

樹木根系による付加的粘着力のモデル化とその表層崩壊防止効果の評価： 花崗岩と流紋岩地域の比較

パシフィックコンサルタンツ株式会社：○八十川 伊織，花田 良太，菊池 美帆，蔭山 星，大木 正
 国土交通省 近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所：山田 啄也，青野 友哉
 国土交通省 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター：高原 晃宙
 京都大学防災研究所：松四 雄騎

1. はじめに

表層崩壊を想定した森林斜面の安定性評価において、樹木根系による付加的粘着力を考慮することは不可欠である。樹木の根系は土壌の強度を増加させ、森林斜面の安定に寄与することが知られている(塚本ら, 1986)。松四ら(2016)は、斜面の不安定性が大幅に過大評価されることを示し、豪雨時の現実的な不安定領域の拡がりを再現するには、深さ方向への減衰を考慮した樹木根系のせん断強度補強効果を評価することが重要であるとしている。

これまでに、松四(2024)や田中ら(2025)は、花崗岩地域を対象として樹木根系による付加的粘着力のモデル化を行ってきた。一方、樹木根系の空間分布は土壌環境によって異なることが知られており(竹下ら, 1992)、地質に依存した土壌特性の差異が根系粘着力にも影響を与えるものと考えられる。

本研究では、流紋岩地域において、根系の地下分布調査と引張破断強度試験および、周辺毎木調査を行い、根系の付加的粘着力の空間分布を解析した。得られた結果を基に、花崗岩と流紋岩での根系による付加的粘着力の比較を行うとともに、流紋岩流域における斜面の安定性評価を行った。

2. 根系調査

2.1 調査方法

調査対象地は、三重県名張市に位置する木津川上流域の布生流域である。流紋岩質凝灰岩を基盤とし、S34伊勢湾台風時に複数の表層崩壊実績がある。樹種(針広葉樹)や地形条件(尾根/谷)に多様をもたせて4地点を選定し、以下の調査を実施した。

根系地下分布調査：倒木や獣道、根がえり跡を避けて、幅約0.5mの地表等高線に平行な鉛直土層断面が観察できるようにトレンチカットを行った。掘削は土層と基盤岩の境界部から約30cm程度深い位置までとした。トレンチの正壁面に露出する根の位置と直径を計測した。

引張破断強度調査：分布調査で記載した根のうち、代表的なもの1割程度に対し、原位置引張破断を行った。根をプライヤー等で掴んで力計と接続し、根の伸長方向に引き、破断時の引張力を計測した。

立木調査：調査孔を中心とした直径15mの円形コードラート内にある胸高直径5cm以上の樹木を対象に樹種、樹高、胸高直径、調査孔からの水平距離および方位を計測した。

2.2 調査結果と回帰分析

根直径と根の引張破断強度の関係を回帰分析し、深度方向の根系による付加的粘着力の分布を経験式化した(図-1)。この関数を基盤境界まで積分すると、調査地点における土層中の総根系粘着力が得られる。

土層中の総根系粘着力と調査孔からの距離の2乗の逆数で重み付けした周辺立木の胸高直径和(胸高直径の逆距離加重和)との間には強い正の相関が確認された

(図-2)。図中には、松四(2024)および田中ら(2025)の花崗岩地域での結果も示してある。花崗岩地域で行われた既往調査結果と比較すると、調査した流紋岩流域における土層中の総根系粘着力は系統的に低い傾向を示した。

