

木材物理

東京大学教授・農学博士

北原覺一著

別卷

実用木材加工全書

森北出版株式会社

08.18
164-(7)

实用木材
加工全書〈別卷〉

木材物理

東京大学教授・農学博士

北原覺一著

森北出版株式会社

著者紹介

北原 覺 一

昭和16年 東京大学農学部林学科卒業

昭和18年 同大学助手

昭和26年 同大学助教授

昭和29年 農学博士

昭和45年 東京大学教授

著書 木材理学，共著（昭和28年）

木材理学及加工実験書（昭和31年）

ファイバーボード・パーティクル

ボード，共著（昭和37年）

パーティクルボード（昭和38年）

住 所 東京都文京区白山 4-37-4

実用木材加工全書 別巻

＜木 材 物 理＞

昭和 41 年 3 月 10 日 第1版発行

昭和 46 年 6 月 1 日 第7版発行

定 価 1000 円



◎著 者 北 原 覺 一

発 行 者 森 北 常 雄

印 刷 者 茨 田 兼 一

発 行 所 森 北 出 版 株 式 会 社

101 東京都千代田区神田小川町3の10

振替東京 34757 電話東京 (292) 2601 (代)

日本書籍出版協会・自然科学書協会・工学書協会 会員

印刷 三秀美術印刷株式会社 製本 司巧社

3361-8912-8409

42396/1
序

花あらば愛すべし。石あらば可愛むべし。木あらば……。木を倒し。木を切り。木を削ることに愛情は注ぐべし。情愛を惜しむべからず。と古くさく考えてみる。

木材を研究するようになってからこの頃切にこのように思うようになった。木材の枯渴のせい。年令のせい。いや人間の本性のせいだろう。

ここに木材の性質をよく知る必要がある。無知の愛情は泥愛にすぎないから。木材物理の存在意義こそこれである。

過去に木材理学なる小冊を著したが絶版となってすでに永く、世の変遷の速度も速く、完全に過去のものとなってしまった。そこへ出版社からのすすめにあい、菲才を顧みず筆を執り、稿をなし始めてみたが、浅学のため全く秃筆そのもの。教科書としての頁数の制限もあり、もちろん満足すべきものではない。このことを十分承知しながら諸先輩に御教指をお願いする厚顔しさもある筆者であることをお許し下さい。

昭和41年1月28日

北原 覺一

目 次

第1章 木材の構造	(1~21)
第1節 木材の肉眼的構造	1
1. 樹体の構造	1
2. 春材・夏材および年輪	2
3. 辺材および心材	3
第2節 木取りおよび材面の性状	5
1. 木取りと材面	5
2. 木理および肌目	6
第3節 木材の細胞的要素および組織	7
1. 針葉樹材の光学顕微鏡的構成	7
2. 広葉樹材の光学顕微鏡的構成	10
第4節 木材細胞膜の構造	12
1. 仮道管の膜層構造	13
2. 道管膜の微細構造	18
3. 柔細胞の微細構造	18
4. あて材	19
5. 紋孔	20
6. 細胞膜中の孔	21
第2章 木材の物理的性質	(23~78)
第1節 比 重	23
1. 比重および真比重	23
2. 空隙率	23
3. 含有水分と比重の種類	24
4. 比重の変化	26
第2節 含有水分	28
1. 含水率の測定法	28
2. 生材および気乾含水率	29
3. 木材中の含有水分の状態	30
4. 吸湿と放湿	32

5.	吸 水	35
6.	木材内部の水分移動	35
第3節	膨潤および収縮	39
1.	膨潤, 収縮の機構	39
2.	比重と膨潤および収縮	40
3.	含水率と膨潤, 収縮	42
4.	方向と膨潤, 収縮	42
5.	膨潤, 収縮のヒステレシス	44
6.	膨潤圧	44
7.	加圧収縮	44
第4節	ぬ れ	45
1.	選択吸着	45
2.	ぬ れ	46
第5節	熱に対する諸性質	53
1.	熱膨張	53
2.	比 熱	55
3.	熱伝導率	56
4.	熱拡散率	58
5.	熱伝導	61
6.	耐熱性	63
7.	熱による材質変化	64
第6節	電気的性質	65
1.	電気抵抗	65
2.	誘電率	68
3.	誘電体損失	69
第7節	音響的性質	71
1.	音の伝導速度	71
2.	音の吸収	71
第8節	摩擦係数	72
第9節	光学的性質	74
1.	光 沢	74
2.	材 色	77
3.	光の透過度	78

