

86 樹木根系の工学的評価に関する実験的研究 (Ⅲ) 根系の強度評価法に関する比較検討

森林総合研究所・関西支所 ○ 陶山 正憲・小林 忠一

1 はじめに

森林の公益的機能、特に斜面安定化機能を最大限に発揮させる方法については、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。このような森林の斜面安定化機能の発現に最もかかわりの深い樹木の部位としては根系が挙げられるが、同時に森林土壌の力学的特性に負うところが大きい。従って、そのかかわりの機構を解明するためには、根系の性質を力学的に評価すると共に、根系・土壌間のスキン・フリクションを適切に評価する必要がある。

今回は、根系の抗張力による斜面安定度の評価、伐根抵抗力による土壌緊縛力の推定、根系による繊維補強作用と土のせん断強度の増分評価等について、比較検討を行うと共に、樹木の工学的評価のポイントについて若干の検討を加える。

2 根系強度の各種評価法

森林の崩壊防止機能を力学的に評価するためには、従来から種々の方法が試みられているが、その中から比較的实施例の多い工学的な評価方法と、そのポイントを要約すると、次のようである。

2. 1 根系の抗張力による斜面安定度の評価方法

樹木の根系強度を材料力学的に評価して、根系による斜面の安定度を求める方法である。この方法では、根系試験片の作成や試験機の調整に比較的めんどうな手順を要するが、試験結果の力学的評価には、一般の材料力学的手法が直接適用できるので有利である。斜面の安定度を評価する場合には、根系試料のサンプリング方法と根系のスキン・フリクションの適正評価をはかる必要がある。

2. 2 伐根抵抗力による土壌緊縛力の評価方法

伐根（根株引き抜き、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、これによって土壌緊縛力を評価する方法である。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、抜根抵抗力の力学的な取扱が極めて困難である。

2. 3 根系による繊維補強作用と土のせん断強度の増分評価

樹木根系を含む土のせん断強さを測定し、根系による土のせん断強度の増加分を求める土質力学的評価方法である。この方法は、試験結果に対する力学的評価が比較的容易である反面、根系を含む土のせん断試験装置の作成とせん断試験の方法が一般にめんどうである。

3. 根系の抗張力による斜面安定度の検討

樹木根系の修正試験片による引張強度試験を行い、その結果を分析し、根系の直径 D (mm)と最大引張力 P (kg)との関係を樹種ごとに整理すると、図-1のように高い相関のべき乗回帰式で表される。その結果、樹木根系の抗張力は、供試根系の寸法範囲内では、ケヤキとズミが高い値を示すが、イタ

チハギは特に低い値を示す傾向がうかがわれる。一方、従来から知られている樹木根系の引張強度 (kg/cm^2) を、樹種別に平均値で示すと、ニセアカシア：700、ハギ：600（以上熊谷ら）、クロマツ：420、アカマツ：450、ヤマザクラ：560、ブナ：420（以上陶山ら）などである。

さて、崩壊跡地や風倒木を現地で調査すると、樹木根系は所定の断面では破断されず、それよりかなり小さな断面の部位で破断される現象をしばしば目撃する。この事実は、根系の有する本来の強度が完全には発揮されない環境、特に不十分な支持状態にあったことを意味している。図-2には、支持状態の異なる根系強度試験結果の一例（クロマツ）を示す。ここで、修正試験片によるデータは完全支持状態における理想的な引張強度であり、一方無修正試験片によるそれは、不完全な支持状態におけるものである。この結果は、根系の支持状態が不完全になれば、強度(P)は根系の有する本来の強度の数分の一以下に激減する事実を物語っている。

以上、要するに、林地における根系筋による繊維補強作用の機作を単純なモデルで表すと、根系筋による土のせん断強度の増分(τ_R)は

$$\tau_R = t_R (\cos \theta \tan \phi + \sin \theta)$$

$$t_R = \sigma_R (A_R/A)$$

$$\sigma_R = \left\{ \frac{4\tau E_R}{D_R} \right\}^{1/2} \left\{ \Sigma(\sec z - 1) \right\}^{1/2}$$

