

針葉樹仮導管の重紋孔対閉鎖に関する研究

木材生物第1研究室 貴島恒夫・林昭三

(昭和36年12月7日受理)

Tsuneo KISHIMA and Syōzō HAYASHI : On the Closure of Bordered Pit-pairs in Coniferous Tracheids.

緒 言

針葉樹材における液体流動浸透のあい路である仮導管重紋孔対に関する問題のうち、紋孔膜 (pit membrane) の円節 (torus) 以外の部分すなわち閉鎖膜 (closing membrane) に存在する孔隙・開口は、半透性したがって浸透 (osmosis) を支配するものであることは勿論であるが、たとえこの閉鎖膜が液体を透過させるに十分な孔隙を備えていても、紋孔膜に円節が発達して、これが輪帯の紋孔口 (pit aperture) に吸着され、それを完全に閉鎖すれば、液体の流動は阻止されるはずである。

この意味において、針葉樹材の基礎要素・仮導管の重紋孔対閉鎖の割合、換言すれば閉鎖重紋孔対 (closed bordered pit-pair) 一名吸着重紋孔対 (aspirated b. p.-p.) したがってまた開放重紋孔対 (open b. p.-p.) 一名非吸着紋孔対 (unaspirated b. p.-p.) の比率が流動浸透を左右し、その結果としてたとえば心・辺材や春・秋材の浸透度の差異が現われることが考えられる。

この問題は、木材への液体の浸透を解剖学的に解釈する上において、紋孔膜の微細構造の問題にも劣らない重要性をもつものと思われるにもかかわらず、在来の知見は乏しく、GRIFFIN (1919¹⁾, 1924²⁾) および PHILLIPS (1933)³⁾ がいずれも Douglas fir その他数種の針葉樹材について、その乾燥処理・クレオソート防腐処理との関連において、重紋孔対の閉鎖 (以下単に紋孔閉鎖と略称する) を研究した業績とわが国では古沢 (1954)⁴⁾ のカラマツ材についての調査結果とを挙げ得るに過ぎない。

このようにこの分野が未開拓のままになっていたのは、紋孔閉鎖の認定が光学顕微鏡による外ないに拘らず、それがほぼ光学顕微鏡可視限界に近い微細な対象であるという点にかかっているように思われるが、筆者は以下に述べる予備実験の結果、光学顕微鏡による紋孔閉鎖の確認が決して無理な操作でないことを認めたので、本研究では主としてスギの生材と乾燥材とを用いて樹幹内の各部位における紋孔閉鎖の状態を調査し、それと水の浸透分布との関係を求めてみた。

予 備 実 験

(1) 実験方法に関する予備実験

生材に各種の処理を施した場合、紋孔閉鎖にどの程度の差異があらわれるかを知るために行なった予備実験である。

試料として、京都府宇治市、京都大学木材研究所構内に養成中のクロマツ (*Pinus thunbergii* Parl.) の苗木から試片を採つたが、この苗木は過去10数年間無手入れのままに放置してあつた心材のない小径被圧木である。

この試片に対して時を移さず、次の各処理を施した。

- 1) 無処理——対照のため処理を施さなかつた。
- 2) アルコール処理——円節の位置を固定するために¹⁾ 75%アルコールに 48 hr 浸漬した。
- 3) ホルマリン処理——同じく円節の位置を固定する目的をもつて、20%ホルマリンに 48 hr 浸漬した。
- 4) グルコース処理——まだ生きている細胞の生態をなるべく保存する目的をもつて、5%グルコースに 48 hr 浸漬した²⁾。
- 5) 乾燥処理——乾燥をはかるために、50°C 程度の恒温器中に 48 hr 格納した。

そしてこれらの各試片から厚さ 20 μ 程度の正確な横断面切片 (x) および接線面切片 (t) を採取し、この各種切片から試みに次の3種のプレパラートを作つてみた。

- 1) 臨時プレパラート——切片をそのまま直ちにグリセリンで封入した。
- 2) 永久プレパラート——切片を一旦水洗した後、アルコールで脱水、キシロールで透化、バルサムで封入する常法によつた。
- 3) 絶乾・臨時プレパラート——切片を一旦水洗した後、アルコールで絶対乾燥し、これをグリセリンで封入した。

こうして得たプレパラートを用いて、測定重紋孔対全数に対する開放重紋孔対の割合（以下これを開放紋孔率と略称する）を春・秋材別に調査記録した結果は Table 1 の通りである。

Table 1. Percentages of bordered pit-pairs unspirated.
Kuromatsu (*Pinus thunbergii* Parl.), (From each 100 pit-pairs counted.)

Treatment of wood specimens	Position in annual ring	By temporally mounted slides		By permanently mounted slides		By temporally mounted slides of dry wood	
		(x)	(t)	(x)	(t)	(x)	(t)
Untreated (Control)	Earlywood	75	73	86	79	71	75
	Latewood	89	—	93	—	91	—
Treated with ethanol	Earlywood	78	77	80	85	68	74
	Latewood	93	—	92	—	90	—
Treated with glucose	Earlywood	78	80	84	90	70	73
	Latewood	93	—	95	—	91	—
Treated with formaldehyde	Earlywood	83	86	87	93	73	72
	Latewood	90	—	95	—	93	—
Dried with ethanol absolutely	Earlywood	70	73	75	77	—	—
	Latewood	92	—	95	—	—	—

ただしこの場合重紋孔対の断面において円節の位置を確認できるもののみについて総計 100 個の半径面重紋孔を数えることにした。ところが秋材では春材ほど多数の半径面重紋孔は存在しないので、接線面切片 (t) によつてその断面を観察し開放紋孔率を求めるには、さしづ

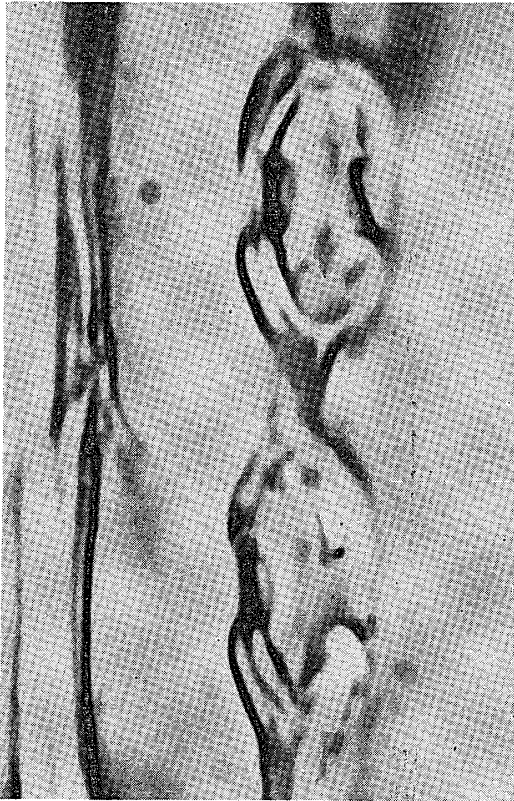


Fig. 1. Typical aspirated bordered pit-pairs closed completely. Earlywood, Kuromatsu (*Pinus thunbergii* Parl.), *t*, 1600 \times .

