

樹液交換処理木材の液体透過性について (その1)*

西 本 孝 一**・林 昭 三**

Koichi NISHIMOTO** and Shozo HAYASHI**: Studies on the Water Permeability of the Wood Impregnated Liquids in Return for Sap (Part 1).

は し が き

表題の樹液交換処理木材とは、伐採直後の生材に Bucherie 法で水または溶液を注入し、そのまま乾燥した処理木材（本報告ではこれを処理木材とする）を意味する。

針葉樹材における液体浸透の難易は、組織学的には膜孔開閉状況に密接な関係があると考えられている。膜孔の閉鎖は、生材の細胞内での水分移動による圧力的作用によるトールスの膜孔縁への移動と、木材の含水率の低下に伴う膜孔附近の微量成分の沈積によるトールスと膜孔縁との密着の結果起るものと想像される。

木材における浸透と膜孔の状態との関係についての研究は多い。H. D. ERICKSON and R. J. CRAWFORD¹⁾ は生辺材と乾燥辺材に対する水の浸透性を測定し、空気乾燥により浸透性は大きく減少し、乾燥材での顕微鏡観察結果では有縁膜孔のトールスが殆んどすべて閉鎖状態にあつたが、溶媒乾燥した場合は、生材と殆んど変りなく膜孔はほぼ生材に等しい状態に保たれていたことを報告している。W. A. Côté and R. L. Krahmer²⁾ は針葉樹材にカーボンブラックの懸濁液を浸透させ電顕によつて膜孔におけるその分布を観察し、1つの仮道管から他へ液が移動するのには有縁膜孔が大きく関係すると述べている。また同氏³⁾ は膜孔が完全に閉鎖していると液体の透過を完全に妨げるし、沈着被覆物質も浸透に大いに関係すると述べている。かくの如く膜孔開閉状態と液体透過性とは密接な関係にあるが、これらの関係は従来観察の範囲内において論じられていたもので、数値的にかつ実験的に立証された例は少ない。

一般に浸透に関する実験において、その試験片は伐採後そのまま乾燥した木材から作製することが多い故、膜孔状態を人為的に変化させることは不可能であろう。もし何らかの方法で人為的に膜孔開放状態の異なつたものが作れば、その試片の液体透過性を測定することにより、膜孔開閉と浸透との関係もより一層明確にすることが可能であろう。かかる見地から本実験は着手されたものであり、さらには膜孔附近の沈着成分と浸透との関連なども明確にせんとするものである。

実 験 方 法

元口と末口との直径の差の出来るだけ少ない通直正常な伐採直後のスギ皮付丸太を4本選び、1本の丸太より長さ1mの小丸太を4本宛とり、無作意に2本宛8組に別けた。1組は無処理区とし、他の7組はそれぞれ、水、0.003% および0.01% 苛性ソーダ溶液、0.01% および1% 酢酸溶液、0.5% 重クロム酸カリ溶液、0.5% 亜硫酸ソーダ溶液を Bucherie 法で注入し処

* 第15回日本木材学会（昭和40年4月）にて発表。

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

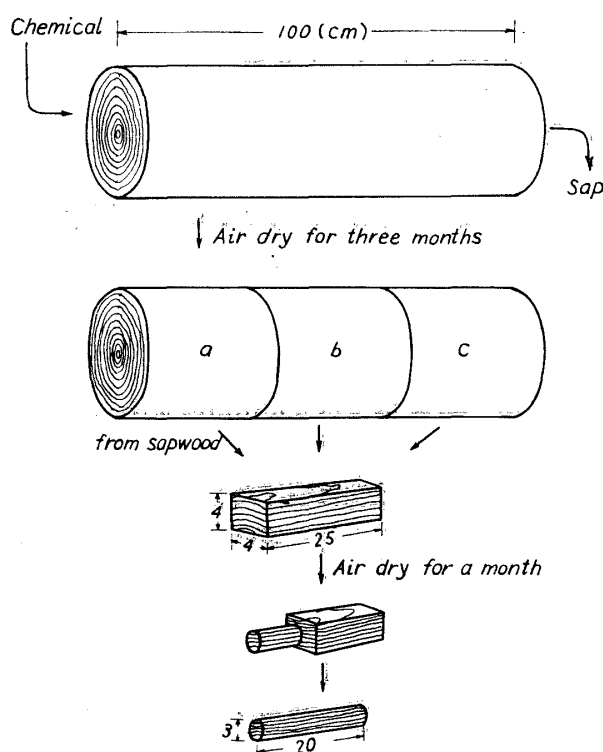


Fig. 1. Method of test piece preparation.

理区とした。これら16本の小丸太は樹皮を剥ぎ約3カ月間天然乾燥し、Fig. 1 に示すように長さ方向に3等分し、その辺材より $4 \times 4 \times 25$ cm の角材を作製する。角材は約1カ月室内に放置し気乾状態にした後、直径 3cm 長さ 20cm の円柱型試片を作製し液体透過性試験片とした。

これと同時に、予め Bucherie 法で 1% 硫酸銅溶液および JIS K-1550, 1種3号木材防腐剤 (PF1-3) をそれぞれ注入した電柱用木柱の辺材から、上記と同様な円柱型試片を作製した。

各試験片の水の透過速度は前報⁴⁾ と同様の方法で測定し、測定し終った試験片から適当なものを選び、膜孔開閉状況を光学顕微鏡にて観察し膜孔開放率を計算した。1 試験片につき平均 2,000 個の膜孔を観察し、その開放膜孔と閉鎖膜孔との数を測定し、

