

溪畔樹種の土石流緩衝機能

信州大学 森林科学科 4年 宮田 賢^{みやた けん}

要旨

森林の土石流緩衝機能は一立木ごとの土石流流体力に対する抵抗力が大きいため、立木の引き倒し試験を行い、土石流緩衝機能の高い森林造成手法開発の基礎とする必要があります。そこで本研究は流下経路に多い溪畔樹種の最大引き倒し抵抗モーメントを求めました。結果、仮想胸高直径を用いて株立ちと一本立ちの立木が統合でき、また、溪畔の土石流緩衝林としてカツラ、トチノキ、サワグルミは好ましいと考えられました。

はじめに

日本では毎年、梅雨や秋雨など雨が長期にわたって降り続く時期があり、また、集中豪雨や台風の上陸によって強風や大雨が発生することもあります。これらの気候的特徴に加えて、国土の約7割が急峻な山間部であることも相俟って、毎年、土砂災害が多発し、土石流災害も各地で発生しています。例えば、平成21年度7月の中国・九州北部豪雨では崩壊とそれに引きつづく土石流が発生し大きな被害をもたらしました。このように、土石流は人命や財産を大きく脅かす存在であるため、土石流の抑制に向けた研究は急務です。

また、土石流災害は、土石流自体による被害に加え、森林が土石流によって押し流されることにより流木となり、被害をさらに拡大することがあります。実際、平成18年7月の長野県における豪雨災害では、岡谷市において、発生した土石流により多くの流木が発生し、被害を拡大しました。森林の公益的機能の一つとして、土石流発生源や流下経路において土石流流体力を軽減するような、土石流緩衝機能が期待されていますが、このように森林は被害をさらに増大させる可能性もあります。したがって、流木による拡大被害の防止及び土石流流体力を徐々に緩和し、災害を軽減する土石流緩衝機能の高い森林帯を流下経路に沿って造成することが望まれます。

過去にはこのような森林の土石流緩衝機能の研究も行われています（矢澤ら 1987、水山ら 1989、深見 2010）。しかし、森林の土石流緩衝機能の研究は、森林を構成する樹種との関係などについて、まだ研究例が少なく分からない点が多くあります。深見（2010）は、スギ、ヒノキ、カラマツ、コナラの引き倒し抵抗力について研究していますが、広葉樹はコナラのみであり、また、土石流流下経路に生育していることの多い溪畔樹種については未調査でした。森林の土石流緩衝機能については、森林を構成する立木一本ごとの土石流流体力に対する抵抗力が大きいため、立木の引き倒し試験を行う必要があります。しかし、広葉樹の土石流緩衝機能に対する研究、特に土石流の発生流下沿いに生育する溪畔樹種の引き倒し試験に関しては研究例が少なく、未だ未解明のままです。また、溪畔樹種は株立ちしていることが多いですが、株立ちの立木と単木の立木の比較をした研究例はありません。今後、土石流緩衝機能の高い森林を造成するために、溪畔樹種の引き倒し抵抗力の違いや株立ちの立木の特性を明らかにし、土石流緩衝機能の高い森林造成手法の開発の基礎とする必要があります。

1 目的

本研究では、森林の土石流緩衝機能を解明するために、溪畔林を対象に引き倒し試験を行い、引

き倒しに対する最大抵抗モーメントの樹種による違い、および最大抵抗モーメントに対する株立ちの立木の間関係を力学的に評価することを目的としました。

2 試験地の概要

試験地は、長野県南部の伊那市市街地から東へ直線距離で約 15km の、国有林の中部森林管理局南信森林管理署黒河内国有林 233 林班ろ小班の東谷治山運搬路と沢の間に沿って位置する溪畔林です。試験地の様子は、1m を超える礫から 10mm 程度のものまで大小さまざまな礫が多くある河岸段丘であり、流路幅約 50m の V 字谷地形でした。試験地の一部を作業路が通っており、標高は 1500m でした。斜面方位は、作業路を挟んで谷側は東南東であり、川沿い側は南南西でした。斜面傾斜は作業路を挟んで谷側は約 30 度であり、川沿い側は約 4 度でした。また、標高 628m にある伊那市のアメダス観測点によると、2009 年までの過去 10 年間の平均気温は 11.3℃、平均降水量は 1459.9mm です。アメダス観測点から試験地までの直線距離は約 15km です。



