樹種による組織構造及び熱軟化特性の違いが 木材の横引張変形特性へ及ぼす影響†

三好由華* 神代圭輔** 古田裕三***

Effect of Anatomy and Thermal-Softening Properties on Lateral Tensile Deformation Properties of Various Wood Species

by

Yuka MIYOSHI*, Keisuke KOJIRO**, Yuzo FURUTA***

To obtain the information about maximum possible tensile deformation of wood, deformation properties of various wood species in lateral tension were studied. In addition, we observed fracture sections of lateral tensile tests in water, in order to examine the effect of anatomy on the deformation properties. Tensile deformation properties were measured in water at 25°C or 80°C. The test specimens have different angles of the tensile direction to the annual rings (0°, 45°, 90°). The results obtained were as follows. 1) Failure strain of the hardwood specimens were not larger than the specimens of Hinoki at 80°C in water. 2) At the specimen of angle 45°, failure strain increased proportionally with the decrease in density. 3) In all of specimens, failure strain in water saturated condition were larger at 80°C than 25°C. However, failure strain were not increased proportionally with the decrease in elastic modulus. This result suggests that softening of wood with moisture and temperature course not only capability for the deformation of cell shapes but also origin of the fracture. 4) Result of observation of the fracture sections of lateral tensile tests, specimen of Keyaki having large pores susceptible to fracture along the sequence of large pores. These results suggest that lateral tensile deformation properties were greatly affected by anatomy. Therefore, in order to increase the tensile deformation it is necessary to deform of cell shapes which affected by density, thermal-softening caused by glass transition of lignin and anatomy, i.e., ray tissue or large pores.

Key words: Lateral tensile deformation, Different tensile direction, Failure strain, Anatomy, Fracture sections of lateral tensile test

1 緒 言

木材製品の意匠性を向上させるために、木材を様々な形状へ変形できる技術が求められている。しかしながら、木材は延性に乏しく、繊維直交方向に作用する引張応力によって、繊維に沿って割れやすい性質を持つため、加工できる形状は制限されている。そのため、木材の横引張変形量を把握し、それらの変形量を増大させるような因子を明らかに出来れば、木材の変形量を考慮した加工形状の設計や、木材の変形加工の自由度を上昇させることが可能になることも期待できる。例えば、現在、木材突板を曲面に貼り加工する際に、曲率の大きい部分で割れが生じることが問題になっているが、突板を任意の方向に自由に伸ばすことが出来るようになれば、様々な形状の曲面へ突板を貼る技術の開発へも繋がると思われる。しかしながら、木材の横引張変形量を増大させることに主眼を置いた研究は行われていない。そのような中、我々は

これまでに、組織構造が比較的均質な樹種であるヒノキをモデル材料として、含水率、温度、年輪傾角を精度よく変化させて、木材の横引張変形量を正確かつ定量的に把握してきた¹⁾。また、これらの結果から、横引張変形特性に関する研究を進めるうえで、指標となる基礎データを構築するとともに、得られた結果を包括的に説明できるようなメカニズムについても検討を行った。その結果、木材の横引張変形量を増大させるためには、組織構造レベルでは、細胞形状を変形させることが重要であり、分子レベルでは、分子運動を活性化させ、木材細胞壁を軟化させることが重要であることが明らかになった。しかしながら、これらの結果は、ヒノキに対して得られた結果であるため、組織構造が異なる樹種では、細胞形状の変形様式も異なると考えられる。

そこで、木材の横引張変形のメカニズム解明に向けて新たな知見を得ることを目的として、本研究では、組織構

† 原稿受理 平成26年9月30日 Received Sep. 30, 2014 ©2015 The Society of Materials Science, Japan

* 京都府立大学法人京都府立大学大学院生命環境科学研究科 〒606-8522 京都市左京区下鴨半木町
Life and Environmental Sciences Course, Graduate School of Kyoto Prefectural University, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8522

