

69 樹木根系の工学的評価に関する実験的研究 (I)

—木質根系の引張強度特性について—

農林水産省林業試験場 陶山正憲・原 敏男

1 森林の山地保全機能解明のための樹木根系の工学的評価の必要性

森林のもつ崩壊抑止能力には、ある限界のあることが一般に認められている。ただし、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も多々あるに相違ない。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。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きた。このような森林の山地保全機能の発現に、最もかかわりの深い部位は樹木根系であり、そのかかわりの機構を解明するためには、根系の性質を工学的ないし力学的に評価する必要がある。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、避けては通れない研究課題である。樹木根系による斜面安定化機構の解明には、根張りによる土壌緊縛力、抜根抵抗力、根系自体の抗張力などを正当に評価するのが効果的である。

根系の抗張力は、浅層崩壊の軽減ならびに崩壊地の表面侵食防止には、極めて有効であることが既に知られているが、その斜面安定化機構については、現在未だ十分な回答は得られていない。

本報では、まず筆者らの開発した樹木根系の修正試験片（1，2）による抗張力試験法に関する検討を行い、次に引張載荷時における根系の力学的挙動特性について若干の検討を加える。

2 根系の抗張力試験の方法と修正試験片の形状

根系の抗張力試験は、従来から①繊維の引張試験法（JIS-L1069）、②フィラメント糸の引張試験法（JIS-L1070）、③木材の引張試験法（JIS-Z2112）、④金属材料の引張試験法（JIS-Z2241）などに準じる方法が採用されてきた。しかしながら、いずれの方法にも試験片のチャック部の完全固定・支持機構に、共通の難点が指摘される。すなわち、試験片の張力が增大するにつれて、チャック部のフリクションが増大し、根系を締めつける力を大きくしなければ離脱しそうになり、そのためチャック部で根系試験片が押し潰されて、所定の抗張力が求められないことになる。この問題の解決法としては、試験機、特にチャック機構の改良と試験片の修正が考えられ、さらに試験片の修正には試験片の両端部（チャックで支持される部分）を補強する方法と、試験片の中央部に断面縮小部をつける方法が考えられる。筆者らは、試験片の作成に比較的めんどうな手順を要するが、根系の理想的な引張破壊の発生が比較的期待できる後者の方法を採用し、無修正試験片との比較に便ならしめた。

3 根系試験片の作成と抗張力試験の方法

根系試験片の作成は、まず採掘した根系を適当な長さ（15～20cm）に切断したのち水洗、剥皮して調製したものを無修正試験片とし、その中央部に金属丸棒の引張試験片に類似した断面縮小部をグラインダおよびナイフで成形したものを修正試験片とした。試験片の平均直径は、中央断面縮小部で3.6～16.4mm、チャック部で5.5～23.0mmである。

試験片のチャック間隔は直径によって異なるが、平均10cmを目標とし、試験片両端のチャック部分の長さは平均4cmに統一した。試験機（写真-1）は、林業試験場防災部の万能材料試験機

(REH-30、使用容量600kgおよび1500kg)を使用し、試験中は荷重速度一定(約60kg/min)の条件で破断時まで負荷し、試験中の応力と変位量($\sigma \sim \delta$)の変化をX-Yレコーダに記録した。

供試根系は、全て林業試験場千代田試験地の平坦な無処理苗畑で養成した若齢木の根系で、樹種は垂下根型(写真-2)のクロマツ、水平根型(写真-3)のケヤキ、ズミ、斜出根型(写真-4)のイタチハギ、ブナ、ヤマザクラの6種類で、ヤマザクラ(4年生)以外は全て6年生である。

4 試験結果と考察

4.1 修正試験片の優位性に対する検討

樹木根系の抗張力試験に有効な試験片の形状を選定するため、クロマツ側根(1次根)の修正試験片と無修正試験片による抗張力試験の結果を整理して、試験片中央部の平均直径D(mm)と引張破断時の最大荷重P(kg)との関係を示すと、図-1のような散布図が得られる。すなわち、無修正試験片によるクロマツ根系のP値は、全般的に低くてバラツキが大きく、しかもDとPとの間には何ら一定の傾向は認められない。一方、修正試験片によるDとPとの関係を見ると、図-1のように一定の関係が認められ、その回帰式は

$$P = 4.2656D^{1.850} \quad (\text{相関係数 } r = 0.976)$$

のような高い相関のべき乗回帰式で表わされることがわかった。

ここで得られた結果を重視して、以下の検討には修正試験片による試験結果を採用することにした。

4.2 応力~変位曲線による根系の破壊条件の推定

根系試験片に引張荷重を負荷すると、一般に種々の応力~変位(伸び)曲線の軌跡をたどりながら、

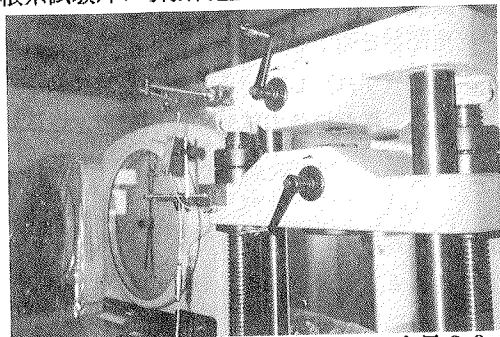


写真-1. 試験機 (REH-30, 容量30t)

