

表面模様からの木材硬さ推定に関する研究（第1報） 画像解析による晩材率と木材硬さの関係

関範雄*, 藤巻吾朗*, 山口穂高*, 三井勝也*

Estimation of Wood Hardness by Its Surface Pattern (I)

Wood Hardness Related to Proportion of Latewood by Image Analysis of Ring Structure

SEKI Norio*, FUJIMAKI Goroh*, YAMAGUCHI Hodaka*, MITSUI Katsuya*

スギ材の木口面を表面観察して得られる年輪構造指標と木口面のブリネル表面硬さおよび密度との関係を検討した。木材密度とその表面硬さには比例関係が認められた。また、年輪の構造指標である晩材率、特に赤外線カメラを用いて観察される木口面の像を解析して得られた全体に占める晩材の面積割合には、密度との直線的な正の相関が確認され、同様に木口面のブリネル表面硬さとの相関関係が認められた。

1. 緒言

木材の木目模様、年輪は同じものではなく、その個体の別に限らず、部位や場所、また樹木の成長環境、季節ごとに変化し、その表情は異なる。このような木材の個性は、材料として特性の不均一をもたらしている。一方で表面模様は人工に規格されたものではないため、木製品を使う人たちに非工業的な自然有機的な温かさを与え、人々を魅了する一因になっている。

このような木材の不均一性は厄介な特徴である。木材を工業材料として利用する場合、木製品製造現場においてその機械特性は、木材の種類と木目模様から人の経験的判断に頼り評価されることが多い。つまり木製品は、金属やプラスチックなどに比べてばらつきが大きいにもかかわらず、その部材の特性判断は製品の作り手の経験と感覚に大きく依存する。そのため作られる木製品は時に選別部材の強度不足から不良が生じやすく、また製造過程における不良率も高くなると思われる。

品質良く、使う人を魅了する木製品を作るためには、この世の一つとして同じものはない木材の模様や表情を的確に捉え、機械特性を確度良く推定し、部材を適切な箇所に利用することが重要である。また木材の模様や表情を捉えることは、木材

の無駄ない合理的な利用、木製品製造の生産性向上に繋がると考えられる。

本研究では、木材表面の情報から材料物性の簡易推定の可能性を探索している。その一環として本報では木材表面観察を通して得られる表面模様や年輪構造指標と木材の硬さとの関係について報告する。

2. 実験

2.1 材料

試験体にはスギ(*Cryptomeria japonica*)を用い、表面観察および硬さの試験体寸法は図1に示すよ

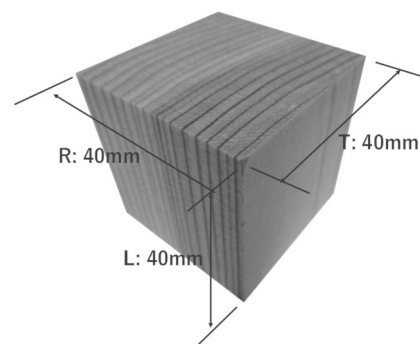


図1 試験体

* 試験研究部

うに40mm (T) ×40mm (R) ×40mm (L) とした。

試験体を温度20℃、湿度65%RHの雰囲気下に放置し、標準状態に調湿した後、各種測定に用いた。

2.2 表面観察

2.2.1 可視光観察

デジタルマイクロスコープ（株式会社キーエンス製、型式：VHX-7000）およびレンズ（株式会社キーエンス製、型式：VX-Z00R）を用い、レンズに付属する可視光リング照明、落射、倍率5倍の条件にて観察および撮影を行った。

2.2.2 赤外線観察

赤外線カメラ（リコーイメージング株式会社製 PENTAX KP IR、型式：P-TTLフラッシュ内蔵TTL AE・AF一眼レフデジタルカメラ）およびレンズ（リコーイメージング株式会社製マクロレンズ、型式：HD PENTAX-DA 35mmF2.8 MACRO Limited）を用い、LED赤外線照明（ホーザン株式会社製、型式：L-709、波長域：940～960nm（ λ_{MAX} :950nm））下にて観察および撮影を行った。

2.3 晩材率の測定

2.3.1 可視光観察による晩材率測定

可視光観察によって撮影された試験体の木口面の画像に、年輪に直角な任意の直線を3本引いた。1本の直線上の完全年輪から1年輪毎の年輪幅と晩材の幅を目視観察により測定し、1年輪幅に占める晩材の幅を晩材率（ LWP_{VIS} ）として算出した。