第3章 木材の機械的性質 (79~191)

第1節 弾 性	79
○1. 応力とひずみ	79
2. 樹幹内の応力	82
3. 比例限度および破壊応力	83
4. 弾性係数	84
5. 直交異方性物体の弾性	86
6. ポアソン比	88
7. せん断弾性係数	89
8. 繊維方向と弾性的諸性質	91
9. 解剖学的構造と弾性的諸性質	92
第2節 粘 弾 性	96
1. レオロジーの基本式	96
2. 緩和曲線	101
3. 流動曲線	103
4. クリープ曲線	105
5. 重ね合せの原理	109
6. クリープに及ぼす温度の影響	110
7. クリープに及ぼす含水率の影響	112
第3節 動 弾 性	113
1. 動的ヤング係数を求める基本式	113
2. 動的ヤング係数と静的ヤング係数	117
3. 試験条件と動的ヤング係数	118
第4節 圧 縮	122
○1. 縦圧縮	122
○2. 横圧縮	127
○3. 部分圧縮	130
4. 試験片の形状の圧縮強さに及ぼす影響	132
5. 繊維走向度の圧縮強さに及ぼす影響	133
6. 含水率の圧縮強さに及ぼす影響	134
7. 比重の圧縮強さに及ぼす影響	137
8. 温度の圧縮強さに及ぼす影響	138
9. 節の圧縮強さに及ぼす影響	140

10.	荷重速度の圧縮強さに及ぼす影響	140
○ 第5節	引 張 り	141
○ 1.	縦引張り	141
○ 2.	横引張り	142
3.	繊維走向度の引張り強さに及ぼす影響	144
4.	含水率の引張り強さに及ぼす影響	144
5.	比重の引張り強さに及ぼす影響	145
6.	温度の引張り強さに及ぼす影響	145
7.	節の引張り強さに及ぼす影響	147
○ 第6節	曲 げ	149
○ 1.	曲 げ	149
○ 2.	曲げ仕事量	151
3.	試験体の形の曲げ強さに及ぼす影響	152
4.	繊維走向度の曲げ強さに及ぼす影響	154
5.	含水率の曲げ強さに及ぼす影響	155
6.	比重の曲げ強さに及ぼす影響	156
7.	温度の曲げ強さに及ぼす影響	158
8.	節の曲げ強さに及ぼす影響	158
9.	荷重速度の曲げ強さに及ぼす影響	160
○ 第7節	せん 断	160
○ 1.	せん断	160
2.	繊維走向度のせん断強さに及ぼす影響	161
3.	含水率のせん断強さに及ぼす影響	163
4.	比重のせん断強さに及ぼす影響	164
第8節	ね じ り	164
1.	木材のねじり	164
○ 第9節	割 裂	166
1.	割裂抵抗	166
2.	繊維走向度の割裂抵抗に及ぼす影響	168
3.	含水率および比重の割裂抵抗に及ぼす影響	168
第10節	長柱の圧縮	169
1.	長柱の圧縮	169
2.	長柱座屈の理論式	170

