

針葉樹材への水の横浸透に関する研究

林 昭三*・貴島恒夫*

Shozo HAYASHI* and Tsuneo KISHIMA*: Study of the Transverse Penetration of water into Softwood

水あるいは溶液が木材中へ浸透することは、木材防腐、防虫あるいはパルプ化などの工程に即してよく知られている事実であり、実用的な見地からも浸透性研究の意義は深い。多孔性の木材では主として細胞の内腔や間隙を通じて液体の浸透が起るが、元来木材は構造的に異方性で、針葉樹では樹体内に占める仮道管の容積が95%にも達し、しかもその長さの方向と材の軸方向とが一致していることから、浸透の方向もいきおいそれに支配されることになる。しかし木材利用の見地からすれば、横浸透の研究もまた無視することのできない因子の一つである。筆者ら¹⁾は先に浸透の経路について、さらに前報²⁾では針葉樹材の縦浸透に及ぼす含水率の影響について報告したが、今回はその一連の実験のうち、針葉樹材の横方向の浸透性について、その浸透方向が柃目面からか板目面からか、また板目面からのときには木表からと木裏からとで相異があるかどうか、さらに含水率がいかに影響するかについて調べ、あわせて浸透経路をも顕微鏡的に観察したので、その結果を報告する。

材料および方法

供試材料としては正常健全なスギ(*Cryptomeria japonica* D. DON) 辺材、心材、ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa* ENDL.) 辺材、アカマツ(*Pinus densiflora* SIEB. et Zucc.) 辺材を用い、スギ、ヒノキでは $2 \times 2 \times 4$ (//) (cm)、アカマツでは $3 \times 3 \times 3$ (//) (cm) の二方柃試片をとった。実験は気乾、繊維飽和の2段階の含水状態で行なつた。試片は最初気乾状態にあつたので、そのうちの半数を水を入れたデシケーターに入れ、吸湿による重量増加を測定し、その重量が一定になつたときをもつて繊維飽和状態に達したものとした。これに要した日数はスギ、ヒノキでは35日、アカマツでは30日であつた。これらの試片の諸性質は Table 1 に示すとおりである。

浸透実験においてはペトリ皿の底にガラス板を敷き、その上に汙紙を置いて、それがつねに酸性フクシン1%水溶液で濡れている状態にして、そこに試片を載せた。試片の浸透面以外にはワセリンを薄く塗布して、フクシン溶液の甸甸上昇を防いだ。伊藤³⁾によるとスギの縦浸透において、心材では浸透面に相対する面を閉鎖しても影響はないが、辺材では多少それがあるとしており、また ENOMOTO⁴⁾ らは木材中に含まれている空気が浸透に影響すると述べている。この点について予備実験を行なつた結果では、一般に横方向の浸透は縦方向のそれに較べて小さいので、相対する面にワセリンを塗布することによる影響は認められなかつた。ただ側面にワセリンを塗布すると、木材中へ浸透して浸透面積がそれだけ狭められることになるが、それもせいぜい1~2細胞層に止まるので、その影響は無視してよいことが判つた。ワセリンの代

* 木材生物研究部門, Division of Wood Biology

りにパラフィンや合成樹脂塗料を用いると、材が吸水膨張するときに、内部応力を発生したり、塗膜面に亀裂を生じたりするので、この点からもワセリン塗布が適当であることを知つた。

試片は 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 24 の各時点においてペトリ皿から取り出し、浸透面に付着している余分の液を乾いた沓紙で拭きとり、重量を測定して、単位面積当りの浸透量とした。

1 条件当りの試片数は 5 個、実験は 26°C の室内で行なつた。

これらの測定値を両対数グラフにプロットすると、2 時間目以後の測定点がほぼ直線となるので、この部分の平均傾斜の値を求めた。測定を終つた試片は室内に静置して再び気乾状態になつたときに、マイクロームで厚さ 25 μ の切片を乾燥状態のままで切りとり、パルサムで封入して永久プレパラートとし、これを横方向の浸透の主役と考えられる放射組織に主眼をおいた浸透経路の顕微鏡観察に供した。