ここで、

t_R : 単位土層断面当たりの根系の平均引張強度

θ : せん断ひずみ角

ϕ : 土の内部摩擦角

σ_R : せん断面の根系に生じる引張応力

A_R/A : 根系断面率

E_R : 根系の弾性係数

τ : 根系表面の摩擦

D_R : 根系の直径

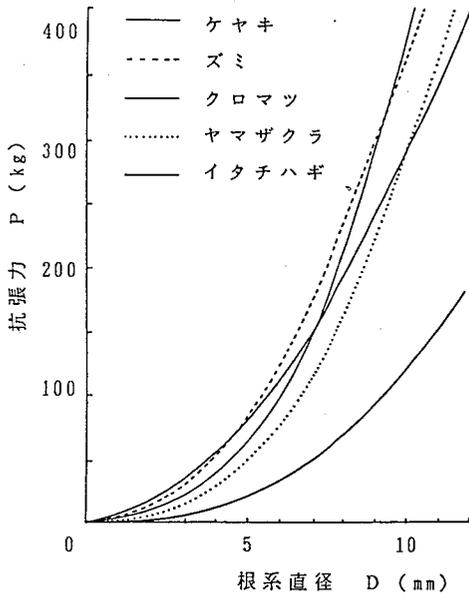
z : せん断層の厚さ

のように表される。このような単純モデルからも、根系本来の強度を完全に発揮させるには、根系表面のスキン・フリクションの増強が特に有効であることがわかる。

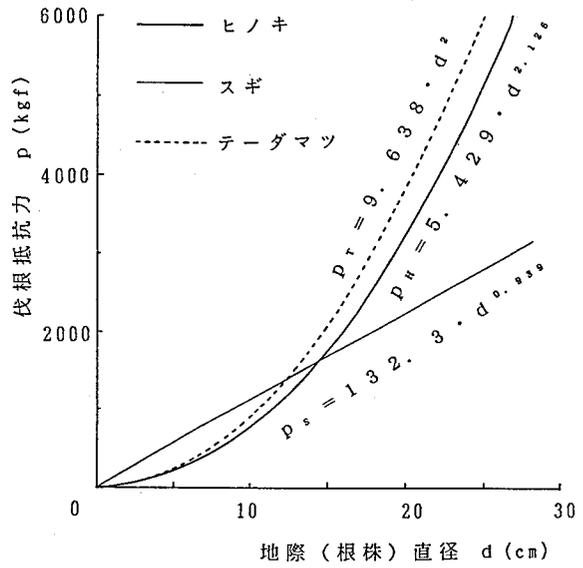
4. 伐根抵抗力による土壌緊縛力の検討

樹木根系の伐根抵抗力は、わが国で最も早くから採用されている根系の工学的な評価方法である。この試験は、立木や切株を斜面に平行あるいは鉛直方向に、引き倒しあるいは引き抜く方法であり、試験にはロードセル（力計）、チルホール（牽引機）、ワイヤロープなどが使用される。伐根抵抗力は、一般に根株の水平あるいは鉛直方向の最大引抜抵抗力として、ひずみ計で判読される。

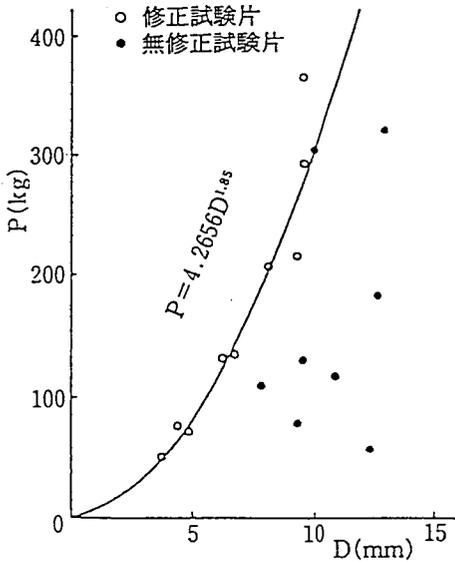
現地試験の結果として、地際（根株）直径 (d) と伐根抵抗力 (p) との関係を示すと、図-3のようになる。ここで、 p と d の回帰式として、最も適合度の高い式はヒノキとスギでは $p = a \cdot d^b$ 、



