

## 材木育種にむけての材質指標としてのスギ仮道管孔 口角

西村, 正徳  
ニチハ(株)

小田, 一幸  
九州大学大学院

松村, 順司  
九州大学大学院

松永, 浩史  
九州大学大学院

<https://doi.org/10.15017/14847>

---

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 84, pp.51-58, 2003-03-27. 九州大学農学部附属演習林  
バージョン :  
権利関係 :

論文

## 林木育種にむけての材質指標としてのスギ仮道管孔口角\*

西村 正徳\*\*・小田 一幸\*\*\*・松村 順司\*\*\*・松永 浩史\*\*\*

### 抄 録

林木育種に当って晩材仮道管接線壁に存在する有縁壁孔の孔口角が材質指標になり得るか否かをスギを用いて検討した。まず、無欠点小試験体で曲げ試験を行い、孔口角と曲げヤング率および比曲げヤング率との関係を調べた。この結果、孔口角と曲げヤング率および比曲げヤング率との間には0.1%水準で有意な負の相関関係が存在し、孔口角は簡便なヤング率指標として利用できる可能性が確かめられた。次に、孔口角の樹幹放射方向の変動を観察した。すべての供試木で孔口角は髓付近で大きく、年輪数の増加に伴って減少し、15年輪目付近からほぼ安定した。しかも、孔口角が髓付近で大きかったものは放射方向の全年輪をとおして孔口角が大きい値で推移し、小さかったものは小さい値で推移する傾向を示した。そこで、未成熟材の各年輪の孔口角と成熟材の孔口角との間の相関係数を算出すると、髓から3年輪目ですでに20年輪目の孔口角との間に0.1%水準で有意な相関関係が存在した。このことから、初期成長の段階の孔口角から成木に達したときの孔口角が予測できると推測された。

**キーワード** : 林木育種, 材質指標, ミクロフィブリル傾角, 孔口角, ヤング率

**簡略表題** : 材質指標としてのスギ仮道管孔口角

---

\*NISHIMURA, M., Oda, K., MATSUMURA, J. and MATSUNAGA, H. : Pit Aperture Angle of Sugi (*Cryptomeria japonica*) Tracheid as an Index of Wood Quality for Forest Tree Breeding.

\*\*ニチハ(株)

Nichiha Corporation, Nagoya 455-8550

\*\*\*九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門

Division of Forest and Forest Products Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581

## 1. はじめに

林木育種は、林地生産性の増加、木材材質の向上、耐寒・耐虫性などの各種抵抗性の増強を目標に実施されるが、草本植物とは異なり樹木を対象にしているため、検定結果を得るまでに長期間を要している。このため、林木育種の実務場面では、早期検定が要求され、初期成長の段階で将来の性質を精度良く予測する手法の確立が急がれている。

ところで、木材への物理的・力学的刺激の応答は、単位体積当りの細胞壁実質量と細胞壁の質とに大きく左右される。比重あるいは密度が細胞壁実質量の指標であり、マイクロフィブリル傾角（以下MFAという）が細胞壁の質を表す指標であろう。したがって、MFAは材質指標の1つと考えられている。そして、樹幹内における二次壁中層のMFAについては、髄からの年輪数が増加するにつれて減少しその後安定すること、樹幹内でのヤング率の変動は比重とMFAでほぼ説明できること、髄から10～20年輪までのヤング率の変動はMFAの変化の影響が大きいこと、MFAは肥大成長量の影響をほとんど受けない遺伝形質である可能性が高いこと、などが報告されている（平川・藤澤, 1995）。これらのことから、幼齢時のMFAと成木に達したときのMFAとの間に相関関係が存在するならば、初期成長の段階でMFAが小さいものを選び増殖することによって、ヤング率が大きい木材の生産が可能と考えることもできる。しかし、髄からの年輪数の増加に伴って減少するMFAの変化の度合は個体間で異なることも予想され、髄付近で小さいMFAを示すものが成熟材部でも小さく推移するとは限らない。MFAが林木育種の指標の1つに成り得るかどうかを検討するには、この点を確かめる必要がある。