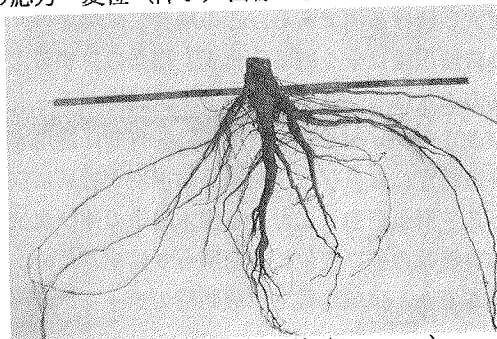


写真-2. 垂下根型 (クロマツ)

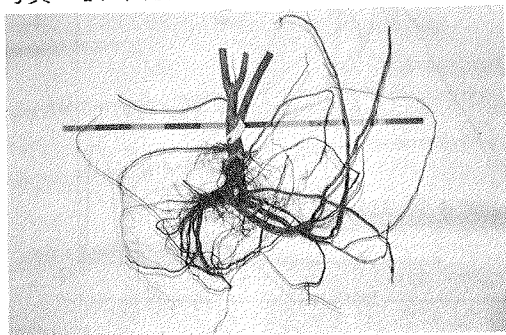


写真-3. 水平根型 (ズミ)

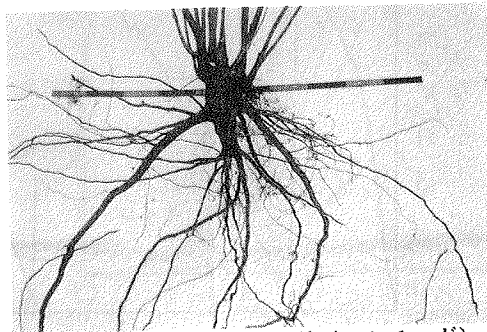


写真-4. 斜出根型 (イタチハギ)

最終破断に至る。このように複雑な曲線の軌跡を単純にモデル化すると、一般に図-1のような四つの典型的なタイプに分類される。

まずタイプIは、一般のコンクリートや岩石のようなぜい性材料に類似した曲線形を示している。この場合、根系試験片にはほぼ完全な引張破壊現象が発生したことを意味し、引張応力が降伏点に達するや否や、一挙に応力が解放されて低下する態様が明確に示されている。

次にタイプIIおよびIIIは、引張応力が降伏点に達する直前ないしかなり以前から、試験片チャック部の摩擦力不足による試験片の支持力低下現象が起る場合で、これは引張破壊とチャック部分の破壊ないし破損現象が、ほぼ同時に発生したことを示している。

一方、タイプIVはこれとは全く異なり、試験片チャック部の支持力低下～若干の復元というサイクルを繰り返しながら、伸び量(率)だけが増大し続ける例である。この場合、試験片の引張破断現象は全く認められず、根系の有する抗張力よりはるかに小さな力で、試験片がチャック部から離脱(ずれ)していることが容易にわかる。このように、 $\sigma \sim \delta$ 曲線(波形)を有効に活用すると、根系の適正な抗張力試験の監視、根系の破壊条件の設定、ならびに試験結果の選別が容易になる。

4. 3 引張荷重下における樹木根系の伸び変位特性

木質根系の伸び変位特性を明らかにするため、負荷開始～最終破断に至る過程で生じた試験片の伸び量 $\Delta \ell$ と、試験片長さ(破断時のチャック間隔) ℓ との比 $\Delta \ell / \ell$ を求め、これを伸び率 δ (%)

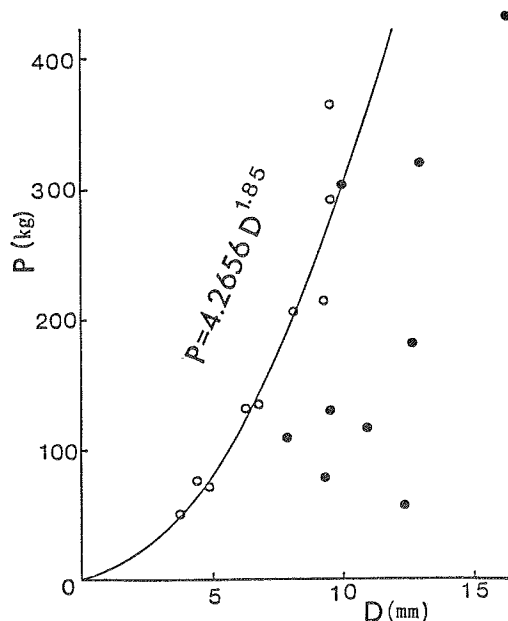


図-1. クロマツ根系の修正試験片と無修正試験片による引張試験結果の比較(白丸が修正試験片、黒丸が無修正試験片)

