

韓国, 東海岸地域のアカマツ林の根系強度の變化(III)

-山火事の被害木を中心に-

車斗松¹・池炳閔²・崔炳九¹・崔麟和¹・全權雨¹・江崎次夫³

Properties on Root Strength of Red Pine Tree in Coastal Forests of Gangwon Province, Korea(III)

-On the tree roots damaged by forest fire-

Du-Song Cha¹, Byoung-Yun Ji², Byoung-Koo Choi¹, In-Hwa Choi¹,Kun-Woo Chun¹ and Tsugio Ezaki³

Abstract: To characterize the root strength properties of red pine tree by elapsed years after forest fire, we measured and analyzed the tensile force and strength of the roots. The mean tensile force was a decrease of 51% and 71% compared with the original root tensile force within 2 and 3 years after forest fire, respectively. 67% of the tensile strength of original root was lost within 2 years after forest fire and 74% was gone within 3 years. The rate of tensile force and strength deteriorations in larger roots was increased more than that of finer roots by root diameter classes and elapsed years after forest fire.

1 はじめに

山火事により森林が焼失した山地斜面は、物理的な安定度合が低下し、表面侵食と山崩れのような2次土砂災害が発生する危険がある。特に、1996年と2000年に発生した江原道高城郡と東海岸の山火事、そして2002年の忠清南道青陽郡と禮山郡の山火事等でも分かるように、最近の山火事は大型化する傾向が強い。また、大型の山火事の発生時期が4~5月に集中し、復舊工事が終了する直前の7~8月に、多発する集中豪雨にみまわれるので、2次土砂災害が発生する可能性が非常に高い。本来、森林は降水の遮断及び浸透能の増進等による洪水調節機能を持ち、植生の根系は侵食防止はもちろんのこと、土塊の支持により斜面崩壊を防ぐ役割を果たしている。このため、山火事の発生地域における被害木の根系強度の低減特性を究明し、根系による斜面安定の効果を定量的に把握することは、造林及び斜面安定の対策樹立に必要な基礎資料を得るという面で非常に主要である。

根系についての研究では、多くの研究者によって樹木の根系が土壌の補強増進に及ぼす効果が明かにされており(O'Loughlin, 1974; Waldron, 1977; Wu et al., 1979; Waldron & Dakessian, 1982; 塚本, 1987)、根系による補強領域は地表面からおおよそ1m程度であることと、土壌の補強効

果は土壌内の根量と直接的な関係があることも報告されている(遠藤と鶴田, 1968)。特に、山火事や木材の収穫作業等による樹木の枯死及び除去に伴う土壌内の根量の減少は、根系の補強機能を低減させ、結局は山崩れを引き起す原因となる(阿部, 1997)。また、伐採の後、土壌内に残存する根系の強度に対する研究(Zimmer and Swanston, 1977; Zimmer, 1981a; 1981b)では、2年目にはすでに細根の強度が低下し、10年目には太根の強度もかなり低下することが明らかにされており、山林の早期復舊の重要性が強調されている。しかし、韓国の場合、植生の根系が斜面安定に及ぼす影響に対する研究は始ったばかりの段階である(車ら, 2002b; 車と池, 2003)。特に、山火事の跡地における根系の變化に対する研究は、あまり見当たらない(車ら, 2002a; 2003)。今後は、植生の根系強度を考慮した山林の復舊方法及び復舊時期の決定、さらに山火事の跡地における斜面崩壊等の予防対策に対して幅広く研究を進めなければならない。なお、本研究は、韓国科学財団目的基礎研究(R01-2003-000-10699-0)の支援事業による研究成果の一部である。

2 材料及び方法

2.1 調査地の概況及び供試材料

対象地域は2000年4月7日に山火事が発生後、2日間に渡って1,447haの森林が焼失した韓国、江原道江陵市沙川面地域の山火事の跡地である。土壌は砂質壤土及び砂壤土で沙の含量が多く、土深は浅い。また、有機物及び養分の含量が低い瘠薄土壌になっている(東海岸山火事被害共同調査團, 2000)。

