

森林の国土保全機能(Ⅱ)

—森林の土保全機能に関する研究の動向—

農林水産省林業試験場
防災部治山第二研究室長

陶 山 正 憲

1. はじめに

山崩れ、がけ崩れ、土石流などの自然災害が発生すると、最近では決ったように森林の伐採が問題にされる。このような場合、議論のポイントは、一般に“森林の伐採がどの程度その災害の原因となっているか”という疑問であるが、これに対する合理的な回答はほとんど与えられていないのが現状である。

従来、森林と山地災害、特に浅層崩壊との関係については、幾多の試験研究が行われ、種々の報告がなされてきた。その結果、森林のもつ崩壊抑止能力には、ある限界のあることがわかってきたが、現実の森林には未だその能力の限界に到達していないものが多々あることも事実である。そこで問題は、現実の森林状態を改良して、森林としてもち得る最大の崩壊抑止力を発揮させる（崩壊ポテンシャルを最小にする）には、どうすればよいかということになる。

前回は、森林の水保全機能、つまり水の循環過程における森林の役割について若干の解説を行ったので、今回は森林の土保全機能、つまり残層崩壊の軽減ならびに崩壊跡地の表面侵食防止機能に関する研究の動向を要約してみた。

2. 斜面崩壊の本質

山腹斜面の崩壊を従来の見解に従って、“急斜面にある土砂、石礫が急速に崩落する現象”と解すれば、崩壊現象は一般に“緩和現象”と考えられ、崩壊ポテンシャル（潜在崩壊能）が崩壊において緩和すると見るのである。すなわち、ここに一つの斜面があるとして、これが岩盤の露出した斜面の場合には、崩壊土砂がほとんど無いわけであるから、崩壊ポテンシャルはゼロに近い。しかしながら、地表面が風化し、土壌が形成され、その上に植生が繁茂すれば、崩壊の可能性のある土壌層が次第に厚くなり、潜在崩壊能が漸次増加し、崩壊ポテンシャルが増加することになる。このように崩壊ポテンシャルが増加すれば、崩壊の確率もまた増加すると考えられる。斜面の崩壊ポテンシャルがある程度蓄積されると、遂に爆発的にそのエネルギーが放出されることになる。これがすなわち斜面の崩壊で、この崩壊発生によって崩壊

ポテンシャルは激減する。このようにして、斜面の崩壊ポテンシャルは最初のゼロに近い状態にもどり、再び前と同様の過程をたどることになる。このような過程が周期的に繰り返されれば、いわゆる“緩和振動”となる。崩壊現象においては、厳密な意味での周期は存在しないが、不完全ながら長周期的な現象と考えられよう。なお、崩壊の確率は、崩壊ポテンシャル以外の外来因子、例えば降水量等にも依存することはもちろんである。

さて、崩壊発生の直後に取りべき措置は、まず急増する表面侵食に対する防止工事である。なぜならば、表面侵食は崩壊ポテンシャルとは反対方向の経過をたどるからである。すなわち、崩壊直前までは植生の被覆による安定斜面も崩壊直後に裸地の出現によって表面侵食が激増し、再び植生の繁茂につれて侵食は漸減する。

表面侵食の防止工事としては、従来から山腹工事として有効な工種・工法が設計・施工され、多くの実績があげられている。しかしながら、崩壊直後に実施される崩壊防止工事には問題がある。豪雨による崩壊が一地方に頻発した場合、崩れ残りの部分が、近い将来に再び全面的に崩壊を起すのではないかと心配されるのは一応自然であるが、この憂いはどの程度まで根拠のあるものであろうか。前述のように、崩壊の確率は斜面の崩壊ポテンシャルとともに、斜面への外来因子、例えば降水量に依存する。