しかし、比重や密度の測定に比べると、MFAの測定はかなり煩雑である（佐伯ら, 1989）。従来針葉樹材では、MFAの代わりに、MFAとの間に密接な相関関係が認められる仮道管長（太田, 1972）が測定される場合が多かった（堤・小田, 1989；小田ら, 1990, 小田ら; 1992）。ところが、仮道管長とMFAとの間に明確な関係は認められないとする報告もあり（平川・藤澤, 1995；平川・藤澤, 1996）、両者の間に本質的な関係が存在するか否かは明らかではない。一方、仮道管や繊維の壁孔や放射柔細胞との間の分野壁孔の孔口の中で、長楕円形またはレンズ形のもの長径の方向は二次壁中層のマイクロフィブリルの配列を示すとされている（島地ら, 1977）。そこで、晩材仮道管の接線壁に存在する有縁壁孔の孔口角（孔口の長径と仮道管軸とのなす角度）に注目し、晩材MFAを直接測定する代わりに孔口角を測定することにした。

すなわち、本研究ではスギを実験材料に用いて、まず、比較的簡便に測定できる孔口角が材質指標として有効であることを確認するために、無欠点小試験体を作製して曲げ試験を行い、孔口角とヤング率（あるいは比ヤング率）との相関関係を調べた。次に、様々な品種を対象に1年輪ごとに孔口角を測定することによって樹幹放射方向変動を検討し、未成熟材における孔口角と成熟材での孔口角との関係を考察した。

## 2. 実験方法

### 2.1. 孔口角の測定

仮道管接線壁に存在する有縁壁孔は晩材に集中し、同じ晩材でも年輪界部分に多いと報

告されている (Koran, 1977)。そこで、スギにおける仮道管接線壁の壁孔の存在状況を把握する目的で、予備実験的に4本の供試木のそれぞれ未成熟材部と成熟材部の各1年輪について、年輪界から髄側の早材に向かって連続的に接線面切片を切り出し、単位面積当りの壁孔数と孔口角の年輪内変動を調べた。この結果、1) 接線壁の壁孔数は年輪界付近で最も多く、早材に向かって減少し次第に存在しなくなる、2) 供試木には、晩材の接線壁にのみ壁孔が存在するものと早材の接線壁にも存在するものがある、3) 接線壁の孔口角は、晩材内ではほとんど変化しないものの、早材では晩材よりもやや大きい、4) 接線面切片を作り孔口角を測定する方法は簡便とは言えない、などのことがわかった。このことを踏まえ、本研究では次のような方法で孔口角を測定した。

年輪界付近の典型的な晩材から厚さ0.3mmほどの接線面試料を切り出し、シュルツ液で解繊しサフラニンで染色した後、簡易プレパラートにした。回転ステージを備えた生物顕微鏡を用いてプレパラートを観察し、晩材仮道管接線壁の孔口角を測定した。このとき、仮道管の両端部分および放射組織との接触で径が小さくなっている部分はMFAが小さくなる(尾中・原田, 1951)ので、仮道管の先端部分や放射組織に近い部分は避けて、仮道管中央の通直な部分の壁孔を対象にした。1試料につき20本の仮道管からそれぞれ1個の孔口の角度を測定し、平均値をその試料の孔口角とした。

## 2.2. 無欠点小試験体の曲げ試験

品種や成熟材、未成熟材を問わないスギの無欠点小試験体(L)32cm×(R)2cm×(T)2cmを機械的に多数作り、すべての試験体について気乾状態の動的ヤング率を打撃音法で測定した。この中から動的ヤング率が小さいものから大きいものまで広く分布するように34本の試験体を選んだ。これらを含水率が12%になるように設定した恒温恒湿機中で2ヶ月間調湿した後、比重を測定し、オルセン型材料試験機を用いて3点荷重方式で曲げ試験(スパン28cm)を行った。荷重-たわみ図からヤング率および比ヤング率を算出した。ついで、試験体横断面の中央部の年輪から晩材試料を切り出し、孔口角を測定した。

