

立木密度の変化が樹木根系の崩壊抑制機能に及ぼす影響

信州大学大学院総合理工学研究科 ○石原龍太, 堤大三

1. 背景

樹木根系が発揮する崩壊抑制機能に関する研究は、その多くが帰納的な手法に基づいており、樹木根系の崩壊抑制機能が最大限に発揮されるような森林施業を論理的に提案できるまでには至っていない。また、樹木の立木密度が崩壊抑制機能に及ぼす影響に関して、既往研究では定量的に統一された知見が示されていない。そこで、本研究では、樹木根系の崩壊抑制機能のうち水平根が発揮するネット効果に着目し、演繹的な手法である数値シミュレーションによって、立木密度が根系分布を通して崩壊抑制機能に及ぼす影響を検討した。

2. 方法

2.1 根系成長モデルの構築

水平根によるネット効果を検討するにあたり、土壌中に分布する根系の形状を得るために根系成長モデルを構築した。本モデルでは、斜面横断方向に y 軸、それと直交する水平方向に x 軸、鉛直方向に z 軸を取り、原点から鉛直下向きに垂直根を伸長させる。その後、垂直根から一定間隔で水平根を地表面と平行の方向に伸長させ、同様に水平根から一定間隔で細根を伸長させる。個々の根の伸長速度は、林齢と立木密度を入力値とする収穫予測表を使用して樹木の胸高直径の成長量を求め、得られた胸高直径をアロメトリー式に代入して根系全体の成長量を算出し、各計算時間における根系の成長量を個々の根に分配することで規定している。そして、全ての根の先端の3次元座標を各根の伸長速度を基に計算し、その軌跡を根系の形状と見なす。

2.2 水平根によるネット効果の定量化

水平根によるネット効果は、Wu *et al.* (1979) によ

って提示された式(1)を用いて、土壌の緊縛力: ΔC [kN/m^2] として簡便に定量化される。

$$\Delta C = \frac{\sum P}{A} \quad \dots (1)$$

ここに、 A : 斜面縦断方向に隣接する立木間中央に位置する鉛直断面の面積 [m^2], P : 立木間断面に出現する個々の根の引抜き抵抗 [kN]である。

個々の根の引抜き抵抗 P は、立木間断面に出現する個々の根の断面直径 D を説明変数として式(2)で近似される。

$$P = \alpha \cdot D^\beta \quad \dots (2)$$

式(2)の係数 α , β は、根系の引抜き試験を行うことによって得られる値であり、樹種によって異なる。本研究では塚原・平松(2022)および土田ら(2021)によって示されたヒノキの値を使用した。

3. 結果・考察

3.1 根系形状のシミュレーション

本研究における根系成長モデルの計算条件は、立木密度を 500, 1000, 2000, 3000, 5000 本/ha の 5 パターン、根系最大深を 1.0, 2.0, 3.0m の 3 パターンで変化させた計 15 ケースである。根系最大深とは、垂直根の最大伸長深度を表す。上記の計算条件のうち、立木密度 500, 2000, 5000 本/ha の林齢 80 年時点におけるシミュレーション結果の一例を図-1 に示す。根系最大深が等しいケースにおいて、立木密度の増加に伴い水平根の長さが減少し、立木密度が等しいケースにおいて、根系最大深の増加に伴い個々の水平根の長さが減少する一方で、水平根の本数が増加するというシミュレーション結果が得られた。立木密度の増加に伴う水平根の長さの減少は、高密度の林地において個体間競争が活発化し、単木の成長が抑制されるという密度効果を表している。

