

樹木の根系による斜面崩壊防止機能

鳥田宏行・佐藤 創

森林が斜面崩壊防止に役立つというのは、本当でしょうか？

森林が斜面の崩壊を防止するのに役立っているということは、昔から信じられているようですが、人によっては「大して役に立ってないんじゃないの？」といささか懐疑的な意見を持っている人もいることでしょう。確かに、森林のある場所でも崩壊が発生しており、大木がなぎ倒されている光景を目にすることがあります。そのような現場では、自然の圧倒的な力を感じさせられるとともに、本当に森林が斜面崩壊防止に役立っているのかどうか、懐疑的にならざるを得ない心境になります。「百聞は一見に如かず」というところでしょうか。だからといって、森林地帯での崩壊現場を見ただけで、簡単に「やっぱり役に立っていない」と結論するのも疑問です。では、「役に立つのか、立たないのか、どっちなんだ」と問われれば、「ある場合には役に立つし、ある場合には役に立たない」というのが本当のところでしょう。そこで、「ある場合」とは、どのような場合かを考えてみたいと思います。

森林の崩壊防止機能と崩壊タイプの関係

森林が崩壊防止に役立つと考えられるのは、以下のような効果が期待できるからです（図 - 1）。

水平根による網効果：水平に伸びた根が複雑に隣接する木の根と入り乱れて網目のようになることにより、土塊を強固に結びつける。

杭効果：地面下方向に伸びた根が、すべり面上で杭のように働き、土塊の移動を食い止める。

一方、山崩れは、崩壊する深度別に表層型山崩れと深層型山崩れの大きく二つのタイプに分けられます。表層型は、樹木根系の分布する表層土付近での崩壊で、深層型は、基岩を含めたより深い位置での崩壊です。したがって、森林が崩壊防止機能を発揮できるのは、表層型の崩壊に限定されると考えられます。ただし、降雨が激しかったり斜面勾配が急だったりすると、崩壊する力（滑動力）が崩壊を食い止めようとする力（抵抗力）を上まわり、森林があっても崩壊が発生してしまいます。つまり、森林の崩壊防止機能が発揮できるはずの表層型山崩れにおいても限界が存在しています。

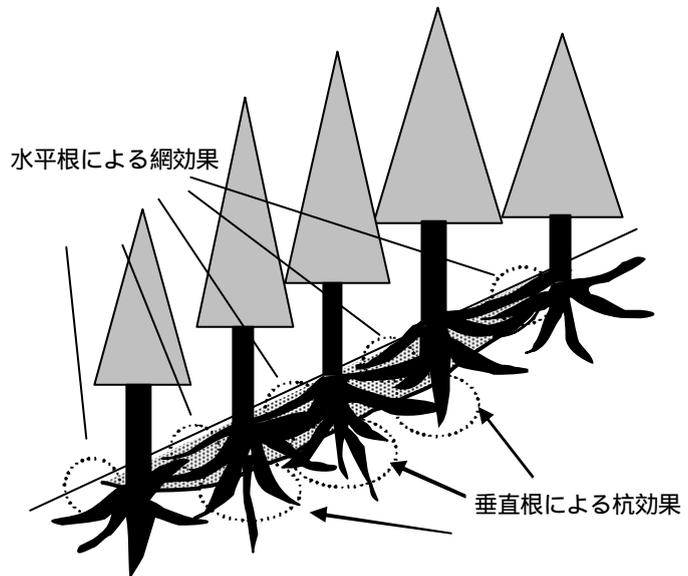


図 - 1 崩壊防止機能の概念図

森林の崩壊防止機能の定量的評価の試み

表層型山崩れによる崩壊に対して、森林が有効であることを述べましたが、ここではその有効性を安

全率（抵抗力と滑動力の比）を用いて評価してみたいと思います。まず、安全率の計算に使われる基本的な式は（1）式ようになります。この式は崩壊土塊をいくつかの部分に分割し、それぞれの土塊について抵抗力と滑動力を求め、最終的に全土塊を足し合わせた抵抗力と滑動力の比を表しています。つまり式の分子は抵抗力を表し、分母は滑動力を表しています。したがって、F が大きいほど崩壊しにくいことを意味し、F が1以下の場合にはたいへん不安定な斜面ということになります。

$$F = \frac{\sum [((Tw + W) \cos q - U) \tan f + Cl + Rt]}{\sum ((Tw + W) \sin q)} \quad (1)$$

F:安全率, q : 滑り面勾配, C: 粘着力, f : 内部摩擦角, l: スライス滑り面長さ, U: 間隙水圧, Tw: 樹木荷重, W: 土塊重量, Rt: 根系の抵抗力

今回、この方法を用いて、実際に斜面崩壊が発生した奈井江町の広葉樹林において、崩壊前の林分状況を仮想して斜面崩壊をシミュレートし、樹木根系の斜面安定効果について解析を試みました。崩壊前の斜面の仮想林分は、隣接する斜面を参考にしています（樹種：イタヤカエデ・シナノキ・サワシバ・オヒヨウ、立木密度：1733本/ha、林分材積：185m³/ha、平均胸高直径：12.2cm）。崩壊地形は測量結果から、崩壊幅約19m、崩壊長約24m、深さは最深部で約1.1mと推定しました。

