

# 飽水木材中の溶質拡散 III

## (1) 長軸方向の電解質の拡散に及ぼす試験片厚さの影響

福山 萬治郎・角田 邦夫

MANJIRO FUKUYAMA and KUNIO TSUNODA : The diffusion of solute through wood saturated with water III

### (1) Effects of thickness of test specimen on the diffusion of electrolytes in longitudinal direction of wood.

要旨：前報<sup>1,2)</sup>に続き、飽水木材中の溶質拡散に及ぼす試験片厚さの影響を 0.5 mol. の KCl 溶液を用い、50°C の一定条件下で、ヒノキおよびブナ材の繊維方向の場合について検討した。

測定装置は電気抵抗の測定回路における若干の改良を除いては前報<sup>1,2)</sup>のそれと全く同様であり、測定には直径 5 cm、厚さ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 および 3.0 cm の円板形の心材試験片を用いた。

得られた結果を要約すると次の通りである。

- (1) 木材組織に起因しての拡散係数の変動はヒノキ材よりもブナ材において顕著である (Table 1)。
- (2) 厚さ 1 cm における拡散係数を KCl の水中におけるそれと比較すると、ヒノキ材で約 1/2.5、ブナ材で約 1/18 になり、ブナ心材部における溶質拡散がとくに困難である。
- (3) ヒノキおよびブナ材の拡散速度を同じ試験片厚さの場合について比較すると、ヒノキ材の方がブナ材よりもかなり大きい (Table 1)。
- (4) ヒノキ材の拡散速度は試験片厚さが増加するにつれて減少するが、ブナ材ではこのような傾向が認められない (Table 1, Fig. 3)。
- (5) 拡散係数既知の 2 枚の試験片を重ね合わせた厚さ 2 cm の試料についての測定結果によると、ヒノキ材の拡散係数は減少するが、ブナ材ではこの傾向が認められない (Table 2)。これらの差異は溶質分子やイオンの自由拡散径路の寸法と木材中における有効毛管径の大きさととの相対的な関係によると推測される。

## I 緒言

前報<sup>1,2)</sup>では飽水木材中における電解質の拡散速度を液の電気抵抗を測定することによって求めるための装置を製作し、それらの適用性ならびに拡散速度に及ぼす温度の影響などについて検討した。引き続き今回は、電解質の拡散速度に及ぼす試験片厚さの影響を木材繊維平行方向の場合について検討したので、その結果を報告する。

木材中の水分拡散速度に及ぼす試験片厚さの影響に関しては、木材乾燥の面からすでに多数の研究者によって検討され、本質的には厚さに関係しないと考えられる水分拡散率 (K) や水分拡散係数 ( $\lambda$ ) が、実験上たとえば厚さに比例して両者いずれもが放物線的に増加するという結果<sup>3)</sup>、あるいは厚さ 1 cm 以下では K

はや影響をうけるが、これ以上ではあまり変化しないという結果<sup>4)</sup>などが得られている。

他方、NaCl 溶液 (0.5~4 mol.) を用いて接線方向の拡散速度に及ぼす試験片厚さ (1/16~1/4 in.) の影響を検討した Christensen & Williams<sup>5)</sup> の結果によると、各濃度いずれの場合も厚さに比例して拡散係数は若干増加するが、同氏らによるとこの原因は試験片端面の接着部分が拡散通路として寄与したために、厚い試験片の場合ほどその影響が大きくあらわれたことによる。

本実験はこれら既往の研究との関連において、木材繊維平行方向の溶質拡散に及ぼす試験片厚さの影響を検討したものである。

## II 実験

## (1) 供試材料および試験片

ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* ENDL.) (平均年輪幅: 1.5 mm, 気乾比重: 0.38) およびブナ (*Fagus crenata* BLUME) (平均年輪幅: 1.6 mm, 気乾比重: 0.65) の心材部から採取した木口面木取りの円板形試験片 (直径: 5 cm) で, 厚さはいずれも 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 および 3.0 cm の 6 種類であり, 減圧下で蒸留水を十分注入して完全飽水状態 (含水率: ヒノキ材 200~230%, ブナ材 105~125%) にしたものを供試した。

