

# 材質指標と材料としての性質との関連

—最終用途のための品質評価に向かって—

日本木材学会  
組織と材質研究会

1980年7月



材質指標と材料としての性質との関連<sup>※1</sup>

—最終用途のための品質評価に向けて—

日本木材学会，組織と材質研究会

On the relationship of wood characteristics to the properties  
and processing of wood products.

— An approach to the quality assesment for end use —

Wood Quality Working Group,  
The Japan Wood Research Society.

脚注

※1 この総説は組織と材質研究会の Working Group によってとりまとめられた。

Received March 3, 1980.

## まえがき

組織と材質研究会で End use requirements（最終用途のための所要品質）を取り上げたのは1974年4月第24回木材学会大会の折であった。最終用途の木製品に必要とされる品質がどのように、また、何によって規定されるかは様々であり、用途によっては強度や吸湿性などで規定されるであろうし、また、或る場合はその木製品の原材料となる木材の材質、例えば比重の範囲や避けるべき欠点事項などで規定されるであろう。組織と材質研究会の関心はこの後段の問題に出発点をおいている。

材質の表示には種々の材質指標が用いられるが、それぞれの用途に供される木材について材質指標による品質表示がなされなければならない。しかし、現実にもそのような表示がなされている例は極めて限られており、調査研究も少ない。それは、木材の最終用途が丸太からつまようじまで、5,000～12,000の用途と言われるように極めて広範囲にわたっていること、それぞれの用途の木製品に対する品質要求がはっきりしていない、或は数量化しにくいものも多いこと、などによると思われる。それで、われわれは最終用途個々に対してではなく、材料としての性質の主要なものを選び出し、それと材質指標との関連を調べることから始めることとした。調査した指標および性質を Table に示した。ここで取り上げた性質は物理的或は機械的に利用される用途に関するものとして選んだものである。

調査は初め研究会会員に呼びかけて関連の文献を集め、次に材質指標ごとに担当者（Table）を決めて working group を作り、文献調査を進めた。その後、working group の会合をもって、打ち合わせや検討を行ない、1978年12月 review work をとりまとめた。色々の制約の下で、多人数で進めたことであるから、文献収集が不十分なところや、取り上げ方、記述などに不統一なところがあるが、今回の作業はこれで締めくくり、公表して御批判、御意見をいただくとともに、目標に向って次の段階をどのように進めるかを模索したいと考えている。われわれの目標は最終用途の個々について使用する木材の品質表示をはかることであり、そのための調査研究を推進しなければならない。このような調査研究は組織と材質研究会だけで実行できるものでなく、広く他分野の研究者・研究会との協同作業が必要である。木材の最終用途を対象とする研究は木材質の基礎研究と車の両輪の関係にあつて、木材研究の発展のために共に推進し発展をはかるべきものである。

最後に、この仕事を進めるにあたって種々協力して下さった研究会会員、調査資料を査読して下さいの方々、並びに、本冊子の発刊を進めて下さった学会当局、編集委員会の方々に深謝の意を表する次第である。

# 目 次

|                    |    |
|--------------------|----|
| 1. 幹の形質と材料としての性質   | 5  |
| 2. 辺材・心材と材料としての性質  | 6  |
| 3. 未成熟材と材料としての性質   | 9  |
| 4. 木理・はだ目と材料としての性質 | 11 |
| 5. 年輪と材料としての性質     | 17 |
| 6. 細胞構造と材料としての性質   | 23 |
| 7. 細胞壁の構造と材料としての性質 | 29 |
| 8. 結晶化度と材料としての性質   | 34 |
| 9. 比重と材料としての性質     | 36 |
| 10. 含水率と材料としての性質   | 43 |
| 11. 化学組成と材料としての性質  | 53 |
| 12. 節と材料としての性質     | 62 |
| 13. あて材と材料としての性質   | 66 |
| 14. 割れ・もめと材料としての性質 | 71 |
| 15. 傷害組織と材料としての性質  | 75 |
| 16. 脆心と材料としての性質    | 78 |
| 17. 変色・汚染と材料としての性質 | 80 |
| 18. 生物害と材料としての性質   | 82 |

Table, Wood characteristics and properties surveyed.

Relationship between each characteristic and properties from "a" to "v" was surveyed by the contributor named in parenthesis.

| Wood characteristics                                 | Wood properties                          |
|--|--|
| 1. Stem form and size (Tastuo Nakano)                | a. Appearance and size                   |
| 2. Sapwood and heartwood (Shigeo Ishida)             | b. Strength and specific strength        |
| 3. Juvenile wood (Takayoshi Shiokura)                | c. Impact strength                       |
| 4. Grain and texture (Sadaaki Ohta)                  | d. Elasticity and visco-elasticity       |
| 5. Annual ring (Kazumi Fukazawa)                     | e. Dimensional stability                 |
| 6. Type and dimension of cells (Shoji Sudo)          | f. Thermal properties and combustibility |
| 7. Cell wall structure (Hiroshi Saiki)               | g. Acoustic properties                   |
| 8. Degree of crystallinity (Takeshi Okano)           | h. Sensitivity and irritancy             |
| 9. Specific gravity (Tatsuo Nakano)                  | i. Permeability                          |
| 10. Moisture content (Juichi Tsutsumi)               | j. Abrasion resistance                   |
| 11. Chemical constituents (Toshio Tajima)            | k. Electrical and radiation conductivity |
| 12. Knots (Tatsuo Nakano)                            | l. Ease of drying                        |
| 13. Reaction wood (Hiroshi Saiki)                    | m. Ease of working and machinability     |
| 14. Shakes and compression failures<br>(Yoji Kikata) | n. Finishing quality                     |
| 15. Wounds (Tadaaki Takizawa)                        | o. Nailing and Nail-holding              |
| 16. Brittle heart (Takayoshi Shiokura)               | p. Bending quality                       |
| 17. Biological damage (Shozo Hayashi)                | q. Gluability                            |
| 18. Discoloration and stains (Shoji Amamiya)         | r. Resistance to weathering              |
|  | s. Resistance to chemicals               |
|  | t. Resistance to fungi and insects       |
|  | u. Paint-holding capacity                |
|  | v. Corrosiveness to metals               |

## 1. 幹の形質と材料としての性質

幹の形質は主として製品歩止りの指標となることが知られ、各種規格上の基準として重要である<sup>1,2)</sup>。しかし、幹の形質と材料としての性質との関連性を直接結びつけたものは少なく、両者の間に何等かの材質指標が介入している場合が多い。<sup>3~7)</sup>

### a. 外観・寸法

素材の日本農林規格においては、針葉樹材は径級を小（8～14 cm 未満）、中（14～30 cm 未満）、大（30 cm 以上）に区分し、また、広葉樹材は末口径 24 cm 以上を対象にして品等を規定しており、素材の大きさにより製品の種類も異なり、品質規準も異なることを示している。<sup>2)</sup>

ブナ人工林の材木を(1) 正常な生長をした無欠点なもの、(2) 特に完満か、とくに梢殺なもの、(3) 根際に欠点のあるもの、(4) 幹に欠点のあるもの、(5) ねじれた木、(6) 二叉木、(7) 精英樹、(8) 枝条の多い木に 8 区分し、これらの材木から得られる製材品の品質級べつ<sup>8)</sup>の収穫量およびパルプ材、燃料材の収穫量を求め、樹形が収穫される材の品質べつ歩止りに著しい影響を与えることを示している。また、ナラ材について、(1) 枯枝多く梢端が枯れ、樹冠量が小さい、(2) 枯枝少なく、樹冠量が多く、旺盛な生長を示すに 2 区分し、タイプ(2)のものは材色悪く、典型的なタイプ(1)のものにも材色に欠点のあるものが多く、これらの中間的なものに家具材などの用途にたいし美しい材色の優良材が認められると<sup>9)</sup>している。また、北海道産ナラについて、老令過熟林分のなかに優良材が認められる。<sup>10)</sup>

トドマツの細り表を用いて電柱材（材長 7.5～9.0 m）の採材を試算し、通直完満なものでないと規定の電柱が得られないことを明らかにしている。<sup>11)</sup>

### e. 寸法安定性

小径材（スギ）からの製材品（7×7、5×5、4×3.6 cm の心持ち平割・正割）は曲り、そり、ねじれなどの狂いや割れが著しく発生する。<sup>12)</sup>

### m. 加工性

製材作業における製品歩止り、製材作業能率（挽材材積／作業時間）は、一般に、素材径が大きくなるほどいずれも大きくなるが、原木径が 30～40 cm までは急激に増大し、その後は漸増する傾向が認められる。<sup>13~15)</sup>しかし、樹種によっては（例えばクロエゾマツ、アカエゾマツの建築材製材、トドマツの板・角取り、ミズナラ平角取り）一定の関係が認められない場合もある。<sup>16~19)</sup>

素材の品等べつに求めた集成材用ストリップス（ナラ）の製材歩止りは素材品等が上位のものほど高く、さらに、挽材を含水率 8～12% まで乾燥し、乾燥にともない発生した欠点をとり除いたストリップスの歩止りは素材品等の上位のものほど多く、下位のものとの差が一層顕著になる。<sup>20)</sup>

## 文 献

- 1) 加納孟：材木の材質，日林協.(1973)

- 2) 素材の日本農林規格, 農林省告示第1841号 (1967)
- 3) P. R. Larson: Forest Science Mono. 5 (1963)
- 4) " : TAPPI, 45, 442 (1962)
- 5) 材質育種研究班: 林試研報, 222, 1 (1967)
- 6) " " 244, 17 (1972)
- 7) 加納孟: 林試研報, 101, 1 (1957)
- 8) H. M. Wegelin: Holz als Roh- und Werkstoff 11, 342 (1953)
- 9) H. Schulz: Allgemeine Forestzeit-Schrift 50, 1 (1959)
- 10) 石田茂雄: 第19回木材学会大会シンポジウム資料 (1969)
- 11) 松井善喜, 馬場強逸: 林試北海道支場業務特報, 8, 111 (1957)
- 12) 中野達夫, 斉藤久夫: 木材工業 32, 143 (1977)
- 13) 斉藤美鶯, 土屋博: 林試研報, 44, 13 (1938)
- 14) 林試釜淵試験地: 潤葉樹利用抄報, 22 (1943)
- 15) " " 25 (1943)
- 16) 枝松信之: 東大演習林, 7, 97 (1949)
- 17) " " 7, 103 (1949)
- 18) " " 7, 107 (1949)
- 19) 北村義重, 羽田弘: 北林時報, 47, 1 (1943)
- 20) 枝松信之ら: 第8回木材学会要旨 (1959)

## 2. 辺材・心材と材料としての性質

心材は樹体内で辺材が心材化<sup>1-3)</sup>してできたものである。ここではそのProcessが問題ではなく、主としてその結果が辺材との対比で問題となる。

### a. 外観・寸法

多くの場合、心材には心材化の結果元の辺材とはことなる色調<sup>4)</sup>があらわれ、両者を視覚的に区別できるようになる(スギ, カラマツ, ミズナラなど)。しかし水分変化のみで色調変化のみられない場合もある(トドマツ, エゾマツなど)。辺材の色は総じて淡黄白色で明るく、かつ材間、樹種間での相異はあまりみられず、従って樹種識別の拠点にはほとんどなりえない。しかし時には灰色、ピンク色、赤色を帯びることもある<sup>3)</sup>。生材では含水量の変化と関連して色調変化がみられることがある<sup>6)</sup>。心材の色調は変化に富み<sup>5, 7)</sup>、しばしば樹種固有の色調を呈するので識別の拠点となりうるが、一方、同一樹種内での変異も少なくなく、その正確な記述、表現は容易でない。Spectrophotometerによる測定、表現も試みられているが、なおむずかしい問題が多い<sup>8, 9)</sup>。辺材・心材ともにその材色が経年的に変化することが知ら



れている。<sup>10)</sup>この場合、変色して暗色になることと反対に晒されて明色になることがある。辺材の幅、年輪数等は樹種の遺伝要因とともに生育条件の影響を受ける。日本産の樹種ではアカマツ、ブナ、シナ、シラカンバなどはトドマツやハリギリなどに比べて辺材幅が広く、<sup>12-18)</sup>一樹幹の中では一般に上部が下部より広い。辺材幅にもとづいて辺材率が求められている。また材の利用上の視点から心材率が調査されており、たとえば  $d$  (心材幅, 寸) =  $-1.269 + 0.9758 D$  (直径) (センノキ),  $d = -1.733 + 0.8487 D$  (マカンバ) が与えられている。辺材の年輪数については *Robinia pseudoacacia* (2~3年) のように非常に早く心材化の起こるものから *Nyssa sylvatica* (80~100年) の如きものまでその変域は非常に広い。<sup>3)</sup>

#### b. 強度・比強度

他の多くの物理性についての試験と同様に、材の機械的性質についての試験は辺材・心材の別に着目しながら行なわれている。<sup>19)</sup>しかしながら、辺材・心材の間には強度についての基本的な相異はなく、それは比重の相異相当であるといわれている。<sup>20)</sup>一方心材に多くの抽出成分を持つ樹種の圧縮強さ、硬さなどは比重増加の割合以上に強く、硬くなるとの報告もあるが、<sup>21)</sup>一般的には影響が小さい。

#### c. 衝撃強度

b. に述べたことと同様事実の報告もあるが、欧州トネリコの Braunkern について衝撃強度は小さいとの報告がある。<sup>5, 23)</sup>関連して衝撃強度の低下はないがむしろ圧縮強度が低下するとも云われている。<sup>24)</sup>

#### d. 弾性・粘弾性

弾性については基本的には b. に同じ。

#### e. 寸度安定性

心材物質の細胞壁表面への沈着、細胞壁(ミセル間げき)中への浸潤によって材の繊維飽和点や体積収縮率が低下し、これを抽出処理することによりこれらの値が増加するといわれている。<sup>5, 20)</sup>わが国のイチイ、ネズコにおいても抽出後繊維飽和点と体積収縮率が抽出前に比べて大きな値を示す。<sup>26, 27)</sup>

#### i. 浸透性

心材化に際しての仮道管の壁孔閉さ、広葉樹道管のクロース形成による閉そく、さらには心材成分の沈着などによって液体の浸透性は辺材より一般に著しく低下し、<sup>28-30)</sup>針葉樹では辺材の数100分の1にすぎない。<sup>5)</sup>しかし広葉樹では樹種によっては(ハルニレなど)かえって増大するものもみられる。<sup>31)</sup>針葉樹材(スギ)のガス体透過性は心材がやや大である。<sup>32)</sup>

#### t. 耐腐朽・虫害性

心材物質の中には微生物に対し toxic なものがあり、辺材に比べて心材は微生物の attack に対する抵抗性が大きい。しかしそれには菌の種類とも関連して著しい樹種特性がある。<sup>34-36)</sup>辺材には心材のような toxic substance がなくかつ容易に栄養となりうる物質が多いので微生物の attack を受けやすい。ヒラタキクイムシは辺材のみを侵す。<sup>33)</sup>

文 献

- 1) W. Knigge, H. Schulz : Grundriss der Forstbenutzung, Paul Parey (1966)
- 2) R. Trendelenburg, H. Meyer-Wegelin : Das Holz als Roh-stoff, Carl Hanser, 2 Aufl. (1955)
- 3) A. J. Panshin, C. H. de Zeeuw : Textbook of wood Technology. Vol. 1, 3rd. Ed., McGraw-Hill (1970)
- 4) 国際木材解剖用語集, 木材誌 21, 9, A 1 (1975)
- 5) F. P. Kollmann, W. A. Côté : Principles of Wood Science and Technology (I) Springer (1968)
- 6) K. Yazawa, S. Ishida : *Journ. Proc. Agr. Hokkaido Univ.*, 54, 2, 123 (1965)
- 7) L. Vorreiter : Holztechnologisches Handbuch (I), Georg Fromme (1958)
- 8) J. P. Sullivan : *Forest Prod. Journ.* 17, 8, 25, (1957)
- 9) 小野寺重男 : 北大演報, 20, 1 183 (1959)
- 10) 近藤民雄 : 木材工業, 12, 555 (1957)
- 11) 大沢正之, 平井左門 : 札幌農林学会報, 37, 4, 15 (1948)
- 12) 矢沢亀吉 : 樺太中試彙報, 20, 38 (1935)
- 13) 矢沢亀吉 : 岐阜農專学報, 52, 1 (1944)
- 14) 矢沢亀吉 : 木材工業, 2, 9 13 (1947)
- 15) 矢沢亀吉 : 林学会誌, 30, 1 14 (1948)
- 16) 矢沢亀吉 : 岐阜大農研報, 5 37 (1955)
- 17) 矢沢亀吉 : 第10回木材学会発表要旨集, 10 (1960)
- 18) 矢沢亀吉, 土田功 : 岐阜農專学報, 63, 20 (1948)
- 19) J. I. S., Z 2001, 木材試験の通則
- 20) D. Noack : *Holz als Roh-und Werkstoff*, 21, 3, 108 (1963)
- 21) R. F. Luxford : *Journ. Agr. Res.* 42, 801 (1931)
- 22) G. Janka : *Centralblatt ges. Forstwesen.* 37, 555 (1911)
- 23) L. Hufnagel : Handbuch der kaufmännischen Holzverwertung und Holzhandels. 19, 337 (1922)
- 24) F. Kollmann : Die Esche und ihr Holz (1941)
- 25) W. L. Greenhill : The shrinkage of Australian timbers Pt. 1, CSIRO (1936)
- 26) 矢沢亀吉 : 林学会誌, 24, 10, 1 (1942)
- 27) 矢沢亀吉 : 坪井嘉孝 : 日林関西支部大会講演集, 1, (1950)
- 28) A. B. Wardrop, G. W. Davies : *Holzforschung*, 15, 5, 129 (1961)

- 29) S. Hayashi, K. Nishimoto, T. Kishima : *Wood Res. Inst.*, Kyoto Univ. **38**, 47 (1966)
- 30) K. Nishimoto, S. Hayashi : *Wood Res.*, **36**, 11 (1965)
- 31) S. Ishida, J. Ohtani : 北大演報, **26**, 1, 1 (1968)
- 32) 渡辺治人, 安蘇国猛 : 木材学会誌, **3**, 41 (1957)
- 33) 林試編 : 木材工業ハンドブック, 丸善 (1973)
- 34) H. MacLean, J. Gardner : *Forest Pro. Journ.*, **6**, 510 (1956)
- 35) J. S. Boyce : *Forest Pathology*, 3rd. Ed., McGraw-Hill (1961)
- 36) T. C. Scheffer, Cowling : *Ann. Rev. Phytopathol.*, **4**, 147 (1966)

### 3. 未成熟材と材料としての性質

未成熟材・成熟材の区分は定義的には形成層の未成熟・成熟によるが、実際には種々の組織・構造的因子、物理的・機械的・化学的因子などの変動パターンにより区分されている。なお、樹冠材と枝下材はそれぞれ、未成熟材と成熟材にはほぼ同義語、それぞれの材部がほぼ一致する、と報告されているので付記した。

#### a. 外観・寸法

針葉樹の樹幹における未成熟材の範囲は、生長が比較的均一な場合には円筒形を示すが、樹幹上部で髄からの年輪数<sup>4)</sup>が幾分減じたり、未成熟材の占める直径が減ずる傾向があるものが認められ、また後期に生長が盛んな場合は直径が上部で増加する形、後期に生長が衰える場合は直径が上部で減少する形を示す。

髄からの年輪数あるいは距離で示すと、植栽木のスギでは10~15年輪<sup>4) 6) 7)</sup>、天然木では20~30年輪、髄からの距離ではいずれも5~7cm<sup>6)</sup>、ヒノキ10~13年輪<sup>8)</sup>、アカマツ20年輪<sup>9)</sup>、またアカマツ、クロマツ10~20年輪<sup>10)</sup>、カラマツ15年輪<sup>11) 12)</sup>、あるいは20年輪付近<sup>13)</sup>、エゾマツとトドマツ15~20年輪<sup>14)</sup>、*Pinus radiata* 9~15年輪で胸高直径で4.4インチ、樹高45フィートで3.3インチ、また根元で平均年輪数6.1、直径1.9インチ、上方で年輪数4.8、直径2.2インチ<sup>16)</sup>、Slash pine 6年輪、平均2.5インチ<sup>5)</sup>。

広葉樹ではポプラ、シイノキ、ミズナラで10~20年輪<sup>17)</sup>、半径でミズナラ7~10cm、カツラ約8cm<sup>18)</sup>。樹冠材としての範囲はスギで15~20年輪<sup>20)</sup>、5~10年輪<sup>21)</sup>、また10年輪前後<sup>22)</sup>。

#### b. 強度・比強度

Loblolly pine<sup>23)</sup> やカラマツの欠点を含んだ材の曲げ強さやスギ<sup>4) 7)</sup>、ヒノキ<sup>8) 10)</sup> の圧縮強さで、未成熟材は成熟材に比べて明らかに劣る。比強度はいずれの樹種も未成熟材は成熟材に比べて小さい。

Fichte と Kiefer について、樹冠材と枝下材に区分した圧縮強さと比重との関係は比例的であるが、比重の小さい範囲では樹冠材の強さが枝下材のそれよりやや大きい傾向がある。

#### d. 弾性・粘弾性

Loblolly pine<sup>23)</sup> や欠点を含んだカラマツ材の曲げ弾性係数およびスギ<sup>4) 7)</sup>、ヒノキ<sup>8) 10)</sup> の圧縮弾性係数で未成熟材は成熟材に比べて明らかに劣る。

比弾性係数も未成熟材は成熟材より小さいが、<sup>4) 7) 23) 24)</sup> ヒノキ<sup>8) 10)</sup> では明確な傾向が認め難い。またヒノキの動的ヤング率も上述の静的な結果と同様の結果を示す。

カラマツ未成熟材部のせん断弾性係数は成熟材に比較してさほど低下せず、また年輪幅の大小にあまり関係がなくほぼ一定の値を示す傾向が認められるが、ヤング係数Eとせん断弾性係数Gの比E/Gは小さく10以下のものが多い。<sup>26)</sup>

スギ未成熟材の比緩和弾性率（繊維方向）は成熟材に比較して小さい。<sup>27)</sup>

#### e. 寸度安定性

カラマツの未成熟材は成熟材に比べて収縮率で $\alpha_t$   $\alpha_r$ ともに小さく、 $\alpha_t/\alpha_r$ の比は大きい<sup>28)</sup>が、 $\alpha_t$ で未成熟材は大きい。<sup>15) 29) 30) 31)</sup> スギで成熟材が1.4%、未成熟材が2.7%ではほぼ2倍、<sup>7)</sup> また $\alpha_r$ では未成熟材は成熟材に比べて小さい傾向がある。<sup>6)</sup>

#### 1. 乾燥適性

スギ、ヒノキ、カラマツの未成熟材の小角材は生長応力によって木表側を凹面に縦反りを起こすが、乾燥することによって木表側を凸面に反転する。<sup>32)</sup>

#### 文 献

- 1) 日本木材学会：木材誌，18，147（1972）
- 2) 田島俊雄：東教大農紀要，13，65（1967）
- 3) 加納孟：材木の材質，日本林業技術協会，東京（1973）
- 4) 渡辺治人ほか3名：木材誌，10，125（1964）
- 5) B. J. Zobel and R. L. McElwee：TAPPI，41，158（1958）
- 6) 深沢和三：岐大農研報，25，47（1967）
- 7) 渡辺治人，堤寿一，小島敬吾：木材誌，9，225（1963）
- 8) 太田貞明ほか3名：木材誌，14，261（1968）
- 9) 須藤彰司：木材誌，15，67（1969）
- 10) 太田貞明：九大演習林報告，45，1（1972）
- 11) 塩倉高義，渡辺治人：東農大農学集報，13，99（1968）
- 12) 塩倉高義，渡辺治人：同上，17，81（1972）
- 13) 小沢勝治：福島大理科報告，21，80（1971）
- 14) 塩倉高義，渡辺治人：東農大農学集報，16，99（1971）
- 15) B. J. Zobel，C. Webb and F. Henson：TAPPI，42，345（1959）

- 16) H. Hallock : U. S. F. S. R. Note (1968)
- 17) 渡辺治人, 松本勲, 林弘也 : 木材誌, 12, 259 (1966)
- 18) 深沢和三, 大谷諄 : 北大演習林報告, 29, 171 (1972)
- 19) 大谷諄, 深沢和三, 金野滋典 : 同上, 31, 467 (1974)
- 20) 加納孟 : 林試報告, 125, 95 (1961)
- 21) 加納孟 : 同上, 134, 115 (1961)
- 22) 田島俊雄 : 東教大農紀要, 13, 65 (1967)
- 23) R. G. Pearson and R. C. Gilmore : *F. P. J.*, 21(1), 23 (1971)
- 24) 塩倉高義, 渡辺治人 : 東農大農学集報, 16, 91 (1971)
- 25) F. Wandt : *Mitteil. Forstwirt. Forstwiss.*, 3, 343 (1937)
- 26) 山本宏, 高橋政治, 川口信隆 : 第6回木材学会北海道支部研究発表大会講演集 (1974)
- 27) 森泉周, 伏谷賢美, 蕪木自輔 : 木材誌, 17, 431 (1971)
- 28) 塩倉高義 : 東農大農学集報, 20, 1 (1975)
- 29) A. J. Panshin and C. de Zeeuw : *Textbook of Wood Technology Vol. 1*, 3rd ed. McGraw-Hill, N. Y. (1970)
- 30) H. E. Dadswell : *J. Inst. Wood Sci.* 1, 11 (1958)
- 31) B. H. Paul : *TAPPI*, 43, 1 (1960)
- 32) 塩倉高義, 小林純 : 東農大農学集報, 21, 208 (1976)

#### 4. 木理・はだ目と材料としての性質

木理は通直木理, らせん木理, 交錯木理, 斜走木理などに区別されるが, このうち交走木理の範疇に入るらせん木理, 交錯木理, 斜走木理は木材の材料としての性質, すなわち力学的性質をはじめ, 割れ, そり, ねじれなどに大きな影響を与えるので, これらを主に解説する。

##### a. 外観・寸法

らせん傾斜は針葉樹にも広葉樹にも認められるが, その出現傾向は両者で差異が認められる。肉眼的には立枯れして樹皮が脱落した樹幹, 電柱, はく皮丸太の表面に認められるらせん状のさけ目から, およそのらせん方向と大きさを知ることができる。樹皮のらせん傾斜から樹幹のそれを推定しようとする試みも行なわれてきたが, らせん傾斜は樹心部から外周に向かって大きさだけでなくその方向も変化することが知られているので, 特に古い樹皮表面の様子から幹のらせん傾斜を推定することは極めて困難である。ただし, 樹皮の最も内側のらせん傾斜と幹の最外部のそれとはほぼ一致する。<sup>2) 3)</sup>

針葉樹樹幹におけるらせん傾斜のパターンは, 幼令時では左巻であるが髓から10年位までの間に一度通直(零)<sup>4)</sup>になり, それ以後は右巻に方向が変わる。また, 樹幹水平方向におけるその最大値は髓か

ら10年輪位まで出現するのが最も一般的な傾向である。<sup>5)</sup>特に Pine 材ではこのような傾向が確認されて<sup>4) 6) 7) 8) 9)</sup>いる。この他、Douglas-fir についての報告によると、供試個体数 140 本のうち64%が上述のような傾向を示し、19%が生長初期に認められる左巻の状態を成熟材になっても持続し右巻にはならず、残り<sup>10)</sup>17%は一定の傾向を示さない。またカラマツについても同様の結果が得られている。

らせん傾斜度の大きさは、Douglas-fir を例にとると最大値で左巻16°、右巻19°位である。<sup>1)</sup>なお、樹種によっては Foxtail pine のように成熟材部で40°にも達するものもある。

広葉樹樹幹のらせん傾斜に関する報告は針葉樹のそれに比較すると数少ないようである。樹幹内のらせん傾斜のパターンは針葉樹のように一定の傾向を求めようとしても困難であるといわれている。らせん傾斜の出現傾向は、針葉樹材のそれとは逆になる。<sup>10) 11)</sup>すなわち、生長初期にはその方向が右巻であり、一度通直になったのち左巻に変化する。また、Pear tree, European Oak は上述のパターンとは異なり、らせん傾斜の方向が常に右巻で樹令とともにその角度が次第に大きくなる。<sup>12) 13)</sup>これとは逆に、Apple tree などは最初から左巻のまま推移する。<sup>12)</sup>

このように、広葉樹ではいずれの傾向を示すにせよ、らせん傾斜のパターンは針葉樹材におけるそれに比較すると特異な傾向を示す樹種が多いといえる。さらに、個体間でらせん傾斜の方向と大きさの差異が針葉樹材にくらべて大きいことも特徴の一つである。

熱帯産材によく見かけられる交錯木理は、広葉樹ばかりでなく針葉樹にも認められるらせん木理の一種と考えられ、Double spiral grain という名称も用いられる。<sup>14)</sup>これはらせん傾斜の方向が生長輪内になわ目状に交錯し、相互の角度にも差異が認められる。<sup>15)</sup>大きさ、方向ともに個体差が大きく、同一林分に生育した同一樹種でも交錯の大小はもとより、交錯していない個体も存在する。<sup>16)</sup>

交錯木理の大小を示す指標として、右巻と左巻との最大値の和を、また基準線（零度）と右巻、左巻らせんで囲まれる面積の大小、<sup>17) 18)</sup>および髓心から樹皮にいたるまでの右巻、左巻らせん傾斜角度の平均値などが提案されている。交錯木理の代表値を示す個体内の平均的部位は、らせん傾斜の場合と同様に胸高部位から3m位（板根が生じる樹種ではこれより若干高くなる）であり、両者の相関は  $r = 0.71$  が得られている。<sup>17)</sup>また、右巻と左巻との最大値の和と基準線で囲まれる面積との間には  $Y = 0.78 + 0.78 X$  の関係がある。<sup>17)</sup>

交錯木理の出現頻度分布は、例えば 180 個体の Sweet gum では 5.4°~59° の範囲にあり、平均値は 12° が得られている。ここで、59° はほぼ通直な木理を示し、59° は繊維の交錯が非常にげいしい個体であることを示す。主要な南洋産材については交錯木理の程度を 5 段階あるいは 3 段階に評価区分した報告がある。<sup>18) 19)</sup>

交錯木理の大小と生長速度との間にはあまり密接な関係は認められない。<sup>17)</sup>

交錯木理が存在すると製材品やスライスベニヤの柾目面にリボン状の紋様が生じる。これらの紋様は *Khaya* sp., *swietenia* sp. のように適度の場合には装飾的にはむしろ好まれることが多い。しかし、*Liquidamber styraciflua* のようにはげしい交錯を示す場合には加工性、仕上げに多くの問題が生じる。<sup>17)</sup>

## b. 強度・比強度

繊維が樹幹内で通直であっても製材時の木取りによって様々な繊維の走向を有する製品が生産される。この意味で強度的性質との関連では斜走木理との関係が重要である。

引張と圧縮では木材試験体に平行方向に外力が作用する場合に、静的曲げでは繊維に平行方向に長軸があるために、これと直角に外力が作用する時に最も強度が大きい。外力の作用方向がこれらからいずれかにはずれると規則的な強度が減少し、その程度は引張<sup>20)</sup>>曲げ<sup>21)</sup>>圧縮<sup>20)</sup>>せん断の順となる。一般に木材の強度と繊維走向との間には HANKINSON の式が適合する。いくつかの樹種、たとえば White ash, Douglas-fir, sitka spruce<sup>20)</sup> についての両者の関係を実験的に求めた結果が報告されている。

らせん傾斜を有する木材は、丸太のままで用いる時にはあまり大きな強度低減は生じないと考えられ、風圧や雪などに対してはらせん傾斜を有する丸太の方がむしろ柔軟性の点では優れているとの報告もある。<sup>22) 23) 24)</sup>

## c. 衝撃強度

衝撃強さは強度的性質のなかでも繊維走向の影響をとくに敏感に受ける。衝撃曲げ強さとらせん木理・斜走木理との関係を知る目安として、通直木理の木材に対する衝撃強さの平均減少率が WILSON によって実験的に求められている。<sup>25)</sup> また、衝撃強さについても HANKINSON の式によく一致する強度低減を示す。

針葉樹材の衝撃曲げ強度はその荷重が年輪に接線方向に作用するよりも放射方向に加えられた時に大きく、繊維方向と試験体との軸方向とのなす角度が $5^\circ$ である時、強度は10%減少するが、これが $10^\circ$ の時には強度は約 $\frac{1}{2}$ になる。<sup>26)</sup> 広葉樹材では針葉樹材で認められるほど明らかな差異はないといわれている。<sup>26)</sup>