今、簡単のため、この両因子のみが変化するものとして、この両者の崩壊確率との関連関係を考えると、崩壊の確率は一定の限界ポテンシャルの所で飛躍的に増加し、このポテンシャル以下では降水量にともなう崩壊確率の変化は極めて小さく、確率そのものも小さい。また、降水量がある限度以下では、ポテンシャルの増加にともなう崩壊確率の増加は、小さくなると考えられる。その結果、豪雨により多発した斜面の崩壊ポテンシャルは、前述の限界ポテンシャルを越えたものが多く、その時の降水量は、限界降水量を越えたと考えてよいだろう。その場合、この崩れ残りの斜面は、概ね限界ポテンシャル以下の斜面であり、近い将来、再び豪雨に襲われても、崩壊する確率の小さい斜面である。

現実に、豪雨により山地崩壊が多発した地方では、それから数年間は、再び同程度の降水量に見舞われながら、大規模崩壊を繰り返さない例のあるのは、上記の推論を裏付けるものと考えられる。つまり、二度目の降水量は限界水量を越えていたにもかかわらず、未だ限界崩壊ポテンシャルに達する斜面が、ほとんど無かったことを意味している。一つの山腹斜面が、崩壊ポテンシャルを失ってから、限界ポテンシャルを回復するまでの時間は、概ね数十年から数百年のオーダーであろう。

以上のように考えれば、崩壊予防施設は、限界ポテンシャルに近づきつつある斜面に対して、施工するのが最も効果的であるとの結論に達する。この崩壊ポテンシャルが危険域に接近している地点を精度よく判定することは、一般に高度の専門知識を要するが、災害予防の立場からは、この問題の解明に今後一層力を注ぐ必要がある。

3. 森林の侵食防止・崩壊抑止機能

森林が斜面の侵食・崩壊を防止しうるかという問題については、従来、種々の論争がなされている。一般に、山地崩壊の有力な発生要因としては、地形、地質、植生と、誘因としての降水量があげられる。これらの諸因子の中で、森林が他の因子と同様に、崩壊抑止の方向に作用する一つの因子であることには全く異論はない。しかしながら、森林の侵食・崩壊抑止機能には限界があり、他の諸因子の一つ、あるいはそれ以上が、侵食・崩壊を起こす方向に働く場合、“森林がこの作用を相殺することは必ずしも可能でない”というのが一般的な意見のようである。また時として、侵食・崩壊の発生要因として降水量、特に降雨強度をあげる場合がある。

まず、降雨による山地荒廃は雨滴侵食に始まる。直径5mmの雨滴は45gの物体を1cm持ち上げるだけの仕事をする能力を有する。これが裸地の場合には、地面を穿って土を四方に跳ね飛ばす。また、水は物体を浮力によって軽くして、これを容易に運搬する。このようにして、水の侵食作用は進行する。このような侵食作用に対して、森林はどの程度阻止できるのだろうか。その一例として、有林地と伐採地における侵食・流出土砂量の比較を表一に示す。すなわち、森林による侵食量軽減率は樹種によって異なり、スギ人工林では75%、照葉樹林では32%に涵滅されている。

水はまた地中に浸透して土壌を飽水し、その重量を増加するばかりでなく、土の摩擦係数を減少して安定角を小さくし、崩壊の危険性をはらませる。土壌は一般に、その性質として、わずかに湿気を帯びた時に安定角が最大となり、飽水すれば安定角は著しく低下し、いかなる土壌も30°以上では安定できないと言われている。この

ように、降水の山地荒廃現象におよぼす影響は少なくないが、その防止対策として豪雨の追放、雨量分布の変更等が全く考慮の対象にならない現状では、大地への雨滴落下後の水の機械的エネルギーを軽減する方法を採らざるを得ない。この要求に概ね応えられるものとして、まず第一に森林の抑止機能の活用が考えられる。

さて、ここで問題になるのは、森林のもつ山地荒廃防止機能を最大限発揮させるには、どうすればよいかということである。これについては、既往の崩壊地調査報告に、示唆の形で種々の提言がなされている。例えば、

