

韓国, 江原道東海岸地域における海岸林に関する研究(II)

- 孟芳海岸林におけるクロマツ林の根系特性 -

車斗松¹・全 槿雨²・江崎次夫³

A study on coastal forests in Kangwon Province, Korea(II)

-Physical properties of *Pinus Thunbergii* P_{ARL.} tree roots in Maengbang coastal forest-

Du-Song Cha¹, Kun-Woo Chun² and Tsugio Ezaki³

Abstract: The study examined the physical properties of *Pinus Thunbergii* P_{ARL.} tree roots with the change of the diameter and moisture content of the roots to evaluate the effect of tree roots on soil stability. In the results, the larger the diameter is the bigger the tensile force is and the smaller the tensile strength is, and shear force and strength didn't show a regular pattern. Duncan's multiple test showed that tensile force and strength and shear force were significant in the level of 5%, but shear strength was not significant.

1 はじめに

韓国, 江原道東海岸地域の海岸には主にクロマツ林が成立しているが, 毎年枯死木が増加している。特に, 台風あるいは集中豪雨, 豪雪等によって, 風倒木または雪害木が集中的に発生している状況にある。これは, 海岸林の本数密度が高いため, それに伴ない根系の発達が不十分となることも一つの原因であると判断される(阿部, 1991; Ziemer, 1981)。

そこで, 本研究では, 韓国における海岸林の健全な育成のための基礎資料を得ることを目的として, 江原道の東海岸一帯に分布する孟芳海岸林のクロマツ林を対象に, まず, 根系の特性, すなわち根の引張抵抗力およびせん断抵抗力の調査を行なった。なお, 本研究は韓国科学財団目的基礎研究(R01-2000-000-00392-0)の支援で遂行した。

2 材料及び方法

2.1 材料および実験方法

クロマツ林の根の物理的な特性を明らかにするため, 50年生のクロマツ林を対象に, 引張抵抗力およびせん断抵抗力を測定した。対象とする根系の直径は1~12mmであり, 根系の形態は通直なものを対象とした。実験用の根系は腐植土とともにプラス

チックバックに入れた後, 10℃の冷蔵庫に保存し, 新鮮度を維持した。実験開始は採取後, 2週以内に実施した。根の引張強度とせん断強度とを測定のため, 材料試験機(UTM20, United Co.)を利用した。引張およびせん断の速度は試料の両端部の破壊を最小限で低減させるため, 10mm/分とした。根系自体に荷重を加えた引張とせん断破壊時の力を, 破壊された断面の面積で分け, それぞれ, 引張強度とせん断強度とした。

実験方法は根の両端を固定するために, 特別なジグとグリップを考案して使用した。また根がグリップとの境界面で, 根の自体の断面積の変化が発生しないように, 両端にナイロン糸と強力接着剤を利用して固定した。引張試験用の試料は57個, 長さは30cmで, 一定に製作し, グリップ間の距離, すなわち標点距離は10cmを維持した。なお, せん断実験用の試料は80個である。実験が完了した根系は, 110℃で24時間に乾燥させて, 含水率を求めた(車ら, 2001a; 2001b; 2002)。

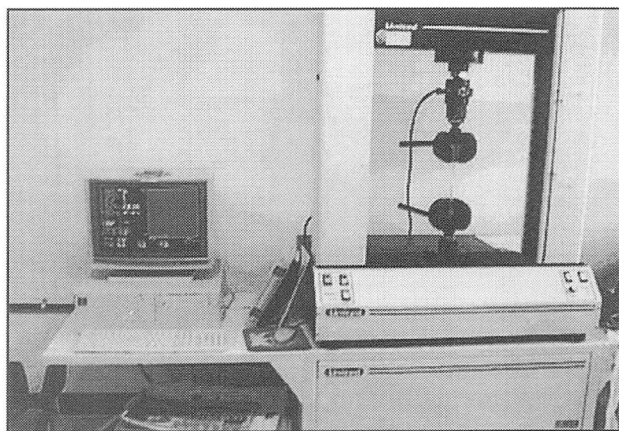


図 1: 万能材料試験機

¹韓国, 江原大専校山林科学大専校山林経営造景学専校教授 Professor, Division of Forest Management and Landscape Architecture, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

²韓国, 江原大専校山林科学大専校山林資源学専校教授 Professor, Division of Forest Sciences, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

