

森林の変化が斜面安定性に与える影響 -根系成長モデルを用いた検討-

信州大学大学院 ○石原 龍太, 堤 大三

1. はじめに

森林の崩壊防止機能の長期的な変化を定量的に検討した事例は少ない。本研究では、森林の崩壊防止機能を定量的に評価することを目的として、樹木根系の成長に伴う形状の変化を予測するモデル（以下、根系成長モデルと呼ぶ）を構築し、そのシミュレーション結果より算出された水平根による土壌の緊縛力を土層せん断抵抗力の増加量として加算した斜面安定解析を実施することで、森林の成長に伴う斜面安定性の変化について検討した。

2. 根系成長モデルの構築

樹木根系の水平根による長期的な崩壊防止機能を評価するために、根系成長モデルを構築した。本モデルでは、斜面縦断方向に x 軸、斜面横断方向に y 軸、鉛直方向に z 軸を取り、各計算時間における根の先端の 3 次元座標を数値計算によって算出し、根の発生から各時間までの先端の座標を記録し、その軌跡を根の形状と見なした。根系成長モデルでは、はじめに原点から鉛直下向きに 1 次根（主根）を発生させ、1 次根から一定間隔で 2 次根を発生させた。このとき、2 次根は傾斜 30° の斜面に平行となる様に伸長させた。そして、2 次根からも同様に一定間隔で 3 次根を発生させた。構築したモデルによる 50 年分のシミュレーション結果の一例（50 年目の根系）を図-1 に示す。図-1 において、破線が斜面の地表面を、実線が根系を表している。

3. 水平根による土壌の緊縛力 ΔC の算出

2 章で出力した根系図より、10~50 年の各林齢における水平根による土壌の緊縛力： ΔC [kN/m²] を算出した。 ΔC は式（1）で表され（Wu et al., 1979）、山地斜面上に設定したトレンチ断面の面積： A [m²] とトレンチ断面に出現する個々の根の引抜き抵抗： P [kN] を用いて算出される。引抜き抵抗 P は、トレンチ断面に出現する根の破断直径： D_2 [mm] を説明変数として式（2）の形で近似される。破断直径 D_2 は、トレンチ断面に出現する根の断面直径： D_1 [mm] を説明変数として式（3）で近似される（塚原・平松, 2022）。

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

$$P = \alpha \cdot D_2^\beta \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$D_2 = 0.901 \times D_1 \quad \dots \dots \dots (3)$$

式（2）の係数 α 、 β は樹種によって異なるが、本研究では土田ら（2021）により示されたヒノキの係数を使用した。上記の 3 式を用いて、斜面の縦断方向に隣接（間隔 1.86 m）する 2 本の樹木の間位置するトレンチ断面において算出した ΔC の変化を図-2 に示す。図-2 より、林齢 10 年まではトレンチ断面に到達する根が少ないため ΔC はほとんど増加しないが、林齢 10 年以降は林齢の増加に従って ΔC が増加することが示されている。

4. 森林の成長に伴う斜面安定性の変化

3 章で算出したトレンチ断面における ΔC を使用し、桑澤ら（2017）によって提案された水平根の緊縛力を加味した斜面安定解析を実施した。本解析は、解析対象斜面を複数の直方体のブロックに分割し、各ブロックが樹木の水平根による緊縛力 ΔC によって連結し一体化すると仮定することで、水平根による土壌の緊縛力を導入した手法である。

