

# 樹木根系の引張抵抗力の比較について

信州大学農学部 4年 若杉 祐希

## 1. はじめに

森林の持つ崩壊防止機能は引き抜き抵抗力と根系分布により決まる(1)。このうち引き抜き抵抗力は生根の引張強度と密接に関係している(4)ため、引張試験を行うことによって引き抜き抵抗力を推定することが可能である。多くの樹種の引き抜き抵抗力と引張強度の関連性を明らかにすることは、林分全体の斜面の安定性を評価する上で必要不可欠である。しかしながら既存の研究では、ヒノキやカラマツの主要造林樹種や落葉広葉樹根系が対象とされており(例えば3)、常緑広葉樹根系に関しては研究例が少ない。そこで本研究では、これまで難しいとされた生根での引張試験方法を提言した上で、常緑広葉樹からウバメガシ、シラカシ、アラカシ、マテバシイ、クスノキ、ソヨゴ、モチノキ、マサキ、カクレミノの9樹種、落葉広葉樹からミズナラ、ホオノキ、シロモジ、キハダ、ハゼノキの5樹種、針葉樹からカラマツ、クロマツ、スギ、コウヤマキ、ヒノキの5樹種の計19樹種を対象に引張試験機による生根の引張試験を行った。

## 2. 採取地及び対象樹種

採取地は、愛知県田原市にある栽培漁業センター構内と岐阜県多治見市の民有林、長野県上伊那郡南箕輪村の信州大学附属 AFC 構内演習林の3か所である。

栽培漁業センター構内の林相は52年生のクロマツ人工林であり、林床にはシャリンバイやウバメガシなどの暖帯常緑広葉樹が生育している。標高は2mであり、地形は平坦で、土壌は礫交じりの砂土である。最寄りのアメダス観測所によると年平均気温は16.0℃、年平均降水量は1,602mmである。

岐阜県多治見民有林の林相は、アカマツ人工林であり、林床にはクリやコナラなどの広葉樹が点在するほか、シラカシやウラジロガシなどの暖帯常緑広葉樹も確認できる。標高は155mであり、地形は傾斜地で、土壌は褐色森林土である。年平均気温は14.8℃、年平均降水量は1,626mmである。

信州大学構内演習林の林相は樹木見本林であり、林床には特に目立ったものは生育していなかった。標高は770mであり、地形は平坦で、土壌は黒ぼく土である。年平均気温は11.3℃、年平均降水量は1,421mmである。栽培漁業センターでは、ウバメガシ、クスノキ、モチノキ、カクレミノ、シロモジ、ハゼノキ、クロマツを採取し、岐阜県多治見民有林ではシラカシ、アラカシ、マテバシイ、ソヨゴ、マサキを採取し、信州大学構内演習林ではスギ、ヒノキ、ミズナラ、ホオノキ、キハダを採取した。採取した個体はいずれも胸高直径が10cm前後のものである。

## 3. 試験方法

対象樹種の生根は移植ごとと剪定ばさみを用いて採取した。採取した生根は極力早く引張試験を行ったが、保存する場合は2、3週間冷蔵用保存袋に入れ冷蔵庫で保存し、自然含水状態を維持した。引張試験は、自然含水状態に近い生根を使用するのが好ましい。しかし、従来の試験方法では試験機のグリップ部分でスリップしてうまく荷重がかからず破断しないため、採取後やや乾燥させた単根で試験を行うものがほとんどであった(2, 4)。そこで本研究では、試験片制作の段階で中央部の破断部断面を半分、カッターナイフで削り加工した。そして半分になった部分(図-1中のr)をノギスで計測し、試験を行った。このように、あらかじめ加工することで破断箇所を決定し、生根での試験を可能にした。さらにグリップ部分との接地面積を大きくするため上下グリップ部分に相当する部分を平面に加工した(図-1)。これらの加工を施した試験片をグリップに挟み、引張速度を2mm/minに設定して試験を行った。試験は引張試験機(島津製作所 EZ-L)を用いた。根が破断したのち、最大引張荷重(kN)を計測した。また、引張応力ひずみを測定するため、5秒おきの引張荷重も記録した。測定本数は各樹種10本程度である。

