

スギ根系が持つ崩壊防止力の評価方法について

日本大学大学院 ○掛谷亮太、小森貴弘、藤井栄梨子、大沢光、森千夏、土屋勝彦
日本大学生物資源科学部 阿部和時
日本大学水上演習林 垂水秀樹

1. はじめに

樹木根系は山地斜面の崩壊を防止する力を持つと考えられている。これまでの研究では根の引き抜き抵抗力で崩壊防止力が評価できると考えて研究が行われてきた。この場合、図1の左の図が示すようにすべり面に存在するそれぞれの根の最大引き抜き抵抗力を足し合わせて崩壊防止力とする場合が多かった。しかし、図1の右の図が示すようにそれぞれの根で最大引き抜き抵抗力が表れるまでの根の変位量は異なることが考えられるため、崩壊防止力を評価する場合にはこの根の変位量を考慮しなくてはならない。また、斜面が崩壊するときには様々な角度で根が引き抜かれると考えられ、最大引き抜き抵抗力や最大変位量に影響を与えている可能性がある。本研究では以上の2点を踏まえ、樹木根系による崩壊防止力の評価方法を検討する。

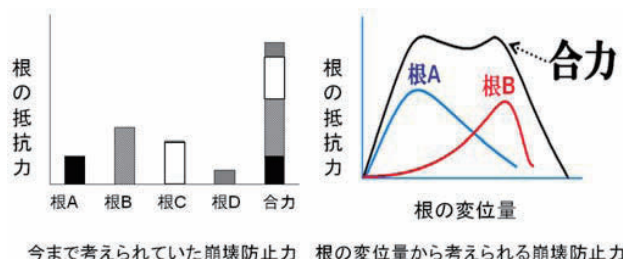


図1 崩壊防止力の考え方

2. 引き抜き試験方法

調査木の地上部を抜倒し、根株と根株に近い根を取り除く。残した根の頭部に変位計を取り付け、さらに力計つけた根系固定器具で根をつかみ、引き抜く。このときの最大引き抜き抵抗力と最大引き抜き抵抗力に達したときの変位量、引き抜いた根の直径、根の種類（水平根、鉛直・斜出根）を記録する。根を引き抜く際には、根の生長方向と反対方向に引き抜く場合の角度を0°とし、引き抜き角度と呼ぶことにした。今回の試験では引き抜き角度を0°、30°、45°、60°、90°、120°の6方向とした。

調査は日本大学水上演習林内の斜面傾斜が約30°のスギ林で行った。

この引き抜き試験とは別に行ったスギ根系の分布調査の結果と合わせてスギ根系を含む斜面安定解析のシミュレーションを行い、変位量を考慮した場合

と考慮しなかった場合の根系の崩壊防止力を評価した。

3. 引き抜き試験の結果

3.1 最大引き抜き抵抗力について

根の直径と最大引き抜き抵抗力の関係は共分散分析を行った結果、水平根でも鉛直・斜出根でも引き抜き角度の違いによる差は無かった。よって、水平根も鉛直・斜出根もそれぞれ角度による区別をつけずに1つの式にまとめた。水平根は式 $y = 0.03x^{1.44}$ 寄与率 0.62…(1)、鉛直・斜出根は式 $y = 0.0424x^{1.23}$ 寄与率 0.69…(2)という結果になった。水平根と鉛直・斜出根の間では危険率5%で有意差が見られた。

3.2 最大変位量について

水平根も鉛直・斜出根も直径と変位量の間には明瞭な関係性は見られないが、図2に示すように引き抜き角度が大きくなると根の変位量が大きくなる傾向にある。引き抜き角度と変位量の関係からシミュレーションの条件を決める。

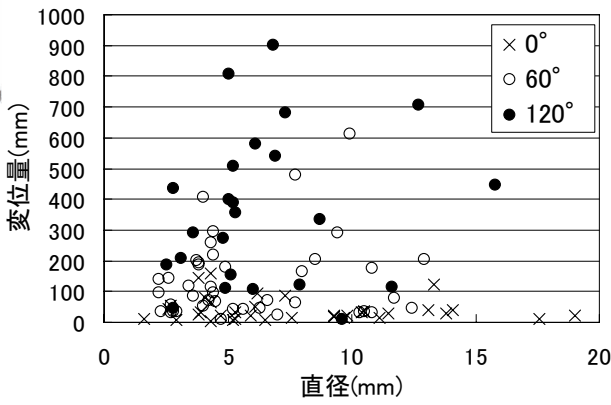


図2 角度別水平根の直径と変位量の関係

4. 崩壊防止力評価のシミュレーション

4.1 シミュレーションの手順

崩壊を想定する斜面の初期条件とすべり面に伸長した根の本数を表1に示す。この初期条件は、地下水位が地表に達したことを想定している。すべり面は樹木と樹木の間地点である根株から半径1m、深さは80cmとし、その底面と側面に存在する根の崩壊防止力を評価する。すべり面に存在する根の種

