

## 根系成長過程の簡易的なモデル化による斜面安定性評価手法の構築

信州大学大学院 ○石原龍太, 堤大三

## 1. 背景

樹木根系は表層崩壊を抑制しており、伐採された樹木の根系は腐朽して崩壊抑制機能を失うため（岡田, 2024 など）、森林施業は表層崩壊の発生に対して大きな影響を及ぼすと考えられる。しかし、表層崩壊のリスクを低減させる森林施業は未だ具体化されていない。本研究では、様々な条件における根系の成長過程を数値シミュレーションによって簡易的にモデル化し、根系が発揮する崩壊抑制機能を新たな手法で定量化することで、森林施業が斜面安定性に及ぼす影響を評価する手法を構築した。

## 2. 方法

## 2.1 根系の成長過程

本手法では、根系を3次元直交座標系において成長させた。根系を伸長させるにあたり、次の仮定を設けた。垂直根は、根系の発生地点より鉛直下向きに伸長するものとした。水平根は、垂直根が一定長伸長した時点で垂直根より発生させた。このとき、水平根の伸長方向は、 $x-z$ 平面上で地表面と平行かつ $x-y$ 平面上でランダムな方向とした。細根は、水平根が一定長伸長した時点で水平根より発生させた。

根系の伸長速度は、「Excel版 簡易収穫予測表」（長野県, 2014）および荻住（2010）が示したアロメトリ一式より算出した現実的な根系バイオマスに、計算上の根系バイオマスが一致する様な伸長速度を数値計算によって決定した。本手法では、立木密度と根系最大深度をパラメータとした。

## 2.2 根系が発揮する崩壊抑制機能の定量化

根系が発揮する崩壊抑制機能は、従来垂直根による杭効果と水平根によるネット効果に区別され、別々に検討されてきた。しかし、後述する斜面安定解析で両者を同時に扱うため。本研究では垂直根と水平根の機能を一体化して扱う新たな定量化手法を提

案する。本手法では、始めに解析対象範囲（根系の伸長域；表土層）を有限個のエレメントに分割する。次に、個々のエレメントにおいて、単根が発揮する崩壊抑制機能： $\Delta C$  [kN/m<sup>2</sup>]を、当該根の引抜き抵抗力： $F$  [kN]をエレメント内の根長： $l_r$  [m]で積分し、エレメントの体積： $V_e$  [m<sup>3</sup>]で除した値と定義する。 $\Delta C$ は式(1)で表される。

$$\Delta C = \frac{\int_{l_2}^{l_1} F(l_r) dl_r}{V_e} \quad (1)$$

ここで、 $l_1$ ：根端から当該根のエレメント侵入面までの根長 [m]、 $l_2$ ：根端から当該根のエレメント脱出面までの根長 [m]である。

そして、各エレメントにおいて、エレメント内に存在する全ての根の $\Delta C$ の合計値を当該エレメントにおいて発揮される根系の崩壊抑制機能： $\Delta C'$ とする。 $\Delta C'$ は式(2)で表される。

$$\Delta C' = \sum_{i=1}^n \Delta C_i \quad (2)$$

ここで、 $n$ ：当該エレメント内に存在する根の本数 [本]である。

式(1)(2)を1年毎に全てのエレメントについて演算し、各年において根系が発揮する崩壊抑制機能を算出した。

## 2.3 根系の崩壊抑制機能を考慮した斜面安定解析

上記の手法によって定量化した根系の崩壊抑制機能を考慮した斜面安定解析を行った。具体的には、すべり面を臨界すべり面解析（久保田・中村, 1991）によって決定し、安全率を簡易 Janbu 法によって算出した。ここで、簡易 Janbu 法で扱う個々のスライスにおいて発揮される根系の崩壊抑制機能を、臨界すべり面解析によって得られるスライス底面のすべり面が通過する全てのエレメントの $\Delta C'$ の平均値とし、これを当該スライスにおける土の粘着力に加算して安