## 4. 結果と考察

### 4-1. 応力集中について

本研究では3. 試験方法で述べたように、試験片に加工を施すことによってあらかじめ破断箇所を決定し、生根での試験を可能にしている。しかし、この加工方法では、試験片に形状の不連続性が生まれ、応力集中が起こることが懸念される。応力集中とは形状の不連続性から近くに通常より大きな応力が発生してしまうことをいう。応力集中は応力集中係数 $\alpha$ によって評価できる。そしてこの応力集中係数は不連続部、つまり加工後に発生する最大応力と加工前の応力の比で表され、以下の式のようになる。

$$\alpha = \text{加工後の引張強度} / \text{加工前の引張強度}$$

この $\alpha$ が1より大きければ応力集中は起こっているとされ、値が大きいほど応力集中の度合いも大きい。

この式を用いて、カラマツとヒノキの2樹種で応力集中係数を算出した。ヒノキの加工前試験片は野々田(2001)の試験片で得られた引張強度を用い、加工後試験片は本研究の試験片で得られた引張強度を使用している。カラマツは両方とも本研究の試験片で得られた引張強度を使用している。

算出した応力集中係数は以下のとおりである。

$$\text{カラマツ (1.20) } \quad \text{ヒノキ (1.10)}$$

本研究での応力集中の有無は、先のデータから見て取れるように、1.10~1.20と1に近い値を示している。また、引張強度自体が、カラマツ(加工後1.31と加工前1.07)、ヒノキ(加工後3.44と加工前3.10)と非常に近い値をとっていることから、応力集中は発生しているが、大きな影響を及ぼすものではないと判断できる。

### 4-2. 最大引張荷重と破断部皮つき直径の関係

根系の最大引張荷重と破断部皮つき直径との関係式は以下の累乗式で表わされる(3)。

$$T = AD^3 \quad \dots \dots \dots (1)$$

T: 最大引張荷重 (kN)    D: 破断部皮つき直径 (mm)

なお、本研究では試験片中央部の破断部断面を半分に切削しているため、Tには引張荷重を2倍した値を用いた。

引張試験により得られた各樹種の最大引張荷重と破断部皮つき直径との関係を図-2に示し、各回帰式ならびに算出した引張強度 $\sigma_{\max}$  (kN/cm<sup>2</sup>)を表-1に示す。nは試験片本数を、A、Bは回帰式における係数を、 $\sigma_{\max}$ は引張強度を、 $R^2$ は決定係数を示す。アラカシは有意水準5%で有意である。それ以外の樹種は有意水準1%で有意であった。

各樹種を引張強度順に並び変えたものを図-3に示す。引張強度は針葉樹でもクロマツやカラマツなどのように弱いものと、スギやヒノキのように強いものに分かれた。また、広葉樹はキハダなどの弱いものからハゼノキなどの強いものまで幅広い。以上より、引張強度は樹種によって約6倍もの差があることがわかった。これより、引張強度は針葉樹と広葉樹といった風は大別されるのではなく、樹種によって違いがあるのだと思われる。

### 4-3. 生物学的分類の違いによる比較

生物学的分類と引張強度に関係性があるか調べるため、回帰式の平行性を検討した。対象樹種をリンネ式生物学的分類における科(family)で分類し、共通する科に属するものは以下の4つである。

- マツ科 (カラマツ、クロマツ)
- ブナ科 (ミズナラ、ウバメガシ、シラカシ、アラカシ、マテバシイ)
- クスノキ科 (クスノキ、シロモジ)
- モチノキ科 (ソヨゴ、モチノキ)