3.	木材の長柱座屈についての実験式	171
4.	偏心度の座屈強さ	172
第11節	衝 撃	173
1.	衝 撃	173
2.	試験片の形状の衝撃曲げ吸収エネルギーに及ぼす影響	174
3.	繊維走向度の衝撃曲げ吸収エネルギーに及ぼす影響	176
4.	含水率の衝撃曲げ吸収エネルギーに及ぼす影響	177
5.	比重の衝撃曲げ吸収エネルギーに及ぼす影響	178
6.	温度の衝撃曲げ吸収エネルギーに及ぼす影響	178
第12節	痕 れ	179
第13節	硬 さ	180
1.	硬 さ	180
2.	材面と硬さ	182
3.	含水率の硬さに及ぼす影響	182
4.	比重の硬さに及ぼす影響	183
5.	温度の硬さに及ぼす影響	183
第14節	摩 耗	185
第15節	許容応力	187
1.	許容応力	187
2.	許容ヤング係数	190
付 録	(193~221)	
	木材の試験の通則 (JIS Z 2101)	193
	木材の平均年輪幅・含水率および比重測定方法 (JIS Z 2102)	193
	木材の収縮率測定方法 (JIS Z 2103)	194
	木材の吸水量測定方法 (JIS Z 2104)	195
	木材の吸湿性試験方法 (JIS Z 2105)	196
	木材の圧縮試験方法 (JIS Z 2111)	198
	木材の引張試験方法 (JIS Z 2112)	203
	木材の曲げ試験方法 (JIS Z 2113)	205
	木材のせん断試験方法 (JIS Z 2114)	207
	木材の割裂試験方法 (JIS Z 2115)	208
	木材の衝撃曲げ試験方法 (JIS Z 2116)	209

木材のかたき試験方法 (JIS Z 2117).....	210
木材のクリーブ試験方法 (JIS Z 2118).....	211
木材の耐朽性試験方法 (JIS Z 2119).....	216
木材の着炎性試験方法 (JIS Z 2120).....	217
木材の摩耗試験方法 (JIS Z 2141).....	218
木材のクギ引抜抵抗試験方法 (JIS Z 2121).....	220
索 引.....	223

第1章 木材の構造

第1節 木材の肉眼的構造

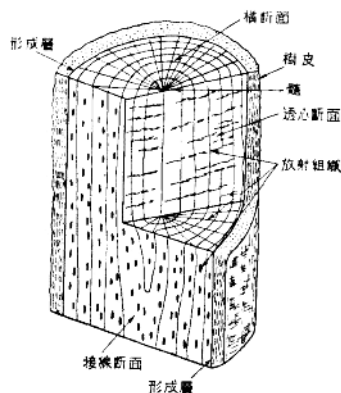
1. 樹体の構造

木材は木本植物から形成されるが、木本植物には高木 (tree)、低木 (shrub)、木本蔓類 (woody lianas) の3形態がある。後の2者は燃料以外にはほとんど利用されない。木材工業の原料となる木材はすべて高木より生産されるといってよい。

樹木が大地の上に生長しているときは根と樹幹および枝条の3部分より構成されている。根、枝条はチップ状にして利用されるが、その量は樹幹に比べて少なく、われわれが木材を利用するのはほとんど樹幹からである。

樹幹の形状は先天的なものが多いが、立地条件によって樹高生長、肥大生長が異なり、その結果種々の形状の樹幹が形成される。それに応じて樹体中の比重の分布が異なり繊維方向の乱れも生じ、一定の品質の木材が得にくくなる。これは木材が工業材料として不利である大きな欠点の中の一つである。

樹幹 (bole) の構造は第1.1図に示すように最外側に樹皮 (bark)、その内側に材 (wood) があり、この部分が大きく、中心部に小さく髓 (pith) がある。木部と師部との間に1列の細胞があり、これが樹幹の細胞を分裂し、肥大生長をする。この細胞列を形成層 (cambium) と称し、それに平行して存在する数層の、比較的軟かい細胞列を形成層帯



第1.1図

(cambial zone) と呼ぶ。

木材は各種の細胞 (cell) によって構成せられ、これらの細胞は形態、性質を異にし、したがってそれらの物理的性質は著しい差違を示す。木材はこれらの細胞が複雑な形で組み合わされているから木材の物理的性質は変化が著しい。もちろん樹種によってはある規則性のある木材構造を示すが、その規則性も立地条件によって変動が大きく、したがって、たとえばヒノキをとってみてもその代表的な物理性を示す値を決めることはなかなか困難である。

形成層から分離した細胞は原形質 (protoplasm) を保有しているが、比較的短期間に原形質は消失し、細胞膜 (cell membrane) のみを残して生命活動はなくなる。したがって木材工業の対象となる木材のほとんどすべては死亡した細胞によって形成されている。死亡した直後の細胞の方が栄養はあるので伐倒後は腐朽菌には犯されやすい。