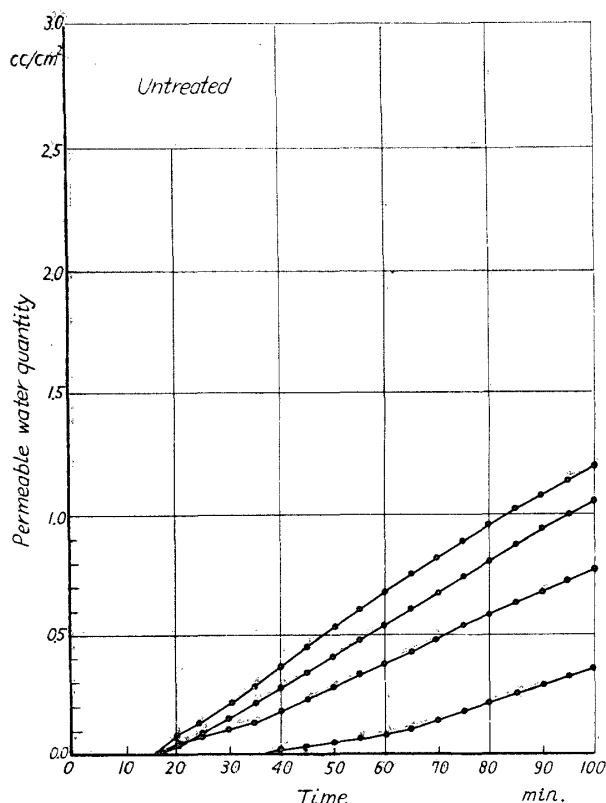


Fig. 2. Water permeability of untreated test pieces

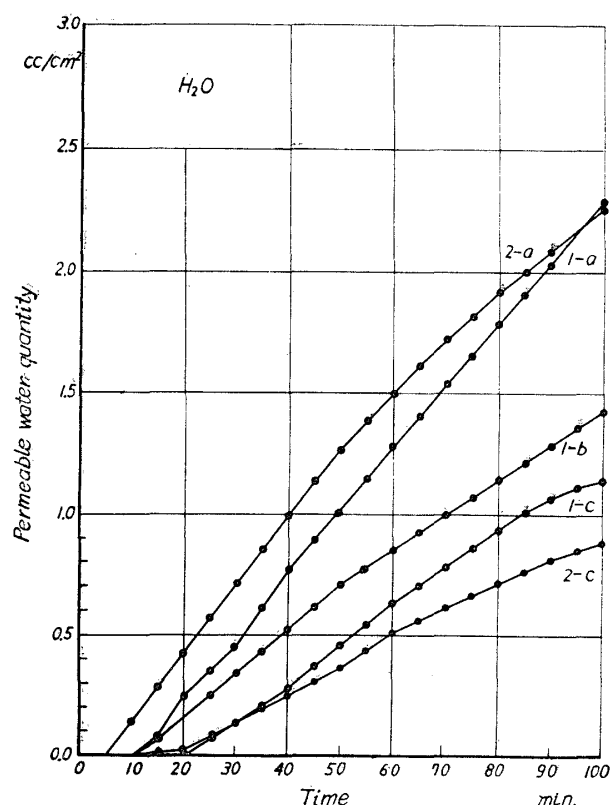


Fig. 3. Water permeability of test pieces treated with water.

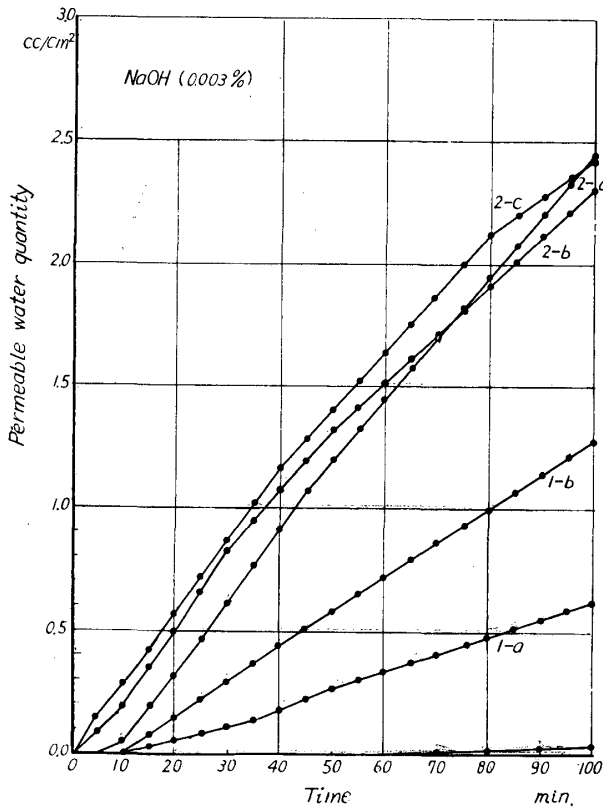


Fig. 4. Water permeability of test pieces treated with 0.003% sodium hydroxide solution.

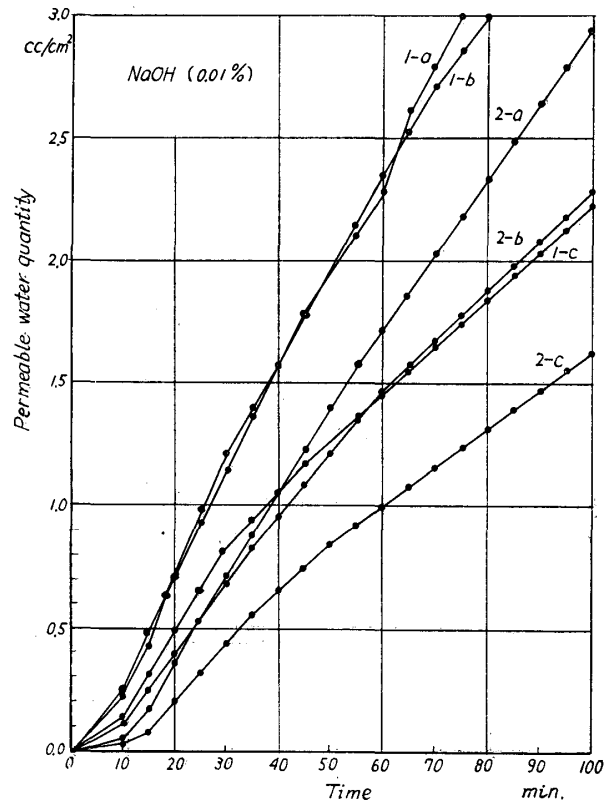


Fig. 5. Water permeability of test pieces treated with 0.01% sodium hydroxide solution.