## 2.3. 孔口角の樹幹放射方向変動

同一の品種や産地に偏らないように、種々の品種と生育地から普通に成長している約30年生のスギを合計20本選び供試木とした。供試木の胸高付近から長さ20cmの丸太を採取し、研究室に持ち帰った。これらの丸太から、幹軸方向に厚さ1cm、髄から最外年輪を含む接線方向に幅3mmの板状試料を切り出した。各試料の3年輪目から1年輪ごとに20年輪目までの晩材仮道管の孔口角を測定した。なお、1年輪目と2年輪目は仮道管の直径が小さく長さも短いため、孔口角を測定しにくいので測定の対象にはしなかった。

# 3. 結果と考察

## 3.1. 孔口角と曲げヤング率の関係

図1に孔口角と曲げヤング率との関係を示した。曲げヤング率が高い範囲に分布するように試験体を選ぶ目的で、多数の無欠点小試験体を機械的に作ったために、図には未成熟材と成熟材の試験体が一括されてプロットされている。この結果、孔口角は1~29度の範

囲に、ヤング率は3.5~12GPaの範囲にばらつき、孔口角が大きい試験体ではヤング率は小さい傾向を示した。両者の関係に回帰直線を当てはめると、相関係数 $r=-0.87$ が得られ、0.1%水準で有意な負の相関関係が認められた。

ところで、ヤング率は単位体積当りの木材実質量と細胞壁の質の影響を受ける。そこで、ヤング率におよぼす木材実質量の影響を取り除くために、図1の試験体のヤング率を比重で除して、比重を1と仮定したときのヤング率（比ヤング率）を求めた。図2に孔口角と比ヤング率との関係を示した。すなわち、両者間における相関係数の増大が予想されたが、相関係数はほとんど変わらなかった。この理由として、1) 試験体の気乾比重は最小値が0.41、最大値が0.52で、試験体間における比重のばらつきが小さかったこと、2) 多数の品種を一括してプロットすると、比重とヤング率との間には相関関係がみられないこと（小田ら、1988）、つまり、比重がヤング率におよぼす影響は細胞壁の質の影響よりも小さいこと、などが考えられた。

いずれにしても、孔口角は曲げヤング率および比曲げヤング率と高い相関関係があることが確認された。このことは、晩材仮道管のMFAを直接測定しなくても晩材の孔口角を測ることによって、曲げヤング率を推定することが可能であることを示唆している。

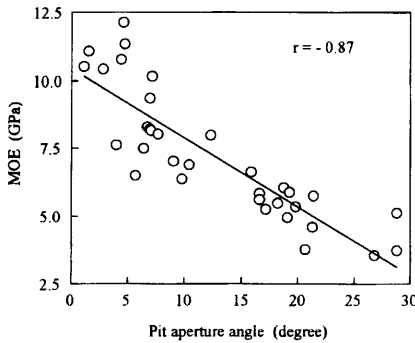


Fig.1 Relationship between pit aperture angle in tangential wall of latewood tracheid and modulus of elasticity in bending of small clear specimen.

図1 孔口角とヤング率との関係

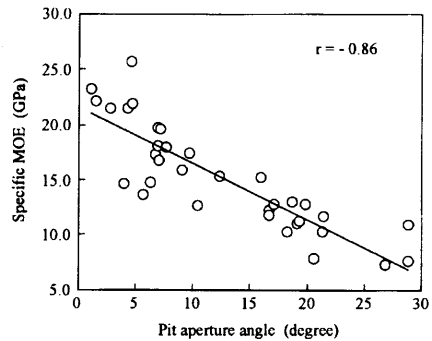


Fig.2 Relationship between pit aperture angle in tangential wall of latewood tracheid and specific modulus of elasticity in bending of small clear specimen.