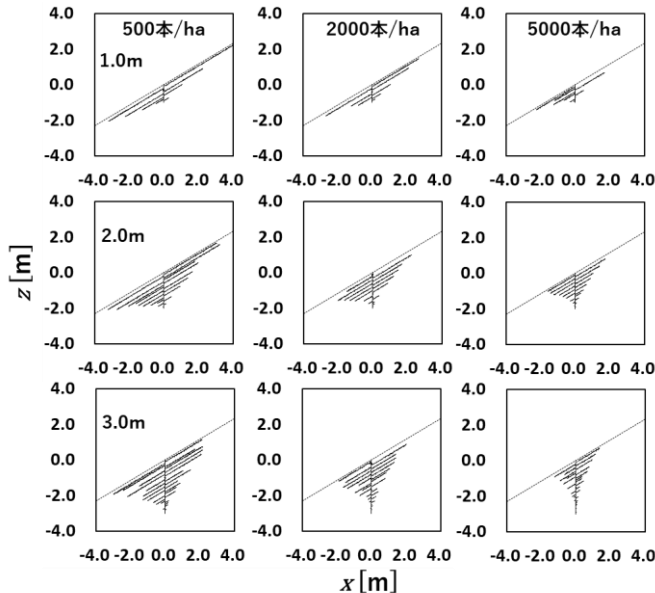


図-1 根系形状のシミュレーション結果の一例

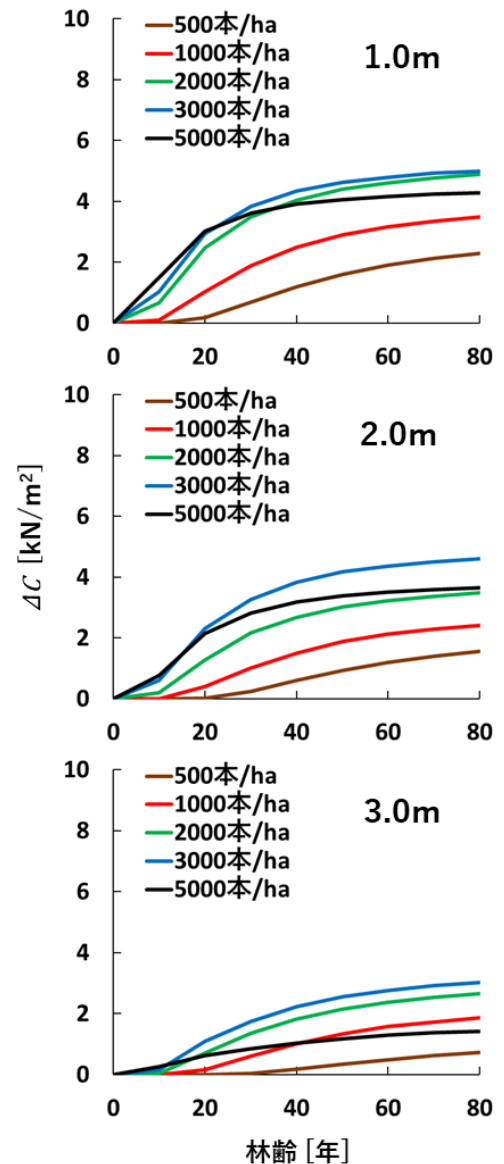
(左図：立木密度 500 本/ha，中図：2000 本/ha，右図：5000 本/ha，上図：根系最大深 1.0m，中図：2.0m，下図：3.0m のケース，破線：傾斜角 30° の斜面の地表面)

3.2 立木密度および根系の垂直分布の影響

シミュレーション結果より得られる立木間断面に出現する根の断面直径 D ，式(1)，式(2)を用いて算出した ΔC の経時変化を図-2に示す。林齢および根系最大深に関わらず，立木密度 3000 本/ha のケースにおいて ΔC が概ね最大になるという結果が得られた。また，林齢および立木密度が同じ場合，根系最大深の減少に伴い ΔC が増加する傾向が読み取れる。従って，水平根によるネット効果を最大限に発揮するためには，根系の垂直分布が発達しない浅根性の樹種を 3000 本/ha の密度で植栽することが望ましいという結果が得られた。

4. 展望

今後は，垂直根による杭効果も考慮した上で様々な森林施業を実施した際の ΔC を算出し， ΔC を組み込んだ斜面安定解析を行うことで，表層崩壊の抑制に最も効果的な森林施業を検討する予定である。

図-2 ΔC の経時変化（上図：根系最大深 1.0m，中図：2.0m，下図：3.0m のケース）

【参考文献】

- Wu, T.H., McKinnell III, W.P., & Swanston, D.N. (1979): Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska, Canadian Geotechnical Journal 16(1), p.19-33
- 塚原理美・平松晋也 (2022): 林地斜面の安定性に及ぼす構成樹種の影響, 第 71 回令和 4 年度砂防学会研究発表会概要集, p.47-48
- 土田海斗・平松晋也・林直希 (2021): 樹木根系が有する斜面崩壊抑制機能の適正評価に関する一考察, 砂防学会誌, Vol.73, No.6, p.12-18