供試材料は、アカマツ林のIV齢級の内、山火事により枯死した樹木の根系を同一の地域で毎年採取

¹韓国, 江原大學校山林科學大學 College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

²韓国, 國立山林科學院山林生產技術研究所 Forest Practice Research Center, Korea Forest Research Institute, Pocheon 487-821, Korea

³日本, 愛媛大學農學部生物資源學科 Department of Bioresources, Faculty of Agriculture, Ehime University, Matsuyama, Ehime 790-8655, Japan

した。すなわち、2年目(2002年)には75個、3年目(2003年)には86個をそれぞれ採取した。また、比較のため調査地附近の未被害地域で生立木の根を31個採取して実験資料に供した。

2.2 実験及び分析方法

根系の物理的な特性を把握するため万能材料試験機(STM20, United Co.)を利用して実験を行った(図 1)。また、根系は周囲の土壌と一緒に保管させ、自然の状態を維持し、試験開始の以前に根系の直径を測定してから引張試験に供した。試験片の長さは30cm、根の標点距離は10cmとし、引張速度は両端部の破壊が最小化である10mm/minで行った。

分析は、実験で得られた根系の引張特性の變化を年次別、直径級別に把握するため、SASの回帰分析と分散分析で行った。

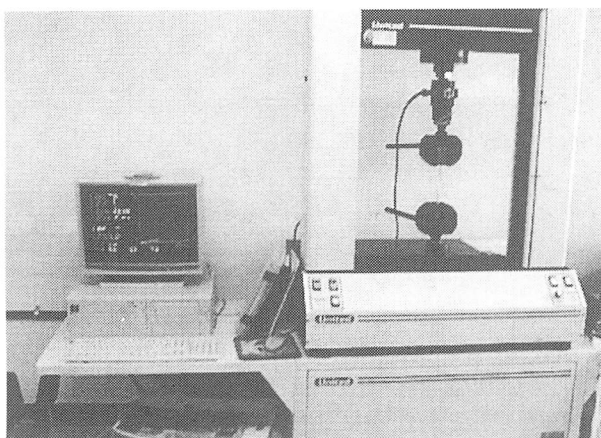


Figure 1: Universal testing machine(STM20, United Co.) to measure the tensile strength of tree roots.

3 結果及び考察

3.1 山火事の跡地におけるアカマツ根系の引張力の特性と變化

3.1.1 直径と引張力との關係

アカマツ根系の直径と引張力の關係は、生立木の場合は式(1)、山火事の發生後2年目は式(2)、3年目は式(3)のような回歸式が求められた(図 2)。すなわち、アカマツの根系と引張力の關係は、直径に比例して引張力が指數函数的に増加した。

$$Y = 3.1851 X^{1.3470} \quad (R^2 = 0.9229) \quad (1)$$

$$Y = 0.9866 X^{1.4388} \quad (R^2 = 0.6054) \quad (2)$$

$$Y = 1.0587 X^{1.1628} \quad (R^2 = 0.5842) \quad (3)$$

ここで、Y: 引張力(kgf), X: 根系の直径(mm), R^2 : 決定係数である。

3.2.2 根系の直径別の引張力の變化

山火事の跡地のアカマツ根系は、山火事の發生3年目からは直径2mm以下の細根がほとんど見當らな

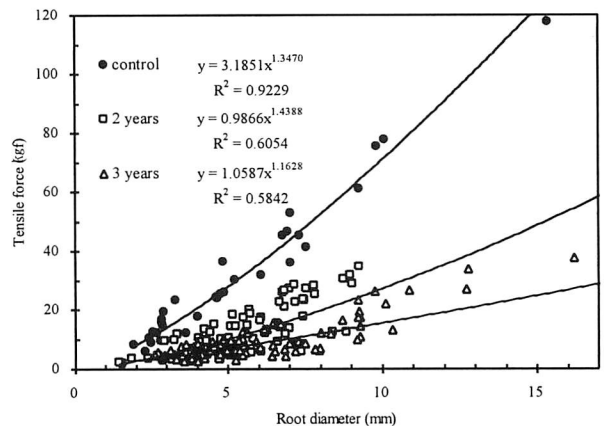


Figure 2: Tensile force distributions by elapsed years and diameters of red pine tree roots after forest fire.