② 春材、夏材および年輪

樹木は春になり生活環境がよくなると活発な生長を始めるが、その時期は樹種によって異なり、また1本の樹体の中でもその位置によって異なる。

生活環境がよいときには養分の吸収も、光合成もさかんであるが、細胞分裂もさかんであるので、大きな体の細胞が形成される。しかし細胞膜は薄い。秋に近づいて生活環境が悪くなれば細胞膜の厚い細胞が数少なく分裂される。秋以前でも生活環境が悪くなれば、それに類似した細胞が形成され、環境がよくなれば再び前と同じような細胞が形成される。春の環境のよいつきに形成された材を春材 (spring wood) または早材 (early wood)、秋近くに形成されたものを夏材あるいは秋材 (summer wood)、または晩材 (late wood) という。

春材と夏材とが1年間で形成されるので、両者をいっしょにしたものを年輪 (annual ring) と称し、春秋のはっきりしないときは生長の周期的なものを生長輪 (growth ring) と呼ぶ。したがって、1年の間に気候が不順になって夏材が2回またはそれ以上形成されることがあれば、1年輪の中に2個またはそれ以上の生長輪が形成される。これを重年輪または多年輪 (double or multiple annual ring) といい、正常でない方の生長輪を偽年

輪 (false annual ring) という。これは完全な円周を示すことが少なく、また正常の年輪に比べて判然としていないから肉眼で簡単に見分けられる。

生長のよい樹木に形成される年輪の幅は広い。その幅は木材の比重と密接な関係を有し、比重はまた物理的性質と極めて密なる関係を有するから木材の年輪幅は大切なものである。その広狭を示す方法として、材の横断面で年輪に直角方向 1 cm の間に含まれる年輪数を年輪密度とする方法と、前と同じ方法で年輪幅の平均値 (mm) をとる方法とがあるが、JIS では後者がとられている。

春材と夏材ではその要素の配列および緻密度が異なっているのでその物理的性質には著しく差違がある。針葉樹ではこの比重が、著しい場合は夏材は春材の 2 倍に達すると考えてよい。したがって夏材の占める割合は材の物理的性質に強い影響を与える。木材の全横断面積に対する夏材面積の割合を夏材率という。

同一年輪内でどこまでが春材で、どこからが夏材という境界が存在する理由はなく、したがって夏材率も大体の値しか求められない。一般には肉眼で測定する。細胞膜厚の一年輪間の変化曲線の変化の著しい所をもってその境界とする場合もある⁽¹⁾。肉眼判定の場合にはっきりしているのはカラマツ、ツガ、アカマツ、スギ、ベイマツ等の針葉樹、ミズナラ、クリ、ケヤキ等の広葉樹の環孔材である。

③ 辺材および心材

樹幹の横断面において外周部と内部とではその色、含有水分が異なることが多い。外周部の白色または色の薄い材を辺材または白太 (sapwood) と称し、内部の色の濃い材を心材または赤身、赤味 (heartwood) と称し、その中間に辺心材境界領域があり、その性質が辺心材いずれとも相当異なる带状領域がある。針葉樹のあるものは伐倒直後肉眼で辺材より白色の、いわゆる白線帯を認めることができる。広葉樹でも肉眼で認められるか、認められなくとも辺心材とたとえば含水率の異なる带状領域がある場合がある。この白線帯は化学的には辺材に近く、物理的には心材に近いといえそうである。

心材の色が辺材のそれより濃色であるのは細胞内腔に種々の物質が存在す

(1) 佐伯浩：早材、晩材の区分(1)，(2)，木材誌，9, 6, 231 (1963)

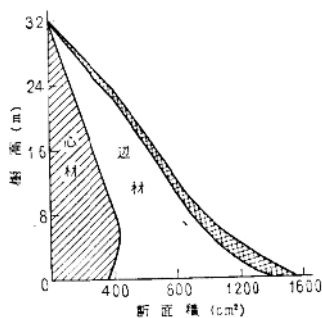
るか、または細胞壁が着色しているためである。しかし変色したから心材化と単純に考えてはならない。心材の色は樹種によって異なり、大体規則性はあるが立地条件によって異なり、ことに無機物の影響を受けるときは著しく変色する。心材の色の著しいものは辺心材の境界がはっきりしているが、アカマツ、シオジ、ヤマザクラ等は明らかでない。