## d. 弾性・粘弾性

試験体との主軸と繊維方向とのなす角度が $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ の弾性コンプライアンスを実験的に求めれば、任意の角度におけるヤング率を求める式が導かれている。また近似式として

$$E_\theta \approx \frac{E_0 \cdot E_{90}}{E_0 \cdot \sin^n \theta + E_{90} \cdot \cos^n \theta}$$

があり、実際にもよく適合する。<sup>27)</sup>

式中の $E_0$ ,  $E_{45}$ ,  $E_{90}$ はそれぞれ試験体の軸と繊維方向とのなす角度( $\theta$ )が $0^\circ$ ,  $45^\circ$ および $90^\circ$ のときのヤング率であり、 $n$ は実験によって決められた定数である。 $n$ 値としては Basswood, fir 材では $n=3$ が与えられている。

弾性と繊維走向との関係は、弾性的性質に大きく影響する他の因子(たとえば含水率)との関連から追求された報告が多い。<sup>28) 29)</sup>

WILSON は White ash, Sitka spruce および Douglas-fir について木材の弾性的性質に与えるらせん傾斜角の影響を調べ、弾性率の減少程度を求めた。これによると White ash はらせん傾斜が $2.3^\circ$ の

ものが0°のものにくらべて2%減少するのにくらべ、これが11.3°になると22%減少する。White spruce<sup>25)</sup>、Douglas-firではらせん傾斜角が11.3°になるとそれぞれ36%、40%の減少率を示す。

#### e. 寸法安定性

らせん傾斜が小さいほど木材の縦収縮率は小さく、横方向収縮率は大きい傾向がある。したがって、<sup>20)</sup>交走木理を有する木材は通直な木理の木材よりも縦軸方向の収縮率が大きい。心持ち正角材の4材面における最大繊維傾斜度の合計値とその角材のねじれ量との間には高い正の相関関係がある。(カラマツ<sup>30) 31)</sup>およびグイマツ:  $r = 0.726$ )。

心持ち角材のねじれ量は1辺長が12 cm以上の断面を有するようになると少なくなる傾向がある。<sup>30) 32)</sup>

乾燥にともなう丸太のねじれ量は、その円板の繊維傾斜の方向と一致する。<sup>33)</sup>また、針葉樹板材のねじれ量は傾斜の角度に比例し樹心からの距離(板の採材部位に関する)に反比例する。<sup>34)</sup>したがって、ねじれ量は大径木から木取られた製品ほど、またらせん傾斜の少ないものほど小さい。<sup>35)</sup>

交錯木理を有する丸太では、単板はもとより合板になってからもらせん傾斜の影響を受けることがある。この影響は合板ではプライ数によって変る。たとえば、3プライ合板では繊維交錯度が5°より大きいとねじれ量が顕著に認められるが、5プライ合板になると15°位まで許容できる。<sup>36)</sup>他方、BANKSは単板に認められるらせん傾斜と合板の狂いとの間には相互関係はないとしている。<sup>37)</sup>

単板では繊維交錯度の最大許容範囲は8.6°位である。<sup>37)</sup>単板に生ずるカップはらせん傾斜とは無関係であるが、ねじれとは関係がある<sup>37)</sup>と報告されているが、その関係は5%レベルで $r = 0.144$ と低いようである。

南洋材約30樹種について、らせん傾斜角度と単板のむきはだ、狂い、うらわれ率などとの相関を求めるとむきはだと狂いについては相関がなく、うらわれ率との間には5%レベルで相関が認められる。<sup>38)</sup>

らせん傾斜を有する丸太を電柱に使う場合、含水率の変化で送電線に張力が加担されるが、そのねじれ方向はらせん傾斜の方向と大きさによって決まり、ねじれは右せん回の電柱の方が左せん回のものより小さい。<sup>39)</sup>またクレオソート注入された電柱ではらせん傾斜の大小よりも注入された時に丸太が有する含水率に大きく左右される。<sup>39)</sup>

#### f. 熱的性質・燃焼性

らせん傾斜自体とこれらの関係を追求した報告は少なく、繊維の走向との影響について検討したものが多い。

一般には繊維の走向と熱伝導率との関係は放射方向の方が接線方向にくらべて6.5~15.4%大きい。<sup>40)</sup>また、広葉樹材では放射方向の方が接線方向より5~10%大きい<sup>41)</sup>が、針葉樹材ではその差異が認められないとする報告もある。<sup>41)</sup>

#### h. 感触・刺激

木材の色は、表面が木口面、まさ目面あるいは板目面であるかには関係が少ないが、表面のはだ目の精粗には影響される。室内装飾として良好な外観を呈するには、部屋の壁は少なくとも入射光線の50%



を反射し、家具や床は30%を反射することが必要である。<sup>42)</sup>

光沢は、まさ目面では光沢に富む放射組織が平面に表われるので最も光沢がある。一般に材質のち密なものは粗なものより光沢に富み、放射組織の多い木材は光沢に富む。<sup>20)</sup>

#### i. 浸透性

木材内における薬液の浸透の深さは繊維の走向によって影響を受ける。たとえば Pine 材に NaF を浸透させる場合、その深さは繊維走向と含水率の影響を時間の関数として示すことができる。繊維に平行方向の浸透性は直角方向の深さの約6倍に達する。<sup>43)</sup>

#### m. 加工性

繊維斜行角を0°から次第に増加していくと、切削面は20°を境にして面の状況が急激に変化する。<sup>44)</sup> 切削抵抗および表面あらさと木理斜行角との関係は、切削角25°では木理斜行角の影響は見られないが、これが48°以上になると斜行角の増加にともない切削抵抗は sin 曲線状に減少する。<sup>44)</sup> 研磨面については木理斜行角が増すと、カッタなどでは道管がところどころ破壊されて交錯紋様が現われてくる。また、繊維の方向性によるあらさ曲線の変化は、砥粒の軌跡と繊維走行方向との交さ角の差異によって支配される。<sup>44)</sup>

回転かんな切削面のあらさは繊維方向と送材方向とのなす角度が大きくなると増大する。<sup>45)</sup> 逆目ぼれと繊維傾斜角とは関連が深いが被削材によってその影響の度合が異なる。<sup>46)</sup> 目違いの高さは順目切削時に起きやすいが樹種的な差異があり、スギでは繊維傾斜角30°付近で最大値を示す。<sup>46)</sup>

#### 文 献

- 1) A. F. Noskowiak : *F. P. J.*, 13, (7), 266 (1963)
- 2) E. F. Mc Carthy and P. J. Hoyle : *J. For.*, 16, (7) (1918)
- 3) R. Trendelenburg : *Das Holz als Rohstoff*, 2nd ed. (1955)
- 4) J. W. P. Nicholls : *Proc. meeting of section 41, IUFRO*, 1 (1963)
- 5) 中川伸策 : *林試研報*, 248, 97 (1972)
- 6) M. Chattaway : *CSIRO*, 250 (1959)
- 7) J. A. Lasschult : *Tectona* 41 (1952)
- 8) P. L. Northcott : *For. chron.* 33(4), 335 (1957)
- 9) H. G. Champion : *1nd. For.* 53, 1, 18 (1927)
- 10) H. G. Champion : *1nd. For.* 56, 12, 511 (1930)
- 11) R. W. Kennedy and G. K. Elliott : *For. chron.*, 33, 3, 238 (1957)
- 12) H. Burger : *Schweiz. Z. Forstw.* 97, 3, S 119 (1946)
- 13) H. Burger : *Schweiz Anst. forstl.* 25, 1, 211 (1947)
- 14) J. A. Rudinski and J. P. Vite : *For sci.*, 5, 3, 259 (1959)

- 15) J. F. Martley : *Annals Appl. Biol.* **7**, 2 / 3, 224 (1920)
- 16) V. D. Limaye : *Indian For.* **80**, 1, 6 (1954)
- 17) C. D. Webb : *FPJ.*, **19**, 18 (1969)
- 18) 太田貞明 : 林試研報, **294**, 1 (1977)
- 19) 南洋材研究班 (林試) : 南洋材の性質 **21**, **277**, 87 (1975)
- 20) 渡辺治人 : 木材理学総論, 農林出版 (1978)
- 21) *Wood Handbook : USDA, Handbook*, **72**, 80 (1955)
- 22) B. Thunell : *Holz als Roh-u Werkstoff.* **9**, 8, (1951)
- 23) H. Mayer-Wergelin : *Forst archiv*, **27**, 12 (1956)
- 24) A. Ylinen : *Holz als Roh u- Werkstoff*, **11**, 6 (1953)
- 25) T. R. C. Wilson : *J. For.*, **19**, 740 (1921)
- 26) L. J. Markwardt and T. R. C. Wilson : *USDA, Tech. bull*, 479, 67 (1935)
- 27) F. Kollmann : *Forst wiss. cb 1*, 56(6), 181 (1934)
- 28) J. T. Drow et al. : *USDA, Rept*, 1528—A (1954)
- 29) R. S. McBurney *et al.* : *USDA, Rept*, 1528—D (1956)
- 30) 加納孟他4名 : 林試研報 **182**, 114 (1965)
- 31) 斎藤久夫 : 林試木材部資料 (1975)
- 32) 半沢道郎・沢田稔 : 北方林業叢書 **41**, 1 (1969)
- 33) 大倉精二・小沢勝治 : 木材試, **8**, 3, 105 (1962)
- 34) V. Balodis : *IUFRO*, sec. 41, Madison (1971)
- 35) V. Balodis : *Wood Sci.* **5**(1), 44 (1972)
- 36) C. H. Banks : *IUFRO*, sec. 41, Madison (1971)
- 37) Don Brouse : *USDA, Rept.* 1252 (1961)
- 38) 太田貞明・木下叙幸 : 林試研報, **288**, 59 (1977)
- 39) P. M. D. Krogh : *For. Prod. Res. Inst.*, paper presented at 6th Brit. Commw. For. Conf., Canada (1952)
- 40) V. Sava *et al.* : *Holz als Roh-u. Werkstoff*, **28**(3), 117 (1970)
- 41) F. F. Wangaad : *Heat, pip. Air condit*, **12**, 459 (1940)
- 42) P. Moon and D. E. Spencer : *Repr. for jour., Opt. Soc. Amer*, **38**, 405 (1948)
- 43) J. Liese and R. Schubert : *Holz als Roh-u. Werkstoff*, **4**, 93 (1941)
- 44) 木下直治 : 理化学研報, **36**, 5, 486 (1960)
- 45) 鈴木竜太郎 : 第9回日本木材学会研究発表要旨, 70 (1960)
- 46) 森稔・星通 : 林試研報, **119**, 79 (1960)

## 5. 年輪と材料としての性質

### a. 外観・寸法

年輪は樹木の生長の記録であり、年輪幅、早晚材幅の寸法は、材料としての性質の指標として有用である。制御要因として自然的条件との関連を求めたものでは、年輪あるいは樹木年代学から論じているもの<sup>1,2)</sup>、気候条件<sup>3,4)</sup>、晩材形成時の降水量<sup>5)</sup>、産地主に緯度・海拔高から整理しようとするもの<sup>10-15)</sup>、平均生長期間の関連から気温因子に分類して求めたもの<sup>16)</sup>などがある。人為的な条件を与え積極的に寸法を制御しようとしているものには、灌水効果<sup>6-9)</sup>、施肥効果<sup>17-22)</sup>、間伐効果<sup>17)</sup>、枝打ち効果<sup>23) 32-34)</sup>などがある。個体間及び個体内で年輪幅、晩材率の出現の傾向や均質性は材質を見るうえで基礎的なことである。安定年輪幅を抽出した<sup>25, 26)</sup>もの、樹冠または幹中の位置から傾向を求めたもの<sup>27-31)</sup>、樹齢(未成熟材・成熟材)による基本的な違い<sup>1, 31, 34-37)</sup>も追求されている。

### b. 強度・比強度

曲げ強さの晩材/早材は、*Larix decidua*, *Pinus strobus*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris* でそれぞれ4.4, 1.5, 2.5, 2.5であり、縦引張強さのそれはそれぞれ2.01, 0.95, 0.90, 1.33を示した<sup>38)</sup>。Douglas firの曲げ強さでの比は5.1である<sup>39)</sup>。

針葉樹で1年輪内の強度の変動が、微小連続試片による縦引張強さで見られている。一般に引張強さは比重の変動に従うが、比強度は晩材の方が高い<sup>40)</sup>。また早材においてファイブリング傾角の増大と共に引張強さは減少する<sup>41) 43)</sup>。仮道管長、セルロース量とも相関している<sup>41)</sup>。

一方、木口面の微小かたさの年輪内変化からも各樹種の年輪構成分析がなされている<sup>44, 45)</sup>。木口面かたさの晩材/早材は、スギで1.7、Douglas firで5.8である<sup>46)</sup>。

Douglas firを用いた引張応力緩和試験によると、静的な疲労破壊は早晚材で異なり、早材部では一段の応力緩和破壊曲線を示すのに対し、晩材部は多段曲線であった<sup>47)</sup>。縦引張による破壊の形態は、早材では繊維に直角な平滑破壊であったが、晩材部では割れを伴う引き抜け破壊が多い<sup>40, 47)</sup>。単一仮道管の引張破壊の早晚材における違いは、走査型電顕の中でビデオにより観察されている<sup>48, 49)</sup>。

横圧縮の初期破壊と破壊形態について、一年輪内でどのように発展するかについても光顕<sup>50)</sup>、走査型電顕(ビデオ)で観察されている<sup>51)</sup>。横圧縮の比例限度及びヤング係数は、接線面荷重の方が径断面荷重のものより大きい<sup>52)</sup>が、この比は放射組織の容積率が增大すると大きくなり、また晩材率や年輪内の密度の差が小さくなくても大きくなる。

晩材率及び年輪幅と各種強度との関係を見ると、晩材率とは直線比例関係となる<sup>45, 53)</sup>。しかし年輪幅との間には相関々係は必ずしもない<sup>53)</sup>。しかしながら年輪幅と各種強度との関係は、肉眼による材質評価の基準となるため多くの報告がある<sup>1) 36) 45)</sup>。若干の例を挙げると、ヒバの縦圧縮強さ<sup>54)</sup>、各種樹種の木口面かたさ<sup>46) 55)</sup>、カラマツ、ストロブ及びバンクスマツの各種強度などがある<sup>56) 57)</sup>。文献の多くは省略するが、これらの知

識をもとにして、年輪幅による材質分類が、各樹種、各用途に従って考えられようとしている。<sup>58) 59)</sup>

樹木の生長の肥培効果と強さの関係では、ヨーロッパアカマツで、曲げ強さは年輪幅 220%増で12%減、200%増で5%減、50~100%増で変らなかったという報告がある。<sup>60) 61)</sup>

#### c. 衝撃強度

Douglas fir の衝撃曲げ強さの晩材/早材は 4.2 である。<sup>39)</sup> 靱性は広年輪幅で、針葉樹では低く、環孔材では高い。ブナ、カラマツでは年輪幅 1 mm 以下で最大となっている。衝撃曲げ試験における靱性やもろさは年輪内の構造と深くかかわっている。<sup>57) 62)</sup> Douglas fir の実験によると、生材、気乾材共、衝撃面と大きな関係があり、接線面荷重の方が、半径面荷重のものより常に大きい。<sup>63)</sup>

#### d. 弾性・粘弾性

Douglas fir の静的曲げヤング率の晩材/早材は 3.6 である。<sup>39)</sup> 一年輪内のヤング率の変動は、微小試片による縦引張で<sup>40) 42) 43) 64)</sup>、また振動リード法による動ヤング率の測定で<sup>65)</sup>、求められている。いずれも繊維傾角の関係が求められ、その小さいものほどヤング率は高い数値を示す。比ヤング率も同様である。細胞壁面積率とも極めてよい直線性を示す。<sup>64)</sup> 仮道管の変形性を比例限ひずみと破壊ひずみで表わすと、比例限ひずみは早材から晩材へ増加、破壊ひずみは早材から晩材へ減少の傾向を示した。<sup>64)</sup>

縦圧縮、横圧縮ヤング率と年輪内構造との関連が、破壊点の顕微鏡観察から考察されている。<sup>50) 66)</sup>

#### e. 寸度安定性

木材の収縮異方性の原因については、年輪内の構造とくに早晩材の収縮率の違いから解析される。<sup>67) 68) 69)</sup> Douglas fir の早材の接線収縮率 ( $\alpha_t$ ) は 4.81%、半径収縮率 ( $\alpha_r$ ) は 2.39%、 $\alpha_t/\alpha_r=2.0$ 、晩材の  $\alpha_t$  は 7.21%、 $\alpha_r$  は 8.90% で  $\alpha_t/\alpha_r=0.8$  であった。<sup>70)</sup> 早材率 (晩材率) の変化による材の  $\alpha_t$ 、 $\alpha_r$ 、及び  $\alpha_t/\alpha_r$  の違いが理論的に求められている。<sup>70)</sup>

一年輪内の  $\alpha_t$  の変動は、単板の乾燥変形などの点で重要であり、連続切片や、<sup>71)</sup> 広年輪幅の単板で<sup>72)</sup> 検討されている。

長軸収縮率 ( $\alpha_l$ ) は、多くの針葉樹の正常材で、早材 0.22%、晩材 0.05% であり、早材/晩材は 4.4 であるが、この比は繊維傾角の違いにより 2~5 まで変化する。<sup>73)</sup> 繊維傾角と  $\alpha_l$  の関係は、早晩材で異なった挙動を示すことが理論的に解析されている。<sup>73)</sup>

年輪構成 (年輪幅、晩材率) は比重その他の因子にかかわらず、容積収縮率 ( $\alpha_v$ ) を独立的に規制することが、トドマツ、グイマツの大量観察で明らかにされた。<sup>74) 75)</sup> すなわちグイマツでは 3~6 mm、カラマツでは 1~6 mm、トドマツでは 2~5 mm の年輪幅範囲では、年輪幅、晩材率、容積密度数 (R) の変動にかかわりなく、 $\alpha_v \approx 24 \sim 26 R$  (グイマツ)、 $\alpha_v \approx 27 \sim 29 R$  (カラマツ)、 $\alpha_v \approx 31 R$  (トドマツ) なる簡単な関係をあたえる。

年輪幅と収縮率の関係はブナ、ミズナラ<sup>76)</sup> でも求められ、材質分類の根拠としている。<sup>77)</sup>

ヨーロッパアカマツの肥培木について年輪幅が 220%増のとき、 $\alpha_t$  は 11%増、 $\alpha_r$  は 9%減、 $\alpha_l$  は 70%増というデータがある。<sup>60)</sup>

#### g. 音響的性質

Sitka spruce の動的ヤング率, 内部摩擦は年輪幅とは相関しない。響板の年輪幅による選択は主に美観に関係するものようである。<sup>78)</sup>

#### h. 感触・刺激

感触の定量化として“すべりやすさ”“なめらかさ”を取り上げ, 針葉樹材の年輪内の表面変化とすべり特性が求められている。<sup>79)</sup> 具体的にはすべり摩擦係数を測定しているが, これは晩材にかけて減少するか, 早材の中期で最大となった。また指先によるすべりやすさの官能試験も行っている。<sup>79)</sup>

#### i. 浸透性

早晚材の浸透性は, 針葉樹では晩材の方が大きい。<sup>80, 81, 82)</sup> モノマー注入によるポリマー重合の実験では, 針葉樹では晩材 $\gg$ 早材であり, プナでは晩材 $>$ 早材, カンバでは晩材 $\geq$ 早材, 環孔材では晩材 $<$ 早材であることが, 顕微鏡で示されている。<sup>83)</sup>

Douglas fir の早材の浸透性は壁孔の閉鎖率と大きく関連している。<sup>84)</sup> スギの開放壁孔率は早材より晩材において概してその値が高い。<sup>85)</sup>

木材の浸透性の実験では, 針広葉樹とも年輪幅との関係は認められず, 針葉樹での晩材率の影響も判然としない。<sup>86-88)</sup>

#### j. 耐摩耗性

木材の摩耗試験は数少ないが, まさ目面の厚さ摩耗量の早晚材の差, 板目面の摩耗量と早晚材の状況などが針広葉樹材で求められている。<sup>89)</sup> また37樹種の年輪内の各位置における微小部分の摩耗抵抗を測定し, 摩耗抵抗に最も影響を与える因子は, 針葉樹では比重 (ヒノキ), 細胞壁の厚さ (ヒメコマツ), 仮道管の直径 (トドマツ) などがあり, 樹種特性が見られる。広葉樹の環孔材では比重, 道管要素率, 散孔材では樹種によってかなり異なっている。<sup>90)</sup>

カラマツまさ目板のブラッシング試験では, 年輪幅とブラッシング重量 (ブラッシングによる重量減少量) との関係はみられなかった。<sup>91)</sup>

#### l. 乾燥適性

乾燥割れの発生に関する顕微鏡的観察によると, 割れは, 接線方向に引張って乾燥すると晩材から発生し, 半径方向引張で乾燥の場合は, 早材から発生する。<sup>92)</sup>

日本産主要樹種の乾燥性試験によると, 乾燥速度減少係数と年輪幅との関係は, 各樹種であまりはつきりした傾向を見出していない。<sup>93) 94)</sup>

#### m. 加工性

Douglas fir や Southern pine のような早晚材移行の急なもので単板切削に関する生長の良否と加工性について求めると, プレッシャーバーをかけた時の早晚材の剥離は, 年輪幅の広いものにのみ生ずる。また単板切削によるナイフチェックも年輪幅の広いものが大きい。乾燥変形では, 早晚2層構成の単板は早晚早3層構成の単板より明らかに大きい。<sup>72)</sup>

ミズナラについて前述のかたさとの関係から加工性についても、年輪幅による分類を論じている。<sup>59)</sup>

#### o. 釘打適性

スギ、アカマツについて釘保持力は年輪密度大なるものが、小なるものより明らかに大との報告がある。<sup>95)</sup>しかし最近の報告によると、スギ、アカマツ、カラマツ、ヒノキ、エゾマツで釘の引抜き抵抗は、年輪幅の影響はなく比重に大きく関与している。<sup>96)</sup>

#### q. 接着性

スギで年輪幅小のほど接着力大、すなわち比重に比例するが、早晚材べつに見ると、接着力は早材の方が晩材より高い。晩材の接着不良は樹脂アルコール可溶成分が原因であるかもしれないと報告している。<sup>97)</sup>

#### y. 耐候性

ドイツ内外の樹種で1年間の放置試験の後、顕微鏡で調査し、各樹種の耐候性に関する年輪内特徴を観察している。<sup>98)</sup>

#### t. 耐腐朽・虫害性

イエシロアリは早材部を選択的に食害し、晩材を残す。<sup>99)</sup>14~180年のTeak材の強制腐朽試験では、重量減少率と年輪幅との相関はなかったが、樹齢、髄からの距離とは高い相関を得た。<sup>100)</sup>

#### u. 塗装性

Red woodとWestern redcederのワニスとペイント処理のものを1年間放置して、顕微鏡下で微小な割れを調査した。その結果ワニス処理のまま目面では、早材の方が晩材よりも早く割れが入ること、ペイント処理では晩材の方が早材より、割れの発生と剥げ落ちが早い。<sup>101)</sup>

### 文 献

- 1) G. Tsoumis : Wood as raw material, Pergamon Press. (1968)
- 2) 堀場義平 : 三重大農学報 40, 119 (1970)
- 3) P. R. Larson : *For. Sci.* 6(2), 111 (1960)
- 4) ————— : *Amer. J. Bot.* 49(2), 132 (1962)
- 5) ————— : *For. Sci.* 9(1), 53 (1963)
- 6) J. P. Hawe : Abst. of Thesis in Dissert. Abst. 27B (7) 2226 (1967)
- 7) ————— : *Wood Sci.* 3(2), 126 (1970)
- 8) J. W. P. Nicholls : *Silvae Gent.* 20(1/2), 26 (1971)
- 9) B. H. Paul : USDA Rep. 1988 (1954)
- 10) P. R. Larson : Yale Univ. School For. Bull. No. 63 (1957)
- 11) W. Knigge : Fifth World For. Congress (1961)
- 12) H. L. Edlin : *Forestry* 38(1), 91 (1965)

- 13) M. Holubčik : *Lesn. Cas.* 15(2), 115 (1969)
- 14) M. Todorov : *Nauch. Trud. Lesotekh. Inst. No.18* (1970)
- 15) V. Kalinkov *et al.* : *Nauch. Trud. Lesotekh. Inst. No.18* (1970)
- 16) 三好東一 : 三好博士還曆記念事業会 (1951)
- 17) Proceedings of the Symposium on the effect of growth acceleration on the properties of Wood. Madison (1971)
- 18) G. S. Klem : *Medd. Norske Skogforsøksv.* 27(1), No.96, 63 (1969)
- 19) ——— : *TAPPI* 15(11), 99 (1968)
- 20) H. Polge : *Ann. Sci. For., Paris* 26(1), 45 (1969)
- 21) J. W. P. Nicholls : *Silvae. Genet.* 20(3), 67 (1971)
- 22) A. P. Slyadnev : *Lesnol. Zhurnal.* 15(6), 69 (1972)
- 23) R. Zahner *et al.* : *For. Sci.* 8(1), 51 (1962)
- 24) J. D. Brazier : *Forestry* 43(2), 135 (1970)
- 25) 加納孟 : 林試研報 52, 23 (1952)
- 26) 加納孟 : 林試研報 61, 1 (1953)
- 27) J. L. Jarrar : *For. Chron.* 37(4), 323 (1961)
- 28) J. H. G. Smith, *et al.* : *Can. J. Bot.* 44(4), 453 (1966)
- 29) 佐伯浩 : 鳥取農学会報 19 (1967)
- 30) 酒田金治他 : 鳥取農学会報 12 (1960)
- 31) 深沢和三 : 岐阜大農研報 25, 47 (1967)
- 32) 加納孟 : 林試研報 125, 95 (1960)
- 33) ——— : 林試研報 134, 115 (1961)
- 34) R. O. Marts : *J. of For.* 49(3), 183 (1951)
- 35) B. J. Zobel *et al.* : *TAPPI* 41(4), 158 (1958)
- 36) A. J. Panshin *et al.* : *Textbook of wood technology vol. I, 3rd ed.* McGraw-Hill (1970)
- 37) 佐伯浩 : 木材誌 11(5), 185 (1965)
- 38) V. P. Levčenko : *Lesn. Ž., Arhangelsk* 4(4), 125 (1961)
- 39) J. Raczkowski : *Holzforschung* 17(6) 189 (1963)
- 40) H. Saiki : *Memoirs of the Coll. of Agr. Kyoto Univ.* 96, 47 (1970)
- 41) G. Ifju *et al.* : *F.P.J.* 12(5) 213 (1962)
- 42) G. Ifju : *Wood Sci.* 2(1), 11 (1969)
- 43) I. D. Cave *et al.* : *Wood Sci. Tech.*, 3, 40 (1969)

- 44) H. Mayer-Wegelin : Allgem. For, Tagdz., 122, 12 (1950)
- 45) R. Trendelenburg / H. Mayer-Wegelin. Das Holz als Rohstoff, CHV / München (1955)
- 46) 沢田稔他 : 林試研報 78, 149 (1955)
- 47) L. Bach : *Wood Sci.*, 3 (1), 31 (1970)
- 48) I. Furukawa *et al.* : *Mokuzai Gakkaishi* 19(8), 399 (1973)
- 49) 古川郁夫他 : 京大農演報 46, 170 (1974)
- 50) J. Bodig : *F. P. J.* 15(5), 197 (1965)
- 51) 相内泰三他 : 日本木材学会北海道支部講 7, 1 (1975)
- 52) R. W. Kennedy : *F. P. J.* 18(3) 36 (1968)
- 53) S. Llibardic *et al.* : *Šumarstvo*, 23(3/4), 31 (1970)
- 54) 山井良三郎他 : 青森林友 72 (1954)
- 55) 宮島寛 : 北大農演報 17(2), 749(1955), 22(2), 539(1963)
- 56) 宮島寛 : 北方林業 229, 123 (1968)
- 57) —— : 北大農演報 19(3), 99 (1958)
- 58) 加納孟 : 林木の材質 林業技術協会 (1973)
- 59) 大沢正之他 : 北大農演報 17(2), 793 (1955)
- 60) G. S. Klem *et al.* : *Norsk Skogind.*, 21(4), 127 (1967)
- 61) G. S. Klem : *Norsk Skogind.*, 24(2), 43 (1970)
- 62) F. P. Kollmann *et al.* : *Principles of Wood science and technology*, Springer-Verlag (1968)
- 63) C. T. Keith : *F. P. J.* 14(7) 285 (1964)
- 64) 鈴木正治 : 林試研報 212, 89 (1968)
- 65) 松本昴, 九大農演報 36, 1 (1962)
- 66) J. Bodig : *Holzforsch.*, 19(3), 83 (1965)
- 67) 梶田茂編 : 木材工学 養賢堂 (1961)
- 68) 中戸莞二 : 材料 12(121), 689 (1963)
- 69) C. Skaar : *Water in wood*, Syracuse Univ. Press (1972)
- 70) R. E. Pentoney : *J. For. Prod. Res. Soc.*, 3(2), 27 (1953)
- 71) H. D. Erickson : *F. P. J.* 5(4), 241 (1955)
- 72) J. Lutz : *F. P. J.* 14(3), 97 (1964)
- 73) J. D. Barrett *et al.* : *Wood Sci.*, 4(3), 178 (1972)
- 74) 蕪木自輔 : 林試研報 144, 97 (1962)



- 75) ————: 林試研報 163, 1 (1964)
- 76) 宮島寛他: 北大農演報 20(1), 209 (1959)
- 77) 大沢正之他: 北大農演報 20(1), 53 (1959)
- 78) 片岡明雄他: 木材誌 22(8), 436 (1976)
- 79) 鈴木正治: 林試研報 231, 1 (1970)
- 80) H. D. Erickson et al.: *F. P. J.*, 14(7), 293 (1964)
- 81) P. J. Bailey et al.: *Holzforsch* 23(4), 113 (1969)
- 82) 貴島恒夫他: 木材研究 24, 33 (1960)
- 83) 古野毅: 島根大農研報 4 (1976)
- 84) R. W. Meyer: *Wood and Fiber*, 2, 328 (1971)
- 85) 貴島恒夫他: 木材研究 27, 22 (1962)
- 86) 林昭三他: 木材研究 35, 25 (1965)
- 87) 林昭三他: 木材研究 35, 33 (1965)
- 88) 林昭三他: 木材研究 38, 47 (1966)
- 89) 鈴木正治: 林試研報 282, 1 (1976)
- 90) ————: 林試研報 298, 51 (1977)
- 91) 倉田久敬他: 北林産試月報 227, 23 (1970)
- 92) 藤田普輔: 木材誌 15(3), 99 (1969)
- 93) 寺沢真他: 林試研報 153, 15 (1963)
- 94) 佐藤庄一他: 林試研報 163, 111 (1964)
- 95) 森三郎他: 林試彙報 32 (1932)
- 96) 小西千代治: 林試研報 248, 121 (1972)
- 97) 堀岡邦典: 林試研報 89, 105 (1956)
- 98) J. Sell et al.: *Holz als R. u. W.* 29, 23 (1971)
- 99) 高橋旨象: 木材工業 29(11), 500 (1974)
- 100) E. W. B. Da Costa: W. Liese ed. "Biological transformation of wood by micro-organisms" Springer-Verlag, (1975), 103
- 101) V. P. Miniutti: *F. P. J.* 14, 571 (1964)

## 6. 細胞構造と材料としての性質

この分野の研究成果は、経験的には定説のようにになっているものが少なくないが、はっきりとした形で残されているものは、予想外に少ない。

### a. 外観・寸法

肌目は広葉樹では道管の直径の大小、針葉樹では年輪幅の広狭などにより精粗が表現される。

放射断面で投射角を変化させながら光沢度を測ると、放射組織の比率により、変化の度合が異なる。<sup>1)</sup>放射断面および接線断面における平均光沢度と構成要素の性質との間には、放射組織の比率が最も高い相関関係があるが、他はそれほど高い相関関係をもたない。なお針葉樹材のみの光沢度の場合、仮道管長およびその直径などとの間には相関関係が認められた。<sup>2)</sup>ケヤキの放射断面に近い縦断面では、入射した光に対する反射特性が孔圏部、集団管孔、繊維などでそれぞれ異なる。<sup>3)</sup>

