

## 表層崩壊に対するスギ根系の効果の検討

国研 森林研究・整備機構 森林総合研究所 ○岡田康彦  
群馬大学理工学部 蔡飛

### 1 要旨

森林斜面の表層が崩壊する場合、樹木の根系は潜在的なすべり面の全体で抵抗力を発揮している。他方、斜面崩壊の危険度を数値化する斜面安定解析においては、通常、無限長斜面を対象にすべり土塊の底面でのみ根系効果の検討がなされ、側面の効果は無視されることが多い。すべり土塊の上流及び下流側の縦断側面における根系効果を検討するため、縦断方向に3つのブロックを並べたモデルを作製して簡易ヤング法により安全率を求めた。その結果、簡易ヤング法からは、無限長斜面を対象にした解析よりも大きな安全率が算出され、特に、樹木根系の抵抗成分が大きい場合にその差が顕著になる結果が得られた。

### 2 イントロダクション

集中豪雨や長雨により山腹の斜面が崩壊して、下流域に被害を及ぼす斜面災害が毎年のように多発しており、その防止および軽減に向けた対策を有効に実施することがますます重要になってきている。樹木の根系は、表層崩壊の発生を抑制し国土の保全に寄与しているとして国民からの期待度も大きい。他方、根系が斜面を補強する効果を正確に見積もることは容易ではない。斜面がどの程度の安全性を保っているのかを数値化するために斜面安定解析が行われるが、表層崩壊を対象にした場合は、通常、無限長を想定した斜面の安全率の評価、つまりすべり土塊の底面の検討に留まる。一方で、樹木根系が斜面を補強する効果は、すべり土塊の底面のみならず、側面でも発揮されていると考えるのが妥当であり、その数値化は課題の一つとして残っていた。

すべり面における樹木根系の効果は、土が発揮する粘着力成分  $c_s$  に類似する成分  $c_r$  としてせん断抵抗に加えることにより評価される。根系による粘着力成分  $c_r$  の導入に関して、無限長斜面を対象にした解析の他にすべり土塊の横断側面については検討がなされた例がある (Okada et al. 2023) が、縦断方向の側面での効果についての検討はなされておらず、その効果の検証が望まれていた。本研究では、土塊の上流側の底面および下流側の底面における根系の効果を検討するために、すべり土塊を縦断方向に3つのブロックにわけることによりこの課題に取り組むこととし、無限長斜面を対象にした安全率と比較した結果を報告する。

### 3 解析方法と結果

すべり土塊の縦断方向の側面における樹木根系の効果を考慮するため、斜面安定の解析対象ブロックモデルは、中央の斜四角柱の上流および下流側に三角柱を加えた形状とした (図-1)。すべり面の深さ  $D$  (0.7 m)、及びすべり面の傾斜  $\theta$  (34.5 度) を一定とし、下流側三角柱の側面の傾斜  $\alpha_d$ 、及び上流側三角柱の側面の傾斜  $\alpha_u$  を斜面安全率が最小になるように求めた。なお、傾斜はいずれも反時計回りを正とし、 $\alpha_d$  については負の値も取り得る。可変の  $\alpha_d$  および  $\alpha_u$  は両者が互いに影響を及ぼすため、 $\alpha_u$  をある値と仮定して斜面安全率が最小になる  $\alpha_d$  値を求めた後、その  $\alpha_d$  値の下で斜面安全率が最小になる  $\alpha_u$

値を求めるといった作業を繰り返すことにより、最終的な斜面安全率が最小になる  $\alpha_d$  値と  $\alpha_u$  値の組み合わせを決定した。土の内部摩擦角は 34.5 度、土の粘着力成分  $c_s$  はゼロ、根系による粘着力成分  $c_r$  は入力変数として 1kPa から 5kPa の整数値を与えることとし、斜四角柱の底面、および、3ブロックモデルの縦断側面を形成する上流および下流側の三角柱の底面で一定値とした。斜面の安定解析手法については、円弧状のすべり面であるという制限を受けず、任意のすべり面形状に適用が可能となる簡易ヤンプ法（社団法人地盤工学会、2006）を採用した。すべり土塊の水平長さについては 2m から開始し、2m ずつ増やして 40m までの 20 ケースで検討を行った。