類、本数、直径、引き抜き角度は別途行った根系分布調査のデータを用いた。

すべり面に生育する全ての根について、根の直径から最大引き抜き抵抗力を式(1)と式(2)から計算する。根の変位量は前述のとおり引き抜き角度に影響を受けるので、引き抜き角度と最大変位量の関係を求めておき、この関係をもとにランダム変数を使用して変位量を推定した。次に、1本1本の根の変位量(x)と最大引き抜き抵抗力(y)の関係を $y=a \cdot x$ の一次式で近似し、変位量と引き抜き抵抗力の関係を計算できるようにした。この式中の傾きを表すaは最大引き抜き抵抗力を最大変位量で割った値である。図3の中の直線はすべり面に生育する全ての根について変位量1mm間隔で計算された引き抜き抵抗力を表しており、変位量に応じたすべての根の引き抜き抵抗力を足し合わせた力を合力とした。この合力が崩壊防止力を評価するには適当と考えている。すべり面にある全ての根について変位量当りの抵抗力を計算し、これを基に合力を計算した(図3)。この計算をそれぞれの根の変位量のみ変更して10回繰り返した。

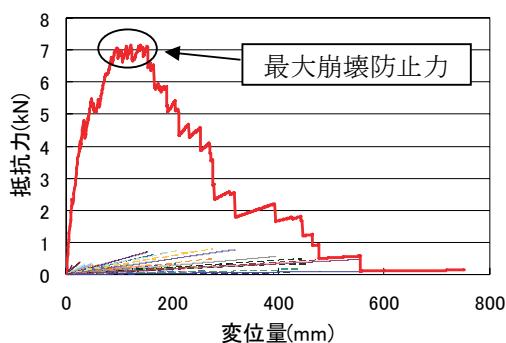


図3 変位量を考慮した抵抗力の合力

4.2 安全率について

(3)式を用いて無限長斜面の安定計算を行い、根の変位を考慮した崩壊防止力と考慮しなかった崩壊防止力で、それぞれ安全率に対する根の補強強度を比べた。根の変位量を考慮しなかった場合は $F_s=1.9$ 、変位を考慮した場合は $F_s=1.3$ となった。

$$F_s = (c + \Delta S + H_s \sigma \tan \phi \cos \theta) / (H_s \sigma \sin \theta) \cdots (3)$$

σ : 飽和土の単位体積重量 H_s : 表層度厚さ
 θ : 斜面傾斜角 ΔS : 根による土のせん断補強強度

4.3 結果

このシミュレーションの結果、根による崩壊防止力は変位量を考慮しない従来の方法では約 19kN となり、変位量を考慮した場合は約 6.3kN から約

7.8kN と計算された。それぞれの崩壊防止力を安定計算の式に ΔS として代入する。今回、安全率を比べる際の変位量を考慮した ΔS は 10 回の平均値である 7.6kN とした。

表2より、根系による安全率に占める根の崩壊防止力は変位量を考慮しない場合では約 50% にもなるが、変位量を考慮した場合は約 30% 程度となる。このことは最大抵抗力を比べるとこれまでの評価方法は過大評価していたことを示している。

図3に示したような最大崩壊防止力は10回行ったシミュレーションの中で9回は変位量が50mm～100mmの間に表れ、1回は約120mmに表れた。変位量を考慮すると多くは100mm以内で徐々に抵抗力を増していくという結果になった。

5. まとめ

従来の評価方法では全ての根が同時に最大抵抗力を発揮するという考え方だった。しかし、最大抵抗力を示すまでの根の変位量が1本1本違うことが分かった。このことから、変位量を考慮した崩壊防止力を評価することが重要であると考えている。

今後は変位量を考慮した崩壊防止力と実際の崩壊事例とを比較し、さらに検討する必要があると考えている。

表1 崩壊防止力のシミュレーションで用いた初期条件

斜面傾斜角度	40°
表層度の厚さ	80cm
土の粘着力	0.02kgf/c m ²
土の内部摩擦角	30°
土の単位体積重量	1.3tf/m ³
根系の最大伸長さ	90cm
根系分布範囲	直径2m
すべり面に存在する根	62本
すべり面の深さ	80cm

表2 安全率に寄与する根の補強強度

	根なし	変位なし	変位あり
F_s	0.987	1.914	1.3565
F_s に占める根の力	0.0%	48.4%	27.2%

参考文献

阿部和時：樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価方法に関する研究、森林総研研報、105～181、373、1997