³日本, 愛媛大専農学専校生物資源学専校教授 Professor, Department of Bioresources, College of Agriculture, Ehime University, Matsuyama, Ehime 790-8566, Japan

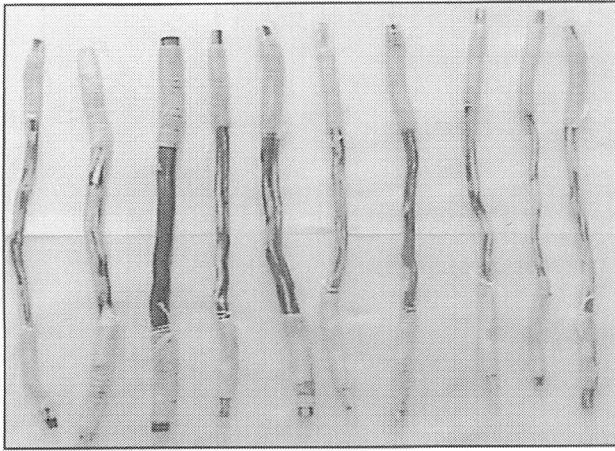
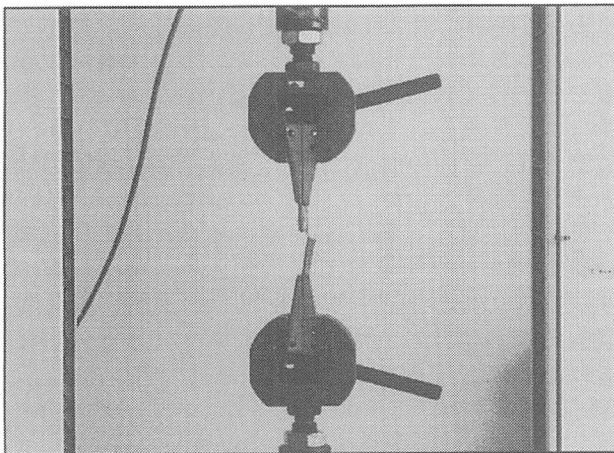


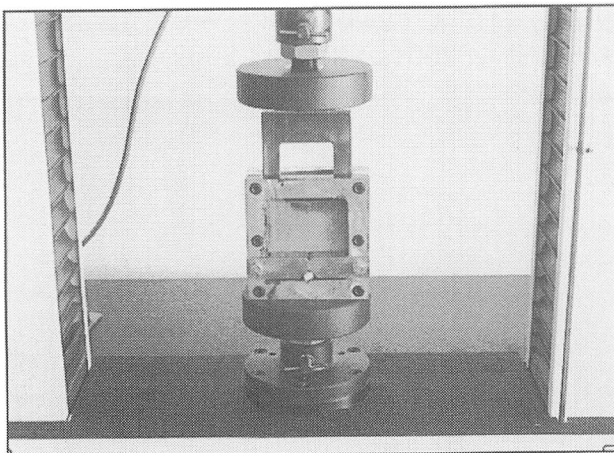
図 2: 試験片

2.2 解析方法

クロマツ林の根系の物理的な特性を把握するため、根系の直径および含水率の変化に伴う引張(せん断)力および引張(せん断)強度を測定した。また、ダンカンの検定を利用して直径階および含水率の変化と引張(せん断)力および引張(せん断)強度の検定を行なった。



(a) 引張力の測定用



(b) せん断力の測定用

図 3: クロマツ林の根系の引張力およびせん断力の測定用のジグとグリッパ

2.3 供試根系の直径階

2.3.1 引張強度

根系の直径が大きくなるにつれて根系の自體の屈曲およびグリッパの影響により実験は困難となるので、12mmを限界にした。クロマツ林の根系の直径範囲は1.85~12.20mmで、平均7.49mmであった。直径階の分布は直径9~11mmが26.3%で最も多く、3~5mmが19.3%、5~7mmおよび11mm以上が15.8%、7~9mmが12.3%、5~3mmが10.5%であった。

2.3.2 せん断強度

せん断実験に使用した試験片の根系直径は2.44~12.92mmの範囲で、平均7.50mmであった。クロマツ林の根の直径階の分布は、直径3mm以下が9.1%であり、そのほかの直径階では18.2%であった。