** 正 会 員 ミサワホーム(株) 〒163-0833 東京都新宿区西新宿
Misawa Homes Co., Ltd, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-0833

*** 正 会 員 京都府立大学法人京都府立大学大学院生命環境科学研究科 〒606-8522 京都市左京区下鴨半木町
Life and Environmental Sciences Course, Graduate School of Kyoto Prefectural University, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8522

造の特徴が異なる樹種について、年輪傾角を精度よく変化させて引張試験を行い、木材の横引張変形特性に及ぼす組織構造の影響について検討した。また、本研究を行うにあたって、樹種が異なる場合に変動する因子の中でも、力学的性質に影響を及ぼす可能性のある因子として、密度と熱軟化温度が考えられた。そのため、それらの因子と横引張変形量の関係についても検討を行った。

以上の得られた結果から、木材の横引張変形量をさらに増大させるために重要な因子についても検討を行った。

2 実 験

2・1 引張試験への供試試料および測定方法

供試試料には、無道管広葉樹であるヤマグルマ (*Trochodendron aralioides* Sieb. et Zucc.)、散孔材であるホオノキ (*Magnolia obovata* Thunb.)、環孔材であるケヤキ (*Zelkova serrata* Makino)、放射孔材であるアラカシ (*Quercus glauca* Blume) を用いた。それぞれの材から、引張方向に対して年輪傾角が0° (接線方向)、45° (年輪と試料の長さ方向のなす角度が45° の方向、すなわち追い柁方向)、90° (放射方向) に傾角したブロック状の試料を採取し、それらのブロック状の試料を飽水状態にした後、スライディングマイクロトームで木口面をスライスすることによって薄切片状の試料を得た。スライスした試料は、乾燥しないようすぐに蒸留水に浸け、飽水状態を維持したまま引張試験に供した。試料寸法は、厚みが0.10mm±0.02mm (繊維方向)、幅3.2 mm×長さ15 mmとし、応力値の算出には引張負荷前の各試料の厚みと幅から算出した断面積を用いた。実験に用いた樹種の全乾時の密度および年輪幅は、ヤマグルマ0.57g/cm³、0.8mm、ホオノキ0.46 g/cm³、1.7mm、ケヤキ0.82 g/cm³、2.0mm、アラカシ0.70 g/cm³、3.0mm、であった。

引張試験には、熱機械試験機 (TMA/SS6100 セイコーインスツルメンツ(株)製) を用いた。飽水状態の試料を装置の測定部に取り付けた後、25℃および80℃一定に保持された水中内に浸漬させた。その後、試料近傍の熱電対の示す温度が各設定温度に達するまでに3分程度要したため、いずれの測定条件においても熱電対の示す温度が設定温度に達したことを確認してから引張試験を開始した。試料チャック間距離は約10mmとし、負荷速度は1N/minで、試料が破断するまで測定を行った。測定結果には、チャックで破壊したものを除いて、おおよそ試料中央部で破壊したもののみ採用し、試料数は各樹種で5とした。ひずみの値は、TMAで検出されるチャックの移動量を、引張負荷前のチャック間距離で割ることで求めた。

引張試験後、乾燥させた破壊試料の一部を、走査型電子顕微鏡 (JSM-5510LV 日本電子(株)製) を用いて観察した。

2・2 動的粘弾性測定への供試試料および測定条件

供試試料には、各樹種のブロック状の試料から採取した接線方向試料を用いた。試料寸法は4mm (放射方向)

Fig.1 Stress-strain curves of specimens measured in water at 25°C or 80°C.

Legend: ○, △, □: Wet condition at 25°C; ●, ▲, ■: Wet condition at 80°C. Symbols mean failure point.