図-1 試験地の位置

図-2 試験地の様子

3 試験方法

(1) 対象木

引き倒し試験を行った対象木はカツラ 10 本、トチノキ 10 本、サワグルミ 13 本、オノエヤナギ 8 本、サクラ sp. 1 本、ダケカンバ 3 本、バッコヤナギ 3 本、フサザクラ 2 本、ミズキ 1 本です。立木密度は、約 600 本/ha です。深見 (2010) では、胸高直径 9cm 未満の対象木は幹が細くワイヤーが上方に滑ってしまい、適正に最大抵抗力が計測できない可能性があるとして報告しています。したがって、本試験においては、胸高直径 9cm 未満のものは株立ちを除いて対象木としていません。

(2) 引き倒し試験

対象木の根元から 1m の高さにワイヤーをかけ、バックホウ (PC-200) につなぎ、安全のため經由木を介し、斜面下方向に引っ張りを行いました。立木を引っ張る際、ワイヤーで立木が傷つかないように、立木とワイヤーの間には、切断した車のタイヤを添えました。対象木とバックホウをつなぐワイヤーの間にはロードセル (東京測器研究所、TLP-100KNB) を挟み、インターフェイス (KYOWA、DBU-120A) を介しデータ回収のためのパソコンを接続して、荷重の変化を 0.1 秒ごとに測定しました (図-3)。引っ張りを始めて、立木にかかる荷重を徐々に増やしていき、立木の荷重

に対する抵抗力がピークを超え、下がり始めたところで、立木が引き倒れる前に試験を終了しました。これにより、最大抵抗力を得ました（図-4）。

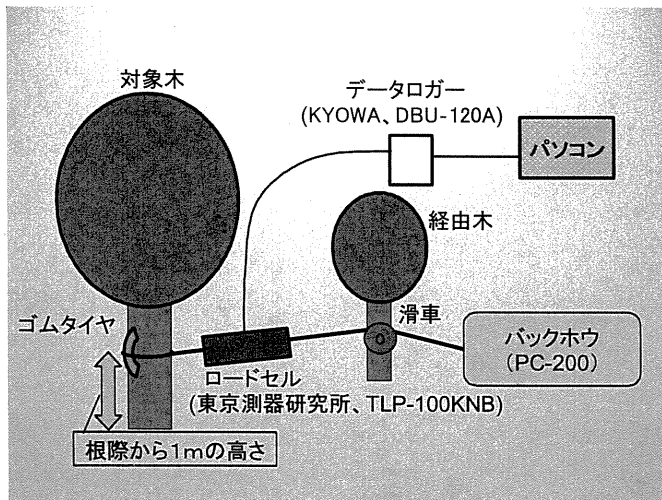


図-3 試験方法

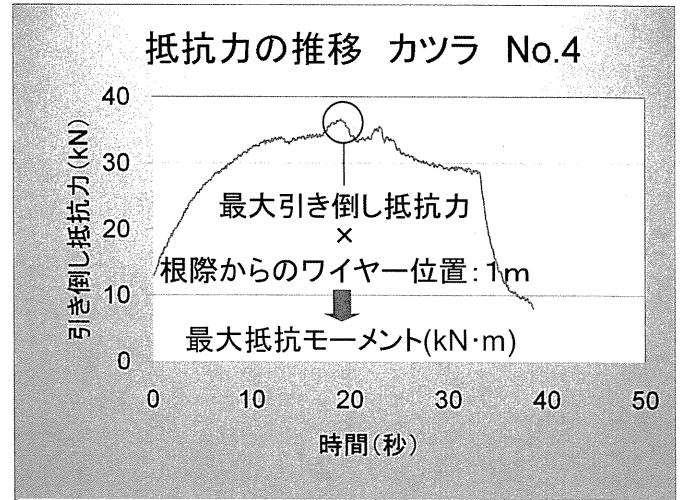


図-4 測定した抵抗カグラフ

(3) 立木の形状の計測

対象木の立木の形状として、引き倒し試験前に胸高直径、樹高、枝下高、東西南北の4方向の枝張りを計測しました。また、引き倒し試験時に新たに対象木としたものについては、当日にその場で求めたものも一部ありましたが、ほぼ全ての対象木を試験後に計測しました。引き倒し試験によって傾いた立木に関しては元の傾きを垂直とし、樹高、枝下高について三角関数を用いて導き出しました。また傾きのひどかった一部対象木に関して枝張りは未計測です。樹冠投影面積については、東西南北4方向から計測した枝張りの長さを、それぞれ頂点とした四角形の面積とみなして算出しました。