3 結果および考察

3.1 根系の引張力および引張強度

クロマツ林の根系の引張力は、直径の約2.5乗に比例して増加する傾向が認められた。資料の散布度が廣範囲に及ぶ理由は、根自體の屈曲が引張実験時に、強く影響を與えるためであると考えられる。これは、同じ直径の試料でも屈曲度によって破壊の程度が異なることを意味している。すなわち、このことは屈曲度が大きくなるにしたがって破壊されやすいことを意味する。また、クロマツ林の根系の引張力の回帰式は式(1)のようである(圖 4(a))。

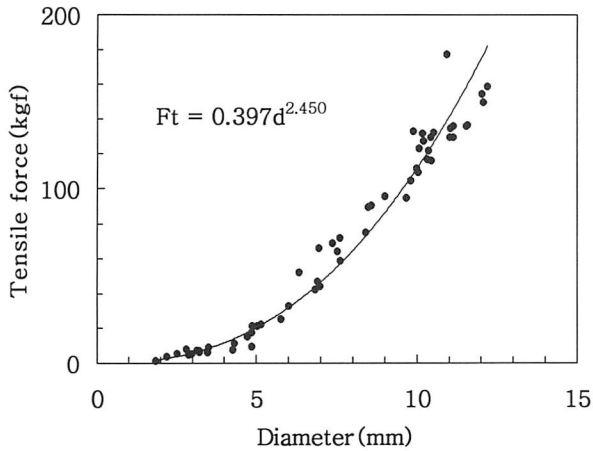
$$F_t = 0.397 d^{2.450} \quad (1.85 < d < 12.20 \text{mm}),$$

$$(r^2 = 0.97) \dots (1)$$

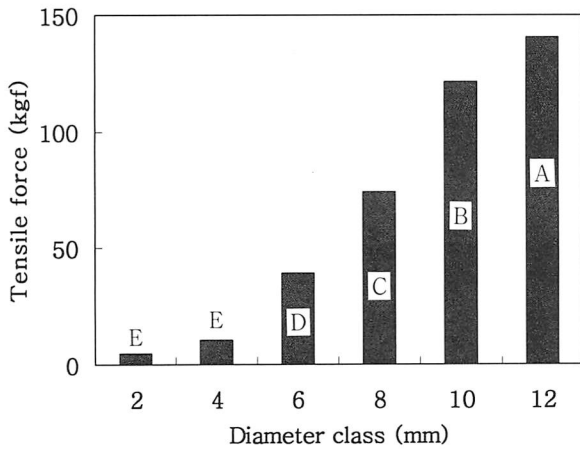
ここで、 F_t : 根の引張抵抗力(kgf)、 d : 根の直径(mm)、 r^2 : 決定係数

根系の直径階の引張力は、最小値で1.25kgf、最大値で177.90kgf、平均で72.13kgfであった。根系の直径階別では直径11mm以上が140.67kgf、直径9~11mmが121.72kgf、7~9mmが74.10kgf、5~7mmが39.30kgf、3~5mmが10.79kgf、1~3mmが4.71kgfであった。既存の研究結果(車ら, 2001a; 2001b)によると、アカマツの根の強度特性は直径11mm以上が117.84kgf、直径9~11mmは71.29kgf、直径7~9mmが43.73kgf、直径5~7mmが38.41kgf、直径3~5mmが23.63kgf、直径3mm以下が12.17kgfであり、平均は31.72kgfであった。すなわち、クロマツ林の根の直径別の引張力はあらゆる直径階でアカマツ林の根よりも大きい引張力を持っていると判断された。次に、クロマツ林の根の直径階の引張力の差異を把握するために、ダンカンの検定を行なった。その結果、根系の直径階は大部分が有意水準5%レベルで有意な差が認められたが、直径

5mm以下では有意な差は認められなかった。根系の直径の大きさによって引張力に差異が認められたことから、根の直径の大きさが引張力に大きく影響を及ぼすと考えられる(図 4(b))。