ったため、2~10mmの根系を対象として実験を行った。すなわち、2年目72個、3年目78個、生立木28個の根系を直径2mmごとに階級区分し、年度別及び直径級別の引張力の變化特性を把握し、その分散分析の結果は表 1のようである。

Table 1: Analysis of variance for tensile force of elapsed year and diameter class.

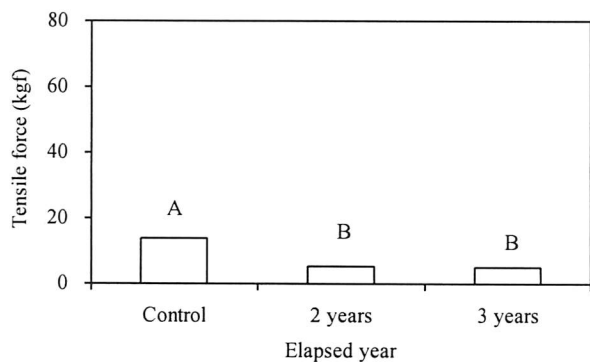
Source	DF	SS	MS	F Value
Year(A)	2	7944.7	3972.3	163.16*
Diameter class(B)	3	7331.4	2443.8	100.38*
A×B	6	3574.0	595.7	24.47*
Error	166	4041.3	24.3	
Total	177	22891.4		

* : significant difference at the significance level of 5%

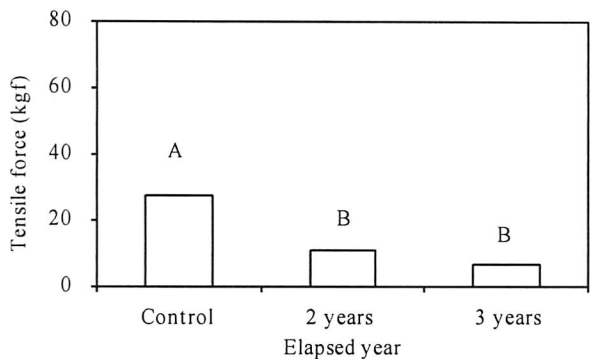
表 1で分かるように、年次別、直径級別ならびにこれらの相互間には有意な差(有意水準5%)が認められるので、年次別、直径級別にダンカンの多重検定を行った。

図 3は根系の直径級別、年次別の平均引張力の變化に對するダンカンの多重検定の結果である。根系2~4mmと4~6mmの間では生立木と2年目以上の根系の引張力は有意な差(有意水準5%)が認められたのに対して、山火事の發生後2年目と3年目の間には有意な差は認められなかった。しかし、直径級6~8mmと8~10mmの間ではすべてにおいて有意な差が認められた。この結果は、6mm以上の根系は6mm以下の根系に比べ、山火事の發生後の引張力の低下率が相対的に大きいことを現わしているものと考えられる。

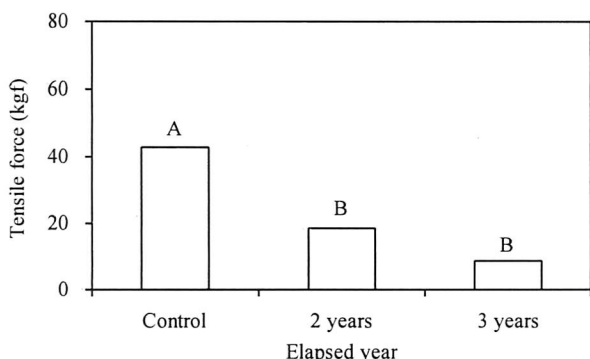
一方、図 4で分かるように、引張力の低減率は生立木の引張力に比べ、2年目は57~63%、3年目は64~80%が低減した。特に、根系の直径級が6~8mmの場合、生立木の42.6kgfから2年目の18.3kgfと3年目の8.6kgfに、それぞれ57%、80%が低減された。なお、直径級2~4mmの場合には、生立木の13.8kgfから2年目が5.3kgfの約62%、3年目が5.0kgfの約64%が低減し、その低減量は他の直径