(4) 調査期間

立木引き倒し試験は、2010年11月16日に行いました。

4 結果と考察

(1) 一本立ちの対象木と株立ちの対象木との関係

対象木が株立ちであった場合、株立ちしている幹の胸高直径をそれぞれ全て計測し、その計測値を全て足し合わせたものを合計胸高直径とし、それを株立ちの本数で除したものを平均胸高直径としました。また、株立ちの対象木内で計測値が最も大きい胸高直径を最大胸高直径としました。断面積合計は、それぞれ計測した胸高直径から各断面積を求め合計したものです。仮想胸高直径は、断面積合計の値を一本の立木の胸高直径から算出したものと仮想し、その胸高直径を導き出したものです。形状比は樹高と各胸高直径から算出しました。

ア カツラ、トチノキ、サワグルミにおける関係

株立ちの立木と一本立ちの立木について、それぞれ対象本数が比較的多いカツラ、トチノキ、サワグルミの3樹種において、最大抵抗モーメントと他の計測データの関係について株立ちと一本立ちの立木の各回帰式を統合できるかどうか、有意差検定を行いました。トチノキとサワグルミの枝張り平均と樹冠投影面積については、前述した理由によりデータ数が少なく、検定できなかったため、対象外としました。全て有意水準5%において検定を行っていますが、3

樹種全てで傾きが0では無く、有意差が認められなかったものは合計断面積と仮想胸高直径のみでした。よって、合計断面積と仮想胸高直径については、株立ちと一本立ちの立木を統合して扱うことができると判断しました。また、株立ちを一本立ちのものと統合した上でのサワグルミの最大抵抗モーメントと仮想胸高直径の関係を、図-5 に例として示します。得られた回帰式はそれぞれ以下のようなものでした。

$$\text{カツラ} : M = 0.0123D_{IF}^{2.50} (R^2 = 0.677^{**})$$

$$\text{トチノキ} : M = 0.00410D_{IF}^{2.77} (R^2 = 0.972^{**})$$

$$\text{サワグルミ} : M = 0.126D_{IF}^{1.84} (R^2 = 0.692^{**})$$

(M : 最大抵抗モーメント (kN・m)、 D_{IF} : 仮想胸高直径 (cm))

これらの最大抵抗モーメントと仮想胸高直径の関係は3樹種いずれも危険率1%で有意でした。

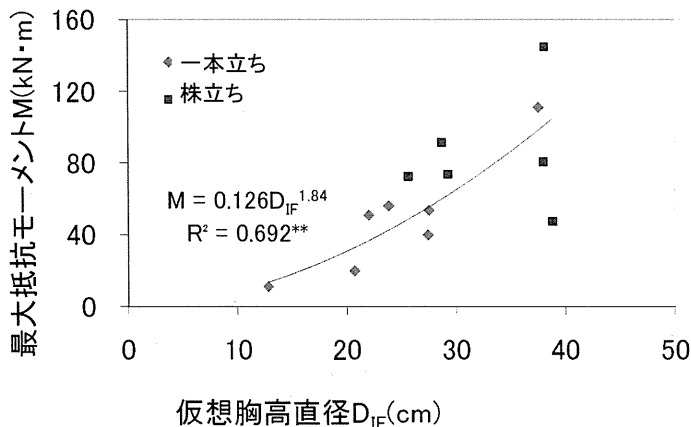


図-5 仮想胸高直径と最大抵抗モーメントの関係 (サワグルミ)

イ 樹種の違いによる最大抵抗モーメントと立木の形状との関係

(ア) 最大抵抗モーメントと平均胸高直径の関係

対象6樹種の最大抵抗モーメントと平均胸高直径の関係について得られた回帰式はそれぞれ以下のようなものでした。

$$\text{カツラ} : M = 4.96D_{AV}^{0.747} (R^2 = 0.0696)$$

$$\text{トチノキ} : M = 0.0627D_{AV}^{2.04} (R^2 = 0.702^{**})$$

$$\text{サワグルミ} : M = 1.08D_{AV}^{1.26} (R^2 = 0.236)$$

$$\text{オノエヤナギ} : M = 0.515D_{AV}^{1.18} (R^2 = 0.499)$$

$$\text{ダケカンバ} : M = 0.000371D_{AV}^{3.92} (R^2 = 0.818)$$

$$\text{バッコヤナギ} : M = 1.24D_{AV}^{1.03} (R^2 = 0.731)$$

(M : 最大抵抗モーメント (kN・m)、 D_{AV} : 平均胸高直径 (cm))