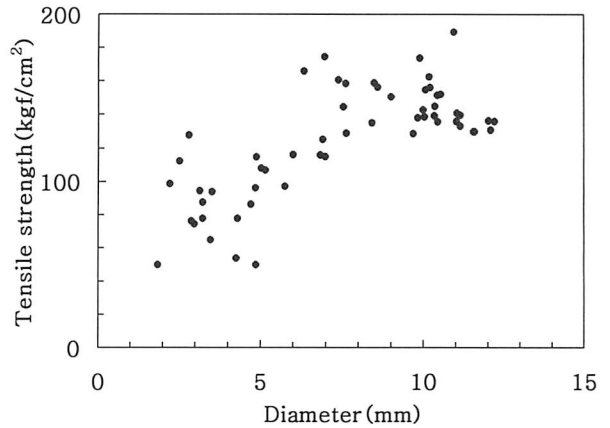
(a) 直径階別の引張力



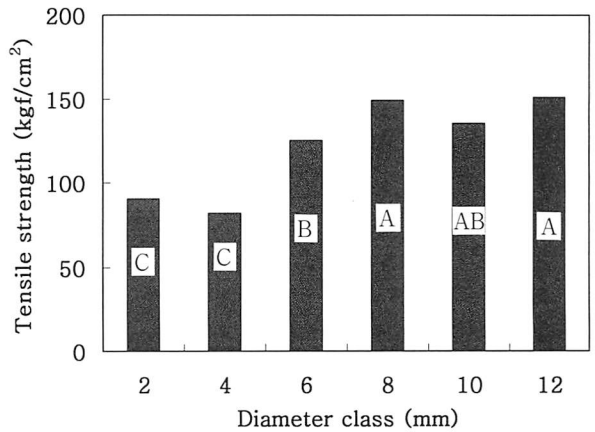
(b) ダンカンの検定による引張力の差異

図 4: クロマツ林の根系の直径階別による引張力

次に、根の直径と引張強度との間には一定な傾向はみられなかった(図 5(a)). 引張強度は最小値で50.14kgf/cm², 最大値で190.34kgf/cm², 平均で124.54kgf/cm²であった。直径階別では、直径3mm以下が90.32kgf/cm², 3~5mmが81.91kgf/cm², 5~7mmが125.12kgf/cm², 7~9mmが149.18kgf/cm², 9~11mmが135.31kgf/cm², 11mm以上が151.20kgf/cm²であった。このように、直径階別では、クロマツの場合には直径が大きいほど引張強度は増加する傾向が認められた。そこで、クロマツの根の直径階別の引張力の差異を比較するために、ダンカンの検定を有意水準5%で検討した。その結果、直径3mm以下, 3~5mm, 7~11mmの間では有意な差は認められなかったが、これらの直径階と直径5~7mmの間では5%の有意水準で有意な差異が認められた(図 5(b))。以上の結果によると、引張強度は直径階の影響をあまり受けないことと判断された。



(a) 直径階別の引張強度



(b) ダンカンの検定による引張強度の差異

図 5: クロマツ林の根系の直径階別による引張強度

3.2 根系の含水率と引張力および引張強度

クロマツ林の根系の含水率と引張力との関係は、式(2)のように高い相関関係が認められなかった。

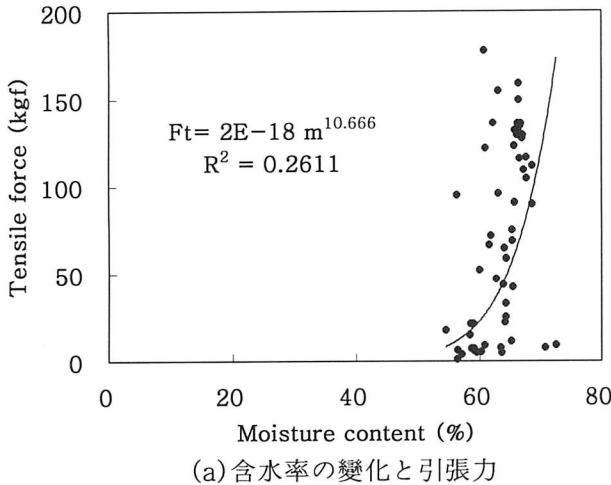
$$F_t = 2E - 18m^{10.656} \quad (54.5 < m < 72.5\%),$$

$$(r^2 = 0.26) \quad \dots (2)$$

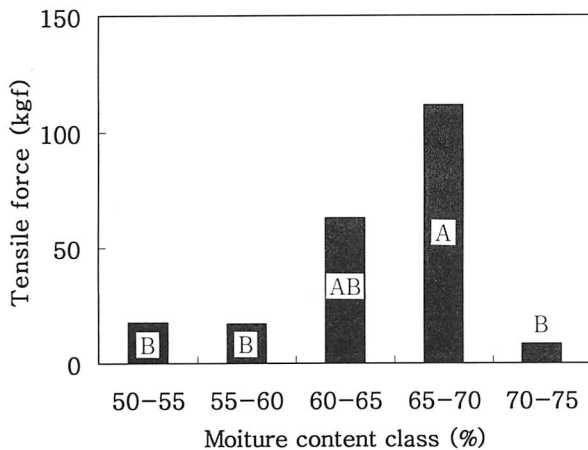
ここで、 F_t : 根の引張抵抗力(kgf), m : 根の含水率(%), r^2 : 決定係数