め作成しておいた切片枚数では足りなかつた。したがつてこの表の中には (*t*) 切片から求めた秋材開放紋孔率の値が欠けている。

本表に現われた結果からは、一般に開放紋孔率が春材より秋材に高いこと以外、特記すべき傾向は伺えない。すなわち試片の処理方法の差異も、計数に用いた切片(断面)の差異(*x*)か(*t*)かも開放紋孔率の上では明らかでない。強いていえば、各種処理法の内ではやはり乾燥処理を施したものがやや小さい値を与えるようであり、プレパラート作成法についていえば、切片を絶乾にしてからグリセリンで封入した臨時プレパラートにおいて開放紋孔率が最も小さく、切片を絶乾にしなかつたものでは永久プレパラートの方が臨時プレパラートより却つて大きい値を示す傾向が伺える。ただしこれらは主に春材の開放紋孔率についていえることで、秋材についてはこのような傾向すら認め難いほど開放紋孔率の偏差は少ない。これはすなわち針葉樹生材の辺材仮導管における重紋孔対は大抵開放状態にあるのに対して、その心材や乾燥材では



Fig. 2. Unspirated bordered pit-pairs between ray tracheid and axial tracheids not showing enough development of tori on their pit membranes. Latewood, Kuromatsu, *x*, 1600 \times .



Fig. 3. Bordered pit-pairs between two ray tracheids adjacent to each other, showing indistinct situation of tori. Kuromatsu, *r*, 1600 \times .

春材仮導管の重紋孔対が閉鎖し、秋材仮導管は依然開放状態に止まる傾向があるとする古くからの説 (RUSSOW 1883⁶⁾, STRASBURGER 1891⁷⁾) をある程度裏付けているともいえる。

要するに開放紋孔率測定に関する限り、無処理の試片から厚さ 20μ 内外の正確な横断面切片 (x) をとり、それを直ちにグリセリンで封入した臨時プレパラートを用いて行なうのが最も望ましいことを知った。

なおこの予備実験中に得た顕微鏡写真の内、ここに示した Fig. 1 はクロマツの典型的な閉鎖重紋孔対であり、円節の紋孔口への密着状態を示している。Fig. 2 は同じくクロマツの仮導管と髄線仮導管との間に存する開放重紋孔対、Fig. 3 は髄線仮導管同志の接合端膜にあらわれた円節位置の明らかでない重紋孔対であるが、後の2者は本測定の対象外のものである。

(2) 樹幹内各部位別の開放紋孔率予察実験

上記予備実験(1)では生材を対象としたのに対して本実験では気乾材を対象とし、その樹幹内各部位における開放紋孔率の差異を求めつつ、この種の測定の可能性を確かめた。

Table 2. Percentages of unaspirated bordered pit-pairs in air-dry wood. Karamatsu (*Larix leptolepis* Gord.), (From each 100 pit-pairs counted.)

	Sapwood	Intermediate zone (in sapwood)	Heartwood	Core zone (in heartwood)
Earlywood	79	62	63	69
Latewood	95	87	85	62



Fig. 4. Aspirated bordered pit-pairs not showing enough tori development, observed on a specimen surface by applying reflective illumination. Karamatsu (*Larix leptolepis* Gord.), t , $660\times$.

試料として長野県産カラマツ (*Larix leptolepis* Gold.) の気乾・優良材 (直径約 24 cm) を用い、その辺材 (外周部)、中間帯 (辺材の最内部、心材に隣接する部分)、心材、樹心材別に試片をとり、各試片を少量のグリセリンを加えた水で 30 min 煮沸後、70% アルコール中に貯蔵し、これから厚さ 20μ 程度の接線面切片 (t) をとり、この切片をグリセリンで封入した臨時プレパラートを用いて、春・秋材別の開放紋孔率を求めた結果が Table 2 である。

この実験から、カラマツ気乾材についての樹幹内各部位別開放紋孔率計測の可能性について確信を得たが、鏡査に使用する切片としてはやはり横断面切片 (x) の方が能率的であることを知った。

なおこの結果からは、

- 1) 辺材では秋材の重紋孔対がほとんど開放状態にある。
- 2) 開放紋孔率は樹幹の外周部から樹心へ (辺材→中間帯→心材→樹心) と順次減少しているが、春材では心材から樹心へのわずかな増加が見られる。

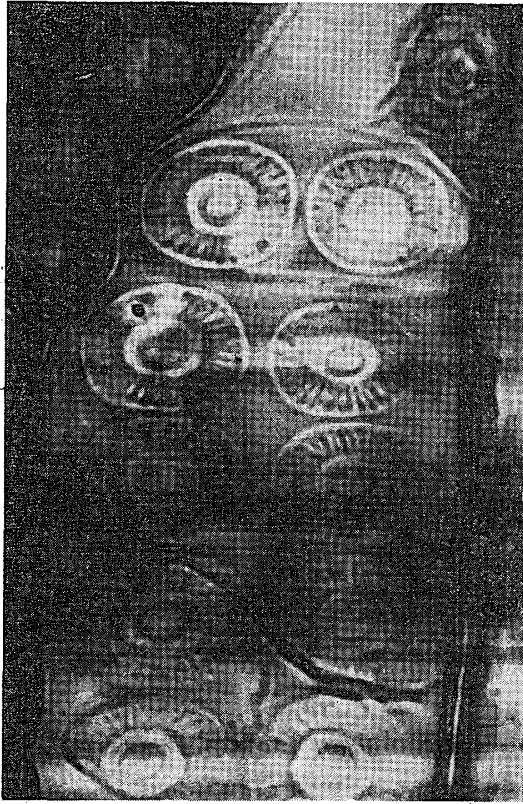


Fig. 5. Bordered pits showing microfibril-bundles in their closing membranes. Earlywood, Karamatsu, r , 800 \times .

