

木材と水の関係

技術部 製品開発グループ 山崎亨史

■ はじめに

木材を利用するにあたっては、水分の吸放出による収縮・膨潤、重さ、強度、耐久性など、様々な面において水（水分）が影響する場合があります。木材は軽くて強いと言われていますが、これも水分が多い場合では異なってきます。そこで今回は、樹木や木材中における水の状態など、木材と水の関係について考えてみます。

■ 木材の水分（含水率）

木材に含まれる水の割合を示す場合、通常は水分を含めない木材重量（全乾重量，ドライベース）に対する水分重量の割合を表す含水率を用います。

$$\begin{aligned} \text{含水率} &= \text{水分の重量} / \text{全乾重量} \times 100 \\ &= (\text{乾燥前の重量} - \text{全乾重量}) / \text{全乾重量} \\ &\quad \times 100 (\%) \end{aligned}$$

なお全乾重量は、105℃で、重量の変化が無くなるまで乾燥させた状態の値を用います。木材重量に基づき算出されるため、水を多く含む場合、含水率は100%以上を示すことも多々あります。

このドライベースの含水率を用いるのは、木材の性質の変化を捉えやすいからです。例えば収縮は繊維飽和点（後で紹介）以下で、含水率に比例して変化します。

これに対し、燃料としての木材や食品などでは、水分を含んだ製品全体に対する水の割合（ウェットベース）で示すことが多くなっています。木材について話していても、燃料の場合には注意が必要です。

なお、ウェットベースを水分率とすると、含水率を水分率に変換する場合、

$$\text{水分率} = \text{含水率} / (100 + \text{含水率}) \times 100 (\%)$$

で、反対は、

$$\text{含水率} = \text{水分率} / (100 - \text{水分率}) \times 100 (\%)$$

となります。

■ 木材中の水

さて、水はどのような状態で木材中に存在しているのでしょうか？

木材に含まれる水分は、細胞内腔と呼ばれる空隙に液体状の水として存在する自由水と、水分子として木材組織内（細胞壁）に入り込んでいる結合水があります。そして、結合水が存在し得る最大の含水率を繊維飽和点と呼び、木材の構造や化学組成によって若干の違いはありますが、一般的に28%が用いられます。

先に、含水率が100%以上を示すこともあると紹介しました。では、どのくらいが最大なのでしょう？

木材が水を含み得る最大の含水率を最大含水率と呼びます。その値は細胞内腔が自由水で最大限に満たされた状態です。

その値は樹種などによって異なりますが、

$$\text{最大含水率} = (1.5 - \text{全乾比重}) / (1.5 \times \text{全乾比重}) \times 100 + 28 (\%)$$

で表されます。ここで1.5は木材の真比重、28は繊維飽和点です。木材の比重は樹種によって異なり、それは細胞内腔による空隙率の違いによるもので、空隙を除いた木材の真比重は、一般的に針葉樹、広葉樹関係なく1.5とされています。

この式が意味するのは、比重の小さい樹種は自由水が入る余地（空隙）が多く、その分多くの水を含むことができるということです。

■ 樹木における水

木材が得られる樹木は、生物であり、生きている細胞には原形質として多くの水を含んでいます。

ただし樹木全体が生きているわけではありません。

樹木が太くなる肥大成長は、樹皮のすぐ下の形成層と呼ばれる組織で、内側に向かって新たな細胞（木部）を作りながら太くなっていきます。新しく作られた木部は水分通導に関わる細胞や、栄養を蓄える細胞などがあり、生理的活動を行っています。

この生理活動を行っている部分が辺材です。水分通導のために作られた細胞は、成熟した段階で死んで、水の通導を始めます。また、栄養を蓄える細胞なども肥大成長とともに、中心部から徐々に死んでいきます。

