

（株）北海道技術コンサルタント 神原孝義・大谷健一  
北海道立林業試験場 佐藤創・鳥田宏行

### 1.はじめに

従来、斜面の樹木保全是、「斜面緑化による景観保全」を基本的な考えとする景観対策の一環として位置付けられていた。近年、生態系保全による自然環境面に対する役割が都市部を中心に求められるようになった。しかし、樹木根系による斜面安定効果は定性的に認識されていたが、実際の急傾斜地崩壊防止対策の計画において、根系抵抗を定量的に評価し、施設計画に反映した例は無いのが現状である。今後更に、急傾斜地崩壊防止対策は、樹木の保全が求められる傾向にあることから、樹木を景観や生態の面だけで評価するのではなく、物理的に樹木の効果を解明し、斜面安定へ導入する価値は高い。

筆者らは、北海道内3箇所(苫前①、苫前②、イルムケップ)のフィールドにおいて根系の引き抜き抵抗・根系分布を調べ樹木根系の効果をとり込んだ安全率評価を行った。本報告では、安全率の評価手法と各調査地における安全率変化の比較、及び根系分布想定手法検討として統計分析を行った結果を紹介する。

### 2.樹木の影響を導入した安全率算出式

樹木の影響を導入した安全率算出式は中村(1999)の式を用いる。算出式は、現行設計で用いている式に樹木荷重及び根系抵抗力を加える形で表現されている。なお、原式では、これらの項の他に風荷重・植生蒸散作用・対策工による抑止力が存在するが、本検討ではこれらの項目は検討対象外であるため除外した。

$$F = \frac{\sum \{ (Tw + W) \cos \theta - U \} \tan \phi + Cl + R}{\sum \{ (Tw + W) \sin \theta \}}$$

F:安全率 θ:滑り面勾配 C:粘着力 φ:内部摩擦角  
R:根系抵抗力 l:スライスの滑り面長さ U:間隙水圧  
Tw:樹木荷重 W:土塊重量

樹木荷重は、各樹木の樹種・胸高直径・樹高などをもとに材積を算出する方法が確立しており、これに密度を乗じることで較的容易に評価できる。一方、根系抵抗力の算出は、土層内の根系の分布状況想定及び抵抗力の数値化に大きな課題がある。

### 3.根系抵抗力算出手法

樹木根系の崩壊抵抗力は、図-1に示すように想定されるすべり面を横断する根が、土塊の滑動を抑止する力である。筆者らのこれまでの研究から、根系抵抗は、解析断面内の根系分布の想定及びすべり面を横断する根の抽出、抽出した根一本毎の抵抗力算出、の2段階により数値化が可能であることが判明している。

根系分布の想定は、まず、解析断面を中心線とする幅10mの調査区を設け、調査区内にある胸高直径5cm以上の全ての樹木について胸高直径・樹種・位置を調べた。次に、調査区内を代表する樹種(3樹種各2本程度)を掘り取り、掘り取った根系の根系分布を室内で計測した。根系分布の計測は、各根について10cmごとに太さが1cm未満になるまで3次元座標及び太さを計測した。(図-2、写真-1)

掘り取りを行った樹木は、計測した根系の3次元分布を解析断面に導入し根系分布を評価した。その他の樹木については、樹種から荻住(1987)による浅根性・中根性・深根性に区分し、3次元化を行った樹木から根系タイプが同一のものを選び、胸高直径比により各根の太さを変化させ当てはめた。この手法により、調査区内全ての樹木の根系分布を想定し、すべり面を横断する全ての根の位置・太さの抽出を行った。

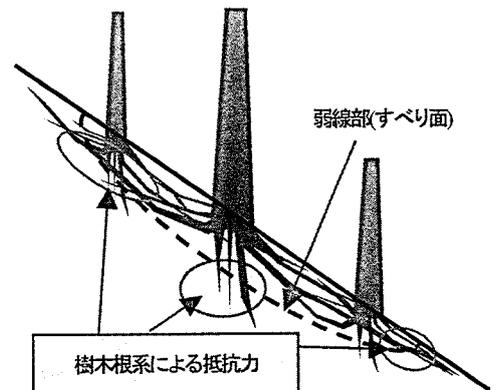


図-1 根系抵抗力の模式図

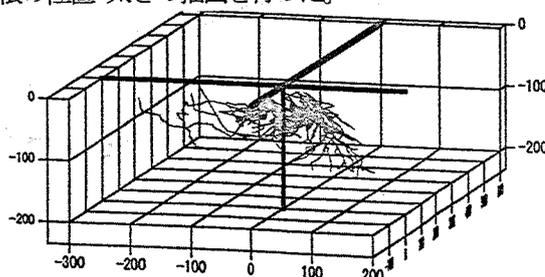


図-2 樹木根系の3次元分布

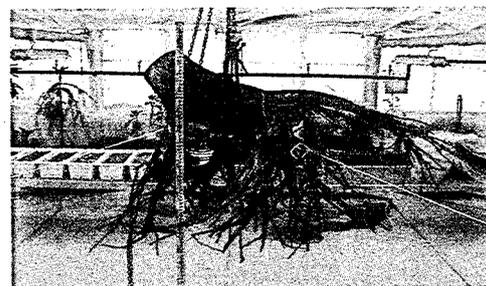


写真-1 根系分布調査

抽出された根一本毎の抵抗力評価は、同フィールド内において引き抜き試験を行い、根の太さと引き抜き抵抗力の関係の回帰式を用いて算出した。引き抜き試験は、各フィールドで2~3樹種について行ったが、樹種による有意な差は認められなかったため、各フィールドでごとの回帰式とした。(表1)