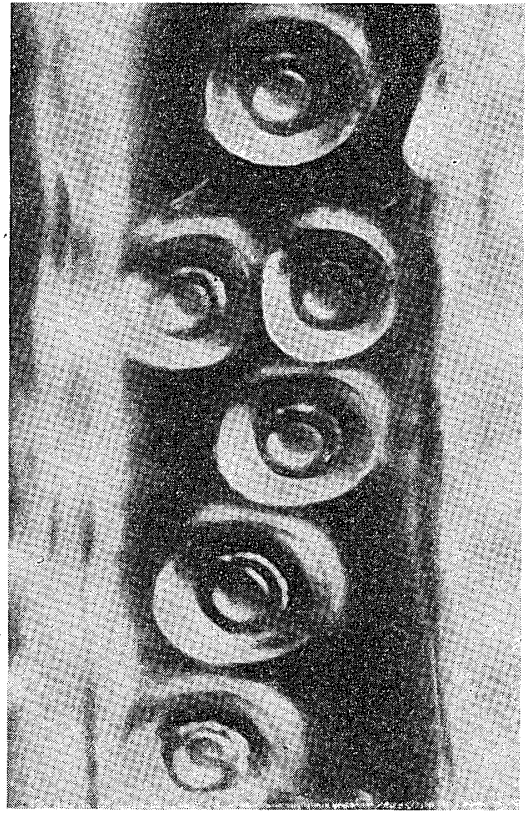


Fig. 6. Similar to Fig. 5, observed by reflective illumination. Earlywood, Karamatsu, r , 740 \times .

3) 開放紋孔率の樹幹外周部から樹心への減少は春材よりも秋材に大きく、樹心における開放紋孔率は、上記春材における心材から樹心への増加傾向のために、春材よりもかえって秋材に小である。

などの点が注目される。

なおカラマツ材はマツ属の材同様、針葉樹中比較的、重紋孔の直径が大きく、紋孔膜に円節の最も認めやすい樹種であるから、切片をとるまでもなく試片の表面において紋孔閉鎖を反射照明的に観察できないものかと、これも試みてみたが、Fig. 4 に示したように、やはり切片を透視した場合にくらべて明瞭度乏しく、試片表面から簡便に開放紋孔率を求めることは断念しなければならなかつた。

なおこのカラマツ試料の半径面切片 (r) から Fig. 5・Fig. 6 の半径面重紋孔の正面像を得、円節の著しい発達と閉鎖膜における集束マイクロフィブリルの存在を認めたが、これだけでは閉鎖紋孔であるかどうかの断定は不可能である。

実 験 方 法

(1) 供 試 材 料

京都府宇治市産の高さ約 13.5 m のスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 生立木を選び、その地上 1.5 m 高 (平均直径 20.1 cm, 平均心材直径 9.0 cm) と同じく 7.0 m 高 (平均直径

11.0 cm, 平均心材直径 2.1 cm) の 2 個所から, 厚さ約 2.5 cm の円板をとり, これを開放紋孔率測定用切片 (プレパラート) の作成に当て, この円板の直下に続く厚さ約 30 cm の円板からは水の自然浸透長測定用試片を採取した。

供試材にスギを選んだのは, 伐倒直後の生材を用いたかつた都合にもよるが, 材中に流動態の樹脂を多分に含んでいるマツ属の生材のようなものでは, その樹脂のために紋孔膜における円節の位置の変化が敏感に現われないことがあるのをおそれたためである。

(2) 開放紋孔率の測定

上記 2.5 cm 厚円板からは, その南北線上において, 切片作成用の約 1.5 cm 角試片 (ブロック) を, 辺材(外周部)・中間帯(辺材最内部)・心材・樹心の各部位から 2 個ずつ採取し, その内 1 個は直ちに約 50°C の恒温器に 48 hr 格納した後室内に放置して気乾状態に達せしめたが, いま 1 個の生材試片は早速切片作成に供用した。

これら生材試片・気乾材試片は, 別に軟化处理などを施すことなく, そのままを **sliding microtome** にかけて, 各試片から厚さ約 20 μ の正確な横断面切片 (x) を, その広さを考慮しながら, 3~6 枚ずつ採取した。切片は 0.5% 前後の **Ruthenium red** で染色した後水洗し, グリセリンで封入した臨時プレパラートのかたちで鏡査に供した。

試片から切片をとりプレパラートにする間には, まず試片をマイクロトームの刃にかける際に潤滑剤として水を用いるし, **Ruthenium red** 染料も水溶液であり, 洗滌にも水を用いるが, これは生材に対してはその状態を変化させない点で好都合であるとはいえ, 乾燥試片に対しては無謀の感がないではない。このことについては予備実験の結果が示しているように, 一旦乾燥 (繊維飽和点以下に) した木材に再び水を与えても, 開放紋孔率の変化はほとんど見られないし, **PHILLIPS**³⁾ もこれを認めている。**JAYME, HUNGER und FENGEL (1960)**⁸⁾ の重紋孔膜の電子顕微鏡的知見でも, 一旦乾燥した重紋孔膜はその構造組織が固定的なものとなり, その後に水が加えられても変化しないという見解を得ている。

要するに, ここで採用したプレパラート作成方法においては, 生材試料に関しては途中で乾燥させることのないように扱えばよく, 乾燥材試料については多少の浸水操作も開放紋孔率に大きい変化を来させることはない, との考えに立つて, 上記の鏡査用プレパラートを作成したのである。

次に鏡査の段階では, まず紋孔膜の縦断面形状を正確に捉えるためには油浸系による光学顕微鏡の限界性能 2,000×の拡大観察が望ましいのはもちろんであるが, 視野が狭すぎではなはだ操作が面倒になるので, 結局乾燥系 800×を主とし, 必要に応じ油浸系 2,000×で確かめる手段による外なかつた。