一方、生理活動がない全てが死んだ細胞からなる部分が心材です。この心材では、心材成分が形成されることで多くの樹種で固有の色（着色）を示しています。

なお、トドマツやエゾマツなどは心材に明確な着色はありませんが、伐採した直後の生材状態のとき、辺材は含まれる水分によって濃い色を示しています。

水分の通導機能は辺材の外側が最も活発で、内側に向かって水がなくなり空洞化し、通導の役目を終えるものがみられるようになります。そして心材ではその役目を完全に終えています。

通導の役目を終える際、針葉樹では仮道管の壁孔と呼ばれる細胞間の連絡のための孔が塞がります(図1)。また広葉樹では、道管がチロースあるいはゴム様物質と呼ばれるもので閉塞されます。このようにして空洞化した組織は通導機能を失います。ただし空洞化といっても、木材には親水性があり、比較的濡れやすく、水の表面張力などにより自由水が完全になくなるわけではありません。

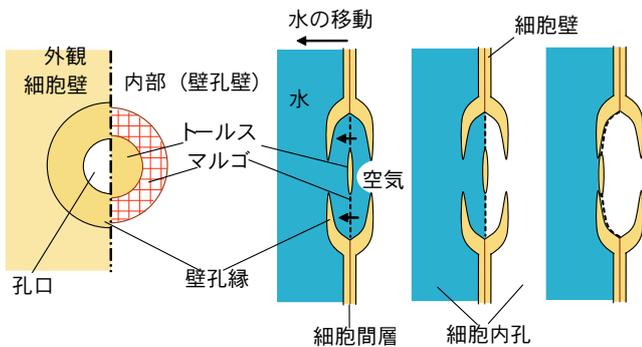


図1 針葉樹仮道管の壁孔と水の移動によるその閉鎖

表1に、樹木を伐採した段階の生材含水率¹⁾を示します。「辺材は水の通り道だから、心材より含水率が高い」という表現も見かけます。実際には表のように、針葉樹には当てはまりますが、広葉樹では当てはまらないものも多いようです。表に示すように①ハリギリ、ホオノキ、カツラなどのように辺材の含水率が心材よりも高いが、差は針葉樹よりも小さいもの、

②シラカンバ、ミズナラなど心材と辺材の含水率がほぼ同じもの、③ドロノキ、ヤチダモ、ハルニレのように辺材より心材の含水率が高いもの(多湿心材)、があります。また、針葉樹でもトドマツの水食いやスギの黒心など、心材でも含水率の高いものがあります。

心材は死んだ細胞の集まりであり、腐る可能性はありますが、水分を減らすことや心材成分を作ることで防いでいます。また逆に、水食いや多湿心材は水に浸かっている状態にすることで菌の侵入を防いでいると考えられています。

■ 乾燥による水の移動

樹木を伐採した直後などの多くの水を含んだ木材を、ある温・湿度条件下に放置しておく、含水率が平衡状態まで乾燥します。そのときの含水率をその温・湿度における平衡含水率と呼び、常温・常圧下では繊維飽和点の28%より低くなります。また、自然大気中に放置したときの平衡含水率を気乾含水率と呼び、地域や季節によって異なりますが、日本における気乾含水率は全国平均でおよそ15%とされています。

樹木を伐採した段階で、水の供給はストップします。一方、葉が付いた状態であれば、蒸散により水の吸い上げがしばらく続き、水分が減少します。ただしこの場合、水分の通導を行っている辺材の水分が減少するだけで、心材の水分はほとんど変化しません¹⁾。

伐採され、玉切りされた丸太にはまだ樹皮が付いています。樹皮は、内樹皮と外樹皮に分けられます。内樹皮は栄養分の通路となる師部となっていて、生きて細胞で占められています。一方、外樹皮は、生きて細胞を覆う周皮と、その外側に死んでつぶれた師部と周皮が幾層か重なるような構造になっています。そして、周皮はコルク形成層とそこからつくられた組織からなり、この部分が水分の通過を妨げる構造になっています。ワインなどの栓につかわれているコルクは