結果および考察

浸透開始後 0.2 時間 (12 分) までの重量増加には、試片表面の状態や液面との接触状態によつて、かなりの変動があつた。そこで 0.5 時間以後の各測定時点の浸透重量すなわち浸透したフクシン水溶液の重量を 0.2 時間の値を基準にして樹種ごとにプロットすると Fig. 1~4 のごとくになる。

1. 樹種別にみた横浸透

Fig. 1~4 で特に注目しなければならないことは、Fig. 4 のアカマツ辺材の浸透量が他の 3 種類の試料のそれに較べて 1 桁オーダーが高いことである。例えば気乾材の板目面からの浸透についてみると、24 時間の浸透量が他の 3 種については 20~40mg/cm² であるのに対し、アカマツでは 500~700mg/cm² となつており、このことは飽湿試片の浸透結果についても、柾目面のそれについてもいえることである。アカマツの横浸透が、スギ、ヒノキのそれに比較して、このように大きい原因として考えられる第 1 の点はその放射組織の構造である。アカマツの放射柔細胞では分野膜孔が窓状をなし、そこを通しての隣接仮道管への浸透が、スギ、ヒノキのそれより格段に容易なことである。その上これらの仮道管から再び他の放射組織に浸透し得ることは、すでに報告した¹⁾ クロマツの場合と同様であつた。またアカマツには水平樹脂道も存在し、それが空洞をなしているときには液体の通路としてかなり役立っていた。Buro⁵⁾ は Kiefer の心材では樹脂道は非浸透性であつたと報告しているが、これは多分樹脂あるいはクロソイドによつて樹脂道が閉鎖されていたのによるものであろう。一方著者ら⁶⁾ は有機溶剤で木材を処理すれば、可溶成分が抽出されて浸透性が改良されることを認めた。かくてアカマツの横浸透がスギやヒノキの縦浸透²⁾ とほぼ等しい値を示し、スギやヒノキの横浸透は縦浸透の 10% 程度であつたのは、放射組織から隣接仮道管への浸透がアカマツほど容易でなかつたためであろうと考えられる (Photo. 3, 4, 5)。

スギの辺材と心材とを比較すると横浸透値は辺材がやや大きかつた。縦浸透²⁾ においては辺材が心材の 3~4 倍の値を示したのに対し、横浸透では 1.5 倍程度であつたのは、浸透の絶対量が縦浸透に比して極めて少なかつたことによるものとも考えられるが、浸透経路の主役が縦浸透では仮道管であり、横浸透では放射組織であることの影響の方が大きいと考えられる。仮道