① 浅根性樹種と深根性樹種とを混植または帯状に交互に植栽して、根系層の底部(底面)の摩擦抵抗を増加させること、

② 山腹一帯を被覆する根系網に疎密または中断された部分があれば、そこから崩壊が誘発されること、

③ 森林の伐採により、崩壊の発生頻度とその面積が増大すること、

④ 崩壊地の周縁部では、根系のほとんどが引張力で破断されること、

⑤ 崩壊に安全な樹種としては、概して針葉樹よりも広葉樹の方が効果的であり、老齢林や幼齢林よりも壮齢林の方が崩壊に安全であること、などである。

このような、森林の有する山地荒廃防止機能の発現に、最もかかわりの深いのは樹木根系であり、そのかかわりの機構を解明するためには、根系に対する工学的な評価を行う必要がある。このような方法論は、森林の山地保全機能の定量化を進める過程で、避けては通れない重要な研究課題である。

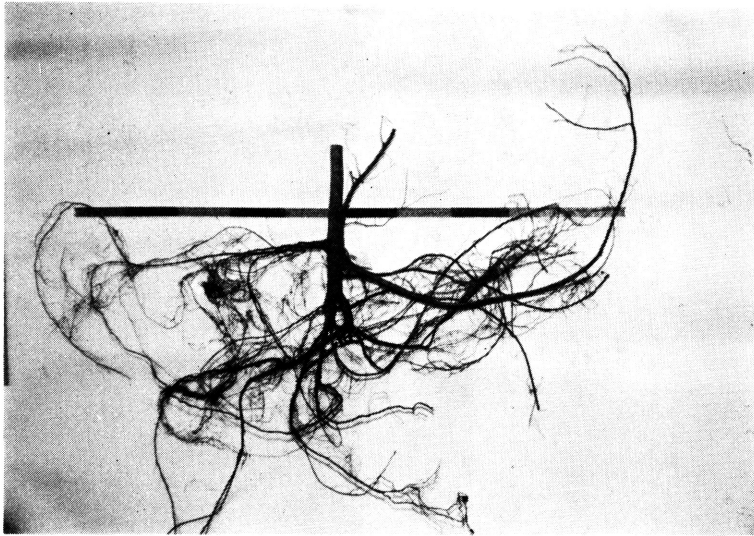
4. 根系の工学的評価

(1) 樹木根系の形態的特性

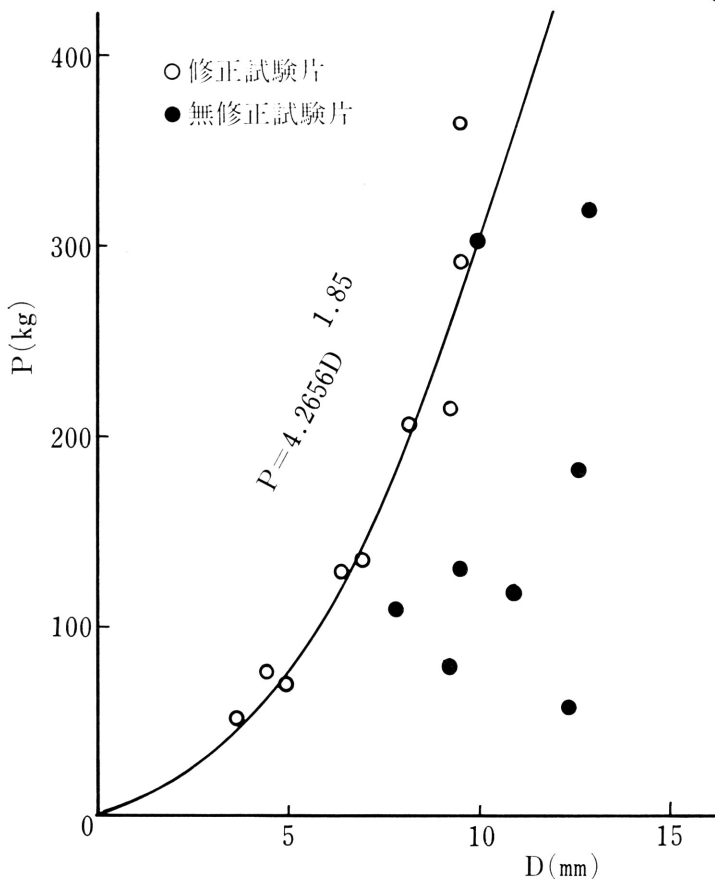
根系による土壌緊縛力や拔根抵抗力は、根元径、根株の腐朽度、材質の強弱等とともに、樹種による根張りとの関係が深い。根強りは、一般に樹種による特徴がきわめて顕著である。従って、樹種ごとの根張り特性が明らかになれば、樹種ごとの根系による土壌緊縛力や拔根抵抗力の定性的な評価が可能となり、その結果治山用樹種の選定も容易になる。