最大抵抗モーメントと平均胸高直径の関係は、トチノキが危険率1%で有意でしたが、トチノキ以外では強い相関は見られませんでした。このように、株立ちの胸高直径を平均化して扱うことは最大抵抗モーメントを表すことに妥当ではないと思われます。

(イ) 最大抵抗モーメントと合計胸高直径の関係

対象6樹種の最大抵抗モーメントと合計胸高直径の関係について得られた回帰式はそれぞれ以下のようなものでした。ダケカンバに関しては株立ちの対象木が無く、上記の平均胸高直径と値が変わらないので省略しました。

$$\begin{aligned} \text{カツラ} : M &= 0.204D_{\text{SUM}}^{1.50} (R^2 = 0.525^*) \\ \text{トチノキ} : M &= 0.0538D_{\text{SUM}}^{1.90} (R^2 = 0.692^{**}) \\ \text{サワグルミ} : M &= 0.702D_{\text{SUM}}^{1.26} (R^2 = 0.671^{**}) \\ \text{オノエヤナギ} : M &= 0.716D_{\text{SUM}}^{1.03} (R^2 = 0.594^*) \\ \text{バッコヤナギ} : M &= 0.268D_{\text{SUM}}^{1.44} (R^2 = 0.506) \end{aligned}$$

(M : 最大抵抗モーメント (kN・m)、 D_{SUM} : 合計胸高直径 (cm))

最大抵抗モーメントと合計胸高直径の関係は、カツラとオノエヤナギに関しては危険率5%で有意、トチノキとサワグルミが危険率1%で有意でした。平均胸高直径と最大抵抗モーメントの関係に比べて、相関のある樹種が多い結果となりました。トチノキとバッコヤナギの決定係数が平均胸高直径と最大抵抗モーメントの関係に比べて低いですが、バッコヤナギに関しては対象木が少ないことが理由として考えられます。また、トチノキに関しては両決定係数の差が軽微であることから、実際に差は無いと考えてもよいと思われます。また、トチノキを除く、対象木が比較的多いカツラ、サワグルミ、オノエヤナギにおいて相関が平均胸高直径に比べ強いため、胸高直径を単純に合計して最大抵抗モーメントを表すのは平均胸高直径に比べてならば妥当であると思われる。

(ウ) 最大抵抗モーメントと最大胸高直径の関係

対象6樹種の最大抵抗モーメントと最大胸高直径の関係について得られた回帰式はそれぞれ以下のようなものでした。また、前述した理由により、ダケカンバに関しては省略しました。

$$\begin{aligned} \text{カツラ} : M &= 0.296D_{\text{MAX}}^{1.62} (R^2 = 0.432^*) \\ \text{トチノキ} : M &= 0.00876 D_{\text{MAX}}^{2.61} (R^2 = 0.869^{**}) \\ \text{サワグルミ} : M &= 0.0738 D_{\text{MAX}}^{2.05} (R^2 = 0.602^{**}) \\ \text{オノエヤナギ} : M &= 0.424D_{\text{MAX}}^{1.24} (R^2 = 0.557^*) \\ \text{バッコヤナギ} : M &= 0.372D_{\text{MAX}}^{1.41} (R^2 = 0.875) \end{aligned}$$

(M : 最大抵抗モーメント (kN・m)、 D_{MAX} : 最大胸高直径 (cm))

最大抵抗モーメントと最大胸高直径の関係は、カツラとオノエヤナギが危険率5%で有意、トチノキとサワグルミが危険率1%で有意でした。前述した最大抵抗モーメントと合計胸高直径の関係と本関係を比べると、トチノキとバッコヤナギに関しては後者において相関が高くなりました。トチノキは前述した二つの関係よりも相関が非常に強いですが、バッコヤナギを除くその他の樹種はどれも合計胸高直径との関係と比べて相関が低くなりました。また、バッコヤナギは前述したように、今後調査を行いデータ数が増えた場合、この関係が変わってくるであろうと考えられます。したがって、トチノキに関しては前述した二つの関係よりも最大胸高直径を用いて最大抵抗モーメントを求めることは比較的妥当であると考えられます。