×20mm (接線方向) ×2mm (繊維方向) とした。これらの試料を飽水状態にした後、動的粘弾性測定に供した。

測定には、非共振強制振動型動的粘弾性測定装置 (DMS 6100 セイコーインスツルメンツ(株)製) を用いた。試料スパン間距離は5mmとし、測定周波数は0.5Hz, 1Hz, 2Hz, 5Hz, 10Hzで、水中で測定を行った。温度条件は、室温から98℃まで昇温させた後、1℃/minで20℃まで冷却し、再度98℃まで1℃/minで昇温させ、二度目の昇温過程について動的粘弾性の結果を得た。

3 結 果

3・1 応力 - ひずみ線図

引張試験から得られた飽水状態の25℃および80℃の各樹種の応力 - ひずみ線図の代表例をFig. 1に示す。本実験の広葉樹の結果と比較するために、既報において、本実験と同様の条件で測定したヒノキの結果¹⁾も併せて示す。なお、ヒノキの密度および年輪幅は、0.32g/cm³、1.1mmであった。

図より、アラカシ以外のすべての樹種において、温度条件25℃と80℃の結果とも、応力 - ひずみ線の勾配が年輪傾角90°で最も大きく、次いで0°、45°の順に減少する傾向が認められた。広葉樹の結果は、ヒノキの結果と比較して、同じ温度条件でも全体的に強度が大きい傾向が認められた。

ヒノキの結果から得られた変形の特徴として、年輪傾角0°、90°の試料に対して、45°の試料の破壊ひずみが大

きい傾向が挙げられる。同様の傾向は、道管を持たないヤマグルマや散孔材のホオノキで認められた。一方で、道管の配列に規則性がある放射孔材のアラカシや環孔材のケヤキは、年輪傾角45°の試料において破壊ひずみが大きい傾向は認められない。アラカシは、年輪傾角90°よりも0°と45°の試料で破壊ひずみが大きい傾向が認められるが、ケヤキでは年輪傾角による差はほとんど認められない。

ヒノキ、ヤマグルマ、ホオノキの年輪傾角45°の25°Cの条件に着目すると、ヤマグルマとヒノキが約12%の破壊ひずみを示すが、ホオノキでは少し小さく約9%の破壊ひずみを示す。一方で、年輪傾角45°の試料の80°Cの条件に着目すると、ヒノキでは約20%の破壊ひずみを示し、25°Cの条件と比較すると著しく増大しているが、ヤマグルマとホオノキでは、25°Cと80°Cで破壊ひずみの値にほとんど差は認められなかった。

次に、応力-ひずみ線の挙動に着目すると、ヒノキでは年輪傾角45°の試料の応力-ひずみ線の傾きが、ひずみが増加するにしたがって、急峻になる傾向が認められた。この理由として、負荷に伴って、細胞の主軸方向に沿ったせん断変形（ローリングシア）が生じることが考えられている¹⁾³⁾。このような特徴的な応力-ひずみ線の挙動は、ヒノキと同様に道管を持たないヤマグルマの年輪傾角45°の試料の80°Cの条件において認められるが、他の広葉樹では認められない。散孔材のホオノキでは、年輪傾角45°の試料の応力-ひずみ線の傾きは、他の年輪傾角の試料と比較すると直線的な挙動を示した。

これらの応力-ひずみ線の結果から、道管を持つ樹種と持たない樹種、また、道管が散在している樹種と規則的に配列した樹種とで、横方向の引張変形様式が異なる可能性が考えられるため、以下でさらに詳細な検討を行う。

3・2 各測定条件における異なる樹種の力学的性質

本実験から得られた破壊ひずみ、強度、弾性率の各値への組織構造の影響を詳細に検討する。Fig. 2に引張試験から得られた力学的性質と年輪傾角の関係について示す。広葉樹の結果と比較するために、既報で報告したヒノキ¹⁾の結果も併せて示す。

はじめに、25°Cの測定条件における破壊ひずみの値に着目する。ケヤキ以外の樹種では、年輪傾角45°の試料の破壊ひずみの値が最も大きく、次いで0°、90°と減少する傾向が認められた。年輪傾角45°の破壊ひずみは、ヒノキ、ヤマグルマ、ホオノキ、アラカシ、ケヤキの順に大きい値を示し、他の年輪傾角の試料ではそれほど顕著に樹種ごとの差は認められなかった。一方で80°Cの条件に着目すると、25°Cの結果と同様にケヤキ以外の樹種において、年輪傾角45°の試料の破壊ひずみが、他の年輪傾角の試料よりも大きい傾向が認められた。年輪傾角45°の破壊ひずみの値は、ヒノキで最も大きかったが、年輪傾角0°の試料では、アラカシが最も大きい結果を示した。