早材から晩材への材色の濃淡の推移は、細胞壁率の年輪内経過と関連する。<sup>4)</sup>

### b. 強度・比強度

放射組織の高さと割裂強度ならびに縦圧縮強度との間にはそれぞれ負の相関があることが報告されている。細胞壁の厚さ (T) と圧縮強度 ( $\sigma_c$ ) および剪断強度 ( $\sigma_s$ ) との間にはそれぞれ  $\sigma_c = 151.9 T$  および  $\sigma_s = 384 T$  の関係がある。<sup>6)</sup>

早材部の仮道管の長さが引張強さに及ぼす影響は大きい。<sup>7)</sup>繊維が長いと引張強さは増加する。<sup>8)</sup>繊維長と縦圧縮強度、横圧縮強度、衝撃抵抗、剪断強度、割裂強度、縦引張強度などの形質商との間には相関関係があるとされている。<sup>9)</sup>

放射組織の構成割合と割裂強度および縦圧縮強度との間にはそれぞれ負の相関関係がある。<sup>5)</sup>

道管の直径の増加とともに木材の比重が増加する (*Shorea* spp.)。<sup>10)</sup>

比重が高くなると、繊維の比率が高くなり、道管の比率が低くなる (ブナ)<sup>11)</sup>。一方で道管の比率の増加および繊維の比率の減少とともに比重が増加する例も知られている (*Shorea* spp.)。<sup>9)</sup>繊維の比率が高い部分では比重が低く、道管の比率の高い部分で比重は高く、そのまま比率と比重とは結びつけられない (レッドラワン)<sup>12)</sup> 例も知られている。繊維が5~8%増加すると比重は  $70 \text{ kg m}^{-3}$  増加する。<sup>13)</sup>環孔材においては、年輪幅が狭くなると、孔圏部の道管の占める比率が高くなり、空隙部分が増加するため比重が減少する。<sup>14) 15)</sup>

道管の壁率は比重が増加しても変化しないが、繊維の壁率は比重の増加とともに増加する (ブナ)<sup>11)</sup>。繊維の壁面積率の増加は比重の増加と関係がある (レッドラワン)<sup>12)</sup>。仮道管の壁率は、壁厚および細胞の大きさにより推定することが出来、さらに壁率 (W) により最大含水率法による比重 (R) を  $R = 0.8 W \cdot 100$  の式により概略推定することができる。<sup>16)</sup>

### c. 寸度安定性

放射方向の収縮は、大きい放射組織を取り除くと、取り除いてない木材より大きく、また放射組織を取り出して、放射方向の収縮を測ると繊維のそれよりも小さいことなどが知られている。この収縮の違いから、放射組織が少なくとも放射方向と接線方向の収縮の違いに何らかの関連があるようである。<sup>17) 18) 19) 20) 21) 22) 23) 24)</sup>

しかし大きな放射組織をもたない木材でも接線方向に比較して放射方向の収縮は少ないことから、両者の違いとの間に完全な関係があるわけではないかもしれない。また放射組織の収縮抑制作用は細い放射<sup>18) 25) 26)</sup>

組織に接している繊維の列にだけ及ぶともいわれている<sup>26)</sup>。収縮の異方性は放射組織だけが関係しているわけではないとされている<sup>27) 28)</sup>。一方に放射組織<sup>29)</sup>、他方に繊維のついた放射切片はどちらにも曲がらなかったとする報告と横断切片では常に繊維を凹面にして曲るという報告がある<sup>20) 21) 23)</sup>。また広放射組織を取り出し<sup>17) 19)</sup>て収縮率をみると、軸方向に大きく、放射方向には小さい。

バスウツドの放射組織の木化程度が低いので、放射方向への収縮に対する抑制は少ないとされている<sup>30)</sup>。*Casuarina*の広放射組織は放射方向に1%、軸方向に7%収縮し、広放射組織なしの木材は放射方向に5%、軸方向に0.4%収縮した<sup>31)</sup>。

放射組織の比率と放射方向収縮との間の相関についての結果は相反しており、正の相関があるとするもの<sup>23) 32)</sup>と負の相関があるとするものがある<sup>33)</sup>。また接線方向の収縮と正の相関があるとするもの<sup>34) 35)</sup>と広葉樹材の放射組織の比率との間に負の相関があるとするものがある。

プラスチックと木材を組合せたモデルを作り、乾燥による割れの発生機構を明らかにした結果、放射組織に最大の引張応力が生じ、この部分から割れることが認められた<sup>36)</sup>。

放射組織と他の組織とは、繊維の方向が直角に交っているため、乾燥のさいに内部応力を発生し、その部分から割れ易い<sup>37)</sup>。

#### h. 感 触 ・ 刺 激

広葉樹材の材面の官能あらさは、主として最大道管径によって決定され、副次的に広放射組織、交錯木理の存在によって影響を受ける<sup>38)</sup>。

#### i. 浸 透 性

水の横浸透量は、アカマツの辺材ではスギ、ヒノキのそれよりも著しく大きく、これは分野壁孔が窓状であるからで、横浸透は主として放射組織によって行なわれる<sup>39)</sup>。浸透の主導要素は針葉樹では仮道管、広葉樹では道管であり、樹脂道もこれに加わるが、存在比率が低いので特に重要ではない<sup>40)</sup>。放射柔細胞と放射仮道管の浸透性の差異については多くの説がある<sup>39) 40) 41) 42) 43)</sup>。水平樹脂道の存在はとくに影響はない<sup>40)</sup>。細胞間隙にも浸透が行なわれる<sup>40) 42) 43)</sup>。

道管直径と水の透過との間には明らかな関係はない。環孔材は散孔材より透過性がよい<sup>44)</sup>。

チロースが存在すると浸透を妨害する<sup>40)</sup>。チロースの量と透過性の間には、異樹種間の場合には明白な関係はないが、同一樹種内ではチロースの多い心材の透過量の方が少ない<sup>44)</sup>。

柔細胞相互の縦浸透はかなり困難である<sup>40)</sup>。

繊維への水の縦浸透は各要素中、最も遅れる<sup>40)</sup>。

アカマツでは樹脂道は水の浸透の最初の通路となる<sup>45)</sup>。水の透過性はアカマツではスギの数十倍になるが、これは前者に樹脂道があるからである<sup>45)</sup>。

放射組織の浸透の難易は浸透性の支配的な要因の一つであり、広放射組織は必ずしも支配的な要因ではない<sup>40)</sup>。アカマツの放射組織の浸透性は大きく、広葉樹材では、それが多列であっても浸透に寄与しない<sup>47)</sup>。

減圧吸収法で液体の浸透性は辺材では、ツガ、アカマツ、ラディアータマツがスギ、ヒノキ、ベイヒより大きい、心材ではスギがツガやアカマツより大きい。

#### j. 耐摩耗性

放射組織の量と摩耗抵抗（摩耗による消耗仕事量）は、針葉樹では無相関に近いが、広葉樹ではその量が多いほど摩耗抵抗を増加させる傾向がある。<sup>48)</sup> 摩耗抵抗の年輪内変化に最も影響を与える因子は、針葉樹では樹種により比重、細胞壁厚、放射径などのいずれかである。広葉樹の環孔材では比重と孔圏の道管、散孔材では年輪の前半部分では樹種によりいろいろな作用因子があり、後半部分では比重、細胞壁厚などが特性因子である。<sup>48)</sup>

国産広葉樹材では  $1 - V$  ( $V$ : 道管要素率) は摩耗抵抗（摩耗による消費仕事量）と関係がある。<sup>48)</sup>

#### l. 乾燥特性

チロースの多い樹種は水蒸気の拡散係数が小さく、乾燥に長時間を要し、細胞の落込みが発生し易く、落込みの発生し易い樹種の多くは、チロースが道管部に認められるので、両者の間に何らかの関係があるとされている。<sup>49)</sup> 一番落込みの発生し易い細胞は、細胞壁の薄い放射組織のそれである。<sup>49)</sup> 道管のように通導性のよい細胞は単独で落込むことは出来ない。<sup>50)</sup>

#### r. 耐候性

暴露された合板では放射組織に割れが生じ易い。<sup>51) 52) 53)</sup>

表板単板の表面にある道管は暴露の初期には原形を保つが、後に道管の周辺が破壊され、さらに道管部から内部にむかって割れを生ずる。<sup>54)</sup>

表面割れの度合と道管および放射組織の幅または分布状態との関係は検討した9樹種間ではとくに有意な相関関係は乏しい。<sup>55)</sup>

合板の針葉樹表板の表面割れは、表面に開口した仮道管部より発生し内部進行する。<sup>56)</sup>

レジンシートオーバーレイ処理した材面の表面割れは、樹脂の充填されていない道管から生じ易い。<sup>57)</sup>

外装用合板の塗膜割れには材表面に開口している道管が大きく影響する。即ち表面に開口している道管が少なくかつ小さいカバの場合、道管が多くかつ大きいカプールより塗膜割れが未塗装合板の表面割れより少ない。<sup>58)</sup>

#### t. 耐腐朽虫害性

道管の直径がある程度以上でないとヒラタキクイムシの害を受け難い。<sup>59)</sup> さらに道管の短径が  $180\mu\text{m}$  以上で、貯蔵澱粉が多いと含水率7%位から繊維飽和点までの間でヒラタキクイムシの害を受けるとされている。<sup>60)</sup> またオーストラリア産材について道管の平均直径が  $90\mu\text{m}$  付近が限界になって *Lyctus* 類の害を受けるとしている。<sup>61) 62)</sup>

#### u. 塗装性

木材塗装の塗膜の硬化応力は、道管断面積と直線関係にある。<sup>63)</sup> 道管の分布数と暴露初期に発生する塗膜割れの数の間には正の相関関係 ( $r = 0.662$ ) がある。<sup>64)</sup>

文 献

- 1) 宇野昌一：日林誌， 17, 803 (1935)
- 2) " : " , 18, 195 (1936)
- 3) 鈴木正治：木材工業Ⅱ， 25, 451 (1970)
- 4) 佐伯浩：木材誌， 9, 231 (1963)
- 5) A. Vgrenovic : *Holz als R. u. W.* 12, 53 (1954)
- 6) 堀岡邦典：林試研報 68, 15 (1954)
- 7) 鈴木正治： " 212 (1968)
- 8) M. Ahlborn : The strength of the mechanical tissue of German hardwoods, and the effect of length of sclerenchyma fibers on tensile strength. Thesis Technische Hochschule, Brounschweig (1957)
- 9) 渡辺誠，陳陸折：東大演報告 30, 1 (1942)
- 10) Mint Aung : *The Empire Forestry Review* 41, 48 (1962)
- 11) 石田茂雄，堀川洋，三谷邦彦：北大演習林報 23, 1, 31 (1963)
- 12) 須川豊伸：木材工業 26, 114 (1971)
- 13) H. Schulz : *Holz als R. u. W.* 15, 113 (1957)
- 14) 大沢正之，宮島寛，東山一男：北大演習林報 17, 793 (1955)
- 15) 北村義重：北海道林試報告 14, 1 (1943)
- 16) 佐伯浩：木材誌 8, 19 (1962)
- 17) S. H. Clarke : *Forestry* 27, 16 (1930)
- 18) W. L. Greenhill : *Trans. Amer. Soc. Mech. Engrs.* 66, 152 (1944)
- 19) F. W. Lindsay, L. Chalk : *Forestry* 27, 16 (1954)
- 20) D. C. McIntosh : *J. For. Prod. Res. Soc.* 4, 39 (1954)
- 21) " : *For. Prod. J.* 5, 67 (1955)
- 22) C. Morshauser : *J. For. Prod. Res. Soc.* 4, 280 (1954)
- 23) A. P. Schniewind : *F. P. J.* 9, 350 (1959)
- 24) S. Wijesinghe : *Forestry* 32, 31 (1959)
- 25) D. C. Mc Intosh : *F. P. J.* 7, 114 (1957)
- 26) 中戸莞二：木材誌 4, 205 (1958)
- 27) 中戸莞二：木材誌 4, 183 (1958 d)
- 28) G. J. Ritter, R. L. Mitchell : *Paper Trade J.* 108, TS 59 (1939)
- 29) " : *Paper Ind.* 33, 1189 (1952)

- 30) J. Kisser, M. Sturn : *Int. Holz Markt* 15, 28 (1949)
- 31) K. E. Kelsey : C. R. I. R. O. — Aust. Div. For. Pod. Sub-Proj. T. P. 8 — 3 Progr. Rep. 1 (1957)
- 32) D. C. McIntosh : *F. P. J.* 5, 355 (1955)
- 33) H. H. Bosshard : *Holz als R. u. W.* 14, 285 (1956)
- 34) 梶田茂, 中戸莞二, 並木保次 : 日林誌 35, 51 (1953)
- 35) 中戸莞二 : 木材誌 4, 187 (1958)
- 36) A. P. Schniewind : *F. P. J.* 13 11, 475 (1963)
- 37) 井阪三郎 : 材料 12 121 19~22 (1963)
- 38) 佐道健, 竹内正宏, 中戸莞二 : 京大演林報 49, 138 (1977)
- 39) 林昭三, 貴島恒夫 : 木材研究 36, 61 (1965)
- 40) 貴島恒夫, 林昭三 : " 24, 33 (1960)
- 41) A. Buro, E. A. Buro : *Holzforchung* 13, 71~77 (1959)
- 42) H. D. Erickson, J. J. Balatnetz : *F. P. J.* 14 199 (1964)
- 43) A. B. Wardrop, G. W. Davies : *Holzforchung* 15, 129 (1961)
- 44) 林昭三, 西本孝一 : 木材研究 35, 33 (1965)
- 45) 林昭三, 貴島恒夫 : " 35, 25 (1965)
- 46) 林昭三, 西本孝一, 貴島恒夫 : " 38, 47 (1966)
- 47) " " " : " 41, 63 (1967)
- 48) 鈴木正治 : 林試研報 298, 51 (1977)
- 49) 寺沢真, 林和男 : 木材工業 30, 12, 2 (1975)
- 50) " " : " 30, 10, 11 (1975)
- 51) 後藤輝男, 篠原悌三, 作野友康 : 島根農大研報 2, 92 (1968)
- 52) 作野友康, 佐伯浩, 後藤輝男 : 木材誌 21, 501 (1975)
- 53) J. Sell, u. U. Lenkens : *Holz als R. u. W.* 29, 23 (1971)
- 54) 柳下正, 嵯峨途利, 岡西高男 : 林試研報 No 138, 147 (1962)
- 55) 柳下正, 岡西高男 : 林試研報 167, 29 (1964)
- 56) " " : " 198, 225 (1967)
- 57) 松本庸夫 : 林試研報 143, 137 (1962)
- 58) 中村史門, 佐藤光秋 : 林産試月報 10, 15 (1973)
- 59) 日塔正俊 : 木材工業 17, 5 (1962)
- 60) 野淵輝 : " 31, 94 (1976)
- 61) R. K. Bamber, R. B. Erskine : Research Note No 15, Div. of Forest Management,

Forestry Commission of N. S. W. (1965)

- 62) J. E. Cummins, H. B. Wilson : *Jour. C. S. I. R.* **67**, 1 (1934)  
63) 今村浩人 : 林試研報 296, 157 (1977)  
64) 川村二郎 : 第21回木材学会大会研究要旨 83 (1971)

## 7. 細胞壁の構造と材料としての性質

### a. 外観・寸法

波長 400 ~ 700nm の光に対して、細胞間層も  $S_2$  も同じタイプの吸収を示すとする報告がある。<sup>1)</sup>

### b. 強度・比強度

針葉樹材の縦引張の比強度並びに仮道管壁の縦引張強度は、 $S_2$  が厚くフィブリル傾角の小さい晩材において大きい値を示し、比強度の最大の位置が年輪内の炭水化物含量の最大位置と一致するとされ、<sup>2) 3) 4)</sup> また、種類のフィブリル傾角をもつ早材試片について、フィブリル傾角の増大とともに仮道管壁の縦引張強度が減少するデータが示されている。<sup>6)</sup> フィブリル傾角が大きいと縦引張破壊ひずみも大きい。<sup>3)</sup>

最近、仮道管壁の構造を折り込んで、壁の力学的モデルを設定し、個々の仮道管あるいは材の引張における力学的挙動を理論的に追求し、<sup>7) ~ 12)</sup> 壁構造と弾性との関係、壁層各部の応力レベルと破壊の開始点などが検討されている。<sup>7)</sup> Mark によれば縦引張における最初の破壊は  $S_1$  に生ずる。

### d. 弾性・粘弾性

縦引張比強度の場合と同様に針葉樹材の縦引張ヤング率においても  $S_2$  が厚くフィブリル傾角の小さい晩材の値が大きく、<sup>2) 3) 4)</sup> その最大の位置が炭水化物含有量最大の位置と一致する。<sup>5)</sup> フィブリル傾角あるいはミセル傾角が増大すると、仮道管壁の繊維方向のヤング率、動的比ヤング率は減少し、<sup>3) 6) ~ 10) 13) 14)</sup> ポアソン比、<sup>15)</sup> 繊維方向を含む面内せん断弾性係数は増大する。<sup>14)</sup> ヤング率についても種類の細胞壁モデルを用いて検討がなされており、<sup>6) ~ 14)</sup> Cowdrey と Preston は縦引張においてフィブリル傾角  $\theta$  とコンプライアンス  $J$  との関係式として、

$$J = a_0 + a_1 \sin^2 \theta + a_2 \sin^4 \theta$$

<sup>10)</sup> を示している。

粘弾性に関するものとして  $S_2$  のフィブリル傾角  $\theta$  と Total creep  $Y$  (micron per in.) との間に正の直線関係 ( $Y = a + b\theta$ ) が認められるとの報告がある。<sup>16)</sup>

### e. 寸度安定性

細胞壁モデルを設定して理論的に検討した結果と、<sup>17) ~ 20)</sup> 実測値の照合から、<sup>21) 22) 23)</sup> 接線方向収縮はフィブリル傾角  $15^\circ$  まではあまり変化がなく、 $15^\circ$  以上では減少し、繊維方向収縮は  $20 \sim 30^\circ$  の間で最小 (負の収縮を示すことがある)、 $30^\circ$  以上で急増する。しかし、未成熟材部で  $S_2$  のフィブリル傾角が  $40 \sim 45^\circ$  であっても正常材の繊維方向収縮率は 1% に満たない (*Pinus radiata*, <sup>21)</sup> *P. Taeda*)。放射方向の収縮は接線方<sup>24)</sup>

向のそれに比べて小さいが、この原因については諸説があり、関連する壁構造因子として、放射壁のフィブリル傾角の大きいこと（壁孔が多くその周辺でのフィブリル走向の乱れなどによる）、細胞間層の含まれる割合、<sup>25)</sup> リグニン含有量、<sup>26) 27) 28)</sup> 非晶域の構造などがあげられる。<sup>26)</sup>

弾性と寸度安定性とフィブリル傾角（ミセル傾角）との関連は明らかであり、これによる木材の quality assessment が提案されている。<sup>29)</sup>

#### f. 熱的性質・燃焼性

Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) の繊維方向および横方向の熱伝導率をそれぞれ  $\lambda_{||}$ ,  $\lambda_{\perp}$ , フィブリル傾角を  $\theta$  とすると  $\lambda_{||}/\lambda_{\perp}$  は  $\sin \theta$  の増大とともにほぼ直線的に  $\theta$  の  $2^{\circ}$  から  $34^{\circ}$  の変化に対し、<sup>30)</sup> 3.80 から 2.28 に減少する。また、細胞壁実質の熱伝導率についても  $\lambda_{||} > \lambda_{\perp}$  である。<sup>31) 32)</sup>

#### g. 音響的性質

楽器用材の粘弾性の研究から Sitka spruce (*Picea sitchensis*) と他の針葉樹との違いが、ミセル傾角の小さいこと、gross structure が斉一であることによると推論されている。<sup>33)</sup>

#### i. 浸透性

針葉樹材の繊維方向の浸透において仮道管内こうの抵抗は比較的少なく（20%ぐらい）<sup>32)</sup>、浸透性は大部分壁孔対の構造に支配される。壁孔対の閉そく aspiration の影響は著しく、壁孔開放率と水の浸透速度、<sup>34)</sup> 早材の未閉そく壁孔対の数と気体透過性との間に相関が認められる。<sup>35)</sup> 閉そくは心材化と関係するが、構造上は壁孔膜の開口の大きさ、膜の rigidity と関連するとされ、<sup>32)</sup> 晩材の壁孔膜は rigid で早材にくらべ閉そくが少ない。また、明確なトールスをもたない *Thuja occidentalis* は閉そくを生ぜず、<sup>39)</sup> 水の浸透に変化を与えないといわれる。閉そくのほかに、抽出物、リグニン様物質等の沈着によって壁孔膜の浸透性が阻害される。<sup>40) 41)</sup>

壁孔閉鎖を生じていない場合、浸透に影響するのは壁孔膜の開口の大きさで、その半径  $R \mu\text{m}$  と繊維方向の空気の透過性  $K_L$  ( $\text{cm}^3 / \text{cm} \cdot \text{atm} \cdot \text{sec}$ ) との関係式として、

$$K_L = 200 R^4$$

が示されている。<sup>32) 42)</sup>

壁孔膜の開口の大きさは種々の方法で測定あるいは推定されているが、針葉樹材の有縁壁孔対の膜について、effective radius は  $0.01 \sim 4 \mu\text{m}$  とされ、<sup>32)</sup> 広葉樹材のそれには明確な開口はないが、他の部分の一次壁よりも diffuse で木化の程度が少ないとされ、<sup>41)</sup> また、単壁孔対の膜には、plasmodesmata の跡に  $0.05 \sim 0.3 \mu\text{m}$  の開口が認められる。<sup>32)</sup>

細胞壁中の浸透を調べる目的で金属塩類水溶液を浸透させ金属粒子を沈着させたとき、細胞内こうに近い  $S_0$  とその付近では沈着粒子が少なく、細胞間層まで増加、<sup>43) 44) 45)</sup>  $S_1$  と一次壁および細胞間層で減少、<sup>45)</sup>  $S_1$  がやや少ない程度で二次壁内では変化が少なく、一次壁と細胞間層で最も多い、<sup>46)</sup> などの結果が得られている。



## k. 電気・放射線の伝導性

マイクロフィブリルの構造と配列、壁成分の割合と分布などを考慮した細胞壁モデルにより、針葉樹仮道管壁および放射柔細胞壁の誘電率が計算されている。<sup>47) 48)</sup>これによれば早材仮道管壁のフィブリル方向の誘電率は5.33、直角方向のそれは4.62～4.80で、セルロースやマンナンの多い晩材仮道管壁はこれよりやや大きい値となる。<sup>47)</sup>また、リグニンの含有量が増加すると誘電率は減少する。<sup>49)</sup>

### l. 乾燥特性

結合水の壁中での拡散は繊維方向>放射方向>接線方向である。<sup>50) 51) 52)</sup>これは収着、脱着のどちらでも認められ、繊維方向/横方向の比は2～3、放射方向は接線方向より17～25%大きい。<sup>52)</sup>壁孔膜を通る拡散は細胞内こう空気中の拡散の1/40であるが、<sup>53)</sup>低含水率域では壁孔の影響が大となり、<sup>54)</sup>含水率5%で横方向の拡散への壁孔の寄与が10%と計算されている。<sup>32)</sup>

落込みの発生は細胞壁が柔軟（低比重、薄壁あるいは木化の程度が低い）で、壁孔膜の開口が小さい程発生し易い（開口径 $0.041\mu\text{m}$ 以下、<sup>32)</sup> $0.1\mu\text{m}$ 以下と計算されている）。prefreezingにより壁孔膜および細胞壁に亀裂を生ぜしめると落込みが軽減される。<sup>55)</sup>

### q. 接着性

細胞壁各層は接着に際して一様な性質を示すものではなく、 $S_2$ が最も強い接着を行うと述べられている。<sup>57)</sup>

### s. 耐薬品性

リグニンおよび $\alpha$ セルロース含有率が高く、ペントザン含有率の低い材が最良の耐酸抵抗性を示すとされているが、<sup>58)</sup>化学的組成とともに細胞壁のcompactnessが影響することが示されている。<sup>59)</sup>壁層中では $S_3$ が酸およびアルカリに対して抵抗性があるとされている。<sup>60)</sup>

### t. 耐腐朽・虫害性

腐朽菌やバクテリアの侵害に対し、次に述べるように細胞壁各層は幾分か異なった抵抗性を示す。<sup>61) 62)</sup>

軟腐朽菌に対しては針葉樹仮道管最内層は抵抗性があり、菌は $S_2$ に入りcavityを作り、腐朽が進むと細胞間層と最内層が残される。広葉樹繊維では最内層から蝕刻される。褐色腐朽菌に対して $S_2$ が最初に侵され、 $S_3$ は抵抗性があるとされ、 $S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_1$ 、あるいは $S_2 \rightarrow S_1 \rightarrow S_3$ の順に進む。白色腐朽菌による侵害は最内層から進み、最初にリグニンが除かれるが最後にセルロースも分解され大きなcavityができる。同時腐朽菌による蝕刻は内こうから進み、壁は次第に薄くなる。白色腐朽・同時腐朽のどちらも細胞間層では腐朽の進行がおそい。

バクテリアは一般にはじめ放射組織に侵入繁殖し、徐々に付近の細胞を侵害するが、そのパターンは菌の種類によって様々である。針葉樹仮道管では有縁壁孔のトールスや壁孔縁がしばしば侵される。マツの辺材では未木化壁をもつ放射柔細胞やエピセリウム細胞が攻撃され、放射組織全体が穴になることがある。木化壁の劣化のパターンにはセルロースが分解されて粒状化する場合、内層から蝕刻される場合などがあるが複合中間層は抵抗性があり長くもとの状態を保つ。

結局, S<sub>2</sub>は腐朽菌の侵害を最も受け易い層であり, S<sub>3</sub>およびS<sub>1</sub>はある型の腐朽菌に対して多少とも抵抗性を示すことがある。リグニンの多い細胞間層ないし複合細胞間層は最も抵抗性があり, リグニン分解酵素をもつ菌の侵害も他層にくらべて遅い。一方, 未木化の壁層はセルロース分解酵素をもつ菌により容易に分解される。

#### 文 献

- 1) E. A. Mc Ginnes, Jr., and P. K. Melcarek : *Wood Science*, **9**, 46 (1976)
- 2) G. Ifju, R. W. Wellwood and J. W. Wilson : *Pulp Paper Mag. Canada*, **66**, 475 (1965)
- 3) 鈴木正治 : 林試研報, No. 212, 89 (1968)
- 4) H. Saiki : Memoirs coll. Agr., Kyoto Univ., No. 96, 47 (1970)
- 5) R. W. Wellwood, G. Ifju and J. W. Wilson : Cellular Ultrastructure of Woody Plants, W. A. Côté, ed., Syracuse Univ. Press, N. Y., P. 539 (1965)
- 6) I. D. Cave : *Wood Sci. Tech.*, **3**, 40 (1969)
- 7) R. E. Mark : Cell Wall Mechanics of Tracheids, Yale Univ. Press, New Haven and London (1967)
- 8) A. P. Schniewind and J. D. Barrett : *Wood and Fiber*, **1**, 205 (1969)
- 9) R. E. Mark, and P. P. Gillis : *ibid.*, **2**, 79 (1970)
- 10) D. R. Cowdery, and R. D. Preston : *Proc. Roy. Soc. B* **166**, 245 (1966)
- 11) R. C. Tang, and N. N. Hsu : *Wood and Fiber*, **5**, 139 (1973)
- 12) 大釜敏正, 増田稔, 山田正 : 材料, **26**, 433 (1977)
- 13) R. E. Mark and P. P. Gillis : *TAPPI*, **56**, 164 (1973)
- 14) 祖父江信夫, 浅野猪久夫 : 木材誌, **22**, 211 (1976)
- 15) 太田貞明 : 九大農演習林報告, No. 45, 1 (1972)
- 16) M. L. M. El-osta, and R. W. Wellwood : *Wood and Fiber*, **4**, 26 (1972)
- 17) N. F. Barber, and B. A. Meylan : *Holzforschung*, **18**, 146 (1964)
- 18) ——— : *ibid.*, **22**, 97 (1968)
- 19) J. D. Barrett *et al.* : *Wood Science*, **4**, 178 (1972)
- 20) I. D. Cave : *Wood Sci. Tech.*, **6**, 284 (1972)
- 21) J. M. Harris, and B. A. Meylan : *Holzforschung*, **19**, 144 (1965)
- 22) B. A. Meylan : *For. Prod. J.*, **18**, 75 (1968)
- 23) ——— : *Wood Sci. Tech.*, **6**, 293 (1972)
- 24) T. E. Wooten, A. C. Barefoot, and D. D. Nicholas : *Holzfor fchung*, **21**, 168 (1967)
- 25) A. Frey-Wyssling : *Holz als Roh. u. Werk.*, **3**, 349 (1940)

- 26) 中戸莞二：京府大学術報告，農，12，98（1960）
- 27) ————：木材誌，9，147（1963）
- 28) H. H. Bosshard：FAO fifth conf. on Wood Technology，U. S. For. Prod. Lab.，  
Madison, Wiss.（1963）
- 29) B. A. Meylan, and M. C. Probine：*For. Prod. J.*，19(4)，30（1969）
- 30) F. F. Wangaad：*Trans. Am. Soc. Mech. Eng.*，65(2)，127（1943）
- 31) T. Maku：*Wood Research*，No 13，1（1954）
- 32) J. F. Siau：Flow in Wood，Syracuse Univ. Press, N. Y.（1971）
- 33) T. Aoki, and T. Yamada：*Wood Research*，No 54，31（1973）
- 34) 西本孝一・林昭三：木材研究，No 36，13（1965）
- 35) R. W. Meyer：*Wood and Fiber*，2，328（1971）
- 36) E. W. J. Phillipse：*Forestry*，2，109（1933）
- 37) A. B. Wardrop, and G. W. Davies：*Holzforschung*，15，129（1961）
- 38) G. Bramhall：M. S. Thesis of Univ. British Columbia（1967）〔32〕による]
- 39) W. Liese, and J. Bauch：*Wood Sci. Tech.*，1，1（1967）
- 40) W. A. Côté, and R. L. Krahmer：*TAPPI*，45，119（1962）
- 41) J. Kininmonth：*Holzforschung*，26，32（1972）
- 42) G. L. Comstock：*For. Prod. J.*，17(10)，41（1967）
- 43) P. Rudman：*Holzforschung*，20，57（1966）
- 44) J. A. Petty, and R. D. Preston：*ibid*，22，174（1968）
- 45) H. Saiki：*Mokuzai Gakkaishi*，19，367（1973）
- 46) 矢田茂樹，椋代純輔：京府大農演習林報告，No 19，15（1974）
- 47) 田中利秋，則元京，山田正：材料，24，867（1975）
- 48) M. Norimoto：*Wood Research* No 59/60，106（1976）
- 49) A. Venkateswaran：*Wood and Fiber*，6，46（1974）
- 50) 横田徳郎：木材誌，5，143（1959）
- 51) ————：*ibid*，8，192（1960）
- 52) A. J. Stamm：*For. Prod. J.*，10，524（1960）
- 53) H. Tarkow, and A. J. Stamm：*ibid*，10，247（1960）
- 54) E. T. Choong：*ibid*，15(1)，21（1965）
- 55) 寺沢真，林和男：木材工業，27，526（1972）
- 56) 林和男，寺沢真：木材誌，20，306（1974）
- 57) G. Kitazawa：New York State College of Forestry at Syracuse Univ.，Tech. Pub.