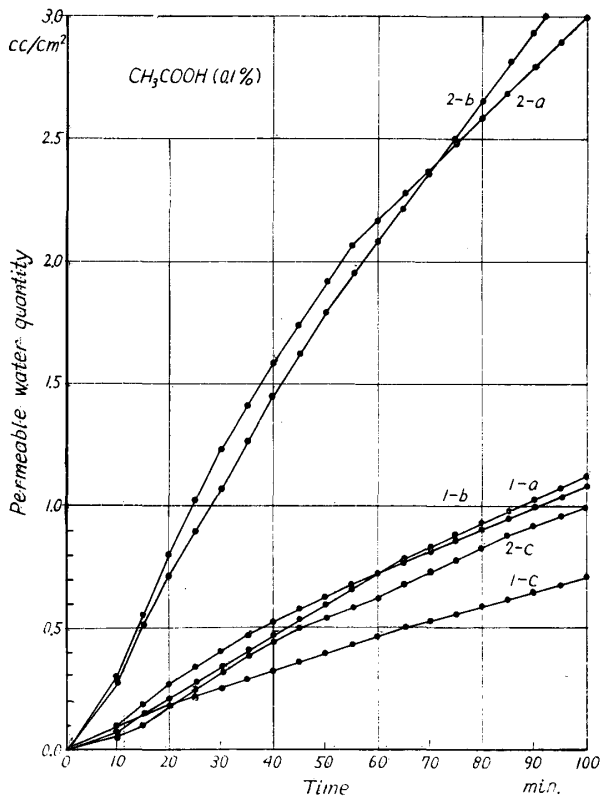


Fig. 6. Water permeability of test pieces treated with 0.1% acetic acid solution.

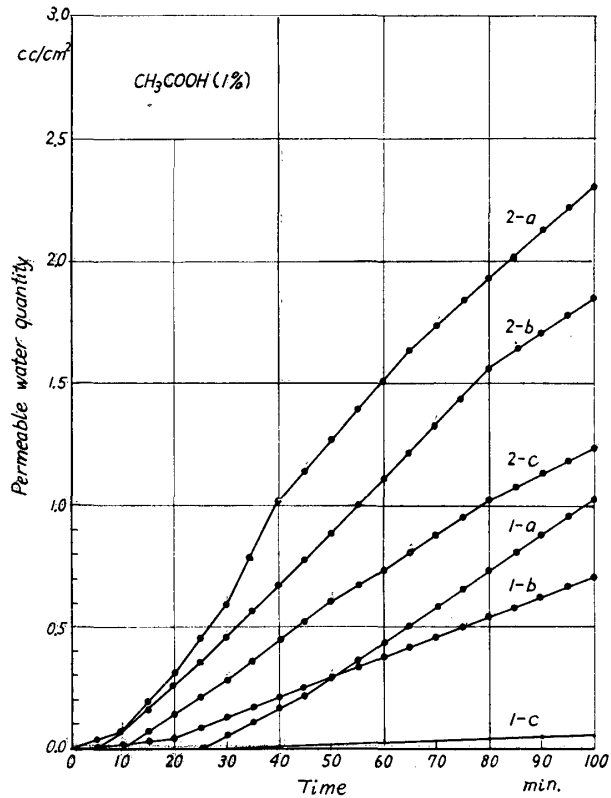


Fig. 7. Water permeability of test pieces treated with 1% acetic acid solution.

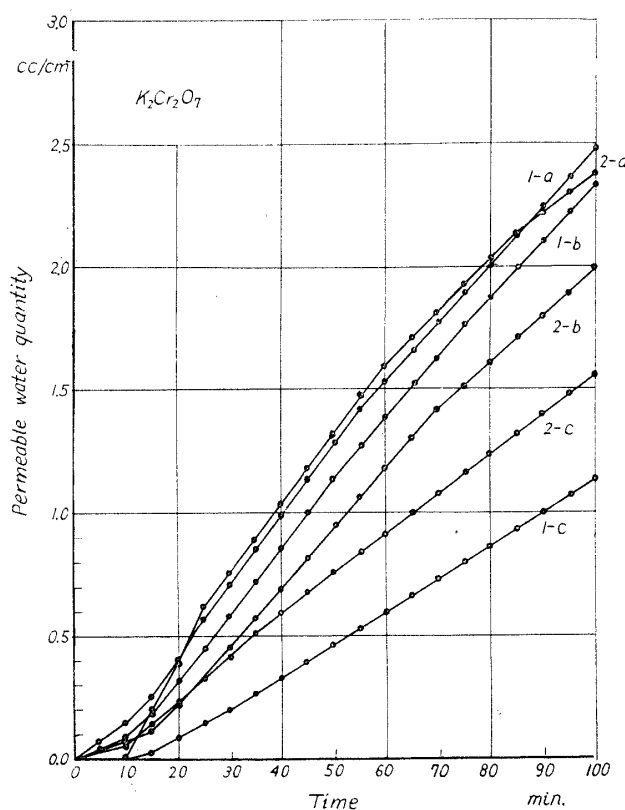


Fig. 8. Water permeability of test pieces treated with 0.5% potassium dichromate solution.