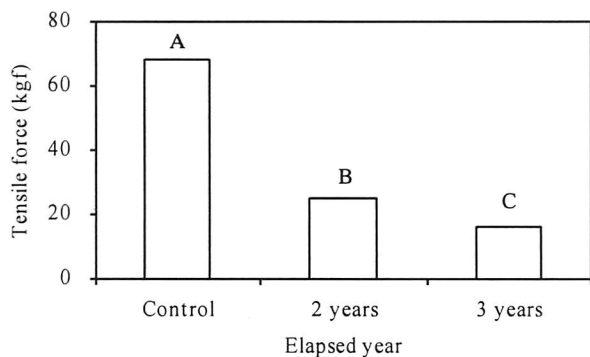
a. Diameter class 2~4mm



b. Diameter class 4~6mm



c. Diameter class 6~8mm



d. Diameter class 8~10mm

Figure 3. Tensile force changes of tested roots by elapsed years.

* Different letters indicate significant difference by Duncan's multiple range test (P=0.05).

級に比べ、2年目と3年目間の変化割合は大きくなかった。

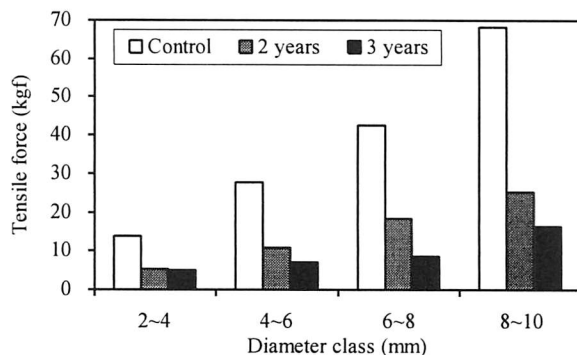


Figure 4. Tensile force deteriorations by diameter classes and elapsed years.

3.2 山火事の跡地におけるアカマツ根系の引張強度の特性の変化

3.2.1 直径と引張強度との関係

アカマツ根系の直径と引張強度の関係は、図5のように生立木の場合は式(4)、山火事の発生後2年目は式(5)、3年目は式(6)のような回帰式が求められた。すなわち、アカマツの根系と引張強度の関係は、直径が増加するほど引張強度は低減する傾向が認められた。なお、根系の直径と引張強度において2年目と3年目の回帰式の決定係数が低い理由は、樹木の節、樹脂、水分含量等によって根系の腐朽程度が一定ではなかったことに起因すると推察された(Mohsenin, 1980)。

$$Y = 405.54 X^{-0.6530} \quad (R^2 = 0.7377) \quad (4)$$

$$Y = 127.24 X^{-0.5651} \quad (R^2 = 0.1901) \quad (5)$$

$$Y = 1.0587 X^{-0.4791} \quad (R^2 = 0.3624) \quad (6)$$

ここで、Y: 引張強度(kgf/cm²)、X: 根系の直径(mm)、R²: 決定係数である。

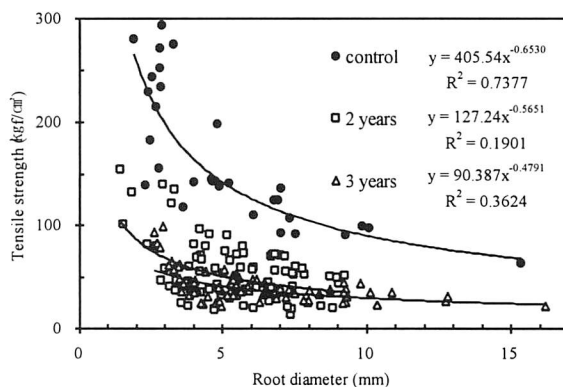


Figure 5. Tensile strength distributions by elapsed years and diameters of red pine tree roots after forest fire.