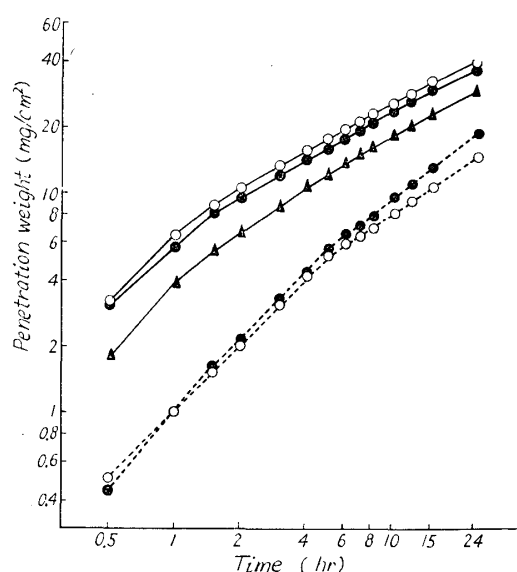


Fig. 1 SUGI sapwood

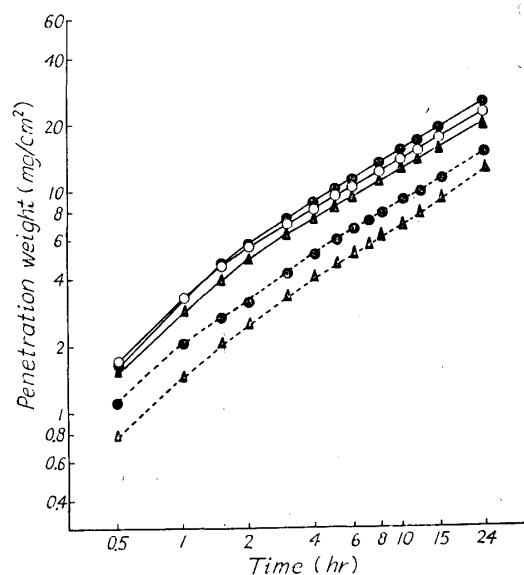


Fig. 2 SUGI heartwood

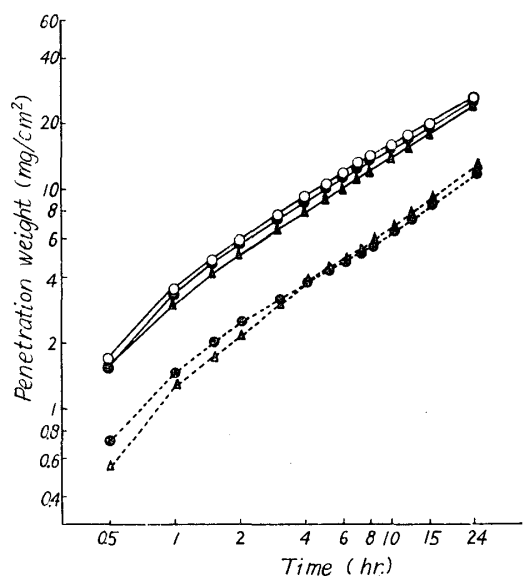


Fig. 3 HINOKI sapwood

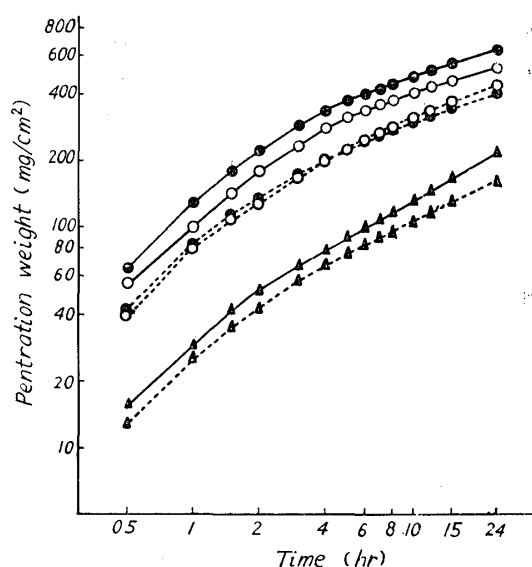


Fig. 4 AKAMATSU sapwood

Air dry	Penetrated from	Moisture saturated
○ — ○	back side of flatsawn grain	○ - - - ○
● — ●	face side of flatsawn grain	● - - - ●
▲ — ▲	quartersawn grain surface	▲ - - - ▲

Figs. 1~4. Penetration weight-time curves.

Penetration weight of AKAMATSU sapwood, Fig. 4, is much larger than the others, and moisture-saturated specimens show lower penetrability than air-dry specimens.

管を通つての液体の浸透は有縁膜孔を通過して行なわれるが、心材では膜孔の閉鎖しているものが多いことから、当然浸透性も低下する。放射組織を通過する場合も膜孔を通るわけであるが、辺材と心材とにおける膜孔の構造の差が、仮道管におけるほど大きくはないのではないかと考えられる。この点については今後さらに究明の必要がある。