(エ) 最大抵抗モーメントと仮想胸高直径の関係

対象6樹種の最大抵抗モーメントと仮想胸高直径の関係について得られた回帰式はそれぞれ以下のようなものでした。

$$\begin{aligned} \text{カツラ} : M &= 0.0123D_{\text{IF}}^{2.50} (R^2 = 0.677^{**}) \\ \text{トチノキ} : M &= 0.00410D_{\text{IF}}^{2.77} (R^2 = 0.972^{**}) \\ \text{サワグルミ} : M &= 0.126D_{\text{IF}}^{1.84} (R^2 = 0.692^{**}) \end{aligned}$$

$$\text{オノエヤナギ} : M = 0.417D_{IF}^{1.23} (R^2 = 0.617^*)$$

$$\text{ダケカンバ} : M = 0.000371D_{IF}^{3.92} (R^2 = 0.818)$$

$$\text{バッコヤナギ} : M = 0.0731D_{IF}^{1.91} (R^2 = 0.998^*)$$

(M : 最大抵抗モーメント (kN・m)、 L_{SUM} : 断面積合計 (cm²)、 D_{IF} : 仮想胸高直径 (cm))

最大抵抗モーメントと仮想胸高直径の関係は、オノエヤナギとバッコヤナギが危険率5%で有意、カツラ、トチノキ、サワグルミが危険率1%で有意でした。また、他の関係と比べてダケカンバを除きどの樹種においても最も決定係数が高く、相関が強くなりました。ダケカンバに関しては調査本数が極端に少ないため、今後引き倒し試験を行いデータが増えることによって相関が変化すると思われます。また、カツラとトチノキの乗数が他の樹種と比べて高いことに関しては、カツラとトチノキ以外の樹種が陽樹であるという違いが関係しているのではないかと思われます。

(オ) 最大抵抗モーメントと樹高、枝下高の関係

対象6樹種の最大抵抗モーメントと樹高の関係について得られた回帰式は以下のようでした。

$$\text{カツラ} : M = 1.19H_1^{1.48} (R^2 = 0.310)$$

$$M = 59.5H_2^{-0.293} (R^2 = 0.0298)$$

$$\text{トチノキ} : M = 0.00115H_1^{4.04} (R^2 = 0.568^*)$$

$$M = 27.6H_2^{0.182} (R^2 = 0.00940)$$

$$\text{サワグルミ} : M = 0.200H_1^{1.99} (R^2 = 0.561^{**})$$

$$M = 24.1H_2^{0.455} (R^2 = 0.146)$$

$$\text{オノエヤナギ} : M = 5.58H_1^{0.488} (R^2 = 0.0244)$$

$$M = 9.16H_2^{0.440} (R^2 = 0.161)$$

$$\text{ダケカンバ} : M = 3.16 \times 10^{-6} H_1^{6.29} (R^2 = 0.974)$$

$$M = 2.18H_2^{0.973} (R^2 = 0.462)$$

$$\text{バッコヤナギ} : M = 14.0H_1^{0.267} (R^2 = 0.00304)$$

$$M = 28.6H_2^{-0.115} (R^2 = 0.0406)$$

(M : 最大抵抗モーメント (kN・m)、 H_1 : 樹高 (m)、 H_2 : 枝下高 (m)、 H_3 : 樹冠長 (m))

最大抵抗モーメントと樹高の関係についてはトチノキが危険率5%で有意であり、サワグルミが危険率1%で有意でした。枝下高との関係においてはどれも強い相関が見られず、樹冠長との関係においてはカツラ、トチノキ、サワグルミが危険率5%で有意でした。しかし、いずれも仮想胸高直径と比べて相関が弱く、最大抵抗モーメントをこれらの値で導き出そうとするのは妥当ではないと思われました。

