

準三次元地すべり運動解析プログラム（LS-FLOW）のがけ崩れへの適用検討

一般財団法人 砂防フロンティア整備推進機構 ○佐光洋一・吉村元吾^{※1}・金子剛史

国土交通省 国土技術政策総合研究所 中谷洋明^{※2}・瀧口茂隆・小嶋孝徳^{※3}

※1：現 長野県建設部砂防課，※2：現 一般財団法人 砂防・地すべり技術センター，※3：現 国土防災技術株式会社

1 はじめに

国土交通省では、がけ崩れによる災害の被害防止・軽減を図るために、急傾斜地崩壊対策事業を進めており、国土技術政策総合研究所では、がけ崩れによる被害の推定手法に関する研究を行っている。

崩壊土砂の移動現象を推定する手法の1つに、崩壊土砂が移動を開始し、流下、堆積に至る一連の過程を、シミュレートする準三次元地すべり運動解析プログラム¹⁾（以下LS-FLOWと言う）が挙げられる。これまで、崩壊性地すべりによる崩壊土砂の拡散範囲や深層崩壊による崩壊土砂の堆積形状（天然ダム）の予測など崩壊高さ数10m規模の比較的大規模な土砂移動に適用された実績を有する^{例えば、2)}。

LS-FLOWは比較的少ないパラメータにより土砂移動現象を計算できる特徴があるため、がけ崩れへ適用することができれば、崩壊発生直後の2次災害リスク等を簡易かつ短時間に予測することができ、応急・緊急対策における安全性の向上等に寄与すると考えられる。

そこで、LS-FLOWのがけ崩れへの適用性について検討したので報告する。

2 LS-FLOW のがけ崩れへの適用検討

2.1 LS-FLOW の概要（詳細は参考文献1）を参照）

LS-FLOWは土砂が移動する状況を流体と見なし、移動層の鉛直方向の速度変化が水平方向と比べて相対的に小さいため、水平方向の平均流速に置き換えた浅水長波方程式を用いる。抵抗則にクーロン則を用い、土塊の内部摩擦角がすべり面の勾配より大きければ流動しないと考えた基礎方程式が用いられている。

計算で設定する主要なパラメータは、すべり面の動摩擦係数（ $\tan \phi_s$ ）と土塊の動摩擦係数（ $\tan \phi_m$ ）で、このパラメータの設定方法により異なる流動性が表現できることが確認されている。

2.2 がけ崩れの再現計算

平成30年7月豪雨に伴い広島県竹原市で発生したがけ崩れ事例を対象として、再現計算を試みた。事例の抽

出は、がけ崩れの実態³⁾統計を基に崩壊高さが実態統計の累積頻度90%（23m）に近い事例を抽出した。

既往研究⁴⁾による斜面勾配と ϕ_s 、 ϕ_m の関係式（式1）から求めたパラメータを用いて、がけ崩れへの適用性を確認した。その結果、郎・中村の関係式の下限值を用いた場合に、流下・堆積区間の最大流動範囲により、オルソにより求めた崩壊土砂の流下・堆積範囲を再現することができた（図-1、図-2）。このとき、崩壊高さHに対する到達距離Lの比率L/Hは、1.38となった。

〔既往研究による関係式（郎・中村⁴⁾）〕

$$\tan \phi_s + \tan \phi_m = 0.41 \tan \phi_c + 0.10 \quad (\pm \tan 4^\circ) \quad \text{式 1}$$

