

木材への水の透過性におよぼす樹脂道の影響

林 昭三* 貴島恒夫*

Shozo HAYASHI* and Tsuneo KISHIMA* : Influence of Resin Canals upon the Water Permeability of Wood

木材は極めて多孔性であるが必ずしも浸透の容易な材料とはいえない。比重の範囲が 0.3～0.6 という普通の木材では、その空隙率は 80～60% の範囲にある。この空隙は針葉樹では仮道管内腔をはじめ、放射細胞内腔、樹脂道、その他の細胞間隙などを主体とした毛管からなっていて、樹液の通導、防腐薬剤の注入、あるいはパルプ蒸解液の浸透などはこの毛管空隙を通して行なわれる。

一般に乾燥している木材を液体中に浸漬すると、木材はその液体を吸収する。これは主として毛管作用により液体が木材内部へ浸透するもので、毛管の半径が小さいほど液体は細胞中に高く浸透する。したがって樹脂道が存在する樹種では、少なくとも自然浸透のばあい、それも浸透の先導者になるが、その木材中に占める割合も少ないし、直径も大きいので、浸透に与する役割はそれほど重視するには当たらない、ということはずでに報告したことがある¹⁾。一方、圧力を加えられた液体が木材中を透過するばあい、例えば Poiseuille の法則によれば、毛管中の液体の流速は半径の 4 乗に比例することになる。ところが木材中の毛管は半径が不均一なだけでなく、非常に複雑な配列をなしており、また膜孔も存在するため、簡単な理論式による木材浸透性の解析は極めて困難なようである。

しかし木材の液体浸透性あるいは透過性は、木材への薬剤注入工業に極めて重要な意義を有するものである。そこでわが国の針葉樹材の代表としてアカマツとスギを選んで水の透過性を測定し、樹脂道の影響を調べたところを報告する。

実験方法

アカマツ〔山崎（兵庫県）、新見（岡山県）、西条（広島県）産〕およびスギ〔新見（岡山県）産〕の正常な辺材から、直径 3 cm、繊維方向の長さ 3 cm の木理に平行な円柱試片をとって、Fig. 1 に示すような装置にとりつけ、水の透過速度をいろいろの前処理を施した材料について測定した。

装置は内径約 16 mm のガラス管の下端を直角に曲げ、その部分の口径を 30 mm にしたものである。この個所に試片をゴムチューブで接続し、ガラス管中に 150 cc の蒸溜水を入れ、その減量（入量）10 cc ごとに要する時間を

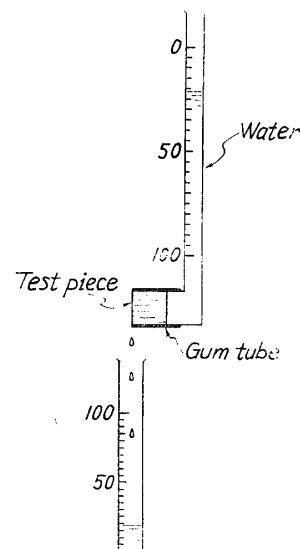


Fig. 1. Apparatus for measuring water permeability of wood.

* : 木材生物研究部門, Division of Wood Biology

測定し、50 cc あるいは 100 cc まで観測を続けた。最初に 150 cc の蒸留水を入れたとき、試片の中央から水面までの水柱の高さは 68 cm, 100 cc 透過後の水柱の高さは 17 cm であつた。したがって透過が進むにつれて水圧は継続的に低下しているが、一定の高さからの透過に対しては同じ圧力の変化が生じるので、50 cc あるいは 100 cc の透過に要する時間をもつて試料に対する水の透過性の比較を行なつた。なお参考のために透過して出てきた水分の量（透過量）も記録した。

前処理の方法は各々つぎのとおりである。

1. 60°C 乾燥：試片を 60°C に調整した乾燥器に 1 週間入れて乾燥した。
2. 絶乾処理：まず乾燥による割れを防ぐために 60°C の乾燥器に 24hr 入れてから、さらに 105°C に調整した乾燥器で 3 日間乾燥した。

これら乾燥処理をしたもの、および無処理気乾試片はそのまま直ちに透過実験に供した。したがって初回の透過には、試片が乾燥していたために、比較的長時間を要し、また入量 100cc