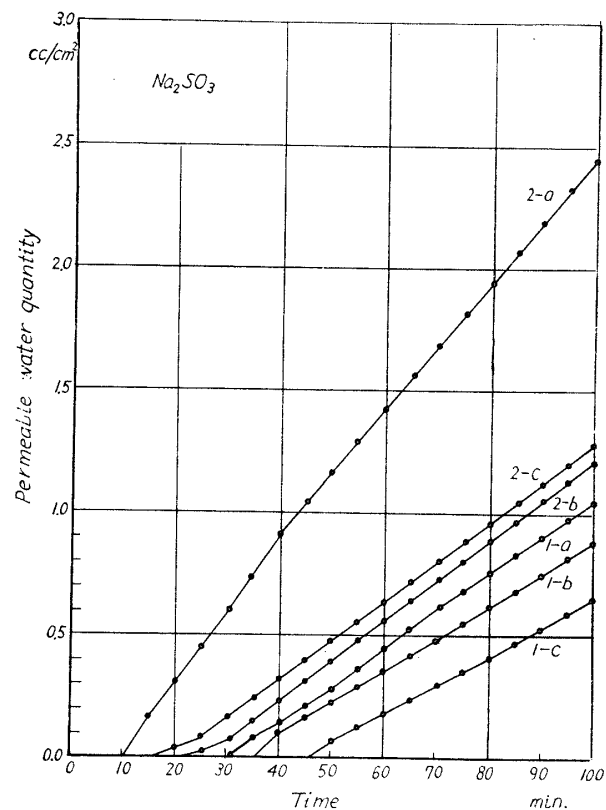


Fig. 9. Water permeability of test pieces treated with 0.5% sodium sulfite solution.

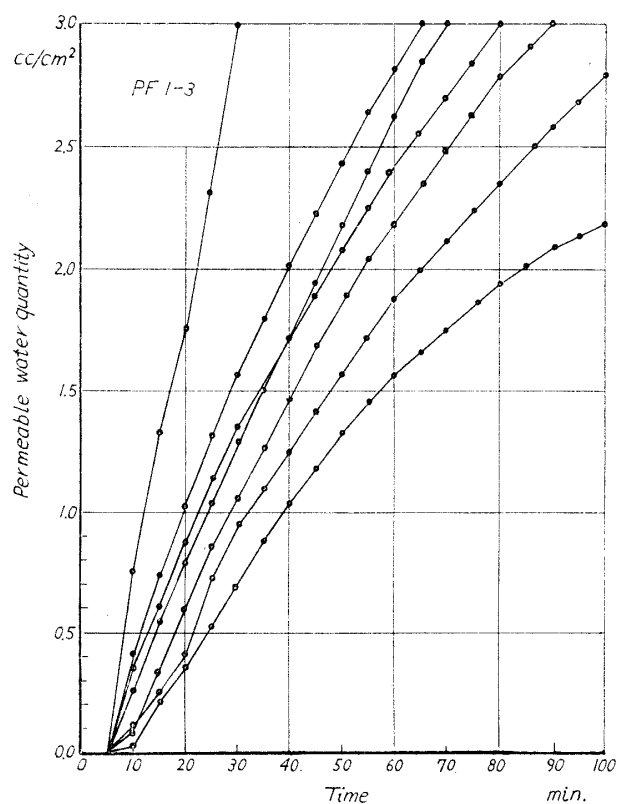


Fig. 10. Water permeability of test pieces treated with wood preservative of phenols and inorganic fluoride type.

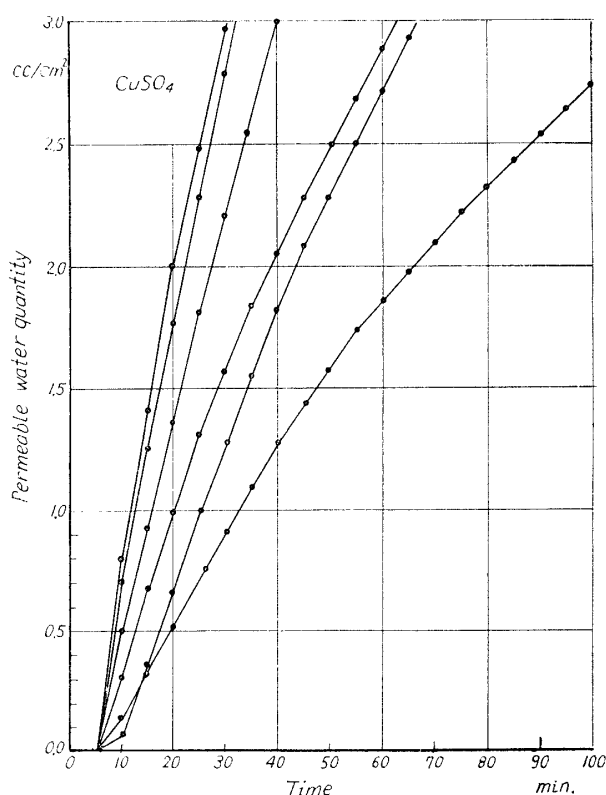


Fig. 11. Water permeability of test pieces treated with copper sulfate preservative

測定全膜孔数に対する開放膜孔数の比を開放率とした。さらに膜孔附近の微細状況を電子顕微鏡で観察し検討した。

実験結果および考察

上記の実験方法により水の透過速度を測定した結果について、各処理区試料の単位面積あた

Table . Permeability of water and proportion of unaspirated pit-pairs of each test piece, and pH of each chemical.