木口面上の年輪に直角な3本の直線から求めた

すべての晩材率の平均値をその木口面の平均晩材率とした。

2.3.2 赤外線観察による晩材率測定

赤外線観察によって撮影された試験体木口面の像から晩材率測定は、オープンソースのコンピュータビジョン向けOpenCV 4.X系列ライブラリの画像処理機能を応用して行った。

赤外線観察によって撮影されたを256階調グレースケール画像に変換後、試験体の早材部と晩材部のしきい値を決定するための演算処理を行った。具体的にはグレースケール画像の局所領域の中央値をしきい値とする適応的しきい値演算処理を行った。その後、それぞれの局所領域で演算して決定したしきい値に基づきグレースケール画像を白黒2階調画像に変換した。さらに白黒2階調画像から、モルフォロジー演算によりノイズ除去を行い、晩材部を抽出し晩材面積を求めた。晩材面積の全体像に占める割合を算出、これを晩材率（ LWP_{IR} ）とした。

2.4 密度の測定

JIS Z2101¹⁾の方法に従い標準状態の試験体の質量および容積を測定し、密度を算出した。

2.5 硬さの測定

標準状態の試験体の木口面を測定面として、図2に示すJIS Z2101の方法に従い測定した。測定面の規定の9箇所を鋼球（直径10mm）を深さ1/π mm（0.32mm）まで圧入したときの荷重P（N）を測定し、各測定箇所のブリネル硬さは次式から算出した。

$$\text{ブリネル硬さ} = P/10 \quad (N)$$

木口面のブリネル硬さは、規定測定箇所の平均値を求めた。

3. 結果と考察

3.1 木材の物理特性と機械強度との関係

3.1.1 密度

試験体全体の密度分布を図3に示す。全試験体の密度の平均値、標準誤差、中央値は、それぞれ0.349 g/cm³、0.002 g/cm³、0.346 g/cm³であった。本実験で用いた試験体は、スギ材の一般的な密度分布の特徴を示した^{2, 3, 4, 5)}。

この結果から木材は同じ材種であってもその密度、物理特性は、一様ではなく広い範囲でばらつき、他の工業材料と比べて不均一であることがわかる。

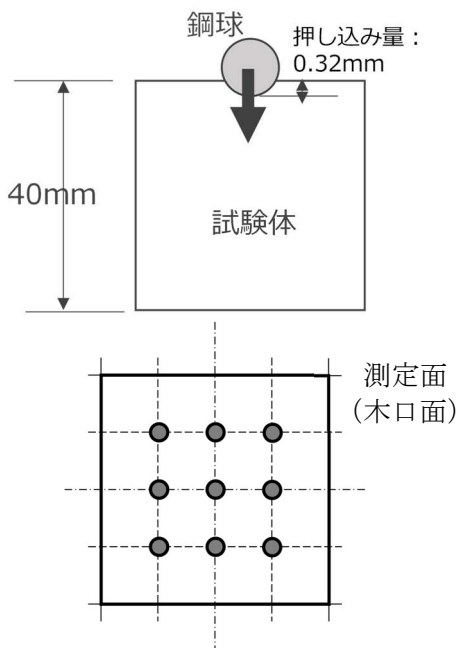
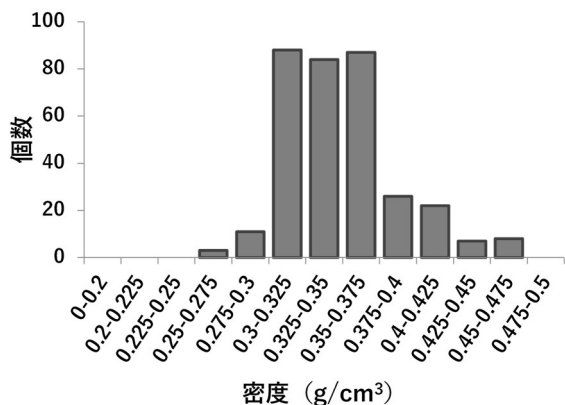
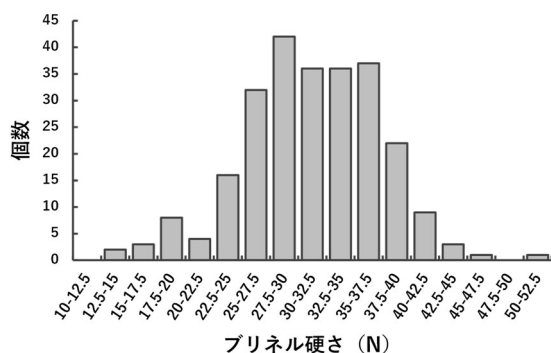