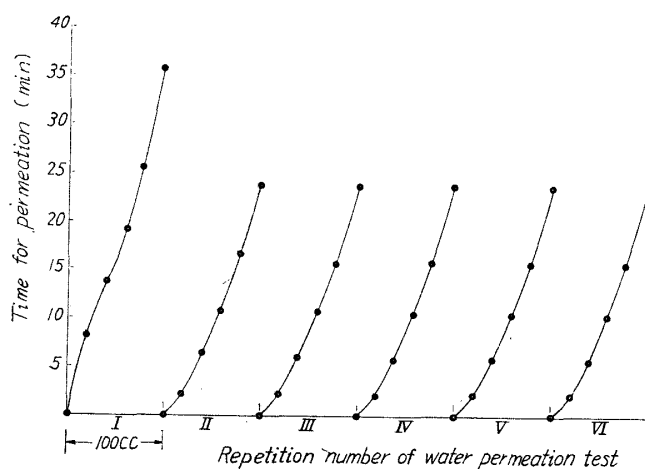


Fig. 2-1. Relation between water permeation and time. When the test piece was dried in advance, the first permeation needs somewhat longer time than the subsequent one.

(AKAMATSU, from Yamazaki. The test piece has already been in air dried condition.)

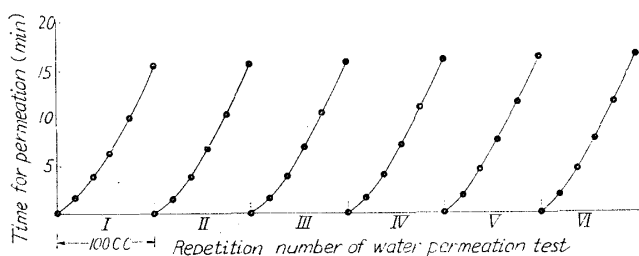


Fig. 2-2. Relation between water permeation and time. When the test piece was wetted with water or alcohol in advance, the time elapsed for water permeation was almost alike in every time of the repeated tests.

(AKAMATSU, from Yamazaki. The test piece has already been dipped in ethanol.)

に対し透過量は平均して 95 cc であつた。しかし第 2 回以後は試片が充分濡れているため、透過速度も透過量もほぼ一定になつた (Fig. 2-1)。それで第 2 回以後の測定値の平均をもつてその試片の透過速度とした。

3. エタノール浸漬処理：99.5% のエタノールに試片を浸漬し、24hr 後に新しいエタノールと取り替えて 5 日間浸漬、さらに新しいエタノールに 5 日間、計 11 日間エタノールに浸漬した。

4. エタノール抽出処理：試片をソックスレー抽出器に入れ、99.5% のエタノールで 24hr 抽出処理を行なつた。ソックスレー器内の温度は 70°C であつた。

5. 熱水抽出処理：試片をソックスレー抽出器に入れ、24 hr 熱水で抽出した。このとき器内の温度は 87°C であつた。

これらの浸漬あるいは抽出処理試片は充分濡れた状態にあり、そのまま透過実験を行なつたので、乾燥している材のばあいと異なり、初回の透過からほぼ一定の透過速度および透過量を示した (Fig. 2-2)。なお

1 試片あたり 6 回の透過実験を行ない、初回を除いた 5 回の平均値をその透過速度とした。

透過実験を終った試片の木口面からは、年輪に直角に直径を含む巾 5 mm、厚さ 30 μ の木口切片をとり、サフラニンで染色しバルサムで封入して永久プレパラートを作成した。100 倍に拡大した像に 5 mm の格子をあて、算点法によつて垂直樹脂道の木口面における面積率を求めた。1 切片あたりの算点数合計は 16,810 個であつた。比重、年輪巾、晩材率は普通の方法で求め、エタノール抽出量は透水実験を終った試片を細かく割裂したものを 72hr ソックスレー抽出器で抽出して求めた。

実験結果および考察

透過性測定の結果は、比重その他の性質および樹脂道の解剖的性質とともに、Table に示した。

この実験法では透過が進むにしたがつて圧力が減少するから、50 cc のばあいの速度より 100cc のそれが小さくなるのは当然である。しかし山崎産アカマツ気乾材の透過速度を 100 としたときの各処理のその比を求めると、50cc のばあいと 100cc のばあいと極めて近似した値を示していることは、入量（あるいは透過量）を多くする必要がないことを表わしている。

