

# 木材保存

常務理事 今村 祐嗣

## 第15話

### 木材の異方性

#### 1. 等方性と異方性

多くの材料は方向性を持たない“等方性材料”です。建築物などに使用する金属、コンクリート、プラスチックも等方性材料であり、使う際の必要性に応じて形状を整えたり、鉄筋コンクリートやFRPのように異種材料を複合させることで方向性を付与しています。しかし、木材はもともと方向によって物性が大きく異なる“異方性材料”であり、われわれはその特性を前提に使用してきました。

古来から、人々は木材の縦方向（幹の上下方向で繊維方向、軸方向ともいいます）が強いということ認識し、その性質に合わせて様々な道具類や建物の材料として用いてきました。特にスギのように縦方向に割れやすい木材は簡単な道具で角材に整えたり、必要な厚さの板をつくることができ、大変使いやすい材料でした。また、木材を加工する道具や機械も、鋸の刃の形にみられるように、方向によって異なる物性に対応して形状を変え種類を増やし、発達してきたともいえます。

この第15話では、木材特有の性質である異方性について、それが発現する組織的特徴や方向によって異なる各種の物性、さらに木材の保存性能に影響する水分の浸透性や腐朽性などの面から考えてみましょう。

#### 2. 木材組織の特徴

木材は空隙をもった細胞で構成されています。木材の元となる樹木の幹は、幼少の段階

から上に伸びる（上長成長）とともに、横に太って（肥大成長）大きくなって行きます。この肥大成長は幹の樹皮の直下を取り巻く形成層という細胞組織が分裂して新しい細胞を内側につくり、形成層自身は外に広がることによって起こります。木材の細胞は広葉樹と針葉樹で形や種類が異なりますが、大まかには縦長の細胞が主体であり、それらが上下に繋がって、葉への水分の供給という通導作用と樹体の維持という機械的役割を果たしています。

したがって、幹を横に切断すると縦長細胞の横断面が、縦方向に切断すると縦断面が現われることとなります。写真15-1はスギの組

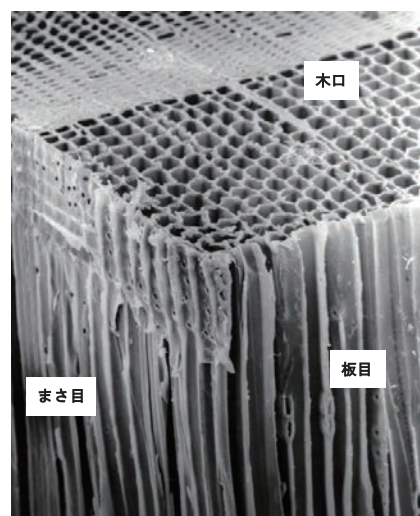


写真15-1 スギ材の走査型電子顕微鏡（SEM）写真（3断面）

織を走査型電子顕微鏡（SEM）で観察したものです。細胞の横断面である木口面、髄から半径方向（放射方向）に縦断したまさ目面、年輪に平行に縦断した板目面が見られます。木材の3断面という言い方をよくしますが、この木口面、まさ目面、板目面を指しています。なお、木口面で孔径の大きな細胞組織が早材部、小さな細胞群が晩材部で、晩材から早材の境界が年輪界です。

視覚的に木材の異方性を特徴づけるのは外見的なテクスチャーでしょう。写真15-2はケヤキの木口面（下部）と板目面（上部）を示したのですが、板目面にケヤキ特有の杓が見られます。ケヤキでは大きい孔径の道管が年輪界に沿って並んでいることで、それを接線面で切断することによって現れたものです。年輪界に大径の道管が並んでいる樹種を環孔材、一方、道管の孔径が全体に様なものを散孔材と呼んでいます。環孔材であるケヤキ、クリやナラなどでは板目に明瞭な木目がみられます。一方、ブナ、カツラやカバなどの散孔材では、板目面に孔径の異なる道管配列に基づく木目は認められません。ただ、ブナの板目面をよく見ると、着色した斑点が一