紋孔閉鎖の鏡査には円節のある程度認められる重紋孔対でなければ対象にならない。**PHILLIPS**³⁾ の行なつたように, 切片作成途上において明らかに円節位置に変化の生じた形跡のあるものや円節位置の判然としないものは計測から除外しなければならない。また同じく **PHILLIPS** の確認したように, 春材・秋材のおのおのにおける開放紋孔率は, いずれも年輪界に接近した部分においてこそその代表値を表わしている点にかんがみ, いわゆる春・秋材移行部分にわたらない純春・秋材部分において計測を行なうように努めた。ただ **PHILLIPS** その他多くの業績は接線面切片 (t) によつて紋孔閉鎖を調べたものであるのに対して, この実験で横断面切

片 (x) を用いたのは同じ広さの視野においても多数の細胞にわたつての計測が可能であり、同一切片中にも春・秋材が存在し、上記の移行部をも判別し計測から除外することが容易なためである。

また本実験では開放紋孔率計測には個々の試片、したがつて各部位の春・秋材別にそれぞれ200個ずつの重紋孔を拾つた。しかも筆者の各人がその一半100個ずつを分担したので、円節位置判定の個人差もある程度消去されている。それにしても総計200個の重紋孔対を拾うに要する切片の面積は春材で10~25 mm²、秋材で25~100 mm²程度に過ぎず、それぞれの所属部位を代表する値を得るにはあるいは不十分のおそれもないではないが、これはこの種鏡査実験の性質上止むを得なかつた。



Fig. 7. Tangential bordered pit-pair between latewood tracheids. Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don); x, 1600×.

なお紋孔の閉鎖に関しては、液体浸透の面からすれば円節の密着度こそ問題であるから、鏡下においてたとえ円節が偏側していると認められるものでも、それが紋孔口に密着していない限り、これを閉鎖紋孔とは見なさず、開放紋孔と判定した。この判定にはしばしば油浸系2,000×の拡大が必要であつたし、Ruthenium redによる染色は円節を鮮かに見せてくれて非常に有効であつた。

最後に是非付記しなければならないのは、普通年輪界に接するわずか数層の仮導管にのみ存するとされている秋材の接線膜重紋孔についてである。接線膜の重紋孔対は半径膜のそれにくらべて著しく小径ではあるが、当該試料にはかなりその発達が顕著であり、年輪界から数えて10余細胞層にもその存在が及んでいて、秋材での液体浸透には多少とも影響することが推察されたので、これについても開放紋孔率を計測しようとして試みたところ、この接線膜重紋孔対は一般に紋孔腔が狭く、Fig. 7に見るように円節位置の明瞭に認められるのはむしろまれである。したがつて接線膜

重紋孔対の閉鎖に関する計測は断念しなければならなかつた。

(3) 浸透長ならびにその分布の測定

開放紋孔率の測定に使つた2.5 cm厚の円盤の直下からとつた30 cm厚の円盤からは、前者における辺材・中間帯・心材・樹心の各試片採取個所に対応する浸透試験片各2個を採取した。ただ樹心のみはその体積の関係で1個しかとれなかつた。その試片は木口断面が切片作成試片の2倍すなわち1.5×3.0 (cm)、長さが円盤の厚み30 cmの角柱であるが、このようにして得た辺材・中間帯・心材各2個、樹心1個、計7個の浸透試験片はさらにその長さを折半して倍数とし、その一半は約50°Cの恒温器に48 hr格納して乾燥をはかり、引続いて48 hr以上室内に放置して気乾状態に達せしめた。以上は与えられた地上高についてのことであるが、本実験では地上1.5 m高と7.0 m高との2個所についてこれを行なつていることはもちろんである。ただ後者地上7.0 m高の個所では心材の全部が樹心部分に属しているので、後に示す測定結果には心材のそれが欠けていることになる。また試片の含水率はいちいち測定してい

ないが、別の試片によつて求めたところでは生材状態において180%、気乾状態において12%内外である。

つぎに試片に水（本実験では1%の methylene blue 水溶液を代用した）を浸透させる操作であるが、上記の浸透実験用生材・気乾材両試片は、各々その側面にパラフィンを塗布してこの面への水の匍匐浸潤を防止しておいて、その下端を水（上記染料）に浸漬し、30 min 経過後一旦濾紙をもつてその端面にしたたる余剰の水を除去した上で、48 hr 室内に放置して乾燥をはかつた。続いて浸漬面の中央に半径方向にノミを入れて繊維方向に試片を割り、その割裂面(r)にあらわれた水の自然浸透長の最大・平均・最小3値を計測記録した。その測定回数は各部位別の試片個数の関係で、辺材・中間帯・心材については各2回、樹心については1回。

浸透長の最大値としてはいわゆる率先浸透（貴島・林）⁹⁾ の先頭高があるが、全試片を通じてただ2本しか現われなかつた率先浸透の浸透長は余りにも飛び抜けた値を示し、これは除外した方が一般的傾向を表示するに適當と認められたので採用しなかつた。平均値は目測的評価によつたものである。複数試片から得た最大・最小値の総合には各々その最も大きい値・最も小さい値を記録し、平均値の総合にはその試片数による算術平均値を記録した。

最後に浸透長の分布形すなわち半径断面にあらわれた1年輪にわたつての浸透長の推移曲線、浸透模様は、各個の年輪について偏差の大きいものであり、その平均的かつ妥當な図形を捉えることは非常に困難ではあるが、浸透長の最大・最小値の開きを図上一定の間隔に当てはめて一応記録してみた。結果は概していえば春材に低く漸次上昇して秋材の最高値につながる常識的なものとなつた。

実 験 結 果

本実験によつて得た結果を一括表示したものが Table 3 であるが、この結果の示しているところを順次記述すれば次の通りである。

Table 3. Whole results on the closure of bordered pit-pairs and the penetration of water in Sugi-wood (*Cryptomeria japonica* D. Don).