2. 浸透方向の影響

横浸透の場合には浸透面が板目か柀目か、板目であればそれが木表か木裏かの3つの場合に分けられる。Fig. 1~4 で判るように木表か木裏かによる影響は殆んどなく、柀目面からの浸透に比してこれら板目面からの浸透が、特に浸透性のよいアカマツ辺材において大きく、浸透性の低いヒノキ辺材やスギ心材においては両者間に殆んど差のないことも注目し得る。横浸透における浸透の主役が放射組織である以上、板目面にはその横断面が現われており、柀目面にはその縦断面が平行に現われているため、浸透量に差の生じるのは当然である。柀目面から液体が浸透するためには、仮道管の有縁膜孔を通るか、放射組織を横断しなければならない。尿素樹脂接着剤のような粘度の高い液体がアカマツの分野膜孔を通して浸透した例もあるが⁷⁾、同じ距離を浸透するのに、縦浸透に比して横浸透では格段の抵抗があるはずであるから、浸透が困難になるのは当然である。ところが板目面からの横浸透には放射組織が縦方向の細胞として働らくため、これらの細胞の浸透性が横浸透を左右する。アカマツでは放射組織自体の浸透性も大きく、それから隣接仮道管への浸透も大きい (Photo. 5) ので、板目面の浸透と柀目面のそれとに大きな差が生じ、ヒノキ辺材やスギ心材では、放射組織への浸透も小さく、それから仮道管への浸透もアカマツに較べるときわめてわずかであり、24時間の浸透でも表面の数細胞層に限られている。このことが板目面の浸透と柀目面のそれとの間に差を生ぜしめない原因をなしているものと考えられる。事実柀目面からの浸透は板目面からのそれより困難であるという CARR⁸⁾ や ERICKSON ら⁹⁾ の報告がアカマツやスギ辺材の結果と一致している反面、RESCH¹⁰⁾らは Redwood の心材について、柀目、板目による差のないことを述べているのはヒノキ辺材やスギ心材の結果と同じである。供試片材料の性質によつてはこのような結果が生じ得ることを示しているもののように思われる。

3. 含水率と横浸透

Fig. 1~4 には、気乾状態の測定結果を実線で、飽湿状態のそれを点線で示したが、いずれの場合においても気乾材における浸透の絶対量が同じ種類の試料の飽湿材のそれより大きくなっている。浸透量を W 、浸透時間を T としたとき、 $\log W = v \log T$ から平均傾斜の値 v を求めると Table 2 のごとくで、この値は概して飽湿試料の方が気乾試料より大きかつた。

スギやヒノキの辺材縦浸透²⁾ では、試料が乾燥しているほど初期の浸透量が大きかつたが、時間の経過につれて飽湿試料の浸透が増加し、乾燥試料の浸透量を凌駕した。ところが今回の横浸透の場合、24時間経過してもそのような傾向が認められなかつた。BROWN ら¹¹⁾は *Pinus ponderosa* LAWS. の辺材で10分間の縦浸透は含水率に逆比例することを報告しているが、前報²⁾の結果やこの実験の結果でも同じ傾向が見られた。

v の値が0.5であるときに浸透量は時間の平方根に比例するが、横浸透の場合には大部分が0.5に近い値を示しているのは興味深い。

4. 組織学的にみた横浸透

顕微鏡観察により組織学的にみた横浸透の知見を述べると以下のごとくである。

アカマツでは放射組織から仮道管への浸透がスギやヒノキに比して容易であることは既述のとおりであるが、浸透する仮道管が浸透面から隔つたところでは、殆んど晩材のそれに限られる傾向が強い (Photo. 5)。したがってこの部分の早材から板目切片をとると放射組織のみがフクシンで赤く染まっているのが観察された (Photo. 6)。

放射仮道管と放射柔細胞を持つアカマツにおいて、板目切片を顕微鏡で観察すると、ときに放射柔細胞のみが赤く染まり、放射仮道管の染色されていない場合もあつたが、両者に明らかな浸透性の差は認められなかつた。このことは既報¹⁾ クロマツの場合とも同様の結果である。BURO ら⁵⁾ は Kiefer で、ERICKSON ら⁹⁾ は Douglas-fir で、いずれも放射方向の浸透がおもに放射仮道管によつて行なわれ、放射柔細胞は通路として役立たないかあるいは殆んど非浸透性であると報告しているが、WARDROP ら¹²⁾ は逆に放射柔細胞の方がよく浸透すると述べている。寧ろ板目面には両種の細胞とも開口しているので、多分両者に同様に浸透が起ると考えられる。のみならず互に隣接する細胞間の膜孔を通して浸透することが考えられるので、上のような判然とした帰結を下すことはむしろ避けなければならないのではなからうか？

細胞間隙に浸透することも BURO ら⁵⁾ や ERICKSON ら⁹⁾ によつて認められている。Photo. 1 は放射組織の細胞間隙から垂直仮道管のそれにフクシン溶液が浸透した例を示す。

