

38 樹木根系の工学的評価に関する実験的研究 (II)

森林総合研究所 関西支所 陶山 正憲

1 はじめに

森林のもつ公益的機能、特に山地保全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きた。このような森林の山地保全機能の発現に、最も関わりの深い部位は樹木根系であるが、同時に根圏土層の力学的特性に負うところが大きい。従って、その関わりの機構を解明するためには、根系の性質を工学的に評価すると共に、根系の優れた性質を十分発揮させるための根系支持条件を求める必要がある。樹木根系の強度評価については、既に修正試験片による根系の抗張力試験法が提案され、これによって樹種ごとに引張強度が精度良く求められている。

本報では、既報の結果を適用して、根圏土層の根系支持条件による根系強度の発現機構を解明すると共に、立木周辺における根圏土層のせん断強度の分布状態について若干の検討を行う。

2 強度試験の方法

2. 1 樹木根系の抗張力試験の方法

樹木根系の抗張力試験(1)は、根系の修正試験片(2、3)を用いて、万能材料試験機(REH-30, 使用容量 600 kg 及び 1500 kg)で実施した。試験中は荷重速度一定(60 kg/min)の条件で破断時まで負荷し、載荷時の応力と変位量($\sigma \sim \delta$)の変化は X-Y レコーダに記録された。

2. 2 根圏土層のせん断試験の方法

樹種・樹齢ごとに、立木周辺における根圏土層のせん断強度の分布状態を明らかにするため、根圏土層のベーンせん断原位試験(Vane Shearing Test in situ)を行なった。

ベーン試験は、比較的軟弱な粘土質地盤のせん断強度を、簡単に測定するのに適している。この試験装置は、図-1に示すように4個の直交した羽根(十字型ベーン)を有し、このベーンを土中に静かに挿入したのちベーンを回転させ、その回転角の増大に要するトルク(ねじりモーメント)をトルクレンチで測定すると、根圏土層の非圧密急速せん断強度が算出される。なお、土層が粘土であれば、得られた結果は粘着力である。

さて、図-1に示したように、ベーンの長さ(半径)をRとすれば、せん断抵抗力は半径Rの円筒面のまわりと、ベーンの上下両端面で発生する。ここで、せん断抵抗の中心に対するモーメントを粘着力Cで表わせば、まず半径Rのベーンからなる上下両端面のモーメントは式(1)で、次に高さHのベーンからなる円筒面のモーメントは式(2)で、それぞれ表わされる。

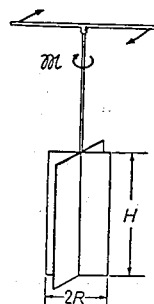


図-1. ベーンせん断試験装置

$$2 \int_0^R \int_0^{2\pi} cr^2 d\theta dr \quad \dots (1)$$

$$\int_0^{2\pi} cHR^2 d\theta \quad \dots (2)$$

従って、ベーンの軸にトルクを与え、ベーンが地中を回転し始めた瞬間のトルクをMとすれば、Mは式(1)、(2)から次の式(3)のように表わされる。

$$M = 2 \int_0^R \int_0^{2\pi} cr^2 d\theta dr + \int_0^{2\pi} cHR^2 d\theta = 2\pi c \left[\frac{2R^3}{3} + R^2 H \right] \quad \dots (3)$$

その結果、せん断抵抗力(粘着力)は式(4)から求められる。

$$c = \frac{3M}{2\pi[2R^3 + 3R^2 H]} \quad \dots (4)$$

今回は、主として密植された林内(立木間隔 70 cm 程度)における根圏土層のせん断強度と、比較的広い範囲(5~10 m)に樹木のない孤立木周辺における根圏土層のせん断強度の分布について検討を行った。

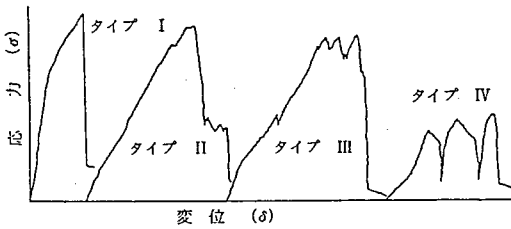


図-2. 根系の抗張力試験時における応力～変位曲線のタイプ分け



図-3. クロマツ密植人工林(9年生)