- 58) C. H. Gobie : *Wood*, 19, 322 (1954)  
59) F. F. Wangaard : *For. Prod. J.*, 16(2), 53 (1966)  
60) W. Liese : *J. Polymer Sci. Polymer symposia*, No. 2, 213 (1963)  
61) W. W. Wilcox : *Bot. Rev.*, 36, 1 (1970)  
62) W. Liese : *Ann. Rev. Phytopath.*, 8, 231 (1970)

## 8. 結晶化度と材料としての性質

結晶化度の測定法にはX線法<sup>1)~9)</sup>、酸加水分解法<sup>10)~12)</sup>、その他<sup>13)~19)</sup>がある。理論的にはX線法がすぐれているが、測定値は一致せず、相対的で、材料としての性質との関係も定性的である。

### b. 強度・比強度

縦ヤング係数と結晶化度とが正相関なので強度と正相関とが推定されるが、メラランチの縦引張強度との相関は見出されない<sup>20)</sup>。

### c. 衝撃強度

メラランチの衝撃曲げ吸収エネルギーとの相関は見出されない<sup>20)</sup>。

### d. 弾性・粘弾性

天然セルロースの縦ヤング係数と結晶内の分子の立体配置をモデル的に検討し、二次結合の効果を推定したり<sup>21)</sup>、結晶化度と弾性係数とを仮定して木材の縦ヤング係数を計算し、実測値と比較したり<sup>22, 23)</sup>、されている。また、birch, maple の繊維方向に負荷したとき、歪と結晶化度は正相関で、長時間負荷後も結晶化度は変わらないが、除荷後は負荷前より大きい<sup>24)</sup>。木材の縦方向に負荷したときの結晶歪は表面歪の<sup>25, 26)</sup>90~97%で、クリープにより増加し、応力緩和で減少する。

### e. 寸度安定性

重水素置換で求めたセルロースの非晶化度は平衡吸湿量と正の一次関係にあり<sup>27)</sup>、また、微結晶の横断面<sup>28)</sup>の形と水分吸着の型を仮定すると、針葉樹材の収縮・膨潤量を説明することができる。

### f. 熱的性質・燃焼性

アカマツを110°Cで熱処理すると、結晶化度は増大する。180°C以上では熱分解が起り、減少する<sup>29, 30)</sup>。熱処理による結晶化度の変化は処理温度と処理時間の関数となる。

### g. 音響的性質

微結晶の配向性が良いと、力学的減衰率が小さく<sup>31)</sup>、また配向性と結晶の長さとの正相関が認められるので、結晶化度が高いほど響板としての性質はすぐれているといえよう<sup>32)</sup>。

### p. 曲げ木適性

種々の膨潤剤は曲げ木を容易にするが、膨潤剤の種類、その除去法で、結晶内の分子配置が変化した

り、結晶化度が低下する。一方、テードマツをアンモニアガス処理すると、結晶の断面寸法は不変で、結晶化度が増大した。<sup>33)</sup>

## 文 献

- 1) P. H. Hermans, A. Weidinger : *J. of Applied Physics*, **19**, 491 (1948)
- 2) L. Segal, J. J. Greely, A. E. Martin Jr., C. M. Conrad : *Textile Res. J.*, **29**, 786 (1959)
- 3) 渡辺貞良, 赤堀忠義, 松原弘明 : 北大工研報, 43号, 111 (1967)
- 4) 岡野健 : 木材誌, **16**, 257 (1970)
- 5) P. H. Hermans, A. Weidinger : *Textile Res. J.*, **31**, 558 (1961)
- 6) J. H. Wakelin, H. S. Virgin, E. Crystal : *J. Appl. Phys.*, **30**, 1654 (1959)
- 7) N. B. Pati, T. Radhakrishnan : *ibid*, **36**, 1043 (1966)
- 8) W. Ruland : *Acta Cryst.*, **14**, 1180 (1961)
- 9) A. Viswanathan, V. Venkatakrishnan : *J. Appl. Polymer Sci.*, **13**, 571 (1969)
- 10) R. F. Nickerson : *Ind. Eng. Chem.*, **33**, 423 (1941)
- 11) H. J. Philips *et al.* : *Textile Res. J.*, **17**, 585 (1947)
- 12) L. Segal *et al.* : *J. Phys. Colloid Chem.*, **55**, 325 (1951)
- 13) H. Mark *et al.* : *Ind. Eng. Chem.*, **35**, 1083 (1943)
- 14) A. G. Assaf *et al.* : *J. Am. Chem. Soc.*, **66**, 59 (1944)
- 15) P. H. Hermans : *Textile Res. J.*, **19**, 595 (1949)
- 16) E. Steuer *et al.* : *Kolloid Z.*, **114**, 78 (1949)
- 17) R. E. Glegg : *Textile Res. J.*, **21**, 143 (1951)
- 18) R. F. Nickerson : *ibid*, **21**, 195 (1951)
- 19) J. Mann : *Trans Faraday Soc.*, **52**, 492 (1956)
- 20) 太田正光, 岡野健 : 木材誌, **23**, 1 (1977)
- 21) M. A. Jaswon, P. P. Gillis, R. E. Mark : *Proc. Roy. Soc.*, **A 306**, 389 (1968)
- 22) R. E. Mark : *Cell Wall Mechanics of Tracheids, anies of Tracheids*, Yale Univ. Press, (1965)
- 23) R. E. Mark, W. A. Côté : *Cellular Ultrastructure of Woody Plants*, Syracuse Univ. Press (1965)
- 24) W. K. Murphey : *F. P. J.*, **13**, 151 (1963)
- 25) 祖父江信夫, 平井信之, 浅野猪久夫 : 材料, **20**, 1188 (1971)
- 26) 森泉周, 岡野健 : 木材誌, **24**, 1 (1978)
- 27) R. Jeffries : *J. Appl. Polymer Sci.*, **8**, 1213 (1964)

- 28) A. J. Stamm, W. E. Smith : *Wood Sci. & Tech.*, **3**, 301 (1969)
- 29) 谷口謙, 中戸莞二 : 京大農演報, **38**, 192 (1966)
- 30) 平井信之, 祖父江信夫, 浅野猪久夫 : 木材誌, **18**, 535 (1972)
- 31) 深田栄一 : 小林理研報, **1**, 180 (1951)
- 32) M. Lotfy M. El-osta, R. M. Kellogg, R. O. Foschi : *Wood and Fiber.*, **6**, 36 (1974)
- 33) R. A. Parham : *ibid.*, **2**, 311 (1971)

## 9. 比重と材料としての性質

比重と各種強度および寸法安定性との関連性については種々の実験材料について求められているので、これらの性質については、材料を(1)材部、(2)一樹種、(3)多樹種に区分して、それぞれにおける関連性が明らかになるよう努めた。

### b. 強度・比強度

#### (1)材部べつに関連性

成熟材と未成熟材に区分した各種強度と比重との間にはいずれも正の相関があるが、両者の回帰直線には差異がないとするもの (Loblolly pine, 相関係数 0.93<sup>1)</sup>, カラマツ, 欠点を含んだ試料<sup>2)</sup>) と差異があるとするもの (スギ<sup>3) 4)</sup>, ヒノキ<sup>5) 6)</sup>) がある。後者の比強度は成熟材が未成熟材より大きい<sup>4)</sup>。

樹冠材と枝下材に区分した圧縮強さと比重との間にはいずれも正の相関があるが、比重の小さい範囲で樹冠材の強さが枝下材のそれよりやや大きい傾向がある (Fichte, Kiefer)<sup>8)</sup>。

年輪幅 4 mm で区分した圧縮強さと比重との間にはいずれも正の相関があるが、両者で直線の勾配が異なり、比重が大きくなるほど 4 mm 以下の材の強さが 4 mm 以上のものより大きくなる (智頭スギ)<sup>9)</sup>。

辺材と心材に区分した各種強度の両者の差異は比重の差異に帰納できる (智頭スギ, 年輪幅 4 mm 以下, Oak)<sup>9) 10)</sup>。

#### (2)一樹種における関連性

一樹種における各種強度と比重との間にはいずれも正の相関があるが、相関係数、実験式は各強度値、樹種、品種、生育条件により異なる<sup>11-23), 31), 34), 38), 39)</sup>。縦引張強さと比重の相関係数は 0.33 ~ 0.82, 縦圧縮強さでは 0.68 ~ 0.97, 剪断強さでは 0.56 ~ 0.82, 曲げ強さでは 0.30 ~ 0.88, 割裂抵抗では 0.60 ~ 0.70, 木口面硬さでは 0.34 ~ 0.93 などが得られている (アカマツ, スギ, ヒノキ, プナ, Southern Pine 5 種)<sup>11-13), 23), 37), 39)</sup>。

これら各強度値の実験式は直線で示されるものと曲線によるものがあるが、曲線でも直線に近いものが多い<sup>15)</sup>。

#### (3)多樹種における関連性

多樹種における各種強度と比重との間にはいずれも正の相関があるが、相関係数、実験式は各強度、

対象樹種やその数などにより異なる。<sup>15), 20), 21), 24) ~ 30), 33), 35)</sup> 実験式は直線で示されるものと曲線で示されるものがある。<sup>15)</sup>

### c. 衝撃強さ

#### (1)一樹種における関連性

一樹種における衝撃曲げ吸収エネルギーと比重との相関係数は $0.88 \sim 0.02$ <sup>41)</sup>と広範囲で、樹種により有意なもの<sup>23) 40) 41)</sup>と有意でないものがある(日本産針葉樹11種、同広葉樹27種、シベリア産針葉樹5種、同広葉樹4種、南洋産23種)。

#### (2)多樹種における関連性

多樹種における衝撃曲げ吸収エネルギーと比重との間には正の相関があるが、相関係数、実験式は対象樹種により異なる。<sup>15), 21), 24), 26), 40 ~ 43)</sup> 実験式はすべて曲線で示されている。<sup>15), 24), 26), 40 ~ 43)</sup>

### d. 弾性・粘弾性

#### (1)材部べつの関連性

成熟材、未成熟材に区分した各種弾性係数と比重の間にはいずれも正の相関があるが、実験式は両者で差異があるとするもの(スギ、ヒノキ)<sup>3-7)</sup>と差異がないとするもの(カラマツの欠点を含んだ試料)<sup>2)</sup>がある。比弾性係数(縦圧縮)は成熟材が未成熟材より大きい。

年輪幅を4 mmで区分した場合、4 mm未満の材では圧縮弾性係数と比重との間に正の相関があるが、4 mm以上の材ではこの相関は有意でない(智頭スギ)<sup>9)</sup>。

#### (2)一樹種における関連性

一樹種における各種の弾性係数と比重の間には正の相関を示すものが多く、その相関係数、実験式は樹種により異なる。<sup>11), 12), 23), 34), 44), 47)</sup> 縦圧縮弾性係数と比重の相関係数は $0.62$ (アカマツ)<sup>11) 12)</sup> 動的弾性係数では $0.91$ (ヒバ)<sup>47)</sup>、曲げ弾性係数 $0.38 \sim 0.79$ 、縦引張弾性係数 $0.36 \sim 0.65$ (アカマツ、スギ、ヒノキ、ブナ、Southern pines 5種、生材)などが得られている。これらの弾性係数の実験式は直線で示されるものと曲線で示されるものがある。<sup>15)</sup> なお、Oakの剪断弾性係数は比重との間に正の相関が認められたが、Spruceでは明らかでなく、この関連性は樹種により異なるとする報告がある。<sup>45)</sup>

#### (3)多樹種における関連性

多樹種における各種の弾性係数と比重の間には正の相関があるが、その相関係数および実験式は弾性係数の種類、対象樹種やその数により異なる。<sup>13), 21), 25), 27), 30), 46), 48), 49)</sup>

### e. 寸度安定性

#### (1)材部べつの関連性

成熟材と未成熟材に区分した容積収縮率( $\alpha_v$ )と比重(R)の比( $\alpha_v/R$ )は前者が後者より大きい(スギ)<sup>50)</sup>。

core woodとmature woodに区分した容積膨張率と比重の関係において、両者を込にした実験式からの変動は前者が後者より大きい(Southern pines 4種、相関係数: $0.61$ )<sup>65)</sup>。

心材と辺材に区分した $\alpha_v/R$ は辺材が心材より大きい(スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ)<sup>50 ~ 56)</sup>とする

報告がある一方、 $\alpha_v/R$ の辺材と心材の差異は心材の明瞭・不明瞭な樹種、樹脂の多いあるいは少ない樹種など樹種により異なるともいわれている。<sup>54)</sup>また、心材と辺材の膨張率（接線、半径、長軸の各方向）の差異は比重の差異に帰納できるとしている報告（Oak）<sup>10)</sup>と、一方、収縮率は横断面は比重に帰納できるが、長軸方向では心材のみ比重と関連し、辺材では比重に関係がなく両者で異なるとする報告もある。<sup>11)</sup>

年輪幅を区分し、 $\alpha_v/R$ の安定した範囲はトドマツ 2～5 mm、グイマツ 3～6 mm、カラマツ 1～6 mm<sup>57) 58)</sup>としている。

## (2)一樹種における関連性

接線、半径、容積の各収縮率と比重との関係にはいずれの樹種でも正の相関があるが、実験式、相関係数は、収縮率の種類、樹種、品種などにより異なる。<sup>11), 59 ~ 62)</sup>一方、長軸収縮率と比重の間には負の相関があるとするもの（アカマツ、トドマツ）<sup>11), 59)</sup>と両者の関係が明らかでないとするもの（Douglas fir）<sup>63)</sup>がある。

一樹種において、 $\alpha_v/R$ はほぼ一定の値を示すが、それからはずれるものも多い（北海道産 8 樹種）<sup>64)</sup>。

一樹種の収縮率と比重の相関係数の例として、接線方向 0.41～0.74、半径方向 0.57～0.96、異方向 -0.56～-0.72、長軸方向 -0.14～-0.54（アカマツ、Loblolly pine）<sup>11), 70)</sup>が示されている。実験式はいずれも直線である。

## (3)多樹種における関連性

多樹種における容積、接線方向、半径方向の各収縮率（膨張率）と比重の間には正の相関が認められる。<sup>24) 26) 62) 65 ~ 67) 69) 71)</sup>一方、長軸収縮率と比重との関連性は明瞭でない。<sup>69)</sup>収縮率（膨張率）との相関係数の例として、容積 0.61～0.76、接線方向 0.67、半径方向 0.63、長軸方向 0.14（日本産 71 種および南洋産 44 種、<sup>69)</sup>Australian and Pacific Island 131 種、Southern pines 4 種）<sup>68)</sup>、<sup>65)</sup>

収縮異方度と比重の間には負の相関が認められる。<sup>67) 69)</sup>

### f. 熱的性質・燃焼性

熱伝導率と比重の間には正の相関が認められるが、実験式は直線と曲線の両方が示されている。<sup>72) 73)</sup>

熱拡散率と比重の間には負の相関が認められている。<sup>74) 75)</sup>

### g. 音響的性質

音響速度と比重の間には正の相関があるとする樹種（Oak、相関係数 0.64）と両者の関連が明瞭でない樹種（Spruce、相関係数 0.13）<sup>45)</sup>がある。

対数減衰率と比重の関連性は明瞭でない。<sup>45)</sup>

### i. 浸透性

多樹種における各方向の吸水量と比重と関連性は、辺材では負の相関が認められるが、心材については明瞭でない。<sup>77)</sup>また、水その他 4 種の液体の浸透速度と比重の関連性は明瞭でなかった。<sup>76), 77)</sup><sup>78) 79)</sup>

水分拡散係数と比重の間には負の相関が認められる。<sup>75)</sup>

空気浸透性と比重の関連性は明瞭でない（Southern pines 4 種）<sup>80)</sup>。

ニトロゲンガスの浸透性と比重の間には負の相関が認められる（Loblolly pine）<sup>81)</sup>。



## j. 耐摩耗性

摩耗抵抗は比重の増加にともない増加する傾向を示すが、変動が大きい<sup>45)</sup>。また、摩耗による試料厚さの減少、ブラッシングの重量、研磨布紙による研削量などは比重の増加にともない減少する傾向を示すが、変動が大きい<sup>82~84)</sup>。さらに、摩耗係数および摩耗減衰率（振子式）はともに比重の増加にともない減少する<sup>85) 86)</sup>。

## h. 電気・放射線の伝導性

誘電率は比重の増加にともない増加する<sup>45) 87)</sup>。

圧電圧と比重との間には正の相関がある<sup>88)</sup>。

Soft X-ray を透過したフィルム濃度と比重の間には負の相関が認められ<sup>89) 90)</sup>、多樹種での両者の相関係数は $-0.992$ を示す<sup>90)</sup>。

$\beta$ 線、 $\gamma$ 線の吸収量と比重の間には正の相関が認められる<sup>91) 92)</sup>。

## l. 乾燥適性

恒率乾燥における乾燥速度と比重の間には負の相関がある<sup>93)</sup>。減率乾燥における乾燥速度係数（ $k$ ）と比重（ $r_0$ ）の間には $k = ar_0^{-1.5}$ 式が成り立つ<sup>94)</sup>。また、乾燥速度減少係数と比重の間には負の相関を示すもの（ブナ辺材、カラマツ、ヒノキ）と両者の関連性が明瞭でないもの（ミズナラ、ブナ心材）がある<sup>95)</sup>。

単板乾燥時間と比重の間には正の相関が認められる<sup>96~99)</sup>。

## m. 加工性

丸のこによる挽材、回転かんによる切削、単板切削などの動力は比重の増加にともない増大する<sup>100~103)</sup>。また、一般に、切削加工の無欠点率は増大し、表面性状は良好になる<sup>104) 105)</sup>。

## o. くぎ打ち適性

くぎ引抜き抵抗は比重の増加にともない直線的に増加する<sup>106~109)</sup>。また、木ねじの保持力は比重の3乗に比例する<sup>110)</sup>。

くぎ打込み時の割れは比重の増加にともない増加する（U.S. 広葉樹<sup>105)</sup>、カラマツ<sup>107)</sup>）。

## g. 接着性

せん断接着力は比重の増加にともない直線的に増加し（相関係数 $0.84$ <sup>111)</sup>）、一方木破率は低下する<sup>26) 111~113) 115)</sup>。ただし、比重 $0.8$ 以下では接着力は比重の増加とともに増加するが、比重が $0.8$ 以上では比重と接着力との間に相関性が認められないとする報告がある（熱帯産<sup>114)</sup>36種）。

## t. 耐腐朽・虫害性

重量減少率は比重の増加にともない減少する傾向を示すが、変動が大きい（*Shorea negrosensis*）<sup>26)</sup>。

## u. 塗装性

塗膜の割れ数は比重の増加にともない増加する<sup>26)</sup>。

文 献

- 1) R. G. Pearson, R. G. Gilmore : *F. P. J.*, 21, 1, 23 (1971)
- 2) 塩倉高義, 渡辺治人 : 東農大農集報, 16, 2, 91 (1971)
- 3) 渡辺治人ら : 木材誌, 9, 225 (1963)
- 4) 渡辺治人ら : 木材誌, 10, 125 (1964)
- 5) 太田貞明ら : 木材誌 14, 261 (1968)
- 6) 太田貞明 : 九大農演報, 45, 1 (1972)
- 7) 太田貞明ら : 九大農演集報, 22, 105 (1968)
- 8) F. Wandt : *Mitteil. aus Forstwirt. und Forstwissen.*, 3, 343 (1937)
- 9) 酒田金治, 佐伯浩 : 鳥取大農演報, 2, 47 (1961)
- 10) D. Noack : *Holz als Roh-und Werkstoff*, 21, 3, 108 (1963)
- 11) 材質育種研究班 : 林試研報, 222, 78 (1969)
- 12) 材質育種研究班 : 林試研報, 244, 87 (1972)
- 13) P. Koch : Utilization of the southern pines, U. S. Dep. Agr. For. Service, South. For. Exp. Stat. (1972)
- 14) G. Ifju : *Wood Sci.*, 2, 11 (1969)
- 15) 平井信二, 北原覚一 : 木材理学 朝倉書店 (1953)
- 16) 川口信隆, 高橋政治 : 北林産試月報, 5, 11 (1970)
- 17) 小野寺重男ら : 北林産試月報, 160, 11 (1965)
- 18) 川村恵洋 : 新潟大農林研究, 17, 73 (1965)
- 19) A. Berkel : *Holz als Roh-und Werkstoff*, 21, 5, 165 (1963)
- 20) 宮島寛 : 北大農演報, 17, 2, 749 (1955)
- 21) 宮島寛 : 北大農演報, 19, 3, 99 (1958)
- 22) W. Knigge : *Allgemeine Forstzeitchrift*, 7, 1 (1960)
- 23) 大阪営林局 : 木材材質に関する調査報告 (第1報) (1950)
- 24) J. A. Newlin, T. R. C. Wilson : *U. S. D. Agr. Bull.* 676 (1919)
- 25) 高橋政治ら : 北林産試月報, 1, 2 (1977)
- 26) 筒本卓造ら : 南洋材の材質と加工性 日本林業技術協会 (1975)
- 27) 都築一雄ら : 木材学会誌, 22, 7, 381 (1976)
- 28) 大沢正之, 宮島寛 : 北大農演報, 15, 2, 263 (1952)
- 29) 宮島寛 : 北大農演報, 22, 2, 539 (1963)
- 30) H. Shirasawa : *International Critical Table* 2, 37 (1927) (15による)
- 31) 高橋久治 : 林試研報, 15, 95 (1917)

- 32) M. Osawa : J. Fac. Agr., Hokkaido Imp. Univ. 27-1, 1 (1930) (15による)
- 33) 渡辺誠 : 東大農演報, 31, 95 (1943)
- 34) 沢田稔 : 北海道林試集報, 68, 37 (1949)
- 35) 渡辺誠 : 陳陸折 : 東大農演報, 30, 1 (1942)
- 36) R. Trendelenburg : *Forstarch.* 9, 37 (1933)
- 37) 矢沢亀吉, 深沢和三 : 岐阜大農研報, 7, 70 (1956)
- 38) 深沢和三, 青木明治 : 岐阜大農研報, 12, 109 (1960)
- 39) 深沢和三, 青木明治 : 岐阜大農研報, 12, 118 (1960)
- 40) 高橋徹ら : 木材学会誌, 19, 11, 521 (1973)
- 41) 高橋徹 : 木材学会誌, 15, 4, 140 (1969)
- 42) 渡辺治人 : 林学会誌, 31, 228 (1949)
- 43) N. Ghelmeziu : *Holz als Rho-und Werkstoff*, 1, 585 (1937, 1938)
- 44) 田中勝吉, 足立三郎 : 樺太中試報告, 2, 4 (1933) (15による)
- 45) F. Kollmann, H. Krech : *Holz als Roh-und Werkstoff*, 18, 41 (1960)
- 46) 布施忠司ら : 満鉄技研報, 223 (1942) (15による)
- 47) 高橋徹 : 木材学会誌, 17, 9, 369 (1971)
- 48) T. Ohgama, T. Yamada : *Wood Research*, 56, 28 (1974)
- 49) T. Aoki, T. Yamada : *Wood Research*, 52, 13 (1972)
- 50) 深沢和三 : 岐阜大農研報, 25, 47 (1967)
- 51) 矢沢亀吉ら : 岐阜大農研報, 8, 67 (1957)
- 52) 矢沢亀吉, 深沢和三 : 岐阜大農研報, 6, 85 (1956)
- 53) 平井左門 : 北大農研報, 15, 1, 97 (1951)
- 54) R. Trendelenburg : *Holz als Rho-und Werkstoff*, 2, 12 (1939)
- 55) 蕪木自輔 : 林試研報, 144, 53 (1962)
- 56) 矢沢亀吉, 深沢和三 : 北大農演報, 20, 1, 93 (1959)
- 57) 蕪木自輔 : 林試研報, 163, 1 (1964)
- 58) 蕪木自輔 : 林試研報, 144, 97 (1962)
- 59) 蕪木自輔 : 林試研報, 46, 37 (1950)
- 60) 宮島寛, 奥山寛 : 北大農演報, 20, 1, 209 (1959)
- 61) 小野寺重男ら : 北林産試月報, 160, 11 (1965)
- 62) 蕪木自輔 : 日林試, 38, 9, 352 (1956)
- 63) M. Y. Pillow : *J. of Forestry*, 47, 5, 383 (1949)
- 64) 蕪木自輔 : 林試研報, 90, 109 (1956)

- 65) E. T. Choong , H. M. Bornes : La. State Univ. L S U Wood Util. Notes , 11, 5  
(1968) (13による)
- 66) 宮島寛 : 北大農演報, 19, 3, 99 (1958)
- 67) 中戸莞二 : 西京大農演集報, 2, 15 (1958)
- 68) K. E. Kelsey : *F. P. J.* 6, 411 (1956)
- 69) 中野達夫 : 京都大学学位論文 (1976)
- 70) J. Yao : *Wood Sci. and Tech.*, 3, 25 (1969)
- 71) A. J. Stamm , W. K. Loughborough : Trans. Amer. Soc. Mech. Eng. Oct. (1941)
- 72) J. D. MacLean : Heating, piping and air conditioning, 13, 380 (1941) (74による)
- 73) 満久崇磨 : 木材研究, 13, 1 (1954)
- 74) F. Kollmann, A. Côté : Principles of Wood Sci. and Tech., I Solid Wood  
Springer-Verlag (1968)
- 75) J. F. Siaw : Flow in Wood (Syracuse Univ. Press) (1971)
- 76) H. D. Erickson , R. J. Crawford : *Amer. Wood Preserv. Assn. Proc.*, 55, 210 (1959)
- 77) 葉石猛夫, 中野達夫 : 林試研報, 291, 117 (1977)
- 78) 林昭三ら : 木材研究, 38, 47 (1966)
- 79) 林昭三, 西本孝一 : 木材研究, 35, 33 (1965)
- 80) P. J. Fogg : *Wood Sci.*, 2, 35 (1969)
- 81) R. R. Benvenuti : M. S. Thesis , N. C. State Coll., Raleigh 115 (13による)
- 82) C. J. Chaplin , F. H. Armstrong : *Wood* , 1, Dec. (74による) (1936)
- 83) 倉田久敬, 鈴木藤吉 : 北林産試月報, 12, 23 (1970)
- 84) 中村源一 : 林試研報, 136, 35 (1962)
- 85) 緒方清八 : 日林誌, 32, 6, 198 (1950)
- 86) 継田視明 : 東大農演報, 49, 205 (1955)
- 87) 上村武, 中村章 : 木材加工技術協会, テクニカルノート, 71 (1949)
- 88) W. L. Galligan, L. D. Bertholf : *F. P. J.* , 13, 517 (1963)
- 89) H. Polge : Ann. l'cole nat. des eaux et forêt , 20, 531 (1963)
- 90) 石田茂雄ら : 北大農演報, 25, 1, 35 (1967)
- 91) W. E. Loos : *F. P. J.* 11, 145 (1961), 15, 102 (1965)
- 92) 小野寺重男 : 北林産試研報, 47, 1 (1966)
- 93) 林業試験場編 : 木材工業ハンドブック (丸善) (1972)
- 94) F. Kollmann : Technologie des Holzes und Holzwerkstoffe, I Springer-Verlag. (1951)
- 95) 寺沢真ら : 林試研報, 153, 15 (1963)

- 96) 筒本卓造：林試研報， 190 ， 100 (1966)
- 97) 筒本卓造：林試研報， 218 ， 265 (1968)
- 98) 筒本卓造：林試研報， 234 ， 117 (1971)
- 99) 中川宏ら：北林産試月報， 5 ， 1 (1967)
- 100) L. Vorreiter： Holz Technologisches Handbuch, III 。 281 (1963) (93による)
- 101) P. Koch： Wood machining processes： Ronald Press Co., (1964) (74による)
- 102) 波岡保夫：北林産試月報， 6 ， 18 (1968)
- 103) H. O. Fleisher： F. P. L. Rept. 2149 (1959)
- 104) 福井尚：東教大農紀要， 8 ， 217 (1962)
- 105) E. F. Davis： Tech. Bulletin ， 1267 (1962)
- 106) 梶田茂， 加藤正育：昭和15年林学会講演集， 445 (1940)
- 107) 倉田久敬， 伊藤勝彦：北林産試月報， 162 ， 7 (1965)
- 108) 継田視明：木材学会誌， 5 ， 1 ， 27 (1959)
- 109) M. Noguchi： H. Sugihara： *Wood Research* ， 25 ， 1 (1961)
- 110) F. Kollmann： Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe， II Springer-Verlag  
849 (1955)
- 111) 後藤輝男ら：島根大農研報， 15 ， A-2 ， 53 (1967)
- 112) 高谷典良ら：北林産試月報， 7 ， 12 (1976)
- 113) 堀岡邦典：林試研報， 89 ， 105 (1956)
- 114) 作野友康， 後藤輝男：島根大農研報， 4 ， 103 (1970)
- 115) 中村史門：昭和36年度林業研究発表大会論文集 (1972)

## 10. 含水率と材料としての性質

### a. 外観・寸法

つやは木材表面からの光の反射率に関係するので，含水率の影響を受けやすい。<sup>1)</sup>

### b. 強度・比強度

- 1) 木材の強さへの含水率の影響は著しく，古くから，含水率といろいろな木材強度との関係についての研究成果が綿密に報告されている。すなわち，全乾から繊維飽和点に至る含水率範囲で，含水率1%増減あたりの強度の減増が示され，含水率と強さや弾性率との間に成り立つ実験式も提案されている。<sup>2-4)</sup>
- 2) 許容応力度の低減率はわが国では常時湿潤状態で0.7と規定され<sup>5)</sup>，また，直接風雨にさらされる構造物では0.8まで許容応力度を低減すること<sup>6)</sup>にしている。
- 3) 低温領域における含水率の影響は，常温領域におけるものとは異なっている。<sup>7)</sup> Kollmannによる

と、ブナ材の圧縮で、常温では、全乾から繊維飽和点の間で含水率の増加に伴って強さが単調に低下、繊維飽和点以上で変化がないのに対し、約 $-40^{\circ}\text{C}$ の低温では含水率約5%、ならびに約85%に強さの極大値を認めている。この理由として、細胞内こうを満した水の存在が強さへの影響を及ぼしている」と指摘している。

4) 静的曲げ強さ、縦圧縮強さ、横圧縮強さ、表面硬さ、せん断強さ、および縦引張り強さについて、含水率12%のときの強さと生材のときの強さとの比が針葉樹材(54樹種平均)と広葉樹材(113樹種平均)に分けて求められている。<sup>8)</sup>

5) 含水率12%と生材のときの静的曲げ強さ、縦圧縮強さ、横圧縮強さ、および表面硬さと比重との間の実験式が、160樹種以上の実験結果から得られている。<sup>9)</sup>

### c. 衝撃強度

1) 衝撃曲げ仕事量は含水率10~20%の範囲でほぼ等しい値を示すのに対して、含水率が10%よりも低くなると仕事量は急激に上昇するとされている。<sup>10) 11)</sup>一方、全乾から繊維飽和点の間で、衝撃曲げ仕事量は含水率増加の影響を受けないが、衝撃たわみ量は増えるとされている。<sup>10)</sup>

2) オモリを落下させて衝撃強さを求めるとき、含水率1%の増減があれば、木材を破壊に至らしめるオモリの高さの減増が0.5%であり、<sup>2) 12)</sup>さらに、含水率12%のときに破壊に至らしめるオモリの高さ $S_{12}$ と、生材のときのそれ $S_g$ との比( $S_{12}/S_g$ )は、針葉樹材(54樹種平均)で1.03、広葉樹材(113樹種平均)で0.89である。<sup>8)</sup>

### d. 弾性・粘弾性

#### A: 弾性

1) 全乾から繊維飽和点の間で、含水率が1%増減するときの曲げ弾性率の増減は2%である。<sup>2) 3)</sup>

また、静的曲げ弾性率が含水率12%のときの値 $E_{12}$ と生材のときの値 $E_g$ との比( $E_{12}/E_g$ )は、針葉樹材(54樹種平均)で1.28、広葉樹材(113樹種平均)で1.31である。<sup>8)</sup>

2) 繊維方向、放射方向、および接線方向の弾性率、すなわち、 $E_L$ 、 $E_R$ 、 $E_T$ への含水率の影響の度合いはそれぞれ異なっており、特に $E_L$ への影響は、 $E_R$ と $E_T$ への影響に比べて著しい差が認められる。<sup>13) 14)</sup>たとえば、含水率1%の増減に伴う $E_L$ 、 $E_R$ 、および $E_T$ の減増は、Sitka spruceで、それぞれ、0.7%、4.5%、および4.7%とされている。<sup>13)</sup>

3) 繊維飽和点以上の含水率におけるせん断弾性率 $G_g$ に対して、全乾と含水率12%でのせん断弾性率の比、すなわち、 $G_0/G_g$ と $G_{12}/G_g$ を求め、それぞれ、 $G_{LR}$ で1.29と1.36、 $G_{TR}$ で1.85と1.54、さらに $G_{TL}$ で1.56と1.44を得ている。<sup>15)</sup>なお、Hearmonは、含水率25%と10%のときのせん断弾性率の比を文献から求め、表にして示している。<sup>16)</sup>

4) ポアソン比は、Carringtonの実験結果によると、含水率の増加に伴って、 $\nu_{RT}$ 、 $\nu_{TR}$ 、および $\nu_{LT}$ は増加するが、 $\nu_{LR}$ は減少する。<sup>15)</sup>

5) Sitka spruceとDouglas-firによる実験結果では、含水率の増加とともに、 $\nu_{LT}$ と $\nu_{TR}$ は増加

するが、 $\nu_{RL}$  と  $\nu_{TL}$  は減少し、 $\nu_{LR}$  は含水率の変化にほとんど影響を受けないか、あるいは影響を受けても極めて僅かである。<sup>14)</sup>

6) ねじり剛性率  $G$  は、含水率が約20%から約5%の範囲で、含水率が低くなるに伴って  $G$  は増大するが、 $G$  の増加の割合は、高い温度におけるほど著しい。<sup>17)</sup>

7) 約5%以下のある含水率で動的弾性率の極大値が認められている。また、ヒノキ材とブナ材で、繊維方向の動的弾性率が含水率4~5%で極大値を示し、放射方向では極大値が得られなかった。<sup>18)</sup><sup>19)</sup>

#### B: 粘弾性

1) 木質材料の静的粘弾性、動的粘弾性の水分依存性は、近年に至って多数の報文が出ている。これらの報文を、たやすく検索できるように資料が公表されている。<sup>20)</sup>

2) 曲げや圧縮荷重を受けている木材に、一回あるいは繰り返して含水率変化を起こさせるとき、木材のクリープ変形は脱着の過程で著しく増加していくが、引張り荷重を受けている木材では、このような挙動はほとんど認められないか、あるいは認めても僅かである。また、薄い小試験片はりのクリープ実験から、クリープ変形が脱着過程で進行し、吸着の過程ではクリープ回復が起こることが確かめられた。そして、脱着と吸着を繰り返すことによって、クリープ変形が急速に進行して行き、一定の高い相対湿度(たとえば95% R. H.)のもとで生じる全クリープ量よりも、高い相対湿度の途中で脱着の過程を挿入したもののほうが、はるかに大きい全クリープ量を得ることができる。<sup>21)</sup><sup>22)</sup>

さらに、ふん囲気の相対湿度を瞬間的に急激に高くしたとき、あるいは低くしたとき、木材はりのクリープ変形は増加することがありうるかもしれないとされている。<sup>23)</sup>

3) 生材のはりに、構造物の設計応力程度の負荷を与えたままで乾燥させていくとき、その木材のクリープ変形は、荷重を与えたときに生じるたわみの4~6倍にも達するようである。さらに、クリープ曲線が平坦になったあとは、屋外の普通程度の相対湿度の変動によって、毎年、最初の変形の約25%ほどのクリープ変形が加わっていくようである。<sup>24)</sup>

4) 小変形の曲げクリープや大変形の横圧縮応力緩和において、クリープ速度や緩和速度は含水率の20%前後で最大となる。また、Celtis属の木材の室温におけるせん断クリープ変形は、75% R. H. まで水分の影響は少ないが、それ以上の相対湿度になるとクリープ速度が大きくなる。<sup>25)</sup>

5) 繊維方向の圧縮で、ヒズミ一時間の曲線から求めたブナ材の粘性率  $\eta$  は、全乾状態のときの値が繊維飽和点における値の約4倍である。<sup>26)</sup>

#### e. 寸度安定性

木材の膨潤と乾縮、あるいは膨潤率や乾縮率への含水率の影響については、多くの教科書やハンドブックにも述べられている。<sup>27)</sup><sup>28)</sup> ただ、木材の膨潤や乾縮は、木材へ吸着される水分のほかに、木材を構成する組織とその構造、および樹木の生長にかかわって生じるさまざまなことから密接に関係しているので、含水率だけを因子とした一義的な考え方では不都合を生じることに留意しなければならない。

1) 寸度に変化を生じる含水率領域の目安になる繊維飽和点は、木材の組織・構造と化学組成成分に関

係していると云われている。<sup>29)</sup>すなわち、

① 着色心材を持たない散孔材、および着色心材を持つ環孔材の辺材では、繊維飽和点が極めて高い。(32~35% M. C.) ② 無色心材の針葉樹材と着色心材を持つ針葉樹材の辺材では、繊維飽和点が高い。(30~34% M. C.) ③ 針葉樹材の着色心材では、繊維飽和点は、含有樹脂分が *Pinus*, *Larix*, *Pseudotsuga* 属の程度のときには26~28% M. C., それらよりも樹脂分が多いときには 22~24 % M. C. である。④ 環孔材の着色心材では、繊維飽和点が低い。(22~24% M. C.)