根系の含水率の分布をみると、最小値は54.5%, 最大値は72.5%, 平均で63.5%であり、含水率60~70%の範囲が全体の75.4%で最も多く、含水率50~60%の範囲が21.1%, 70%以上の範囲が3.5%であった。根系の含水率と引張力の関係では含水率の増加に伴って引張力が増加するという傾向は認められなかった(図 6(a))。このことから、根系の含有率は樹木の根系の強度にあまり影響を及ぼさないものと考えられる。根系の含水率が65~70%以上の場合、引張力は112.01kgf, 含水率60~65%は63.07kgfであり、含水率50~55%は17.68kgf, 55~60%は17.25kgf, 70~75%は8.6

kgfであった。クロマツの根系の含水率と引張力との関係を調べるために有意水準5%でダンカンの検定を行なった。その結果、含水率50~60%と60~70%の間には有意な差が認められなかった。しかし、これらの含水率と75%以上の含水率の間では有意的な差が認められた。このような結果から、クロマツの根の引張力は含水率の影響をあまり受けないものと考えられる(図 6(b))。



(a) 含水率の變化と引張力

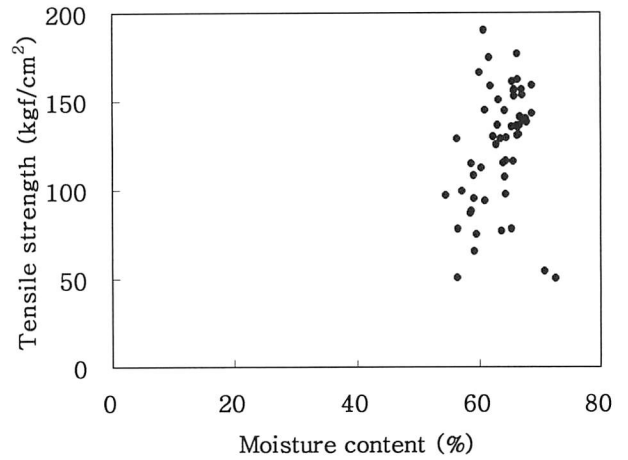


(b) ダンカンの検定による引張力の差異

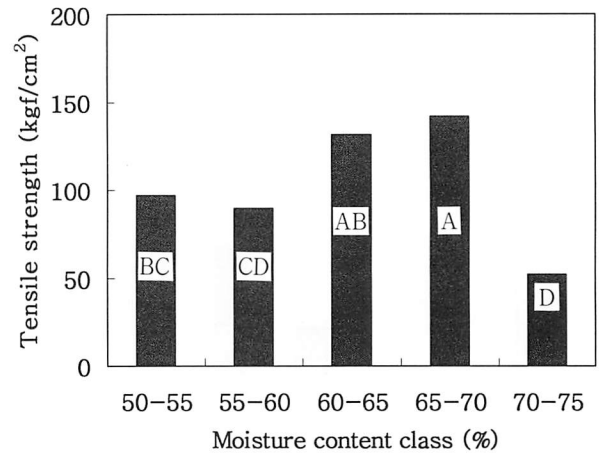
圖 6: クロマツ林の根系の含水率の變化と引張力

次に、含水率による引張強度は直径階別の引張力とはほぼ同じ傾向で、一定の傾向は認められなかった(図 7(a))。すなわち、含水率65~70%で引張強度が142.11kgf/cm²、60~65%で131.46kgf/cm²、50~55%で96.84kgf/cm²、55~60%で89.64kgf/cm²、50~60%が131.76kgf/cm²、そして、含水率70%以上では引張強度が52.18kgf/cm²であった。このように、含水率70%以上で引張強度が小さいのは引張力の場合と同様な理由によるものと考えられた。また、ダンカンの検定を利用してクロマツの根の含水率と引張強度との関係を調べた。その結果、引張力と類似な傾向で含水率50~60%および60~70%の間には有意的な差が認められなかつ