摘 要

浸透に関する一連の実験のうち、針葉樹材の横方向浸透性について、浸透面が柀目か板目か、板目面では木表か木裏か、で差異があるか、さらに浸透性に及ぼす試片の含水率の影響、について調べ、あわせてその浸透経路を顕微鏡的に観察した。

供試樹種はスギ辺・心材、ヒノキ辺材、アカマツ辺材で、試片の含水状態は気乾および飽湿の2条件とした。これら試片の諸性質は Table 1 に示す。試片の浸透させる面以外にはワセリを薄く塗布し、浸透面は酸性フクシン1%水溶液でつねに濡れた状態にある濾紙の上に接触せしめた。実験開始後、一定時点ごとに試片の重量を測定し、24時間で測定を終つた (Fig. 1~4)。実験中室温は 26°C に保つた。これらの測定値と時間の関係は2時間目以後ほぼ直線となるので、この部分の平均傾斜の値 v を求めた (Table 2)。測定を終つた試片が気乾状態に戻つてから厚さ 25 μ の乾燥状態のままの切片をとつて顕微鏡観察を行なつた (Photo. 1~6)。これらの実験の結果つぎのような結論を得た。

樹種別にみるとアカマツ辺材の横浸透量はスギやヒノキのそれに較べて1桁オーダーが高いことが Fig. 1~4 から明らかである。すなわち板目面からの24時間の浸透量がアカマツでは 500~700mg/cm² であるのに、他の3種については 20~40mg/cm² であつた。アカマツの浸透量がこのように大きい原因は放射組織の構造にある。すなわちアカマツでは放射組織への浸透も大きく、窓状分野膜孔を通しての隣接仮道管への浸透もスギやヒノキのそれより容易である (Photo. 3~5)。そしてアカマツの横浸透量がスギやヒノキの縦浸透量²⁾ とほぼ等しいオーダーにあることは注目し得る。

縦浸透²⁾ においては辺材が心材の3~4倍の浸透量を示したのに対し、横浸透では1.5倍程度であつたのは、浸透経路の主役が前者では仮道管であり、後者では放射組織であることの差異によるものと考えられる。すなわち心材仮道管では閉鎖している膜孔が多いことから縦方向の浸透性が悪くなるのは当然であろう。一方放射組織を浸透する場合も膜孔を通るが、辺材と

心材とにおける膜孔の構造の差が仮道管におけるほど大きくないのではないかと考えられる。

浸透方向の影響についてみると、木表からか木裏からかでは差異は殆んどなく、これら板目面からの浸透は、柾目面からの浸透に比し、アカマツ辺材においてはかなり大きく、ヒノキ辺材やスギ心材では殆んど差がなかった。これらのことについて CARR⁸⁾ や ERICKSON ら⁹⁾は柾目面からの浸透が困難であり、RESCH ら¹⁰⁾は redwood の心材では柾目と板目とに差のないこと

Table 1. Properties of the specimens.

Specimen		Condition	Specific gravity in air dry	Annual ring width (mm)	Moisture content (%)
SUGI sapwood	T B*	Air day	0.34	2.7	15.9
	T F*		0.33	3.0	15.9
	R*		0.36	3.2	16.0
SUGI heartwood	T B		0.38	3.2	14.9
	T F		0.40	3.2	14.9
	R		0.38	2.8	14.9
HINOKI sapwood	T B		0.48	3.4	14.3
	T F		0.48	3.0	14.4
	R		0.49	3.7	14.5
AKAMATSU sapwood	T B		0.50	2.0	16.4
	T F		0.50	2.6	16.2
	R		0.51	2.3	16.3
SUGI sapwood	T B	Moisture saturated	0.35	3.0	22.8
	T F		0.34	2.8	23.5
SUGI heartwood	T F		0.40	3.2	22.6
	R		0.38	3.0	23.2
HINOKI sapwood	T F		0.45	2.6	22.5
	R		0.49	2.6	22.1
AKAMATSU sapwood	T B		0.51	2.4	22.8
	T F		0.50	2.5	23.2
	R		0.50	3.4	22.8

* TB: Penetrated into flatsawn surface of the specimen from back side

TF: Penetrated into flatsawn surface of the specimen from face side

R: Penetrated into quartersawn surface of the specimen

Table 2. The value of average slope of penetration weight-time curve.