図2 孔口角と比ヤング率との関係

### 3.2. 孔口角の樹幹放射方向変動

図3に20個体の胸高付近における髓から3年輪目から20年輪目までの孔口角の放射方向変動を示した。図からわかるように髓からの年輪数が増加するにつれて孔口角は下に凸の曲線を描くように減少した。しかし、図3は見にくいので、見やすくするために3項移動平均法でデータを補正し、孔口角の変動を図4に示した。図4によると、孔口角の放射方向の変動パターンは各供試木で類似しているが孔口角の絶対値は供試木間で異なった。すなわち、各供試木ともに孔口角は髓付近で大きい、年輪数の増加に伴って減少し、15年輪

目付近からほぼ安定した。また、孔口角が髓付近で大きかった供試木は放射方向の全年輪をとおして大きい値で推移し、小さかった供試木は全年輪で小さい値で推移する傾向を示した。このことから、ヤング率が大きい木材を生産するためには、初期成長の段階で孔口角が小さいものを選ぶことが有効と考えることもできる。ところが、年輪を重ねる間、孔口角の減少度合が個体間で異なり、幼齡時における孔口角の大きさの順位（あるいは小ささの順位）が成木に達するまで維持されるとは限らず、実際に図4では途中で順位が入れ代わっている供試木もある。したがって次に、幼齡時と成木時の孔口角の相関関係を検討した。

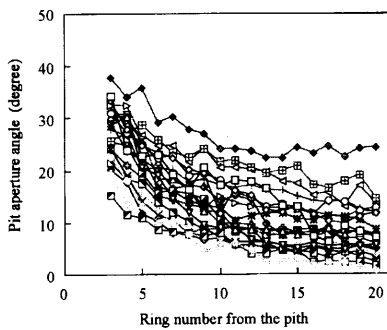


Fig.3 Relationship between annual ring number from the pith and pit aperture angle in sugi cultivars.

図3 孔口角の放射方向変動

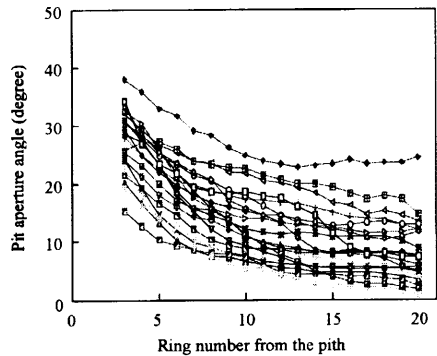


Fig.4 Relationship between annual ring number from the pith and pit aperture angle graduated by moving average(three terms) in sugi cultivars. Pure data are only used on 3<sup>rd</sup> and 20<sup>th</sup> annual rings.

図4 3項移動平均法による補正後の孔口角の放射方向変動

### 3.3. 未成熟材と成熟材の孔口角の関係

図4の孔口角の変動パターンからは、20年輪目以降に孔口角が大きく減少する可能性は少ないと推測され、髓から20年輪目付近の木部は典型的な成熟材とみなしてよいと考えられた。そこで、髓から20年輪目を成熟材の代表とみなし、3年輪目から19年輪目までの各年輪と20年輪目の孔口角の相関関係を調べることにした。つまり、図3の実測値を用いて3年輪目と20年輪目の孔口角の関係、4年輪目と20年輪目の孔口角の関係、というように順次各年輪と20年輪目の孔口角の関係をプロットし、相関係数を算出した。

図5に例示するように、3年輪目と20年輪目の孔口角の関係をプロットすると、両者の間には相関係数 $r=0.71$ が得られた。このようにして各年輪ごとに求めた相関係数の放射方向の推移を図6に示した。すなわち、相関係数は髓付近の年輪では相対的に小さいが、年輪数が増すにつれて増加し、15年輪目以降では1.0近くの値に達した。ここで注目したいことは、髓から3年輪目および4年輪目ですでに20年輪目の孔口角との間に、相関係数は高くな