た。そして、これらの含水率と75%以上の含水率との間には有意な差が認められた(図 7(b))。



(a) 含水率の變化と引張強度



(b) ダンカンの検定による引張強度力の差異

圖 7: クロマツ林の根系の含水率の變化と引張強度

3.3 根系のせん断力およびせん断強度

クロマツ林の根系のせん断力は、式(3)のように直径の約2.0乗に比例して増加する傾向が認められた。根系のせん断実験の際に、試料の長さが引張実験の場合より相対的に短いので、根の通直な部分のみを選択して実験を行なった。その結果、引張実験の場合よりもばらつきの範囲が小さくなった(図 8(a))。

$$F_s = 1.044 d^{1.950} (2.44 < d < 12.92 \text{ mm}),$$

$$(r^2 = 0.99) \dots (3)$$

ここで、 F_s : 根のせん断抵抗力(kgf)、 d : 根の直径(mm)、 r^2 : 決定係数

クロマツ林の根の直径別のせん断力をみると、直径が大きいほど引張力と同様にせん断力が増加

する傾向がみられ、直径11mm以上が119.59kgf, 9~11mmが98.77kgf, 7~9mmが64.10kgf, 5~7mmが33.48kgf, 3~5mmが16.75kgf, 3mm以下が6.52kgfであった。車ら(2001a, 2001b)によれば、アカマツの根の強度は直径11mm以上が105.46kgf, 9~11mmが95.89kgf, 7~9mmが50.80kgf, 5~7mmが31.84kgf, 3~5mmが14.72kgf, 3mm以下が6.58kgfであり、クロマツ林の根のせん断力はアカマツ林のせん断力よりも小さな値を示した。ダンカンの検定による根の直径階別のせん断力は引張力と同じ傾向がみられ、有意水準5%で直径5mm以下では有意な差が認められなかった。また、5mm以下の直径階と他の直径階との間には、有意水準5%で有意な差が認められた(図 8(b))。

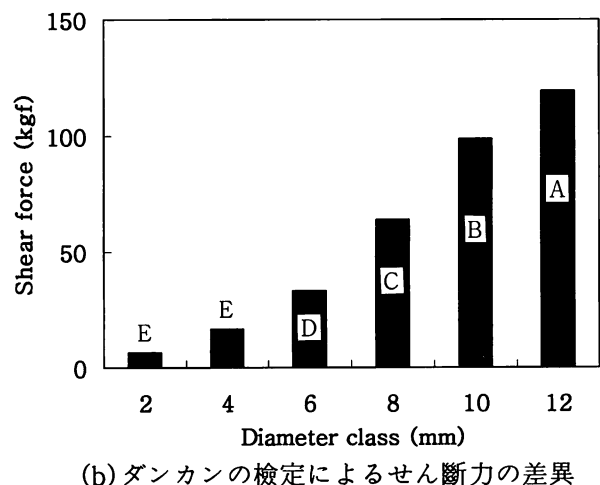
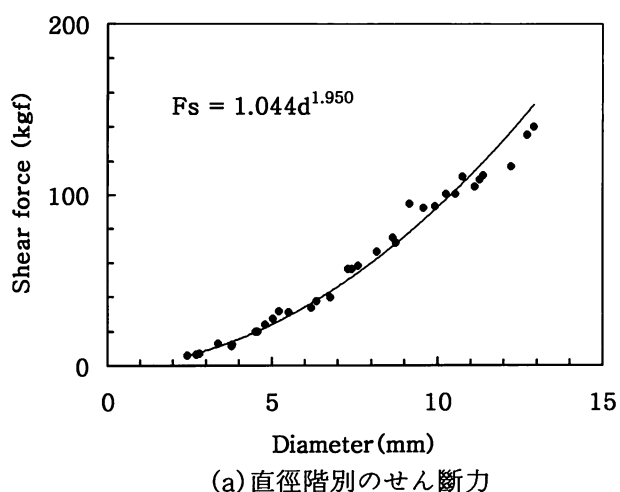
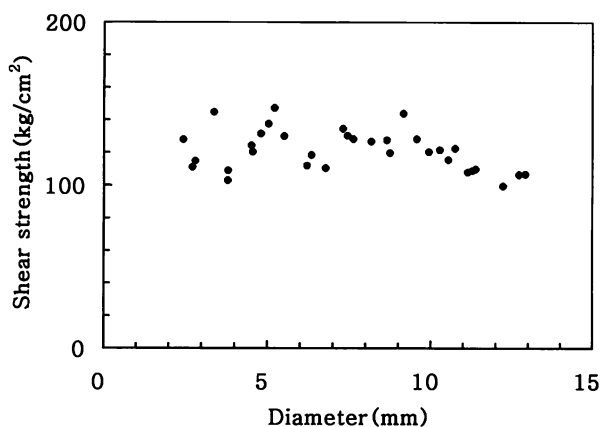


