

なぜ天然スギはよく曲がるのか？

～曲げ加工に適した造林スギを得るためには～

秋田県立大学 生物資源科学部 ○野出彩乃

秋田県立大学 木材高度加工研究所 足立幸司・瀧誠志朗・高田 克彦

1. はじめに

全国的に天然スギの資源量が減少する中で、曲げわっぱ用材として伝統的に使われてきた天然スギ（天スギ）は、将来的な資源枯渇の状況にあり、高齢級の人工林スギ（造林スギ、造スギ）の利用可能性を模索することは、地域の伝統的工芸品産業の振興にとって有用である。天スギと造スギの材質の違いによる現場への不具合は、特に、曲げ加工を必要とする大館曲げわっぱで顕著であり、造スギは天スギよりも曲げにくい事例が報告されている（図1）¹⁾。

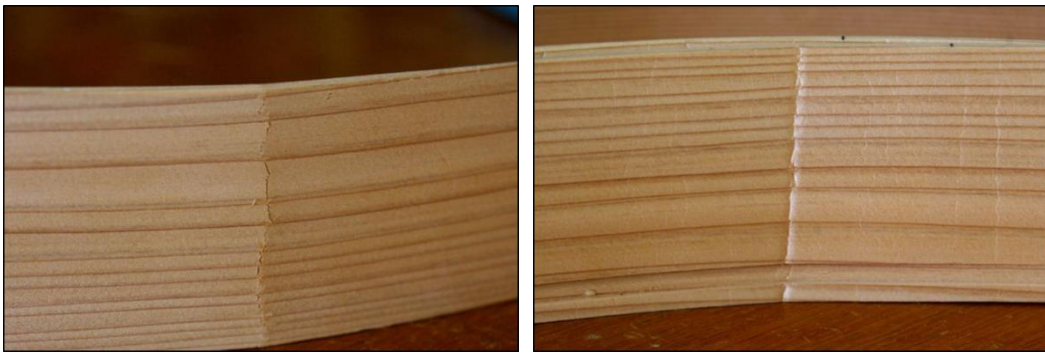


図1 曲げわっぱの加工不具合

木材高度加工研究所ではこれまでに、天スギは造スギよりも小さい曲率まで曲げられること、応力波伝播法や打撃音法によって得られる比曲げヤング率を指標とすれば、曲げ加工に適したスギ材を選別できることを明らかにした¹⁾。しかし、同じ秋田県内で生産される天スギと造スギで曲げ特性がなぜ異なるのか？という疑問に回答が出されていない。今後、造スギの超長伐期化で曲げわっぱ用材の安定的な生産を目指すためには、天スギの曲げ特性の経年変化を理解することが重要と考えられるが、研究例はこれまでに認められない。

本発表では、天スギがどのように成長して曲げやすい材質を形成したのかを明らかにするために、天スギと造スギを対象として、髓から樹皮に向けた年輪ごとの曲げ特性の変化を調査し、両者を比較検討した。また、木口面の組織構造観察を行い、曲げ特性と組織構造の関連性について考察した。

2. 実験方法

秋田県産および青森県産の天然スギおよび秋田県産の造林スギの髓から樹皮までを含む個体から、髓を通る厚さ60~80mmの板材を、接線方向厚さ約9mmに粗挽き後、7日間以上風乾して気乾状態とした。その後、髓から樹皮に向けて2mm毎に分割した試験体を連