(カ) 最大抵抗モーメントと各形状比の関係

対象6樹種の最大抵抗モーメントと平均胸高直径による形状比の関係、合計胸高直径による形状比との関係、最大胸高直径による形状比との関係、仮想胸高直径による形状比との関係についてそれぞれ得られた回帰式は以下のようでした。前述のように、ダケカンバには株立ちの対象木がなかったので以下の式に差が見られませんでした。

$$\text{カツラ} : M = 61.8S_{AV}^{0.772} (R^2 = 0.0897)$$

$$M = 22.0S_{SUM}^{-0.591} (R^2 = 0.0832)$$

$$M = 26.4S_{MAX}^{-0.759} (R^2 = 0.0437)$$

$$M = 24.6S_{IF}^{-0.668} (R^2 = 0.0411)$$

$$\text{トチノキ} : M = 6.63S_{AV}^{-3.08} (R^2 = 0.625^{**})$$

$$M = 10.5S_{SUM}^{-1.41} (R^2 = 0.316)$$

$$M = 3.57S_{MAX}^{-3.67} (R^2 = 0.707^{**})$$

$$M = 3.36S_{IF}^{-3.30} (R^2 = 0.696^{**})$$

$$\text{サワグルミ} : M = 66.7S_{AV}^{0.668} (R^2 = 0.0639)$$

$$M = 30.6S_{SUM}^{-0.913} (R^2 = 0.230)$$

$$M = 52.5S_{MAX}^{-0.116} (R^2 = 0.00134)$$

$$M = 38.0S_{IF}^{-0.768} (R^2 = 0.0722)$$

$$\text{オノエヤナギ} : M = 8.06S_{AV}^{-0.867} (R^2 = 0.324)$$

$$M = 7.42S_{SUM}^{-0.876} (R^2 = 0.459)$$

$$M = 7.57S_{MAX}^{-0.931} (R^2 = 0.371)$$

$$M = 7.11S_{IF}^{-0.973} (R^2 = 0.438)$$

$$\text{ダケカンバ} : M = 6.33S_{AV}^{-2.96} (R^2 = 0.159)$$

$$M = 6.33S_{SUM}^{-2.96} (R^2 = 0.159)$$

$$M = 6.33S_{MAX}^{-2.96} (R^2 = 0.159)$$

$$M = 6.33S_{IF}^{-2.96} (R^2 = 0.159)$$

$$\text{バッコヤナギ} : M = 14.7S_{AV}^{-0.781} (R^2 = 0.547)$$

$$M = 2.43S_{SUM}^{-2.50} (R^2 = 0.851)$$

$$M = 11.2S_{MAX}^{-1.08} (R^2 = 0.657)$$

$$M = 6.56S_{IF}^{-1.63} (R^2 = 0.835)$$

(M : 最大抵抗モーメント (kN・m)、 S_{AV} : 平均胸高直径による形状比、 S_{SUM} : 合計胸高直径による形状比、 S_{MAX} : 最大胸高直径による形状比、 S_{IF} : 仮想胸高直径による形状比)

最大抵抗モーメントと平均胸高直径による形状比の関係はトチノキが危険率1%で有意でした。また、合計胸高直径による形状比との関係は強い相関がどの樹種にも見られず、最大胸高直径による形状比についてはトチノキが危険率1%で有意でした。仮想胸高直径による形状比についてはトチノキが危険率1%で有意でした。以上のように、形状比に関してはトチノキ以外には強い相関が見られませんでした。したがって、形状比で最大抵抗モーメントを測ることは妥当ではないと思われました。また、枝下高を測る際に本試験の対象樹種の力枝の判別が難しく、値に主観が入りやすいと思われ、結果が上記の式にも表れたと思われま

(キ) 最大抵抗モーメントと樹冠投影面積の関係

対象6樹種の最大抵抗モーメントと樹冠投影面積の関係について得られた回帰式は以下のようでした。他の樹種に関しては、データが不足しているため関係を導き出していません。

$$\text{カツラ} : M = 7.15A^{0.673} (R^2 = 0.417^*)$$

$$\text{オノエヤナギ} : M = 6.82A^{0.371} (R^2 = 0.269)$$

$$\text{バッコヤナギ} : M = 1.89A^{1.01} (R^2 = 0.879)$$

(M: 最大抵抗モーメント (kN・m)、 B_{AV} : 枝張り平均 (m)、A: 樹冠投影面積)

最大抵抗モーメントと樹冠投影面積の関係はカツラが5%で有意でしたが、他の樹種に関しては強い相関が見られませんでした。樹冠投影面積は、東西南北4方向を頂点とする四角形の面積として算出したため、実際の樹冠投影面積と誤差が生じており、今回の結果に影響を与えていると考えられます。今回関係を示した樹種は3樹種のみですが、バッコヤナギを除き、仮想胸高直径と比べ相関が低くなりました。バッコヤナギに関しては、前述しているように、試験本数を増やした場合、関係が変わってくると思われます。したがって、最大抵抗モーメントを枝張りや樹冠投影面積(ただし、4方向の枝張りから四角形として算出した値)で図る事は妥当ではないと思われます。

