

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

パシフィックコンサルタンツ株式会社：○田中 真子、花田 良太、蔭山 星、菊池 美帆、大木 正美
 近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター：竹下 航、岸本 優輝、小林 正直、高原 晃由
 京都大学防災研究所：松四 雄騎

1. はじめに

気候変動に伴う降雨特性の変化に応じた生産土砂量の応答特性の把握を行うためには、解析において素因条件となる根系粘着力を適切に設定する必要がある。松四ら（2016）は、「斜面安定性の評価において、現実的な不安定斜面の崩壊を再現するには樹木根系のせん断強度補強効果を考慮することが必須」であるとしている。

本研究では、奈良県山辺郡山添村に位置する木津川上流域毛原流域において実施した根系の地下分布調査と引張破断強度調査の実測値をもとに、根系の付加的粘着力の空間分布解析を実施し、それを素因条件として崩壊モデルによる流域における斜面安定性評価を行った。

2. 根系調査

2.1 調査方法

根系の付加的粘着力を算出する際に必要となる、パラメータを設定する目的で、広葉樹、針葉樹、尾根谷を考慮して選定した4地点において、以下の調査を実施した。**地下分布調査**：倒木や獣道、根がえり後を避けて調査地点を選定し、深度は風化層と未風化層の境界から約30cm程度深い位置までとした。調査断面に対して15cm四方のメッシュに分布する根系の位置、太さを記録した（写真-1,2）。**引張破断強度調査**：地下分布調査で記録した根系のうち、各メッシュで3本～5本程度の根を、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、破断時の引張力を記録した。**立木調査**：調査孔を中心として半径7.5mの範囲内にある樹木を対象に樹種、樹高、胸高直径、調査孔からの水平距離および方位を記録した。



写真-1 調査孔作成



写真-1 調査断面

2.2 調査結果

引張破断強度調査の結果から、深度毎に集計し、試孔壁面の該当面積で除することで、各深度の根系による付加的粘着力（kPa）を算出し、地表面から土層一基盤境界までの付加的粘着力の積分値を、調査地点における総根系粘着力として算出した。

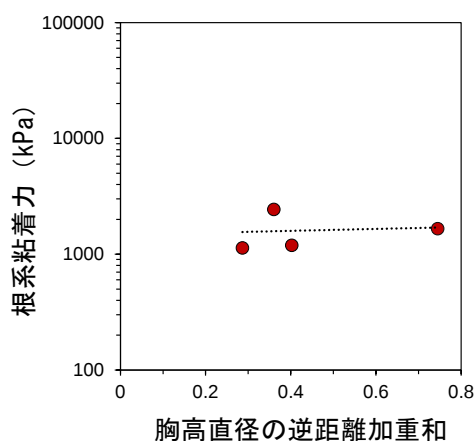


図-1 根系粘着力と胸高直径の逆距離加重和の関係

今回実施した調査結果を図-1に示す。松四（2024）が他地域で同様の手法で実施した調査結果（図-2）では、胸高直径の逆距離加重和と根系粘着力の間には正の相関があることが推定されており、立木密度や立木の胸高直径が大きくなるほど根系粘着力も増加することが推定された。本検討において実施した4地点においても同様の傾向がみられた。

従って松四（2024）で示される日本各地で経験的に得られる式形とパラメータを用いて、立木調査結果から得られる対象流域の実際の立木密度・胸高直径から胸高直径の逆距離加重和を算出し、後述する付加的粘着力の空間分布解析を実施した。

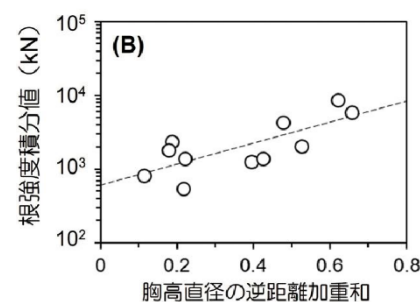


図-2 根系粘着力と胸高直径の逆距離加重和の関係²⁾

3. 付加粘着力の空間分布解析

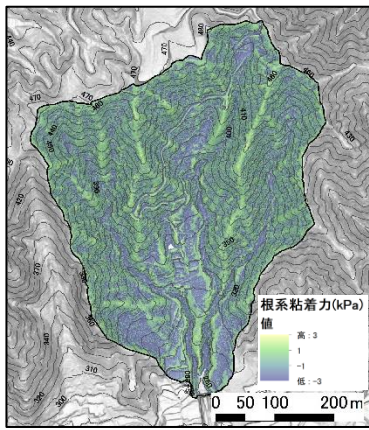


図-3 根系付加粘着力の分布

毛原流域において根系による付加粘着力の空間分布解析を実施した結果を図-3に示す。解析はメッシュ単位で実施し、土層厚に関するパラメータは菊池ら

(2025)によって決定される土層厚を使用し、胸高直径の逆距離加重和に関するパラメータは立木調査結果をもとに、調査地点周辺と類似した森林状態となるようにランダムな樹木分布をポイントとして設定し、胸高直径を付与した(図-4)。根系に関するパラメータは現地調査の実測値および既往調査から設定されたパラメータをもとに設定した。解析結果では、谷は