次に、強度に着目すると、25°Cと80°Cの条件ともに、ヒノキ以外の樹種において、年輪傾角0°よりも90°の方が大きい傾向が顕著に認められた。年輪傾角90°の試料は、引張方向が放射組織の繊維方向と等しく、その力学的性質には放射組織の繊維方向の強度が影響していると考えられる。一般的に、針葉樹は放射組織が単列であるのに対して、広葉樹では放射組織は多列で存在することが多く⁴⁾、木材を構成する組織の中で、放射組織が含まれる割合も、針葉樹よりも広葉樹で多い⁵⁾。つまり、ヒノキと広葉樹の強度の傾向の違いは、放射組織が受ける引張応力が、ヒノキよりも広葉樹で大きかったことが原因であると考えられる。

次に、弾性率に着目すると、25°Cと80°Cの結果とも、ケヤキ以外の樹種で年輪傾角45°の試料で最小値を示し、年輪傾角0°、90°の順に増加する傾向が認められた。広葉樹の試料において、年輪傾角90°の試料で特に弾性率が大きい傾向を示すことは、強度の結果と同様に放射組織の影響が大きいためであると考えられる。

3・3 異なる樹種の木材の破壊ひずみと密度の関係

今回測定に用いた樹種は、組織構造の違いを基準に選定したが、一方で、樹種が異なることで変動する因子として、密度やリグニンの軟化温度が挙げられる。まず密度の影響について、Fig. 3を用いて検討する。

飽水状態25°Cの測定条件から得られた破壊ひずみと試料の密度の関係についてみると、年輪傾角0°の試料では、

Fig.2 Mechanical properties in tension of lateral wood specimens having different angles of the tensile direction to the annual rings.

Legend: ●: Hinoki; □: Yamaguruma; ◆: Honoki; ×: Keyaki; △: Arakashi. Symbols mean the average values and error bars mean 95% confidence interval.

密度の変化に対して破壊ひずみは約 3~5%の値を推移し、値に大きな変動傾向は認められない。年輪傾角 90°の試料も同様に、密度の変化に対して、破壊ひずみの値に大きな変動傾向は認められない。一方で、年輪傾角 45°の試料では、密度が比較的小さい試料において破壊ひずみが大きく、密度の増加に伴って破壊ひずみの値が減少するような傾向が顕著に認められた。25℃の測定条件のこのような結果と比較して、80℃の測定条件の結果も同様に、年輪傾角 0°、90°では密度と破壊ひずみに明瞭な関係性は認められないが、年輪傾角 45°の試料は密度の増加に伴って破壊ひずみが低下する傾向が認められた。以上の結果から、年輪傾角 45°の試料において密度と破壊ひずみの関係に一定の傾向は認められるものの、飽水状態の木材の横引張破壊ひずみの大きさは、密度の因子のみで単純に説明できないことが明らかになった。年輪傾角 45°の試料において、破壊ひずみと密度に関係性が認められた理由について、以下のように考える。

木材の横方向の引張変形は、年輪傾角 0°の試料では、引張方向と平行に細胞壁が厚く扁平な形状をした晩材が配列し、引張方向と直交に放射組織が配列している。そのため、細胞壁の厚い晩材は、引張荷重によって細胞形状が変形しにくいため、試料の変形量が小さいと考えられる。年輪傾角 90°の試料では、前にも述べたが、引張方向と

