

国産広葉樹材の水の透過性に関する研究

林 昭三*・西本孝一*

Shozo HAYASHI* and Koichi NISHIMOTO* : Studies on the Water Permeability of Hardwoods

木材の防腐、防虫、防火処理、パルプ化などの工程における薬液の木材への浸透、あるいは塗装、接着の際の塗料、接着剤の木材への浸透現象など、木材の液体浸透性あるいは透過性についての研究は応用的な見地から極めて重要な意義を有する。そこでわが国の代表的な樹種の液体透過性難易を決定する一連の実験の一つとして、広葉樹16種の辺・心材について水の透過性を測定したので、その結果を報告する。

実験方法

液体の透過性を測定する方法としては、常圧による方法、一方から減圧して吸引する方法、あるいは加圧して強制的に透過させる方法などが考えられる。この実験では減圧による吸引透過を主体として行なつたが、その理由として、常圧透過では短い試片でも時間がかかり、加圧強制透過では装置が複雑になり、減圧による方法 (Fig. 1) によるのがもつとも簡単で、比較的短時間に測定しうるからである。

用いた樹種は Table 1 に示した 環孔材 6 種、散孔材 10 種、計 16 種の 辺・心材である。試片は、健全な気乾材から直径 3cm、繊維方向に 15cm の円柱をとり、その軸が木理に平行になるよう充分注意して木工旋盤で仕上げたものである。この円柱試片にビニルテープを巻きつけ、実験中に水が外に漏れないようにし、両木口面は開放とした。

透過装置への試片の装着は、まず一方の開放木口にアダプター C をゴムチューブで接続し、瓶 B と真空ポンプとに接続した。そして他の木口をゴム栓で密閉したときの減圧度を測定した。5min 後における減圧度はほぼ一定で 5~13mmHg を示した。つぎにゴム栓をはずして木口を開放状態にして減圧度を測定した。その後、瓶 A をゴムチューブで試片と接続して、瓶 A に蒸留水を入れ、減圧状態 (約 10mmHg) で、瓶 A の水の減量および瓶 B に流出した透過量を、5min ごとに 100min 間にわたって測定した。透過性のよいものでは透過量が 200cc に達するまで、時間の間隔を適当に短縮して測定した。なお非常に透過性がよく 20sec 以内に

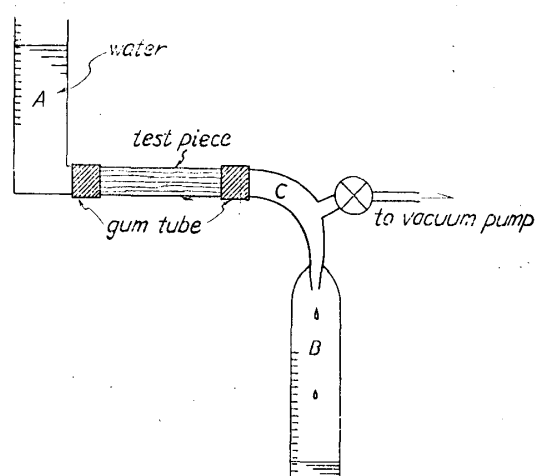


Fig. 1. Experimental apparatus.

* 木材生物研究部門, Division of Wood Biology

Table 1. Wood species used

Japanese	Scientific
MIZUNARA	<i>Quercus mongolica</i> FISCH. var. <i>grosseserrata</i> REHD. et WILS.
YACHIDAMO	<i>Fraxinus mandshurica</i> RUPR. var. <i>japonica</i> MAXIM.
SEN	<i>Kalopanax septemlobus</i> KOIDZ.
HARUNIRE	<i>Ulmus davidiana</i> PLANCH. var. <i>japonica</i> NAKAI
ENOKI	<i>Celtis sinensis</i> PERS. var. <i>japonica</i> NAKAI
KEYAKI	<i>Zelkova serrata</i> MAKINO
ONIGURUMI	<i>Juglans mandschurica</i> MAXIM. subsp. <i>sieboldiana</i> KITAM.
KUSUNOKI	<i>Cinnamomum camphora</i> SIEB.
MAKANBA	<i>Betula maximowiczii</i> REGEL
TABUNOKI	<i>Machilus thunbergii</i> SIEB. et ZUCC.
URIHADAKAEDE	<i>Acer rufinerve</i> SIEB. et ZUCC.
KATSURA	<i>Cercidiphyllum japonicum</i> SIEB. et ZUCC.
SHINANOKI	<i>Tilia japonica</i> SIMK.
BUNA	<i>Fagus crenata</i> BLUME
YAMAZAKURA	<i>Prunus sargentii</i> REHD. subsp. <i>jamasakura</i> OHWI
TOCHINOKI	<i>Aesculus turbinata</i> BLUME