1. 樹種別の透過性

供試した 2 樹種間には透過性に大きな差があり、アカマツがスギの数 10 倍の透過性を有していることが Table からわかる。水の代りに酸性フクシンの 1% 水溶液を透過させたものについて、いろいろの段階で試片を割つて透過経路を調べた。アカマツでは垂直方向の樹脂道が最初の通路となり、極めて短時間のうちに 3 cm の試片を通過してしまう。ついで垂直樹脂道から水平樹脂道および放射組織に横浸透し、さらにそれらに接している仮道管に浸透を見た。木口面に現われている仮道管からの浸透はかなり遅れていた。最後には試片全体が染色されたが、これが流動浸透によるものか拡散浸透によるものか区別し難いため、全部の細胞要素が透過に与つていたとは断定できない。

以上のことは、樹脂道の試片内に占める体積が少ないにもかかわらず、水の透過には大きく作用することを示している。

スギにおいては細胞内径の大きい早材が透過の主役になると予想したにもかかわらず、実際には最も細い年輪界の晩材仮道管に最初の通過が認められた。

自然浸透のばあいには¹⁾²⁾ 内径の細い晩材に率先浸透が期待されたのに、実際には早材後期ないし晩材初期の仮道管にそれが認められたことなど、木材の毛管構造の複雑さを示しているといえる。仮道管の有縁膜孔の開閉については測定しなかつたが、アカマツとスギとで透過性に大きい差があるのは主として樹脂道の存否によると考えて誤りないと思う。

2. 産地別に見たアカマツの透過性

産地により木材の水の透過性にかなり差が認められる。すなわち供試アカマツ材では山崎 > 新見 > 西条の順になる。たとえば気乾材では、山崎産のものに対し、新見産のものは 33% の透過量を示し、エタノール浸漬材では新見産のもの 27%、西条産のもの 13%、エタノール抽出材ではそれぞれ 49%、16% であつた。産地による透過性の差は同一産地材における前処理による差よりも大きい。これはもちろん産地による材の解剖的性質の差にもとづくものと考えられる。

Table Water permeability and anatomical features

Species	Habitat	Pre-treatment	Permeability (cc/cm ² .min)				Ethanol extract after water permeation test (%)	Specific gravity in air dry	Annual ring width (mm)	Late wood (%)	Vertical resin canal		
			50cc in-flow		100cc in-flow						Vol-ume (%)	Diameter (μ)	
												Rad.	Tan.
AKAMATSU (<i>Pinus densiflora</i> SIEB. et ZUCC.)	Yamazaki (Hyōgo Pref.)	Air dry	6.36	100(%)	4.33	100(%)	0.26	0.54	2.5	27			
		Oven dry	5.38	85	3.67	85	0.95	0.54	2.5	26			
		60°C dry	4.36	69	2.98	69	—	0.54	2.5	26	0.32	97	102
		Ethanol dip.	9.23	145	6.34	146	0.16	0.55	2.4	28			
		Ethanol ext.	9.96	157	6.90	159	—	0.55	2.4	28			
SUGI (<i>Cryptomeria japonica</i> D. DON)	Niimi (Okayama Pref.)	Air dry	2.10	33	1.40	32	—	0.51	2.4	25			
		Ethanol dip.	2.45	39	1.62	37	0.33	0.51	2.4	25	0.34	103	92
		Ethanol ext.	4.85	76	3.33	77	—	0.50	2.3	19			
		Hot water ext.	8.42	132	5.81	134	0.45	0.49	2.4	23			
SUGI (<i>Cryptomeria japonica</i> D. DON)	Saijō (Hiroshima Pref.)	Ethanol dip.	1.32	21	—	—	0.19	0.60	1.3	31			
		Ethanol ext.	1.57	25	1.10	25	—	0.60	1.3	31	0.21	81	76
SUGI (<i>Cryptomeria japonica</i> D. DON)	Niimi (Okayama Pref.)	Air dry	0.045	0.7	—	—	0.31	0.36	2.8	19			
		Oven dry	0.043	0.7	—	—	—	0.36	2.9	19			
		Ethanol dip.	0.145	2.3	—	—	0.22	0.36	2.7	21			
		Ethanol ext.	0.248	3.9	—	—	—	0.36	2.7	21			

3. 解剖的性質と透過性

樹脂道の存否がアカマツとスギの透過性の差異をきたす原因であるとすれば、樹脂道の太さや材中に占める体積が透過性に影響することも容易に想像される。西条産アカマツが透過性の悪い原因としては、材中に存在していたエタノール抽出物量が山崎産のものと大差がないにもかかわらず、樹脂道がやや細くその量も少ないことが考えられる。また新見産アカマツの透過性が山崎産のものの25～50%に過ぎない原因としては、素材および前処理を施した材における可溶性物質の残留分（たとえばエタノール浸漬処理材の透過実験後のエタノール抽出物量が新見産アカマツにおいて山崎産のものの約2倍に達する）が通路を塞いでいることが考えられる。