平行に放射組織が配列する組織構造をとる。そのため、放射組織が引張変形を拘束するように作用すると考えられる。一方で、年輪傾角 45°の試料は、放射組織と晩材層は引張方向に対して 45°傾角した方向に配列している。そのため、これらの細胞が変形を直接拘束するように作用せず、おおよそ四角形から六角形の形状をした早材細胞は、負荷に伴ってちょうど網を引張る時に網目がひし形状に変形するようなせん断変形を生じる^{1)~3)}。このようなせん断変形は、木材の木口断面を観察した場合に、細胞内腔の面積を減少させるように生じる。つまり、密度の高い材では細胞壁が厚くせん断変形しにくいいため、破壊ひずみが減少する傾向が認められたと考えられる。

以上の結果から、木材の横引張破壊ひずみの増大には、細胞形状の変形の容易性が大きく影響しており、細胞形状がせん断変形するような変形様式を示す年輪傾角 45°の試料では、密度の因子が細胞形状の変形の促進または拘束に影響すると考えられる。

3・4 異なる樹種の木材の破壊ひずみと軟化の関係

既報のヒノキで得られた結果から¹⁾、飽水状態のヒノキの破壊ひずみは、25℃の条件よりも 80℃の条件で大きいことが明らかになっている。飽水状態の 80℃の条件で横引張変形量が増加したことは、木材構成成分の分子運動が活発な状態であるリグニンの軟化温度付近において、外力に対する抵抗性が減少し、細胞形状が変形しやすくなったことが原因であると考えられる。そのため、広葉樹も同様に、飽水状態 80℃の温度条件において、変形量は増大すると予想される。そこで、軟化に伴う変形の容易性に対する組織構造の影響について検討を行った。

木材は樹種によって、木材構成成分の組成や⁶⁾、リグニンの軟化に伴う損失正接のピーク温度も異なる⁷⁾。本論文では図示はしないものの、今回測定に用いた樹種の飽水状態における動的粘弾性の性質を測定したところ、0.5Hzの周波数で損失正接のおおよそのピーク温度は、ヒノキ

Fig.3 Relationship between density and failure strain of specimens of various wood species measured in water at 25°C or 80°C.

Legend: ○, △, □: Wet condition at 25°C. ●, ▲, ■: Wet condition at 80°C.

Notes: Correlation coefficient of each sample obtained by the measurement in water at 25°C; ○: $r = -0.42$, △: $r = -0.75$, □: $r = -0.20$ and 80°C; ●: $r = -0.03$, ▲: $r = -0.83$, ■: $r = -0.43$

Fig.4 Relationship between relative elastic modulus and relative failure strain of various wood species.

Legend: Each relative value means the value in wet condition at 80°C relative to that in wet condition at 25°C. The number means each wood species, 1: Hinoki, 2: Yamaguruma, 3: Honoki, 4: Keyaki, 5: Arakashi.

89℃, ヤマグルマ 76℃, ホオノキ 82℃, アラカシ 82℃, ケヤキ 74℃であった. そのため, 今回の測定で用いた条件である, 飽水状態で 80℃の温度条件では, 各樹種の分子運動は非常に活性化状態に差し掛かっているものの, リグニン分子の運動の活性化の程度は樹種によって若干異なると考えられる. そのため, 木材の軟化に伴う弾性率の低下率を指標として, 弾性率の低下率に対する破壊ひずみの増加率の関係を Fig. 4 に示す. なお, 相対破壊ひずみと相対弾性率の 100%の値は, 飽水状態で 25℃の条件における各年輪傾角の試料の物性値を示している. それぞれのプロットは, 飽水状態 25℃の物性値に対する, 飽水状態 80℃の物性値の増加率及び減少率を示す.

すべての試料において相対破壊ひずみは 100%以上の値を示すことから, 飽水状態で温度を増加させることは, 樹種に関係なく横引張破壊ひずみを増加させるように作用していると判断できる. しかしながら, 各年輪傾角の試料において, 弾性率の低下に伴う破壊ひずみの増加に, 一定の傾向は認められなかった. 一般的に, 木材細胞壁が軟化し, 弾性率が低下することによって, 木材の変形量は増加する. しかしながら, 本実験結果において, 弾性率と破壊ひずみに関係性が認められなかった原因として, 以下のようなことが推察できる.