Chem.	No.	Permeability of water (cc/cm². min)						Unaspirated pit pairs (%)	pH	
		a		b		c				
H ₂ O	1	0.25	0.06	0.14	0.09	0.16	0.12	46	7.0	
	2	0.17	0.08	—	—	0.10	—			
NaOH (0.003%)	1	0.25	0.08	0.23	0.03	0.14	0.11	59	8.0	
	2	0.14	0.01	0.07	0.01	0.01	0.01			
NaOH (0.01%)	1	0.38	0.30	0.28	0.28	0.18	0.09	75	11.0	
	2	0.30	0.09	0.21	0.09	0.16	—			
CH ₃ COOH (0.1%)	1	0.20	0.18	0.28	0.04	0.07	0.06	44	3.6	
	2	0.10	0.07	0.09	0.03	0.06	0.04			
CH ₃ COOH (1%)	1	0.19	0.14	0.14	0.11	0.11	0.09	40	3.0	
	2	0.14	0.06	0.09	0.06	0.01	—			
K ₂ Cr ₂ O ₇	1	0.24	0.09	0.22	0.09	0.13	0.11	67	6.7	
	2	0.17	0.17	0.19	0.17	0.16	0.14			
Na ₂ SO ₃	1	0.22	0.10	0.16	0.11	0.16	—	54	8.9	
	2	0.14	0.11	0.14	0.09	0.13	0.10			
Untreated	1	0.11		0.06		0.03		28		
	2	0.09		0.06		0.00				
	3	0.11		0.07		0.04				
	4	0.07		0.00		0.00				
PF 1-3		1.23	0.35	0.37	0.28	0.21	0.20	0.17	81	6.6
CuSO ₄		1.01	0.96	0.79	0.43	0.40	0.21		79	4.5

りの水分透過量の経時的变化を図示すると、Fig. 2~11 の通りである。

図によつて明らかなように、各処理区は無処理区に比べ全般に透過量が多い。とくに 0.01% NaOH, $K_2Cr_2O_7$, PF1-3, $CuSO_4$ の各処理区は良好な透過性を示した。しかしこの中、後2者は他の処理区に比べ長丸太(約12m)を用いたので処理時間が非常に長く、これを直接他のものと比較することは危険であろう。

水の透過性を測定するための試験片は Fig. 1 のように作製した関係上、その部位による透過性の相違が現われるか否かを検討するため、Fig. 2~11 のほぼ直線をなす部分より各試験片の透過速度を求め、整理してみると Table のようになる。ここで明らかなことは、丸太の元口に近い部分(a)は、末口に近い部分(c)より透過速度が大きいことである。元口より交換用溶液を流入しているから、十分に樹液交換が行なわれたものと思われる。このことは、PF1-3, $CuSO_4$ 処理材が全試験片について透過速度が大きく、しかもこれら処理材は完全な樹液交換を行なつたものであることから容易に推定される。また、交換用溶液の pH との関係を考えてみると、各溶液の原液の pH は Table に示すとおりであり、本実験の範囲内では特定の関係は見出せなかつた。しかし、pH が 7.0 以上のアルカリ性溶液の方がよいような傾向が見られるが、確かなことは今後の研究にまつべきである。

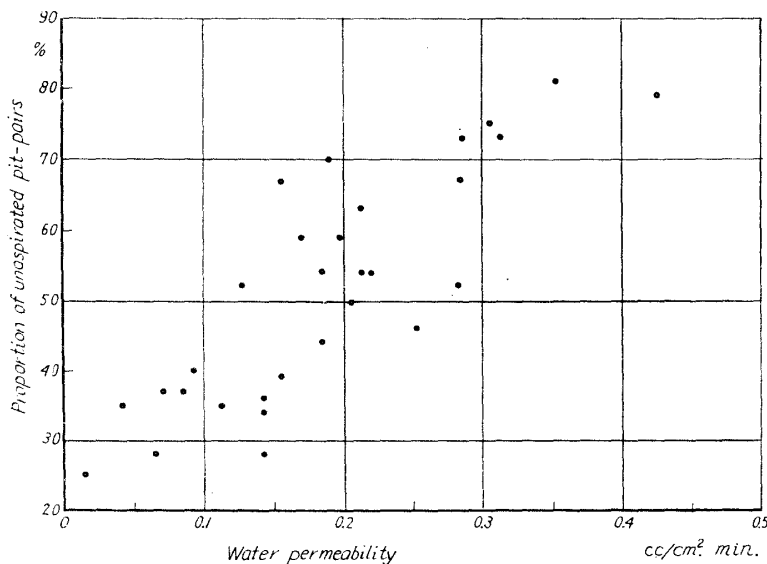


Fig. 12. Relation between water permeability and proportion of unspirated pit-pairs.

このように樹液交換処理材の透過性がよくなる原因を調べるため、試験片の膜孔の状況を観察したわけであるが、膜孔開放率と水の透過速度の関係は Fig. 12 のとおりである。Fig. 12 から明らかなように大体比例的関係にあり、さらに多くの試料について観察すればより明確な関係が得られるものと思う。樹液交換処理材が乾燥後、無処理材に比べ膜孔が開放状態のものが多いことは確からしい。そのために透過性がよくなつ

たと言えるが、どうしてこのような処理により膜孔が開放状態になるか、その原因を究明することは難かしいが、実験結果より推察すると次のように考えられる。

生材ではその膜孔は大部分開放状態にあり、トールスは樹液に浮游している状態であろう。木材の乾燥による樹液の激しい移動にともない、トールスは膜孔縁に移動し同時に膜孔膜の引張も起り、膜孔閉鎖現象が起るものと考えられる。しかしながら、膜孔閉鎖においてはただ単にトールスが膜孔縁に接触している状態であるならば、その部分での水の透過は容易でなければならない。何故ならば、水の存在によつてトールスはずもとの浮游状態にかえりうるからである。しかし実際は水の透過を困難にするわけであるから、トールスは簡単にもとの浮游状態にはかえり難いのであろう。この原因としては、膜孔縁に存在する脂質が乾燥するにつれ接着剤