図 8: クロマツ林の根系の直径階によるせん断力

次に、せん断強度は直径の大きさとはあまり関係がないことが判明した(図 9(a)). すなわち、せん断強度は最小で106.65kg/cm², 最大で128.15kg/cm²であった。ダンカンの検定による直径階別のせん断強度は有意水準5%で有意な差が認められなかった。このため、直径階によるせん断強度には差はないものと判断された(図 9(b)).



(a) 直径階別によるせん断力

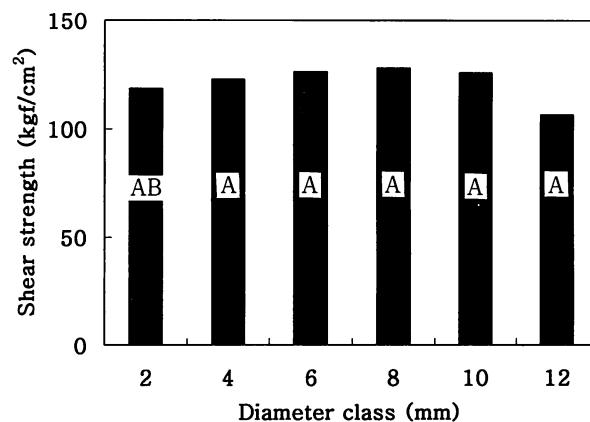


図 9: クロマツ林の根系の直径階によるせん断強度

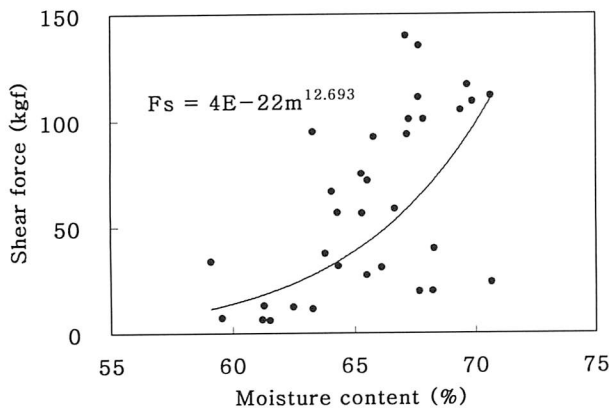
3.4 根系の含水率とせん断力およびせん断強度

クロマツ林の根系の含水率とせん断力との関係は、式(4)のように高い相関関係は認められなかった(図 10(a)).

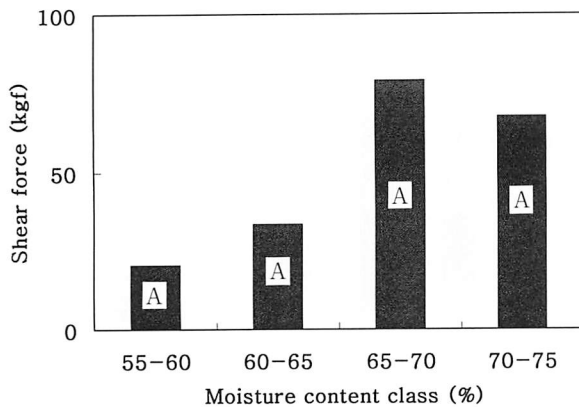
$$F_s = 4E - 22m^{12.693} \quad (59.1 < m < 70.7\%), \\ (r^2 = 0.40) \quad \dots (4)$$

ここで、 F_s : 根のせん断抵抗力(kgf), m : 根の含水率(%), r^2 : 決定係数

根系の含水率の分布は、59.1~70.7%であり、平均は65.6%であった。含水率65~70%が全体の57.6%, 60~65%が30.3%, 55~60%と70%以上が各各6.1%であった。含水率とせん断力との関係は引張力と同じように根系の含水率が増加するほどせん断力が増大する傾向が認められなかった。含水率65~70%でせん断力が79.11kgfで最も高い値を示し、含水率70%以上ではせん断力は67.71kgfであった。そして、含水率60~65%で33.63kgf, 55~60%で20.46kgfであった。根系の含水率とせん断力との関係を検討するためにダンカンの検定を行なった結果、有意水準5%で差は認められなかった(図 10(b)).