200cc の透過量を示すものは、減圧状態では測定が不可能なので、自然透過の方法で透過量を求めた。このときには瓶Aの水面の高さはつねに一定になるように保つた。

試片の解剖的性質の観測は透過を終った試片の中央部から巾 5mm, 年輪に直角に試片の直径を含む厚さ 30μ の木口切片をとつて行なつた。切片はサフラニンで染色しバルサムで封入した永久プレパラートにして、それを投影機にかけた。100倍に拡大した像に 5mm 間隔の格子を適用し、算点法によつて木口面における道管の面積率および道管内に占めるチロースの割合を求めた。1 試料当りの算点数は28,577個であつた。

実験結果および考察

実験の初期においては、瓶Aの水は減少しても試片内に水が保有されるために、瓶Bの方へは流出しないが、ある時間経過すると木材中の水分保有量が一定になり、Aの減量とBへの流出量とが同じになる。この状態になるのに要する時間は樹種によつて異なるが、それ以後の透過量を時間と面積で割つて求めた透過速度は Table 2-1, 2-2 に示すごとくである。表において透過速度 $>85.0\text{cc}/\text{cm}^2\cdot\text{min}$ という値のものは 20sec 以内に 200cc の透過量を示したもので減圧状態では詳細な測定の不可能な場合である。これらについてはさらに常圧下自然透過の方法で測定を行なつた。

1 樹種別の透過性

Table 2 のミズナラからケヤキまでの6種が環孔材、オニグルミからトチノキまでの10種が散孔材である。この表にあらわれたところでは概して環孔材の方が透過性がよいようであるが、透過性は樹種によつて差がある。ミズナラ、ヤチダモ、エノキなどの辺材には、減圧によ

Table 2-1. Permeability of water and anatomical features (sapwood)

Species	Permeability (cc/cm ² .min)	Diameter of vessel (μ)				Vessel area in cross section (%)	Tylosis area in vessel (%)	Specific gravity in air dry	Annual ring width (mm)
		rad.		tan.					
		mean	max.	mean	max.				
		mean	max.	mean	max.				
MIZUNARA	>85.0*	360	400	290	310	11.2	0.8	0.71	1.6
YACHIDAMO	>85.0*	325	360	255	280	26.7	2.9	0.53	1.2
SEN	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HARUNIRE	11.7	310	350	245	230	11.5	3.6	0.54	1.4
ENOKI	>85.0*	289	330	216	230	10.2	0.2	0.59	7.7
KEYAKI	0.6	258	290	211	250	5.2	2.9**	0.71	4.8
ONIGURUMI	0	281	320	247	270	16.2	34.4	0.41	1.1
KUSUNOKI	13.1	204	240	156	180	8.0	11.1	0.53	5.9
MAKANBA	1.7	115	140	91	110	11.1	0.5**	0.67	1.1
TABUNOKI	—	—	—	—	—	—	—	—	—
URIHADAKAEDE	1.7	100	120	91	110	13.4	0	0.61	1.2
KATSURA	0	93	120	67	80	23.3	0	0.48	1.7
SHINANOKI	12.4	91	120	63	70	13.5	0.5	0.44	2.5
BUNA	6.7	79	90	60	80	17.7	0.2	0.62	1.4
YAMAZAKURA	2.5	76	80	60	70	10.0	0.7**	0.87	5.3
TOCHINOKI	0	70	80	60	70	21.0	4.1**	0.53	0.9

* : Showing the out-flow volume over than 200cc within the time of 20 sec.