Position		At 1.5 m height		At 7.0 m height	
		Unaspirated pit-pair % (from each 200 pit-pairs)	Penetration depth mm (30 min. natural penetration) max.~mean~min.	Unaspirated pit-pair % (from each 200 pit-pairs)	Penetration depth mm (30 min. natural penetration) max.~mean~min.
In green condition					
Sapwood	Earlywood	59.5	41.5~28.5~18.0	65.5	83.5~30.7~10.7
	Latewood	14.5		68.0	
Intermediate zone	Earlywood	3.5	145.0~ 9.1~ 1.5	20.0	88.0~15.9~ 1.8
	Latewood	17.0		63.0	
Heartwood	Earlywood	12.5	32.0~ 4.7~ 2.0	—	—
	Latewood	16.0		—	
Core zone	Earlywood	8.0	23.0~ 3.0~ 1.0	5.0	2.6~ 0.7~ 0.2
	Latewood	9.0		11.0	

In air-dry condition

Sapwood	Earlywood	9.0	44.7~29.8~16.5	20.5	85.6~55.2~ 2.9
	Latewood	5.5		24.5	
Intermediate zone	Earlywood	3.0	42.0~ 4.5~ 0.4	7.5	32.2~13.1~ 2.1
	Latewood	5.5		19.0	
Heartwood	Earlywood	3.5	3.1~ 1.0~ 0.1	—	—
	Latewood	6.0		—	
Core zone	Earlywood	8.0	7.4~ 1.2~ 0.3	4.5	2.2~ 0.8~ 0.3
	Latewood	5.5		3.5	

(1) 開放紋孔率について

a) 生材と気乾材との比較

この比較を行なうために Table 3 総括表の数値によつて、気乾材の開放紋孔率の生材のそれに対する増減率を地上高別各部位別に求めると Table 4 が得られる。

Table 4. Increasing (+) or decreasing (-) percentage of unspirated bordered pit-pairs (%) in air-dry wood to those in green wood, derived from Table 3.

Position	At 1.5 m height		At 7.0 m height	
	Earlywood	Latewood	Earlywood	Latewood
Sapwood	-85	-64	-69	-64
Intermediate zone	- 1	-68	-60	-70
Heartwood	-79	-62	—	—
Core zone	0	-16	+10	-68

この表によれば、開放紋孔率は一般に生材より気乾材へと大幅に減少する傾向が見られる。すなわち辺材では春・秋材ともに64~85%減、心材では同じく62~79%減を示している。ただし樹心では開放紋孔率も生材より気乾材への増減率も区々で、樹心部分の未熟性の影響を思わせるものがある。

b) 地上高差の比較

同じく Table 3 総括表の数値から、地上 1.5 m 個所の開放紋孔率に対する地上 7.0 m 個所のその増減率を算出すれば Table 5 の通りである。

この表では、生材・気乾材を通じて辺材ことに中間帯において開放紋孔率の著しい増加率が見られることは注目をひく。心材での数値が欠けているのでこれが心材にも通ずる傾向であるかどうかは判らないが、樹心では春・秋材ともかなりの減少傾向を示していることからすれば、心材ではむしろ逆の減少傾向が見られるのではないかと推察される。

なお先の Table 4 にあらわれたところによつて、地上 1.5 m 個所における生材から気乾材への開放紋孔率の変化を地上 7.0 m 個所におけるそれと比較しても、中間帯春材における減

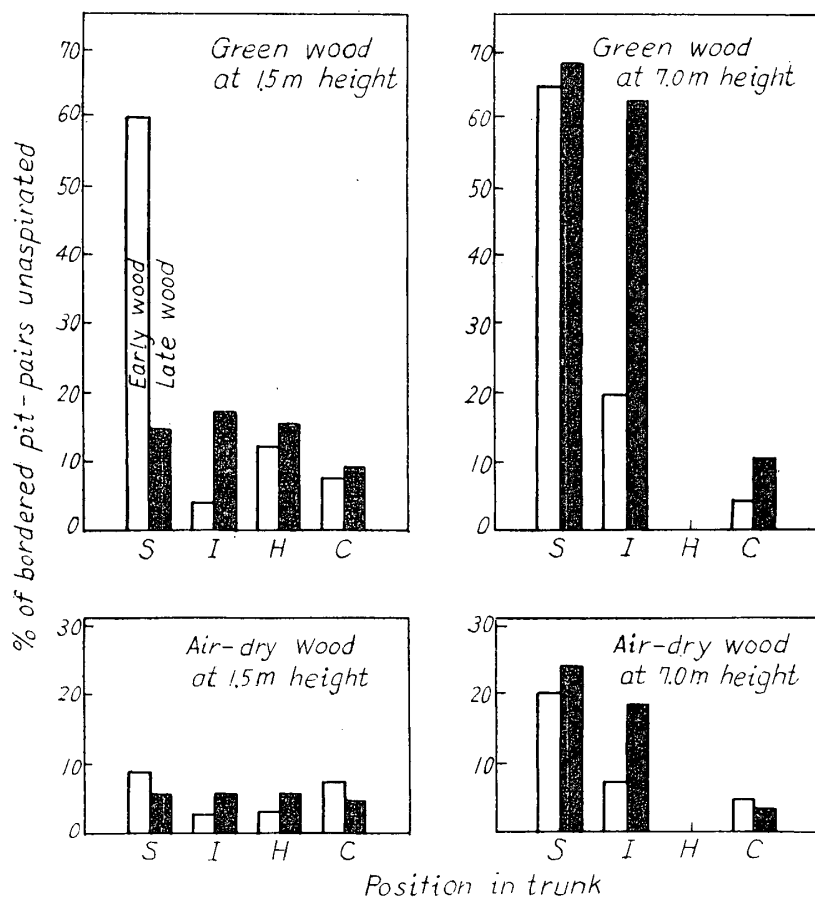
Table 5. Increasing (+) or decreasing (-) percentage of unspirated bordered pit-pairs (%) at 7.0 m height to those at 1.5 m height above ground, derived from Table 3:

Position	In green condition		In air-dry condition	
	Earlywood	Latewood	Earlywood	Latewood
Sapwood	+ 10	+ 49	+128	+346
Intermediate zone	+472	+271	+150	+246
Heartwood	—	—	—	—
Core zone	- 37	- 22	- 44	- 36

少率が特に少ない例外はあるが、樹心以外ではほぼ一様の減少率（60～85%）を示していることを知る。

c) 樹幹内の各部位別の比較

Table 3 総括表によつて、生材・気乾材別かつ地上 1.5 m 高・7.0 m 高別に、辺材・中間帯・心材・樹心の各部位における開放紋孔率を図示すれば Fig. 8 の通りである。



S : Sapwood, I : Intermediate zone, H : Heartwood, C : Core zone

Fig. 8. Percentage distribution of unspirated bordered pit-pairs in trunk, derived from Table 3. Sugi Wood.