根系の形態については、マルバグミ、ケヤキ、ズミ、シラカンバのような水平根型(写真一1)、クロマツ、アカマツのような垂下根型(写真二2)、ブナ、ヤマザクラ、イタチハギのような斜出根型(写真三3)に分類され、垂直分布特性としては深根性が垂下根型と、浅根性が水平根型とほぼ一致する傾向が認められている。これらの樹種中、1次根の平均長ではシラカンバが最も長く、マルバグミが最も短かく平均根径ではブナやアカマ

写真—1 水平根型 (ケヤキ)



図—1 根系強度評価のための修正試験片の効果 (クロマツ根系の例)



ツが太く、イタチハギが細い傾向がうかがわれる。

(2) 樹木根系の工学的特性

わが国で最も早くから採用されている根系の工学的評価法としては、抜根抵抗力による土壌緊縛力推定法がある。これは、抜根（根株引抜、引き倒し）試験によって抜根抵抗力（引抜抵抗力、根返り強度）を測定し、これによって根系の土壌縛力を推定する方法である。この方法の利点としては、試験方法の簡便さがあげられるが、反面、根系表面と土壌との摩擦力(スキン・フリクション)に対する力学的な強度評価が困難である。

次に、米国では比較的多く採用されているのは根系強度の土質力学的評価法であり、根系を含む土のせん断強さを測定して、樹根による土のせん断強さの増分を求める方法である。この方法によって、根系の容積と土の粘着力の比例関係、根系を含む土のみかけの粘着力の推定、根系による土の力学的補強モデル（根系のまわりの土壌アーチ作用や根系シリンダーの概念）の提案などの有効な成果が得られているが、土層せん断面の根系に生じる引張応力と根系

写真-2 垂下根型 (クロマツ)