** : Including some other contents.

Table 2-2. Permeability of water and anatomical features (heartwood)

Species	Permeability (cc/cm ² .min)	Diameter of vessel (μ)				Vessel area in cross section (%)	Tylosis area in vessel (%)	Specific gravity in air dry	Annual ring width (mm)
		rad.		tan.					
		mean	max.	mean	max.				
MIZUNARA	12.9	339	370	283	330	7.3	8.8	0.71	2.8
YACHIDAMO	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SEN	0	322	340	279	320	7.8	16.9	0.49	1.1
HARUNIRE	10.3	282	310	267	310	11.9	13.0	0.61	1.3
ENOKI	61.2	244	320	191	220	9.7	7.2	0.62	9.1
KEYAKI	0	210	240	193	230	4.6	3.9**	0.73	2.7
ONIGURUMI	0	228	260	199	250	10.8	42.6	0.50	1.6
KUSUNOKI	0	218	260	175	220	11.1	43.5	0.53	4.8
MAKANBA	1.0	157	170	127	170	12.1	1.6	0.67	1.2
TABUNOKI	0	157	180	122	140	8.1	7.9	0.57	3.4
URIHADAKAEDE	0	108	150	91	120	12.2	0	0.62	1.7
KATSURA	0	91	110	64	70	17.4	17.0	0.49	1.6
SHINANOKI	9.3	78	90	53	60	9.0	0.4	0.37	2.7
BUNA	0	77	90	53	60	17.1	14.7	0.65	1.2
YAMAZAKURA	0	58	70	53	70	7.1	14.0**	0.83	5.6
TOCHINOKI	—	—	—	—	—	—	—	—	—

** : Including some other contents.

る透過では測定できないほど、よく透過するのに、オニグルミ、カツラ、トチノキでは 100 min 間減圧透過では辺材でも水の透過がまったく見られなかった。また心材においても、エノキのようによく透過するものや、ミズナラ、ハルニレ、シナノキなどのように比較的透過のよいものもある反面、まったく透過しないものも多く見られた。このような樹種による透過性の差異は、単に道管の大きさやチロースの量のみによるものでなく、樹種に固有の特性であり、薬剤注入などを行なうときには、その樹種に即して適当な方法を選ぶ必要がある。

2 辺・心材の透過性

同一樹種でも辺材が心材より浸透性の大きいことは多くの研究者が一致して認めるところである¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。

この実験の結果でも明らかに辺材の透過性が心材のそれを上まわっている。また樹種によつて辺・心材の透過性の差が異なる。たとえば、ハルニレ、シナノキではそれほど差がないのに、ミズナラ、クスノキ、ブナ、ヤマザクラなどではかなり大きい差があつた。この差異はもちろん心材化によるチロースの発達程度あるいは内容物の道管壁への沈積程度にも起因していると考えられるが、この実験の結果からははつきりしない。

3 道管の太さと透過性

広葉樹では道管が樹液の通導を、木部繊維が樹体の保持を受けもっている。したがつて液体通導の主導者が道管であることは当然で管径の太い方が透過量も多いことは Poiseuille の法則から明らかである。

Table 2 は供試樹種を道管の太さの順に並べたものであるが、道管の太さと透過性との間に明らかな関係は認められない。これには、道管が材中に占める量や、せん孔板による管径の変化も関係していると思われるが、それ以上にチロースとか内容物の充填による管孔の閉鎖が影響していると考えられる。たとえば、オニグルミでは道管がかなり太いにもかかわらず、辺材にも心材にもまったく透過していない。一方シナノキは道管は小さいのに辺材にも心材にもかなりの透過が見られた。これについては道管中に現われるチロースの量が問題になると考えられる。

4 チロースの量と透過性

チロースが浸透を阻止する重要な因子であることは一般に認められている事実である⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。また SMITH ら⁸⁾ はチロースのみでなく、ゴム、樹脂などの道管内容物が浸透性を左右することを報告している。

この実験の結果でも、たとえばミズナラの辺材は減圧吸引では測定が不可能なほど透過性がよいが、心材はそうでなかったのは心材のチロースの量が多いからであると考えられるし、クスノキでも心材のチロースの量が極めて大きいために、辺材には透過するのに心材にはまったく透過していない。同様なことはブナについてもヤマザクラについてもいえる。ただカツラだけは例外で、辺材ではチロースがないのに透過していない。