根系の分布と抵抗力

残念ながら、地上部から根系の分布を正確に把握する技術は、まだ確立されていません。現在の最先端の科学技術を投入すれば、それを把握できる装置が開発できるかもしれませんが、私の知る限り、そんな便利な装置は販売されていないので、今回は、隣接した場所で、平均的な大きさのイタヤカエデ（胸高直径：10.3cm）とシナノキ（胸高直径：13.0cm）の根を丸ごと掘り出して、根系分布に関しておよその見当をつけました（図-2）。根系の抵抗力については、まだまだ不明な点が多く検討が必要ですが、今回は、引き抜き抵抗力Yを根系の抵抗力Rtとして評価しました。これはすべり面上を土塊が滑り落ちてゆく過程を考えたとき、滑動力によって根が引き抜かれることを想定してのことです。根の引き抜き抵抗力Y(kN)は、根の直径X(cm)が大きいほど増し、その関係は以下のような回帰式で表現されます。

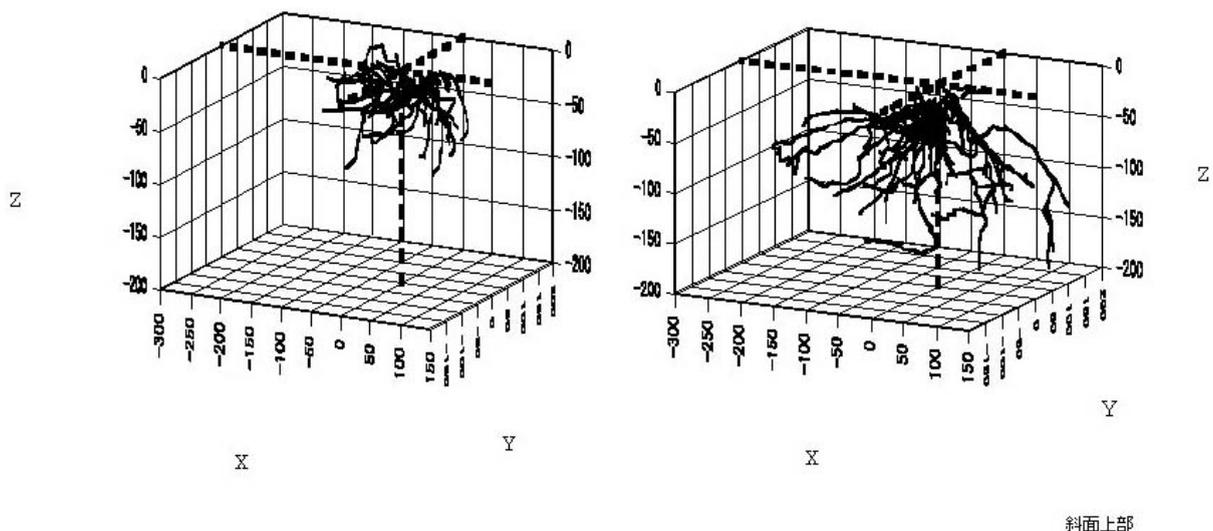


図 - 2 根系の分布

左：イタヤカエデ，右：シナノキ．単位(cm)
X = Y = Z = 0 は根元位置を，Z = 0 のXY平面が地表面を，Xのプラス方向が斜面上部をそれぞれ示している。

$$\begin{aligned} \text{イタヤカエデ} : Y &= 0.89 + 1.07 & R^2 &= 0.406 \\ \text{シナノキ} : Y &= 0.71 + 1.567 & R^2 &= 0.658 \end{aligned}$$

その他の土質力学的なパラメーターについては、三軸圧縮試験や土粒子の密度試験を行って求めました。

仮想林分でのシミュレーション

シミュレーションは、イタヤカエデとシナノキそれぞれについて、立木密度を隣接斜面の密度である 1,733 本/ha(樹木間隔：2.4m、便宜上高密度)と、樹木間隔をその 2 倍にした 433 本/ha(樹木間隔：4.8 m、低密度)として、正方形配置した場合を想定しました。また斜面の湿潤状況は、自然状態と地表面まで水分が飽和した状態(飽和状態)を想定しています(表 - 1)。

樹木のない斜面の場合、自然・飽和状態とも安全率は 1 以下で、力学的に非常に不安定な状況であったと推定できます。一方、樹木のある場合を想定すると、低密度の飽和状態を除いて安全率が 1 以上になりました。また、イタヤカエデを考慮した場合とシナノキを考慮した場合とを比較すると、全般的にシナノキの安全率が高くなっています。これは、図 - 2 にみられるように、掘り取った根の分布が大きく異なることが主な原因です。いずれにしても、表層崩壊に対して、樹木の根系が崩壊防止機能を発揮

表 - 1 仮想林分での安全率のシミュレーション結果

安全率	樹木考慮なし		イタヤカエデ				シナノキ			
	飽和	自然	飽和		自然		飽和		自然	
			高密度	低密度	高密度	低密度	高密度	低密度	高密度	低密度
	0.28	0.98	1.13	0.45	1.78	1.14	2.65	0.97	3.23	1.64

しているということが十分推測できる結果が得られました。ただし、このシミュレーションは、掘り取り調査から得られた根系の分布を、想定した林分のすべての樹木に適用しているため、実際の崩壊前の斜面とは異なります。しかし、今回試みた手法は、立木密度、樹種、斜面の飽和などを変化させて仮想的な評価を行うには非常に有効であると同時に、崩壊の危険性のある斜面において、実際に根系がどの程度抵抗力として機能しているかを評価するのにも有効な手段となります。今後、森林の崩壊防止機能に関する評価技術をより確かなものにするためには、信頼性と汎用性の向上が必須です。しかしそのためには、まだまだ解決すべき問題が数多く存在しています。森林の公益的機能が注目されつつある今、地道に取り組んでいくべき問題だと思われます。

(道東支場)