

3次元点群データによる植生解析結果を用いた斜面安定性評価

山口大学理学部（現：防府市役所） 國丸泰平
 山口大学大学院創成科学研究科 ○太田岳洋・竹田拓己
 オーエスエー 山本道輔

1. はじめに

斜面崩壊や落石、土石流等の発生には、地形・地質条件のほかに地下水条件や植生、人工改变などの環境条件が関与すると考えられる。したがって、自然災害を克服またはそれと共存して持続可能な社会を構築するためには、諸現象のメカニズムを解明し、問題の解決策を提案できる総合的な科学が必要である(目代, 2021)。小泉(1993)は、地質、地形、土壌、植生等の地域の自然環境を、一連の系として把握する地生態学的方法が必要であると述べており、その方法は自然災害を考えるうえで重要な方法となり得る。つまり、斜面の地形の形成には地生態学的な検討が必要であり、地形発達過程が人間活動に影響を及ぼす事象である斜面災害についても、地生態学的な考察が必要であると考えられる。

植生の斜面安定への寄与として、樹木根系による粘着力増加や根系が基岩層まで貫入し生じる杭の効果、吸水作用・蒸発散による土壌中の水分調節、樹木の樹冠による降雨遮断効果等が挙げられる(今井他, 2010; 田野口他, 2004)。樹冠による降雨遮断効果は降雨による地表侵食や地下水位上昇、地盤重量増加を抑制する(今井他, 2010)。植生の解析手法として、従来は実際に調査者が森林内で立木の胸高直径や樹高等を毎木調査や標本調査等により計測していた(林野庁, 2018)が、近年では UAV 等によるレーザ計測を用いた詳細な森林情報の取得が行われている(林野庁, 2018)。

そこで斜面安定に対する植生の効果に焦点を絞り、平成30年7月豪雨の際に多数の斜面崩壊等が発生した山口県岩国市周辺(図1)を対象に UAV レーザを用いて斜面の極微地形とともに樹高、樹冠密度等の地被状況を詳細に計測した。本論では、UAV レーザで取得した3次元点群データによる地形解析、植生解析結果と一部現地踏査データを用いて、上記の対象地域の斜面に対して安定計算を行った結果を報告し、3次元点群データを用いた斜面安定性評価の有効性を考察する。

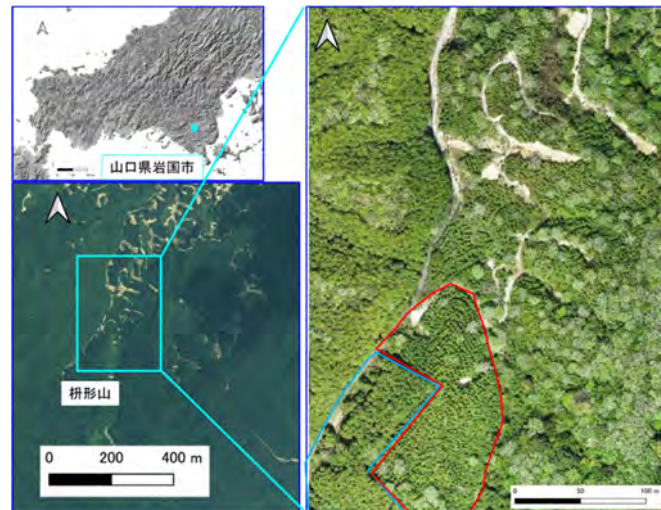


図1 調査地域(陰影起伏図; 空中写真(2018年7月撮影)、国土地理院に加筆)

右図中の青枠: 安定計算を行った壮齡林領域
 右図中の赤枠: 安定計算を行った幼齡林領域

2. 斜面安定計算の理論式

斜面安定計算は、図1右図の壮齡林領域、幼齡林領域を5×5mグリッドに分割し、グリッドごとに行なった。

斜面の安定性は、無限長斜面における安全率の計算式に抵抗力として樹木根による見かけの粘着力の増加分(Δc)と崩壊断面における樹木根の断面抵抗力(ΔC ; 林野庁森林整備部治山課, 2023)を加えた式(1)から求められる安全率により評価した。

$$F_s = \frac{\{\gamma_t(H-h)\cos^2\theta + \gamma'hc\cos^2\theta\} \cdot \tan\phi + (c + \Delta c) + \Delta C}{\gamma_t(H-h)\cos\theta\sin\theta + \gamma_{sat}hc\cos\theta\sin\theta} \quad (1)$$

ここに、 F_s は安全率、 H は土層深(m)、 θ は傾斜角($^\circ$)、 h は地下水位(m)、 ϕ は内部摩擦角($^\circ$)、 c は土の粘着力(kN/m^2)、 Δc は樹木根による土の粘着力増分(kN/m^2)、 γ_t は土の湿潤単位体積重量(kN/m^3)、 γ_{sat} は土の飽和単位体積重量(kN/m^3)、 γ' は土の水中単位体積重量(kN/m^3)、 ΔC は断面抵抗力(kN/m^2)である。傾斜角 θ は3次元点群データより作成したDEMデータから求めた。土層深 H は実測した箇所での傾斜角と式(2)の関係がみられたので、この式から算出した。

$$H = 0.00934\theta + 0.12622 \quad (2)$$

内部摩擦角 ϕ は実測の平均値 20° とした. 土の粘着力に樹木根による増分を加えた土層の粘着力($c + \Delta c$)は, 実測値と点群データから求めたグリッド面積当たりの根量(W_r)との相関関係の式(3)より求めた.