## (2) 測定装置

使用した測定装置は前報<sup>1,2)</sup> のそれと本質的に同じものであるが, 今回は測定精度をさらに上げるために可変抵抗にそれぞれ 1, 5, 30 K $\Omega$  の Am 形ポテンシヨ・メータを用い, いずれも可変抵抗のフルスケールの 1/1000 まで読むことができるようにした。

## (3) 供試溶液

前報<sup>2)</sup> で使用した KCl 溶液 (水中における拡散係数  $D_{18.5^{\circ}\text{C}}: 154.0 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ ,  $D_{25^{\circ}\text{C}}: 185.7 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ ,  $D_{40^{\circ}\text{C}}: 250.0 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ ,  $D_{50^{\circ}\text{C}}: 320.0 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ )<sup>6-8)</sup> を用い, 濃度を 0.5 mol. 一定とした。

## (4) 実験方法

測定方法は前報<sup>1,2)</sup> のそれと全く同様であり, 測定温度条件を 50 $^{\circ}\text{C}$  一定とした。ただし, 本実験の場合には試験片厚さの異なる試料を用いているために, 試験片内の含有水分量の差異にもとづく濃度勾配の変動が予想されるので, これを避けるために厚さ 2.0 cm 以上の試験片については 2~4 回溶液ならびに蒸留水を入れかえるようにし, 定常状態下で少なくとも 5 点以上の連続した測定値が得られるようにした。

その他, 濃度-抵抗曲線, 透過量-時間曲線の作成, ならびに拡散係数の計算法などは前報<sup>1,2)</sup> のそれと同様である。

なお, Fig. 1. および Fig. 2. はそれぞれ濃度-抵抗曲線ならびに透過量-時間曲線の一例を示したものである。

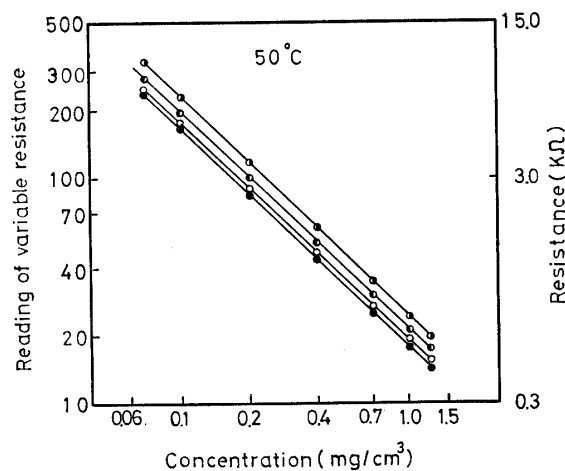


Fig. 1 An example of calibration curves for KCl

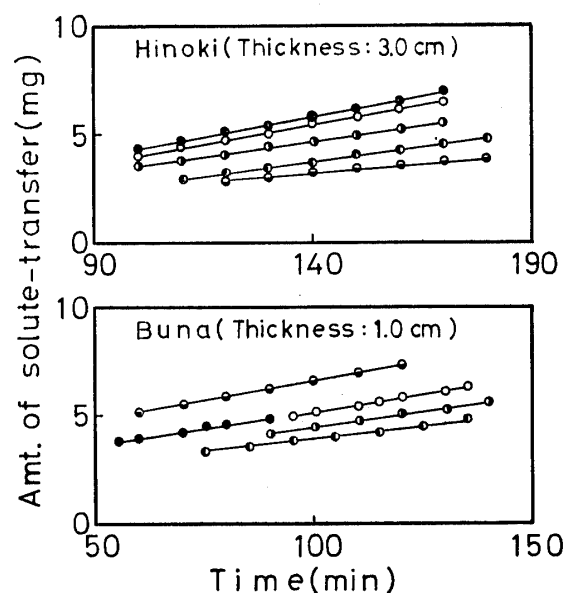


Fig. 2 Examples of diffusion curves

## III 実験結果および考察

## (1) 拡散係数

Table 1 は以上の方法で求めたヒノキおよびブナ材の各試験片厚さにおける拡散係数を, それぞれ5個の試料の平均値とその標準偏差で示したものである。本供

Table 1 Diffusion coefficient (D) and standard deviation ( $\sigma$ ) for each species and thickness