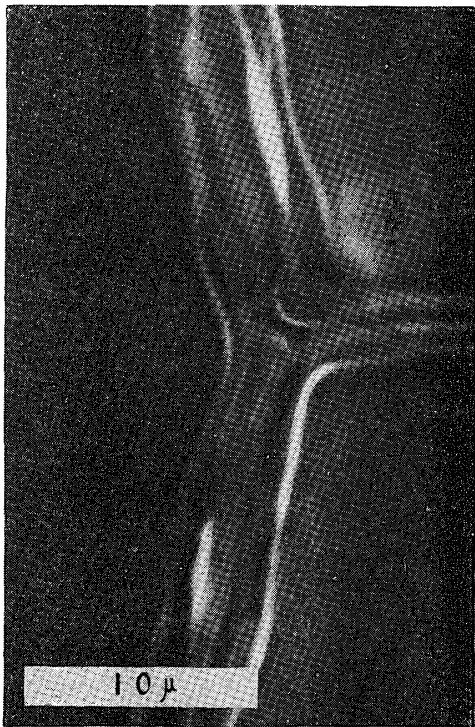
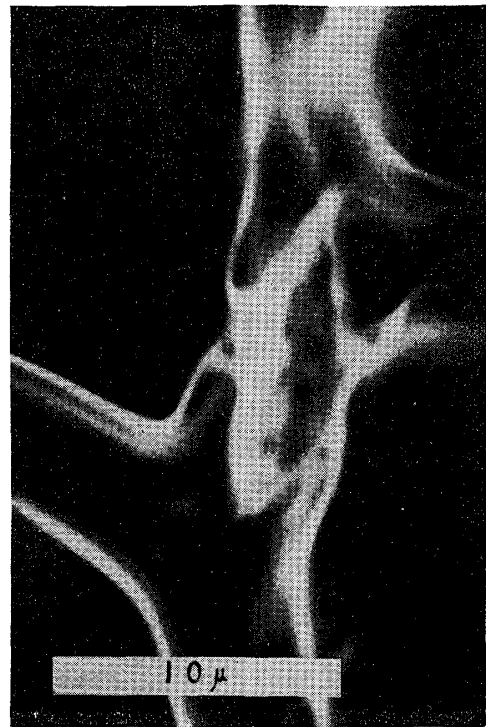


Photo. 1. Aspirated bordered pits of longitudinal tracheids of untreated wood (*x*)



Poto. 2. Aspirated pit of tracheids treated with 0.003% NaOH (*x*)

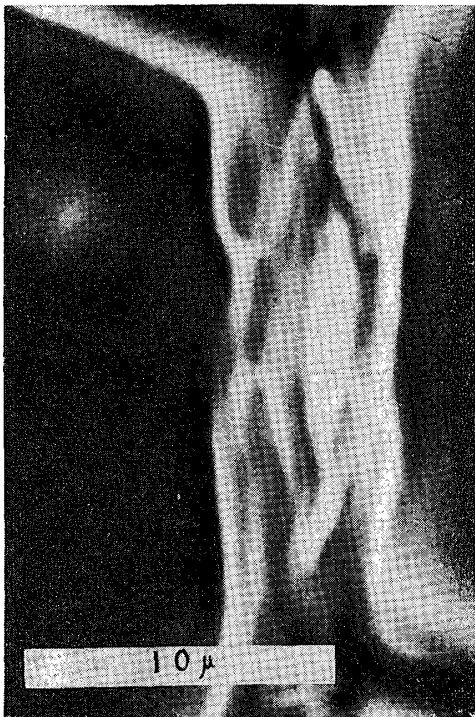


Photo. 3. Unaspirated pit of tracheids treated with 0.01% NaOH (*x*)

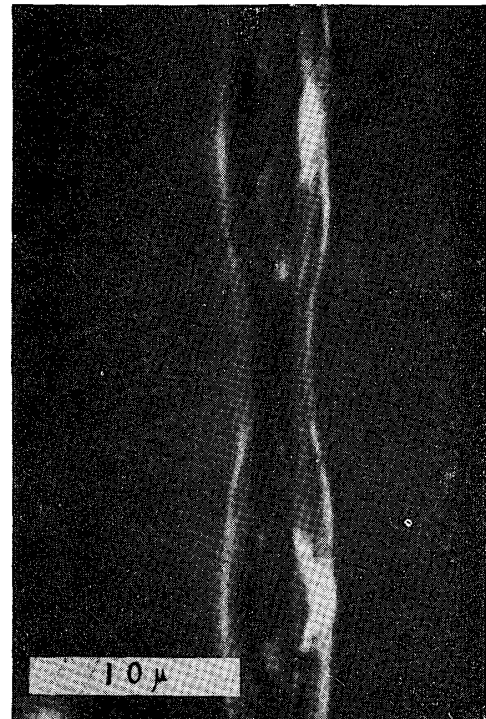


Photo. 4. Aspirated pits of tracheids treated with 1% CH₃COOH (*t*)