アカマツ材の気乾比重は、西条産0.60、新見産0.50、山崎産のものはその中間で0.54であった。また試片の放射方向の直径について年輪巾および晩材率を測定した結果、年輪巾の小さい西条産アカマツは晩材率が大きく、したがって比重も大きい。しかしこれらの諸因子が透過性におよぼす影響については、この実験では明らかでない。

4. 前処理と透過性

透水実験の初回に流出した水は乾燥材、エタノール処理材を問わずかなり着色していたが、つづいて数回の透水を行なった試片について求めたエタノール抽出物量は、素材のその数%に低下していた。たとえば新見産アカマツのばあい素材のアルコール抽出物量が10.80%、熱水抽出物量が3.98%であるのに対して、熱水抽出処理を施した試片の繰り返し透水試験後のアルコール抽出物量はわずかに0.45%であった。

また気乾材、乾燥材、アルコール処理材で、透水後のアルコール抽出量が若干異なるのは、主として各処理によつて材中に含有されている成分の水による可溶性、流失性が変化を来したためと考えられる。

樹脂は水に不溶、アルコールに可溶で、乾燥すると精油が揮発し、樹脂の一部は酸化されて粘度を増し、遂には固化する⁸⁾ものであつて、本実験においても乾燥処理によつて水に可溶の流出成分は少なくなるのに対して、エタノール浸漬を行なったものでは樹脂道や細胞内腔あるいは膜孔隙に含まれている樹脂がかえつて水に可溶で流出しやすいものになつたと考えられる。しかもこれが透水の際の通路の大きさに影響をおよぼしていると考えられる。すなわちエタノール処理（エタノール浸漬あるいは抽出処理）のばあいは可溶分が流出して通路がそれだけ大きくなつたため、透水性が気乾材のそれより大きくなつたと考えられる。

事実山崎産および新見産のアカマツで、樹脂道の大きさおよび量がほぼ等しいにもかかわらず透水性が違ふのは、新見産材のエタノール抽出量が多く、試片中の通路が山崎産のものより一層塞がれていたことに起因するものと考えられる。またスギについてもエタノール前処理によつて透水後のエタノール抽出物量が少なくなり、透過速度が気乾材の約3～5倍に達しているのは、気乾材や絶乾材の場合、樹脂が通路を塞いでいたためにとくに透水性がわるかつたと見れば容易に理解できよう。

結 論

この実験は樹脂道が透水性におよぼす影響を知るのを目的に行なつたもので、自然浸透のばあいと異なり、ここにいう透過のばあいには水は多少とも加圧されていて、樹脂道が透過性に

かなり大きい影響をおよぼすと考えるのがむしろ当然である。この実験では試片にあらかじめ乾燥、エタノール浸漬、抽出などの前処理をも行なつてみたが、アルコール処理によつてクレオソートの浸透性が改良されることはすでに認められている⁴⁾し、KORAN⁵⁾も Douglas-fir 辺材に各種の有機溶剤で前処理を施すことにより、クレオソートの保有性が1.2倍に改良されたと報告している。本実験においてもエタノール抽出の前処理によつて、アカマツでは1.5~2倍、スギでは5倍以上の透水量を示していることから、エタノール処理によつて通路が一層開かれたものと考えられる。さらにアルコール以外の有機溶剤、たとえばベンゾール、アルコール・ベンゾール、エーテルなどによつて処理をすれば、通路がより太くなり、透水性もよくなることは想像に難くない。

なお本実験ではもつぱら気乾材の辺材に処理を施したが、KRAHMER⁶⁾は、樹脂の存在状態は生育中と伐採後とで、また辺材と心材とで異なり、宇野⁷⁾は生立木における樹脂は流動状ではあるが水の存在する場所へは入らず、伐採後乾燥するとそこに侵入する、と報告しているので、さらに伐採直後の生材あるいは心材について透水性を測定するのも興味あることに違いない。

摘 要

アカマツ(山崎, 新見, 西条産)およびスギ(新見産)の正常な辺材に各種の前処理を施し, その繊維方向の水の透過性を Fig. 1 に示す装置によつて測定し, それと, 同じ試片の解剖的性質および前処理との関係を調べた。