Hinoki wood			Buna wood		
Thickness (cm)	D (cm <sup>2</sup> /sec)	$\sigma$ (cm <sup>2</sup> /sec)	Thickness (cm)	D (cm <sup>2</sup> /sec)	$\sigma$ (cm <sup>2</sup> /sec)
	$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-7}$		$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-7}$
0.54	127.5	13.0	0.51	43.0	7.8
1.00	125.1	12.1	0.99	17.5	4.6
1.51	94.0	20.0	1.51	23.5	7.4
2.00	94.0	17.2	2.00	19.8	6.0
2.51	56.4	11.1	2.50	21.9	9.1
3.02	54.0	12.2	3.01	16.0	8.7

試片は両樹種ともほぼ同一部位から連続して採取されたものであり、気乾比重のばらつきの比較的少ない試料が選ばれているにもかかわらず、木材組織に起因しての拡散係数の変動はかなり大きく、前報<sup>1)</sup>の場合と同様にこの変動はブナ材においてとくに顕著である。

また本実験で得た厚さ1cmの両材の拡散係数を同温度における前報<sup>2)</sup>のそれ(ヒノキ： $67.7 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ 、ブナ： $80.1 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ )と比較すると、両者にかなりの差異が認められるが、これは辺・心材、比重その他試料の個体差にもとづく木材の組織、構造上の差異に起因すると考えられる。たとえば、ヒノキ材についてみると両供試材はいずれも心材部から採取されたものであるが、前報<sup>2)</sup>の試料の気乾比重が0.44、本実験のそれは0.38で、この差異が仮道管の細胞膜厚さ、したがってまた拡散通路内に存在する有効毛管径の大きさなどに関係し、前記拡散係数に差異が生じたものと思われる。また、ブナ材の場合には前報<sup>2)</sup>の供試片が辺材部から採取された気乾比重0.60の試料であるのに対し、本報のそれは気乾比重0.65の心材試験片であり、木材繊維平行方向の主要拡散通路である心材部の道管がチロースで閉塞される他、タンニン、ゴム質その他各種の従属成分を含むため有効毛管径が減少し、溶質の拡散に対する抵抗が増大したものと思われる。

以上の説明はまた、Table 1 に示した同一厚さにおけるヒノキとブナ材の拡散係数の差異に対してもそのまま適用することができる。

なお、前記厚さ1cmにおける両材の拡散係数を同温度におけるKClの水中の拡散係数( $320.0 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ )と比較すると、木材の毛管構造にもとづいてヒノキ材の場合は約1/2.5に、ブナ材では約1/18になり、とくにブナ心材部における拡散の困難なことが理解できる。

## (2) 試験片厚さと拡散係数

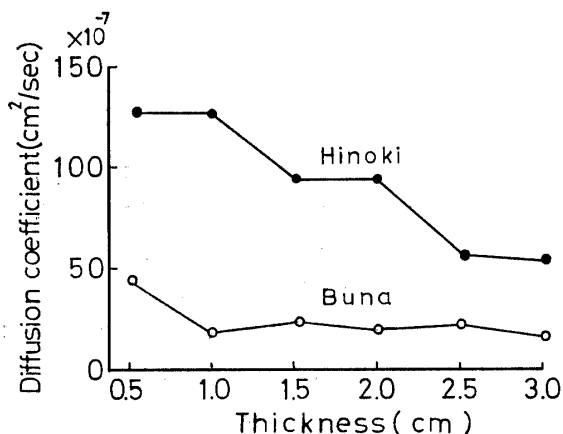


Fig. 3 Relationship between diffusion coefficient and thickness of test specimen for Hinoki and Buna wood

Fig. 3 は Table 1 にもとづいて試験片厚さと拡散係数の関係を図示したものである。Fig. 3 によると、ヒノキ材では試験片厚さが増加するに伴って拡散係数が厚さ 1.0cm から 1.5cm, さらに厚さ 2.0cm から 2.5cm へと段階的に低下し、これを平均化するとほぼ直線的に減少する傾向が認められるが、ブナ材では厚さ 0.5cm の場合を除くと試験片厚さと拡散係数との間には明らかな関係が認められない。