続的に切り出した (図 2)。

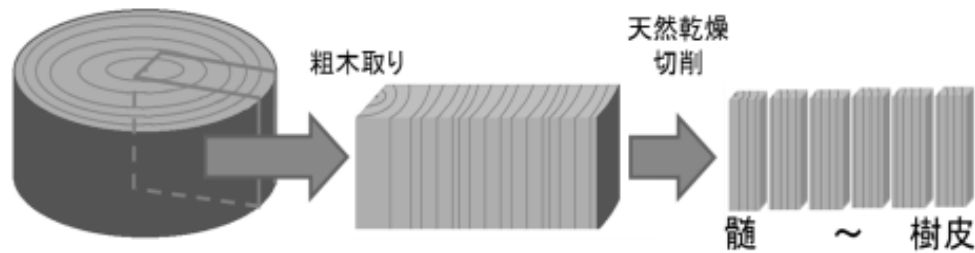


図 2 試験体の作製手順

試験体は、寸法、重量および年輪幅を測定した後、曲げスパン54mm、変形速度3mm/minの条件で万能試験機を用いて3点曲げ試験を行い、スパン中央部のたわみ δ と荷重 P を測定した (図 3(a))。

最大荷重 P_{max} 時のたわみを破壊たわみ δ_u とし、折れにくさの指標とした。また、 P_{max} の10%と40%に相当する荷重とたわみをそれぞれ求め、その傾き ($\Delta P/\Delta \delta$) から曲げヤング率 E を算出した。また、気乾比重 ρ で除して比曲げヤング率 E/ρ を求め、単位重量当たりの曲げにくさの指標とした。それらを髓から樹皮まで連続した試験体それぞれで求めることにより、樹幹内半径方向の変動パターンを求めた (図 3(b))。

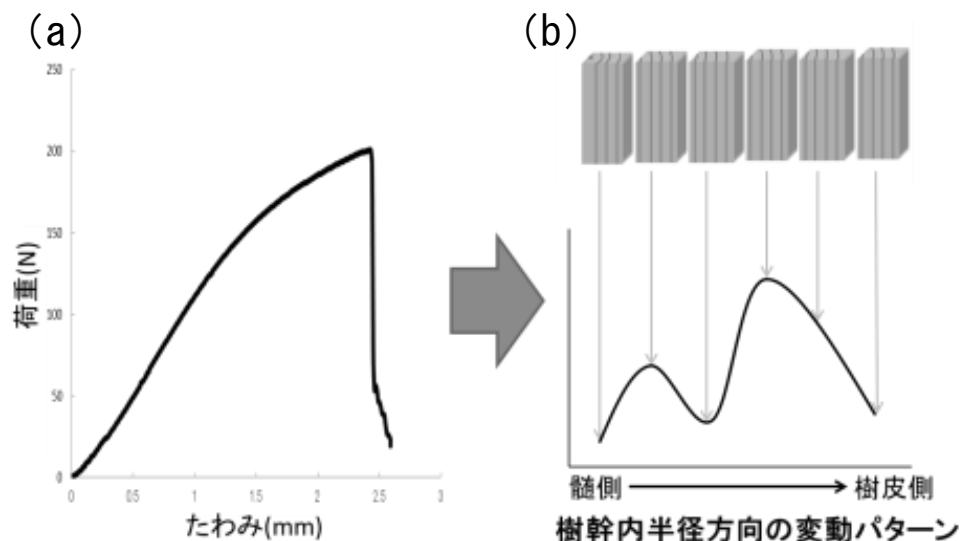


図 3 (a) 荷重-たわみ曲線 (b) 樹幹内半径方向の変動パターンの求め方

また、3点曲げ試験後の試験体木口面から厚さ $16\mu\text{m}$ の薄片を作製し、サフランニンで染色後にデジタルマイクロスコープで組織観察を行った。年輪ごとの仮道管の放射方向の内腔径 L_r と接線壁厚 M_t を測定し、 L_r と M_t の比 $L_r/2M_t$ が2に達したところで早・晩材界面があたえられるとしたモルクの定義²⁾により春から夏にかけて成長する細胞壁の薄い早材と、秋に成長する細胞壁の厚い晩材を区分した。

