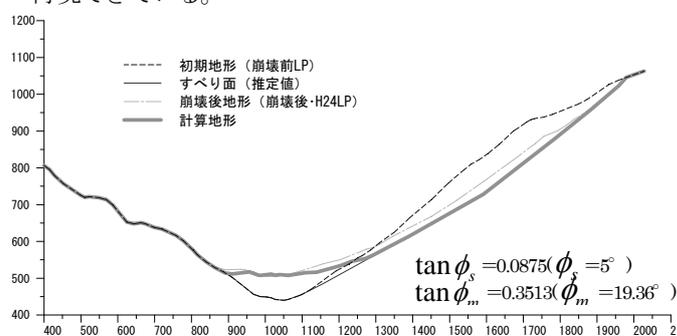


図 1 再現計算結果（縦断面図）

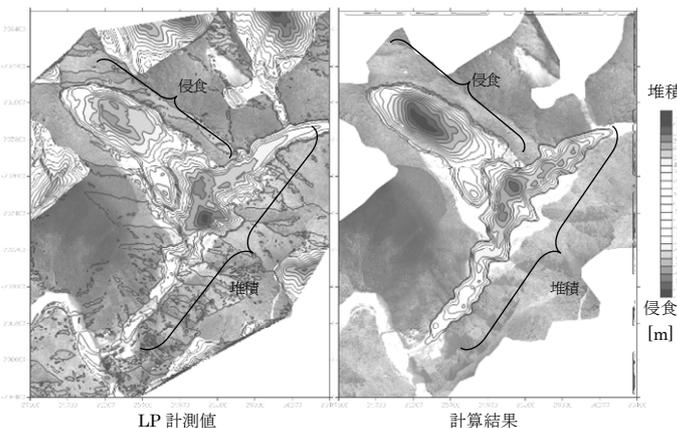


図 2 地形変化量の比較

再現性が最良となったときの $\tan \phi_s + \tan \phi_m$ の値は、崩壊斜面の安定解析より求めた $\phi_c = 34^\circ$ における式(3)の上限の $+\tan 4^\circ$ の値となり、 $\tan \phi_s = 0.0875$ ($\phi_s = 5^\circ$)、 $\tan \phi_m = 0.3513$ ($\phi_m = 19.36^\circ$) であった。

したがって、斜面安定解析による $\tan \phi_c$ を式(3)の上限式に代入して $\tan \phi_s + \tan \phi_m$ の値を求め、 $\tan \phi_s$ と $\tan \phi_m$ の組み合わせを試行錯誤することで、天然ダムの堆積形状を再現できることがわかった。

3 天然ダム形状の想定への適用

3.1 解析パラメータの設定検討

前章の検討から、LS-FLOW は深層崩壊に伴い形成される天然ダム形状の想定に適用が可能と考えられる。しかし、LS-FLOW による天然ダム形状を事前に予測するためには、式(3)から $\tan \phi_s + \tan \phi_m$ の値は設定できるので、同じ $\tan \phi_s + \tan \phi_m$ の値における $\tan \phi_s$ 、 $\tan \phi_m$ の組み合わせを事前に決定する必要がある。

天然ダム形状の再現計算では、 $\tan \phi_s + \tan \phi_m$ は式(3)の上限を用いた。図3にその時の $\tan \phi_s$ と $\tan \phi_m$ の組み合わせを示す。ここで、 ϕ_s と ϕ_m は、 $\phi_s \leq \phi_m$ から図3の点線で示す領域となるが、天然ダムの形成高さは、 ϕ_s が大きいほど高くなり、その上限は $\phi_s = \phi_m$ の時である。当然ながら $\phi_s = \phi_m$ とした場合の ϕ_s は、再現性が最も良かった時の ϕ_s より常に大きい値になる。

これは、LS-FLOW は、すべり面を境とした流体の運動を解析するものであり、すべり面の動的摩擦係数 $\tan \phi_s$ が大きいほど運動と逆方向に抵抗力として働くことから、崩土の拡散が小さくなり（流れにくくなり）、崩壊斜面直下にとどまる（堆積する）土砂量が多くなり、形成される天然ダム高が高くなるためと思われる。