この図からうかがえることは、樹心を別とすれば地上 1.5 m の辺材において開放紋孔率は生材でも気乾材でも秋材よりも春材に高いが、それ以外は一般に開放紋孔率は春材よりも秋材に高く、その値は概して辺材から樹心へと減少の傾向を示していることである。この傾向はカラマツについての予察実験の結果でも同様で、かなり一般的なものと考えられる。ただ地上 1.5 m での辺材外周部においては開放紋孔率が秋材よりも春材に高く、とくに生材において著しい対し、地上 7.0 m ではこのような関係は見られないで、春・秋材の開放紋孔率の値がかなり接近している点には注意すべきであろう。また心材化現象の上で重視される中間帯においてはとくに取り立てていふほどの変化が見られない。開放紋孔率は地上 1.5 m 高の気乾材に最も低く (3.0~9.0%) 同高個所の生材では辺材の春材における 59.5% を除外しても 3.5~17.0% 程度であるのに対して、地上 7.0 m 高では気乾材で 3.5~24.5%、生材で 5.0~68.0% と広い偏差を示し、ことに中間帯を含む辺材においてこの値が高い。したがって地上高が増加するに従つて、あるいは辺材での開放紋孔率が増加する傾向が、生材・気乾材を通じて存在するかも知れないことは、先の地上高差の比較の項下において指摘した通りである。

d) 春材と秋材との比較

上記によつてすでに明らかなように、一般的傾向としては各部位についての開放紋孔率が秋材よりも春材に低い。ただ地上 1.5 m あたりでは生材の辺材外周部分において開放紋孔率が非常に高く、地上 7.0 m の対応部位にこのような関係の見られないのは却つて不思議である。

(2) 浸透長およびその分布

Table 3 総括表に示された生材・気乾材別自然浸透長を取り出して図示したものが Fig. 9 である。

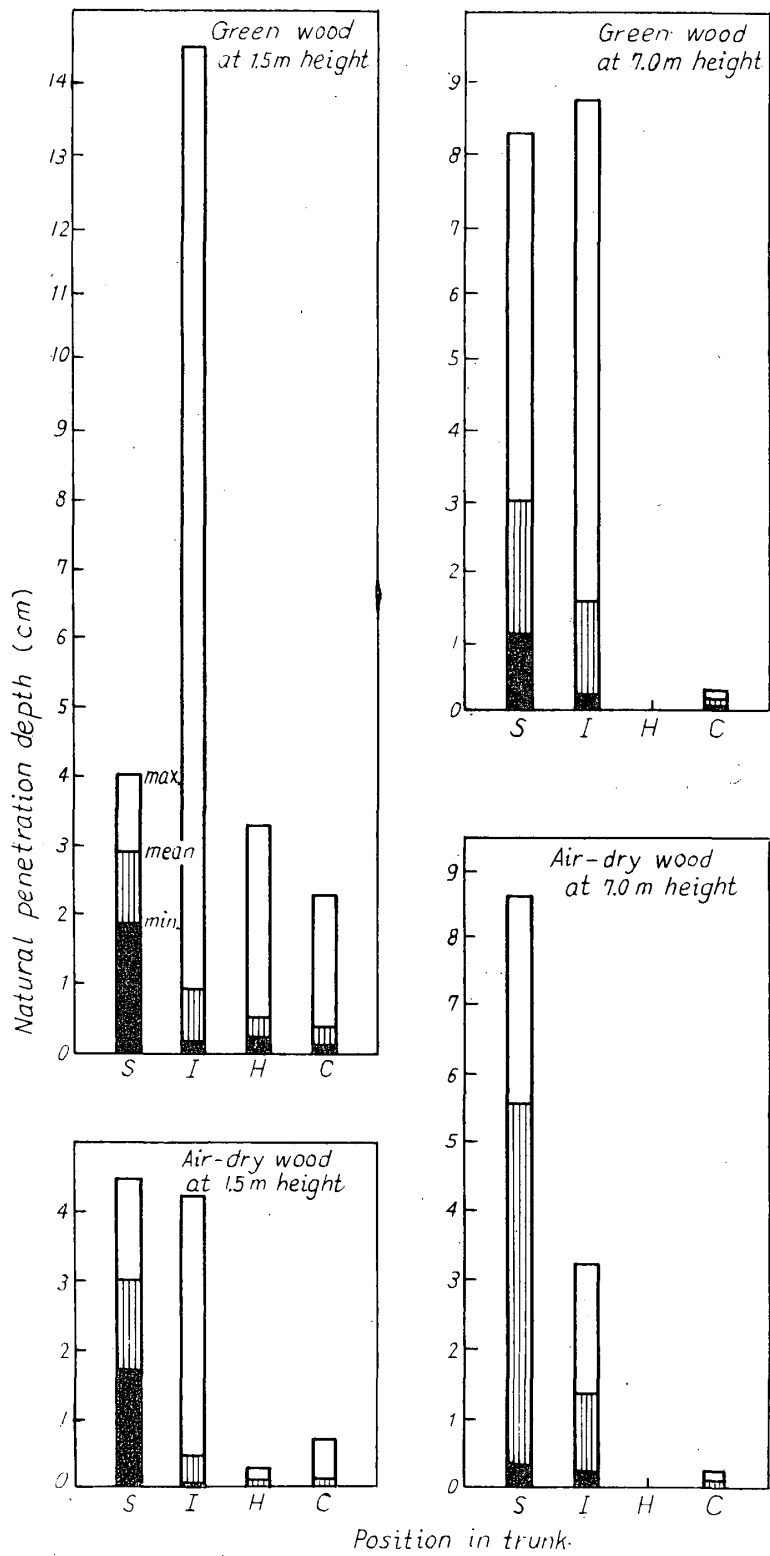
この図から明らかなように、各部位における浸透長の最高値は率先浸透との関係もあつてやや不確定な値であり、平均値にくらべると、ことに生材の場合、その数倍、十数倍に達することのあるのは諸ける。最低値は要するに抵抗最大の細胞での浸透長であり、これは多くの場合拡散浸透長を示唆するものと解した方がよいように思われる。

前記開放紋孔率との関連において考える必要のあるのは結局浸透長の平均値が示す傾向である。Fig. 9 でこれを見ると、地上高・生材・気乾材の別を問わず、浸透長は辺材から樹心へと減少する傾向が認められ、中でも辺材外周部から中間帯への低下が著しい。また地上 7.0 m 高における気乾材の辺材浸透長は他に比べて大きい値をもっているだけにそれから内部・樹心にわたつての浸透長の低下は最もはげしい。

浸透長の分布形はいずれも針葉樹材に一般の形をあらわし、特記すべき差異は認め難い。

(3) 開放紋孔率と浸透長との関係

この関係を知るには Fig. 8 と Fig. 9 とを比較対照すればよいはずであるが、これらの間に明確な相関を認めることはおおむね困難である。ただ浸透長平均値が示す辺材から樹心への低下傾向と、やや不鮮明ながら開放紋孔率 (ことに春材のそれ) が示す同じく辺材から樹心への一般的低下傾向との相関は否定することができない。要するに浸透長は多数因子に支配された浸透の総合結果の 1 標示に過ぎないものであつて、これを主として紋孔閉鎖の点から解釈す



S : Sapwood, I : Intermediate zone, H : Heartwood, C : Core zone

Fig. 9. Distribution of natural penetration depths in trunk, derived from Table 3. Sugi Wood.