2) +20°C から-40°C に急冷したとき、全乾あるいは低含水率の木材は熱収縮を起こし、さらに含水率が高い木材では、この凍結によって細胞壁内の水分を細胞内こうに押し出して収縮する。しかし、高含水率材は、水分が凍結するときの膨張<sup>30)</sup>によって割れを生じることがある。

3) 木材の膨潤・乾縮は、水の pH- 値<sup>31)</sup>、木材の腐朽にも影響<sup>32)</sup>を受ける。

#### f. 熱的性質, 燃焼性

##### A: 熱的性質

1) 0°C の全乾材の比熱は0.266<sup>33)</sup> であるが、吸湿することによって比熱1の水を木材中に取り込むことになる。そこで、単純に木材と水との混合則が成り立つならば、含水率 u% のときの木材の比熱  $c_u$  は、

$$c_u = \frac{u + c_0}{u + 1}$$

であり、 $c_0$  は 0~100°C の全乾材の比熱である<sup>34)</sup>。しかし、実測値との適合がよくないので Harmon<sup>35)</sup> らは、積分吸着熱を考慮した補正式を提案している。さらに、吸着熱を考慮した比熱については、Kelsey<sup>36)</sup> らも報告している。

2) 乾燥材の熱伝導率は、繊維に平行方向で約 0.2 ~ 0.3 kcal/m, h, °C であるのに対して、水の熱伝導率は 20°C のとき約 0.500 kcal/m, h, °C であるために、含水率の増加に伴って木材の熱伝導率は増し、飽水状態に近づくにしながら増加の割合が大きくなる。<sup>37)</sup>

3) Kuhlmann<sup>38)</sup> は、Fichte, Eiche, および Buche 材の熱伝導率  $\lambda$  への含水率の影響を、-20~+80°C の範囲で求め、温度が 0°C 以下では  $\lambda$  への含水率の影響がほぼ等しいが、温度が 0°C を超えるとき  $\lambda$  への含水率の影響が大きくなることを確かめた。

4) 木材の熱伝導率への含水率の影響は、比重との相互作用がある。そこで、Kollmann<sup>39)</sup> らは、細胞壁実質と空気層の組み合わせで木材の構造を表わし、得られた熱伝導率の式を図式化し、含水率と木材の熱伝導率の関係を示した。この図によると、比重が高いほど、熱伝導率への含水率の影響が著しい。

5) 針葉樹材と広葉樹材で得た値を要約した表<sup>40) 41)</sup>によると、1°C あたりの膨張率は L 方向で  $(1 \sim 10) \times 10^{-6}$ , R 方向と T 方向で  $(20 \sim 70) \times 10^{-6}$  程度であり、膨潤率や乾縮率に比べるとほとんど無視できる。



## B：燃焼性

- 1) 含水率が高いほど着火時間が遅く、燃焼速度が小さく、さらに炭化の進行が遅くなる<sup>42)</sup>。
- 2) 広葉樹材と針葉樹材の重さ 1 lb 当りの平均発熱量は、それぞれ、全乾材で 8,500 B.t.u. と 9,000 B.t.u. であるが、含水率 50% の広葉樹材では約 4,800 B.t.u. にまで減少する<sup>43)</sup>。

## g. 音響的性質

- 1) 含水率の増加とともに、木材中の音速は低下して行き、この傾向は繊維飽和点を超えても続くが、繊維飽和点以下におけるほうが含水率の影響が著しい<sup>44) 45)</sup>。
- 2) 木材中の力学的エネルギー損失と関係している対数減衰率について、含水率との関係が実験的に求められた。しかし、損失は周波数との関わりが大きく、特に、いわゆる周波数分散の領域での取り扱いに留意する必要がある<sup>46)</sup>。

## h. 感觸・刺激

- 1) 鈴木は、木材表面の“すべりやすさの感觸”について実験を行い、気乾材のほうが湿潤材よりもすべりやすい傾向にあるとしている<sup>47)</sup>。
- 2) 木材が放つ香りの種類は樹種と密接に関係しているが、その成分は揮発性のものであることが多い。そのため、材の表面を新しくけずり出し、表面を“ぬらし”、さらに暖める操作によって香りは高くなる<sup>48)</sup>。
- 3) 生材においては、一般に、生材のときに強く、乾燥に伴って少なくなると云われている<sup>49)</sup>。
- 4) ある種の樹種の生材木粉は、人間に対して、皮膚炎の病因になることもわかっており、これらについての詳しい報告もある<sup>49) 50)</sup>。

## i. 浸透性

- 1) 含水率は透過の程度との間に密接な関係も持っている<sup>51)</sup>。
- 2) Johnston らによると、液体透過の速度は、生材の場合や辺材では、理論どおりに与えられた圧力に比例して直線的に増加していくとされている。他方、乾燥材では、曲線的に次第に透過速度を増すが、この傾向は高い圧力の範囲で認められる。また、乾燥材では、初めのうちは、生材よりも高い透過を示すが、まもなく、その透過能は急激に減少する<sup>52)</sup>。

## j. 耐摩耗性

- 1) Taber 法による耐摩耗性の実験によると、含水率 5～12% 範囲のヒノキ、カバ、アカマツ、およびカラマツ材のまさ目面では、含水率 11～13% の範囲では摩耗への含水率の影響が小さく、高含水率域では含水率の増加とともに摩耗も著しく増大する<sup>53)</sup>。

## k. 電気・放射線の伝導性

### A：電気の伝導性

直流電気伝導率と含水率との関係は、木材含水率測定を目的としたものを含め、今までに多くの報告<sup>54) 55)</sup>があり定数表が公表されている。また、木材の比重や温度、あるいは電気伝導の方向などと、含水率と

との相互作用が報告されている。<sup>57)</sup>

1) 木材の電気伝導は、繊維飽和点以下で含水率の影響が著しく、全乾材の直流電気低率 $\rho$ が約 $10^{17}$   $\Omega\text{cm}$  のオーダーであるのに対して、繊維飽和点では $\rho$ が $10^5 \Omega\text{cm}$  のオーダーであるとする報告がある。<sup>58)</sup>しかし、この含水率範囲で、直流電気伝導率への含水率の影響が一ようであるのではなくて、含水率約7%を境にして、電気伝導率への含水率の効果が異なり、さらに電気伝導のしくみと関係している。<sup>60) 61)</sup>

2) 交流領域の研究は直流領域におけるほど古くなく、誘電的な定数表を提出した初期のものに上村の研究がある。しかし、交流領域の電気伝導に関する研究は極めて少なく、Hearmon<sup>63)</sup>らの研究に、部分的に触れているにすぎない。

3) 交流電気伝導率は周波数や木材への水分の吸・脱着の過程に影響を受けるので、木材の誘電的挙動と密接に関係している。<sup>64)</sup>

B: 放射線の伝導率

1) 小野寺によると、中性子線の減速と含水率の関係は含水率30~40%を境にして、その上下の含水率範囲で異なっている。<sup>65)</sup>

#### 1. 乾燥適性

1) 繊維飽和点以上の木材における水の拡散

木材の乾燥過程における自由水の移動は、細胞内こうが完全に水で満たされているか、あるいは気ほうを含むかによって異なるが、結局は拡散によって支配されると考えられている。<sup>66) 67)</sup>

2) 繊維飽和点以下の木材における水の拡散

細胞壁中における水の拡散係数は、樹種の辺・心材の別による影響は小さいが、含水率の影響が大きいことが知られている。横田<sup>66) 68) 69)</sup>によると、スギ、トドマツ、ナラ、ブナなどの材で、吸湿過程の相互拡散係数は含水率の上昇とともに大きくなり、含水率12%付近で極大値を示すが、固有拡散係数はこれ以上の含水率ではほぼ一定となる。一方、脱湿過程の拡散係数は吸湿過程とほぼ同じ傾向にあるが、含水率が低い場合を除き、一般に、脱湿過程のほうが、吸湿過程におけるよりも、はるかに大きな拡散係数を持っている。

3) 木材中の水や水蒸気の移動に、針葉樹では壁孔の状態が著しく影響している。<sup>70)</sup>たとえば、貴島<sup>71)</sup>らによると、生材が気乾材へ向うにしたがって、閉そく壁孔対の占める割合が多くなるとされ、水や水蒸気の通導が妨げられるようになる。

4) 木口割れ、表面割れ、および内部割れは、一般に、初期含水率が高い材に、初期高温度を与えたときに生じやすいが、樹種によっては、必ずしも一律に論じることにはできない。<sup>72)</sup>

5) 含水率が20%以下になると、カップが比例的に増える。<sup>73)</sup>

m. 加工性

1) Davis<sup>75)</sup>によると、一般に、低含水率材ほど切削加工の無欠点率は高くなるが、プレーナー加工による材の欠点は、含水率6%のものに比べて20%のものの方が軽微である。他方、面取り盤加工によ

る材の欠点は、含水率が6～12%範囲では、ほとんど含水率の影響を受けない。

2) 回転かな削りにおいて、主切削力は含水率10%のあたりに極大値を示し、特に、切り込み量が厚いほどこの傾向が著しいようである<sup>74)</sup>。しかし、木口面切削についての結果では、繊維飽和点から全乾に向って、切削抵抗が著しく大きくなるとされている<sup>74)</sup>。

3) 研削やベニヤ切削では、上述の2)項に似た傾向が報告されている<sup>74)</sup>。なお、のこびきでは、縦びきよりも横びきにおけるほうが含水率の影響が大きく、含水率が高いほうが切れ味は悪く、含水率10%以下では、ほとんど切れ味に変化がない<sup>76)</sup>。孔あけでは、きりの種類によって、含水率の影響は同じでない<sup>77)</sup>。

4) のこびき切削のとき、含水率が大きくなるに伴って、ひき材に要する動力は小さくなり、繊維飽和点以上でも、この傾向はある程度続くようである<sup>78)</sup>。なお、気乾状態よりも低い含水率での所要電力量は複雑であるが、含水率5%のあたりに、所要電力量の極小値を持つようである<sup>76) 79)</sup>。

#### n. 表面仕上げ特性

1) 多数の木材供試片で得られた切削面の無欠点率についての検討によると、切削面のケバ立ちや目違いは含水率が高いときに影響が大きく、逆目ぼれの発生は含水率が低いときに起こりやすい<sup>80)</sup>。

2) Davis<sup>74)</sup>は、回転かな削り面と旋削した面を、含水率6%、12%、および20%と比較し、欠点の種類と樹種ごとに表を得ている。

#### o. くぎ打ち特性

1) Wood Handbook<sup>81)</sup>によると、生材に打ち込まれたくぎは、材が乾燥する前であれば、乾燥材に打ち込まれたくぎと同じ程度の引き抜き抵抗を持っている。しかし、乾燥材に打ち込まれたくぎでは、木材の吸湿と放湿が繰り返されるとき、くぎ保持力の大幅な減少が起こる。

2) 著しい含水率の変化を伴わないような木材では、くぎの引き抜き抵抗力は、時間の経過とともに、僅かながら減少する傾向がある。しかし、他方、含水率の変化と時間の経過は、くぎのサビ発生を起し、引き抜き抵抗を大きくする<sup>81)</sup>。

3) 気乾状態の木材にくぎ打ちしたあと、材を水浸させるとくぎの引き抜き抵抗は著しく減少し、そのあと大気中に放置すると抵抗は次第に増す。そのあと再び水浸しても引き抜き抵抗の著しい減少は認められない<sup>82)</sup>。2度目以降の水浸で、くぎの引き抜き抵抗の著しい減少が認められないのは、くぎ表面にサビの発生が起こるためであると考えられている<sup>82)</sup>。

4) 木構造設計規準<sup>83)</sup>に、くぎが未乾燥材に打ち込まれたあとで乾燥させるとき、あるいは湿潤状態にあるとき、それぞれの状態でのくぎ接合の許容耐力がきめられている。

5) くぎの打ち込みから引き抜きまで<sup>84)</sup>、含水率の変化がなければ、含水率が高いものほどくぎの衝撃引き抜き抵抗は低い。

#### p. 曲げ木適性

1) 乾燥した木材を曲げることは、極めて難しい。そこで、温度と含水率を高くすることで、木材に

可塑性を与える操作が行なわれる。すなわち、Prondahl<sup>85)</sup>をはじめ数名の研究者が、気乾状態と蒸煮の状態のそれぞれで、応力とヒズミの関係を求めている。

2) 木材に可塑性を与えるために、密閉された蒸煮室で蒸気加熱するときの温度 $\theta$ は、処理される木材の全乾比重 $R_0$ 、木材実質の比重(真比重) $R_f$ 、および含水率 $u$ とから、次式が実験的に得られている。<sup>86)</sup>

$$\theta = \frac{131}{u^{0.27}} \sin \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{R_0 - 0.2}{R_f} \right)$$

#### q. 接着性

1) 接着に最適の木材含水率は、接着剤の種類で異なり、ユリア樹脂接着剤では8~12%、フェノール樹脂接着剤では10%以下、酢酸ビニールエマルジョン接着剤では、ユリア樹脂接着剤よりも、含水率の許容範囲が広いとされている。<sup>74)</sup>

2) 合板の接着では、いろいろな接着剤ごとに、最適の単板含水率を次のように得ている。<sup>87)</sup>すなわち、動物系接着剤では3~5%、大豆グルーでは5~8%(冷圧)と5%(熱圧)、カゼイングルーでは5%、ポリビニールエマルジョンでは5%、アミノ系樹脂接着剤では6~8%、レゾルシノールおよび常温硬化フェノール樹脂接着剤では6~12%、高温硬化フェノール樹脂接着剤では3~7%としている。

3) “ぬれ”が接着性能を示す主要な指標となるのは、比重0.8以上の場合であり、比重が0.8以下の木材では比重の効果のほうが大きく、比重を指標としたほうが適切であるかもしれない。<sup>88)</sup>

#### 文 献

- 1) 林業試験場編：“木材工業ハンドブック”，新版，丸善，p. 169 (1973)
- 2) U. S. F. P. L. ed.：“Wood Handbook”，USDS Agricultural Handbook No.72, p. 85 (1955)
- 3) L. J. Markwardt and T. R. C. Wilson：USDA Technical Bulletin 479, p. 48 (1935)
- 4) F. F. Wangaard：“The mechanical properties of wood”，John Wiley, N. Y., p. 185 (1950)
- 5) 建設省編：“建築基準法令集”，日本建築学会，p. 170 (1979)
- 6) 日本建築学会編：“木構造設計規準・同解説”，日本建築学会，p. 23 (1973)
- 7) F. Kollmann：VDI-Forschungsheft, No. 403 (1940)
- 8) 3) に同じ，p. 54
- 9) 2) に同じ，p. 88
- 10) Franz F. Kollmann and Wilfred A. Côté, Jr.：“Principles of wood science and technology. I. Solid wood”，Springer-Verlag, Berlin, p. 388 (1968)
- 11) N. Ghelmeziu：*Holz Roh-Werkstoff* 1, 585 (1938)
- 12) 3) に同じ，p. 50

- 13) J. T. Drow and R. S. Mc Burney : USDA FPL Report 1528—A (1954)
- 14) R. S. Mc Burney and J. T. Drow : USDA FPL Report 1528—D (1956)
- 15) 10) に同じ, p. 311
- 16) R. F. S. Hearmon : Forest Products Research (Princes Risborough) Special Report 7, 24 (1948)
- 17) H. Becker and Detlev Noack : *Wood Sci. Tech.*, 2, 213 (1968)
- 18) 松本昴 : 九大農演習林報告, 36号, 1 (1962)
- 19) 梶田茂, 山田正, 鈴木正治 : 木材誌, 7, 29 (1961)
- 20) 京都大学木材研究所・木材物理研究部門 : 木材力学資料 I (1965) ~ 続刊中, I ~ VI は木材研究, VII 以降は木材研究資料に掲載
- 21) L. D. Armstrong : *Aust. J. Appl. Sci.*, 13, 257 (1962)
- 22) R. F. S. Hearmon and J. M. Paton : *For. Prod. J.*, 14, 357 (1964)
- 23) J. Raczkowski : *Holz Roh-Werkstoff*, 27, 232 (1969)
- 24) R. S. T. Kingston : *Research*, 15, 164 (1962)
- 25) 山田正 : 材料, 22 (222), 244 (1972)
- 26) 10) に同じ, p. 320
- 27) 1) に同じ, p. 155
- 28) 2) に同じ, p. 311
- 29) 10) に同じ, p. 199
- 30) M. Schirp und H. Kübler : *Holz Roh-Werkstoff*, 26, 335 (1968)
- 31) 10) に同じ, p. 216
- 32) 10) に同じ, p. 98
- 33) F. Dunlap : USDA Technical Bulletin 110 (1913)
- 34) 10) に同じ, p. 246
- 35) R. F. S. Hearmon and J. N. Burcham : *Nature* 176, 978 (1955)
- 36) K. E. Kelsey and L. N. Clarke : *Aust. J. Appl. Sci.*, 7, 160 (1956)
- 37) 梶田茂編 : “木材工学”, 養賢堂, p. 255 (1961)
- 38) G. Kühlmann : *Holz Roh-Werkstoff*, 20, 259 (1962)
- 39) F. Kollmann and L. Marmquist : *ibid*, 14, 201 (1956)
- 40) 37) に同じ, p. 249
- 41) 10) に同じ, p. 241
- 42) 1) に同じ, p. 815
- 43) H. P. Brown, A. J. Panshin and C. C. Forsaith : “Textbook of Wood Technology,

- Vol. 2", McGraw-Hill, New York, p. 753 (1952)
- 44) F. Kollmann und H. Krech : *Holz Roh-Werkstoff* , 18, 41 (1960)
  - 45) W. L. James : *For. Prod. J.*, 11, 383 (1961)
  - 46) 深田栄一 : 小林理研報告, 1, 21 (1951)
  - 47) 鈴木正治 : 林試研報, 231号, 1 (1970)
  - 48) A. J. Panshin and Carl de Zeeuw : "Textbook of Wood Technology, Vol. 1", 3rd Ed., McGraw-Hill, New York, p. 404 (1970)
  - 49) H. E. Desch : "Timber Its Structure and Properties", 5th Ed., Macmillan, London, 68 (1973)
  - 50) R. J. Orsler : *Woodworking Industry*, 26(5), 28 (1969) [H. E. Desch : "Timber Its Structure and Properties", 5th Ed., Macmillan, London, p.404 (1973)]
  - 51) 渡辺治人 : "木材理学総論", 農林出版, p.272 (1978)
  - 52) 10) に同じ, p. 219
  - 53) 鈴木正治 : 林試研報, 282号, 1 (1976)
  - 54) 比留間重次郎 : 同上, 10号, 61 (1913)
  - 55) A. J. Stamm : *Ind. Eng. Chem.*, 19, 1021 (1927)
  - 56) 2) に同じ, p. 51
  - 57) R. T. Lin : *For. Prod. J.*, 17(7), 54 (1967)
  - 58) A. J. Stamm : "Wood and Cellulose Science", Ronald Press, New York, p. 362 (1964)
  - 59) R. T. Lin : *For. Prod. J.*, 15, 506 (1965)
  - 60) J. H. Brown, R. W. Davidson and Christen Skaar : *ibid* , 13, 455 (1963)
  - 61) A. Venkateswaran : *Wood Sci.*, 3, 183 (1971)
  - 62) 上村武 : 林試研報, 119号, 95 (1960)
  - 63) R. F. S. Hearmon and J. N. Burcham : Forest Products Research (Princes Risborough) Special Report 8 (1954)
  - 64) 坊野喜彦, 堤壽一 : 九大演習林集報, 25号, 151 (1974)
  - 65) 小野寺重男 : 道立林産試研報, 47号, (1966)
  - 66) 横田徳郎 : 材料, 21(220), 58 (1972)
  - 67) L. F. Hawley : USDA Technical Bulletin 248 (1931)
  - 68) 横田徳郎 : 木材誌, 5, 143 (1959)
  - 69) 横田徳郎 : 同上, 8, 192 (1962)
  - 70) J. F. Siau : "Flow in wood", Syracuse University Press, New York, p. 65 (1971)
  - 71) 貴島恒夫, 林昭三 : 木材研究, 27号, 22 (1962)

- 72) 1) に同じ, p. 350
- 73) V. Balodis : USDA FPL Technical paper 63 (1972)
- 74) 杉原彦一, 浜田良三 : 材料, 21(223), 343 (1972)
- 75) E. M. Davis : USDA FPL Technical Bulletin 1267 (1962)
- 76) 林大九郎 : 木材誌, 2, 76 (1956)
- 77) 林大九郎 : 同上, 3, 9 (1957)
- 78) 斉藤美鶯, 枝松信之, 大平裕 : 林試研報, 97号, 33 (1957)
- 79) 林大九郎 : 木材工業, 7, 311 (1952)
- 80) 枝松信之, 森稔 : “実用木材加工全書 1 製材と木工”, 森北出版, p. 202, p. 219 (1963)
- 81) 2) に同じ, p. 166
- 82) 杉山英男ほか25名 : 木質部材および木質材料の構造耐力と耐久性に関する研究, p. 256 (1977)
- 83) 6) に同じ, p. 42
- 84) 継田視明 : 木材誌, 2, 217 (1956)
- 85) 10) に同じ, p. 542
- 86) 37) に同じ, p. 446
- 87) 37) に同じ, p. 474
- 88) H. A. Freemann : *For. Prod. J.*, 9, 451 (1959)

## 11. 化学組成と材料としての性質

### a. 外観・寸法

(1)木材中の抽出成分が光により材の変色をひきおこす原因となる場合 : ヤマグワの心材が黄色から褐変するのはスチルベン系フェノール物質にもとづく。フタバガキ科 (Hopea sp.) のフェノール成分が変色の原因となる。カラマツの心材は可視光により黄変し, 近視外光により暗色化する。スチルベンが変色の原因となる (Afrosimosiaelata および Chlorophora regia)。材の黄色化は主としてリグニンに起因する (南洋材11種<sup>5)</sup>)。ロイコペラルゴニジン, アントシアニジン, フェノール物質が変色原因である (フタバガキ科13種<sup>6)</sup>)。ハリグワ (Cudrania tricuspidata) の心材の褐変はスチルベン系フェノール化合物 (resveratrol など) の存在にもとづく。木材に紫外線を照射すると, 樹種により様々な変色を呈する。(針葉樹と広葉樹75種<sup>8)</sup>)。

(2)心材中の没食子酸が鉄と接触して藍黒色を呈する (オニグルミ<sup>9)</sup>, ノグルミ<sup>10)</sup>)。

(3)スギ材の黒心および黒変 : 材がアルカリ性になった場合に, フェノール成分が酸化・重合をおこすことによって生ずる。<sup>11)</sup> ハイドロキシスグレジノールにもとづく。<sup>12)</sup> 蛋白質の分解によって生じたアンモニアが心材成分と反応して黒変をおこす。<sup>13)</sup> 材中のロイコアントシアンと硫酸鉄との反応により黒変する。<sup>14)</sup>

吉野スギの黒心材にはメタノール抽出物が多い。<sup>15)</sup> スギのボタン材に関する研究。<sup>16)</sup> スギの黒色変色材の仮道管や放射組織中には黒色粒状物の沈着が認められる。<sup>17)</sup>

(4)ヒノキ材の赤変はヒノキレジノールにもとづく。<sup>18)</sup>

(5)その他：ユーラシアンチーク（*Pericopsis sp.*）の斑点障害は心材中のインフラボノイドにもとづく。<sup>19)</sup> 材色の特性化に関する研究（*Liriodendron tulipifera*, *Prunus serotina* <sup>20)</sup>）。ブラックウォルナット（*Juglans nigra*）の材色は土壌・立地・抽出物および材の密度に関係している。<sup>21)</sup> ユーカリ（*Eucalyptus grandis*）の髄から樹皮への材色の变化は材に含有されているポリフェノールの質と量に関係している。<sup>23)</sup> マンソニア材の紫色色素に関する研究。<sup>24-26)</sup>

(6)総説：木材およびパルプの発色団。<sup>27)</sup> 斑点障害。<sup>28)</sup> 木材の色。<sup>29)</sup> 木材の光による変色。<sup>30)</sup> 調色技術。<sup>31)</sup> 木材の変色（とくにフェノール性化合物）。<sup>32)</sup>

#### b. 強度・比強度

リグニンならびにヘミセルロースは引張強度に対しては影響をもたないが、圧縮強度を増加させる。<sup>33)</sup> セルロースは靱性ならびに引張強さに関係をもつが、リグニンは無関係である。（*Liriodendron tulipifera*）<sup>34)</sup>。抽出成分含有量が増加すると、圧縮強度、曲げ破壊係数などの強度が増加するが、その影響は樹種、含水量、抽出成分含有量、試験の種類などにより異なる（*Thuja plicata*, *Robinia pseudoacacia*, *Sequoia sempervirens*）。<sup>35)</sup>

#### c. 衝撃強度

衝撃抵抗は抽出成分含有量が増加すると増大する。<sup>35)</sup> リグニン含有量と衝撃強度との間には一定の関係は認められない。<sup>36)</sup>

#### d. 弾性・粘弾性

曲げ破壊係数は抽出物含有量と無関係であるが、曲げ弾性係数は抽出物が増加すると減少する。<sup>35)</sup> しかし抽出物含有量と強度との相関は一般的には非常に小さい。<sup>37)</sup> 抽出物含有量と強度あるいは粘弾性的性質の間には一定の関係は見出されない（インド産樹種3種）。<sup>38)</sup> 抽出処理により靱性が10.9%増加した。このことは抽出成分は木材本来の強度を低下させていたことになる。<sup>39)</sup> 抽出処理により振り剛性係数は減少する（広葉樹12種）<sup>40)</sup>。曲げクリープは熱水抽出物含有量が多いと増大する（*Sequoia sempervirens*）。<sup>41)</sup>

#### e. 寸度安定性

水溶性抽出物は細胞壁物質よりも吸湿性であるが、収縮および膨潤を減少させる（*Juglans nigra*）<sup>42)</sup>。水抽出物含有量が多いほど収縮も大きい（*Sequoia sempervirens*）<sup>43)</sup>。抽出処理によって接線方向と長軸方向のディメンションは増加し、半径方向のディメンションは減少する（*Carya illinoensis*）<sup>44)</sup>。抽出処理によって容積収縮と比重との相関は上昇する（Southern pine 10種）<sup>40)</sup>。抽出処理によって膨潤および収縮は増加する（広葉樹12種）<sup>40)</sup>。容積収縮と平衡含水率におよぼす抽出物の影響（熱帯産および北アメリカ産樹種）<sup>46)</sup>。



#### h. 感触・刺激

(1)において：カプール材の強いテルペン臭の主成分は  $\alpha$ -terpineol である (*Dryobalanops sp.*)<sup>48)</sup>。  
ビヤクダン (*Santalum album*) の香りの主成分は  $\beta$ -santalol である<sup>49, 50)</sup>。沈香の成分はアガロスピ  
ロールである (*Aquilaria agallocha*)<sup>51)</sup>。センダン科のセドレラ属のシーダ臭の成分は多種のセス  
キテルペン類である<sup>52)</sup>。ビヤクシン (*Juniperus chinensis*) 材の芳香油成分の分析<sup>53) 54)</sup>。貯水中に発生  
する悪臭の成分<sup>55)</sup>。

(2)刺激：マンソニア心材成分であるマンソニアキノンおよびマンソニアアズレンは鼻粘膜刺激作用が  
ある (*Mansonia altissima*)<sup>24)</sup>。マンソニンキノンの構造研究<sup>56)</sup>。マコーレー (*Mimusops heckelii*)  
心材中のサポニン<sup>57) 58)</sup>は鼻刺激作用を呈する。ベイスギによる喘息に関する研究<sup>59) 60)</sup>。ホウ、クワ、ビヤクダン  
による喘息症状<sup>61)</sup>。リョウブによる喘息症状<sup>62)</sup>。レンガス (*Gluta* および *Melanorrhoea*) は皮膚のカブ  
レをおこす (チチオールによる)<sup>63)</sup>。サザンシルキーオーク (*Grevillea*) はカブレをおこす  
(grevillol による)<sup>64)</sup>。アフリカマホガニー (*Khaya anthoteca*) はカブレをおこす (anthotechol  
による)<sup>65)</sup>。 *Vatairea guianensis* は皮膚を刺激する成分 (Chrysophanic acid) を含む<sup>66)</sup>。

(3)総説：文献67～74

#### i. 浸透性

エタノール処理を行なったアカマツおよびスギでは透水性が大きくなる<sup>75)</sup>。

#### j. 耐摩耗性

摩擦係数には含水率と粗さが大きく関係するが、抽出成分も摩擦係数に影響する (*Abies balsamea*)<sup>76)</sup>。  
ころがり摩擦とすべり摩擦はいずれも処理溶媒の膨潤能力、誘電率、ヒルデブラントの溶解度パラメー  
タの増加にともなって増大する (*Pseudotsuga menziesii*, *Abies concolor*)<sup>77)</sup>。すべり摩擦係数は抽  
出処理によって僅かに増加する (*Pinus glabra*)<sup>78)</sup>。