過去の研究の多くにおいて(例えば、鎌田(1959)、岩田(2006)、深見(2010))、最大抵抗モーメントと胸高直径は強い相関があるとされています。また、以上の最大抵抗モーメントとの関係において、仮想胸高直径よりも高い相関があるものは、ダケカンバを除く全ての樹種においてありませんでした。前述のようにダケカンバとバッコヤナギに関してはデータ数が非常に少なく、株立ちも無かったということが今回の結果に少なからず影響を与えていると考えられます。よって、仮想胸高直径は最大抵抗モーメントを表すのに妥当であると考えられます。

(2) 「 $M=\alpha D^3$ 」モデルの適用

深見(2010)は立木引き倒しモデルを考えることによって、最大抵抗モーメント M (kN・m) が胸高直径 D (cm) の3乗に比例するという形、すなわち、 $M=\alpha D^3$ で表現できる可能性があるとしています。したがって、今回の引き倒し試験によって得られた樹種ごとの「 $M=\alpha D^3$ 」型の回帰曲線から樹種間で最大抵抗モーメント M と胸高直径 D の関係を比較します。比較の前に、深見(2010)によると、「 $M=\alpha D^3$ 」型の式の係数 α について、以下のように考えることができます。

係数 α : 「立地環境および土壌の異なる林分であっても、土壌が類似であり、かつ、立木密度が同程度であるときの、樹種固有の、最大抵抗モーメント M と胸高直径 D の関係を示す」

よって、今回の試験では同じ林分で行っているため、土壌は同じであり、かつ、立木密度も同じであるので、樹種固有の関係を表現できていると考えられます。

本試験のデータから導き出した、樹種ごとの最大抵抗モーメントと胸高直径に関する「 $M=\alpha D^3$ 」型の回帰式を表-1、最大抵抗モーメント M と胸高直径 D の関係を図-6に示します。図-6では試験本数が3本以下の樹種は除いて示しています。

樹種ごとの α の違いを見ると、カツラ、サワグルミ、トチノキ、オノエヤナギの順番でした。先述のように今回の試験は同一林分で行っているため、表-1、図-6に示した樹種ごとの最大抵抗モーメント M と胸高直径 D の関係は、樹種間の違いを示していると考えられます。

表-1 各樹種の「 $M = \alpha D^3$ 」式

樹種	カツラ	トチノキ	サワグルミ	オノエヤナギ	シウリザクラ
回帰式	$M = 2.14 \times 10^{-3} D^3$	$M = 1.80 \times 10^{-3} D^3$	$M = 1.99 \times 10^{-3} D^3$	$M = 1.13 \times 10^{-3} D^3$	$M = 3.15 \times 10^{-3} D^3$

樹種	ダケカンバ	バッコヤナギ	フサザクラ	ミズキ
回帰式	$M = 4.74 \times 10^{-3} D^3$	$M = 2.06 \times 10^{-3} D^3$	$M = 2.00 \times 10^{-3} D^3$	$M = 3.94 \times 10^{-3} D^3$

M: 最大抵抗モーメント(kN・m)

D: 胸高直径(cm)

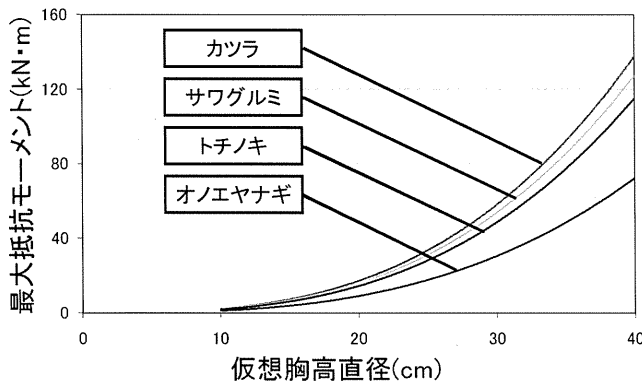


図-6 各樹種における「 $M = \alpha D^3$ 」の関係

(3) 土石流緩衝機能の高い溪畔樹種の選択

以上の結果から、今回対象とした樹種の中で土石流緩衝機能の高い溪畔樹種として最も好ましい樹種を考えます。オノエヤナギはカツラに比べて寿命が短く、表-1、図-6においては他の樹種と比べて係数が低くなりました。オノエヤナギを除いて、最も係数が大きい樹種はカツラです。カツラは前述した先駆種であるダケカンバとミズキの2樹種に比べて寿命が長いですが、カツラは土石流抵抗力の成長による増大限界、および年数経過に対する土石流抵抗力維持の二点において優れていると考えられます。また、カツラは、トチノキ、サワグルミと危険率5%で最大抵抗モーメントと仮想胸高直径の関係に差があるとは言えませんでした。したがって、土石流緩衝機能の強い溪畔樹種としてはカツラ、トチノキ、サワグルミが好ましいと考えられます。