表-1. 密植人工林における根圏土層のせん断力の比較

樹種	クロマツ	ヒノキ
樹齢	9年生	12年生
平均樹高(m)	4.8	10.5
平均立木間隔(cm)	88.0	84.5
立木密度(本/ha)	13000	14000
せん断力(kg/cm ²)	0.764 ~ 0.611	0.673 ~ 0.742
土壌硬度(mm)	21 ~ 24	18 ~ 23
地際直径(cm)	4.8 ~ 9.9	4.8 ~ 16.2

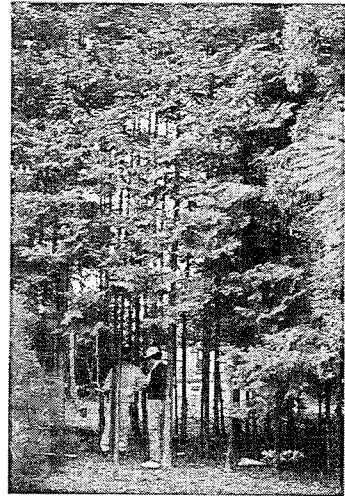


図-4. ヒノキ密植人工林(12年生)

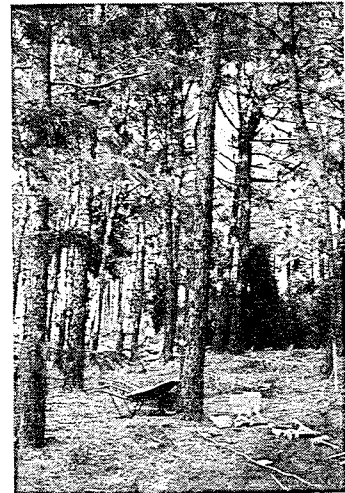


図-5. テーダマツ粗植人工林(28年生)

3 根系の支持条件と根系強度の発現機構に関する検討

崩壊跡地の現地調査はじめ、抜根試験や根圏土層のせん断試験において、樹木根系は所定の断面では破壊（破断）されず、それよりかなり小さな断面で破壊している現象をしばしば目撃する。この現象は、根系の有する抗張力が完全には発揮されない力学的環境、特に支持状態であったことを意味している。

一般に、樹木根系の引張強度試験（1）の結果をみると、根系試験片の支持条件によって、その強度値は大きくばらつき、完全支持状態における理想的な強度値と、不完全支持状態における強度値との差は、極めて大きいことが認められている。この現象は、図-2のような根系の抗張力試験時における応力～変位（伸び）曲線（2）からも容易に説明できる。すなわち、図-2に示した4種の曲線のうち、タイプ I のみが完全支持（固定）状態を示し、タイプ II～IV はいずれも不完全支持（固定）状態を示している。つまり、図-2のタイプ I の支持状態のときのみ、根系の理想的な抗張力が発揮されるのである。

さて、ここで最も注目すべきはタイプ IV の挙動である。これは現実の根圏土層による根系の支持状態に極めて類似しているものと推察される。すなわち、根系の抗張力発生～根系の伸び～根系の支持力低下～根系の支持力復元」というサイクルを繰り返しながら、根系の伸びだけが確実に進行していく現象である。この場合、所定の根系断面における引張による破壊現象は全く認められず、根系の有する引張強度よりはるかに小さな力で、根系が支持（固定）部分から離脱（抜け）、あるいは所定の根系断面より相当小さな断面で破断するものと考えられる。

以上、要するに、一般林地における根圏土層の根系支持条件による根系強度の発現機構の解明には、土層のせん断面の根系に生じる引張応力、根系表面の摩擦抵抗、単位土層断面当りの根系の平均引張強度等を用いた力学モデルの構築が必要かつ有効であると考えられる。