3. 結果と考察

3.1 天スギと造スギの曲げ特性

図4に天スギと造スギの破壊たわみおよび比曲げヤング率の半径方向変動を示す。造スギに関して、破壊たわみは髄付近が最も高く、15年輪にかけて減少し、以後はほぼ一定となった。また、比曲げヤング率は髄付近が最も低く、15年輪にかけて急激に上昇し、以後は緩やかに増加する傾向が認められた。これは、造スギで一般的に知られる未成熟材から成熟材にかけて生じる挙動と同様であった。天スギに関しては、破壊たわみおよび比曲げヤング率ともに造スギとは異なる挙動を示した。破壊たわみは、髄から10年輪にかけて減少する傾向を示したが、その後は緩やかな増加傾向にあり、全体的な値は造スギよりも高かった。このことは、未成熟材から成熟材移行期の15~20年輪という若齢期で、天スギは造スギと比較して折れにくい材質を形成していることを示唆した。また、比曲げヤング率は、髄から約20年輪にかけて増加したが、その変化幅は造スギよりも低かった。加えて、約20年輪以降は緩やかな減少傾向が認められ、髄付近の未成熟材よりも低くなった。比曲げヤング率は、細胞壁の単位重量当たりの曲げやすさに相当するため、髄付近の比曲げヤング率がほぼ等しい天スギと造スギが、経年成長の過程で生じた挙動の違いは、形成された細胞壁構造の違いにあると考えられる。

一般的にスギに代表される針葉樹は、仮道管を主とした組織構造となっており、仮道管は一次壁、二次壁外層、二次壁中層 (S_2 層)、二次壁内層からなる多層膜構造であることが知られており、うち、 S_2 層は細胞壁に占める体積が最も多く、かつ、強度を担うセルロースマイクロフィブリルも多く含まれている。天スギの比曲げヤング率が造スギよりも低いことを細胞壁構造の観点から考えた場合、比曲げヤング率の低さは、 S_2 層の割合が造スギよりも少ない可能性があり、また、 S_2 層の割合の低さは、木部形成過程において二次壁の肥厚が抑制されている可能性が挙げられる。二次壁の肥厚の抑制は、被圧木や大径老齢木で見られる現象であり、天スギも何らかのかたちで生育環境下において形成層活動が抑制され、通常通り木部細胞が分化していないことが考えられる。