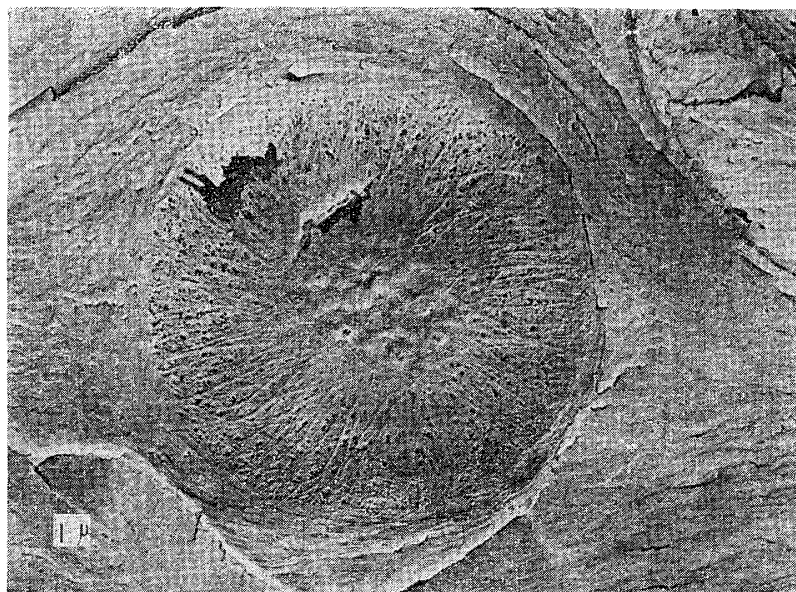
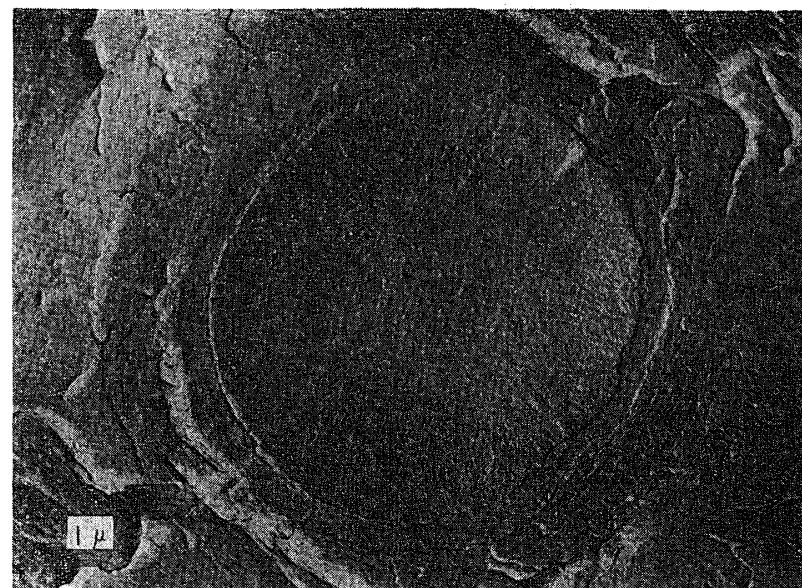


Photo. 5. A pit of tracheid treated with 0.01% NaOH]



[Photo. 6. A pit of tracheid treated with 0.5% $K_2Cr_2O_7$

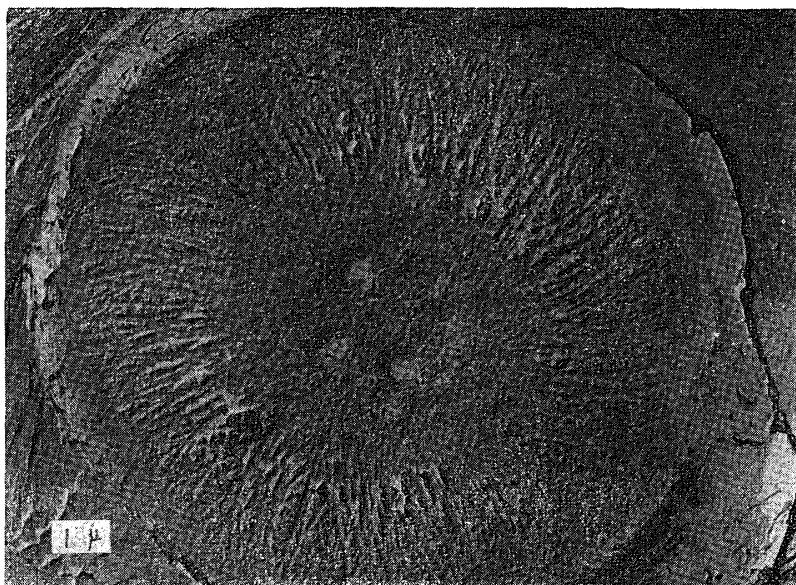


Photo. 7. A pit of tracheid treated with 0.5% Na_2SO_3

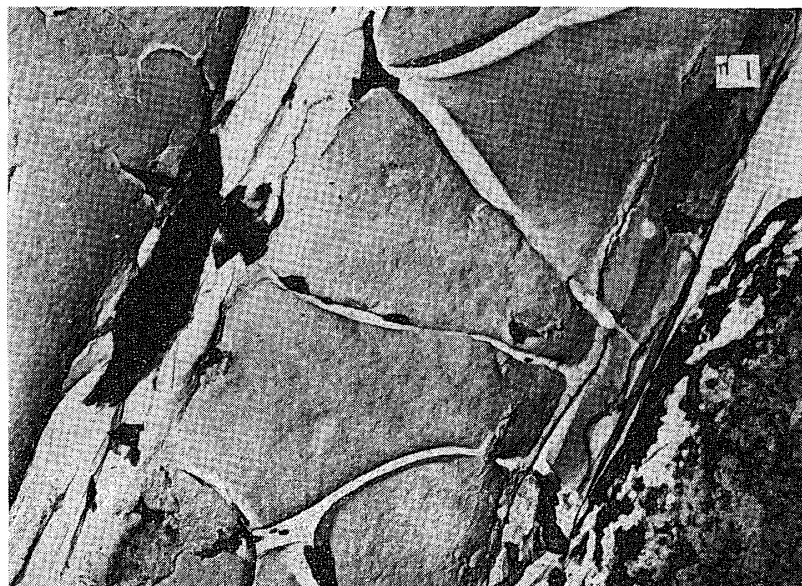


Photo. 8. Contents of ray parenchyma treated with 0.01% NaOH

的作用をして、トールスが膜孔縁に接着すること、あるいは膜孔膜が乾燥にともない硬化することが考えられる。いずれにしても、膜孔附近に存在する微量成分が乾燥によつて変質し、トールスを膜孔縁に密着させるのではないと思われる。