3.2.2 根系の直徑別の引張強度の變化

山火事の發生後の経過年數による根系の直徑別の引張強度の變化を把握するために実施した分散分析の結果は表 2 のようである。

Table 2: Analysis of variance for tensile strength of elapsed year and diameter class.

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value
Year(A)	2	328701.4	164350.7	275.04*
Diameter class(B)	3	38448.8	12816.2	21.45*
A×B	6	30160.7	5026.8	8.41*
Error	166	99192.6	597.5	
Total	177	496503.3		

* : significant difference at the significance level of 5%

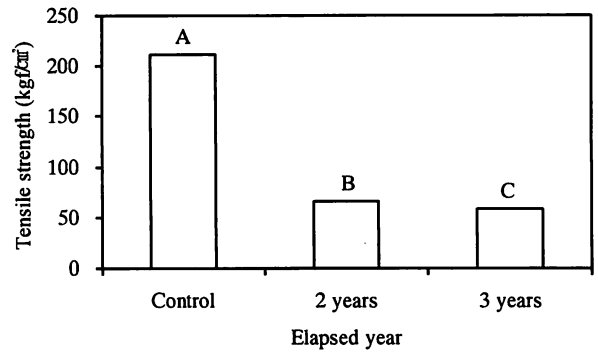
表 2 で分かるように、年次別、根系の直徑級別及びこれらの相互間には有意な差(有意水準5%)が認められるので、次に年次別及び直徑級別にダンカンの多重検定を行った。引張実験の結果、アカマツ根系の平均引張強度は、生立木の場合165.4kgf/cm²であり、山火事の發生後2年目は約67%水準の55.0kgf/cm²、3年目は約74%水準の42.4kgf/cm²に低減され、山火事が發生してから2年目で引張強度の低減が著しい傾向が認められた。

一方、Ziemer(1981b)は、針葉樹林の皆伐地域における根系の引張強度は2年目に50%、9年目には90%が低減し、植生導入によって伐採以前の補強効果が50%回復するには15年、元の状態に復元するまでには26年程度が必要とされることから、早期の植生復元の重要性を強調している。したがって、山火事の跡地においても早期造林等を通じた適切な植生復元が必要である。そのためには、山火事の跡地における植生復元の過程及び根系による斜面の補強効果に対する持続的なモニタリングが重要であると考えられる。

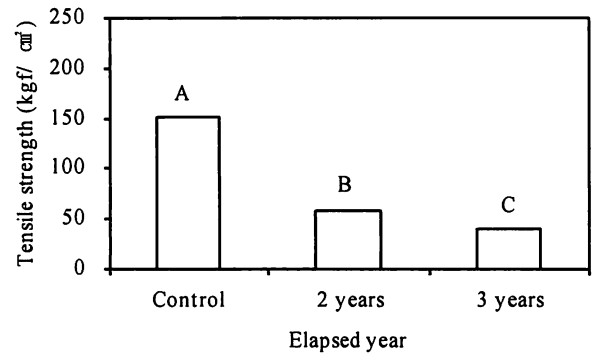
図 6 は根系の直徑級別・年次別の平均引張強度の變化に対するダンカンの多重検定の結果である。根系の2~4mmの間では生立木と2年目以上の根系の引張強度は有意な差(有意水準5%)が認められたのに対して、山火事の發生後2年目と3年目の間には有意な差が認められなかった。しかし、直徑級4mm以上ではすべてにおいて有意な差が認められた。この結果は、4mm以上の根系は4mm以下の根系に比べ、山火事の發生後の引張強度の低下率が相対的に大きいとことを現わしているものと考えられる。