図2 ブリネル硬さ測定と測定箇所



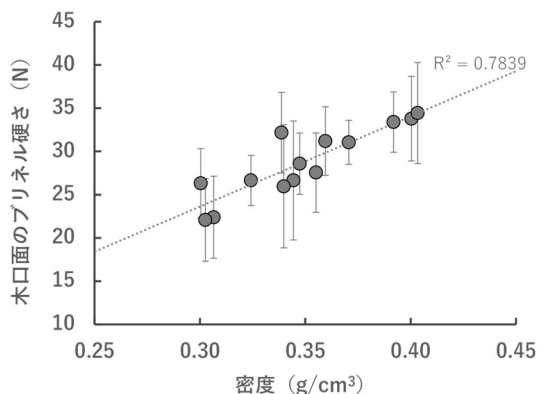
条件：材種；スギ、温度；20 °C、湿度；65 %RH

図3 密度とその分布



条件：材種；スギ、試験体；14、測定個数；252

図4 ブリネル硬さとその分布

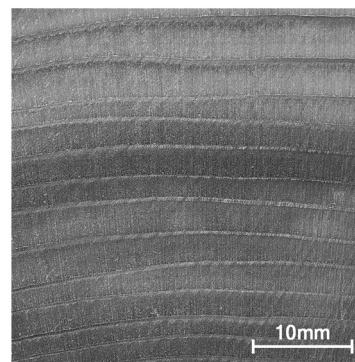


条件：材種；スギ、試験体；14

図5 密度と表面硬さの関係

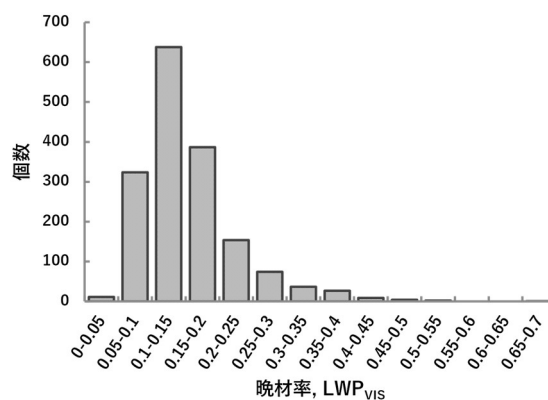
3.1.2 表面硬さ

木口面全測定箇所ブリネル硬さを図4に示す。ブリネル硬さの平均値、標準誤差、中央値は、それぞれ28.7 N、0.38 N、29.0 Nであった。木材表面硬さは、一様ではなく広い範囲でばらつき、不均一で



材種；スギ

図6 可視光による木口表面画像 (256階調グレースケール画像)



条件：材種；スギ、試験体；14、測定個数；1668

図7 晩材率 (LWP_{VIS}) とその分布

ある。

3.1.3 木材の密度と表面硬さの関係

試験体の密度と木口面の表面ブリネル硬さの関係は、図5に示すように比例関係（相関係数、 R^2 ：0.78）が認められた。木材の密度やその表面硬さは不均一ではあるが、互いに相関してばらつき、密度の高い箇所や部分は、表面硬さが高いことがわかる。

3.2 木材表面模様と年輪構造

3.2.1 可視光観察から得られる晩材率

可視光観察において撮影した試験体の木口表面模様を図6に示す。木口表面には心材部や辺材部が現れ、模様は複雑化したが、1年輪毎の年輪構造、年輪幅、早材、晩材を目視にて容易に観察することができた。

可視光観察から目視にて測定して得られた晩材率 (LWP_{VIS}) を図7に示す。LWP_{VIS}の平均値、標準誤差、中央値は、それぞれ0.154、0.002、0.137であ

った。また、全試験体の平均年輪幅は2.20 mm、平均年輪密度（年輪に直角な直線に含まれる直線単位長さ当たりの年輪数）は5.2 輪/cmであった。

3.2.2 赤外線観察から得られる晩材率

図8に赤外線観察にて撮影した試験体の木口表面模様（256階調グレースケール画像）、表面模様から晩材を強調最適化した白黒2階調変換画像、白黒2階調画像から晩材部を抽出した後の結果画像を示す。赤外線観察では、可視光観察にあったような心材部や辺材部は現れず、よりシンプルに年輪構造を観察することができた。これにより観察面の画像処理で年輪構造を抽出することが可能になり、その指標を求めることができた。

