

斜面崩壊前後の LP データを用いた多平面安定解析プログラムの作成

○福岡大学 学生会員 廣渡幸大
福岡大学 正会員 村上 哲
福岡大学 正会員 樋原弘貴

1. はじめに

平成 29 年 7 月九州北部豪雨では長時間停滞する線状降水帯の影響により多くの地域で被害が発生した。特に、溪流部を中心として多くの地域で斜面崩壊が発生しており、それぞれの地域で崩壊形態や被害の規模が異なることが分かっている¹⁾。さらに、従来の斜面崩壊では雨水浸透による斜面飽和度の上昇や斜面内地下水位の上昇による斜面の不安定化が考えられてきたが、斜面基部における洗掘消失による構造的な不安定化も 1 つの要因と考えられることが現地調査、および、研究によって明らかになってきている¹⁾。一方で、斜面崩壊が発生している箇所は膨大であり、全ての斜面の安定解析を行うには時間が掛かる。そのため、本研究では斜面安定解析の効率化を図るために、福岡県提供 LP データ（崩壊前後）を元に、多平面安定解析法²⁾を用いたプログラムの作成を行っていく。

2. LP データを利用した、多平面安定解析法の解析プログラムの作成

まず、多平面安定解析法は豪雨時に発生する山腹崩壊発生位置を現地調査及び、斜面をブロック分割した安定解析（図-1）により予知することを目的とした解析方法である。そのため、現地調査を行ったうえで斜面をブロック分割し、斜面の安定解析を行わなければならない。しかし、崩壊前後の現地調査を行うことは不可能であるため、崩壊前の LP データを地表面、崩壊後の LP データをすべり面と仮定することで斜面の安定解析を行う。また、プログラムの作成にはマクロ VBA を利用した。

次に、解析を行う上で必要な物性値を表にまとめた。（表-1）表に示す黒字の部分は LP データを用いてそれぞれ算出することができ、赤字の部分は報告書及び論文²⁾³⁾を参照した。多平面安定解析法は表-1 の安全率 F の求め方に示してあるように、上端から下端までのブロック間の力 P をそれぞれ算出し最終的に収束限界である ε を満たす最小の安全率を解析により算出する。そのため、各ブロック間の力 P についてはそれぞれ区間ごと、洗掘前後の全応力法により得られた式を利用する。

そして、マクロ VBA を利用してプログラムを作成する。解析フローとしては、①物性値の入力、崩壊前後の LP データを用いて物性値の算出、②解析斜面の決定（右側 or 左側）、③断面距離の中心から最下端ブロック（NSTART）の設定、そこから断面距離 5m の位置に上端ブロック（NLAST）を設定、④各ブロック間の力 P の算出、収束限界 ε による判別、以上 4 つとなる。まず、①は先ほど表-1 で示した物性値をマクロ VBA 上で、変数として入力を行い、変数のデータの個数および計算式についても同様に入力を行った。次に、②は崩壊前後の LP データから自ら判読し、解析する斜面（右側 or 左側）を決定した。そして、③は断面距離の中心（50m or 100m）を最下端ブロック（NSTART）とし、②で決定した斜面方向 5m の位置に上端ブロック（NLAST）を設定できるように、それぞれマクロ VBA 上でプログラムを作成し、Excel 上で入力できるようにした。最後に、④は各ブロック間の力 P の式をそれぞれマクロ VBA 上で入力し、算出するプログラムを作成した。ここでは③で設定したブ