5 まとめ

(1) 株立ちの対象木と一本立ちの対象木との関係

今回の試験対象木のうち、試験本数が多く、株立ちの対象木も多かったカツラ、トチノキ、サワグルミの3樹種について、株立ちと一本立ちとの間で最大抵抗モーメントと各要素で危険率5%において有意差検定を行いました。その結果、仮想胸高直径が、平均胸高直径や樹高等の他の要素と比べ、3樹種全てにおいて差があるとは言えないと唯一認められたため、株立ちの立木を一本立ちの立木と統合し一本の回帰式で表すことができました。また、カツラ、トチノキ、サワグルミ以外の試験対象樹種であるオノエヤナギ、ダケカンバ、バッコヤナギにおいても最大抵抗モーメントと仮想胸高直径の関係は相関が強く、立木の形状から最大抵抗モーメントを評価する際、仮想胸高直径を使う妥当性が示されました。

(2) 「 $M = \alpha D^3$ 」モデルの適用

深見(2010)に基づき、今回の調査対象木について $M = \alpha D^3$ (M : 最大抵抗モーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)、 α : 係数、 D : 胸高直径 (cm)) 型の回帰式を導き出し、各樹種で比較しました。結果、カツラ、サワグルミ、トチノキ、オノエヤナギの順で値が大きくなりました。

(3) 土石流緩衝機能の高い溪畔樹種の選択

以上の結果より、今回対象とした溪畔樹種の中でカツラ、トチノキ、サワグルミが土石流緩衝機能の高い溪畔樹種として最も好ましいと考えられました。

おわりに

今回の試験では、カツラ、トチノキ、サワグルミの3樹種を除きサンプル数が非常に少なく、また、他の溪畔樹種であるオニグルミやハルニレの試験も未実施なので、今後も調査を行う必要があると考えられました。土石流緩衝林の林帯や配置方法等を水理実験やシミュレーションを行って調べていくことも考えています。

本研究を行うにあたり、中部森林管理局治山課の皆様、および南信森林管理署の澤口蔦夫氏には、試験地の提供から試験の実施にいたるまでご協力を賜りました。小黒川の治山・砂防事業に携わる方々には、引き倒し試験にご協力いただきました。

以上の方々に、厚く御礼申し上げます。

〈引用文献〉

- 深見悠矢(2010): 森林の土石流緩衝機能の力学的評価. 平成 21 年度信州大学大学院農学研究科学位論文
- 岩田孝治(2006): 北股沢の樹林帯を活かした砂防事業について: 平成 18 年度国土交通省国土技術研究会
- 鎌田正之(1959): なだれに対する林木と杭の強度について. 雪氷 21 (6): 182-185
- 小沼順一・柴田順一・今富裕樹・峰川三七三(1988): 根株強度の回帰式. 関東支論 40: 261-262
- 水山高久・栗原淳一・鈴木浩之(1990): 立木の衝撃エネルギー吸収効果. 新砂防 42 (6): 24-28
- 森岡昇(1984): 集運材用ワイヤロープの支柱としての立木の強さ (Ⅲ) 横荷重による力のモーメントと幹の傾きの関係. 日林誌 66 (4): 160-163
- 中村英石(1969): 林業機械の効果的作業技術. 林業試験場研究報告 225: 1-29
- 島田宏行(2009): カラマツの風害に関する力学的評価. 日林誌 91: 120-124
- 玉手三稟寿・檜山徳治・笹沼たつ・高橋亀久松(1965): 立木引き倒し試験. 日林誌 47 (5): 210-213
- 上村巧・伊藤崇之・広部伸二・田中良明・毛綱昌弘・飯田富士雄(2002): 小径木の根株強度について. 森林総合研究所研究報告 1 (3): 181-184