また、図 7 によると、根系の直徑級による年次別の引張強度の變化量は、直徑級が小さい場合より直徑級が大きい場合の方がその低減量が大きくなる傾向が認められた。すなわち、引張強度の低下率は生立木の根系の引張強度に比べ、2年目には約57~69%、3年目には約62~74%が低減された。

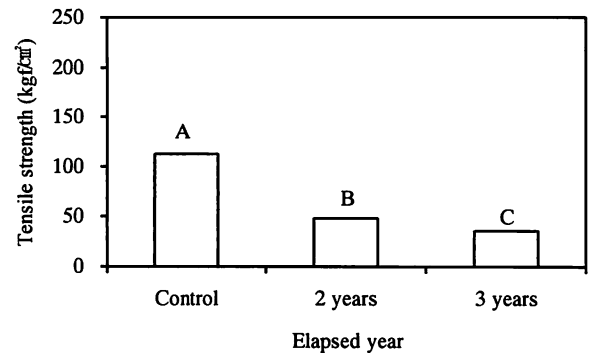
特に、いずれの直徑級において2年目の引張強度の低減率が高く、平均的には約67%が低減された。具体的な数値では、直徑級2~4mmの場合には、



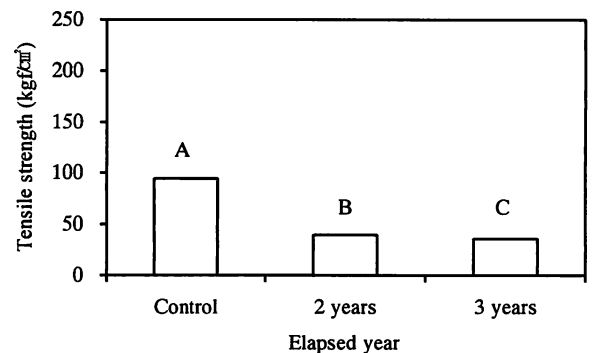
a. Diameter class 2~4mm



b. Diameter class 4~6mm



c. Diameter class 6~8mm



d. Diameter class 8~10mm

Figure 6. Tensile strength changes of tested roots by elapsed years.

* Different letters indicate significant difference by Duncan's multiple range test(P=0.05).

生立木の211.3kgf/cm²が2年目には65.7kgf/cm²の69%, 3年目には58.4kgf/cm²の約72%が低減された。直徑級8~10mmの場合には、生立木の95.0kgf/cm²から2年目には40.1kgf/cm²の約58%, 3年目には35.9kgf/cm²の約64%が低減され、その低減量は他の直徑級より小さな値を示した。なお、O'LoughlinとWatson (1979)は、ラヂアタマツ (*Pinus radiata*) の調査から、伐採後2年以内に根系の引張強度の約50%が低減され、樹木の根系が山火事あるいは伐採のような影響を受けると、2年以内に著しい強度低減をもたらすことを報告している。この結果は、本研究の結果と一致するものである。

以上の結果を要約すると、全體的には直徑級4~6mm以下においての強度低減が大きく、それ以上の直徑級では少ない。すなわち、引張強度の低減量は直徑級に反比例する傾向を示した。しかし、2年目から3年目の強度低減率は、直徑級4~6mmが最大、2~4mmが最小であった。

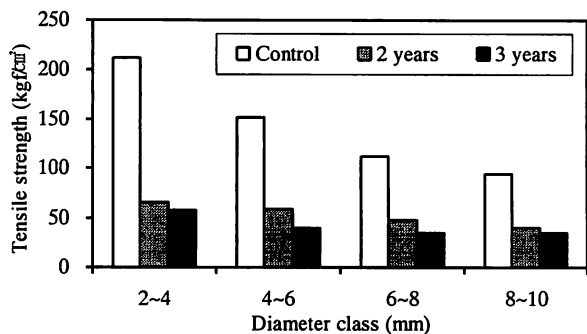


Figure 7. Tensile strength deteriorations by diameter classes and elapsed years.