表1 日本産樹種の生材含水率¹⁾

樹種	含水率 (%)		樹種	含水率 (%)		樹種	含水率 (%)	
	辺材	心材		辺材	心材		辺材	心材
(針葉樹)			(広葉樹散孔材)			(広葉樹環孔材)		
スギ	159	55	ホオノキ	93	52	ハリギリ	102	77
ヒノキ	153	34	カツラ	123	76	ミズナラ	79	72
トドマツ(造林木)	219	82	シラカンバ	95	90	アオダモ	45	49
カラマツ(造林木)	151	43	ドロノキ	84	165	ヤチダモ	53	101
エゾマツ	169	41	シナノキ	92	108	ハルニレ	73	112

コルクガシの樹皮で、このことから水を通さないことが分かります。

このように樹皮は樹木が生きる上で、水分の損失防ぐ働きをしており、皮が付いたままの丸太では、木口や枝を落とした部分からしか乾燥しないと思われま

す。はく皮したり製材して材面が現れた場合は、その表面から水分が抜け始めます。その際、まず自由水から蒸発が始まり、表面の含水率が繊維飽和点に達するまで、蒸発速度は一定で、表面の含水率が繊維飽和点に達すると、含水率の低下とともに乾燥速度は徐々に低下していきます。

この間、内部の自由水は、表面の乾燥により圧力差が生じることから、表面に向かって移動します。その際、自由水は、間に気泡があっても図2のように、蒸発と凝集を繰り返しながら移動しますが、その場合、道管や仮道管など組織同士が毛細管として通導状態にある必要があります。針葉樹は仮道管の接線方向の通導性が悪く、自由水は仮道管の繊維方向と放射組織を通じて移動します。そして、自由水の移動により先に述べた壁孔の閉塞も起こり、通導性が悪くなっていきます。



図2 毛細管中の水の移動

自由水の毛細管通導とは別に、水分子の拡散による移動も起こります。これは、水分の濃度差(含水率の差)がなくなるように、水分子が移動するもので、細胞壁を通る移動も起こります。

乾燥の初期には、乾燥速度は材の厚さに反比例しますが、含水率の低下に伴い、厚さの影響が大きくなり、厚くなればなるほど乾燥に時間を要します。

乾燥を促進させるには、温度を上げる、湿度を下げる、風を当てるなどの方法があります。ただし、条件が厳しいと、割れや落ち込み(細胞のつぶれによる異常な収縮)などの原因となります。人工乾燥では、乾燥を促進させながら、損傷を抑えるように、温・湿度条件を設定して行っています。

■ 乾燥による収縮

繊維飽和点以下で木材は、含水率が減少すると収縮し、逆に増加すると膨潤します。これは、水が木材組

織内に結合水として吸着または脱着することで容積が変化することによります。

その際、接線(板目)方向、放射(柾目)方向、繊維方向によって収縮率(膨潤率)が異なります。それらは樹種により多少異なりますが、一般的に10:5:1~0.5といわれています。

この接線方向と放射方向の収縮率の違いは、図3に示すような断面形状の変形を引き起こします²⁾。また、乾燥による割れも収縮率の違いによって引き起こされる場合が多いようです。