Species	Average moisture content (%)	Penetrated from		
		T B*	T F*	R*
SUGI sapwood	15.9	0.56	0.56	0.60
	23.2	0.74	0.66	—
SUGI heartwood	14.9	0.58	0.57	0.56
	23.9	0.64	—	0.63
HINOKI sapwood	14.4	0.61	0.61	0.62
	22.3	0.61	—	0.71
AKAMATSU sapwood	16.3	0.40	0.45	0.58
	22.9	0.47	0.50	0.51

* : TB, TF, and R are the same as those of Table 1.

を述べているが、実験に供する試料の性質によつてこのような結果を与えることを示している。

Fig. 1~4 において、気乾材における浸透量が飽湿材のそれよりつねに大きくなつてゐる。一方平均傾斜の値 v (Table 2) は概して飽湿試料で大きかつた。このことは浸透がこの状態のままで続けば、いつかは飽湿材の浸透量が気乾材のそれを凌駕することを示している。 v の値は概して 0.5 に近かつたが、このことは横浸透量が時間の平方根にほぼ比例することを示している。

顕微鏡観察により横浸透を組織学的にみると、やはり浸透の主役は放射組織であつた。そしてアカマツでは放射組織から浸透する隣接仮道管が殆んど晩材に限られていたことは Photo. 5 に示したとおりである。

放射仮道管と放射柔細胞の浸透性の差異についてはいろいろの説があるが^{1) 5) 9) 12)}、この実験の結果からは両者にはつきりした差異は認められなかつた。Photo. 1 は放射組織の細胞間隙から仮道管のそれにフクシン溶液が浸透した例を示している。

Summary

Study of liquid penetrability into wood is interesting to the applied industry of wood. Previously the authors reported the microscopical courses of water penetration into wood¹⁾, and, recently, the influence of moisture content of softwood on longitudinal liquid penetration²⁾. In this report, transverse water penetrability, that of radial direction from face side to back side and from back side to face side of flatsawn surface and that of tangential direction from quartersawn surface, and the influence of moisture content of wood specimens on transverse penetration were investigated, and

the microscopic observation of water penetration courses of the transverse direction was carried out.

Three species, SUGI (Japanese Cryptomeria) sapwood and heartwood, HINOKI (Japanese cypress) sapwood, and AKAMATSU (Japanese red pine) sapwood were used. Moisture content of the test specimens were prepared at two stages, air dry and moisture saturated condition. Average properties of these specimens are shown in Table 1. Surfaces of specimens except penetration one were coated with vaseline as thin as possible for preventing liquid creeps along them, and the penetration surface was dipped in 1% aqueous solution of acid fuchsin. The specimens were weighed at 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, and 24 hrs respectively. Testing room has been kept at 26°C during experiment.

The relations between penetration weight obtained from weighing penetrated dye solution, and corresponding time expended are shown in Figs. 1-4. Value of average inclination of penetration weight-time curve, ν , was derived and shown in Table 2. After the above penetration test was carried out, tangential and radial sections of 25 μ thickness were cut off from the specimens under air dry condition, and were observed under light microscope (Photos. 1-6).

Results of this experiment are as follows :

As to transverse penetrability of wood species, that of AKAMATSU sapwood is much larger than those of sapwoods of SUGI and HINOKI (Figs. 1-4). Penetration weight, of AKAMATSU wood, for example, was 500-700 mg/cm², for 24 hrs, but was 20-40mg/cm², for SUGI and HINOKI woods. The reason for this may lie in the facts that the penetrability of ray tissue of AKAMATSU is larger than that of the other species and water penetration from ray cells to longitudinal tracheids through the window like pits is much larger than the others (Photos. 3, 4, and 5). It is noticeable that the transverse penetration weight of AKAMATSU wood is as large as the longitudinal penetration weight of SUGI and HINOKI wood.

Penetrability of sapwood was only about 1.5 times of that of heartwood on the transverse penetration, as compared with the ratio of 3-4 times on the longitudinal penetration²⁾. The reason for this may lie in the difference of features ray tissues and longitudinal tracheids, that is, longitudinal penetrability of heartwood is lower than that of sapwood because of having more pit-closures between tracheids, it seems that the difference of ray tissues or pit closures of ray sells between sap- and heartwood are not so distinct.