面に分散している様子が観察されます。これは髄から半径方向に配列した放射組織が極端に大きく、この切断面が斑点として板目面に出現したものです。

一方、細胞の孔径に極端な大小が無く、放射組織もあまり目立たない針葉樹では年輪を構成する早晚材の濃淡によって木目や杓が出現します。天井板に珍重される中杓は中心部に板目の木目が、周辺部にはまさ目の木目が現われたものですが、これは大径のスギの樹心近くを切断することで得られます。また、本コラム第12話「木と年齢」で述べましたように、老齢化したスギでは真円状に成長してきた年輪が密になるとともにしゅう曲するようになり、同時に早晚材のコントラストが著しくなります。その結果、板目面に笹杓など美しい木目がくっきりと現れ、天井材などに珍重されてきました（写真15-3）。ところで、スギの間には若齢の段階であっても年輪がしゅう曲する品種があり、天然シボスギと呼んでいます。この丸太を切断して杓を出現させてみたのが写真15-4です。板目面に年輪のしゅう曲に基づく特徴的な杓が現われる様子を示しています。



写真15-2 ケヤキの木口面と（下部）と板目面（上部）



写真15-3 笹杓が現われた春日杉の天井板（左）と床柱（右）



写真15-4 天然シボスギの  
木口面（上部）と縦断面（下部）

### 3. 変形の異方性

雨天が続くと障子などの建具が入りにくくなるなど、吸湿や放湿にともなう水分の状態によって木材は膨張・収縮を生じます。本シリーズの木材保存第13話「木材と水分」で述べましたように、木材の膨張・収縮は方向によって著しく異なり、率で示しますと接線方向が最も大きくてほとんどの樹種で3.5～15%、ついで半径方向で2.4～11%、繊維方向（縦方向）ではそれより小さくて0.1～0.9%の範囲にあります。大まかには、接線：半径：繊維方向の比はほぼ10：5：0.5とされています。膨張・収縮は比重（密度）と密接な関係があり、比重が大きい木材ほど膨張・収縮の値は高い傾向を示します<sup>1)</sup>。

方向によって膨張・収縮の値が大きく異なる理由は木材の微細な組織構造の特性によるのですが、細胞壁を構成するセルロースのマイクロフィブリル（きわめて細かい繊維）がらせん状に配列していることや、半径方向には横に並んだ放射組織が存在することがその原因と考えられます。

木口での収縮異方性は丸太や心持ち材に乾燥に伴う割れを引き起こします。髄を含んだ製材である心持ち材では、半径方向の収縮に

比べて円周方向の収縮が2倍も大きいことで材面には髄から半径方向に伸びる割れが生じます。このため、化粧性を重んじる柱材では、あらかじめ見え隠れ面に背割りと称する鋸目を半径方向に入れておき、鋸目が広がることで他の部分での割れの発生を防ぎます<sup>2)</sup>。

ところで図15-1のような板目板を乾燥させると必ず木表側（樹皮に近い面）を凹にして反りますが、この理由も、接線方向が半径方向のほぼ2倍大きく収縮するというで説明できます。この図に示しましたように木裏側（樹心に近い面）では半径方向に近い面になりますが、木表側では年輪に対してより接線に近い角度で切断された面になります。そのため、年輪に接触する角度が木表側で小さく（より接線方向に近く）、木裏側で大きく（より半径方向に近く）なって、結果的に木表側が木裏側に比べてより大きく収縮することで木表の面が凹むというわけです<sup>3)</sup>。

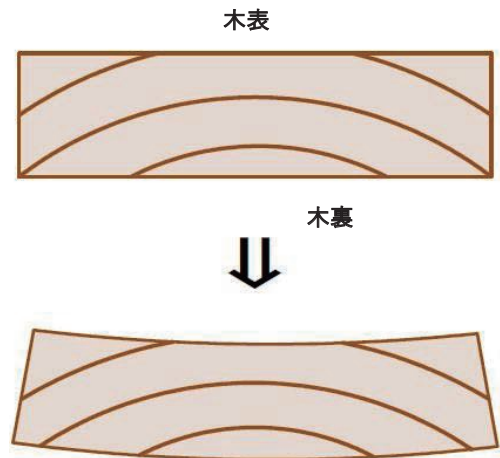


図15-1 板目板の反り（文献<sup>3)</sup>より改図）

木材の異方性によって生じる反りなどの変形を抑制させたのが集成材で、木表と木裏を交互に積層するなど板を適切に接着することで狂いの発生を抑えています（写真15-5）。



写真15-5 集成材の断面  
(兼松サステック (株) 手塚大介氏提供)

#### 4. 寸法と異方性

木材は樹木の幹から取るため、その寸法は自ずから幹の太さや長さによって制限されます。大きな断面の角材を得るためには、それが採材できる十分な太さの丸太が必要になってきます。また、長さも制限を受けます。