#### k. 電気・放射線伝導性

木材の電気伝導度の変動の95%はリグニン含有量に起因する (11樹種)<sup>79)</sup>。木材の electrical permittiv  
ity の変動は、同一密度において比較した場合に材の化学的組成の差異によって生じる<sup>80)</sup>。

#### m. 加工性

熱帯材には炭酸カルシウムが異常に高濃度に存在する場合があります、工具の刃の摩耗に影響を与える  
(8樹種)<sup>81)</sup>。

#### q. 接着性

水酸化ナトリウム、アルコール、ベンゼンなどによる抽出処理はぬれを改良する (熱帯産材8種)<sup>82)</sup>。  
加熱された木材は表面ぬれ (surface wettability) が減少する。この原因は脂肪酸およびそのエステ  
ルの酸化分解にもとづくと考えられる (*Betula lutea*)<sup>83)</sup>。冷水および温水抽出率は接着力に影響を  
もたないが、エーテル抽出率が大きい材ほど接着力は低下する (熱帯産樹種18種)<sup>84)</sup>。冷水および温水抽  
出物の中に、尿素樹脂のゲル化に影響をおよぼす成分が存在し、ほとんどの場合硬化を阻害する傾向が

認められる(南洋材16種)<sup>85)</sup>。シナの水抽出物には尿素樹脂の接着阻害作用が認められる<sup>86)</sup>。タンニン類はフェノール系接着剤の性能を低下させる(マホガニー、アカシヤ、ユーカリ他)<sup>87)</sup>。チーク材の接着障害<sup>88)</sup>。

#### s. 耐薬品性

木材は酸による分解に対してはかなり抵抗性があるが、アルカリに対しては抵抗性はよくない。酸およびアルカリによる分解時の最も大きな化学変化はヘミセルロースの減少である(針葉樹2種と広葉樹11種)<sup>89)</sup>。空気、光、水、アルカリ、酸、塩類の木材におよぼす影響<sup>90)</sup>。

#### t. 耐腐朽・虫害性

(1)耐腐朽性：ヒバ材の精油成分と難腐性との関係<sup>91)</sup>。ヒバ材製油の化学成分の研究<sup>92)</sup>。ヒバの数品種の中で長野県産アスナロのみは耐朽性が劣る<sup>93)</sup>。本邦各地産のヒバ材の精油を比較すると、アスナロ(*Thujaopsis dolabrata*)はヒノキアスナロ(*Thujaopsis dolabrata* var. *hondimakino*)に比べて精油が少ない<sup>94)</sup>。チーク(*Tectona grandis*)の心材中のケト-エノール性を示す中性物質が抗菌性に重要な関係をもっている<sup>95)</sup>。チーク材の耐朽性成分テクトキノンの化学的研究<sup>96)</sup>、ブナ丸太の防虫・防菌<sup>97)</sup>。ユーカリ材のメタノール抽出物中に耐朽性を示す物質が認められる(*Eucalyptus* 9種)<sup>98)</sup>。ユーカリ(*E. grandis*)の耐朽性はポリフェノール化合物の含有量に関係している。ユーカリ(*E. marginata*)の心材の抽出成分は時間の経過とともに減少し、抗菌性もまた低下してゆく<sup>99)</sup>。ユーカリ(*E. marginata*)の耐朽性は心材の部分によって差異があり、心材の外側から髓の方向へむかって次第に減少する。また立地あるいは生長速度と耐朽性との間には明らかな関係は見出されない<sup>100)</sup>。マツの心材成分ピノシルビンの木材腐朽菌に対する抗菌性<sup>101)</sup>。インセンスシダ(*Libocedrus decurrens*)の耐朽性成分(フェノール類)に関する研究<sup>102)</sup>。honey mesquite(*Prosopis juliflora*)の心材にはセルラーゼに対する阻害物質が含まれている<sup>103)</sup>。イスノキの抗菌性物質(d-distylinおよびquercetin)に関する研究<sup>104)</sup>。サワラ材には抗菌性のトロポノイドは存在しない<sup>105)</sup>。イエローバーチ(*Betula alleghansensis*)のガム質が細胞壁に沈着すると微生物に対する防腐作用をあらわす<sup>106)</sup>。カン類の偽心材の耐朽性は心材のそれよりも大きい場合と小さい場合とがある<sup>107)</sup>。涙菌に対する耐朽性を日米針葉樹材について比較を行なうと、アメリカヒノキを除いては米材の方が耐朽性が大きい<sup>108)</sup>。数種の精油成分の木材腐朽菌に対する抗菌性試験<sup>109)</sup>。多数の針葉樹および広葉樹の心材抽出成分の抗菌性およびその樹幹内分布に関する総説<sup>110)</sup>。米国产針葉樹5種の中でベイヒ(*Chamaecyparis nootkatensis*)およびベイスギ(*Thuja plicata*)の耐朽性が大きい<sup>111)</sup>。南洋材24種を耐朽性の大小にもとづいて6区分<sup>112)</sup>。針葉樹(6種)の辺材はたとえばヒバ材であっても一心材と異なって耐朽性は非常に小さい<sup>113)</sup>。多数の針葉樹および広葉樹の腐朽材の化学組成<sup>114)</sup>。心材抽出物の大部分はその1%溶液で抗菌性を示す(18樹種)<sup>115)</sup>。エタノール抽出物の含有量と耐朽性との間に相関関係が認められる。( *Sequoia sempervirens* )<sup>116)</sup>。抽出物含有量と腐朽との関係(12樹種)<sup>117)</sup>。

(2)耐蟻性：ショウナンボク(*Libocedrus macrolepis*)の耐蟻成分として酸類の研究<sup>118)</sup>。チーク材の耐蟻成分ラパコール(ナフトキノ類)の研究<sup>119)</sup>。チーク材の抗蟻成分アントラキノンおよびアンソロ

ンの研究。<sup>120)</sup>チーク材の抗蟻成分アントラキノン類の研究。<sup>121)</sup>イジュ (*Schima liukiuensis*) の抗蟻成分 barrigenol (サポニン類) の研究。<sup>122)</sup>ハリギリの耐蟻成分サポニン類の研究。同報告中にイヌマキ材も耐蟻性をもつという記載がある。<sup>123)</sup>ハリギリの耐蟻成分サポニン類の研究。<sup>124)</sup>モッコクの耐蟻成分 barrigenol の研究。<sup>125-127)</sup>スギの耐蟻成分フェノール類の研究。<sup>128)</sup>パドウク (*Pterocarpus dalbergioides*) 心材の耐蟻成分の研究。<sup>129)</sup>イヌマキの耐蟻成分イヌマキラクトンの研究。<sup>130)</sup>マオウヒバ (*Callitris columellaris*) の耐蟻成分 (l-citronellic acid, eudesmol, azulene, guaiol) の研究。<sup>131) 132)</sup>25種類の木材について抗蟻性試験を行なった結果、その半数に抗蟻性が認められた。<sup>133)</sup>熱帯産広葉樹11種および米国産広葉樹11種に対して害虫 (Cadelle) 侵入抵抗性試験を行なった結果、その約半数が抵抗性を示した。<sup>134)</sup>針葉樹 (8種) の精油中に耐蟻成分を含んでいるものがかかなり認められる。<sup>135)</sup>カヤ心材から4種類の抗蟻成分を単離。<sup>136)</sup>抗蟻性の多い樹種はプロトゾアを減少させる作用がある。(沖縄産材7種)。<sup>137)</sup>ヘツカニガキ (*Adina racemosa*) の殺蟻成分の研究。<sup>138)</sup>

#### u. 塗装性

透明塗装材50樹種について、測色の方法およびその測定結果。<sup>139)</sup>キノンおよびキノイドの構造をとり易いフェノール成分は塗料の乾燥を遅くする。<sup>140)</sup>木材を構成する化学成分の相異によって染色性も異なる。<sup>141)</sup>

#### v. 金属腐蝕性

トロポロン, ポリフェノール, 有機酸などの抽出成分が金属の装置の腐蝕をおこす (*Thuja plicata*, *Pseudotsuga menziesii*, <sup>142)</sup>*Eucalyptus* sp.)。金属キレートを形成する2種類の物質—トロポロン類 (ツャプリシン) およびカテコールとその誘導体 (エラグ酸, カテキン, タンニンなど) はクラフトパルプの蒸解釜の腐蝕を促進する (*Thuja plicata*)。<sup>143)</sup>トロポロン類およびポリフェノール性リグナン類は鋸の歯先のタングステン・カーバイトの腐蝕をひきおこす (*Thuja plicata*)。<sup>144)</sup>

#### 文 献

- 1) 近藤民雄: 農化, 32, 1 (1958)
- 2) P. Coggon et al: *J. Chem. Soc.*, 1965, 406, 1966, 439
- 3) 梅原勝雄, 峯村伸哉: 北林産試月報, No. 5, 5 (1976)
- 4) J. W. W. Morgan, R. J. Orster: *Holzforsch.*, 22, 11 (1968)
- 5) W. Sandermann, F. Schlumbon: *Holz als Roh-u. Werk.*, 20, 245 (1962)
- 6) 荻山紘一, 安江保民: 26回日本木材学会大会要旨, p. 36 (1976)
- 7) 安江保民: 19回日本木材学会大会要旨, p. 259 (1969)
- 8) W. Sandermann et al: *Holz als Roh-u. Werk.*, 20, 285 (1962)
- 9) 近藤民雄他: 木材誌, 2, 221 (1956)
- 10) 近藤民雄他: 農化, 30, 281 (1956)
- 11) 基太村洋子: 林試研報, No. 146, 133 (1962)

- 12) 甲斐勇二：木材誌, 11, 23 (1956)
- 13) 藤岡光長, 高橋憲三：林試研報, No.16, 1 (1918)
- 14) 黒田義正：日林誌, 43, 251 (1961)
- 15) 松山将荘：26回日本木材学会大会要旨, p. 39 (1976)
- 16) 大迫靖雄他：京大演報, No. 44, 159 (1972)
- 17) 川口信隆他：北林産試月報, 1976(5), 11 (1976)
- 18) Y. Hirose *et al* : Tetra hedron Letters, 3665 (1965)
- 19) 今村博之他：木材誌, 14, 295 (1968)
- 20) J. D. Sullivan : *For. Prod. Jour.*, 17(7), 43 (1967), 17(8), 25 (1967)
- 21) N. D. Nelson *et al* : *Wood and Fiber* , 1, 29 (1969)
- 22) C. H. Hiller *et al* : *ibid.* , 3, 38 (1972)
- 23) N. D. Nelson , W. A. Heather : *Holzforsch.* , 26, 54 (1972)
- 24) W. Sandermann , H. H. Dietrichs : *Holz als Roh-u. Werk* , 17, 88 (1959)
- 25) N. Tanaka *et al* : Tetrahedron Letters , 2767 (1966)
- 26) 田中亘江他：木材誌, 12, 289 (1966), 13, 12, 16 (1967)
- 27) 近藤民雄：紙パ技協誌, 26, 499 (1972)
- 28) 今村博之：木材工業, 27, 390 (1972)
- 29) 甲斐勇二：同上, 30, 291, 345 (1975)
- 30) 峯村伸哉：木材工業, 32, 339 (1977)
- 31) 堀池清：木材工業, 32, 93 (1977)
- 32) 安江保民：化学と生物, 8, 340 (1970)
- 33) A. Frey- Wyssling : " Die pflanzliche Zellwand ", Springer- Verlag, Berlin (1959)  
cited from Sarkanen, K. V., Ludvig, C. H. (Ed.) "Lignins", Wiley-Interscience,  
37 (1971)
- 34) A. C. Barefoot : *For. Prod. Jour.* ,15(1), 46 (1965)
- 35) R. F. Luxford : *Jour. Agr. Res.*, 42, 801 (1931)
- 36) H. E. Dadswell , C. F. Hawley : *I. E. C.* , 21, 973 (1929)
- 37) D. G. Arganbright : *Wood and Fiber* ,2 , 367 (1971)
- 38) D. Narayamamurti , G. M. Verma :*Holzforsch. u. Holzverwert.*, 16(3), 51 (1964)
- 39) S. W. Raczkowski : *Holzforsch. u. Holzverwert.* , 20(4), 73 (1968)
- 40) D. Narayamamurti : *Holz als Roh-u. Werk.*, 15, 370 (1957)
- 41) R. W. Erickson , D. J. Sauer :*For. Prod. Jour.* , 19(12), 45 (1969)
- 42) G. A. Cooper : *Wood Sci.* , 6, 380 (1974)

- 43) R. W. Erickson : *For. Prod. Jour.*, 18(6), 49 (1968)
- 44) F. W. Taylor : *Wood Sci.* , 6 , 396 (1974)
- 45) E. F. Choong : *Wood and Fiber* , 1 , 124 (1969)
- 46) W. T. Nearn : Pennsylvania State Univ. School For. Ser., 2 , 37 (1955) [42] による]
- 48) 広瀬敬之他 : 木材誌, 13 , 360 (1967)
- 49) R. G. Lewis *et al.* : Tetrahedron Letters, 401 (1967)
- 50) E. G. Corey *et al.* : *Jour. Amer. Chem. Soc.*, 84, 2611 (1962)
- 51) K. R. Varma *et al.* : Tetrahedron , 21 , 115 (1965)
- 52) B. A. Nagasampagi *et al.* : Tetrahedron Letters 1913 (1968)
- 53) 内田壮 : 日化, 31 , 788 (1927)
- 54) 中塚友一郎, 広瀬敬之 : 日林誌, 37 , 196 (1955)
- 55) D. Zinkel *et al.* : *For. Prod. Jour.*, 20(12), 60 (1969)
- 56) N. Tanaka *et al.* : Tetrahedron Letters, 2767 (1966)
- 57) W. Sandermann , A. W. Barghoorn : *Holzforsch* , 9 , 112 (1955)
- 58) F. E. King *et al.* : *Jour. chem. Soc.* , 1955, 1338
- 59) 石崎達他 : アレルギー, 20 , 504 , 514 (1971)
- 60) 光井庄太郎他 : 同上 , 19 , 182 (1970)
- 61) 城智彦他 : 臨床科学, 6 , 1113 (1970)
- 62) 勝谷隆他 : アレルギー, 15 , 228 (1966)
- 63) 緒方健 : 熱帯林業, No. 20, 46 (1971)
- 64) E. W. Ritchie *et al.* : *Aust. Jour. Chem.* , 18, 2015 (1951)
- 65) J. W. W. Morgan : *Nature* , 207 , 1101 (1965)
- 66) M. H. Simatupang *et al.* : *Holzforsch* , 21 , 89 (1967)
- 67) 今村博之 : 木材工業, 18 , 160 (1963)
- 68) 今村博之 : 同上 , 25 , 201 (1970)
- 69) 近藤民雄 : 同上 , 27 , 371 (1972)
- 70) 安江保民 : 同上 , 26 , 384 (1971)
- 71) ——— : 同上 , 27 , 388 (1972)
- 72) 広瀬敬之 : 同上 , 23 , 511 (1968)
- 73) 科学技術庁資源調査所資料第28号, 「輸入材の化学的組成および加工中に発生する健康阻害に関する基礎資料」, 科学技術庁資源調査所 (1974)
- 74) 善本知孝 : 熱帯林業, No. 49, 9 (1978)
- 75) 林昭三, 貴島恒夫 : 木材研究, 35, 25 (1965)

- 76) W. M. Mckenzie , H. Karpovich : *Wood Sci. and Tech.*, **2** , 139 (1968)
- 77) R. M. Kunudson, A. P. Schniewind : *Wood Sci.*, **5** (2), 153 (1972)
- 78) D. Atack, D. Tabor : *Proc. Royal. Soc. London*, 246 A, 539 (1958)
- 79) A. Venkateswaran : *Wood Sci.*, **5** , 60 (1972)
- 80) ————— : *ibid.*, **5** , 230 (1973)
- 81) W. Sandermann *et al.* : *Holzforsch* **23** , 87 (1965)
- 82) C-M. Chem : *For. Prod. Jour.*, **20** (1), 36 (1970)
- 83) R. W. Hemingway : *TAPPI*, **52**, 2149 (1969)
- 84) 後藤輝男他 : 島根農科大学研報, No. 15 (1967)
- 85) 山岸祥恭他 : 木材工業, **27**(12), 588 (1972)
- 86) 阪口宏司 : 同上, **26**(6), 257 (1971)
- 87) K. F. Plomley *et al.*, *Holzforsch* , **30**(1), 14 (1976)
- 88) 金沢宏他 : 木材誌, **24** , 55 (1978)
- 89) F. F. Wangaard : *For. Prod. Jour.*, **16** (2), 53 (1966)
- 90) F. Kollmann : "Technologie des Holzes", Springer-Verlag, Berlin, p. 265 (1936)
- 91) 内田壮 : 工化, **21** , 501 (1918)
- 92) 川村実平 : 林業試験報告, No. 30, 59 (1930)
- 93) 北島君三 : 林業試験彙報, No. 46, 11 (1938)
- 94) 藤田信夫 : 林試研報, No. 76, 175 (1954)
- 95) P. Rudman : *Holzforsch* , **15** , 151 (1961)
- 96) 加福均三, 瀬辺恵鎧 : 日化, **53** , 366 (1932)
- 97) 林業試験場保護研究班 : 林試研報, No. 120 , 1 (1960)
- 98) P. Rudman : *Holzforsch.* , **15** , 10 (1961)
- 99) P. Rudman : *Holzforsch.* , **17** , 86 (1963)
- 100) P. Rudman : *ibid.* , **18** , 172 (1964)
- 101) H. Erdtman, E. Rennerfelt : *Svensk Papperstidn.* , **47** , 45 (1944)
- 102) 中塚友一郎, 広瀬敬之 : 日林誌, **36** , 280 (1954), **37** , 352 (1955)
- 103) I. S. Goldstein, A. Villarreal : *Wood Sci.*, **5** , 15 (1972)
- 104) 西田屹二他 : 日林誌, **33** , 390 (1951)
- 105) 今村博之 : 林試研報, No. 138 , 1 (1962)
- 106) Z. Koran , Yang. Kung-chi : *Wood Sci.* , **5** (2) (1972)
- 107) 永井行夫 : 林業試験彙報, No. 54, 45 (1943)
- 108) 北島君三 : 同上 , No. 13, 87 (1923)

- 109) 芝本武夫他：日林誌, 43, 87 (1961)
- 110) T. C. Scheffer : *Ann. Rev. phytopathology* , 4 , 147 (1966)
- 111) 北島君三：林業試験彙報, No. 33, 19 (1932)
- 112) 北島君三：林業試験彙報, No. 26, 117 (1932)
- 113) ————：同上, No. 46, 1 (1938)
- 114) 川瀬清：北海道大学演研報, 19(2), 1 (1958)
- 115) P. Rudman : *Holzforsch.* , 19, 57 (1965)
- 116) W. W. Wilcox, D. D. Purto : *Wood and Fiber* , 7 , 240 (1976)
- 117) 吉村貢：三重大農学部学術報告, No. 27, 225 (1963)
- 118) 市川信敬：日化, 53, 353 (1932)
- 119) W. Sandermann *et al* : *Ber.*, 96, 2182 (1963)
- 120) P. Rudman , F. J. Gay : *Holzforsch.* , 15, 117 (1961)
- 121) W. Sandermann *et al.* : *Holz als Roh-u. Werk.* , 24, 190 (1966)
- 122) 高橋利夫他：木材誌, 9, 59 (1963)
- 123) 近藤民雄他：同上, 9, 125 (1963)
- 124) 高橋利夫, 宮崎信：林試研報, No. 143, 177 (1962)
- 125) 佐伯沙子他：木材工業, 21, 307 (1966)
- 126) 佐伯沙子：木材誌, 14, 110 (1968)
- 127) 渡辺則和他：木材誌, 12, 236 (1966)
- 128) T. Kondo *et al.* : *Bull. Agr. Chem. Soc. Jap.*, 23, 233 (1959)
- 129) 北尾弘一郎, 池田俊弥：19回日本木材学会大会研究要旨, p. 257 (1969)
- 130) I. Saeki *et al.* : *Holzforsch.* , 24, 83 (1970)
- 131) P. Rudman : *Holzforsch.* , 19, 52 (1965)
- 132) ———— : *ibid.*, 18, 116 (1964)
- 133) W. Sandermann, H. H. Dietrichs : *Holz als Roh-u Werk.*, 15, 281 (1957)
- 134) L. E. Wise *et al.* : *For. Prod. Jour.*, 2, 237 (1952)
- 135) I. Saeki *et al.* : *Holzforsch.* , 25, 57 (1971)
- 136) 池田俊弥：木材誌, 24, 262 (1978)
- 137) 屋我嗣良：木材誌, 24, 123 (1978)
- 138) ————：同上, 23, 594 (1977)
- 139) 相川光夫他：塗装技術, 14, (10), 122 (1975)
- 140) W. Sandermann *et al.* : *Holz als Roh-u. Werk.*, 18, 63 (1960)
- 141) 基太村洋子, 堀池清：木材誌, 17, 292 (1971)

- 142) J. A. F. Gardner, W. E. Hills : In "Wood extractives", ed. W. E. Hills, Academic Press, p. 388 (1962)
- 143) H. MacLean, J. A. F. Gardner : *Pulp Paper Mag. Can.*, **54**(12), 125 (1953)
- 144) E. Kirbach, S. Chow : *For. Prod. Jour.*, **26** (3), 44 (1976)

## 12. 節と材料としての性質

節はほとんどの木材の用途にたいし欠点となるもので、<sup>1, 11, 12)</sup> 素材、製材はもちろんのこと、ほとんどの加工材の規格において、木材評価の重要な指標となっている。<sup>2-10)</sup> また、節は最終利用時には加工過程で取り除かれる場合（特に広葉樹）が多く、したがって、節と材料としての諸性質間の関連性はかなり限定された範囲にとどまる。

### a. 外観・寸法

節が外観におよぼす影響は節そのものによる場合と節の周辺の繊維の乱れ、樹脂の浸出、あて材、加工時の毛羽立、乾燥にともなう割れの発生など節周辺の材質の不均一による場合とがある。<sup>1, 2, 4)</sup> 一般に、木材は無節の材面が多いものほど価値が高い。<sup>1, 2)</sup> また、死節、腐れ節は生き節より低い等級にランクされる。<sup>3)</sup> 一方、マツ、ヒノキなどでは生節が化粧的に評価される場合がある。（例 knotty pine<sup>1, 4)</sup>）

### b. 強度・比強度

構造部材における節の強度性能に及ぼす影響は著しく、また、各種強度に及ぼす節の影響はそれぞれで異なる。

#### 1) 圧縮強さに及ぼす影響

圧縮強さは一般に節径比の増加にともない減少する。<sup>11) 14) 21)</sup> その減少の程度は少数の小節材で10%、多数の比較的大きい節の材で22%といわれ、<sup>21)</sup> 引張強さほど著しくはない。また、圧縮強さは節径比の増加にともない直線的に減少するもの（Pine, Spruce）と曲線的に減少するもの<sup>21)</sup>とがある。<sup>11, 13)</sup> その際、節の種類によっても影響を受ける。2×4材の長柱圧縮強さと相当節径比（節の断面積/材の断面積）との相関係数として、スギ、-0.03、ベイツガ、-0.55、アカマツ、-0.75、ソ連カラマツ、<sup>14)</sup> -0.82 が示されている。

#### 2) 曲げ強さに及ぼす影響

曲げ強さは節径比、最大節径、節径の合計値が大きくなるほど減少し、<sup>15) 22)</sup> また、荷重点から節までの距離が離れるほど節の影響は小さくなり、また、引張りサイドの節ほど著しい影響を及ぼす。<sup>11)</sup> 有節材の強度低減比は節の部分<sup>15)</sup>を孔とみなし、節径比、節の梁下端よりの位置をパラメーターとして誘導しているが、<sup>16, 17)</sup> この理論値と実験値はほぼ一致するもの<sup>5, 6, 11)</sup>と必ずしも正確とはいえないもの<sup>19)</sup>とがある。集成材用ラミナ（20 mm厚×10cm幅）2×4材について、最大節径比又は集中節径比と曲げ強さあるいは強度比の相関係数として-0.46～-0.85（スギ、エゾマツ、アカマツ、ソ連アカマツ、ベイツガ、



広葉樹4種)<sup>14, 17)</sup>の値が得られている。

### 3) 引張強さに及ぼす影響

引張強さに及ぼす節の影響は他の強度値より著しく<sup>11, 21)</sup>、その減少の程度は少数の小節材で51%、多数の比較的大きい節の材で85%といわれている<sup>21)</sup>。有節材と無節材との強度比は節径比(節径/材径)のみに支配され、節の種類(生節、死節、抜節など)には無関係であるとされている<sup>20) 24)</sup>。また、節の直径と引張強さとの間にはかなり高い負の相関が認められている。(Douglas-fir, 2×8材, -0.82<sup>26)</sup>, European red wood, -0.87<sup>27)</sup>)。これらに対し、うすい試験片で行なった実験から、引張強さは節の種類(生節、死節)により異なることを示唆した報告<sup>25)</sup>もある。

### 4) 曲げ繰り返し

曲げ繰り返し(×10<sup>6</sup> cycle)による強さは無欠点材で初期強さの60%であるのに対し、小節材では50%、小節と繊維傾斜度1:12の材で30%である<sup>23)</sup>。

なお、強度等級は一般に節の種類によって必ずしも明確に区分しがたいとされている。その理由として、節そのものの影響、節と材との繊維のつながり、節周辺の繊維の乱れなどが節の種類でそれぞれ強度値に正負に影響を及ぼすことが上げられている<sup>11)</sup>。また、丸太柱の強度に及ぼす影響は一般に製材品におけるより小さいとされている<sup>11)</sup>。

#### d. 弾性・粘弾性

ヤング係数は各種強度値と同様節による影響は著しい。曲げヤング係数または比ヤング係数と最大節径あるいは集中節径との相関係数として-0.23~-0.76(スギ、エゾマツ、アカマツ、ベイツガ、広葉樹4種、ソ連カラマツ、European red wood)<sup>14, 19, 27)</sup>が示されている。

#### e. 寸度安定性

節そのものの収縮率は節の上部と下部で異なり下部では横断面2方向の収縮率がかなり小さく、繊維方向の収縮率が著しく大きく<sup>29)</sup>あて材の特徴を示すが、節の上部では正常材にかなり近い値を示す(European red pine, Spruce)<sup>28)</sup>。

節を多く含んだ樹冠材部は繊維方向の収縮率が大きく、また、狂いやすい<sup>1)</sup>。また、丸太材面にあらわれる節の面積率が増加すれば、それから採材した角材のねじれ量は増加する傾向が認められている(カラマツ)<sup>30)</sup>。

#### j. 耐摩耗性

節は硬く、節を含んだ材の摩耗は不均一になる<sup>11)</sup>。

#### l. 乾燥適性

乾燥にともない節自身に割れが生じるほか、節周辺の繊維のみだれにより、節を含んだ材は乾燥にともない割れ、狂いが生ずる。また、ベニアではbucklingが生ずる<sup>31)</sup>(Douglas-fir)。節抜けを防ぐためには低めの温度、高めの湿度で乾燥する必要がある<sup>32)</sup>。

#### m. 加工性

製材における挽材能率（挽材材積／作業時間）、送り速度は節の量の増大にともないとも減少する。<sup>33, 34)</sup>

プレーナーによる木材の面仕上げに際し、小節を含んだスギ材では節の周囲に逆目ぼれが発生しやすい。切削条件により逆目ぼれを少なくすることはできるが、反面目違いや毛羽立ちが発生する。<sup>35)</sup>

単板切削に際し硬い節が刃口にはさまることがあり、単板表面に傷をつける。<sup>36)</sup>

#### n. 表面仕上げ特性

生節、死節を含んだ材をオーバーレイした場合、被覆はできるが、節の位置、大きさは表面から識別され、また、表面に樹脂分が浸出したり、小さいふくれを起し欠点となる。<sup>37)</sup>

#### o. 釘打ち適性

Connector joint においては節を制限している。<sup>11)</sup>

#### p. 曲げ木適性

曲げ木用材は節は勿論、節の周辺に生ずる繊維のみだれた材を含んでいても適当でない。<sup>11)</sup>

#### q. 接着性

生節およびその周辺部の接着力は健全部よりも一般に低下する。また、節面積が接着面積にしめる比率の増加にともない接着力は減少し、木破率も減少する。しかし、節面積が10～20%の場合に節の周囲が重硬なあて材となって正常材よりむしろ接着力が高くなる場合もある（スギ、ユリア樹脂）。<sup>38) 39)</sup><sup>40)</sup>

#### u. 塗装性

節は塗装性に悪影響を及ぼす欠点である。生節に塗装する際は塗装後ヤニの浸出を防ぐためフシ止めを行なう必要があり、また、抜節は埋木する。<sup>11)</sup><sup>41)</sup>

### 文 献

- 1) 加納孟：材木の材質，日林協（1973）
- 2) 素材，製材の日本農林規格，農林省告示第1841号，第1892号，（1972）
- 3) 枠組壁工法構造用製材の日本農林規格，農林省告示第600号（1974）
- 4) 集成材の日本農林規格，農林省告示第601号（1974）
- 5) フローリングの日本農林規格，農林省告示第1073号（1974）
- 6) コンクリート型わく用合板の日本農林規格，農林省告示第932号（1967）
- 7) 構造用合板の日本農林規格，農林省告示第1371号（1969）
- 8) 普通合板の日本農林規格，農林省告示第932号（1967）
- 9) 難燃合板の日本農林規格，農林省告示第1869号（1969）
- 10) 特殊合板の日本農林規格，農林省告示第1373号（1969）
- 11) U. S. Department of Agriculture, F. P. L. : Wood Handbook (1974)
- 12) F. Kollmann : W. A. Côté : Principles of Wood Science and Technology I Solid Wood,

Springer-Verlag (1968)

- 13) 森徹：建築学会論文集，5，1 (1937)
- 14) 林試：枠組壁工法のための建築用木材の強度等級区分法確立に関する研究，木材部資料，49—3 (1975)，50—5 (1976)
- 15) 大沢正之，池守信夫：札幌農林学会報，37，1，55 (1946)
- 16) E. Gaber： *Die Bautechnik*，14，5，64 (1936) (12による)
- 17) 森徹：建築学会論文集，13，8 (1939)
- 18) 木方洋二：構造用木材の欠点に関する研究，東大農，木材材料学第一教室 (1966)
- 19) 中村徳孫：宮崎大農演報 6，32 (1972)
- 20) 北原覚一：木材工業，2，8，36 (1947)
- 21) O. Graf： *Mitt. Fachaussch. Holzfragen*，20，Berlin (1938) (12による)
- 22) F. E. Siimes： *Silvae Orbis*，15，60 (1944) (12による)
- 23) F. B. Fuller， T. T. Obery： *J. Aero. Sci.*，10，3，81 (1943)
- 24) 森徹：建築学会論文集，8，1 (1938)
- 25) 佐々木光，満久崇磨：木材研究，28，1 (1962)
- 26) R. H. Kunesh， J. W. Johnson： *F.P. J.*，22，1，32 (1972)
- 27) P. Dawe： *Wood* 29，11，49 (1964)
- 28) J. B. Boutleje： *Proceedings of IUFRO*，S. 41，3 (1965)
- 29) 渡辺治人ら：九大農演報，35，91 (1962)
- 30) 加納孟ら：林試研報，162，1 (1964)
- 31) H. O. Fleischer： *J. of Forestry*，47，533 (1949)
- 32) 林試編：木材工業ハンドブック，丸善 (1972)
- 33) 枝松信之：東大農演習林，7，81 (1949)
- 34) 北村義重，羽田弘：北林時報，47，1 (1943)
- 35) 森稔，星通：林試研報，60，31 (1963)
- 36) 渡辺治人：合板の製造，森北出版 (1962)
- 37) 林試：木材部資料，49—2 (1975)
- 38) 平井信二，福井尚：東大農演報，45，223 (1953)
- 39) 平井信二，堀岡邦典：合板，日合連 (1967)
- 40) 堀岡邦典：林試研報，89，105 (1956)
- 41) 亀井益禎：塗装のデザインと技術，森北出版 (1964)

### 13. あて材と材料としての性質

#### a. 外観・寸法

あて材は一般に偏心生長部に認められるので反対側よりも年輪幅が広がっていることが多い。

〔圧縮あて材〕 材色は正常材より濃い（濃赤褐色ないし濃褐色）。材が淡色の樹種では正常材との差は顕著で容易に検出できるが、<sup>1)</sup>熱帯・亜熱帯の針葉樹（例、*Araucaria* spp.）などで縞模様があたり濃い色の材をもつ場合は検出が困難である。