As to penetrability, there was no difference between from face side and back side for every species examined. Penetrability from flatsawn surface was larger than that from quartersawn surface in AKAMATSU, on the other hand, such a difference was indistinct in SUGI and HINOKI.

The weight of penetrated water of air dry specimens was larger than that of

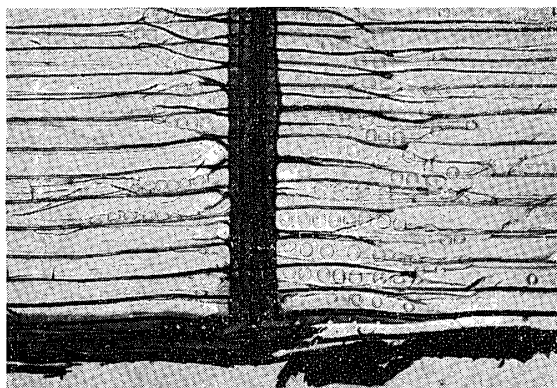


Photo. 1. SUGI sapwood : penetrated from face side (bark side) of flatsawn surface. Acid fuchsin solution penetrates to ray parenchyma cells and intercellular spaces between ray and longitudinal tracheids. ($\times 70$)

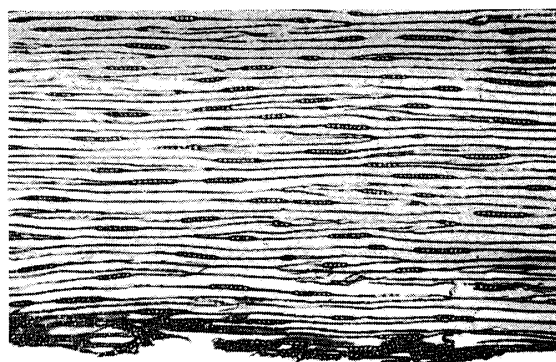


Photo. 2. SUGI sapwood : penetrated from quartersawn grain surface. Some rays near the penetration surface are dyed. ($\times 30$)

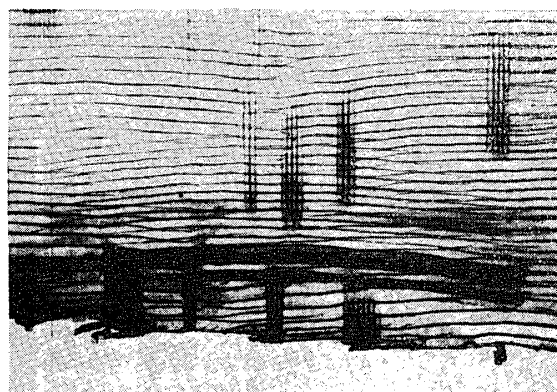


Photo. 3. SUGI sapwood : penetrated from face side. Acid fuchsin solution penetrated into several layers of tracheids according to direct longitudinal penetration or indirect one from ray tissues. Three tracheids, especially dark coloured, among the penetrated part show the result in accordance with the dye solution dammed at the tips of them. ($\times 30$)

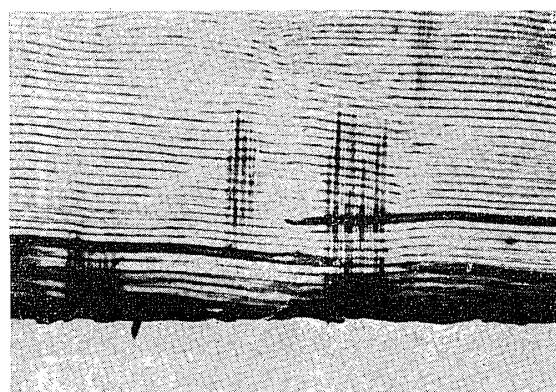


Photo. 4. HINOKI sawpood : penetrated from back side (pith side) of flatsawn surface. Only two tracheids apart from penetration surface are dyed with acid fuchsin. Ray parenchyma cells in the right hand ray are scarcely dyed, showing penetration from adjacent tracheids. But major dark coloured portion means merely contents. ($\times 30$)