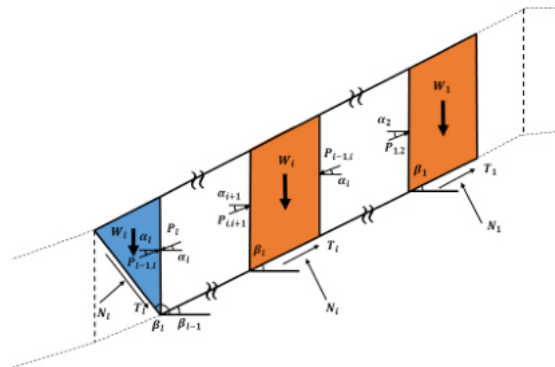


図-1 多平面安定解析法

表-1 解析に必要な物性値一覧

記号	説明	求め方
P (kN/m)	ブロック間の境界面に α の角度で作用するブロック間の力	ブロックごとの解析により算出
A_i (m ²)	i 番目のブロックの面積	断面距離 1m ごとに台形の公式を用いて、解析により算出
W_i (kN/m)	i 番目のブロックの重量	$\gamma_{sat} \times A_i$ により解析で算出
dl_i (m)	i 番目のブロックの潜在すべり面長	三平方の定理を用いて解析により算出
F	安全率	$ P_{i-1,j} - P_i < \varepsilon$ ($\varepsilon = 1 \text{ kN/m}$) を満たす最小の安全率を解析により算出
T_i (kN/m)	i 番目のブロックのすべり面上で働いているせん断力	$T_i = \frac{SS}{F} dl_i$ より解析で算出
β_i (°)	i 番目のブロックのすべり面の傾き	三平方の定理を用いて解析により算出
α_{i+1} (°)	ブロック間の境界面に作用する力の傾き	$\alpha_{i+1} = \beta_i/3$ より解析で算出
γ_{sat} (kN/m ³)	飽和単位体積重量	報告書参照: 18 kN/m ³
SS (kN/m ²)	せん断強さ	報告書参照: 17 kN/m ²
ε (kN/m)	収束限界	論文参照: 1 kN/m

ロック間の力 P を算出するが、条件として、最下端ブロックの力 P_l が負（引張）の場合は最下端ブロック、上端ブロックの位置を②で決定した斜面側に 1m ずつ移動することにし、最下端ブロックの力 P_l 及び各ブロック間の力 P が正（圧縮）を示す範囲で解析を行うことにした。その後、最小の安全率を示す滑り面（危険すべり面）を導出するために、上端ブロックを最下端ブロック 5m の位置から 6m、7m・・・と 1m ずつ移動させていき、ブロック間の力 P がすべて正を示す範囲で解析を行う。上端ブロック及び最下端ブロックは③で作成したプログラムにより、Excel 上で変更を行う。最終的に $|P_{l-1,l} - P_l| < \varepsilon$ ($\varepsilon=1\text{kN/m}$) を満たし、ブロック間の力 P がすべて正の範囲で最小の安全率を示すすべり面(危険すべり面)を導出する。安全率 F は最小の数値を算出するために収束値を求めるプログラムを作成した。以上で解析プログラムを完成とする。

3. 解析プログラムの利用

今回は朝倉市白木谷川の斜面に対して、作成した解析プログラムを利用する。解析する斜面は、洗掘が発生したのちに斜面崩壊が発生したと考えられる箇所を LP データおよび空中写真を確認した後に抽出した。解析した斜面の例として図-2、図-3 を示す。

まず、図-2 は崩壊斜面が右側、すべり面長が 19.980m、洗掘前の安全率が 0.915、洗掘後の安全率が 0.894 という結果を得た。

次に、図-3 は崩壊斜面が左側、すべり面長が 10.136m、洗掘前の安全率が 1.174、洗掘後の安全率が 1.111 という結果を得た。それぞれ解析した斜面は右側と左側で異なるが、洗掘前後の安全率を比較した場合に洗掘後の安全率が低くなっていること、すべり面傾斜角及び崩壊面積に応じた安全率、危険すべり面を導出できたことにより LP データを利用した解析プログラムを構築できたと考ええる。

なお、今後の取り組みとしては物性値として与えたせん断強さ SS を粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ を利用して求めた後に解析を行うこと、白木谷川を含めた朝倉市の全ての河川で発生した斜面の安定解析を行い、斜面崩壊の分布をまとめることを行っていきたいと思う。