最終的に斜面安全率が最小値を示した際の下流側ブロックおよび上流側ブロックの水平長さを調べた（図-2）。その結果、 $c_r$  が大きいほどブロックの長さが小さくなることがわかった。なお、ブロック長さが小さい結果は、 $\alpha_d$  がより小さな値をとる（ときに負の値も認められた）こと、 $\alpha_u$  がより大きな値をとることを意味する。 $c_r$  が大きいほど、相対的に根系による粘着力成分の影響が大きな上流および下流ブロックでは水平長さが短い形状、粘着力成分の影響が小さな中央ブロックでは長い形状のときに、3つのブロック全体で安全率が小さくなる結果が示された。

3つのブロック全体の簡易ヤンプ法による安全率と、無限長斜面を対象にして算出した安全率の差を調べた。簡易ヤンプ法による安全率は、 $c_r$  がいずれの値の場合でも、すべり土塊の水平長さが大きくなるに従って低減し、最終的には概ね一定値に収束する結果が得られた。無限長斜面を対象にした安全率と比較すると、すべり土塊の水平長さが 40m の時でもわずかな差は認められ、また、 $c_r$  が大きな場合にその差が大きくなることがわかった。このことから、適切な森林管理を通じて健全な樹木を育成し、樹木根系による粘着力成分  $c_r$  が相当程度発揮される状態である場合ほど、無限長斜面を対象にした安全率の検討のみでは過小評価していることが示唆された。また、表層崩壊の長さについて、たとえば 10m 程度の小規模な斜面を対象にその危険率を検討する場合は、相当程度に大きな 40m の斜面を対象になる場合に比べて、無限長斜面の安全率はより過小に評価していることになるためこのことに留意する必要があると考えられる。

<引用文献>

Okada Y, Cai F, Kurokawa U (2023) Changes in slope stability over the growth and decay of Japanese cedar tree roots. Forests 14, 256  
 社団法人地盤工学会 (2006) 斜面の安定・変形解析入門－基礎から実例まで－. 社団法人地盤工学会, 東京, 338pp

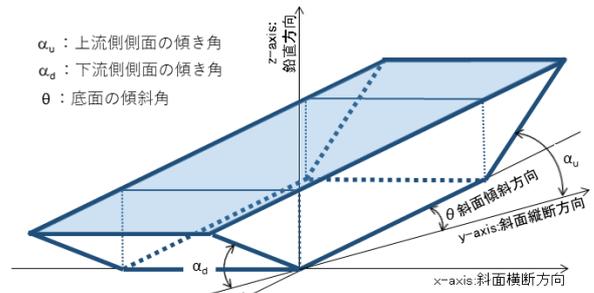


図-1. 簡易ヤンプ法による安全率算出のための3ブロックモデル ( $\theta$  および  $\alpha_u$  は正,  $\alpha_d$  は負の場合)

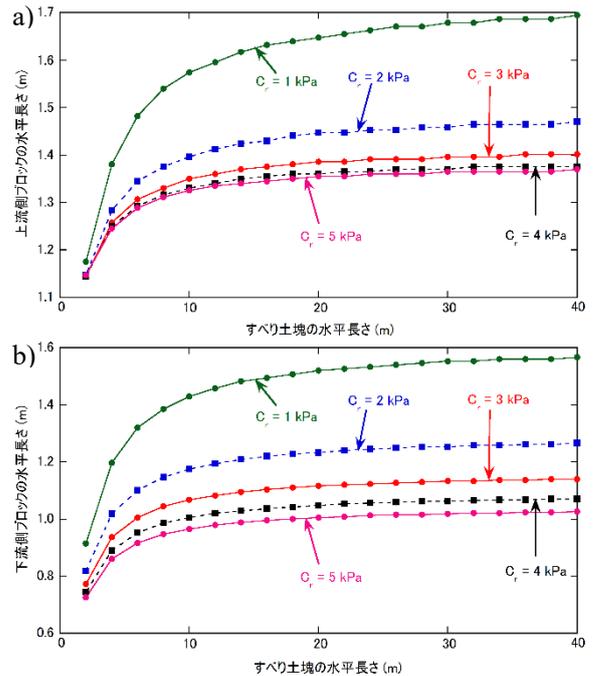


図-2. すべり土塊全体の長さとブロック長さの関係。a) 上流ブロック, b) 下流ブロック