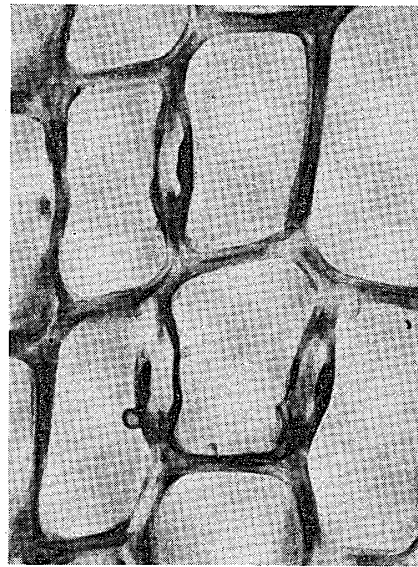
ることに問題があると見るべきであろう。

(4) 閉鎖・開放重紋孔対の顕微鏡像

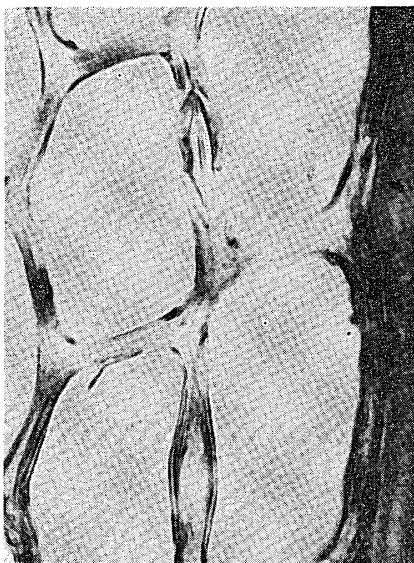
本実験における開放紋孔率計測の対象となつたスギ材仮導管半径面重紋孔対の断面像の一部を Fig. 10 として例示した。



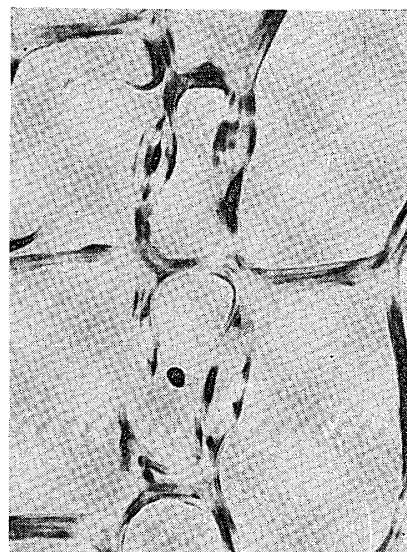
A. 3 pit-pairs unspirated. Earlywood, $x, 660\times$.



B. 3 pit-pairs aspirated. Earlywood, $x, 660\times$.



C. 1 pit-pair unspirated. Earlywood, $x, 660\times$.



D. 2 pit-pairs unspirated, and 1 pit-pair aspirated (lower right) which contains resin. Earlywood, $x, 660\times$.

Fig. 10. Sections of the bordered pit-pairs, Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don).



E. Aspirated pit-pair. Earlywood, \times , 1600 \times .



F. Unaspirated pit-pair. Latewood, \times , 1600 \times .



G. Unaspirated pit-pair (left). Earlywood, \times , 1600 \times .



H. 3 pit-pairs aspirated. Latewood, \times , 1600 \times .

Fig. 10. (continued)

考 察

上に得た実験結果を既往の諸説に照合して考察を加える。

まず古くからの通説 (RUSSOW⁶⁾, STRASBURGER⁷⁾ 等—貴島¹⁰⁾ 参照) では、

1) 一般に針葉樹では、生材において辺材の重紋孔対が大部分開放状態にあると考えられていて、本実験結果でも地上 7.0 m の個所には本説が当てはまるけれども、地上 1.5 m の個所においては秋材はむしろ閉鎖状態が優勢である。

2) 同様な意味で、生材中の心材ならびに乾燥材においては春材の重紋孔対がおおむね閉鎖状態にあり、秋材では依然開放状態に止まるとする点も、決して全幅的には肯定することが出来ない。

要するに古くからの通説は非常におおまかなもので、個々の具体事例については多くの例外を蔵するものといえよう。

GRIFFIN¹¹⁾²⁾ の所説中、

1) 山地生の Douglas fir においては生材でもその秋材にはかなり多くの閉鎖紋孔が見られるとしている点は、本結果にもおおむね適合すると見てよいが、低地生 Douglas fir にはこのような事実がなかつたとしているように、本結果中でも地上 7.0 m 高では開放紋孔率が高く、閉鎖紋孔率はむしろ低下している。

2) 山地性 Douglas fir について気乾材には比較的閉鎖紋孔が多いとなしている点は、この結果からも肯定される。

3) クレオソート油が低地生 Douglas fir の秋材には良く浸透するが山地性のそれにはほとんど浸透しないのは、閉鎖紋孔対の数に直接符合するものとなしているが、これは厳密な検討を経ての帰結ではなく、ことに浸透度に関しては数値的資料に立脚したものではない。

要するに彼の所説からは、生材が乾燥するにつれて閉鎖紋孔が増加すること、クレオソート油のよく浸透する個所には閉鎖紋孔の少ないことを知るべきであろう。

PHILLIPS³⁾ の所説中、

1) 生材では自由水がまだかなり含まれている場合でも閉鎖紋孔はあらわれ、その数は含水率の低下とともに増加し、繊維飽和点において春材の重紋孔対はほとんどすべて閉鎖するが、乾燥材ではその秋材重紋孔対の一部はなお開放のままに残るとなしている点は、本結果からも大体肯定できるけれども、地上高いかんによつては、乾燥秋材の残存開放紋孔の割合が非常に低く、却つて春材のそれの方が高い場合 (本結果では地上 1.5 m の気乾材) もあることに気付く。また、