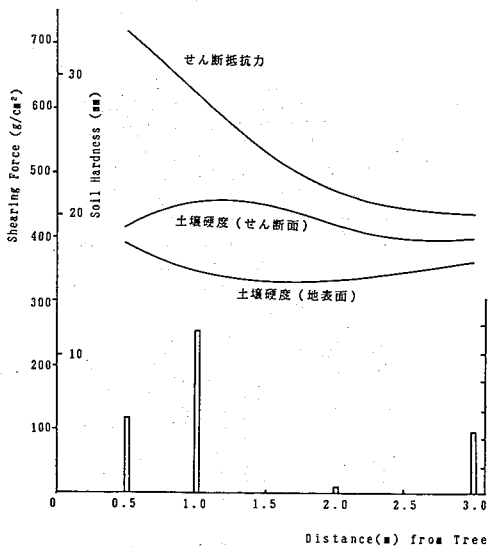


図-6. 孤立木周辺における根圏土層のせん断力の分布

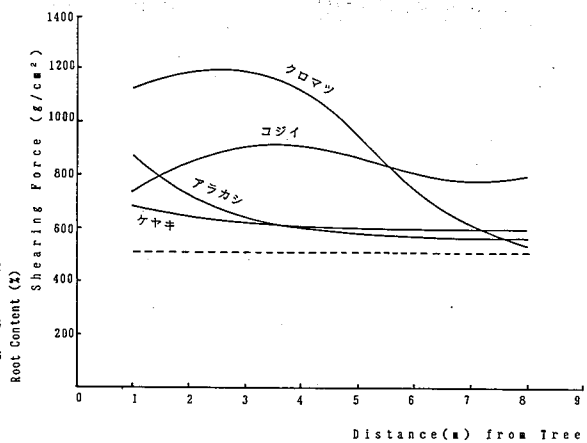


図-7. 孤立した庭園木周辺の根圏土層のせん断力の比較

4 立木周辺における根圏土層のせん断強度分布に関する検討

4. 1 密植人工林内における根圏土層のせん断抵抗力の推定

林内における根圏土層のせん断強度の限界値を推定するため、比較的密植された人工林内において、各隣接立木間距離の中間点における根圏土層のせん断試験を行った。供試林分は9年生のクロマツ人工林(図-3)と12年生のヒノキ人工林(図-4)で、前者は平均樹高4.8(m)、地際直径4.8~9.9(cm)、平均立木間隔88(cm)、立木密度13,000(本/ha)、後者は平均樹高10.5(m)、地際直径4.8~16.2(cm)、平均立木間隔84.5(cm)、立木密度14,000(本/ha)である。これら両林分の特徴と試験結果を要約すると表-1のようである。すなわち、両林分とも根圏土層のせん断抵抗力は無根土層に比べて極めて大きく、いずれも $C = 0.611$ (kg/cm²)以上の測定値を示している。なお、両林分とも樹冠によるうっ閉度は密であるので、地表植生は全くなく、地表面の土壌硬度も比較的高い値を示している。

4. 2 孤立木周辺における根圏土層のせん断強度の分布

土層のせん断強度に対する樹木根系による繊維補強作用の限界を求めるため、比較的粗植されたテ-ダマツ人工林(京都市伏見区)と、周辺にほとんど樹木のない4樹種の庭園木(京都市上京区)について、孤立木周辺における根圏土層のせん断強度試験を行なった。

まず、テ-ダマツ人工林(図-5)は、樹齢28年、平均樹高16(m)の林分で、供試木は隣接木から3m以上離れた孤立木で、胸高直径30.1(cm)、地際直径37.6(cm)である。この供試木の地際から放射状に0.5、1.0、2.0、3.0(m)の各地点において、根圏土層のせん断強度、土壌硬度、根系含有率等を求め、その変化の態様を図-6に示した。結果として、根圏土層のせん断抵抗力は立木に近いほど大きく、 $C = 700$ (g/cm²)以上の値を示すが、立木から3m離れた地点の強度は、その約65%に低下することが確認された。ただし、根系の含有率は立木から1m程度離れた地点で最大となり、表層土壌の硬度にほぼ対応している。

次に、孤立した4樹種の庭園木は、針葉樹のクロマツ(地際直径96cm)、照葉樹のコジイ(地際直径64cm)とアラカシ(地際直径48cm、萌芽株立12本)、及び落葉広葉樹のケヤキ(地際直径127cm)で、いずれもかなりの大木である。これらの立木の地際から放射状に測点を並び、各測点における根圏土層のせん断強度を求め、その変化の態様を図-7に示した。結果として、立木の地際からの距離による根圏土層のせん断強度の低下現象は、樹種によって異なり、クロマツでは立木の地際から約2mの地点、コジイでは約4mの地点で、根圏土層のせん断強度がそれぞれ最大となり、その後次第に低下する傾向を示している。一方、アラカシでは立木にかなり近い地点で根圏土層のせん断強度が最大となり、以後次第に漸減するし、ケヤキでは立木からの距離にかかわらず、根圏土層のせん断強度はほぼ一定の値を示している。

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
- (3) 陶山 正憲・原 敏男: 昭和61年度砂防学会研究発表会概要集, 246~249, 1986