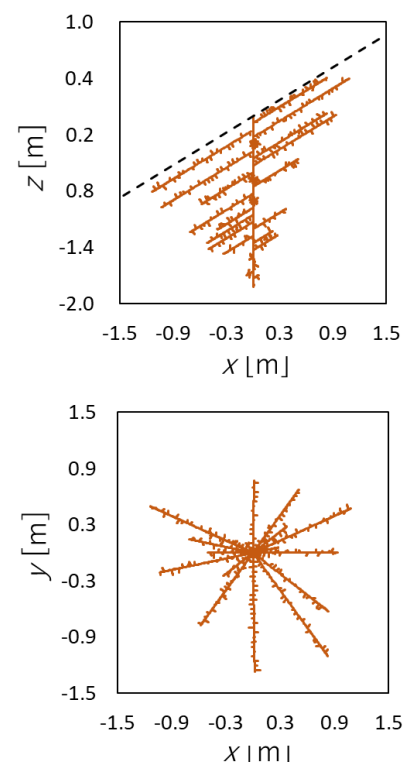


図-1 根系成長モデルを用いてシミュレートした、斜面上に発達する根系形状（上図：側面図，下図：平面図）

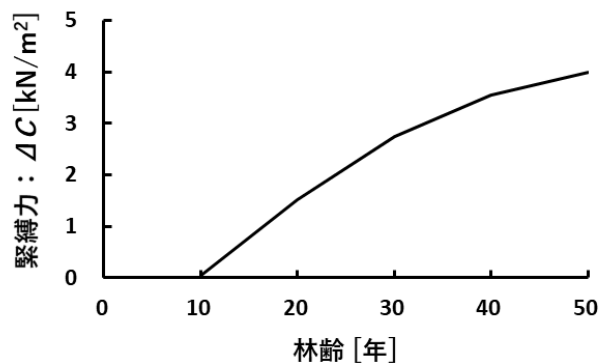


図-2 シミュレーションの結果得られた、斜面縦断方向に隣接する2樹木間断面における ΔC の経時変化

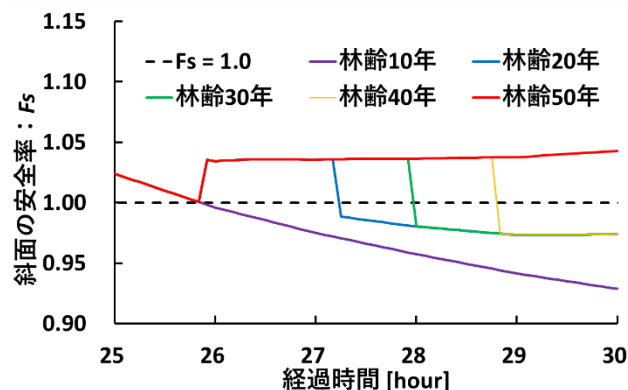


図-3 桑澤ら（2017）のモデルを用いて計算した森林林齢の違いによる安全率変化の比較

解析対象斜面は、北海道厚真町に位置する崩壊跡地の斜面とし、斜面上に、各林齢において図-2に示した ΔC を有する樹木を3000本/haの密度で配置した。入力降雨は、北海道厚真町で観測された既往最大の連続雨量を記録した降雨イベントの降雨量を中央集中型に並べ変え、根系の影響を考慮しない場合に対象斜面を崩壊させるため、各時間雨量を2.0倍した降雨波形を使用した。

斜面安定解析の結果得られた、各林齢における安全率変化の比較を図-3に示す。林齢10年のケースでは、時間経過とともに安全率が低下し、降雨開始後約26時間で $F_s < 1.0$ となり、崩壊が発生すると判定された。この時崩壊したブロックは、斜面最下端の1ブロックのみであった。林齢20~40年のケースにおいても時間経過とともに安全率が低下し、いずれの場合も降雨開始後27~29時間で $F_s < 1.0$ となり、崩壊が発生すると判定された。ただし、この時崩壊したブロックはいずれも斜面最下端から9ブロックであり、林齢10年のケースよりも大規模に崩壊すると判定された。林齢50年のケースでは、安全率はほとんど低下せず $F_s < 1.0$ となることはなく、崩壊は発生しない結果となった。この結果は、樹木根系の発達に伴い、斜面安定性が徐々に増して崩壊するまでに要する時間が長くなるが、根系の土壌緊縛効果によって崩壊規模が大きくなるという過渡期を経て、十分に根系が発達した段階で斜面が安定化されるという過程を表している。

5. おわりに

樹木根系が斜面安定性に及ぼす影響を定量的に評価するために根系成長モデルを構築し、モデルの出力結果より10~50年の各林齢における水平根による土壌の緊縛力 ΔC を算出して斜面安定解析を実施した。その結果、林齢の増加とともに根系が発達することで ΔC は増加するものの、崩壊の規模が拡大し、一定の林齢に達すると崩壊が抑止されるという結果が得られた。今後は、根系成長モデルによってより現実的な根系形状の表現を試みるとともに、様々な森林施業を実施した際の森林全体としての根系の影響を定量化し、森林施業が斜面安定性に及ぼす影響を検討する予定である。

【参考文献】

- 桑澤昭雄・平松晋也・福山泰治郎（2017）：樹木根系の存在が火山地域で発生する表層崩壊の規模に及ぼす影響，第66回平成29年度年度砂防学会研究発表会概要集，p.364-365
- 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
- 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