2) 紋孔開放あるいは閉鎖の割合として、春材・秋材のそれぞれに特徴的な数値は、春材ではその初期、秋材ではその終期、すなわちいずれも年輪界に近い部分においてはじめて得られることを指摘するために、彼はオウシュウアカマツ (*Pinus sylvestris* L.) やベイマツ (*Pseudotsuga taxifolia* Britt.) について1年輪中での位置の変化に伴う開放紋孔率を追跡して、本結果中の浸透長分布曲線 (分布形) と同様、春材に低く秋材に高い曲線を得ている点は興味深い。

最後に自己の実験結果を省みて考察を加えるならば、

1) 先にも一寸触れたように、開放紋孔率の測定値は地上 1.5 m の個所におけるものと地上 7.0 m の個所におけるそれとでは、辺材から樹心への変化傾向にかなりの差がある点にかんが

み、地上高に関してさらに精細な考慮が必要であること。

2) 開放紋孔率の辺材から樹心への変化傾向からいえば、辺材の外周部と樹心部とは、やや不規則な、理解し難い値が現われているのに気付く。これはそれらの部位がそれぞれ形成層帯あるいは幼若の域を脱しないところの、細胞としては未成熟な個所であることに思い当る。

3) したがってこれらの問題点を除外すれば、概して樹幹の外から内に向つての開放紋孔率の規則的な低下傾向を認めることが出来て、これが浸透長ことにその平均値の示す変化傾向すなわち分布形に対応することになるであろう。これが本報において開放紋孔率と浸透長との相関を否定出来ないと記した所以である。

4) なお浸透長の求め方について、試片に対し単に自然浸透を期待するのみでなく、多少の加圧あるいは減圧注入の操作を加えることによつて、浸透長の較差を大きくし、その各部位による変化あるいは年輪内における分布の把握を容易ならしめうることが期待される。また浸透長の代りに浸透液量を測定すれば一層実用的な結果を得ることにもなるであろうと考えられる。

結 論

本研究、スギ材の紋孔閉鎖に関する実験の結果を要約すれば大体次の如き結論となる。

- 1) 開放重紋孔対の割合すなわち開放紋孔率は、春材よりも秋材において概してその値が高い。
- 2) 開放紋孔率は生材から気乾材へと概して大幅に減少する。
- 3) 地上高の増加は辺材における開放紋孔率を増加させるという傾向の示唆を受ける。
- 4) 生材の辺材では、地上高の増加が春材と秋材との開放紋孔率のひらきを少なくする。
- 5) 浸透長に対する開放紋孔率の相関は否定できない。

なお以上の結論に関連して、

- 6) 開放紋孔率、換言すれば紋孔閉鎖に関する問題の究明には地上高の差異をもぜひ考慮する必要がある。
- 7) 辺材外周部と樹心とはともに未成熟組織ではあり、特別に取り扱う必要がある。ことをとくに付記したい。

Summary

As to the liquid flow-penetration into wood, it is generally known that inter-cellular pit-pairs cause a bottleneck. Every pit-pair has a joint pit membrane, and semipermeability or osmosis is subjected to its structural texture. It seems to be the reason of intensive research on this field in the world now.

In case of bordered pit-pairs in coniferous tracheids, if the tori on their pit membranes would develop well, be aspirated to their pit aperture and consequently close the pit-pair, the liquid flow-penetration into the portion of wood should be hindered, although their pit membranes or closing membranes may have pores which are sufficient to pass liquid. In this sense, the subject of so-called pit

closure that had ever been investigated is worthwhile to be precisely carried out again.

The authors obtained materials from 1.5 m and 7.0 m heights above ground of a living Sugi-tree (*Cryptomeria japonica* D. Don), counted the percentages of their unspirated or opened pit-pairs at each position in trunk (i.e. sapwood containing so-called intermediate zone and heartwood containing core zone) at green and air-dry conditions, and asked for the correlation between these percentages and the natural penetration depths of water measured from wood specimens in the corresponding positions.

Counting procedure of the pit closure belongs to an uneasy work in the region of microscopically visible limits, hence the preparation of materials and the microscopical investigation were carried out scrupulously after some preliminary experiments using materials of Kuromatsu-wood (*Pinus thunbergii* Parl.) (Table 1) and Karamatsu-wood (*Larix leptolepis* Gord.) (Table 2).

The results obtained (Tables 3~5) do not satisfactorily show clear correlation between the pit closure and the penetration but suggest some relations as follows:

1) The proportion of unspirated bordered pit-pairs is generally higher at earlywood than latewood.

2) The percentages of unspirated pit-pairs decrease largely from green to air-dry conditions.

3) The increase of height in trunk above ground may cause the increase of unspirated pit-pair percentages of sapwood.

4) In green sapwood, the increase of height in trunk diminishes the difference of unspirated pit-pair percentages between earlywood and latewood.

5) The correlation of the pit closure to the water penetration should not be denied.

Furthermore, according to the present experiment, the followings should be considered to clarify the above correlation.

6) To solve the problem of the pit closure, it is required to take account of the difference of height positions in trunk.

7) Core heartwood and outermost sapwood portions have to be treated exceptionally in the sense that they are alike a sort of the immature tissues or cells.

文 献

1) G. J. Griffin, (*Am.*) *J. Forestry* 17, 813 (1919).

2) G. J. Griffin, *Ibid.* 22, 82 (1924).

3) E. W. Phillips, *Forestry* 7, 109 (1933).

- 4) 古沢 清, 林試研報 No. 76 (1954).
- 5) A. Frey-Wyssling, H. H. Bosshard, *Holzforschung* 15, 129 (1959).
- 6) E. Russow, *Bot. Centralblatt* 13, 95 (1883).
- 7) E. Strasburger, *Histologische Beiträge* 3, 31.
- 8) G. Jayme, G. Hunger, D. Fengel, *Holzforschung* 14, 97 (1960).
- 9) 貴島恒夫, 林 昭三, 木材研究 No. 24, 33 (1960).
- 10) 貴島恒夫, 京大演習林報告 No. 33, 267 (1961).