Table 2 のチロースの量は、厚さ 30μ の木口切片で測定したもので、切片作成時のチロースの破損、脱落、あるいは内容物の流失が考えられるから、実際にはこれより多くの量が含まれている場合もあると推察してよい。

5 比重、年輪巾の影響

この実験の結果では、比重、年輪巾ともに水の透過量とまったく関係がなかった。

比重と透過性との関係については既往の研究結果に二つの説がある。一つは比重の大きいものに透過量が少ないという説¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾、他の一つは比重は関係がないという説¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾である。比重が関係するという説の解釈としては、比重の大きい木材は、針葉樹では晩材が比較的多く、また広葉樹では道管が小さくかつ少なく、厚膜の木部繊維が多く、空隙量が少ないから、透過量は少ないと思われる。比重は関係がないというのは、心材や難浸透の材料を用いた場合、あるいは加圧、加熱、その他の因子の影響が大きく、それが比重の効果を上まわつた場合に限られるものと思われる。

この実験結果で比重と透過性との間に関係が見出せなかつたのは、比重の影響よりも、チロースの量、道管の占める体積、あるいは辺・心材別の透過性の差異、外的因子の影響などの効果が上まわつたためであると思われる。

KORAN¹⁵⁾ は年輪巾との間にはまったく関係がないと報告しているが、この実験でも同じ結果を得た。すなわち Table 2 の上半 6 種の環孔材についていえば、同一樹種では辺・心材を問わず年輪巾の小さいものの方が道管の占める面積が大きくなつてはいるが、この程度の道管量の差異よりも、他の因子による影響の方が大きかつたためと考えられる。

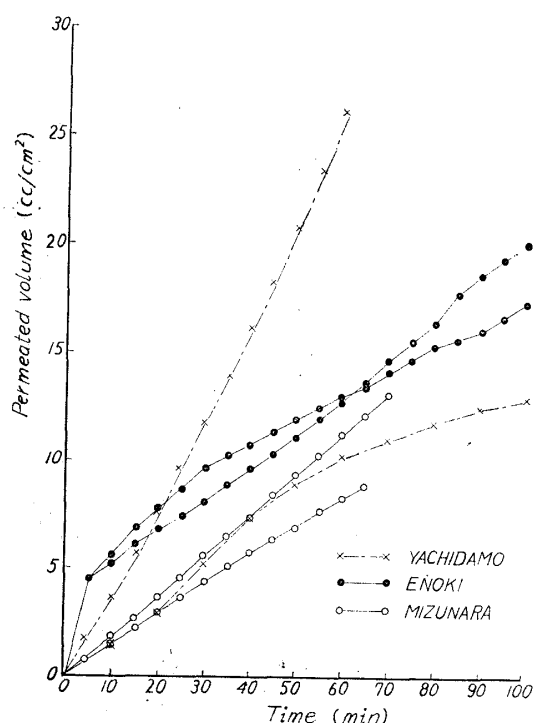


Fig. 2. Relation between the out-flow volume and the time elapsed in the natural condition of permeation (sapwood).

して同じ樹種では減圧度と透過量とがほぼ比例することが判る。ただし樹種が違えばその傾斜や位置にかなり差異がある。なお Fig. 3 には透過量が 0 の樹種は記載を省略したが、それらの開放減圧度は、カツラ辺材の平均が 53mmHg であつた以外は 6~15mmHg に集中しており、それぞれの樹種の密閉したときの減圧度とほぼ等しい値を示した。このことはこれらの樹種では水はもちろん空気さえも透過しにくいことを示している。

6 常圧による水の透過性

減圧状態では透過量を測定できないほどよく透過する試料について、常圧による透過を実験した結果の一例を Fig. 2 に示した。減圧状態では Table 2 に示したように、ミズナラ、ヤチダモ、エノキの辺材についてはいずれもわずか 20 sec 以内に 200cc の透過量を示したので、相互の透過性の比較はできなかつたが、常圧実験ではエノキ、ヤチダモの辺材がよく透過し、ミズナラの辺材はこれより少ない透過量を示した。