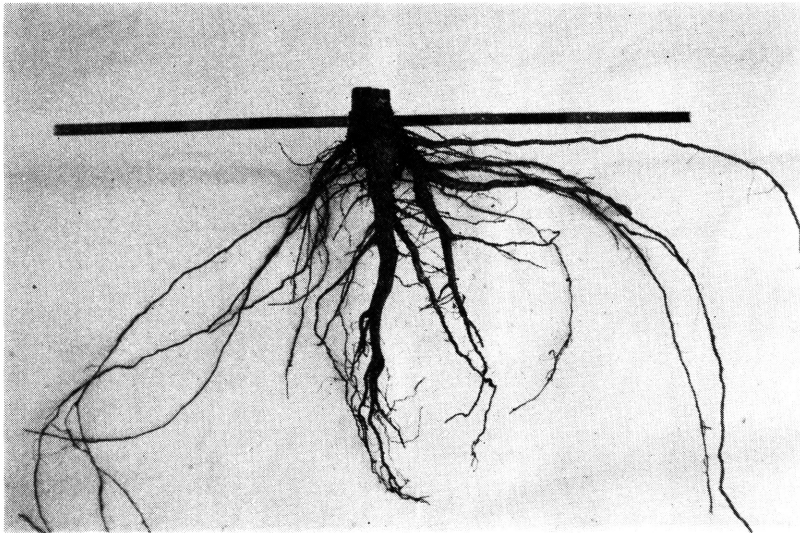
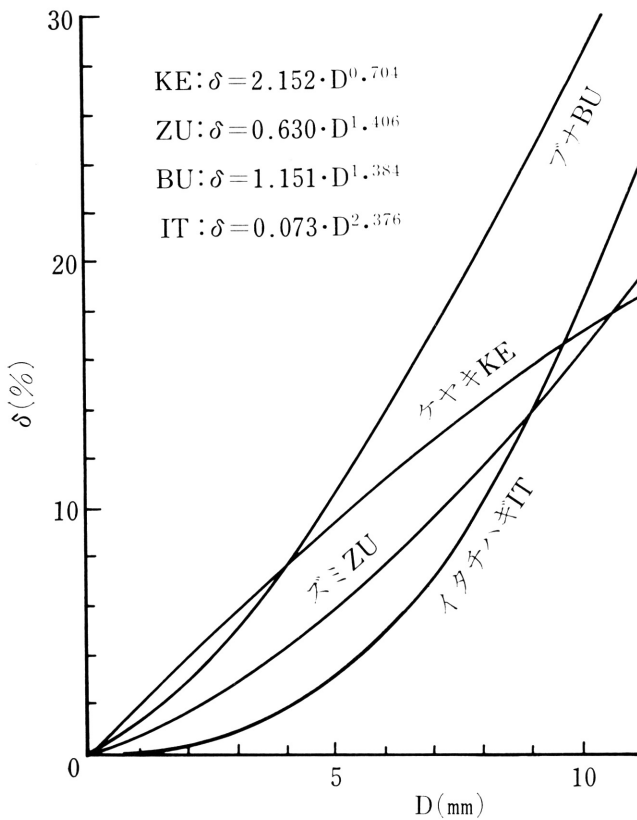


図-2 引張破壊時の樹木根系の伸長率



の弾性係数、あるいはせん断土層における土質条件の力学的評価が困難である。

さて、欧州で開発され、現在米国やわが国でも実施されているのが、根系強度の材料力学的評価法であり、樹木根系の抗張力を測定して、根系による斜面の安定度を求める方法である。まず、根系の抗張力試験は、従来から①繊維の引張試験法 (JIS-L 1069), ②フィラメント系の引張試験法 (JIS-L 1070), ③木材の引張試験法 (JIS-Z 2112), ④金属材料の引張試験法 (JIS-Z 2241) などに準じる方法が採用されてきたが、いずれの方法も試験片のチャック部の固定機構に難点がある。これが打開のため、修正試験片による新しい試験法が開発され、図-1のような修正試験片採用の優位性が示された。次に、樹木根系に引張応力が発生すると、根系は次第に伸長し、応力が降伏点に達すると伸びは最大となるが、その伸長率は図-2の例のように、樹種によって異なることが認められている。また、根系の引張力は根系の寸法(直径)とともに増大するが、その抗張力は図-3の例のように、樹種によって異なることが確認されている。

以上のように、樹木根系の工学的な評価については、現在、種々の方法が採用され試行されているが、根系の抗張力による斜面安定評価の一例として、米国における西オレゴン

写真-3 斜出根型 (イタチハギ)