表-1 引き抜き抵抗回帰式

(苦前①)	$Y = 0.83X^{1.267}$	$R^2 = 0.4783$
(苦前②)	$Y = 0.93X^{1.2017}$	$R^2 = 0.5861$
(イルムケップ)	$Y = 1.01X^{1.0246}$	$R^2 = 0.4632$
Y: 引き抜き抵抗力(kN) X: 根の直径(cm)		

#### 4.安全率算出結果

安全率の算出結果及び各斜面の概況を表-2に示す。安全率は、樹木を考慮しない場合を1.0とした時の上昇率を示している。全ての斜面で安全率上昇は見られたが、苦前②・イルムケップでの上昇は小さな値であった。これは、すべり面の深度が苦前①より深いためである。本検討では、すべり面の深さが1.5mを越えると根系抵抗力の効果がほとんど見られなかった。また、樹木重量については土塊重量に比して軽いことと、マイナス要因にも働くことから、安全率への寄与は無かった。

表-2 安全率上昇と各斜面概況

	根系効果による安全率上昇	斜面形状			すべり面深さ	
		崖高(m)	平均勾配(度)	最急勾配(度)	平均深さ(m)	最深深さ(m)
苦前①	0.23	26	32	37	0.99	1.55
苦前②	0.06	35	34	38	1.34	1.83
イルムケップ	0.07	9.4	25	38	1.50	2.23

#### 5.根系分布の統計解析

根系分布の想定を行うにあたり、本検討では現地での掘り取りを行った。しかし、根系効果を設計に取り込むにあたっては、地表面から容易に調査できる情報(胸高直径・樹高・樹種など)から根系分布を想定することが不可欠である。そこで、筆者らがこれまでに根系分布を調査した樹種について統計分析を行い、根系分布の決定要因となる要素の検討を行った。分析は、各樹種2~3本の3次元分布をもとに、樹木間の成長度による差を除去するために胸高直径で補正を行い胸高断面積100cm<sup>2</sup>あたりの根系分布量の値に換算し、深さ及び簡易貫入試験によるNc値と根系断面積合計の関係を抽出した。

表3に分析結果を示す。表中の下線は分析結果が0.05を下回り有意であると判定された項目である。緩斜面・平坦地の分析では、深さと断面積合計に有意性が高い。しかし、急傾斜地である苦前①では、深さと断面積合計には有意性は無く、イタヤカエデのみNc値との関係に有意性が見られた。そこで、従属変数をNc値及び深さの2変数としf検定を行ったところ、急傾斜地でも有意な関係が見られた。このことから、急傾斜地においても深さとNc値の2変数を従属変数に用いることで、根の断面積合計を想定できる可能性が示唆された。

表-3 統計分析結果

樹種	従属変数	平坦地			緩斜面	急傾斜地(苦前①)	
		イタヤカエデ	ミズナラ	シナノキ	ハンノキ	イタヤカエデ	ミズナラ
t検定	Nc値	<u>0.0005</u>	0.0561	<u>0.0406</u>	<u>0.0059</u>	<u>0.0333</u>	0.0827
	深さ	<u>&lt;0.0001</u>	<u>&lt;0.0001</u>	<u>&lt;0.0001</u>	<u>&lt;0.0001</u>	0.2617	0.2386
f検定	Nc値・深さ	<u>&lt;0.001</u>	<u>&lt;0.001</u>	<u>&lt;0.001</u>	<u>&lt;0.001</u>	<u>0.0018</u>	<u>0.0062</u>

#### 6.まとめ

本検討では、現地で樹木分布状況を把握し、掘り取り調査による根系分布の3次元化及び引き抜き試験による根系抵抗力の定量化を行うことで、樹木根系の抵抗力を含む安全率算出を行うことが出来た。この手法により3箇所のフィールドで安全率を算出したところ根系抵抗力が大きく作用するのはすべり面深さが1.5m以下であることが判明した。また、これまで3次元化した根系分布を用いて統計分析を行ったところ、急傾斜地ではNc値・深さの2変数を用いることで根の断面積合計の算出が可能となることが示唆された。

今後の課題として、①飽和状態での引き抜き抵抗力の評価、②引き抜き抵抗力と崩壊に対する抵抗力の関係の解明③根系分布状況推定の精度の向上等があげられる。これらの諸問題を解明し、樹木根系効果の定量化精度を向上することにより、土留柵工・アンカー工・鉄筋挿入補強土工などの一般的な急傾斜地対策工事での適用が可能であり、環境・コストの両面での効果が期待できる。

#### (参考文献)

- 中村 1999: 鉄筋挿入工による緑の斜面づくり 第2回「緑のゼミナール」(テキスト) p48  
 荻住 1987: 樹木根系図説 p370-394  
 神原他 2002: 表層崩壊の安定に及ぼす樹木根系効果の定量的評価 平成14年度砂防学会研究発表会概要集 p398-399