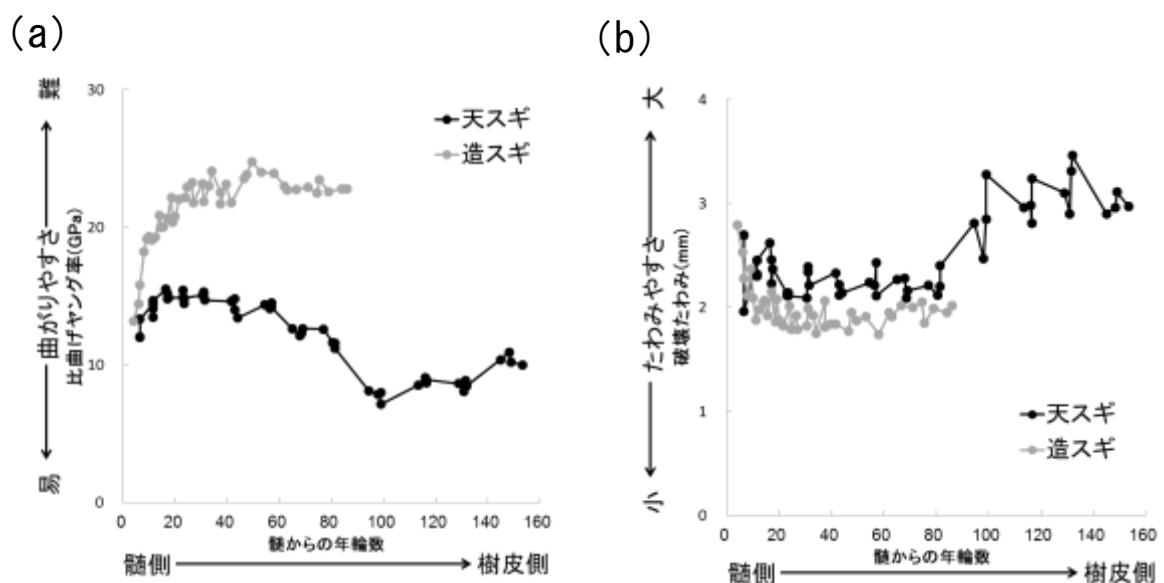


図4 天スギ・造スギの各物性の樹幹内半径方向変動 (a) 破壊たわみ (b) 比曲げヤング率

3.2 天スギと造スギの組織構造

図5に天スギ・造スギで年輪幅のほぼ等しい1年輪における組織構造を比較した。図中には早材および晩材の区分を示した。天スギは造スギと比較して、1年輪に占める晩材が少なかった。これは、成熟材以降において天スギで全般的に確認された。このことから、天スギでは二次壁の肥厚が抑制されている状態で成長していることが示唆され、図4で確認された天スギの比曲げヤング率の低下を支持するものであった。

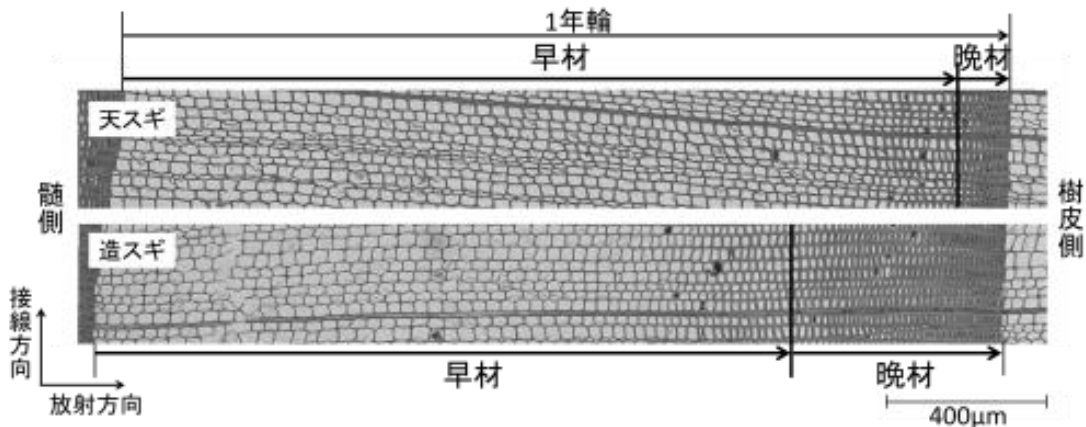


図5 天スギ・造スギ木口面の1年輪における顕微鏡写真

4. おわりに

天スギの折れにくい材質は、髓から20年輪程度の若齢期で既に形成されており、二次壁の肥厚の抑制による晩材の割合低下によって E/ρ が低下するためと考えられた。したがって、現状で E/ρ の高い造スギの立木は肥大成長を抑制する施業方法（光合成量を抑えるため被圧を強度に行う、枝を積極的に払う等）によって曲げわっぱに適した折れにくい材質に誘導可能であることが示唆された。

謝辞

本発表にあたり、組織実験をご指導いただいた秋田県立大学木材高度加工研究所の工藤佳世特任助教、研究プロジェクトの遂行にご協力いただいた大館曲げわっぱ協同組合および東北森林管理局米代東部森林管理署各位、発表にあたり指導・助言をいただいた秋田県立大学生物資源科学部の蒔田明史教授、星崎和彦准教授、井上みずき助教に深甚の謝意を表す。

引用文献

- 1) 足立幸司 (2015), 地域資源を活かした木のものづくり, 平成26年度森林・林業技術交流発表会, 東北森林管理局, 2015/2/6
- 2) 佐伯浩 (1969), 針葉樹材における構造の年輪内変移に関する研究. 京都大学博士論文