上記のこれらの傾向をさらに実験的に明らかにするために、ヒノキおよびブナ材の両者について、それぞれ供試した拡散係数既知の 0.5cm と 1.5cm, 1.0cm と 1.0cm の 2 枚の試験片を重ね合わせ、作製した厚さ 2.0cm の試験片について拡散実験を行なってみた。この場合、試験片相互間の密着の程度ならびに適否が測定値の変動や拡散係数の誤差の原因となるので、これに関しては 2~3 回予備実験を行ない、結局上下より加圧しながら円板試験片の縁辺部の 8 箇所に適当な間隔で釘を打ち込み、側面部にパラフィンを塗布する方法を採用することにした。この方法で測定した透過量-時間曲線を Fig. 4 に、その結果を Table 2 示

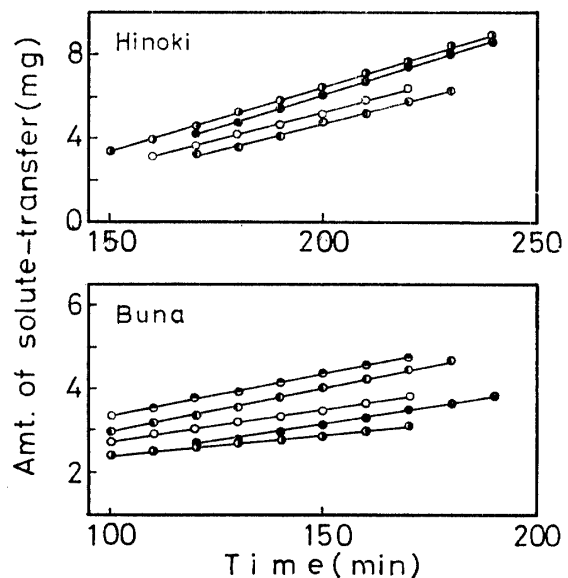


Fig. 4 Diffusion curves of two-ply specimen for Hinoki and Buna wood

す。Table 2 によると、ヒノキ材では試験片厚さの増加に伴って拡散係数は明らかに低下するが、ブナ材ではこのような傾向がなく、前記 Table 1, Fig. 3 に全く類似する結果が認められる。本質的には厚さに関係しないと考えられる拡散係数がいかなる理由で上記の結果を示すに至ったかについて以下考察してみよう。

木材繊維平行方向における水分や溶質の主要拡散通路は、ヒノキ材の場合は仮道管、ブナ材では道管と考えられ、それぞれの寸法は仮道管：長さ 2.5~3.2mm,

Table 2 Diffusion coefficient (D) of single and two-ply specimens for Hinoki and Buna wood

Species	Single specimen		Two-ply specimen			
	Thickness (cm)	D (cm <sup>2</sup> /sec)	Thickness (cm)	D (cm <sup>2</sup> /sec)	D <sub>mean</sub> (cm <sup>2</sup> /sec)	
Hinoki		×10 <sup>-7</sup>		×10 <sup>-7</sup>	×10 <sup>-7</sup>	
	0.999	125.6	2.000	68.2	76.4	
	0.997	125.0				
	0.994	117.8	1.995	81.9		
	0.993	145.6				
	0.537	108.9	2.039	78.8		
	1.514	67.7				
	0.540	124.1	2.037	76.6		
	1.511	107.9				
	Buna	0.993	19.4	2.035		20.8
0.989		22.6				
0.992		16.3	2.034	17.3		
0.995		18.9				
0.512		43.5	2.026	25.3		
1.511		35.7				
0.512		30.4	2.033	12.6		
1.513		13.8				
0.519		16.0	2.335	22.8		
1.507		22.4				