$$c + \Delta c = 0.0498W_r + 9.1885 \quad (3)$$

根量(W_r)は, 式(4)から求められる.

$$W_r = (y \times N) \times (25/10000) \quad (4)$$

ここで, y は単木の根重量(kg/本)で, 平均胸高直径を D (cm)とすると,

$$y = 51.438D^{2.1493}/1000 \quad (5)$$

より求まる. 平均胸高直径 D は森林総合研究所(2020)の方法により立木密度(N)(本/ha)から求めた. 立木密度は式(6)により求めた.

$$N = T \div 0.0025 \quad (6)$$

ここで, T は補正樹木本数(本)であり, 3次元点群データから自動抽出した樹木本数(P)を補正係数0.6で除することによって求めた.

地下水位 h は, 今回実測できなかったため, いくつかの条件を仮定して安全率を計算した.

3. 安定計算結果と斜面安定性評価

安全率の計算式(1)の変数である土層深 H , 傾斜角 θ , 土層の粘着力($c + \Delta c$), 断面抵抗力 ΔC を, 2章で述べたように求めた結果を図2に示す. 図2から, 傾斜角と土層深は植生に依存せず, 地形に依存することがわかる. 一方, 土層の粘着力と断面抵抗力は, 幼齢林領域に比べて壮齢林領域で顕著に大きく, これらが植生に依存することが明らかである.

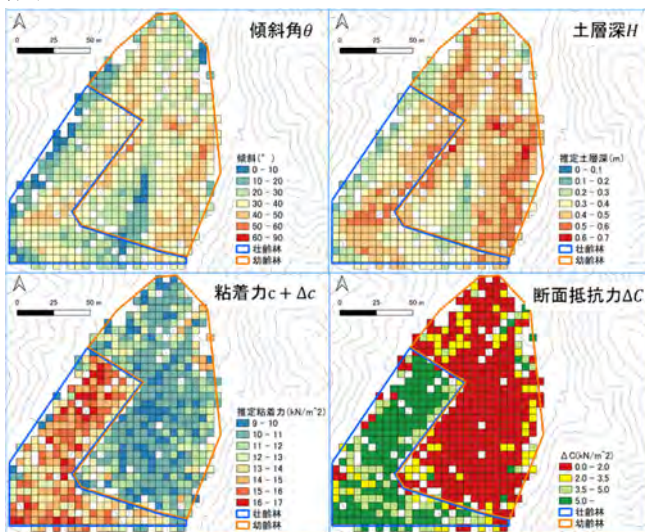


図2 検討範囲における傾斜角, 土層深, 土層の粘着力, 断面抵抗力の空間分布

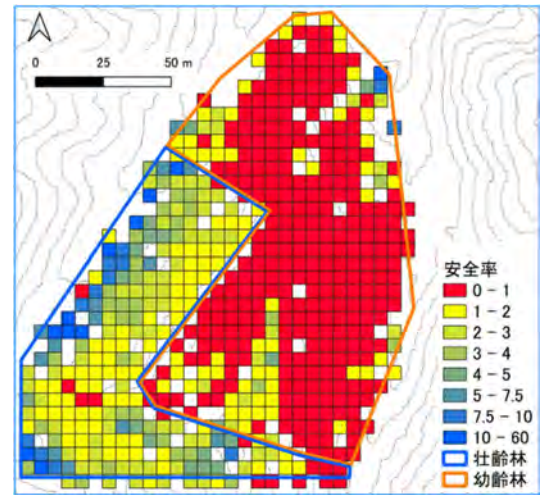


図3 算出した安全率の空間分布

各グリッドにこれらの変数を与え, 土層がすべて飽和し($h = H$), 土の粘着力(c)が0となる仮定した場合の安全率を算出した結果を図3に示す. 壮齢林領域の大部分が安全率1以上であるのに対し, 幼齢林領域の大部分で安全率が1未満を示した. このことは, 平成30年7月豪雨の際に当該地域では幼齢林で表層崩壊が多発したことと一致しており, 今回の手法が表層崩壊に対する安定性評価に有効であることを示唆する.

引用文献

- 今井久・中島聡・池田穰(2010): 樹冠による降雨遮断効果の斜面崩壊抑制に関する一考察. ハザマ研究年報, 42.
- 小泉武栄(1993): 「自然」の学としての地生態学—自然地理学の一つのあり方—, 地理学評論, 66A, 778-797.
- 目代邦康(2021): 日本における地生態学の誕生と発展, 地学雑誌, 121, 2, 367-383.
- 林野庁(2018): 高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き.
- 林野庁森林整備部治山課(2023): 森林が持つ表層崩壊防止機能を高めるための森林施業の計画に関するガイドライン(案).
- 森林総合研究所(2020): 収量比数 R_y 計算プログラム説明書(2020年7月5日最終改訂).
- 田野口康彦・中野泰雄・一澤麻子(2004): 花崗岩山地斜面の崩壊現象に及ぼす植生の影響. 砂防学会誌, 57, 3-14.