この4科において回帰式の併合性の検定を行ったところクスノキ科、モチノキ科に関しては相関が認められなかったが、マツ科、ブナ科に関しては有意水準5%での相関が得られ回帰式は併合できるとされた。ブナ科の併合されたものを図-4に示す。これによって、マツ科とブナ科は生物学的分類が引張強度の指標になる可能性があると考えられる。今後対象樹種をさらに増やし、検討していくことが必要だと考えられる。

#### 4-4. べき乗係数Bについて

既存の研究では(1)式におけるべき乗係数Bは2に近い値をとることが多いとされている。しかし、本研究では係数Bの値は対象樹種の半数が2に近い値をとるものの、残りは1.29~2.65と大きくばらついた。引張強度と断面積の間には高い相関が見られることから係数Bが2に近い値をとるのは理論的にも問題は無いと思われる。しかし、これまでの研究例でも係数Bの値がばらつくことがあり、一断面に皮部と木部の強度の異なる2つの部分が存在することが要因ではないかと考えられる。

#### 5. まとめ

本研究で、従来の研究では難しいとされてきた生根での引張試験方法を提言し、そのうえで常緑広葉樹を主とする19樹種の引張強度を明らかにすることができた。樹種ごとの引張強度を見ると、針葉樹と広葉樹で大別されるのではなく、樹種ごとに違いがあるのだと考えられた。また、マツ科、ブナ科に関しては回帰式の併合ができ、生物学的分類が引張強度の指標になる可能性があると考えられた。しかし、根系の物理的特性に関してはいまだ未解明な部分も多く、今後の課題となっている。

#### 6. 引用文献

- (1) 阿部和時・岩本 賢・三森利昭・石垣逸郎・垂水秀樹 (1986) 斜面安定に影響する根系分布と引き抜き抵抗力に関する一考察. 日林論 97 : 595-598
- (2) 牛島政志 (2010) 溪畔樹種と低木類を主とする単根の引張強度試験. 信州大学農学部森林科学科専攻研究論文 : pp. 9
- (3) 野々田稔郎・林 拙郎・川邊 洋 (2001) 樹木単根の引張強度特性から推定される根系の引張抵抗力. 日林学術講 112 : 351
- (4) 松下将大 (2008) 林床に侵入する広葉樹根系の引き抜き抵抗力と単根引張強度の関係. 中部森林研究 57 : 183-186

表-1 各樹種の累乗式及び引張強度  $\sigma_{max}$

SP	n	A	B	$\sigma_{max}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	R <sup>2</sup>	SP	n	A	B	$\sigma_{max}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	R <sup>2</sup>
カラマツ	9	0.0044	2.35	1.31	0.814	ホオノキ	12	0.0141	1.92	1.47	0.949
クロマツ	8	0.0336	1.44	1.10	0.765	クスノキ	10	0.0754	1.29	1.72	0.858
スギ	10	0.0058	2.66	3.61	0.926	シロモジ	9	0.0151	2.08	2.33	0.809
コウヤマキ	12	0.0054	2.19	1.08	0.725	キハダ	10	0.009	2.01	1.17	0.728
ヒノキ	20	0.0139	2.23	3.08	0.604	ハゼノキ	9	0.0979	1.7	6.02	0.800
ミズナラ	16	0.0169	2.09	2.69	0.668	ソヨゴ	11	0.0134	2.19	2.70	0.851
ウバメガシ	17	0.0155	2.18	3.05	0.946	モチノキ	10	0.022	2.1	3.57	0.792
シラカシ	13	0.0074	2.51	3.24	0.809	マサキ	9	0.0168	1.94	1.85	0.893
アラカシ	11	0.0476	1.66	2.67	0.537	カクレミノ	11	0.0136	2.06	2.00	0.845
マテバシイ	10	0.0127	2.34	3.68	0.934						