天然ダムによる被害範囲を予測する場合、ダム高が高いほど上流側の湛水範囲や決壊した場合の被害規模が大きくなることから、上述の ϕ_s 、 ϕ_m の領域内では、最も流動性が低くなり、崩壊土砂により形成される天然ダム高が最も高くなる組み合わせである式(3)の上限值 ($+\tan 4^\circ$) と $\phi_s = \phi_m$ を用いることで、天然ダムの形状予測に本手法を適用した場合のダム高さが常に最大値を得ることができる。その結果、事前により厳しい条件での被害範囲の検討を行うことができる。

3.2 天然ダム形状の想定手法への適用例

図4に実際の堆積形状と、天然ダム対策検討のために上限値を用いた計算結果を示す。天然ダム対策検討のための堆積形状が、実際よりやや高くなっていることがわかる。越流開始高さとして想定される断面上の最低点で、3割程度、実際より

高く形成されている。

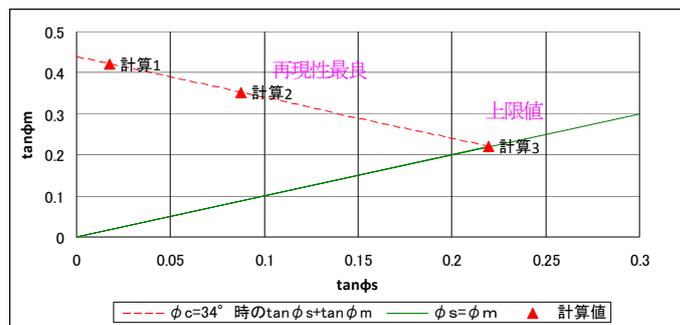


図3 $\tan \phi_s$ 、 $\tan \phi_m$ の組み合わせ ($\phi_c = 34^\circ$)

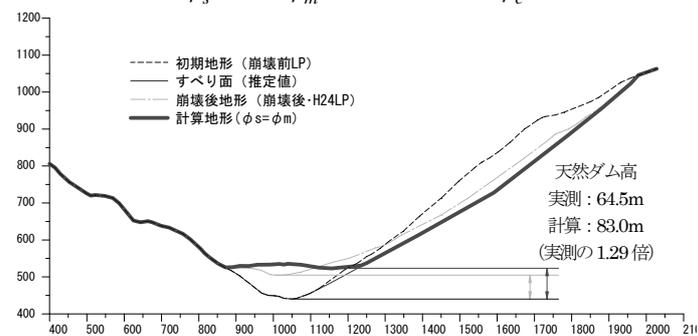


図4 $\phi_s = \phi_m$ の計算結果

4 まとめ

崩壊土砂運動シミュレーションプログラムの LS-FLOW を、深層崩壊により形成されると考えられる天然ダムを含む土砂の堆積形状の再現計算へ適用し、以下の結果を得た。

- これまで実施されてきた崩壊土砂の平坦な地形への拡散堆積解析と同様に、谷地形での堆積現象である天然ダムの再現計算にも適用できる。
- 深層崩壊等に基づく天然ダム形状の予測法として用いた場合、 $\phi_s = \phi_m$ とすることで、被害範囲を予測する上で、より厳しい条件となる最大の堆積高さで天然ダムの防災対策の事前検討に適用できる。

発表にあたり、平成 23 年 9 月に発生した紀伊半島台風災害における赤谷地区等の計測データをご提供いただいた奈良県県土マネージメント部深層崩壊対策室の関係各位にお礼申し上げます。

なお、この発表内容に関する考えについては、国土防災技術株式会社と共同で特許申請中である。

参考文献

- 吉松弘行・近藤観慈・石濱茂・綱木亮介・小嶋伸一・中村浩之：準三次元地すべり運動解析プログラムによる地すべり性崩壊の被害範囲の予測、土木研究所資料第 3057 号、1992
- 安田勇次・本木浩也・伊藤一誠・中村浩之・鈴木啓介：土石流シミュレーションの開発と解析事例、平成 10 年度砂防学会研究発表会概要集、p210-211、1998
- 朗・中村：黄土地すべりのすべり面形状の特性と崩土の拡散範囲の予測、地すべり、34 巻 4 号、p9-18、1998