7 開放減圧度と水の透過性

減圧状態で測定できないほど透過性のよい樹種を除いたものに対して、試片装着時に一方の木口を開放状態にして測つた減圧度（開放減圧度）と、水の透過量との間に一定の関係があることが認められたので、その結果を Fig. 3 に示した。すなわち開放減圧度の低いものほど透過性がよい。そ

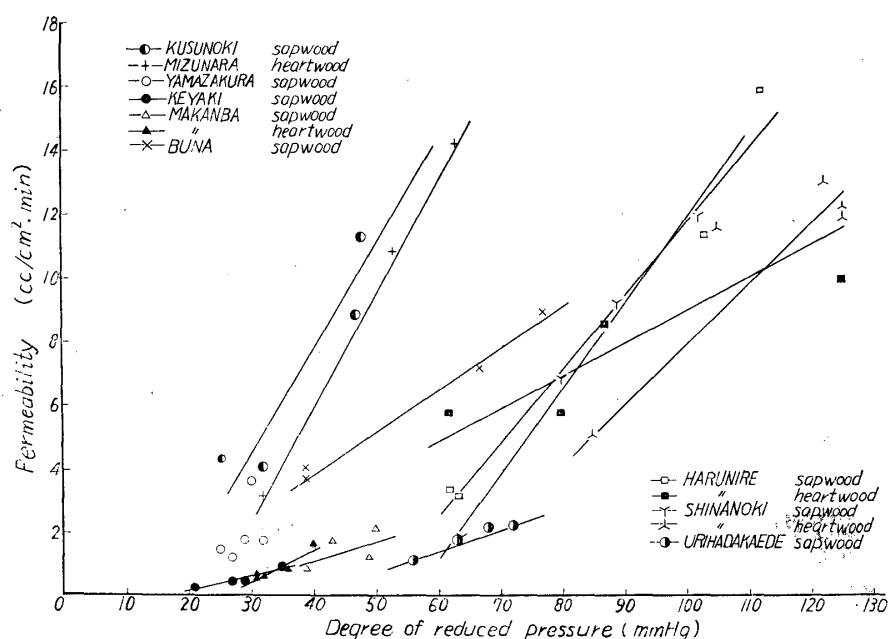


Fig. 3. Relation between water permeability and degree of reduced pressure when one end of the test piece was open.

開放減圧度は試片が気乾状態のときに測定したもので、これは気乾材の空気の透過性を現わしていることになる。一方水の透過量の測定は試片の含水率が飽水状態に近いときに行なつたものである。BAILEY¹⁹⁾ は、生材と乾燥材との浸透性についての実験において、生材が水溶液に対して透過性、気体に対して比較的不透性、であるのに反して、乾燥材では気体に対して非常に透過性が高いのは、水が存在しないので抵抗が少ないからだといっている。この点からすれば本測定は減圧度についても水の透過性についてもいずれも好条件下で行なわれたことになる。また両者が同一樹種では比例関係にあることは、同一樹種では開放減圧度を測定することによつて水の透過性をある程度推定しうることを示している。

結 論

以上の結果から実験に用いた広葉樹16種の辺・心材に対する水の透過性の順位をつけるとつぎのようになる。

- I もつとも透過性のよいもの：ヤチダモ辺材，ミズナラ辺材，エノキ辺・心材。
- II かなり透過性のよいもの：クスノキ辺材，ミズナラ心材，ハルニレ辺・心材，シナノキ辺・心材，ブナ辺材。
- III 透過性の悪いもの：ヤマザクラ辺材，マカンバ辺・心材，ウリハダカエデ辺材，ケヤキ辺材。
- IV 不透過性のもの：オニグルミ辺・心材，クスノキ心材，カツラ辺・心材，トチノキ辺材，セン心材，ケヤキ心材，タブノキ心材，ウリハダカエデ心材，ブナ心材，ヤマザクラ心材。

以上は減圧吸引透過による方法で樹種別の透過性を測定したが、この結果と浸漬あるいは加圧による浸透性とが一致するかどうかはさらに検討を要する。

摘 要

日本産広葉樹16種 (Table 1) の辺・心材について水の透過性を測定した。Fig. 1 に示す装置によつて、主として減圧吸引状態で最高 100 min の水の透過実験を行ない、材の解剖的性質との関連を調べた。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1 環孔材は散孔材より透過性がよいようである。樹種によつて透過性に差があるが、これは道管の太さやチロースの量の差のみに起因するものでなく、樹種固有の特性によるものと思われる。