前処理方法は, (1) 試片を 60°C に調整した乾燥器で1週間乾燥, (2) 60°C で 24hr, つづいて 105°C で3日間乾燥, (3) 99.5%エタノールに11日間浸漬, (4) ソックスレー抽出器を用いて99.5%エタノールにより 24hr 抽出, (5) 同じく熱水により 24hr 抽出, の5種類である。

比重, 年輪巾, 晩材率は常法で測定し, 樹脂道の体積率は, 透水を終つた試片の木口切片をとり, それから得た100倍の拡大像から算点法により求めた。エタノール抽出量は, 透水実験を終つた試片を細かく割つたものをソックスレー抽出器で72hr 抽出して求めたものである。

樹種別にみるとアカマツがスギの数十倍の透水性を有していた。これは透過のばあいには, 自然浸透のばあいと異なり, 樹脂道の存否が大きく作用しているからで, これは水の代りに酸性フクシンの1%水溶液を透過させてその通路を調べた結果から明らかである。

アカマツの産地別にみた透過性にもかなり大きな差が認められた。もちろんこれは産地の違いにもとづく材の解剖的性質の差によるものである。

樹脂道の存否が透水性の有力な因子であるとすれば, それが材中に占める体積や太さの差がその要素である。たとえば西条産アカマツの透水性が悪いのは, 樹脂道が小さく少ないことによるものと考えてよい。

また通路としての樹脂道その他の組織にエタノール可溶成分が沈積して透水を阻害することのあるのは, 前処理にエタノールを用いたときには透水性がよく, 乾燥したときには悪くなることから容易に推察される。

なお本実験では透水性に対する比重, 年輪巾, 晩材率の影響は判然としなかつた。

Summary

Longitudinal water permeabilities of AKAMATSU (Japanese red pine) and SUGI (Japanese Cryptomeria) sapwoods, to which has been applied the following pre-treatments in advance, were measured by an apparatus shown in Figure 1, and their relations to anatomical features of the same materials and effects of pre-treatments for them were investigated in this work.

The kind of pre-treatments applied for the materials was (1) 1 week drying in a thermostat controlled at 60°C, (2) 3 day drying at 105°C immediately after 24 hr drying at 60°C, (3) 11 day dipping in 99.5% ethanol, (4) 24 hr extraction in 99.5% ethanol by using a Soxhlet extractor, and (5) 24 hr extraction in hot water by using the same extractor.

Specific gravities, annual ring widths, and latewood proportions were measured by the usual methods, and volume percentages occupied by resin canals were obtained by the dot-counting methods from some cross-sectional micrographs (ca. 100×) of the materials after the water permeation tests (Table).

As to the species of wood, the water permeability of AKAMATSU wood showed several ten times of that of SUGI wood. This was because, when the permeation paths of 1% acid fuchsin solution, instead of that of water itself, were examined, the existence of resin canals has taken more part of the water permeation in the case of pressed permeation unlike in that of natural permeation without pressure.

A considerable difference of the permeabilities of AKAMATSU woods produced in different habitats was also recognized in this work, and it has, of course, been caused by the difference of anatomical features of woods based on the habitats.

Since the existence of resin canals in wood is an effective factor of water permeability, the volumes and diameters of the resin canals should be the elements of it. For example, the reason that one of the AKAMATSU woods which produced from Saijō, Hiroshima Prefecture, showed less permeability than others was to be due to the fineness and scarceness of its resin canals.

It is easily accepted that the probable obstruction of water permeation by depositing of ethanol soluble substances in the resin canals or others as the permeation paths is recognized from the fact that the water permeability of wood grows more by its ethanol pre-treatment but less by its drying one.

The influence of specific gravity, annual ring width, and latewood proportion to the water permeability could not be clearly recognized in this work.

文 献

- 1) 貴島恒夫, 林 昭三, 木材研究, No. 24, 33~45 (1961).
- 2) 林 昭三, 貴島恒夫, 木材研究, No. 31, 87~103 (1963).
- 3) 奥貫一男, “植物生理化学” 第8章, 638 (1954) 朝倉書店 (東京).

- 4) 古沢 清, 林試研報, No. 76, 169~173 (1954).
- 5) KORAN, Z., F. P. J., **14**, 159~165 (1964).
- 6) KRAHMER, P. J. and T. T. KOZŁOWSKI, "Physiology of Trees" Chap. 6, 140~169 (1960) McGraw-Hill (New York).
- 7) 宇野昌一, 日林誌, **12**, 400~401 (1930).