外観では辺心材の区別ができないが、含有水分量が外周部と内部とで違うものがある。この場合内部の材を熟材 (imperfect heartwood) という。トウヒ、モミ、ツガ等に見られる。

樹幹の横断面において全面積に対する辺材および心材の面積の比をそれぞれ辺材率、心材率といい、%で示される。

辺材の幅は樹種および樹令により、また個々の林木の生長の程度によって一様ではない⁽¹⁾。一般に疎開樹、急速な生長をする樹種の辺材幅は広く、密生樹、被圧木または生長の遅いものは狭い傾向をもつ。辺材が心材になるのは時間、すなわち年輪とは関係せず、外周の形とむしろ相関関係が強い。

心材率も立地、樹令および樹高等によって同一樹種でも異なるが、ヒバでは50~80%、スギ⁽²⁾では52~70%、Pencil cedar等では88%である。Trendelenburgによれば159年生のマツにおいて第1.2図のような辺心材および樹皮をもつといわれる。



第1.2図

心材化は生命の失われた材の菌、虫等に対する保護のために行なわれるといわれている。したがって立木のときは辺材の方が菌に対して強いが、伐倒後は心材の方が強い。

セルロース (cellulose) およびリグニン (lignin) の量の辺心材による差は針葉樹、広葉樹によることも

セルロース (cellulose) およびリグニン (lignin) の量の辺心材による差は針葉樹、広葉樹によることも

- (1) 矢沢亀吉：アカエゾマツの丸太直径と心材直径、心材率、日林北講演集，10，98 (1961)
- (2) 山内俊枝：スギの心材率について、日林誌，10，11，624~630 (1928)

なく、同一樹種においても一定の傾向を示さないが、他の化学的性質は異なる場合が多い。しかし強度の性質も辺心材の差はないと考えてよい。

本来は心材のない樹種において病的な原因によって心材と同じような着色をすることがある。この着色した部分を偽心材 (false heartwood, wound heartwood) という。正常な心材の場合は大体円形を示すが、偽心材の場合は楕円形、星形、点集合等種々の形を示す⁽¹⁾。ブナ、カンバ、ヤマナラシ等に見られる。また心材中に辺材と同様な材が含まれることがある。これを内部辺材 (included sapwood) という。

第2節 木取りおよび材面の性状

1. 木取りと材面

樹幹の断面の取り方によって、その断面に現われる各細胞、組織等の方向、配列の仕方が異なってくる。この断面は基本的には次の3種がある。

(a) 横断面、木口面 (cross section) 樹幹の軸に垂直な断面で、大体正円をなすが、南北方向、山の傾斜方向、主風の方等によって多少楕円を示す。枝の場合は長軸を鉛直方向にもった楕円を示す。いずれの場合も受ける力に対して抵抗を大きくするための変形である。

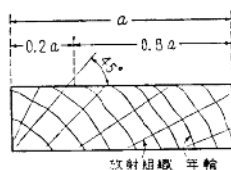
(b) 透心断面、^{1/3} 柾目面、半徑断面 (radial section, edge grain face) 樹幹の軸に平行にして髓を通る断面で、したがって柾目が現われる。放射組織は最も顕著になり、ナラ、ブナ等では工芸的価値をもつ。

(c) 接線断面、板目面 (tangential section, flat grain face) 樹幹の軸に平行ではあるが、髓を通らない断面である。樹幹の断面は正円に近いからこの面においては板の両端においては多少の柾目部分が残る。

柾目面の出現するように木取することを^{1/3} 柾目取り (quarter sawed)、板目面の出現するようにすることを板目取り (plain sawed) といい、その中間のものを追柾 (rift grain, fastard grain) という。板の場合に第1.3図のように材面に対して45°以内の角度の放射組織の存する部分が表面の80%以上のものを柾目と規格では決められている。

接線断面の中で樹幹の外側に向う面を木表、髓に向う面を木裏という。木

(1) 川床典輝：木材工業，5，1，11 (1950)