2 同一樹種では辺材が心材より透過性がよい。樹種によつて辺・心材間の透過性の差が一樣でないのは、心材化によるチロースの形成あるいは道管への内容物の沈積の度合によるものと考えられる。

3 道管の太さと透過性との間には明らかな関係は認められない。管径の太さ以外にも道管が材中に占める量や、チロースの発達、内容物の充填、あるいはせん孔板などが関係するためであろう。

4 Table 2 のチロースの量は 木口切片で測定したもので、実際より小さい値を示していると思われる。しかしチロースが透過を阻止する重要な因子であることは Table 2 から明らかである。樹種間ではチロースの量と透過量との間に明白な関係は認められないが、同一樹種ではチロースの多い心材の透過量が少ないのは事実である。

5 比重と年輪巾とはともに水の透過量とはまったく関係が認められなかつた。これはそれらの影響よりも、樹種の相違、チロースの量、道管の占める量、あるいは辺・心材別の透過性の相違による影響が上まわつたためと思われる。

6 減圧状態では透過速度を求め難いほどよく透過する試料について、常圧による透過実験を行なつた結果の一例を Fig. 2 に示したが、供試した3樹種の辺材では、エノキ、ヤチダモ、ミズナラの順に透過量は少なかつた。

7 試片を透過装置に装着し一方の木口を開放にしたときの減圧度と水の透過量との間には一定の関係がある (Fig. 3)。減圧度の低いものすなわち空気の透過性のよいもののほど水の透過性もよく、その関係は同一樹種では直線的である。したがつて減圧度を測定することによつて水の透過性をある程度推定することが可能である。

以上の結果から樹種別に見た水の透過性の順位をあげるとつぎのようである。

I 最も透過性のよいもの：ヤチダモ辺材，ミズナラ辺材，エノキ辺・心材。

II かなり透過性のよいもの：クスノキ辺材，ミズナラ心材，ハルニレ辺・心材，シナノキ辺・心材，ブナ辺材。

III 透過性の悪いもの：ヤマザクラ辺材，マカンバ辺・心材，ウリハダカエデ辺材，ケヤキ辺材。

IV 不透過性のもの：オニグルミ辺・心材，クスノキ心材，カツラ辺・心材，トチノキ辺材，セン心材，ケヤキ心材，タブノキ心材，ウリハダカエデ心材，ブナ心材，ヤマザクラ心材。

この順位は減圧透過法によるものであるが、これが浸漬あるいは加圧透過法によるものと一致するかどうかはさらに検討を要する。

Summary

Relations between longitudinal water permeability and anatomical features of hardwoods were investigated for sapwood and heartwood of 16 species with the experimental apparatus shown in Fig. 1. Columnar test pieces of wood, 3 cm in diameter and 15 cm in length parallel to the grain, were prepared from the normal part of each material, and the lateral side of each piece was sealed by sticking of adhesive tape to prevent water leakage. To search for the longitudinal water permeability of each test piece, its out-flow volume of water through the piece was measured under vacuum condition (10 mmHg) during 100 min at every 5 min interval. On the other hand, the anatomical features were observed with cross sections of each species under a projective microscope at the magnification of 100 X.

The results, i. e. the relation between structure and permeability of hardwood, were as follows :

1. The permeability of ring porous wood (6 species from MIZUNARA to KEYAKI in Table 1) seems to be larger than that of diffuse porous wood (10 species from ONIGURUMI to TOCHINOKI in the Table). There was some difference in permeability among different species because of the variation of vessel size or tylosis volume and of the individual characteristics of the species.

2. The permeability of sapwood was larger than that of heartwood in the same species, and its difference varied according to the existence of tyloses or contents in vessels.

3. Wood having larger pores is, as a rule, more permeable, but, as to this work, vessel diameter of wood had nearly no relation to its permeability. This seems to come from the reason that effective vessel diameter varies with the existence of tyloses or contents in vessel.