まず, 木材の組織構造の観点から説明を行う. 年輪傾角 90° の試料では, 放射組織の繊維の方向と道管要素や仮道管等の組織の繊維直交方向に同時に引張荷重がかかる. このとき, 各組織の負荷方向に対する弾性率が異なれば, それらの組織における変形量は当然異なるであろう. 隣接する組織の変形量が異なれば, 変形量の小さい組織は周囲の組織の変形を拘束するように作用するため, 木材は複雑な変形挙動を示すと考えられる.

次に, 木材の熱軟化の観点から説明を行う. 木材は組織ごとに主要構成成分の組成が異なる. それに加えて, 細胞中のリグニンの含有率も, 二次壁よりも細胞間層で高い^{8),9)}. 軟化による弾性率の低下は, マトリックス成分の力学的性質が大きく反映される繊維直交方向において顕著に認められる¹⁰⁾. つまり, 樹種や組織の種類や組織の配向方向が異なれば, 軟化に伴う弾性率の低下も材内では均質に生じないと考えられる.

以上のことから, 引張弾性率の異方性や弾性率の低下率の材内における不均質性が, 木材の横引張変形に複雑に影響したため, 弾性率と破壊ひずみに関係性が認められなかったのであろう.

3・5 試料の破壊断面のSEM観察

引張試験から得られた各樹種の横引張変形特性について, さらに詳細に組織構造の影響について検討を行うため, 本実験で測定した試料の測定後の破壊断面の観察を行った. 観察は, 走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて, 測定後の試料を乾燥させた状態で行った. 試料の破壊傾向は, 飽水状態の 25℃と 80℃の条件で類似していたことから, 飽水状態で 25℃の条件の代表的な結果を Fig. 5 に示す.

Fig.5 Scanning electron micrographs of fracture sections of lateral tensile tests in water at 25℃ of various wood species.
Legend: Tensile direction to annual rings 0°, 45°, 90°. The vertical direction of each photo shows the tensile direction.

年輪傾角 0° の試料では, すべての樹種において, 放射組織に沿って破断している箇所が多くみられ, 放射組織に沿った破壊は, 別の放射組織に沿った破壊へと伝ばしながら試験片を分断したと考えられる. また, ケヤキでは, 大径の道管がちょうど内腔を半分に分断されるように破壊している部分も見られたことから, 試料内の道管が破壊の起点になる可能性も考えられた. 一方で, アラカシの道管も軸方向柔細胞に対して内腔の直径が大きく, 試料内でその存在が明瞭に確認されたが, ケヤキのように道管の内腔を分断するような破壊は認められなかった.

年輪傾角 45° の試料では, ヤマグルマとアラカシで, 放射組織に沿って破壊が生じる傾向が顕著に認められた. 一方で, ホオノキとケヤキでは, 放射組織に沿って破壊している部分もみられるが, 放射組織に限らず, 大径または小径の道管や晩材と早材の境界を破壊が伝ばしている傾向が認められた. このように, 年輪傾角 45° の試料では, いずれの樹種においても, 引張方向に対して 45° 方向に配向する放射組織を伝ばするか, または引張方向に対して 45° 方向に細胞壁が引きちぎられるような破壊形態を

示している。このような破壊形態は、ヒノキでも同様に認められている¹⁾。

年輪傾角 90° の試料では、ホオノキとヤマグルマは 1 年輪内で破壊が生じており、ヤマグルマでは 1 年輪の中でも早材側を破壊が伝ばする傾向が認められた。これは、木材構成組織の中でも、引張応力を受け持つ実質の量が少ない早材部に、応力が集中して破壊したことを示す結果であると考えられる。アラカシは、接線方向に波上に連なった軸方向柔細胞¹¹⁾に沿って破壊が生じる傾向が認められた。またケヤキは、接線方向に配列している大径の道管に沿って破壊する部分も認められた。