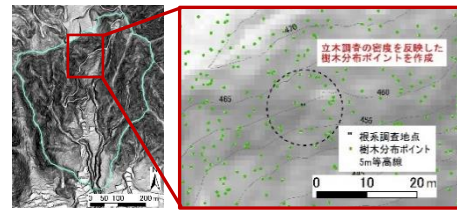


図-4 樹木の分布の設定

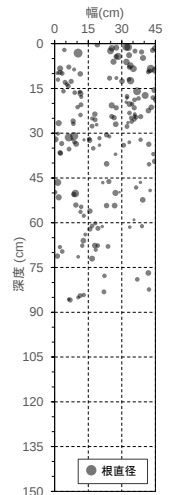


図-5 根の分布

尾根に比べて粘着力は低くなった。現地調査では、樹木の根系は表層からある程度の深さまでは分布しているが、それより深い位置には分布が見られなくなることが確認された(図-5)。加えて、谷では土層の発達により尾根に比べて土層厚が大きくなることで、土層全体に占める根系の分布する層厚が小さくなることが予想され、解析モデルではこの現象を反映できていると考えられた(図-3)。

4. 斜面安定性評価

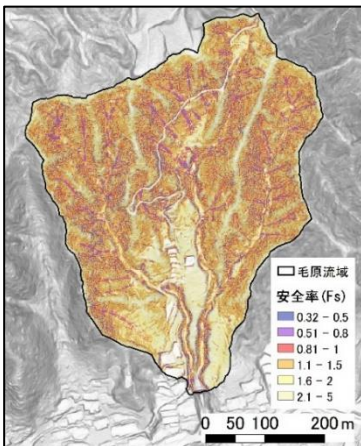


図-6 安全率の分布

付加粘着力の空間分布解析結果を用いて、S34 伊勢湾台風時の降雨条件をもとに、松四ら(2016)による無限長斜面安定解析を実施し、算出した全土層飽和時の安全率の分布を図-6に示す。解析手法については、蔭山ら(2025)に詳述する。尾根において2.0以上の安全率を示す傾向がみられ、土層が薄い尾根においては根の効果によって、土層のせん断破壊が生じにくいことが予想された。

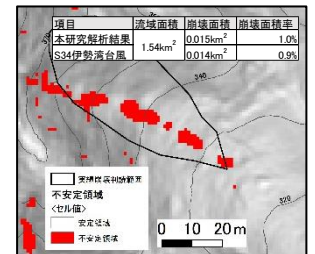


図-7 不安定領域の分布

また、伊勢湾台風時の崩壊面積率の実績値が0.9%であるのに対し、再現計算による不安定領域の面積率は1.0%となり、伊勢湾台風で発生した崩壊現象を概ね再現できる結果となった(図-7)。一方で、解析結果で生じた不安定領域は面積が小規模のものが多く、80%以上が0~5m²であり、5m²以上で幅広く分布していた実績の崩壊面積と異なった。このことから、不安定領域の評価方法と併せて水文パラメータの再現性の指標として崩壊面積の規模が整合しているかについても、今後検証するのが望ましいと考えられた。

5. おわりに

本検討では、現地調査で得られた根系粘着力の実測値を用いて、広域における根系粘着力の空間分布に展開し、これをパラメータとして使用した無限長斜面安定解析を実施し、S34 伊勢湾台風時の降雨条件による再現計算では崩壊面積において、個々の崩壊判定箇所の面積は実績の崩壊面積より小さく、予測精度や崩壊判定基準に課題は残るものの、流域全体の合計崩壊面積は、実績値と概ね整合する結果となった。根系粘着力の空間分布解析は、時間経過に伴う樹木の肥大化や、伐採等の森林施業による立木密度の変化に伴う付加粘着力の変化を反映することが可能である。このため、現況だけでなく将来的な森林状態の変化を踏まえた斜面安定性評価が実施可能である。今後の課題としては、今回とりまとめた調査結果には含まれない林相における、根系調査結果を踏まえたパラメータ設定が挙げられる。

参考文献

1)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,地形第37巻第4号 427-453 頁, 2)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 No.102,15-18 頁, 3)菊池ら(2025):土層厚の時空間変化シミュレーションに基づく土砂生産ポテンシャルの評価,令和7年度砂防学会研究発表会, 4)蔭山ら(2025): 地形・森林・水文のカップリングモデルを用いた生産土砂量の降雨応答特性解析,令和7年度砂防学会研究発表会