圧縮あて材が形成された年輪では、一般に早晚材の移行が緩やかとなるが、これは正常材で早晚材の移行の急な樹種で顕著に認められ、正常材で移行の緩やかな樹種ではより明瞭で幅広の晩材層が認められる。<sup>2)</sup>あて材部の外観は<sup>1)</sup>lifeless, nonlustrous, <sup>3)</sup>dead appearanceなどと表現されている。薄い円盤に光を透過させると圧縮あて材部は濃く見え、<sup>4)5)</sup>検出が容易となる。しかし、オーストラリア産の<sup>6)</sup>*Araucaria* や *Agathis* の材では濃い着色により透過性の差が不顕著である。

〔引張あて材〕 一般に毛羽立ち（wooly, fuzzy grain）、銀白色にみえる。また、絹糸状光沢をもつ、<sup>9)</sup>とも表現されている。この特徴は生材で鋸断したとき特に著しい。一方、正常材よりも濃色で角質状（horny）にみえる場合もある。<sup>8) 10)</sup>これは熱帯産、オーストラリア産のある樹種、<sup>6)</sup>日本産のヤマナラシ、ニレ属、クワ属、クス属、ヤマナシ、サワラ属、カエデ属などの材で報告されている。<sup>10)</sup>しかし、このような色調の差異には切削の方法と切削加工時の含水率とが関連するようで、ブナおよびミズナラのあて材の横断面は生材時鋸断すると絹糸状光沢を示すが鉋削するとその光沢は消失し、気乾状態で鉋削した場合は正常材よりも濃色に見え、縦断面では絹糸状光沢は生材時鋸断、生材時・気乾時鉋削で明瞭、<sup>9)</sup>気乾時鋸断で不明瞭であったと報告されている。

#### b. 強度・比強度

〔圧縮あて材〕 縦圧縮強度、<sup>10) 11) 12)</sup>曲げ強度は生材では正常材よりもあて材の方が大きいとする報告が多いが、<sup>11)</sup>気乾材ではその差が小さく、正常材の方が大きい場合も報告されている。あて材は含水率減少に伴う強度増加が<sup>1) 12)</sup>少ない。縦引張強度は生材・気乾材ともあて材の値が<sup>11) 13) 14)</sup>小さい。その他の強度についての測定結果は少ないが、ヒバの気乾材について、割裂強度では大きな差はなく、かたさは木口、板目、まさ目ともあて材の値が<sup>13)</sup>著しく大きい。比強度は生材の縦圧縮の場合を除いて一般にあて材の値が<sup>11-16)</sup>小さい。

〔引張あて材〕 縦圧縮強度、<sup>14)</sup>同比強度は生材・気乾材ともあて材の値が小さい。横圧縮強度、曲げ強度、せん断強度についても同様であろう。<sup>14)</sup>縦引張強度は生材ではあて材の値が小さいが、<sup>17) 18)</sup>気乾材では著しく大きい。<sup>18)</sup>*Populus regan. gr.* では65%も大きい値が得られた。一般に含水率の減少による強度の増加は引張あて材の方が<sup>19)</sup>大きい。引張あて材のかたさはすべての面で<sup>20)</sup>小さい（*Betula* spp.）

#### c. 衝撃強度

ヒバの気乾材の衝撃曲げ強度では正常材よりもあて材の方が<sup>13)</sup>小さい。

#### d. 弾性・粘弾性

〔圧縮あて材〕 繊維方向ヤング率では生材、<sup>11) 14) 15) 21) 22)</sup>気乾材とも一般にあて材が正常材よりも小さい。

比ヤング率ではその違いがさらに著しい。あて材仮道管壁の縦引張ヤング率は早材のそれよりも小さい<sup>23)</sup>。また、あて材の縦引張の比例限ひずみは小さく、破壊ひずみは大きい<sup>23)</sup>。靱性では、特に生材においてあて材の方が大きい例がしばしば報告されている<sup>11) 24)</sup>。せん断弾性係数はあて材の値が大きい<sup>21)</sup>。ポアソン比 ( $\mu_{LT}$ ,  $\mu_{LR}$ ) もあて材の値が大きい<sup>16)</sup>。粘弾性について、スギのあて材は緩和率が大きく、比緩和弾性率が小さいと報告されている<sup>25)</sup>。

〔引張あて材〕 ヤマナラシ、ヤチダモの気乾材ではあて材の繊維方向ヤング率は正常材のそれよりも大きい<sup>21)</sup>。しかし、Eastern cotton wood (*Populus deltoides*) のあて材のヤング率は平均値ではやや大きい<sup>26)</sup>が、高比重域では正常材の方が大きい<sup>26)</sup>、Sugar maple (*Acer saccharum*) では生材、気乾材ともあて材の方が小さい<sup>19)</sup>、カナダ産数種において平均値はあて材の方がやや小さいが差は有意義でない<sup>27)</sup>、などの報告がある。靱性では生材、気乾材とも一般に引張あて材の方が大きく、Quaking aspen (*Populus tremuloides*) の生材では60%、気乾材では40%大きい<sup>27)</sup>。しかし *Fagus sylvatica* では生材、気乾材ともほとんど差が認められなかった<sup>28)</sup>。せん断弾性係数には大きな違いはない<sup>21)</sup>。

#### e. 寸度安定性

〔圧縮あて材〕 繊維方向収縮率  $\alpha_l$  が大きく、よく発達したあて材では正常材のその約10倍<sup>14)</sup>、6~7%に達するものもあるとされている<sup>3)</sup>。しかし、接線方向収縮率  $\alpha_t$  および放射方向の収縮率  $\alpha_r$  は正常材より小さく、体積収縮率  $\alpha_v$  も小さい<sup>1) 10) 29)</sup>。トドマツのあて材の  $\alpha_v$  は 7.1 %で、引張側の材の 11.57% より著しく小さく、また、容積密度 0.35 ~ 0.40 以上では容積密度の増大とともに漸減する傾向が認められている<sup>30)</sup>。

圧縮あて材の収縮の特異性は  $S_2$  のフィブリル傾角の大きいことで説明されているが、Radiata pine (*Pinus radiata*) で同じフィブリル傾角をもつ試料で比較した結果でもあて材の  $\alpha_l$  は正常材のそれより1%ぐらい小さく、 $\alpha_l$  はフィブリル傾角 20°~25° の範囲で同じで、傾角が大きくなるとあて材の方が大きくなり、40°であて材3%、正常材晩材1%となっている<sup>31)</sup>。また、Loblolly pine (*Pinus taeda*) では、あて材の  $S_2$  のフィブリル傾角 38°~42° で、 $\alpha_l$  は1~9%、正常材ならびに opposite wood のフィブリル傾角 42°~46° で  $\alpha_l$  は 0.5 ~ 1.5 % と報告されている<sup>32)</sup>。このように  $\alpha_l$  の高いことについて、正常材よりも厚い  $S_1$  の影響が指摘されている<sup>33)</sup>。

〔引張あて材〕 圧縮あて材ほどではないが、 $\alpha_l$  が大きい。正常材の2~3倍で、0.6~0.7%までの数値を示す報告が多い<sup>8) 14)</sup>が、オーストラリア材で1.5%<sup>6)</sup>、Eastern cotton wood で正常材の5倍<sup>34)</sup>、ポプラで1.28%<sup>35)</sup>、などの高い値も報告されている。このような高い収縮率はゼラチン層の存在によるものでなく、 $S_2$  (正常材よりフィブリル傾角が大)<sup>36)</sup>、あるいは  $S_1$  の影響が指摘されている<sup>14) 33)</sup>。横方向収縮率は正常材とあまり差がない<sup>35)</sup>。 $\alpha_t$  は一般にやや大きいといわれるが、反対の結果もある<sup>8) 14)</sup>。 $\alpha_v$  は正常材よりも大きい例<sup>20)</sup>、と小さい例<sup>22)</sup>、とが報告されており、その差は小さい<sup>37)</sup>。

### g. 音響的性質

圧縮あて材は比重が大きく、繊維方向ヤング率は低く内部摩擦  $Q^{-1}$  が大きく音響的性質は劣る。<sup>38)</sup> 一方、クルミとカツラのあて材は正常材より比重、ヤング率が大きく  $Q^{-1}$  が小さいが、その差は少ない。<sup>38)</sup>

### i. 浸透性

*Pseudotsuga Douglasii* の圧縮あて材、*Populus alba* の引張あて材はどちらも正常材よりも一定量の水の透過に要する時間が長い。(それぞれ 1.8 倍、2.1 倍)<sup>39)</sup>、蒸散流の通導においても針葉樹・広葉樹ともあて材の部分で水の上昇が少ない、<sup>10)</sup> *Betula* spp. の引張あて材は吸水速度、放射方向への透過性、全吸水量などが小さい、<sup>20)</sup> などの報告がある。

### k. 電気・放射線の伝導性

リグニン含有率が高くなると誘電率が減少し、<sup>40)</sup> また、セルロース材料の誘電率は高いから、<sup>41)</sup> リグニン含有率の高い圧縮あて材、セルロース含有率の高い引張あて材の誘電率は正常材のそれと異なることが推測される。

### l. 乾燥適性

〔圧縮あて材〕 繊維方向収縮率  $\alpha_l$  が大きいので乾燥に際し圧縮あて材を含む材は曲り、ねじれ、割れなどを生じやすく、時にはあて材部を横断する引張破断が生ずる。<sup>1) 14)</sup>

〔引張あて材〕 同様に  $\alpha_l$  が大きく、狂いや割れの原因となるばかりでなく、人工乾燥中落ち込みを生じやすく、また、その回復が困難とされている。<sup>8) 42)</sup> Eastern cotton wood のあて材を含む材は人工乾燥中に曲り bowing と落ち込みが著しく生ずるが、それらの多くは引張あて材の存在と関係があり、割れもあて材部に多い。<sup>43)</sup> California black oak (*Quercus kelloggii*) では、あて材を含む材の64%に乾燥損傷が生じ、crook 48%、end split 11%、bow 6%であった。<sup>7)</sup>

### m. 加工性

〔圧縮あて材〕 高比重のためそれだけ切削抵抗は大となり、加工は困難となる。さらにあて材には著しい応力を発生している場合が多く、鋸身を締付けたり、材の曲り、割れなどの原因となる。<sup>1) 44)</sup>

〔引張あて材〕 鋸断、鉋削、単板切削に際して毛羽立ちを生じ、それが刃物に対する著しい抵抗になる。乾燥して加工すると毛羽立ちが減少するが、やはり正常材より切削は困難で、工具を早く摩耗させる。<sup>8) 42)</sup> 圧縮あて材の場合と同様に強い応力が発生していて、鋸断時の締付けと挽道のつまり (clogging) により鋸身が過熱されセットが失われ、鋸の寿命が短くなる。<sup>28)</sup> 一方、Beechの旋作加工では引張あて材の方がよい面があると報告されている。<sup>45)</sup>

### n. 表面加工性

〔圧縮あて材〕 単板切削面は平滑である。<sup>46)</sup>

〔引張あて材〕 鋸断面、鉋削面が粗で毛羽立ちが著しい。繊維の突出が表面から  $\frac{1}{4} \sim \frac{3}{4}$  インチに達することもある。<sup>47)</sup> 毛羽立ちは乾燥材でも生じ、特に逆目のときはひどい毛羽立ちと逆目ばれを生じ、<sup>48)</sup> 順目のときは目違いを生じる。また、chip mark は引張あて材部がやや多いが、正常材との差は有意

義でない<sup>43)</sup>とされている。

#### o. 釘打ち

圧縮あて材は高比重のため釘打ちが困難<sup>1)</sup>で、釘保持能も低い<sup>49)</sup>とされている。引張あて材については不明。

#### q. 接着性

スギをユリア樹脂で接着した試験で、比重の大きい圧縮あて材部の接着力は正常材より高い値を示した<sup>50)</sup>。

#### t. 耐腐朽・虫害性

リグニン沈着の多い壁層は腐朽菌の侵害を遅らせたり障壁となるから<sup>51) 52)</sup>、圧縮あて材における異常なりグニン分布は腐朽の進行のパターンに影響すると考えられる。一方、引張あて材のゼラチン繊維の未木化の壁層は褐色腐朽菌や或る種のバクテリアによって完全に消失<sup>52)</sup>することが示されている。

#### 文 献

- 1) A. J. Low : *For. Abstr.* 25(3) xxxv (1964)
- 2) H. A. Core, W. A. Côté, Jr., and A. C. Day : *For. Prod. J.*, 11, 356 (1961)
- 3) W. A. Côté, Jr. and A. C. Day : Cellular Ultrastructure of Woody Plants, W. A. Côté, Jr. ed., Syracuse Univ. Press, N. Y., P. 391 (1965)
- 4) M. Y. Pillow : *J. For.*, 39, 385 (1941) [1] による]
- 5) TAPPI STANDARD T20m-59
- 6) H. E. Dadswell, and A. B. Wardrop : *Aust. For.*, 13, 22 (1949) [1] による]
- 7) H. E. Wahlgren : U. S. For. Prod. Lab. Rept. No. 2106 (1958)
- 8) J. F. Hughes : *For. Abstr.*, 26, 2, 179 (1966)
- 9) 重松頼生 : 信大演報, No. 12, 17 (1975)
- 10) 尾中文彦 : 木材研究, No. 1, 1 (1949)
- 11) M. Y. Pillow, and R. F. Luxford : U. S. Dep. Agr. Tech. Bull. No. 546 (1937)  
[14] による]
- 12) 矢沢亀吉, 深沢和三 : 岐大農研究報告, No. 17, 70 (1956)
- 13) 森三郎 : 林業試験報告, No. 33, 35 (1933)
- 14) A. J. Panshin, and C. De Zeeuw : Textbook of Wood Technology, Vol. 1, 3rd ed., McGraw-Hill, N. Y. P. 288 (1970)
- 15) 酒田金治, 佐伯浩 : 鳥大演報, No. 3, 47 (1961)
- 16) 上田恒司, 飯島泰男, 横山隆 : 北大演報, 29(2), 327 (1972)
- 17) H. von Pechmann : *Holz Roh-u. Werk.*, 11, 361 (1953)

- 18) W. Klauditz, und I. Stolley : *Holzforschung* , 9 , 5 (1955)
- 19) A. A. Marra : Unpublished thesis, Dept. Wood Tech., N. Y. State College of Forestry, Syracuse. N. Y. (1937) [ 8 ) による]
- 20) P. J. Ollinmaa : *Acta for. fenn.*, 64 , 1955 (1956) [ 8 ) による]
- 21) 上田恒司 : 北大演報, 30 (2), 379 (1973)
- 22) 松本勗 : 木材誌, 7 , 90 (1961)
- 23) 鈴木正治 : 林試研報, No. 212 , 89 (1968)
- 24) E. Perem : *For. Prod. J.*, 8 , 235 (1958)
- 25) 中川洋介, 伏谷賢美, 蕪木自輔 : 東農工大演報, No. 13, 13 (1976)
- 26) L. E. Lassen : *For. Prod. J.* , 9 , 116 (1959)
- 27) J. D. Hale, E. Perem, and L. P. Clermont : Pap. 13th Congr. I. U. F. R. O. Vienna (1961) [ 8 ) による]
- 28) S. H. Clarke : Spec. Rep. For. Prod. Res. Lond. No. 5 [ 8 ) による]
- 29) 中野達夫 : 京都大学学位論文 (1976)
- 30) 蕪木自輔 : 林試研報, No. 52, 53 (1952)
- 31) J. M. Harris, and B. A. Meylan : *Holzforschung* , 19 , 144 (1965)
- 32) T. E. Wooten, A. C. Barefoot, and D. D. Nicholas : *ibid* , 21 , 168 (1967)
- 33) J. D. Boyd : *Wood Sci. Tech.*, 11 , 3 (1977)
- 34) V. Akins and M. Y. Pillow : *Proc. For. Prod. Res. Soc.*, 4 , 245 (1950)
- 35) 太田貞明 : 第26回日本木材学会大会研究発表要旨, 49 (1976)
- 36) H. Norberg and H. Meier : *Holzforschung* , 20 , 174 (1966)
- 37) A. Marra : Thesis, N. Y. State College of Forestry (1942) [ 14 ) による]
- 38) 深田栄一 : 日本音響学会誌, 7 , 49 (1951)
- 39) P. Jaccard, and A. Frey : *Jahrbücher für Wissenschaftliche Botanik, Leipzig* 68 , 844 (1928) [ 10 ) による]
- 40) A. Venkateswaran : *Wood and Fiber* , 6 , 46 (1974)
- 41) M. Norimoto : *Wood Research* , No. 59/60, 106 (1976).
- 42) H. E. Dadswell, and A. B. Wardrop : *Holzforschung* , 9 , 97 (1955)
- 43) W. P. Clark : *For. Prod. J.* , 8 , 109 (1958)
- 44) B. F. Wilson, R. R. Acher : *Ann. Rev. Plant Physiol* , 28 , 23 (1977)
- 45) S. H. Clark : *Forestry* , 11 , 85 (1937) [ 8 ) による]
- 46) J. F. Lutz : U. S. D. A. For. Serv. Res. Paper FPL 150 (1971)
- 47) Forest Products Lab. : U. S. For. Prod. Lab. Rept. No. 2044 (1959)



- 48) M. Y. Pillow : Rep. U. S. For. Prod. Lab. No. R, 1943 (1953)  
 49) A. H. Westing : *Bot. Rev.*, **31**, 381 (1965)  
 50) 堀岡邦典 : 林試研報, No. 89, 105 (1956)  
 51) W. W. Wilcox : *Bot. Rev.*, **36**, 1 (1970)  
 52) W. Liese : *Ann. Rev. Phytopath.*, **8**, 231 (1970)

#### 14. 割れ, もめと材料としての性質

ここでとり上げた割れは立木の生育中に木部に生ずるものに限った。しかしこの割れを造材ないし製材時に発生する割れと区別できない場合もあろう。すなわち生育中よりあった割れが造材, 製材時に拡大することもある。このような意味より造材時に樹幹の生長応力によって発生する丸太木口の割れについても一部とり上げた。

##### a. 外観・寸法

##### 割れ

〔霜割れ〕霜割れは樹皮および材部に半径方向に裂目状に発生し, 針葉樹より広葉樹に発生が多いといわれている。<sup>1)2)</sup>

霜割れは治ゆ組織によって裂傷部を閉鎖されるが, その部分が再度割れる傾向がある。これがたび重なるとう樹皮に大小の縦の裂痕をのこす, 傷口が完全に閉鎖せず樹脂の膠着する状態のものを霜腫 : Frost-Leisten, Frost rib といい, へび下り等の俗称がある。霜割れの小さい場合はこぶを生じる。さらにゆ合が完全閉鎖し, 木部に包蔵された後も, その影響により樹幹部に突出部の生じているものを霜膨 : Frost-Ballen と称する。<sup>3)</sup>

霜割れは樹幹の外周部において縦に長い裂目, 横断面において外部から内部に向うくさび状の割れ目となるが, 発生後数年経たものは樹幹の外表面では裂け目をはさむ隆起した線状突起, 横断面では割れ目をはさむくちばし状の突起となることが多い。<sup>4)5)</sup> 霜腫状態であろう。

発生が多くみられるトドマツにおいては発生は材部の水食い材に多くみられ, 水食い材との関連において発生原因が論じられている。<sup>7)8)</sup> そして目回り, 水食い材が連関的に発達し数ヶの半径割れを生じ, 年輪は霜腫状に隆起し, 割れをつつんでゆ着組織の脂条, 不斉年輪をのこす。入皮をのこす場合もあり, 腐朽の進行をたすけ, 心ぬけ状を呈するにいたるものもある。<sup>8)</sup>

霜割れは地上 0.5 ~ 数 m (1.0 ~ 3.0 m) の間に発生することが多いが, 樹幹のはるか上部に発生することも少なくない。<sup>4)</sup>

針葉樹ではトドマツに発生が多い。広葉樹ではヤチダモ, シナノキ, アサダ, ハンノキ, ニレ類, ナラ類, イタヤカエデ類, カバ類<sup>4)</sup> またドロノキ,<sup>9)</sup> サクラ<sup>1)</sup> と広範囲に発生する。

発生が多くみられるトドマツについては立木の15%に発生したとの報告<sup>4)</sup>があり, それら霜割れの材の

径級との関係について、一般に直径の大きいほど霜割れの木の比率は著しく大きくなるとされる。そして霜割れの長さは30 cm くらいから 10 m に達するものまでであるが一般には 1 m 前後のものが多く 0.5 ~ 3.0 m の間に大部分が含まれる。<sup>4)</sup>

一方同様に発生が多くみられるドロノキでは、立木の56%に霜割れがみられたが径級による差は不明であった。<sup>9)</sup>

〔風裂〕風によるモミの心割れは一見判別し難いほど細かく、顕著な変色を伴わない。<sup>10)</sup>

風害地の調査についてトドマツでは樹皮の外観にあらわれる割れと樹皮の下側の材の割れとは長さが一致するが、エゾマツでは樹皮外観の割れよりも樹皮下材面の割れが著しく長い場合が多い。<sup>11)</sup>

〔目回り〕輪裂とも称される。樹幹内部の内外の木材層が年輪にそって分離するために生じた裂け目で、強風による動揺や樹幹内の不均一な収縮、霜割れのために生ずるものとされる。

トドマツでは霜割れによって発達した目回りは樹皮に不規則ならせん状の傷痕をのこし、小さな縦裂を伴い、樹皮は粗となる。目回りは春材部に生じ、これを中心として数年輪に輪状の水食い材が発達する。また樹心部においては年輪被圧部と正常部との境界近くに目回りの発達することが多い。この場合は年輪被圧部に小脂条が多く散在し、目回りが年輪界に発生する脂条に併起されることが少なくない。<sup>8)</sup>

また目回りは晩材細胞の細胞間層にそって分離がおきるとされる。<sup>12)</sup>

〔心割れ〕放射組織にそった割れで、とくに星割れと呼ばれるものは髓から放射状に発達したものである。Quercus など大きな放射組織をもつ広葉樹や過熟材、根株材に多く、造材、製材、乾燥にともない拡大するのが普通である。<sup>13) 2)</sup>

また通常心割れは伐倒、造材時に発生するものが多い。<sup>16) 17) 18)</sup>これには造材、製材方法により発生する部分もあるが、樹種的な内部応力（成長応力）の大小によるものが多いと思われる。心割れの大小を樹種別等でとりあげたものがある。<sup>13) 14) 15) 25)</sup>また造材された原木における心割れ、目回りの拡大の追跡調査がなされている。<sup>19)</sup>

トドマツの立木の調査において心割れ（心裂）のゆ着にあたってしばしば入皮をとめない、傷害組織のできることがあると報告されている。しかしこのような材も立木時の外観上は顕著な形態的特徴を示さない場合が多い。<sup>8)</sup>

〔その他の割れ〕干ばつによる割れが年輪形成の終期にあらわれた。被害をうけやすい樹種はシトカスプルース、欧州トウヒ、ダグラスファー、ノーブルファー、グランドファー、ウエスタンヘムロック、日本カラマツ、欧州カラマツで、樹令20~50年、樹高30~70ftの部分にでやすい。外観は正常である。亀裂は1~10ft長さの左廻りのらせん状で外部に向かって開口している。この亀裂は外側の年輪を強くまきこみ、年輪幅の広い、低比重の材におきやすい。また立地の土壌条件の影響もうけるといわれる。<sup>26)</sup>

〔もめ〕生立木におけるもめの部分は発生後新しい組織でおおわれたり、樹心部に存在したりするので外側からは認め難い。放射断面ではもめの部分の外側に、それをおおうようにしてあて材様の組織が認められることが多い。<sup>20)</sup>

長期にわたる縦圧縮力が原因となって細胞を横切る微細な剪断破壊を生ずるにいたる。すなわち細胞壁の繊維軸に対し $30\sim 45^\circ$ のSlip lineを生じ隣接の細胞を貫いて広がる。細胞のこの破壊は微細であり通常の顕微鏡では認め難いが、偏光顕微鏡により認めやすい。ある種の広葉樹にはこのSlip lineが多く、材の中央部において発達し脆心材をなしている。このような微細な細胞の破壊をともなう材が長期荷重をうけると、破壊は広がって可視的な大きさとなり、繊維に直角なものとなり、もめといわれる。積雪、風、成長応力などが原因と考えられる。

風害をうけ樹幹内にもめをもったFichteの立木の5年後の調査において樹幹の風下側にこぶが認められた。こぶはしばしばもめを内包していた。もめは樹幹半径の中点まで、またしばしば $\frac{2}{3}$ をこえるところまであり、こぶはもめの発生方向に従って樹幹軸に対し $45^\circ$ の方向に斜にのびており、 $40\sim 50\text{cm}$ の間隔に生じ、ときにはもっと密に生じた。

同様なもめがPinus, Picea属のあるものについて観察され、 $60^\circ$ の角度で樹幹周囲に斜に円周の $\frac{1}{3}$ をとりまいて出現した。半径方向に $5\text{mm}\sim 15\text{mm}$ の深さまで生じ、樹脂嚢、あて、傷害組織が形成され種々の程度のこぶをもっている。

しかし日本における風害残立木の調査ではこのようなこぶは特に認められなかった。

風害木のもめの分布調査の結果、もめが節と関連して出ることが多く、特に死節との関係が大きいことが知られた。節と無関係に生じるもめは割合に浅い。また木口断面積の半分以上に達する被害木も多く、三日月形に樹皮にそってでるものは少なく、逆に中心に向って凸の形にひろがっているものが多い。

また風害により立木は風下側でもめ、風上側で横割れを生ずる。しかし実際には風により振動的にふられるので、いずれの側にももめが現われるし、いずれの側にも横割れ状態がみられる。

またこれらとは別に材の中央部に繊維方向にそったかなり長い割れが散見された。これははなはだしもまれ方により、材の中央部での独立の破壊が生じたものと解された。

風害による中析木、根返木にはもめが普通に存在し、残立木にもかなりの高い確率で出現するものと思われる。

丸太外観からのもめの判別は不可能である。また製材挽肌での検出も著しく困難である。

## b. 強度・比強度

もめは細胞の破壊であるため強さは低下し、破壊は必ずこの部分より生ずる。具体的な数値を求めたものは少ないが、エゾマツ、トドマツについてももめの程度により80%、70%、50%と破壊強さが夫々低下するが、比例限強さは夫々それほど低下しないとの中間発表がなされている。

## c. 衝撃強度

もめは強さのうち特に衝撃抵抗を著しく低下させる。

### i. 浸透性

もめの検出のために材面に四塩化炭素を適用したり、デラフィールド・ヘマトキシリンによる染色がなされたりし、良好な成績を上げている。

文 献

- 1) 貴島恒夫他：“原色木材図鑑” 保育社 p. 162 (1962)
- 2) 山林暹：“木材組織学（改訂版）” 森北出版 p. 208, p. 216 (1962)
- 3) 三好東一：帝林試報 II(3), 119 (1934)
- 4) 大沢正之, 石田茂雄：木材工業, 2(10), 4 (1947)
- 5) 石田茂雄：北大演習林報告, 17(2), 473 (1955)
- 6) 石田茂雄：北大演習林報告, 15(2), 303 (1952)
- 7) 石田茂雄：北大演習林報告, 22(2), 273 (1963)
- 8) 加納孟, 蕪木自輔：林試研報, 61, 64 (1953)
- 9) 加納孟：林試研報, 90, 37, 40 (1956)
- 10) 寺沢謙蔵：昭和13年林学会講演集, 390 (1939)
- 11) 平井信二：北海道の風害森林に関する総合調査報告書, 日林協, 5, (1957)
- 12) R. W. Meyer and L. Leney : *F. P. J.* 18(2), 51 (1968)
- 13) 林試木材部・林産化学部：林試研報, 277, 9 (1975)
- 14) 川村恵洋, 継田視明, 渡辺雄三：新大演習林報告, 4, 45 (1970)
- 15) 木方洋二：木材工業, 29, 111, 202 (1974)
- 16) V. Wilhermy and H. Kübler : *Wood Sci.*, 6, 136 (1973)
- 17) H. Kübler and T. H. Chen : *F. P. J.* 24, 57 (1974)
- 18) V. Tantichaiboriboon and R. D. Cook : *Wood Sci. Technol.*, 11, 305 (1977)
- 19) C. Lepitre, A. Mariaux : *Bois et Forêt des Tropiques* 104, 31, 119, 13, 128, 55 (1965, 68, 69)
- 20) 島地謙, 須藤彰司, 原田浩：“木材の組織” 森北出版 p. 228 (1976)
- 21) A. J. Panshin and C. de Zeeuw : “Textbook of Wood Technol.” I McGraw-Hill, p. 282 (Third Edition) (1952)
- 22) R. Treudelenburg : *Holz als R. u. W.* 3, 209 (1940)
- 23) F. Mergen and H. I. Winer : *J. Forestry* 50, 677 (1952)
- 24) 井阪三郎：林試研報, 111, 183 (1959)
- 25) 木方洋二：熱帯林業, 50, 5 (1978)
- 26) W. A. Day (中野抄訳)：北方林業 8(6), 131 (1956)
- 27) 白沢保美：林学会誌, 22, 1 (1924)
- 28) 林試：未発表

## 15. 傷害組織と材料としての性質

傷害組織を材料としての性質との関連でとりあげている文献は非常に少なく、多くは欠点の一つとしての一般的な記載、あるいは、これらの組織の解剖学的性質、またはその生因などについて述べているにすぎない。

そこで、ここでは、まず前者に該当する文献<sup>1)~11)</sup>を挙げ、次いで、後者の立場でまとめられている文献<sup>1), 10)~45)</sup>についても参考のため列記する。なお、後者には、本調査の材質指標の項目からは除かれている傷害樹脂道、傷害柔組織について記載しているものも含まれている。また、文献2)は、15. 傷害組織、18. 生物害の両指標にまたがると考えられるが、これらのいずれにも項目としてはとりあげられていないので、一応ここでとりあげておくことにする。

### a. 外観・寸法

針葉樹製材の日本農林規格において、ひき割類、正角、平角でやにつばが極軽微、軽微、顕著でないものをそれぞれ特等、1等、2等としている。<sup>1)</sup>

スギ (*Cryptomeria japonica*) のコブ病による被害材の心材色は著しく暗色を呈する。<sup>2)</sup>

### b. 強度・比強度

pitch pocket が小さく、数が限られている場合には構造用材では影響が少ないので、stress grading においても無視できる。しかし、多数ある場合には、そこで材が裂けたり弱くなったりする。<sup>3)</sup>

### d. 弾性・粘弾性

Jelutong (*Dyera costulata*) で latex shake を持つものは曲げ強さが5%さがる。<sup>4)</sup>

Jarrah (*Eucalyptus marginata*) で gum vein, pocket が曲げ強さに及ぼす影響はこれまで仮定していたものより大きかった。<sup>5)</sup>

スギのコブ病による被害材部は健全材と比較して曲げ強さ、曲げ弾性係数が $\frac{1}{3}$ 、圧縮強さ、圧縮弾性係数が $\frac{1}{2}$ に低下する。<sup>2)</sup>

### e. 寸度安定性

スギのコブ病による被害材部の収縮率は健全材と比較して、繊維方向は10倍、板目方向は2倍、まさ目方向はむしろ小であった。<sup>2)</sup>

### i. 浸透性

Yellow birch (*Betula alleghaniensis*) で gum の分泌はパルプ薬液、防腐剤の浸透をさまたげる。<sup>6), 7)</sup>

### l. 乾燥適性

Yellow birch で gum の deposition が乾燥に影響する。<sup>6), 8)</sup>

Southern pine (樹種名の記載なし) を乾燥した際、pitch の集積した付近の材部に肉眼で認めうる

ほどの割れが発生した。<sup>9)</sup>

#### n. 表面仕上げ特性

Apitong ( *Dipterocarpus grandiflorus* ) で、製材、乾燥後に材表面ににじみ出る gum は表面処理に困難さを増す。一方、ある種の木材では乾燥により gum、resin が固化するので表面へのしみ出しの危険性は減少する。<sup>10)</sup>