古からの大型の建築物においても丸柱を合わせたり、あるいは割り材を集成させて大きな部材を構成し、これを柱として使用してきた例を発掘された出雲大社の宮殿建築や今の東大寺大仏殿にみることができます。

前述の集成材は挽き板（ラミナ）を積層接着したもので、積層するラミナの数を増やしたり、ラミナを横に短くことによって断面を大きくすることができ、また、長さ方向に継ぐことによって長尺化することができます。長さ方向にはフィンガージョイントなどの効率的な接合法が採用されています。

また、最近では挽き板を並べた後、繊維方向が直交するように積層接着した厚みのある大きな板（CLT：直交積層板）が開発されていて、中層建築物の壁や床の材料への用途が広がっています（写真15-6）。



写真15-6 CLTの一部外観  
(兼松サステック (株) 手塚大介氏提供)

#### 5. 強度の異方性

木材の強度の異方性を力のかかる方向によってみることにしましょう。縦方向すなわち繊維方向の強度が一番高く、繊維方向からの傾きの増加によって強度は著しく減少します。力の方向が繊維方向と10度傾いてもたとえば引張強度は約70%に減少し、繊維傾斜によって生じる目切れの影響がいかに大きいかわかります<sup>4)</sup>。

また、縦方向の強度に比べて横方向（半径方向、接線方向）の強度は1/10程度にまで低下します。代表的なスギを取り上げますと、縦方向の圧縮強さは28MPaほどですが、木材を横方向に置いて上下に圧縮した場合、年輪が縦に並ぶと2MPa、年輪が横に並ぶと0.8MPaほどであったと述べられています。引張強度でも同様な傾向が認められています<sup>1)</sup>。

木材の強度が縦方向と横方向によって大きく異なるのは、組織の特徴のところでも述べましたように、縦長の細胞が集合して樹軸方向に配列して木材を構成していること、ならびに細胞壁のセルロースのマイクロフィブリルが樹軸方向にらせん状に配列していることによります。また、横方向の強度で年輪の並び方で影響が現れるのは、早材に比べて強度が高い晩材層が平行して配置されていることが寄与しているためと考えられます。

## 6. 液体浸透性の異方性

木材の異方性は水分などの液体の移動についても大きな影響を及ぼします。木材の乾燥に伴う水分の挙動も方向によって大変異なりますが、ここでは乾いた木材に外部から液体を浸透させる場合を考えてみましょう。

木材に塗装する際に経験することですが、横断面である木口からは塗料が比較的容易に吸収される一方、側面であるまさ目や板目からは塗料が付着しても速やかに吸収されることはありません。これは木材の組織のところで述べましたように、木口面には細胞の切断面が出ていますので細胞の内腔に塗料が浸みこみ、ピット(隣接する細胞の壁に開いた穴：壁孔)を通して縦に繋がった中の方の細胞に順次浸透して行きます。一方、まさ目や板目の面に塗布した場合は、横に並んだ細胞の側面を通して隣接する細胞に浸透しなければなりませんので簡単ではありません。

ところで、木材に防腐薬剤などを注入する場合は、压力容器の中で減圧あるいは加圧することによって処理しています。通常は、まず減圧して木材中の空気を抜き、次に圧力をかけて薬剤を木材中に押し込むという操作が行われます。この処理によって、辺材の場合は比較的容易に内部まで浸透性を確保することができますが、心材では木口からは10cm程度の浸透を期待することが出来るものの、側面からは数ミリほどの深さまで浸透させるのがせいぜいという場合が多いです。もちろん樹種によって浸透性が異なり、比較的容易な場合やカラマツ心材のように浸透性がきわめて悪いものも存在します<sup>5)</sup>。

そこで、浸透性を向上させる前処理技術として材面へのインサイジング処理が行われてきました。これは木材表面から刃物を押し込むことによって人工的に微小な傷を数多く作り、一定深さまでの浸透性を確実にしようとするもので、きわめて実用的な手法です。製造現場においては刺傷による強度低下を抑