表-1 計算条件

立木密度 [本/ha]	根系最大深度 [m]
1000	
2000	0.5
3000	1.0
4000	1.5
5000	

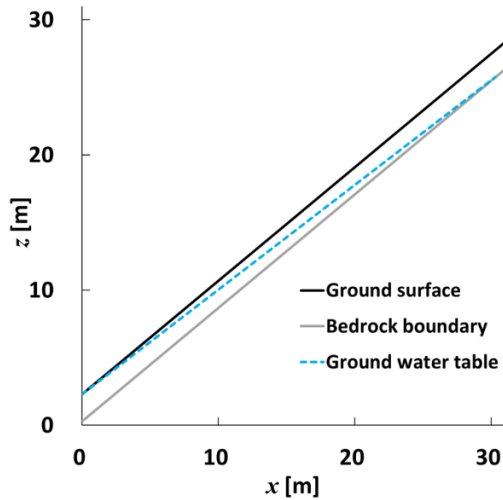


図-1 解析対象斜面

安全率を算出することで根系の崩壊抑制機能を斜面安定解析に組み込んだ。本研究における計算条件を表-1に、解析対象斜面を図-1に示す。

### 3. 結果および考察

林齢と安全率の関係の一例として、根系最大深度1.0mのとき簡易Janbu法で計算が収束した各立木密度の安全率の経時変化を図-2に示す。全ての立木密度において林齢と共に安全率が増加し、その傾向は徐々に緩やかとなった。これは、林齢の増加に伴う根系の発達により斜面が安定化し、老齢に達した根系の成長が停滞するに従って安全率も頭打ちになったためと考えられる。他の根系最大深度、立木密度においても同様の傾向を示した。

次に、根系最大深度とすべり面の関係の一例として、立木密度3000本/ha、林齢20年の条件の各根系最大深度におけるすべり面を図-3に示す。根系最大深度の増加に伴い、すべり面の上端ですべり面が土層深部へ移動した。これは、垂直根が土層深部へ伸長することですべり面を押し下げる杭効果が発揮されたことを示す。他の立木密度、林齢においても同様の

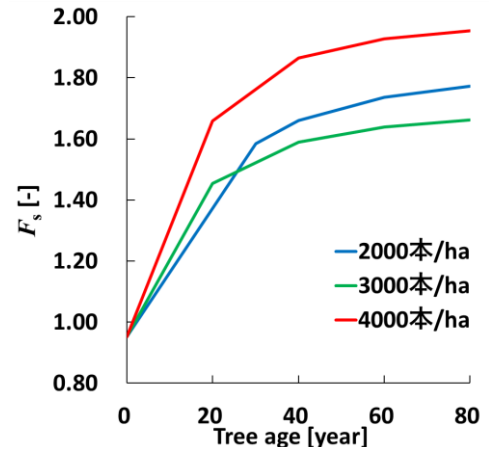


図-2 林齢と安全率の関係

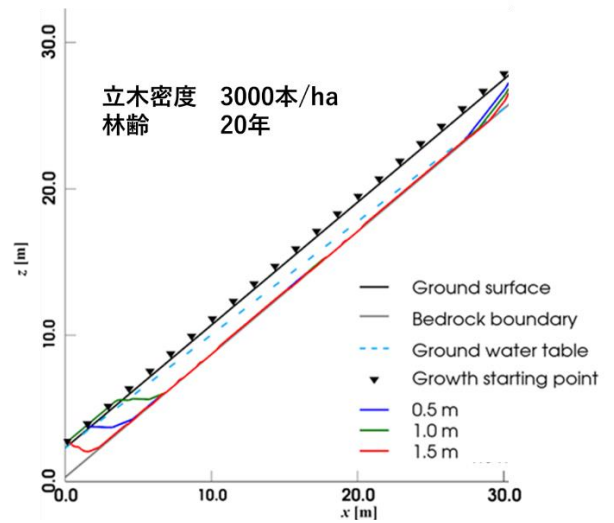


図-3 根系最大深度とすべり面の関係

結果となった。

今回はどの計算条件においても1パターン計算しか行っておらず、根系の伸長方向に与えたランダム性の影響を排除できていないため、今後は試行回数を増やし、立木密度、根系最大深度、間伐等と斜面安定性の関係を検討する予定である。

### 引用文献

- 苅住昇 (2010) : 最新 樹木根系図説 総論, 誠文堂新光社, p.650
- 久保田哲也・中村浩之 (1991) : 臨界すべり面解析と信頼性解析を応用した地すべり・崩壊危険度の判定法, 地すべり, Vol. 27, No.4, p18-25
- 長野県 (2014) : Excel版 簡易収穫予測表
- 岡田康彦 (2024) : スギが表層崩壊の発生を抑制する機能, 水利科学, No.400, p.110