#### s. 耐薬品性

Yellow birch で gum の分泌はパルプの漂白に影響を及ぼす。<sup>6) 7)</sup>

White birch ( *Betula papyrifera* ) で、 gum、 gum 状物質はパルプの漂白を困難にする。<sup>11)</sup>

#### u. 塗装性

Apitong で、製材、乾燥後に材表面ににじみ出る gum は塗装に困難さを増す。<sup>10)</sup>

### 文 献

- 1) 林業試験場：“木材工業ハンドブック” 丸善， p. 944 (1973)
- 2) 小野寺重男ほか4名：北林産試月報， 14(157)， 7 (1965)
- 3) Forest products Laboratory：“Wood Handbook”；Agric. Handbook， No. 72， F. P. L. U. S. Dep. Agric.， 6-3 (1974)
- 4) W. C. Ngok：*Malay Forester*， 20， 3， 165 (1957)
- 5) N. H. Kloot and K. B. Schuster：Div. For. Prod. Technol. Pap. For. Prod. Aust.， 2， 8 (1958) [F. A.， 20， 311 (1959)]
- 6) Z. Koran and K. C. Yang：*Wood Sci.*， 5， 95 (1972)
- 7) W. E. Hillis and A. Carle：J. Aust. Pulp and paper Indus. Techn. Assoc.， 13， 2， 74 (1959) [Wood Sci.， 5， 101 (1972)]
- 8) M. Y. Cech：*F. P. J.*， 21， 2， 41 (1971)
- 9) P. Koch and W. L. Wellfold, Jr.：*ibid.*， 27， 5， 39 (1977)
- 10) H. E. Desch：“Timber, Its Structure and Properties”， 2nd ed.， Macmillan & Co. Ltd.， London， p.35, 155 (1948)
- 11) W. A. Côté, Jr. and R. Marton：*TAPPI*， 45， 1， 46 (1962)
- 12) A. De. Carvalho：“Defeitos da Madeira. 1 Parte”， Estudos e Divulgação Técnica， Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas， Lisbon (1957) [F. A.， 20， 474 (1959)]
- 13) E. S. Chavchavadze：*Lesnol. Zhurnal*， 16 (6)， 165 (1973) [F. A.， 35， 690 (1974)]
- 14) N. C. Clifton：*New Zealand J. For.*， 14， 1， 38 (1969)
- 15) F. W. Cobb：*Naval Stores Rev.*， 67， 9， 4 (1957)

- 16) D. J. Cown : *New Zealand J. For.* **18** 2, 233 (1973)
- 17) F. P. L. : "Wood Handbook", *Agric. Handbook*, No. 72, F. P. L. U. S. Dep. Agric., p. 4—31, 6—3, 23—5, 23—7 (1974)
- 18) A. Frey-Wissling : *Schweiz. Z. Forstw.*, **93**, 101 (1942)
- 19) A. Frey-Wissling : *ibid.*, **97**, 112 (1946)
- 20) A. Frey-Wissling : "The Formation of Resin Pockets", *New Zealand For. Service*, Wellington (1963) [F. A., 25, 648 (1964)]
- 21) C. Glerum and J. L. Farrar : *Canadian J. Bot.*, **44**, 879 (1966)
- 22) F. W. Jane : "The Structure of Wood", Adam & Charles Black Ltd., London, p. 102 (1956)
- 23) B., K. : *Holz-Zbl.*, **85**, 15, 177 (1959) [F. A., 20, 648 (1959)]
- 24) H. Knuchel : "Holz-fehler", 2nd ed., Buchdruckerei Böhler and Co., Bern (1940) [F. A., 7, 483 (1945)]
- 25) F. P. Kollmann and W. A. Côté, Jr. : "Principles of Wood Science and Technology, I, Solid Wood", Springer-Verlag, Berlin, p. 87 (1968)
- 26) E. König : "Fehler des Holzes", *Holz-Zentralblatt Verlags-GmbH.*, Stuttgart, p. 152 177 (1957)
- 27) V. E. Moskaleva : "O Smoljanyh Karmaškah", *Fiziko-mehaničeskie svoïstva drevesiny*, Goslesbumizdat, Moscow and Leningrad, p. 117 (1953) [F. A., 16, 582 (1955)]
- 28) J. S. Murray : *Scot. For.*, **12** 2, 70 (1958) [F. A., 19, 545 (1958)]
- 29) A. J. Panshin and C. De Zeeuw : "Textbook of Wood Technology, Vol. 1", 3rd ed., McGraw-Hill Book Co., New York, p. 169, 185, 311, 659 (1970)
- 30) R. Trendelenburg : "Das Holz als Rohstoff", 2 Aufl., Carl Hanser Verlag, München, p. 65, 75, 116, 461, 486 (1955)
- 31) G. Tsoumis : "Wood as Raw Material", Pergamon Press, London, p. 168 (1968)
- 32) 遠藤泰造, 土井恭次 : *北方林業*, **23**, 196 (1971)
- 33) 遠藤泰造, 土井恭次 : *林学会道支部講演集*, 21, 83 (1972)
- 34) 平井信二, 北原覚一 : "木材理学", 朝倉書店, p. 10 (1953)
- 35) 猪野俊平 : "植物組織学", 内田老鶴圃, p. 374 (1954)
- 36) 川名明, 土井雅子, 本山芳裕 : *林学会誌*, **55**, 202 (1973)
- 37) 川名明, 土井雅子, 本山芳裕 : *同上*, **56**, 16 (1974)
- 38) 松崎清一 : *同上*, **54**, 287 (1972)
- 39) 大沢正之 : "木材の欠点", 大沢正之先生退職記念会, p. 9, 25 (1959)

- 40) 関谷文彦：“木材の解剖的性質”，朝倉書店，p. 154 (1948)
- 41) 島地謙：“木材解剖図説”地球社，p. 17 (1964)
- 42) 島地謙，長塚耀一：第20回木材学会大会研究発表要旨集，p. 59 (1970)
- 43) 島地謙，須藤彰司，原田浩：“木材の組織”，森北出版，p. 188 (1976)
- 44) 渡辺全：林業試験報告，32，農林省林業試験場 (1933)
- 45) 山林暹：“木材組織学”，森北出版，p. 113，179，219 (1964)

## 16. 脆心と材料としての性質

### a. 外観・寸法

鋸断された丸太の横断面における中心部分で，健全材部に比べて光沢がなく，繊維が破壊されてささくれだっており，また板の縦断面では毛羽立ちや“もめ”が認められる。

材片を折ったとき破壊面がほとんどささくれだたずに平面に近い。脆心材をマセレーションすると繊維が切れているものの出現率が高い。

色は健全材に比べて一般に淡色であるが，赤身の *Shorea* では差異がない。

出現形は横断面では必ずしも円形ではなく，むしろ不規則な形を示すことが多い。樹幹内での脆心材は一般に根際部分から上部に向かって減少し，円錐形を示しているが，上部で最も範囲が広いものも認められている。

樹幹下部の横断面における脆心材の占める割合は樹種によって異なりフィリッピン産のフタバガキ科で0.34～24.21%，インドネシアのメランチで0.7～28.5%，レッドラワン (*Shorea negrosensis*) で約11%，*Shorea parvifolia*，*Shorea leprosula* で約12%，*Shorea parvifolia* で平均15%。また直径によっても異なるが，同一樹種では直径の大きいものほど脆心の出現率が高い。

### b. 強度・比強度

Meranti bapa (*Shorea* sp.) の縦引張強度 (Kgw/cm<sup>2</sup>) は脆心材 254，正常材 877，縦圧縮強度はそれぞれ，318，358であり，Red meranti (*Shorea* sp.) の曲げ強度 (Kgw/cm<sup>2</sup>) は脆心材 385，正常材 698，せん断強度 (CLT Kgw/cm<sup>2</sup>) は脆心材 63.3，正常材 77.8 であり，正常材に対する脆心材の強度値の比は 0.29～0.89 であった。

強度は健全材に比べかなり劣り，*Pterocarpus* でも健全材に比べて曲げ強度 58.9%，縦圧縮強度 67.5%，かたさ (H<sub>Bc</sub>) 55.6%，同 (H<sub>Br</sub>) 61.3% を示す。

比強度では脆心部の比重が小さいため縦引張強度を除いてはあまり低下していない。

### c. 衝撃強度

衝撃曲げ強さは健全材に比べて極めて小さく，Meranti bapa では正常材 12.2 (Kgw・cm/cm<sup>2</sup>)，脆心材 2.88 (同)，その比は 0.24 で，Karri (*Eucalyptus diversicolor*) では 50% ないしそれ以



<sup>13)</sup>下, Shorea sp., Terminalia (Terminalia sp.), Geronggang (Cratoxylon sp.) では10~30%, Meranti (Shorea spp.) では20~60%, また Meranti bapa の形質商は正常材の38%。

#### d. 弾性・粘弾性

比例限度力が小さく, はなはだしい場合にはS-S diagramの直線部が見られない<sup>2)</sup>。ヤング率はMeranti bapaの $E_t$ で $58.3 \times 10^3 \text{Kgw/cm}^2$ , Red merantiの $E_b$ では77.0%,と80.0%, またニューギニア産Pterocarpusの $E_b$ では58.9%と小さい<sup>16)</sup>。  
Eucalyptus robustaの靱性は正常材に比べ26.6~29.0%<sup>9), 17)</sup>。

#### e. 寸度安定性

一般に落込みが大きい。収縮率は健全材と比べて差が見られないものと大きい傾向が見られたものがある<sup>6)</sup>。

### 文 献

- 1) H. J. Burgess : Res. Pamphlet No. 28, F. R. I of Malaya (1960)
- 2) H. E. Dadswell, and I. Langlands : J. Council Sci. and Ind. Res., 7, 190 (1934)
- 3) H. E. Dadswell, and I. Langlands : Empire Forestry J., 17, 58 (1938)
- 4) J. M. Dinwoodie : J. Inst. Wood Sci. 51, 3 (1971)
- 5) F. P. R. I. of Philippine : F. P. R. I. Tec. Note 66 (1965)
- 6) 岡野健 : 木材工業, 28, 100 (1973)
- 7) B. J. Rendle : Empire Forestry J., 15, 182 (1936)
- 8) 塩倉高義, 小林純 : 木材工業, 30, 549 (1975)
- 9) R. G. Skolman : Wood Sci., 6, 22 (1973)
- 10) 須藤彰司 : 南洋材, 地球出版 (1970)
- 11) 筒本卓造, 中野達夫, 唐沢仁志 : 南洋材の材質と加工性, 日本林業技術協会 (1975)
- 12) 須川豊伸 : 林試報告, 234, 9 (1971)
- 13) 太田正光, 岡野健 : 木材誌, 23, 1 (1977)
- 14) 平井信二, 岡野健, 太田正光 : 第23回日本木材学会大会研究発表要旨, 168 (1973)
- 15) 岡野健 : 第24回日本木材学会大会研究発表要旨 264 (1974)
- 16) 平井信二 : 東大演習林報告, 33, 1 (1944)
- 17) R. G. Skolmen and C. C. Gerhards : F. P. J., 14, 549 (1964)
- 18) 塩倉高義 : 第26回日本木材学会大会研究発表要旨, 41 (1976)
- 19) A. J. Vincent : The Malayan Forester, 20, 82 (1957)
- 20) A. V. Thomas : The Malayan Forester, 17, 151

### 17. 変色・汚染と材料としての性質

生立木中のものを除いて、伐採された後の木材において、何らかの外的要因によって本来の色調が変化することを変色または汚染と定義する。変色とは外的な侵入物がなくて、自然状態のまま木材中の成分の化学的变化によるものをいう。また、汚染とは主として菌類と薬品による変色など外的侵入物によって起された変色をいう。変色の多くは表面的な変化が多い。汚染は内部まで及ぶことが多く、木材の諸性質に影響を与える場合がある。

#### a. 外観・寸法

木材の変色・汚染によって、外観はいちじるしい変化を与える。使用目的によっては、材料としての価値を急激に低下させる場合も考えられる。ただ、変色のなかには落付いた色調になるとか、美しいべっこう色になるなど、好ましい変色もある。

木材は光にあると、ほとんどの樹種が変色する。木材の色、<sup>2) 3)</sup>発色団、<sup>4)</sup>光化学分解、<sup>5)</sup>抽出成分による光変色、<sup>6)</sup>など多くの報告がある。<sup>7)</sup>木材成分のうち、セルロースとヘミセルロースは可視光を吸収しない。リグニンは構造的な要因も加って可視光を吸収する。また、波長範囲、300 ~ 390 nmの光は木材成分の変化に大きく寄与し、材の色を暗色化させる。波長範囲、390 ~ 500 nmの可視光は心材を黄変させ、<sup>8)</sup>辺材を明色化させる。580 nm以上では変色にほとんど寄与しない。<sup>9)</sup>

木材の汚染に関与する菌類は、大体2群に分けられる。一つは子のう菌類や不完全菌類などに属するもので、材表面のうすい層のみに繁殖して、汚染させるものと、他の一つは担子菌類に属する木材腐朽菌や、子のう菌類に属する木材変色菌や軟腐朽菌などで、菌糸が内部深くまで侵入する能力をもち、材表面のみでなく内部まで汚染させるものがある。

菌による汚染には、菌自身が生産する色素によるものと、菌自身が分泌する酵素や、その他代謝産物によって木材成分が分解されたり、<sup>11)</sup>化学変化をきたして変色させられる場合がある。<sup>12) 13)</sup>

木材腐朽菌でも、腐朽の初期段階においては、リグニンを主として分解する菌によると黄白色に変色し、セルロースを主として分解する菌によると淡褐色を呈するようになる。<sup>12)</sup>これらの菌の場合、この初期段階までは汚染と考えるが、それ以上進行したものは“くされ”と称して分けて考える。

木材は金属接触、酸、アルカリ、塩類などの水溶液の浸透により汚染される。なかでも、鉄の付着による汚染が多い。<sup>7)</sup>

木材の一般的性質としては菌による汚染は辺材に多く、心材に少ないが、<sup>14) 15)</sup>光、酸化、金属による汚染は心材の方が顕著である。<sup>7)</sup>

#### b. 強度・比強度

菌による汚染の場合、強度に大きな影響を与え、外見の変化は小さくても、強度低下が大きい場合が

<sup>16)</sup>  
ある。

青変材は硬度と衝撃強度以外の強度減少は非常に小さい<sup>17)</sup>。また、ChapmanとSchefferによればマツの青変材の比重の1～2%の減少は表面硬度の2～10%、曲げと横圧縮の1～5%、剛性の15～30%をそれぞれ減少させる<sup>18)</sup>。

菌による汚染を受けた広葉樹では、剛性以外の強度をわずかに減少させ<sup>19)</sup>、熱帯産広葉樹では曲げ強度を20%、剛性を43%、比重を12%それぞれ減少させた<sup>20)</sup>。

#### c. 衝撃強度

菌により汚染した木材は衝撃強度による低下が最も顕著にあらわれる<sup>17)</sup>。

#### i. 浸透性

青変材は健全材に比べて、侵入した菌糸によって細胞壁の壁孔に開孔部が作られて、そのため浸透性が多少向上する。しかし、野外にある材は、雨天の際には、雨水を吸収し易いため、薬剤の浸透を阻害する要因となる<sup>17), 21)</sup>。

#### l. 乾燥適性

青変材は乾燥時間をわずかに減少させる。ただ平衡含水率はほとんど差がない<sup>22)</sup>。

#### p. 曲げ木適性

青変材が曲げ剛性に影響を与えるということが、b.の項目で説明したので、当然この性質にも大きな影響を及ぼすものと考えられるが、そのような比較実験を行った資料は発表されていない。

#### q. 接着性

菌により汚染された材は材質劣化するとともに、木材中のPHを変化させる。とくにアルカリ性になっている場合がありうる。そのため接着剤によっては硬化不良の原因となり、接着力の低下をきたすこともある。ただ、この場合、接着力の低下なのか、材質劣化のためなのか両者が重なって表れるため、明確な結果を示す資料は少ない<sup>23)</sup>。

#### t. 耐腐朽・耐虫害性

菌による汚染を受けたものは吸水性が増し、ぬれ易くなるため、健全材に比べれば材内部における菌の発育は早く、また、分解力旺盛な木材腐朽菌の侵入を促進させ耐腐朽性を低下させる<sup>17)</sup>。

ただ、南方産広葉樹などでん粉の多い辺材部を食害するヒラタキクイムシに対する抵抗性は、菌の侵入によって、でん粉が分解されて減少していれば、その虫に対する抵抗性は増大するはずであるが、そのような報告はない。

#### v. 金属腐蝕性

青変材の吸湿性が高いということ、菌の種類によっては材のPHを下げることもあるため、鉄くぎなどの腐蝕を促進させることはたしかであるが、そのような報告はない。

## 文 献

- 1) 大迫靖雄, 堤利夫, 野淵正, 森田学 : 京大演習林報告, 44号, 159 (1972)
- 2) 近藤民雄 : 木材工業, 12, 555 (1957)
- 3) 甲斐勇二 : 木材工業, 30, 291, 345 (1975)
- 4) 近藤民雄 : 紙パ技協誌, 26, 499 (1972)
- 5) 善本知孝 : 木材誌, 18, 49 (1972)
- 6) 今村博之 : 木材工業, 25, 201 (1970)
- 7) 堀池清 : 木材工業, 32, 93, 149 (1977)
- 8) J. Pew : TAPPI, 54, 245 (1971)
- 9) 梅原勝雄, 峯村伸哉 : 林産試月報 5, 5 (1976)
- 10) 基太村洋子, 近藤民雄 : 木材誌 4, 51 (1958)
- 11) 柴田承二 : 科学, 26, 391 (1956)
- 12) 香山疆 : 木材誌 1, 1 (1955)
- 13) 青島清雄, 林康夫 : 林試集報 64, 83 (1952)
- 14) 松岡昭四郎 : 木材工業 29, 496 (1974)
- 15) 青島清雄 : 木材工業 30, 504 (1975)
- 16) 築地録太郎 : 木材工業 7, 112 (1952)
- 17) D. D. Nicholas : Wood Deterioration and its Prevention by Preservative Treatments  
Volume I Syracuse Univ. Press. 73 (1973)
- 18) A. D. Chapman and T. C. Scheffer : J. Agr. Res. 61, 125 (1940)
- 19) R. N. Campbell : Southern Lumberman, 199, 115 (1959)
- 20) K. St. G. Cartwright and W. P. K. Findlay : Decay of Timber and its Prevention,  
H. M. Stationary Office, London (1958)
- 21) R. M. Lindgren and T. C. Scheffer : Proc. Am. Wood-Preservers' Assoc, 35, 325  
(1939)
- 22) T. C. Scheffer and R. M. Lindgren : USDA, Tech. Bull. No. 714 (1940)
- 23) 平井信二, 福井尚, 柴原三郎 : 東大演習林報告 44, 123 (1953)

## 18. 生物害と材料としての性質

### a. 外観・寸法

腐朽菌により木材は変色し, その色によって褐色腐朽, 白色腐朽などと呼ばれることはよく知られて<sup>1)~6)</sup>いる。褐色腐朽は褐色方形腐れ, 白色腐朽は白色孔腐れになる。<sup>1)</sup>帯線は初期腐朽段階に現われ, 材はわ

ずかに変色し光沢を失う。<sup>3) 5)</sup>軟腐朽菌による変化は褐色腐朽に似ているが、<sup>7)</sup>くすんだ褐色または青灰色になり、乾燥すると亀裂を生じる。<sup>8)</sup>重量減少が20%以上になると収縮は増加するし、<sup>9)</sup>膨張も著しく大きくなる。<sup>10)</sup>

キクイムシ類による穿孔<sup>3) 11) ~ 15)</sup>は種類によって穿孔の大きさが異なり、木理に平行なものと垂直なものがある。<sup>3)</sup>北洋材や米材では樹皮と形成層とに孔道がある種類が多く、南洋材では木部まで穿孔している。<sup>11)</sup>また南洋材では幼虫が辺材の内部にいて外部から見えにくいものがある。<sup>15)</sup>

ラワン材のミミズとして知られる欠点は、それが生長輪に平行に出現することから、形成層の傷害によるものと考えられる。傷害の原因はカミキリムシ科あるいはタムムシ科の幼虫の食害あるいは穿孔虫のうちの beetles<sup>17)</sup>による。

カバ材におけるピスフレックは樹心から外方に向うほど多く、樹木の基部から樹梢に行くほど少なく分布し、板目面では1m<sup>2</sup>に800~850個出現する。<sup>18)</sup>チリ産 Coigue 材のピスフレックは Agromygid-  
ae の幼虫によるもので、<sup>19)</sup>晩材部に多く出現する。

シロアリの加害については一般によく知られているように、シロアリが光を避ける習性があるので、<sup>20) ~ 22)</sup>外観は不変でも内部を空洞にしている。合板では表面から食害することもあるが、削片板は側面侵食が多い。<sup>23)</sup>すなわち密度の小さいところから侵食を始める。<sup>3)</sup>

海虫による食害は水面下にある材に対して認められ、表面はごく小さい孔でも内部を大きく食害している<sup>3) 24)</sup>ので表面から見付けにくい。

## b. 強度・比強度

木材は腐朽により重量減少をするとともに強度が低下することはよく知られている。<sup>25) 26) 27)</sup>これは菌の種類にかかわらず、またバクテリアにおいても認められる事実である。<sup>3) 28)</sup>水中貯木をした場合、強度低下が生じるのもこのためである。<sup>29)</sup>腐朽が肉眼で識別できるようになればその強度は0に近く、肉眼的に判別できない程度でも、すでに50~70%の強度低下がある。<sup>30)</sup>一方ワタグサレタケで腐朽したトドマツ材で、局部的に変色していたが、重量減少が1%までのものでは強度の変化はなく、30~44%の重量になると強度は96.5%まで減少した。<sup>31)</sup>他方重量減少が1%でも強度に大きい影響が現われ、同程度の重量減少を示した試片では白色腐朽材より褐色腐朽材の強度減少が少なかった。<sup>32)</sup>しかし強度に対する影響は、概して褐色腐朽の方が白色腐朽より大きい。<sup>3) 33) 34)</sup>強度の減少は組織の切断、<sup>35)</sup>セルロースの加水分解、<sup>32)</sup>セルロース鎖の切断<sup>33)</sup>に起因する。局部的に腐朽させて健全材と引張強度を比較すると、わずかに低下を認めたものの、有意差はなかったが、健全材にも穿孔が認められた。<sup>36)</sup>5種の褐色腐朽菌と3種の白色腐朽菌による実験結果から、一つの仮道管に一つの穿孔がある程度の腐朽では靱性は低下しない。ただ剛性をもって腐朽材の強度表示をするのは不適である。<sup>3)</sup>ヤツバキクイムシによる枯損木は、枯損した直後には健全材と強度において大差はないが、枯損後の経過年数と圧縮・曲げ強度の関係実験式を求めると、ほぼ年数に比例して減少する。<sup>38)</sup>数年経過した時点で、縦圧縮強度は69%、曲げ強度は56%減少した。<sup>39)</sup>

### c. 衝撃強度

腐朽材では強度の中でもとくに衝撃強度の低下が大きい。<sup>26) 35) 40) ~ 45)</sup>他の強度に比べ早く影響が現われ、<sup>44)</sup>ついで静的曲げ強度、圧縮強度、硬度である。<sup>45)</sup>腐朽による材の脆弱化で局部的に応力集中が生じるためである。<sup>42)</sup>白色腐朽より褐色腐朽において低下率は大きく、<sup>43)</sup>侵された細胞の数に応じて<sup>41)</sup>いる。

防腐のために薬剤を注入した材は、未処理材に比べるとわずかに衝撃強度が低下した。<sup>46)</sup>

### d. 弾性・粘弾性

腐朽のごく初期でもリグニンと炭水化物の結合が切れると靱性は低下し、<sup>47)</sup>白い斑点が現われるとただちに影響される。<sup>48)</sup>また弾性係数は減少し、減衰能は増加した。<sup>49)</sup>同じ重量減少では靱性の変化は白色腐朽と褐色腐朽とで相違なく、<sup>50)</sup>他の強度に比して衝撃強度とともに影響を受けやすかった。<sup>44)</sup>数ヶ月スプリングリングすることによって10%の靱性減少をみた。<sup>51)</sup>

### f. 熱的性質・燃焼性

腐朽材は比重が小さくなるため容積当りの熱量は健全材に比して減少するが、全乾重量当りの熱量は健全材と大きな差はない。<sup>52)</sup>

### g. 音響的性質

腐朽により内部に空洞が生じ、比重が小さくなり、音がにごる。<sup>4)</sup>

### i. 浸透性

腐朽の進んだ材は吸湿性も吸水性も健全材に比して大きくなる。<sup>3) 44) 53) 54) 55)</sup>低湿度では逆の現象になるが、<sup>53)</sup>断続的に水を浸漬するとかなり高含水率を保持しやすい。<sup>44)</sup>孔隙が増加するので浸透が増え、水分が多くなって腐朽がより進行する。<sup>3)</sup>

バクテリアによっても浸透性が大きくなる。<sup>40) 56) ~ 60)</sup>バクテリアが壁孔壁を攻撃して通路を拡大するためである。<sup>57) 58) 60)</sup>放射組織も<sup>57)</sup>放射方向の浸透性を大きくする。<sup>40)</sup>しかし辺材の浸透性は大きくするが、心材ではそれほどでもない。バクテリアにも浸透性に影響するもの<sup>40)</sup>としないもの<sup>40)</sup>があり、*Pinus radiata* 心材の浸透性を増加させた種類もある。<sup>57)</sup>水中貯木によって材の注人性を改良したり、<sup>61)</sup>浸透性が高くなる<sup>29)</sup>のはバクテリアの作用によるものである。

### k. 電気・放射線の伝導性

組織の密度が小さくなっているため放射線の透過性が大きくなる。<sup>62)</sup>この性質を利用して材質変化を電氣的に求められる。<sup>63)</sup>

### l. 乾燥適性

褐色腐朽材を乾燥すると落込みを生ずるが、白色腐朽材ではそれ程収縮しない。<sup>3)</sup>

### m. 加工性

ロータリー切削などベニア工業に対してバクテリアは木材の強度低下や浸透性を大きくするため影響を及ぼす。<sup>29)</sup>

#### t. 耐腐朽・虫害性

菌害と虫害との相互間には誘引作用のあるものと拮抗作用のあるものがある。軟腐朽菌と腐朽菌との間にも拮抗阻害作用があり、たとえば *Trichoderma viride* の生育した Birch 材には木材腐朽菌の侵入が阻止された<sup>64)</sup>。ブナ材を土中に埋め軟腐朽菌で侵した材に対するキクイムシの発育が調べられた<sup>65)</sup>。シロアリに対しては菌によって誘引物質を有するものがあり<sup>66)</sup>、あらかじめ地中に埋めて軟腐朽菌に侵された材はシロアリに対して弱かった。海洋菌に侵された材は海虫による被害を受けやすい<sup>68) 69)</sup>。

#### 文 献

- 1) 原口隆英：木材工業，30(11)，495 (1975)
- 2) 梶田茂編：木材工学，養賢堂，(1961)
- 3) D. D. Nicholas ed.：Wood Deterioration and its Prevention by Preservative Treatment, vol. 1, Syracuse Univ. Press, (1973)
- 4) 林業試験編：木材工業ハンドブック，丸善，(1958)
- 5) 坂巻菊治：木材工業，3(5)，35 (1948)
- 6) 杉原彦一ほか4名：基礎木材工学，フタバ書店，(1973)
- 7) W. P. K. Findlay and J. G. Savory：Proc. Inter. Bot. Cong. 7, 315 (1950)
- 8) 西本孝一，高橋旨象：木材工業，30(11)，500 (1975)
- 9) E. R. Toole：F. P. J.，20(6)，51 (1970)
- 10) J. Wazny：Holz als R. u. W., 17, 427 (1959)
- 11) 川崎倫一：木材工業，24(8)，362 (1969)
- 12) 野淵輝：木材工業，31(3)，94 (1976)
- 13) 野淵輝：同上，32(5)，231 (1977)
- 14) 野淵輝：同上，32(6)，278 (1977)
- 15) 布村昭男：同上，29(11)，512 (1974)
- 16) 小林弥一：林試研報，No. 134, 149 (1961)
- 17) G. N. Arneson：F. P. J. 13, 149 (1963)
- 18) A. L. Sin'kevič：Nanč. Trud. Leningr. Lesoteh. Akad., No 110 (1968)
- 19) W. Knigge and A. Bonnemann：Holz als R. u. W., 27, 224 (1969)
- 20) 河村肇：木材工業，9(10)，449 (1954)
- 21) 小杉孝蔵：同上，32(7)，327 (1977)
- 22) 田村隆：同上，5(2)，66 (1950)
- 23) H. Schmidt：Holz als R. u. W., 12, 44 (1954)
- 24) 馬渡静夫：木材工業，17(4)，194 (1962)

- 25) 浅野猪久夫, 藤井正道 : 木材工業, 8 (3), 118 (1953)
- 26) C. G. Duncan : Forest Prod. Lab., Rep. No. 2173 (1960)
- 27) 十代田三郎 : 建築論 (1938)
- 28) K. Seifert : *Holz als R. u. W.*, 26, 208 (1968)
- 29) J. F. Lutz, C. G. Duncan and T. C. Scheffer : *F. P. J.*, 16 (8), 23 (1966)
- 30) 十代田三郎 : 木材工業, 7 (11), 494 (1952)
- 31) 阿部豊 : 北林指研報, 2 (49), (1952)
- 32) R. Kennedy : *F. P. J.*, 8 (10), 308 (1958)
- 33) 福田清春, 原口隆英 : 東農工大演報, 11号, 25 (1974)
- 34) 原口隆英 : 木材工業, 30 (11), 495 (1975)
- 35) St. G. Cartwright *et al.* : Proc. Roy. Soc. B., 120, 76 (1936)
- 36) W. W. Wilcox and B. J. Garcia : *Wood Sci. Tec.*, 2, 115 (1968)
- 37) A. M. Waterman and J. R. Hausbrough : *F. P. J.*, 7 (2), 77 (1957)
- 38) 矢沢亀吉 : 木材工業, 10 (6), 261 (1955)
- 39) 矢沢亀吉 : 日林誌, 23, 39 (1941)
- 40) J. Bauch, W. Liese and H. Berndt : *Holzforschung*, 24, 199 (1970)
- 41) W. Liese : *Holz als R. u. W.*, 22, 455 (1964)
- 42) D. Narayamamurti : *Holz als R. u. W.*, 9, 334 (1951)
- 43) H. V. Pechmann and O. Schaile : *Forstwiss. Zbl.*, 69, 441 (1950)
- 44) T. C. Scheffer : Bull. U. S. D. A. Tech. Bull. No. 527 (1936)
- 45) J. Wazng : *Holz als R. u. W.*, 16, 285 (1958)
- 46) H. V. Pechmann und H. V. Aufsess : *Holz als R. u. W.*, 26, 454 (1968)
- 47) B. Henningsson : Studia Forestalia Suecia, No. 41 (1967)
- 48) H. Mayer-Wagelin : *Holz als R. u. W.*, 11, 175 (1953)
- 49) D. Narayamamurti and D. Jain : *Composite Wood*, 1 (3), 70 (1953)
- 50) D. B. Richard : *J. For.*, 52, 260 (1954)
- 51) H. W. Scheld : *F. P. J.*, 21 (4), 33 (1971)
- 52) 伊藤一雄 : 木材腐朽, 朝倉書店, (1953)
- 53) A. Buro : *Holz als R. u. W.*, 12, 258 (1954)
- 54) 逸見武雄, 赤井重恭 : 木材腐朽菌学, 朝倉書店, (1945)
- 55) 中村忠雄 : 信大農学報, 2号, 13 (1952)
- 56) E. L. Ellwood and B. A. Ecklund : *F. P. J.*, 9 (9) 283 (1959)
- 57) H. Greaves : *Holzforschung*, 24, 6 (1970)



- 58) B. R. Johnson and L. R. Gjorik : *A. W. P. A.* 66, 234 (1970)
- 59) D. T. Knuth and E. Mc Coy : *F. P. J.*, 12(9) 437 (1962)
- 60) W. Liese and G. Karnop : *Holz als R. u. W.*, 26, 202 (1968)
- 61) 土居修一, 布村昭夫 : *木材工業*, 30(11), 522 (1975)
- 62) 飯塚徳義 : *東大演報*, 52, 143 (1956)
- 63) J. S. Methershead and S. S. Stacey : Proc. 2nd Symp. on Nondestructive Testing of Wood, 307, Washington (1965)
- 64) J. K. Shields : *F. P. J.*, 13, 262 (1963)
- 65) J. D. Bletchly : *Timber Tech.*, 67, 295 (1959)
- 66) A. E. Lund : *Holz u. Organismen*, 1, 497 (1965)
- 67) W. O. Schulz and M. Riewendt : *Material u. Organismen*, 2(2), 109 (1967)
- 68) S. P. Meyers and E. S. Reynolds : *Science*, 126, 969 (1957)
- 69) D. L. Ray : *A. W. P. A.*, 55, 147 (1959)