写真-1 加工した試験片を上から見た図

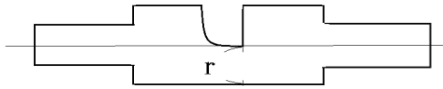


図-1 試験片を横から見た図

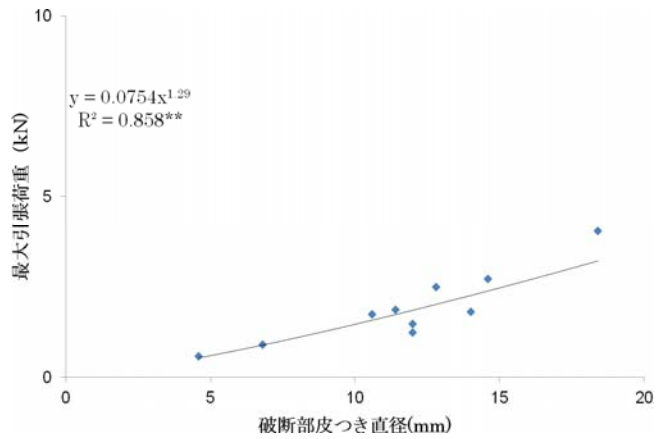


図-2 最大引張荷重と破断部皮つき直径との関係  
クスノキ

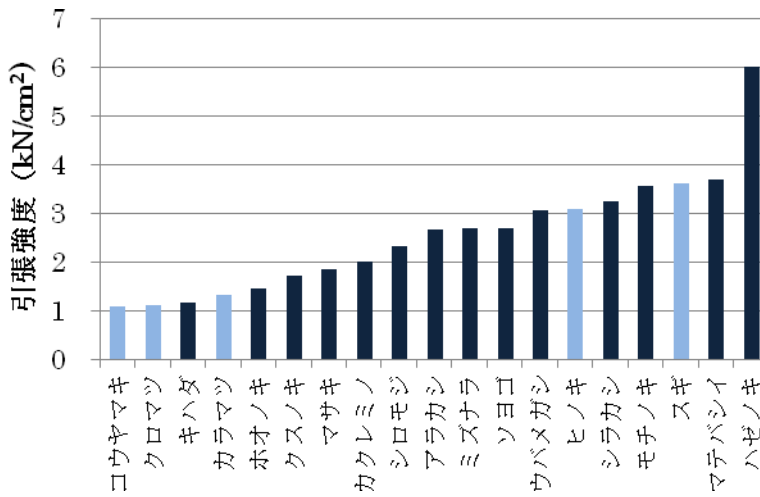


図-3 樹種ごとの引張強度の比較

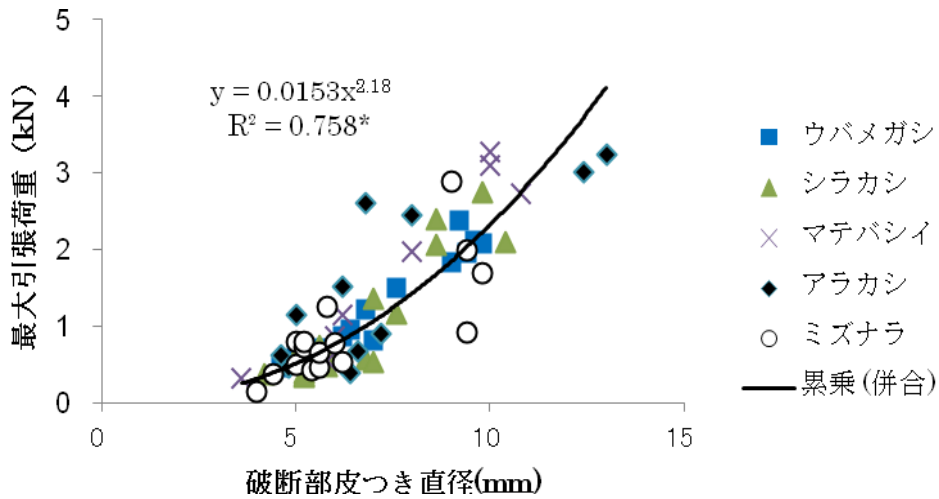


図-4 ブナ科の回帰式併合結果