制しながら、対象によってインサイジング刃による切り込み深さや材表面での密度を変えて十分な浸透性を確保しています(写真15-7)。



写真15-7 インサイジングを施した材面

## 7. 腐朽と異方性

木材が腐朽するには水分が必要なことは言うまでもありませんが、前項でも述べましたようにこの水分はまずは木口から浸透して行きます。写真15-8は雨上がりのボードウォークを見たものですが、接合部の木口から木材中に雨水が入っていった様子を示しています。木材中に水分が滞留するとやがては腐朽へと発展して行きます。そのため、屋外で雨水に暴露される木材では木口からの水の浸透を防ぐことが耐久性の向上に重要になってきます。伝統的な寺社建築や木橋においては、屋外に



写真15-8 デッキ材のつなぎ目の木口から浸入し滞留した雨水

暴露される部材の木口を木材や金属の板で覆って水の浸入を防ぐ工夫が行われてきました(写真15-9)。



写真15-9 木製橋脚の木口を覆う板（錦帯橋）

本コラム第3話「腐朽の進行」で述べましたように、土に接した木材では、土中に存在する腐朽菌の菌糸や孢子との接触により、また、建築部材のように木材と土との接触がない場合には、すでに腐朽した木材から菌糸が伸びてきて腐朽が始まります。空中を飛散していた孢子が木の表面に付着し、水分が供給されると発芽して菌糸となり、木材内部へ侵入することもあります。木材の細胞の中で伸

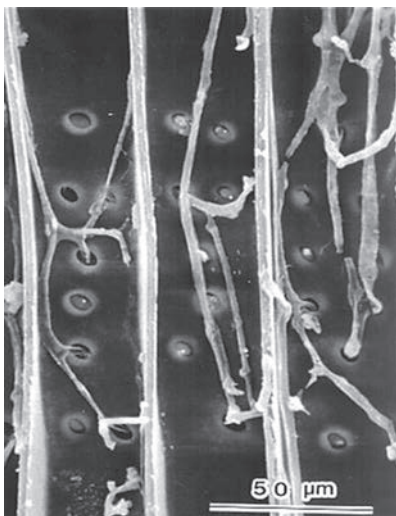


写真15-10 木材細胞のピットに穿孔し隣接細胞に侵入する腐朽菌糸（SEM写真）

長した腐朽菌糸から分泌された酵素によって木材成分が分解され、それを栄養として腐朽菌糸はさらに木材内部で繁殖します。

木材の細胞に侵入した腐朽菌糸はピットを貫通しながら隣接する細胞へと広がって行きます(写真15-10)。もちろんピット以外の細胞壁に穿孔を開けて侵入する場合がありますが、より容易に広がるにはピットを利用するのが効率的だと考えられます。

## 8. シロアリと異方性

シロアリはどんな木材でも辺材はよく食害しますが、心材については樹種によって食害される程度が異なり、ヒノキやスギなどの食われにくい樹種に比べるとマツの仲間（アカマツ、エゾマツ、バイツガ、ラジアータパインなど）は辺心材ともより激しく攻撃されます。

シロアリの食害に対する木材の異方性の影響については十分な知見を収集しきれていませんが、まずは写真15-11をご覧ください。これは9cm角のバイツガ材をイエシロアリの飼育巣の上に立て、一定期間後に取り出して切断面を見たものです。シロアリは外気や光を嫌いますので、多くはこの例のように表層を残して内部を食害する傾向があります。また、その内部の断面は幾何学的な模様を呈してい



写真15-11 イエシロアリによる被害材

ますが、シロアリはまず縦方向（繊維方向）に食害を進め、ついで年輪に沿って広がったり、年輪を横断して攻撃して行った様子が見られます。

シロアリの食害を受ける程度は辺心材の差や樹種の違いだけではなく、年輪の中でも柔らかい早材層が硬い晩材層より食害を受けやすい傾向があります。シロアリ被害材の切断面がささくれていることが多いのは、早材層が失われ、晩材層だけが残った結果です。一方で、写真15-11の供試材では早材と晩材の密度差が小さいことから年輪を横断するような食害が見られたものと思われます。

#### 引用文献

- 1) 高橋 徹・中山義雄編：木材科学講座3「物理」、海青社、1992年
- 2) 秋田県立大学木材高度加工研究所編：コンサイス木材百科、pp.48、秋田文化出版、2011年
- 3) 林 知行：今さら人に聞けない木のはなし、日刊木材新聞社、pp.11、2010年
- 4) 中戸莞二編著：新編 木材工学、養賢堂、pp.224、1985年
- 5) (公社)日本木材保存協会編：木材保存学入門 [改訂4版]、pp.13、2018年