い (0.70~0.71) ものの, 0.1%水準で有意な相関関係が存在したことである。そして, 5年輪目で相関係数は0.9近くに達し, それ以降の年輪でも20年輪目の孔口角との間に高い相関係数を示した。

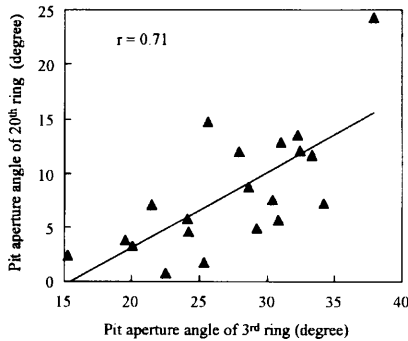


Fig.5 Relationship between pit aperture angles at 3<sup>rd</sup> and 20<sup>th</sup> annual rings from the pith.

図5 3年輪目の孔口角と20年輪目の孔口角との関係

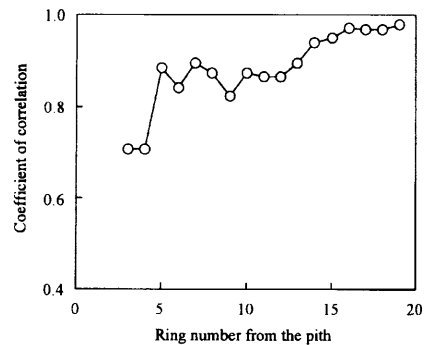


Fig.6 Coefficient of correlations between pit aperture angle at a given annual ring and at the 20<sup>th</sup> annual ring from the pith.

図6 各年輪の孔口角と20年輪目の孔口角との相関係数の放射方向推移

一方, 選抜育種などの実務場面では, 指標の具体的な値 (ここでは孔口角の実測値) よりも個体間での指標の順位が重要視される場合が多い。そこで, すべての供試木について, 各年輪ごとに孔口角が小さいものから大きいものへ順に番号をつけ, その年輪での順位と20年輪目での順位との間に回帰直線を当てはめ, 相関係数を算出した。各年輪ごとに算出した20年輪目との間の相関係数の放射方向の推移を図7に示した。図7では, 順位相関から得られた相関係数の放射方向の推移は図6と同様な傾向を示している, 相関係数は髓付近では相対的に低いものの, 3年輪目ですでに20年輪目の順位との間に0.1%水準で有意な相関関係 (相関係数0.70) が観察された。

以上のように, 孔口角の実測値と順位との2つの面から, 未成熟材と成熟材との間の孔口角の関係を検討したとき, どちらの方法でも, 両者間に密接な関係があることがわかった。このことは, 幼齢木の孔口角から成木の孔口角が予測できることを示唆している。しかし, 初期成長の段階で将来の性質を精度良く予測

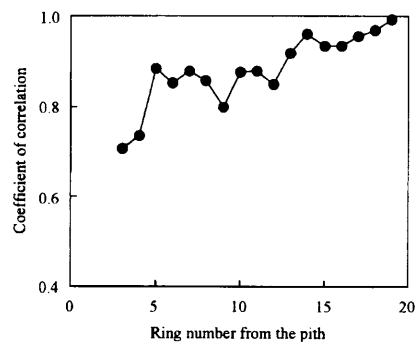


Fig.7 Coefficient of correlations between ranking of pit aperture angle in a given annual ring and in the 20<sup>th</sup> annual ring from the pith in the whole trees examined. Rankings are arranged in small order of angle in each annual ring.