4 おわりに

2000年4月7日に発生した山火事の跡地のアカマツ林を対象に、3年間に渡って根系の強度特性を経時的に把握した結果、引張力は根系の直徑に比例して指数函数的に増加する傾向が認められ、逆に引張強度は反比例する傾向が認められた。すなわち、アカマツ根系の平均引張力と平均引張強度は山火事発生後2年目に約50%以上が低減され、また引張力及び引張強度の變化量は、直徑が大きいほどその低減率が著しくなる傾向が認められた。

今後、山火事跡地における復舊・復元計画、土砂流出及び斜面崩壊のような2次災害の予防対策に必要な山火事発生後の年次別の根系強度の低減に対する定量的な解析を積み重ねることにより、具体的な防災対策を樹立する基礎資料の収集を行いたい。

引用文献

[1] 東海岸山火事被害共同調査團 (2000): 東海岸山火事地域精密調査報告書, 533pp. (韓国語)

[2] 車斗松・崔炳九・吳宰憲・高成大・全權雨 (2002a): アカマツの根の山火枯死による強度特性の経年變化, 2002年度韓國林學會學術研究發表論文集, pp. 191-193. (韓国語)

[3] 車斗松・吳宰憲・池炳閔・全權雨 (2002b): 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. (韓国語)

[4] 車斗松・池炳閔 (2003): 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(III) -チョウセンマツの根の空間分布-, 韓國林學會誌, 92(1), pp. 33-41. (韓国語)

[5] 車斗松・崔炳九・全權雨・朴東權・洪淳昌 (2003): アカマツの根の山火枯死による強度特性の経年變化(II) -山火事の發生3年目-, 2003年度韓國林學會學術研究發表論文集, pp. 292-294. (韓国語)

[6] 塚本良則 (1987): 樹木根系の崩壊抑止効果に関する研究, 東京農工大學農學部演習林報告, 23, pp. 65-123.

[7] 阿部和時 (1997): 樹木根系が持つ斜面崩壊防止機能の評価方法に関する研究, 森林総合研究所研究報告, 373, pp. 105-181.

[8] 遠藤泰造・鶴田武雄 (1968): 樹木の根が土のせん強度さにあたえる作用(第1報), 林業試験場北海道支場年報, pp. 167-181.

[9] Mohsenin N. N. (1980): Physical properties of plant and animal materials, Gordon and Breach Science Publishers, pp. 51-87.

[10] O'Loughlin, C. L. (1974): A study of root strength deterioration following clear-felling, Canadian Journal of Forestry Research, 4, pp. 107-113.

[11] O'Loughlin, C. L. and Watson, A. J. (1979): Root wood strength deterioration in radiata pine after clearfelling, New Zealand Journal of Forestry Sci., 9(3), pp. 284-293.

[12] Waldron, L. J and S. Dakessian (1982): Effect of Grass, Legume, and Tree Roots on Soil Shearing Resistance, Soil. Sci. Soc. AM. J., 46, pp. 89-98.

[13] Waldron, L. J. (1977): The shear resistance of root permeated homogeneous and stratified soil, Soil Science Society of American Journal, 41, pp. 843-849.

[14] Wu, T. H., McKinnell, W. P. and Swanton, D. N. (1979): Strength of tree roots and landslides on prince of Wales Island, Alaska, Can. Geotech. J., 21, pp. 699-709.

- [15] Ziemer, R. R and D. H. Swanston (1977): Root strength changes after logging in southeast Alaska. USDA Forest Service Research Note, PNW-306, pp. 1-10.
- [16] Ziemer, R. R. (1981a). Roots and Stability of Forested Slopes Erosion and Sediment Transport in Pacific Rim Steeplands, I.A.H.S, 132, pp. 343-361.
- [17] Ziemer, Robert R. (1981b). The role of vegetation in the stability of forested slopes, Proceedings of the International Union of Forestry Research Organizations, XVII World Congress, 6-17 September 1981, Kyoto, Japan, I, pp. 297-308.

{受付 2003年10月10日, 受理 2004年 6月10日}