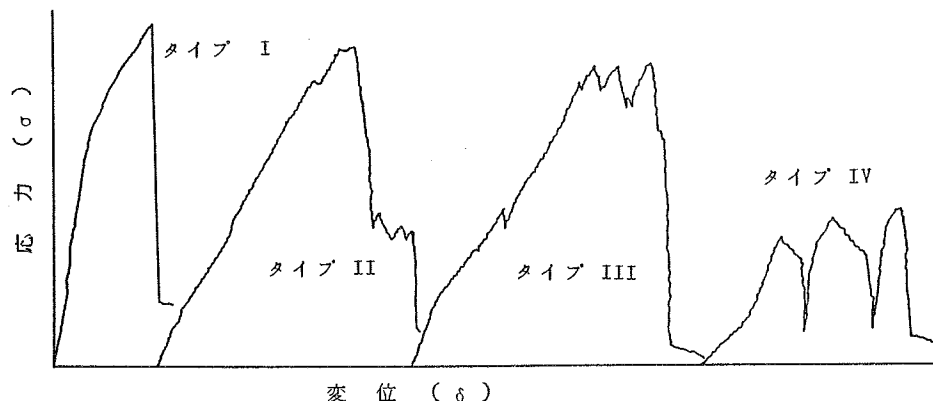


図-2. 根系の抗張力試験時における応力～変位(伸び)曲線のモデル化とタイプ分け

と定義し、この δ と根系試験片の直径D (mm) との関係を樹種ごとに散布図に示し、それらと比較的相関の高い ($r = 0.8$ 以上) べき乗回帰式

$$\delta = \alpha + D^\beta$$

を樹種ごとに求めると図-2のような回帰式が得られる。

結果として、4樹種中、指数 β が最も大きいのはイタチハギであるが、供試根系の寸法の範囲内では、ブナが最も伸びやすい樹種といえるが、これについてはさらにデータを蓄積して再検討する必要がある。

4. 4 砂防用樹種の根系抗張力の比較検討

根系の引張強度試験時の応力～変位 ($\sigma \sim \delta$) 曲線が、おおむねタイプI～IIIまでの試験データを選定して、根系試料の直径 (D) と最大荷重 (P) との関係を樹種ごとに散布図に示すと、図-3のようなべき乗回帰式

$$P = \alpha + D^\beta$$

で表わされることがわかった。

結果として、供試根系4樹種の平均抗張力は、供試根系の寸法範囲内では、ズミとケヤキが大きく、イタチハギが特に小さくなる傾向がうかがわれるが、回帰式の指数 β はイタチハギがわずかながら最大値を示している。これについては、さらに供試根系の寸法範囲を広げて、検討を継続したい。なお、4樹種の相関係数 $r = 0.93 \sim 0.97$ となり、いずれも比較的高い相関関係にある。

引用文献

- (1) 陶山正憲・原 敏男：96回日林論、643～644、1985
- (2) 陶山正憲・原 敏男：37回日林関東支論、213～214、1986

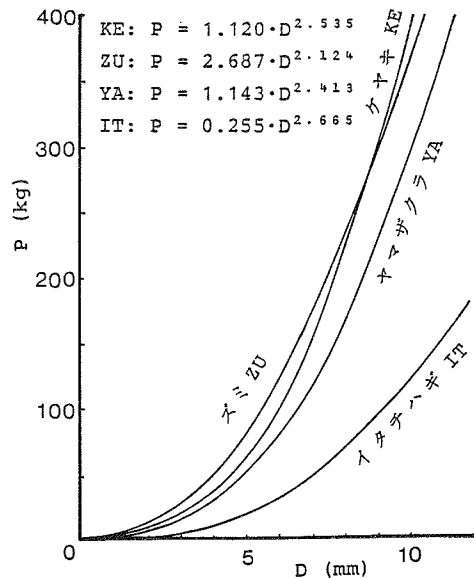
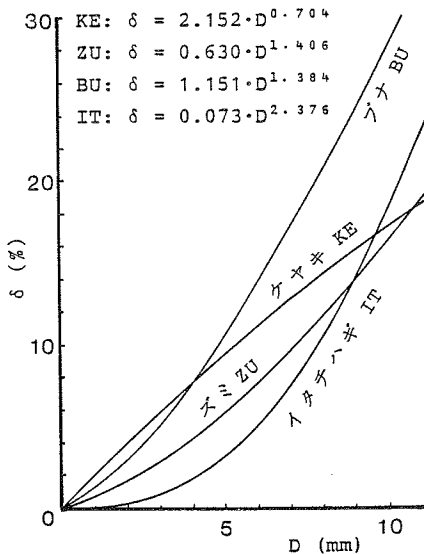


図-3. 樹木根系の伸び(率)と直径との関係 図-4. 根系の引張力の推定式(べき乗回帰式)