図7 各年輪の孔口角と20年輪目の孔口角との順位相関係数の放射方向推移

するには、両者の性質間の相関係数がより高いことが望ましい。図6および図7を概観すると、統計学的には有意な相関関係が存在するとは言え、髄から3年輪目や4年輪目の孔口角から成熟材の孔口角を予測するには精度の面で不都合があるかもしれない。この点については、今後さらに供試木を増やして検討する必要がある。

## 4. 結 論

- 1) 晩材仮道管の接線壁に存在する有縁壁孔の孔口角と曲げヤング率および比曲げヤング率との間には有意な負の相関関係が存在し、孔口角は簡便なヤング率指標として利用できるかと推測された。
- 2) 各供試木ともに孔口角は髄付近で大きいのが、年輪数の増加に伴って減少し、15年輪目付近ではほぼ安定した。また、孔口角が髄付近で大きかった供試木は放射方向の全年輪をとおして大きい値で推移し、小さかった供試木は全年輪で小さい値で推移する傾向を示した。
- 3) 髄から20年輪目を典型的な成熟材と考え、未成熟材の各年輪と20年輪目の孔口角の関係を検討したとき、髄から3年輪目ですでに20年輪目の孔口角との間に0.1%水準で有意な相関関係が認められた。このことから、幼齢時の孔口角から成木に達したときの孔口角を予測できる可能性が示唆された。

## 引 用 文 献

- 平川安彦・藤澤義武 (1995) : 精鋭樹スギクローンにおける晩材仮道管S2層のマイクロフィブリル傾角と仮道管長との関係, 木材学会誌 41(2) : 123-131
- 平川安彦・藤澤義武 (1996) : スギの晩材仮道管S2層のマイクロフィブリル傾角の樹高方向における変動, 木材学会誌 42(2) : 107-114
- KORAN, Z (1977) : Tangential pitting in black spruce tracheids. Wood Science and Technology 11 : 115-123
- 太田貞明 (1972) : スギ・ヒノキ樹幹内における未成熟材の力学性に関する基礎的研究. 九大演報 45 : 1-80
- 小田一幸・古賀信也・堤 壽一 (1988) : 材質育種にむけてのスギ品種の年輪構造. 九大演報 58 : 109-122
- 小田一幸・渡部演一・堤 壽一 (1990) : 構造部材を意識したスギ12品種の木材性質. 九大演報 62 : 115-126
- 小田一幸・犬塚 良・堤 壽一 (1992) : 林木育種にむけての材質指標因子としてのスギ仮道管長. 九大農学芸誌 47 (1・2) : 51-55
- 尾中文彦・原田 浩 (1951) : 針葉樹仮道管細胞膜のミセル配列. 日林誌 33 : 60-64
- 佐伯 浩・徐 永吉・藤田 稔 (1989) : スギ幼齢材仮道管壁のフィブリル配向とその傾斜角の顕微鏡的測定. 木材学会誌 35(9) : 786-792
- 島地 謙・須藤彰司・原田 浩 (1977) : 木材の組織. 森北出版, 東京, pp. 67-68
- 堤 壽一・小田一幸 (1989) : 構造部材としての適応を指向させる木材性質. 材料 38(430) :



740-746

(2002年12月10日受付 ; 2003年1月30日受理)

## Summary

Small clear specimens for bending test were made from juvenile wood and mature wood of several sugi (*Cryptomeria japonica*) cultivars. After bending test in air-dry condition, pit aperture angles in the tangential walls of latewood tracheids were measured. As the result, there were significant correlations at 0.1% level between pit aperture angle and modulus of elasticity, and specific modulus of elasticity.

Pit aperture angles of latewood tracheids were measured in each annual ring from the 3rd to the 20th ring from the pith at the breast height of twenty sugi trees. Variation pattern of pit aperture angles from juvenile wood to mature wood was almost the same in all trees, but the values of the angles were different among individual trees. There was a tendency that the trees having large angles near the pith showed relatively large angles in the mature wood, though the angles decreased outwards.

The pit aperture angle at the 20th ring from the pith was regarded as the representative of angles in mature wood. The relation between the angle at a given ring in juvenile wood and at the 20th ring was investigated. The angles in juvenile wood were closely related to the angle at the 20th ring. This result suggested that the angles in mature wood could be estimated by using the angles at the rings near the pith.

**Key words** : tree breeding, wood quality index, microfibril angle, pit aperture angle, Yong's modulus