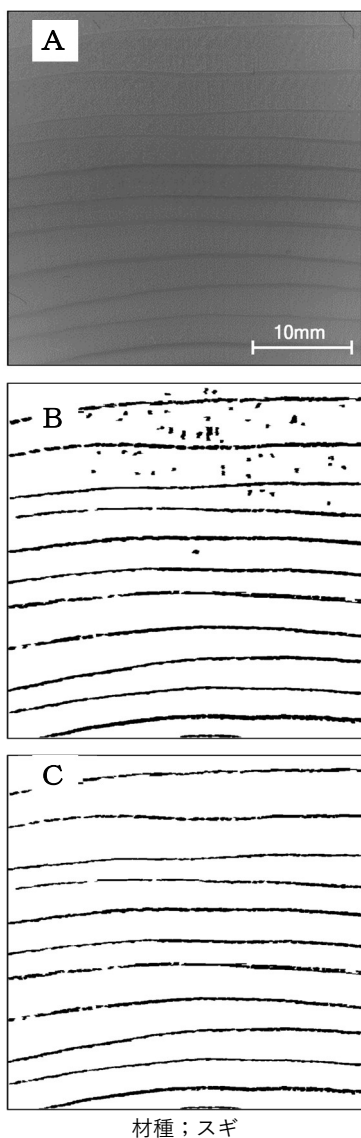
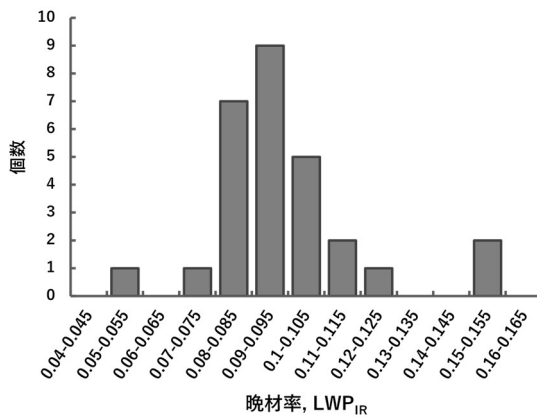


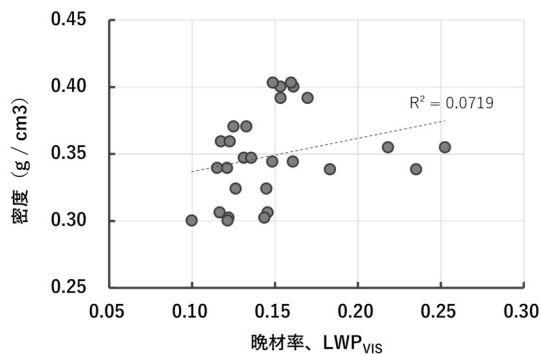
図8 赤外線による木口表面観察画像 (A)、256階調グレースケール画像)、白黒2階調変換画像 (B)、晩材抽出結果画像 (C)

赤外線観察面の白黒2階調変換画像から晩材を抽出し、画像全体の面積に占める晩材面積の割合から求めた晩材率 (LWP_{IR}) を図9に示す。 LWP_{IR} の平均値、標準誤差、中央値は、それぞれ0.089、0.004、0.085であった。