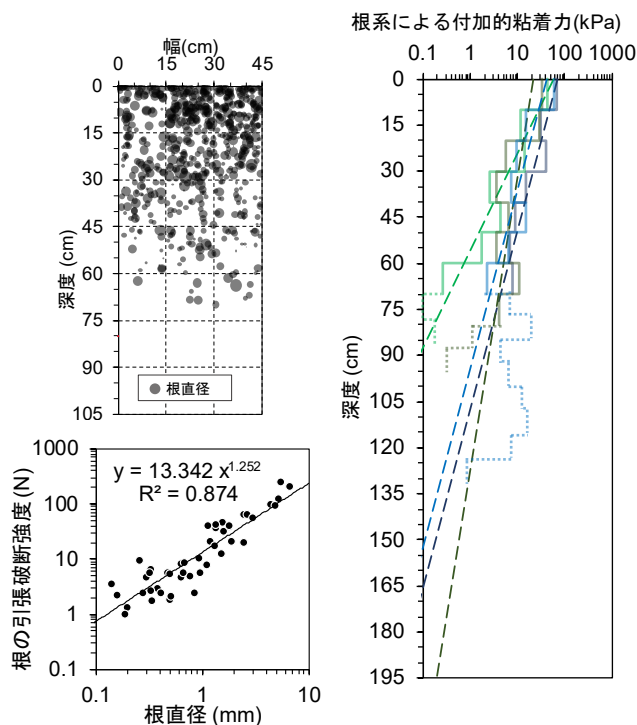


図-1 土層断面における根系プロット図(左上)、根直径と根の引張破断強度の関係(左下)、深度方向の根系による付加的粘着力の分布(右)

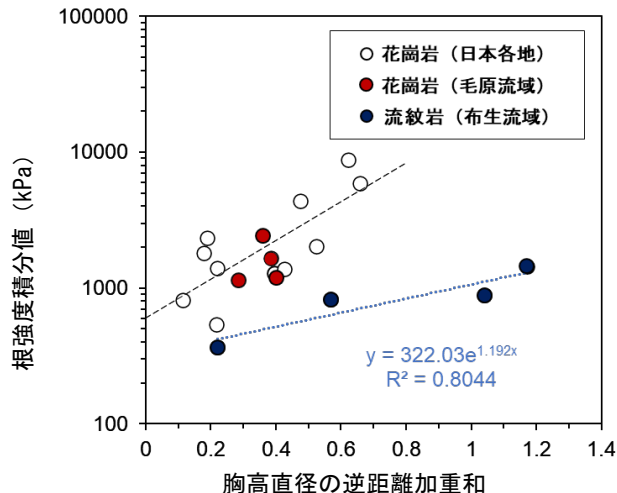


図-2 根系粘着力と胸高直径の逆距離加重和の関係

本調査で得られたデータを、松四(2024)で示される土層深度および立木分布に応じた土層底面における根系による付加的粘着力の推定式(式-1)で回帰すると、表-1に示すパラメータが得られた。

$$C_r = \frac{\alpha \lambda e^{\Lambda(\sum D_{BH_i}^{\alpha} L_i^{-\beta})}}{e^{\lambda H - 1}} \dots (式-1)$$

C_r : 根系粘着力(kPa), H : 土層厚(m), λ : 深度方向における根系粘着力の指数減衰係数, α , β , Λ : 定数, D_{BH} : 胸高直径(m), L : 周辺立木との水平距離(m)

表-1 本研究解析結果と花崗岩(既往研究)のパラメータ

項目	α	λ	Λ	α	β
本研究解析結果	322	4.2	1.2	1	2.00
花崗岩パラメータ	599	4.4	3.3	1	1.97

2.3 考察

流紋岩流域で根系粘着力が低い傾向を示す要因として、土層の水分条件の差異が影響している可能性が考えられる。花崗岩流域の土壌の自然含水比が平均 17.9% (田中ら, 2025)である一方、本調査流域では61.9%と、流紋岩流域の方が湿潤環境にある。基盤地質に由来する土質、特に保水性の差異が根系の発達に影響を及ぼした可能性が考えられる。また、木下ら(2013)によれば、立木密度(平均立木間隔)に依存して、単位面積あたりの水平根による断面抵抗力(根系粘着力)が異なることが示されている。田中ら(2025)の調査流域と布生流域における調査地点の平均立木密度は同等であった。一方で、布生流域では全体的に胸高直径がやや大きく、局所的に立木密度が高い地点も確認された。このため、布生流域では、過密な立木配置により根の発達が制限された結果、胸高直径の逆距離荷重和に対して根系粘着力が相対的に大きくならなかった可能性が示唆される。

3. 根系による土層底面での付加的粘着力の空間分布解析

得られた経験式(式-1, 表-1)に基づき、土層の底面における根系付加的粘着力の空間分布を1mグリッドで実施した。立木の分布については、調査により得られた平均立木密度となるよう、ランダムに設定した。また、胸高直径は毎木調査で得られた頻度分布に一致するように付与した。また、土層厚は江川ら(2025)の方法により、サイクルシミュレーション2サイクル目の9500年経過後土層厚を用いた。

布生流域の土層底面における根系による付加粘着力の算出結果を図-3に示す。尾根に比べて谷部で粘着力が低い結果が得られた。これは、深さ方向への根系密度の低下を反映しており、根系網の届かない厚い土層の底面で付加的粘着力が小さくなるのが定量的に評価されている。