直径 10~35 $\mu$ , 道管:長さ 0.3~0.7 mm, 直径 40~100 $\mu$  である<sup>9)</sup>。前報<sup>2)</sup>で述べたように, 木材中の溶質の拡散速度は分子やイオンの自由拡散経路の寸法に関係する拡散通路内の有効毛管の毛管径とその数, すなわち, 有効毛管断面の大きさに支配される。したがって, この考え方によると前報<sup>2)</sup>の結果にもみられるように, プナ材の拡散速度がヒノキ材のそれより大きくなったとしてもなら矛盾がないはずである。しかし本実験結果によると, Table 1にみられるように同じ試験片厚さの場合にはプナ材の拡散速度がヒノキ材のそれよりもはるかに小さく, また水中における KCl の拡散係数と比較しても前記のようにプナ材の拡散が著しく困難である。

この理由は既述のようにプナ供試片が心材部から採取された試料であり, 主要拡散通路となる心材部道管が, チロースやその他の従属成分で閉塞され, 有効毛管径が著しく減少して溶質拡散が阻害されたことによる。すなわち, 溶質分子やイオンが狭い毛管内を拡散する場合にはその抵抗が拡散速度を支配する主要な因子となり, 試験片厚さの影響がみかけ上小さくあらわれ, Fig. 3 にみられるような結果になったと推測され

る。他方, ヒノキ材の場合は溶質の拡散速度が水中におけるその 1/2.5 程度であることから考えると, 有効毛管径がかなり大きく, 分子やイオンの拡散が毛管径の抵抗よりも, むしろ試験片厚さの抵抗をより多く受けることになり, 後者の影響がみかけ上大きくあらわれたことによる。本実験データの解析ならびに上記推測についての妥当性の検討は, 次の木材繊維直角方向における拡散速度と試験片厚さの関係を明らかにしてからのことにする。

#### 引用ならびに参考文献

- 1) 佐道, 福山(1966): 京府大学報, 農: 18, 92.
- 2) 福山, 佐道(1968): 京府大学報, 農: 20, 57.
- 3) 小倉, 梅原(1957): 木材誌, 3, 51.
- 4) 満久崇磨(1954): 木材研究, 13, 81.
- 5) Christensen, G. N. and E. J. Williams (1951): Australian J. Appl. Sci., 2, 411.
- 6) 横田徳郎(1964): "木材中の水の拡散に関する研究" (学位論文) 14.
- 7) Gurney, R. W. (1953): "Ionic processes in solution", 113, 256. New York.

- 8) 林業試験場編(1958)：“木材工業ハンドブック”，108, 丸善.
- 9) 梶田茂編 (1961)：“木材工学” 養賢堂 24, 32.
- 10) Stamm, A. J. (1964)：“Wood and cellulose science”, New York 410.

### Summary

The effects of thickness of the test specimen on the diffusion of potassium chloride (KCl) through water-saturated wood have been measured in the longitudinal direction of Hinoki- and Buna wood at a constant temperature of 50°C.

The apparatus used in this experiment was essentially the same as that described in the previous report<sup>1,2)</sup> except for some modification in the design of the electric circuit.

The test specimens were disks having the size of 5 cm in diameter, and 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 cm in thickness which were prepared from air-dried blocks of Hinoki- and Buna heartwood.

The results obtained are as follows:

- 1) The variations of the diffusion coefficient in the fiber direction of Buna wood are considerably greater than those of Hinoki wood (Table 1).
- 2) The ratio of the diffusion coefficient on 1 cm-

thick of both the species to that of KCl into water in bulk is about 1/2.5 for Hinoki and 1/18 for Buna, that is, the diffusion of KCl in heartwood of Buna is extremely difficult, as compared with that of Hinoki.

- 3) The diffusion rate of KCl through Hinoki wood is appreciably greater than that through Buna wood in the case of same thickness (Table 1).
- 4) The diffusion coefficient for Hinoki wood decreases gradually with an increase in thickness, but this tendency is not recognized in the case of Buna wood (Table 1, Fig. 3).
- 5) According to the measurements of the diffusion rates by means of the two-ply specimen combined the two specimens in which the diffusion coefficient is known respectively, the diffusion coefficient in Hinoki becomes less than that in each specimen, but this tendency is not recognized in the case of Buna (Table 2).