4. まとめ

- ・崩壊前後の LP データを元に、多平面安定解析法の解析プログラムを作成することができた。
- ・解析プログラムを利用することで、崩壊斜面の洗掘前後の安全率、斜面崩壊が発生すると考えられる危険すべり面の導出が可能である。
- ・せん断強さ SS を粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ を利用して求めた後に解析することで、安全率が自然斜面に近い値になると言え、斜面崩壊発生メカニズムの解明につながると考えられる。

【謝辞】本研究の一部は、JSPS 科研費 17K20140 および九州建設技術管理協会「建設技術研究開発助成」の助成を受けて実施したものである。また、地盤工学会平成 29 年 7 月九州北部豪雨地盤災害調査団の調査の一環として行ったものである。本研究で利用した LP データは福岡県県土整備部砂防課にご提供いただいたものである。付記して謝意を表します。

【参考文献】1) 村上 哲：平成 29 年 7 月九州北部豪雨における河岸・溪岸斜面の崩壊に関する考察,平成 29 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集,2018 年,pp.389-390. 2) 沖村 孝：山腹表層崩壊発生位置の予知に関する一研究,土木学会論文報告集第 331 号,1983 年,pp.113-120. 3) 笠間, 古川, 山下, 大嶺, 矢ヶ部, 藤白ら：4.4 花崗閃緑岩地帯における深層風化に関する現地調査,平成 29 年 7 月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書,2018 年,pp.175-192

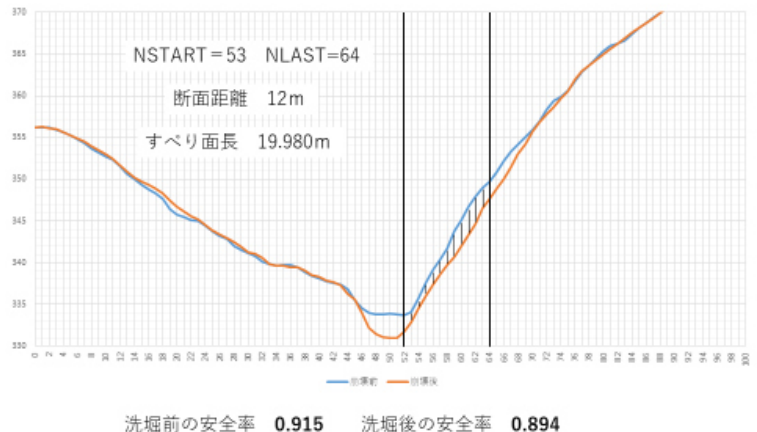


図-2 解析斜面 1

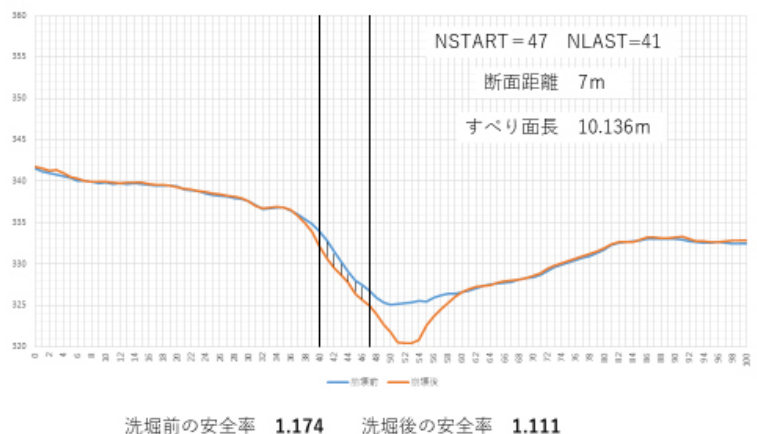


図-3 解析斜面 2