第1.3図

表、木裏によって材の光沢が異なり、曲げ強さを試験するとき荷重を木表よりかけるのと木裏よりするのでは異なり、梁の断面に見られる年輪の曲率が小さい場合にはこの傾向が強く、木裏が引張り側にある場合には圧縮側にある場合より弱い。多くの機械的性質を試験する場合に荷重は木表より加えるよう規格では定められ

ている。

(2. 木理および肌目)

木材は種々の細胞、組織より形成されているが、その配列様式、方向が同一樹種ではおおよそ決っている。これらの状態を表現するのに木理 (grain) なる語を用いる。また木理は年輪幅の大小、^{もく}空の意味にも慣用される。

繊維の走向については、丸太および木製品でその材軸と繊維走向とが平行しているものを木理通直または目が通る (straight grain) といい、樹幹に沿ってらせん状に回るものを旋回木理またはねじれ (spiral grain) といい、この場合は横断面では年輪は円を示すが、繊維は同心円の中で傾斜して旋回するのである。したがって板になった場合、夏材は通直であるが板面に対して繊維が傾斜する。

材軸に対して繊維が平行でないものを斜走木理 (diagonal grain) といい、製材製品の場合は斜走木理を目切れという。これらの場合は夏材についていう場合、繊維走向についていう場合、その両方についていう場合がある。

材の中で半径方向に相接する層が交互に方向を異にしてらせん状に繊維の傾斜を有する場合がある。これを交錯木理 (interlocked grain, double cross grain) といい、飽削のとき交互に順逆となって異なった光沢を有し、リボンのあや目のような外観を呈する。これを俗に^{なまめ}縄目または^{くさ}組と称し、その空をリボン空として^{工芸的に}利用する。リボン空は^{くさ}目に見られることはもちろんである。

繊維走向が樹幹の長軸方向に波行している場合がある。この場合は^{くさ}目でも板目でも波形は異なるが波状を呈する。これを波状木理 (wavy grain)

という。

年輪幅の広いものを疎い木理 (coarse grain), 狭いものを緻密な木理 (fine grain) といい, 年輪幅の様に揃ったものを齊な木理 (even grain), 不揃いのものを不齊な木理 (uneven grain) という。

繊維の交錯, 放射組織の配列, 年輪の形等, 木理の関係や異常な着色による材面の工芸的紋様を歪, 紋理 (figure) といわれる。その形状によって玉歪, 縮歪, 魚鱗歪等がある。

木理と混同しやすい言葉に肌目, 肌, 結構, 精練 (texture) があるが, これは肉眼の感じを表わすもので, 材の構成要素の全体としてのアラサおよびアライ要素があればその配列の仕方のムラの状態についての言葉である。たとえばナラのように大きな道管をもっているものは肌目があらく, ツゲは肌目が緻密という。またカバのように道管が散在しているものは齊な肌目 (uniform or even texture) といい, ミズナラのように道管が帯状に集合しているものは不齊な肌目 (uneven texture) という。

第3節 木材の細胞的要素および組織

1. 針葉樹材の光学顕微鏡的構成

木材は仮道管 (tracheid), 道管 (vessel), 木繊維 (wood fiber), 木柔細胞 (parenchyma), 放射組織 (ray), および細胞間溝 (intercellular space) 等より構成せられる。これらはその形態が異なると同時に物理的, 機械的性質が異なるから木材が樹種によって違った構成要素より構成されている以上, その組合せで種々の性質の木材が存在するわけである。

針葉樹は広葉樹に比べて木材の構成要素は比較的簡単である。したがって針葉樹全体の物理的性質のムラは広葉樹全体のムラのそれに比べて小さい。このことは工業材料として大切なことである。

針葉樹を構成している要素は

第1.1表

樹 種	材を構成する割合 (%)		
	仮道管	木柔細胞	放射組織
イ チ ヨ ウ	92.7	0.3	7.0
オウシウトウヒ	95.3	—	4.7
オウシウカラマツ	91.2	—	8.8
オウシウアカマツ	93.1	1.4	5.5
ス ギ	97.2	0.8	2.0