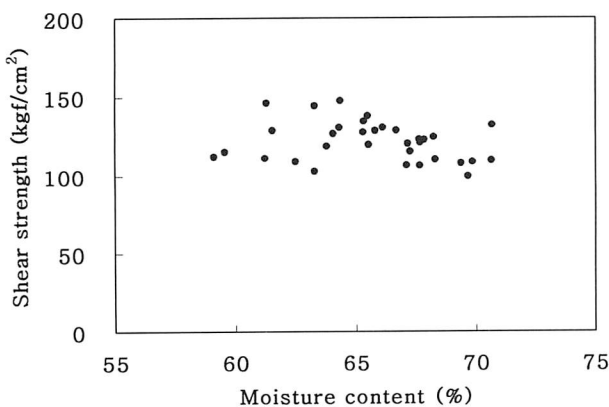
(a) 含水率の變化とせん断力



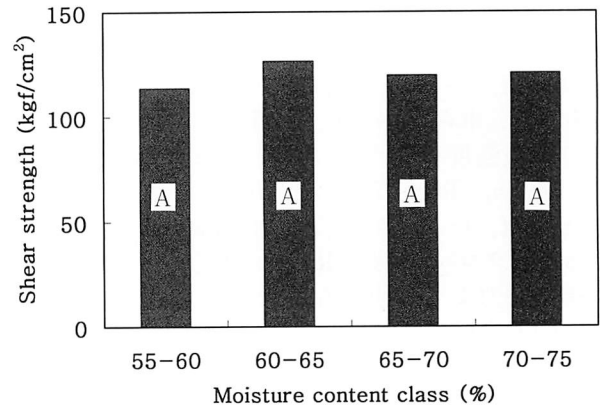
(b) ダンカンの検定によるせん断力の差異

圖 10: クロマツ林の根系の含水率の變化とせん断力

次に、根系の含水率とせん断強度は直径階別によるせん断強度と同様な傾向が認められた(圖 11(a)). 含水率55~60%でせん断強度は最小値で113.77kgf/cm², 含水率60~65%で最大値で128.15kgf/cm²であり, その差異は大きくなかった. そして, 含水率65~70%と70%以上はそれぞれ119.86kgf/cm²と120.92kgf/cm²であった. ダンカンの検定では根系の含水率とせん断強度の間には有意水準5%で差異が認められないことから, 根の含水率の相異はせん断強度にはあまり影響を及ぼさないものと考えられた(圖 11(b)).



(a) 含水率の變化とせん断力



(b) ダンカンの検定によるせん断強度の差異

圖 11: クロマツ林の根系の含水率の變化とせん断強度

4 おわりに

土壌の安定に寄与している樹木根系の役割を把握するために, クロマツ林を対象として根系の直径および含水率の變化による根系の物理的な特性を検討した. その結果, クロマツ林の根系の引張力および引張強度は根系の直径によって差異のあることが認められた. しかし, せん断力およびせん断強度は引張力と引張強度に比べると明確な差異は認められなかった. 特に, せん断強度の場合には, 根系の含水率に関係なく, ほぼ同じ強度を示すことが確認された. これらのことは今後クロマツ林の根系についての研究に, 有用な資料として活かすことができると期待される.

引用文献

- [1] 車斗松・全權雨・池炳潤・高成大 (2001a): アカマツ林の根系分布の特性に関する研究, 2001年度韓國林學會學術研究發表會, pp. 238-239.
- [2] 車斗松・崔炳九・池炳潤・吳在憲・高成大・全權雨 (2001b): アカマツ林の根の直径および含水率の變化による根の強度特性, 江原大學校學術林研究誌21, pp.95-100.
- [3] 車斗松・全權雨・吳在憲 (2002): 樹木の根系構成による斜面の崩壊防止効果に関する研究 (I) -アカマツ林の根の空間分布と物理的な特性-, 韓國林學會誌91(1), pp.71-78.
- [4] 阿部和時 (1991): 根系の引抜き抵抗力によるせん断補強強度の推定, 日本緑化工學會誌16(4), 37-45.
- [5] Ziemer, R. R. (1981): Root and the stability of forested slopes, *Erosion and sediment transport in Pacific rim steeplands*, Int. Assoc. Hydrol. Sci. Pub., No. 132, pp.343-361.

[受付 2002年1月10日, 受理 2002年12月10日]