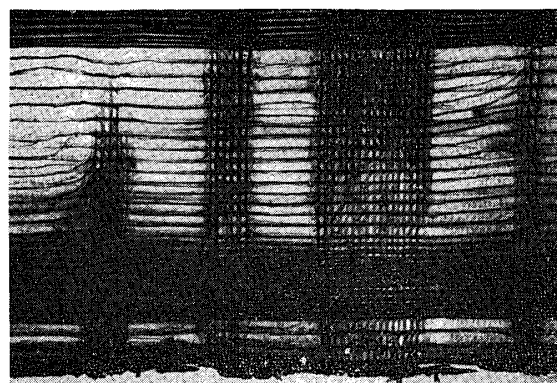
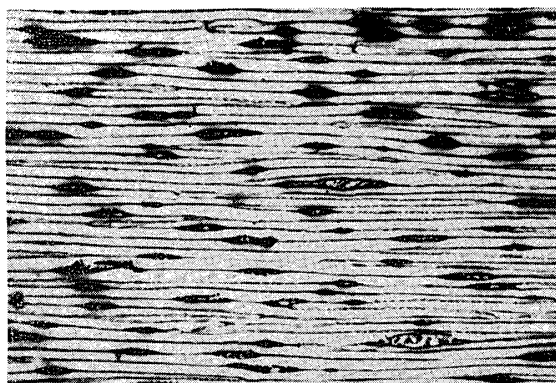


Photo. 5. AKAMATSU sapwood : penetrated from face side. Penetrability of ray tissue is much larger than the other species, and penetration from rays to longitudinal tracheids is observed only in latewood. ($\times 30$)



Phot. 6. AKAMATSU sapwood : penetrated from face side in early wood. Only ray tissues were dyed with acid fuchsin. ($\times 30$)

moisture saturated ones for every measuring point (Figs. 1-4), but average slope values of penetration weight-time curves, v , were larger in moisture saturated specimens (Table 2). In view of this fact, it will be presumed that the penetration weight of the air dry specimens will be exceeded by that of the moisture saturated specimens as far this condition continued. The values of v were nearly 0.5, and this shows a proportional relation between the penetration weight and the square root of time elapsed.

From the microscopic observation, it was obvious that the leading portion of transverse penetration was ray tissues. The penetration occurred between rays and tracheids in AKAMATSU was especially conspicuous comparing with the others, and this was observed mainly into its latewood tracheids (Photo 5). There are some reports¹⁾⁵⁾⁹⁾¹²⁾ on the difference of penetrability between ray tracheids and ray parenchyma cells, but from the result of this experiment there was no difference between both tissues on the penetrability.

Intercellular space is also a path of dye solution. Photo. 1 is an example of penetration from ray to intercellular space of longitudinal tracheids.

文 献

- 1) 貴島恒夫, 林 昭三, 木材研究, No. 24, 33~45 (1960).
- 2) 林 昭三, 貴島恒夫, 木材研究, No. 34, 132~141 (1965).
- 3) 伊藤清一, 応用物理, **23**, 416~421 (1954).
- 4) ENOMOTO, S., M. OKADA, and T. KOSHIGAWA, Tappi, **41**, 522-526 (1958).
- 5) BURO, A. und E. A. BURO, Holzforschung, **13**, 71-77 (1959).
- 6) 林 昭三, 貴島恒夫, 木材研究, No. 35, 25~32 (1965).
- 7) 林 昭三, 貴島恒夫, 木材研究, No. 31, 87~102 (1963).
- 8) CARR, D. R., New Zealand Jour. Sic. and Tech., Section B. **36**, 351-362 (1955).
- 9) ERICKSON, H. D. and J. J. BALATINECZ, F. P. J., **14**, 293-299 (1964).
- 10) RESCH, H. and B. A. ECKLUND, F. P. J., **14**, 199-206 (1964).
- 11) BROWN, F. L., R. A. MOORE, and R. A. ZABEL, State Univ. of N. Y., College of Forestry, Tech. Pub., 79 (1956).
- 12) WARDROP, A. B. and G. W. DAVIES, Holzforschung, **15**, 129-141 (1961).