$\tan \phi_s$ ：すべり面の動摩擦係数

$\tan \phi_m$ ：土塊の動摩擦係数

$\tan \phi_c$ ：すべり面の静的摩擦係数（≒斜面勾配とした）

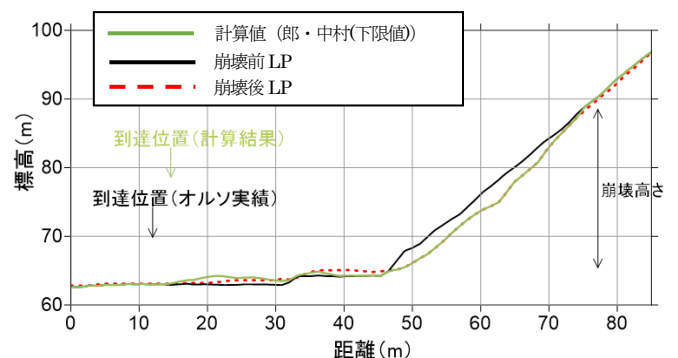


図-1 最終堆積形状の比較（縦断面図）

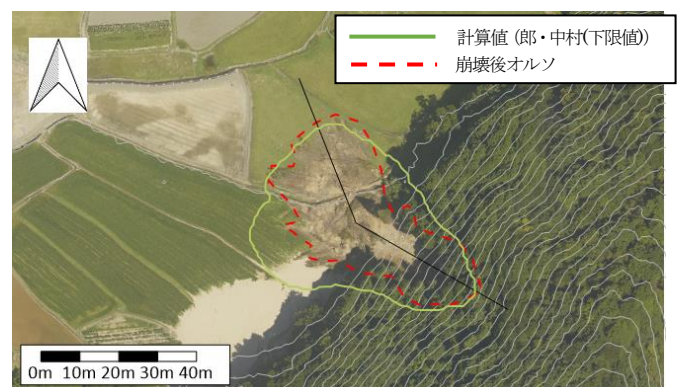


図-2 最大堆積範囲の比較（平面図）

2.3 感度分析による地形と到達距離の関係

がけ崩れの地形条件が到達距離へ与える影響を把握するため、崩壊高さ、崩壊深さ（厚さ）、斜面勾配の3つを変数として、標準ケースを中心に上下に変動させた感度分析を実施した。標準ケースは、感度分析により変数の違いが出やすいように、表-1に示すようにがけ崩れの最大規模に近い実態統計の累積頻度 95%を基本とした。変数のうち、崩壊高さ、崩壊深さの標準ケースは、累積頻度 95% (30m, 3m) とし上下をそれぞれ 20m と 40m, 2m と 4m に変動させた。斜面勾配の累積頻度 95%は 75° と急すぎるため、2.2 の事例を参考に標準ケースを 40° に設定し、上下を 30° と 50° に変動させた。感度分析は、これらの組合せで 27 ケースとした。なお、モデル化や計算時の崩壊地内残存土砂の影響により流下土砂量はケースにより異なる値となった。

計算結果の 1 例として、図-3 に崩壊高さを変化させた時の最終堆積形状の比較を示す。崩壊高さが高い程土砂が遠くへ到達する結果が得られた。

27 ケースの計算結果を基に、崩壊高さ、崩壊深さ、斜面勾配の 3 変数を説明変数として、到達距離を目的変数とする重回帰分析を行った。図-4 に到達距離への影響の大きさを表す指標である t 値を比較した。なお、精度を表す重決定係数 R^2 は 0.932 と非常に高い値を示した。

感度分析の結果、以下の結論を得た。

- ・ 到達距離および氾濫範囲への影響は、崩壊高さの影響が最も大きく、次いで斜面勾配であり、崩壊深さは前 2 者と比べるとその影響は小さい。
- ・ 斜面勾配は、到達距離・氾濫範囲と負の相関が見られ、斜面勾配が緩い程遠くへ到達する。これは使用する摩擦係数 ($\tan \phi_s$, $\tan \phi_m$) の値が、斜面勾配と関係して変化するため、斜面勾配の結果には摩擦係数の影響が含まれている。
- ・ 崩壊深さ（土砂量）は、到達距離との相関が小さい。

表-1 統計値および再現事例の規模

	平均値	中央値	最頻値	累積頻度 90%	累積頻度 95%	再現事例
崩壊高さ (m)	11.9	8	5	23	30	23
崩壊深さ (m)	1.1	0.8	1	2	3	2.6
斜面勾配 (°)	48.7	45	45	70	75	40
到達距離 (m)	7.4	3	2	15	25	33
崩壊幅 (m)	14.3	10	10	1.2	40	18
崩壊土量 (m³)	371	30	10	360	800	560

標準ケースとして設定した値

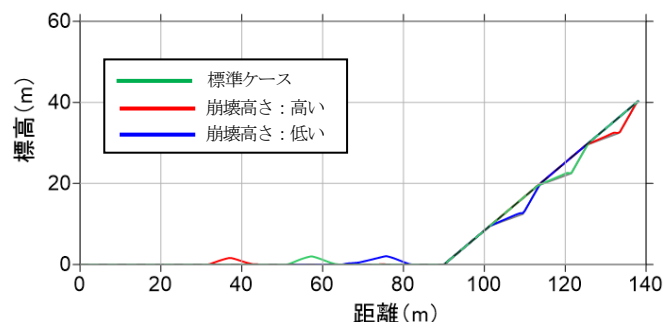


図-3 最終堆積形状の比較（崩壊高さを変化）

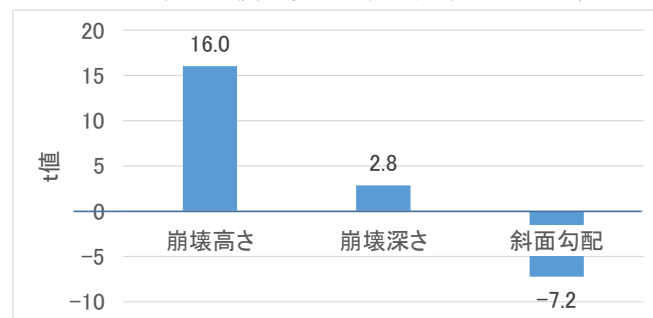


図-4 到達距離への影響（t 値）

3 おわりに

LS-FLOW をがけ崩れへ適用し、既往研究の関係式によりパラメータを決定することで、がけ崩れへ適用できることが確認できた。

今後プログラムの活用により、崩壊発生直後の2次リスクを簡易かつ短時間に予測することができ、応急・緊急対策における安全性の向上等に寄与すると考えられる。

ただし、崩壊発生高さや摩擦係数 $\tan \phi_s$, $\tan \phi_m$ の影響が大きいため、今後、様々なケースで再現計算事例を増やして、適用条件を整理することが必要である。

また、計算上、崩壊内に崩土の残留が発生しケースにより流下土砂量に違いが生じるため到達距離は同じでも氾濫面積に相違が生じる可能性がある。

参考文献

- 1) 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
- 2) 佐光洋一ら：深層崩壊に伴い形成される天然ダム形状の予測について，砂防学会誌，Vol.68，No.1，p.44-51，2015
- 3) 中谷洋明，瀧口茂隆，金澤瑛：がけ崩れ災害の実態，国総研資料第 1122 号，2020
- 4) 郎・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