今もしこの仮定が事実とするならば、樹液交換処理による水の透過性の向上、膜孔開放率の増加も説明出来よう。すなわち、樹液と交換に溶液を注入することにより、膜孔附近に存在する脂質その他の成分を洗滌し、トールスの膜孔縁に密着することを阻止し、水の透過にともなつてトールスが浮游状態にもどり、そのため水の透過性がよくなるということである。

前述のように膜孔の顕微鏡的観察を行なつたが、交換用処理液の種類により膜孔が若干変化していたものを観察したことは興味ある事実である。すなわち、水および亜硫酸ソーダで処理した材では、切片の各所に細胞内容物様あるいは樹脂様の物質が分散しているのが見られ、この点は無処理試料とはほぼ同様である。苛性ソーダで処理した材の切片をルテニウムレッドで染色すると、開放状態の膜孔のトールスはよく赤染されていたが、閉鎖した膜孔のトールスは褐色をおびた樹脂状物質で膠着されたように見えた (Photo. 2, 3)。重クロム酸で処理した材ではトールスは薄く、黒くなつていた。そして開放状態でも膜孔の中央にトールスがあるのでなく、どちらかの膜孔縁に片寄つた状態でしかも開放状態になつているのが多数見られた。酢酸や硫酸銅で処理した材では、開放状態のトールスも黒く薄いようであつた (Photo. 4)。さらに PF1-3 で処理した材では、トールスは赤く染色されたが多少薄くなつているようで、細胞膜まで他の処理材に較べ薄くもろくなつていた。

これらの試片は水の透過性を測定した後のものであるから、薬剤の結晶あるいは沈積は全く見られなかつた。そこで樹液交換処理をしたままの材の柀目割裂面からレプリカをとつて、電子顕微鏡で観察してみたのが Photo. 5~8 である。Photo. 5~7 に見えるようにトールスに円形の凹凸が見られ、処理液によりその大きさが異なる。しかしこれが薬剤の結晶によつてできたものかどうかは確認していない。また Photo. 8 の放射組織柔細胞では内容物が残つていて、この組織まで処理液が入らなかつたか、あるいは浸透はしたが洗滌しえなかつたか否かは確認できない。

以上液体の浸透の難易には、膜孔の役割は大きく、膜孔によつて支配されるところである。しかしさらに今後の研究によつて確認し、合せて膜孔閉鎖機構をも解明すべきであろう。

摘 要

伐採直後のスギ皮付丸太に Bucherie 法で水および 8 種類の水溶液を樹液と交換に注入し、乾燥後辺材より直径 3cm 長さ 20cm の円柱型試片を作製し、水の透過性について素材のそれと比較すると同時に、膜孔の開放状況を光学顕微鏡で測定し、さらに電子顕微鏡でも観察し、膜孔開閉状態と透過性との関連を調べた。その結果を要約するとつぎのとおりである。

1. 各処理材の水の透過量の経時的变化は、Fig. 2~11 に示すとおりで、素材に比べすべての処理材は透過量が多い。とくに 0.01% NaOH, $K_2Cr_2O_7$, PF1-3, $CuSO_4$ 溶液で処理した材は良好な透過性を示した。

2. 樹液交換が十分な丸太の元口部分 (Fig. 1 の a) はその不十分な部分 (Fig. 1 の c) より透過速度が大きい (Table)。

3. 処理溶液の pH とその処理材の透過性との間には特定の関係は認められないが、アルカ

リ性溶液がややよい傾向を示す。しかし今後の研究により確認すべきである。

4. 膜孔開放率と透過速度との関係は Fig. 12 に示すとおりで、比例的関係がある。処理材は素材に比べ膜孔開放率はるかに高いことを確認した。

5. 本実験のような樹液交換処理を行なうことにより、膜孔附近の脂質その他の成分が洗滌され、膜孔が開放状態になり易く、したがって水の透過性が良くなつたものと思われる。

Résumé

In this paper, it has been discussed on the relation between the anatomical features and the longitudinal water permeability of the woods impregnated liquids in return for sap.

The green logs of SUGI (*Cryptomeria japonica* D. DON) were impregnated water and eight sorts of water solutions with Bucherie method, and then after their logs were dried, columnar test pieces of wood, 3 cm. in diameter and 20 cm. in length parallel to the grain, were prepared from sapwood. The method of the longitudinal water permeability of each test pieces was similar to that of the previous report⁴⁾. The proportion of unaspirated pit-pairs was observed under a light microscope and the feature of pit-pairs was observed under an electron microscope,

The results were as follows :

1. The water permeability of each test pieces was shown in Figs. 2-11, and the permeable water quantity of each treated test pieces which prepared from sapwood of each impregnated logs was much larger than that of untreated test pieces, especially treated logs with 0.01% NaOH, K₂Cr₂O₇, PF 1-3 (JIS K 1550 1-3) and CuSO₄.

2. The water permeability of a part of log impregnated fully with liquid (*a* in Fig. 1) was larger than that of a part impregnated incompletely (*b* and *c* in Fig. 1) as shown in Table.

3. There was no clear correlation between pH of liquids and the water permeability of woods, but the test pieces from logs treated with alkaline solution had somewhat good permeability. (see Table)

4. The correlation between the proportion of unaspirated pit-pairs and the water permeability was clear as shown in Fig. 12. The proportion of unaspirated pit-pairs of treated test pieces was higher than that of untreated test pieces.

5. It seems that lipid and other components presented on pit membrane are washed with liquids impregnated by Bucherie method and the proportion of unaspirated or opened pit-pairs increases largely and so the water permeability increases.

文 献

- 1) ERICKSON, H. D. and R. J. CRAWFORD, A. W. P. A., Proc. 55 (1955)
- 2) CÔTÉ, W. A. and R. L. KRAHMER, Tappi. 45, 119~122 (1962)
- 3) KRAHMER, R. L. and W. A. COTE, Tappi 46, 42~49 (1963)
- 4) 林 昭三, 西本孝一, 木材研究, No. 35, 33~43 (1965)