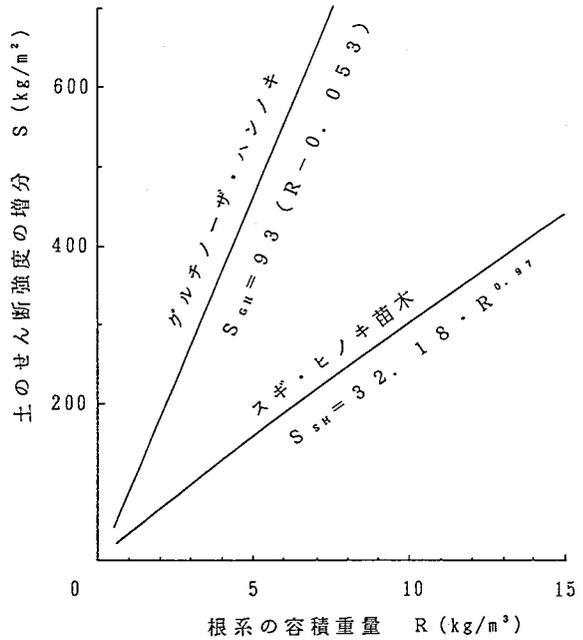
図一．樹種別の抗張力（最大引張力）の比較



図一三．地際（根株）直径と抜根抵抗力の関係



図一四．引張試験の方法による試験結果の比較



図一四．根系の容積重量と土のせん断強さの増分との関係

テーダマツ（小沼ら）では $p = a \cdot d^2$ となる。結果として、樹木根系の抜根抵抗力は、地際直径に比例して大きくなることは認められたが、これと土壌緊縛力との関連性については、更に検討を続ける必要がある。

5. 根系の繊維補強作用による土のせん断強度の検討

土のせん断試験の方法には、現位置直接せん断試験と室内一面せん断試験が、一般に採用されている。前者はせん断箱や外枠を牽引機で引っ張る方法と、ボアホールせん断試験法があり、後者は一面せん断試験機のせん断箱を圧縮する方法で、載荷部位によって上部可動型と下部可動型とがある。これらはいずれも根株または側根を含む土柱体について、根系に垂直方向のせん断強度を求める方法である。

根系を含む土柱体のせん断試験結果の一例として、図-4のような根系の容積重量(R)と土のせん断強さの増分との関係が求められ、更に根系を含む土層のせん断強度(S)は、土の粘着力(C)とせん断面に作用する鉛直応力(σ)から、

$$S = C + 0.65 \sigma \quad ; \quad C = 102 + 0.094 R$$

で表されることがわかった（遠藤ら）。その結果、土の粘着力は根量に比例して増加すること、土のせん断強さは内部摩擦力と粘着力との和であるので、土のせん断強度は根量に比例して増加することが結論づけられる。

以上の結果を総合すると、土のせん断強さは内部摩擦力と粘着力の和で表されるが、根系による土のせん断力増強作用は、主としてその粘着力(C)の強化に関与していることがわかる。従って、根系を含んだ土柱体のせん断強さの試験には、比較的簡便なベーンせん断試験法の適用が十分可能となる。

参考文献

- (1) 遠藤泰造ら：林業試験場北海道支場年報，18，167～182，1968
- (2) 熊谷才蔵ら：九大砂防ゼミノート，7，1～2，1969
- (3) 陶山正憲：治山，29(3)，64～70，1984
- (4) 陶山正憲ら：昭和61年度砂防学会研究発表会概要集，246～249，1986
- (5) 小沼順一ら：第40回日本林学会関東支部大会発表論文集，261～262，1988
- (6) 陶山正憲ら：平成3年度砂防学会研究発表会概要集，142～145，1990