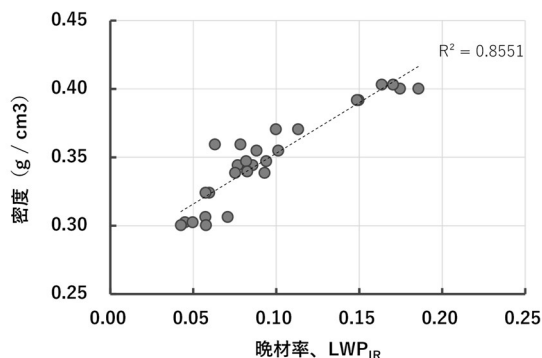
条件：材種；スギ、試験体；14、測定個数；1668

図9 晩材率 (LWP_{IR}) とその分布



条件：材種；スギ、試験体；14

図10 晩材率 (LWP_{VIS}) と密度の関係



条件：材種；スギ、試験体；14

図11 晩材率 (LWP_{IR}) と密度の関係

3.3 木材表面模様と物理特性との関係

3.3.1 晩材率と密度の関係

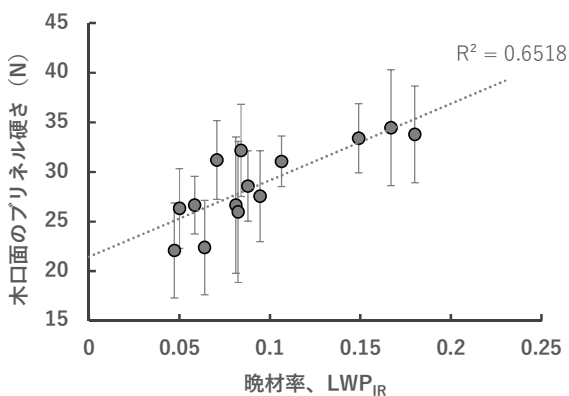
可視光観察から得られた晩材率、 LWP_{VIS} と密度の関係を図10に示す。 LWP_{VIS} と密度との相関関係（相関係数、 $R^2:0.07$ ）は認められなかった。一方、赤外線観察から得られた晩材率、 LWP_{IR} と密度との間には、図11に示す強い比例関係（相関係数、 $R^2:0.86$ ）が認められた。

軟X線デンシトメトリー法によると成長の遅い晩材の比重は成長の早い早材より著しく大きく、晩材比重は多くの材種について早材の2~3倍である^{6,7)}。このことから今回の晩材率と密度の間には高い相関があると予測した。しかし、 LWP_{VIS} と密度にはその相関が示されなかった。これは、一年輪における成長、円状の年輪模様または年輪構造はすべての箇所均一であるとの仮定の下、木口面のわずかな数本の直線上に存在する年輪構造から LWP_{VIS} が測定されたため、また直線上の1年輪幅に占める晩材幅の比率としての LWP_{VIS} は材全体の晩材率としての確度が低いためであるといえる。

一方、 LWP_{IR} は、年輪構造を面全体で捉え木口観察面積に占める晩材面積の割合であることから、材全体における真の晩材率に近づき、密度との相関性が示されたといえる。

3.3.2 晩材率と表面硬さの関係

LWP_{VIS} が表面硬さに及ぼす影響は、図10に示した LWP_{VIS} と密度との低い相関性と同様、相当に小さかった。この結果は、可視光観察ではすべての試験体に相当数の種々の模様情報が含まれ、目視計測で得られる年輪幅や晩材率 LWP_{VIS} の年輪構造指標は断片的な情報になりやすく、またこれらの指標が表面硬さや強度特性に及ぼす影響は密度に比べて小



条件：材種：スギ、試験体：14

図12 晩材率 (LWP_{IR}) と表面硬さの関係

さいことを示唆した。

一方、赤外線観察から得られた LWP_{IR} と木口表面のブリネル硬さは、図12に示すように比例関係（相関係数、 $R^2:0.65$ ）が認められた。これは、図5に示した木材密度と木口面の表面ブリネル硬さの関係と同様であり、試験体間における晩材率 LWP_{IR} の差異は表面硬さの差異となって現われた。この結果は、年輪構造を面全体で捉えた指標である LWP_{IR} が表面硬さや強度特性に及ぼす影響は密度同様に高いことを示した。

4. まとめ

スギ材の木口面を表面観察して得られる年輪構造指標と木口面のブリネル表面硬さおよび密度との関係を検討した。

木材密度と木口面のブリネル表面硬さは正の高い相関関係にあった。

従来の可視光木口表面観察から得られる年輪構造指標である晩材率 LWP_{VIS} と木材密度の間には相関関係は確認できなかった。一方、赤外線木口表面観察では、年輪構造をよりシンプルに観察することができ、観察面全体からすべての晩材面積を的確に抽出することができた。この抽出した晩材面積から算出した晩材率 LWP_{IR} は、木材密度と強い比例関係（相関係数、 $R^2:0.86$ ）にあり、 LWP_{IR} が木口面のブリネル表面硬さに及ぼす影響は相関して大きいことが見出された。

参考文献

- 1) JIS Z 2101: 木材の試験方法, 日本工業規格, 2009.
- 2) 農林水産省林業試験場監修: 木材の性質. 改訂3版 木材工業ハンドブック, 木材工業ハンドブック編集委員会編, 丸善, 東京, 1982, pp. 55-214
- 3) 加納孟: 木材の比重、年輪構成の変動, 材料, 12 (121), pp. 684-688, 1963
- 4) 角谷和男: 木材の強度のばらつき, 材料, 12 (121), pp. 718-721, 1963
- 5) 藤原健: 木材の密度について, 海外の森林と林業, 90, pp. 37-39, 2014
- 6) 林弘也ほか: 軟X線による木材の密度測定, 九州大学農学部附属演習林演習林集報, 26, pp. 127-139, 1976.
- 7) 飯島泰男: シベリア産カラマツ材の強度性能に関する研究, 富山県林業試験場研究報告, 1, pp. 1-37, 1983.