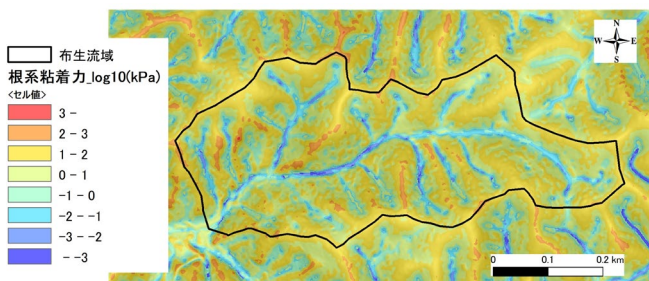


図-3 土層底面根系粘着力分布図

4. 斜面安定性評価

上記の結果を用いて松四ら(2016)の設定(土層が飽和する最も不安定な条件)による斜面の安定解析を実

施した。算出した局所安全率の分布を図-4に示す。安全率の値は、尾根において2以上となる一方、ほぼ全ての谷頭凹地で1を下回り、土層の厚さに依存した根系粘着力の効果が可視化された。また、樹木根系を含まない土層のせん断強度のみを想定した場合(図-5)に比べて現実的な結果となった。

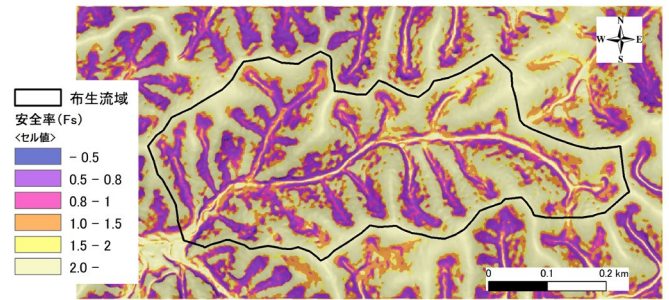


図-4 安全率の分布(根系付加粘着力考慮)

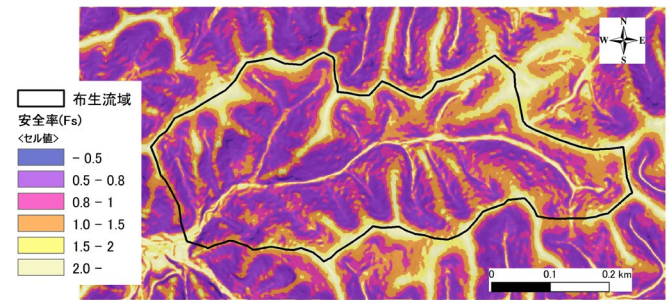


図-5 安全率の分布(根系付加粘着力なし)

5. おわりに

現地調査による根系の分布と強度の実測値を用いて、根系粘着力の空間分布をモデル化し、地質ごとに斜面の安定性評価に反映することができた。ここで開発した根系粘着力の空間分布解析は、林分の成長や、伐採あるいは森林火災等の立木密度の変化に伴って生じる根系の付加的粘着力の経時変化を表現することも可能である。今後、中・長期的な斜面安定評価における根系粘着力の付与方法の一般化に向けた検討を行う予定である。

参考文献

江川ら(2025): 表層崩壊発生予測モデルにおける土質パラメータの設定方法, 令和7年度砂防学会研究発表会概要集, 627-628.
 木下ら(2013): スギ・ヒノキ林における水平根が発揮する抵抗力の検討, 砂防学会誌, 65(5), 11-20.
 松四ら(2016): 土層の生成および輸送速度の決定と土層発達シミュレーションに基づく表層崩壊発生場および崩土量の予測, 地形, 37(4), 427-453.
 松四(2024): 豪雨による表層崩壊のハザード評価—地形・水文・森林の統合モデリング—, 森林科学, 102, 15-18.
 竹下ら(1992): 林木根系の実態とそれに基づく崩壊防止機能の検討, 九州大学農学部演習林報告, 66, 83-129.
 田中ら(2025): 樹木根系による付加的粘着力の空間分布を考慮した表層崩壊発生予測, 令和7年度砂防学会研究発表会概要集, 633-634
 塚本ら(1986): 樹木根系の斜面安定効果 主として水平根の量と働きについて. 緑化工技術, 12(1), 11-20.