これらの観察結果から、試料に含まれる大径の道管や、単位体積当たりの細胞実質の占める割合が小さい早材部分において、破壊は生じやすいと考えられる。また、年輪傾角 0° や 45° の試料では、放射組織の繊維直交方向の破壊が多く見られたことから、これらの試料の強度や破壊ひずみには、放射組織の力学的性質が大きく寄与していることが考えられた。

4 結 言

本研究では、木材の横引張変形特性への組織構造の影響を検討するために、異なる樹種の木材について、飽水状態の 25℃ と 80℃ の条件で引張試験を行った。さらに、試験に供試した試料の破壊断面の観察を行うことによって、破壊の原因についても検討を行った。得られた結果を以下に示す。

(1) 飽水状態 80℃ の条件において、広葉樹の破壊ひずみはヒノキほど大きくなかった。一方で、25℃ の条件では、ヤマグルマがヒノキと同程度の破壊ひずみを示した。この両樹種において、80℃ の条件では応力 - ひずみ線が、ひずみが増加するにしたがって急峻になるような特徴的な挙動をとっていた。

(2) 木材の横引張破壊ひずみに対する密度の影響を検討した結果、様々な樹種の試料において、密度の増加に伴って破壊ひずみが減少する傾向が認められ、その傾向は年輪傾角 45° の試料で顕著であった。このことから、横引張負荷に伴う細胞形状の変形に対して、年輪傾角 45° の試料では、密度の影響が大きいことが明らかになった。

(3) 水熱による木材の軟化に伴う弾性率の低下率と破壊ひずみの増加率の関係を検討した。その結果、弾性率の低下率が増加しても、破壊ひずみは比例的に増加しなかった。このことから、水熱による木材の軟化は、細胞変形を容易にする影響と破壊の起点を生じやすくする影響の両方をもたらす可能性が示唆された。

(4) 破壊断面の観察の結果、樹種によって破壊が生じる部位が異なり、ケヤキのように道管の直径が大きい試料では、道管部分が破断しやすい傾向が認められた。

以上の結果から、木材の横引張変形特性は、とりわけ組織構造の影響を大きく受けることが明らかになった。今回測定した樹種の結果から、木材の横引張変形量を増加させるためには、細胞の形状変形が重要であり、細胞形状

の変形の容易さは、木材の密度、リグニンの軟化、放射組織や道管といった組織構造の影響を受けることが明らかになった。

参 考 文 献

- 1) Y. Miyoshi, K. Kojiro and Y. Furuta, "Deformation properties of wood in lateral tension", Mokuzaigakkaishi, Vol.60, No.5, pp.241-248 (2014).
- 2) N. Kanaya and T. Yamada, "Wood by transverse tensile tests", Mokuzaikenkyu, Vol.41, Division of wood physics, pp.47-62 (1967).
- 3) S. Fujita "Studies on the drying check. VIII", Mokuzaigakkaishi, Vol.18, No.9, pp.427-433 (1972).
- 4) H. Saeki, "Structure of wood", p.100, (1985) Buneido Press.
- 5) "Wood of Japan", (1966) Wood Technological Association of Japan.
- 6) N. Migita, "Chemistry of wood, the first", (1968) Kyoritsu Press.
- 7) Y. Furuta, M. Nakajima, T. Nakatani, K. Kojiro and Y. Ishimaru, "Effects of the lignin on the thermal-softening properties of the water-swollen wood", Journal of the society of materials science, Japan, Vol.57, No. 4, pp.344-349 (2008).
- 8) A. J. Panshin and C. de Zeeuw, "Textbook of wood technology volume1 (third edition)", (1964) McGraw-Hill Book Company.
- 9) "Chemie des folzes", A. Blazej (1979) VEB Fachbuchverlag.
- 10) Y. Furuta, M. Makinaga, H. Yano and H. Kajita "Thermal-Softening properties of water-swollen wood II", Mokuzaigakkaishi, Vol.43, No.1, pp.16-23 (1997).
- 11) E.g. H. Saeki, "Illustrated scanning electron microscope", (1982) Japan Forest Technology Association.