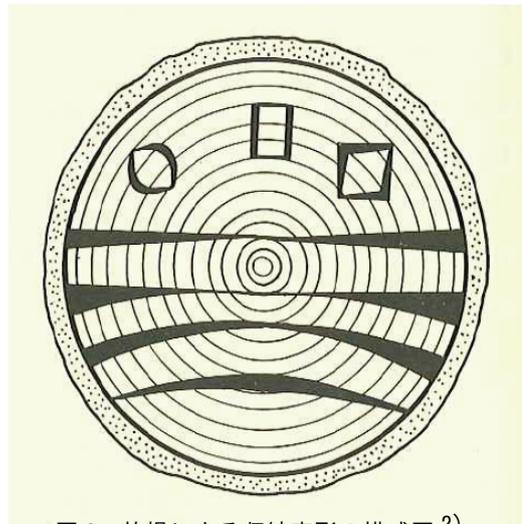


図3 乾燥による収縮変形の模式図²⁾

■ 水分と重さの関係

含水率が変わると、その分だけ水の重さが加わる(減る)こととなります。含水率が $u\%$ のときの木材の重量を W_u 、全乾重量を W_0 とすると、

$$W_u = W_0 + u \times W_0 / 100$$

となります。 $u \times W_0 / 100$ が水の重さです。

逆に、含水率計などで含水率が $u\%$ だと分かっている木材の全乾重量を求める場合、

$$\text{全乾重量} = 100W_u / (100 + u)$$

となります。ここから $n\%$ まで($u-n\%$ 分)乾燥すると、

$$W_n = (100 + n) W_u / (100 + u)$$

となり、 $(u-n) W_u / (100 + u)$ だけ軽くなります。

例として、含水率100%の木材が、1kgであったとします。これを15%まで乾燥させると、重さは575gになり、425g分の水がなくなったこととなります。この木材の全乾重量は500gで、まだ75gの水を含んでいることとなります。

このように生材を気乾状態にすることで大幅に重量を減らすことができます。

■ 水分減少による性能アップ

木材は乾燥することによって、軽くなるだけでなく、強さなどの力学的性質が向上します。

繊維飽和点以下では多くの強度性能が含水率の減少とともに増加します。縦圧縮、横圧縮、硬さなどでは含水率0%のときに、縦引張、横引張、曲げ、せん断、割裂などでは含水率5～8%のときに性能が最大となります。

表2に繊維飽和点以下での含水率1%に対する各種強度性能の変化率を示します³⁾。

これらの中で身近なものとして経験することも多いのが、曲げヤング係数（弾性率）でしょう。水分の多い生枝を曲げると簡単にたわみますが、枯れ枝を曲げるには比較的力が要るようになります。乾燥すると曲げにくくなります。

また、乾燥により腐りにくくなります。そもそも、腐るといのは微生物

（菌）が木材を分解することです。それらの菌が活動するには、空気（酸素）、水分が必要です。

水分は、菌が自由に使える状態のものでなければなりません。結合水は木材の細胞壁内にあり、それを木材から奪い取るには大きなエネルギーを要することから、通常、繊維飽和点以下では菌は活動できません。

なお、これとは逆に、水中貯木のように水に完全に浸かっている状態も腐りにくい状態です。これは、使

表2 含水率1%に対する変化率³⁾ (%)

曲げ強さ	4
曲げヤング係数	2
縦圧縮強度	6
横圧縮強度	5.5
せん断強度	3
縦引張強度	2
横引張強度	1.5
硬さ(木口)	4
硬さ(側面)	2.5

える水は十分ありますが、水に含まれる酸素は、0℃で空気中の20分の1、温度が上がればさらにと少なくなり、菌の生存に必要な酸素が得られないからです。

■ おわりに

今回、木材と水（水分）との関係を考えてみました。冒頭で、木材は軽くて強いと紹介しましたが、樹木を切ったままでは、重く、そして強度が低い状態にあります。水分の面から考えると、樹木と木材は全く別物であり、乾燥することで初めて木材と言えるのではないのでしょうか。

木材は温・湿度状態に応じた平衡含水率になるように、水分を吸・放出することから、室内の調湿に役立ちます。一方で、この吸・放出は木材の膨潤・収縮を引き起こします。場合によっては加圧収縮（コンプレッションシュリンケージ）と呼ばれる現象により、隙間なく張ったフローリングなどでは、吸水（吸湿）による膨潤は抑え込まれますが、その後の乾燥で収縮することで元の寸法より小さくなり、隙間をつくってしまうこともあります。

木材をうまく使っていくためには、水（水分）との関係を理解することが重要でしょう。

参考

- 1) 宮島寛：木材を知る本，北方林業会（1992）
- 2) 川瀬清：新版林産学概論，北海道大学図書刊行会（1982）
- 3) 高橋徹他編：木材科学講座3 物理，海青社（1992）