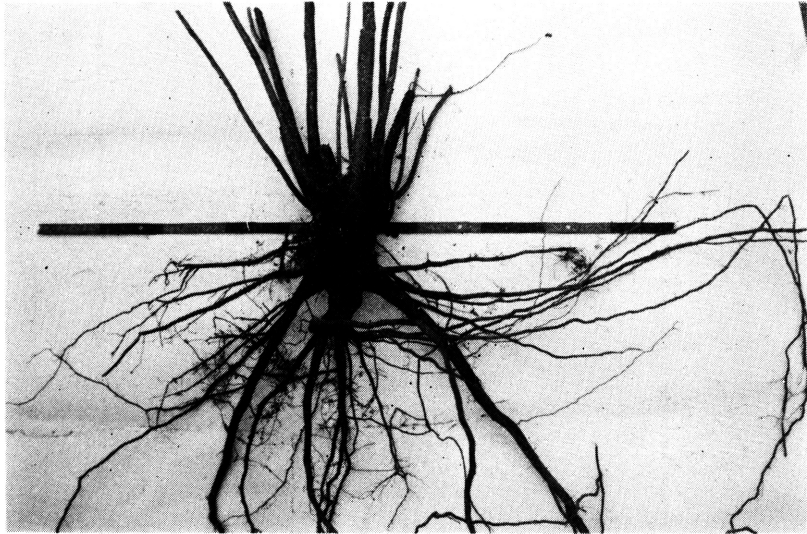
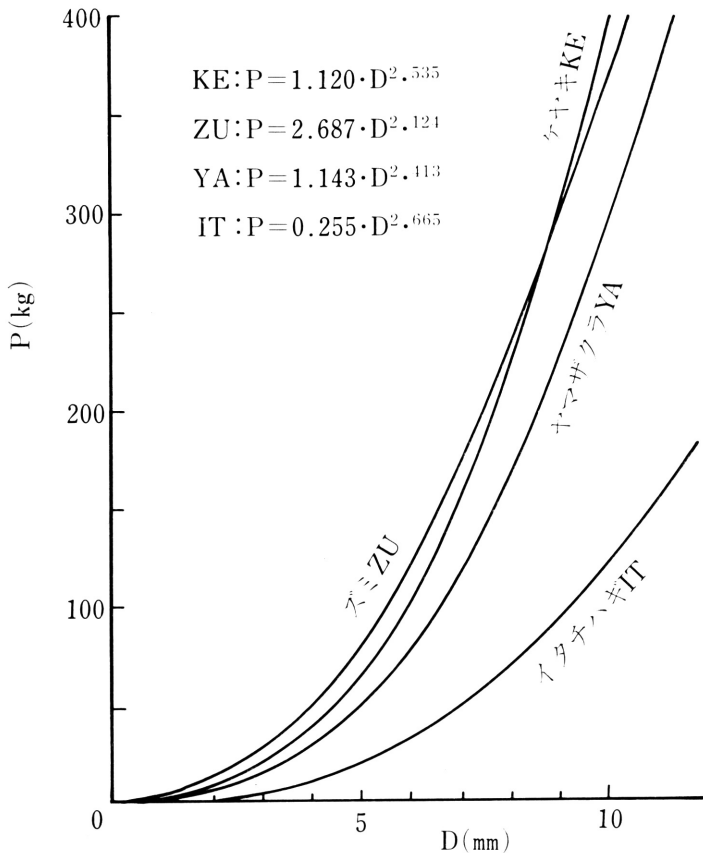


図-3 樹木根系の引張力の一例



産のコースト・ダグラスファー (CDF) と中央アイダホ産のロッキーマウステン・ダグラスファー (RDF) の2樹種について、林地および伐採跡地における試験結果を示すと、次のように要約される。

① 土層の単位断面当たりの根系数と根系一本当たりの引張強度は、両樹種とも伐採後急速に低下する。

② 伐採後、根系 (直径 1 cm 以下) の 75% 以上が腐朽ないし消滅するのに要する時間は、CDF が 24 箇月、RDF が 60 箇月である。

③ 土層の単位断面当たりの総引張強度を比較すると、伐採後 30 箇月以内で、CDF では 1700 kg/m² から 230 kg/m² に、RDF では 850 kg/m² から 300 kg/m² にそれぞれ低下する。

④ CDF の根系は RDF の根系より引張強度が高く、腐朽速度が早い。

⑤ 根系の強度は樹種特性によるが、腐朽度は気候条件に依存するものと考えられる。