4. Table 2 shows that the tyloses in vessels are prevailing factor to prevent permeation of water. The permeability of the tylosis rich heartwood was smaller than that of the tylosis poor sapwood in the same species.

5. Specific gravity and annual ring width had no relation to the permeability. The effects of these characters were overcome with the effects of tylosis volume in vessels, vessel volume, the difference of sapwood or heartwood, and that of species.

6. The permeability of wood species having good permeability was measured under the condition of normal pressure instead of measuring under the vacuum condition, because the latter was beyond measurability. Thus the relation between the permeability and the time elapsed are shown in Fig. 2.

7. When the air permeability measured from the degree of reduced pressure of the same test piece placed in the apparatus by keeping one end in air, there was a linear relation between air and water permeabilities in the same species (Fig. 3)

In conclusion, the following order of permeability among the hardwood species

used for this work may be suggested from the above results obtained.

1. Very permeable :
 YACHIDAMO (*Fraxinus*) sapwood
 MIZUNARA (*Quercus*) //
 ENOKI (*Celtis*) sap- and heartwood
2. Permeable :
 KUSUNOKI (*Cinnamomum*) sapwood
 MIZUNARA (*Quercus*) heartwood
 HARUNIRE (*Ulmus*) sap- and heartwood
 SHINANOKI (*Tilia*) //
 BUNA (*Fagus*) sapwood
3. Merely permeable :
 YAMAZAKURA (*Prunus*) sapwood
 MAKANBA (*Betula*) sap- and heartwood
 URIHADAKAEDE (*Acer*) sapwood
 KEYAKI (*Zelkova*) //
4. Not permeable :
 ONIGURUMI (*Juglans*) sap- and heartwood
 KUSUNOKI (*Cinnamomum*) heartwood
 KATSURA (*Cercidiphyllum*) sap- and heartwood
 TOCHINOKI (*Aesculus*) sapwood
 SEN (*Kalopanax*) heartwood
 KEYAKI (*Zelkova*) //
 TABUNOKI (*Machilus*) //
 URIHADAKAEDE (*Acer*) //
 BUNA (*Fagus*) //
 YAMAZAKURA (*Prunus*) //

文 献

- 1) 雨宮, 井上, 木材誌, 8, 80~86 (1962).
- 2) ERICKSON, H. D. and J. J. BALATINECZ, F. P. J., 14, 293~299 (1964).
- 3) 西本, 布施, 井上, 木材研究, No. 19, 29~44 (1958).
- 4) 清水, 田中, 相原, 吉田, 鉄道技研速報, No. 64-321, 43~75 (1963).
- 5) STONE, J. E., Pulp and Paper Mag. Can., 57, 139~145 (1956).
- 6) 林, 貴島, 木材研究, No. 31, 87~103 (1963).
- 7) 貴島, 林, 木材研究, No. 24, 33~45 (1960).
- 8) SMITH, D. M. and E. LEE, F. P. R. Special Report, No. 13 (1958).
- 9) WARDROP, A. B., Transaction of "Formation and Structure of Paper" Symp., 621~637 (1961).
- 10) WARDROP, A. B. and G. W. DAVIES, Holzforschung, 15, 129~141 (1961).
- 11) BROWN, F. L., R. A. MOORE, and R. A. ZABEL, State Univ. of New York, College of Forestry, Tech. Pub., 79 (1956).

- 12) ERICKSON, H. D. and D. J. CRAWFORD, A. W. P. A., Proc. 55, 210~220 (1959).
- 13) KUMAR, V. B., Svensk Papperstidning, **61**, 229~237 (1958).
- 14) 下田, 新藤, 織学誌, **14**, 282~287 (1958).
- 15) KORAN, Z., F. P. J., **14**, 159~166 (1964).
- 16) ERICKSON, H. D. and E. M. ESTEP, F. P. J., **12**, 312~324 (1962).
- 17) MILLER, D. J., F. P. J., **11**, 14~16 (1961).
- 18) RESCH, H. and B. A. ECKLUND, F. P. J., **14**, 199~206 (1964).
- 19) BAILEY, I. W., "Contribution to Plant Anatomy", Chap. 19, 207~212 (1954) Chronica Botanica (U. S.).