

遺跡出土木材への PEG 含浸速度に及ぼす 樹種、PEG 濃度、及び温度の影響

河越幹男・石垣 昭

1. 緒 言

遺跡出土木材の保存法の一つである PEG 含浸法は、処理に長時間かかるという難点はあるが、経済的であるため、広く用いられている(沢田:1977)。著者らは、前報(河越・石垣:1990)で PEG 含浸過程を拡散現象と見なして解析し、PEG 含浸途上における木材重量の経時変化が拡散理論に基づく計算値とよく一致することを見出し、この重量変化曲線から有効拡散係数を求めた。さらに、板、直方体、円柱、球などの簡単な形状に対する処理時間を推定する簡便式を提出した。

PEG 含浸速度は、含浸液の密度、粘度、及び分子拡散係数などの液物性の影響のみならず、樹種、腐食程度など木質構造の影響をも受ける。前報の拡散モデルを実際の保存処理に適用するためには、これら諸因子の含浸速度に及ぼす影響を明らかにしなければならない。本研究では、このうち含浸速度に最も大きな影響を及ぼすと考えられる樹種、PEG 濃度、及び温度の影響を検討した。さらに、含浸完了後の長期保存中に起こる出土木製品の変形、変質などの基礎データを得るため、体積変化率及び水分残存率についても測定した。

2. 試料片の作成および測定方法

(1) 試料の作成 試料は、奈良国立文化財研究所より提供された広葉樹(トチノキ)と針葉樹(杉)の出土材である。樹種は木材組織の顕微鏡観察によって同定した(島地・伊東:1982)。1片が約3cmの立方体を、広葉樹と針葉樹からそれぞれ4個ずつ切り取り、PEG 含浸速度測定用の試料片とした。

長期間水中に保存した湿潤状態における試料片の体積 V_0 は浮力法で測定した。すなわち、試料片の空気中での重量 m_0 と水中での重量 m_w の差は浮力に等しいので、この差を水の密度 ρ_w で除せば体積 V_0 が得られる： $V_0 = (m_0 - m_w) / \rho_w$ 。この方法で求めた試料体積を表1に示した。表1には、試料を立方体と仮定して求めた辺長 a ($=V_0^{1/3}$)をも併せて示してある。針葉樹は広葉樹に比べ固く、試料片を正確に切り取ることが難しいため、広葉樹に比べ各試料間の寸法の差異が大きい。

また、含水率を測定するため、試料片を切り取った近傍から約2gの薄片を3個ずつ採取し、この薄片の湿潤重量と、110℃で乾燥したときの恒量値(絶乾重量)を測定した。含水率は、両者の差を絶乾重量で除した商として定義される。ここでは、3個の薄片の平均値を以って含水率 η とした。

表1 初期状態における試料の重量、体積、及び辺長
Table 1 Weight, volume, and dimension of test pieces at initial condition.

樹種	試料番号	初期重量 [g]		体積 (V ₀) [cm ³]	辺長 (a) [cm]
		空気中 (m ₀)	水中 (m _w)		
広葉樹	B-1	34.84	1.739	33.24	3.22
	B-2	34.63	1.590	33.17	3.21
	B-3	34.49	1.524	33.11	3.21
	B-4	35.42	1.715	33.85	3.24
針葉樹	N-1	38.31	2.658	35.81	3.30
	N-2	37.19	2.611	34.73	3.26
	N-3	39.72	2.788	37.09	3.34
	N-4	41.72	2.822	39.07	3.39

(注) 測定水温は30℃である。

(2) 試料重量の経時変化 浸漬液中における試料片重量の経時変化を、感度1mgの電子天秤を用い、床下秤量法によって測定した。PEG溶液を入れた浸漬槽を恒温槽に設置し、液温度を±0.3℃以内に一定に保った。浸漬槽には広葉樹と針葉樹の試料片を各々1個ずつセットして、同時に測定した。また、測定が長時間にわたるので、水分の蒸発によるPEG溶液の濃度変化を防ぐため、浸漬槽にサラップをかぶせた。

実験は、PEG濃度(=約20%)を一定に保って温度を変化させた場合と、温度(=60℃)を一定にしてPEG濃度を変えた場合について行った。PEG濃度を変化させる実験では、PEG濃度は5段階に分けて増加させた。この方法は、実際の保存処理においても用いられている(増澤：1983)。まず、試料片を約20%のPEG水溶液に浸漬して含浸させる。含浸が完了した後、この試料片を次の約40%の溶液に浸漬し含浸させる。この手順を繰り返してPEG溶液の濃度を段階的に増加させ、最終的には純PEGの熔融液に浸漬し、含浸させた。従って、PEG濃度は変わっても試料片は同じである。一方、温度を変化させる実験では、同一濃度の浸漬液を用いるので、含浸の終了した試料片を次の測定に用いることができない。従って、試料片は温度毎に異なる。

(3) 含浸処理後の試料片の体積変化率 PEG含浸後に、試料片が変形したり、歪を生じたりする(増澤：1974)ことはよく知られている。試料の膨張、収縮は長さの変化率で表されていることが多いが、長さの変化率は数%以下であり、試料の寸法が短い場合には測定誤差が大きくなる。さらに、変形などにより測定が困難な場合すらある。ここでは、測定が比較的容易に、かつ精度良く行える体積を基準にした体積変化率を次式で定義する。

$$\beta = \frac{V_E - V_0}{V_0} \quad (1)$$

ここでは、 V_E は純 PEG で飽和された含浸処理後の試料片体積である。従って、膨張のときは $\beta > 0$ 、収縮のときは $\beta < 0$ になる。

V_E は、浮力法で求めた。含浸完了後自然乾燥させた試料片を水に浸漬すると、試料表面を覆っている PEG が液中に溶け出すため、最初の20～30秒間は重量が急激に減少するが、木材内部からの PEG の溶出は非常に遅いためそれ以後はほぼ一定値になる。この値を水中における重量とした。次に、試料片を水中から取り出し、乾いた布で試料表面の水分を完全に吸い取って自然乾燥させ、重量を計る。 V_0 の場合と同様、両者の差を水の密度で除すれば V_E が求められる。

3. 実験結果及び検討

(1) PEG の含浸機構 木材は主に細胞壁から成る木材実質とその間に無数に存在する毛細管からなる。現生材(西洋杉)の場合、毛細管の平均直径は9～12 nm である(右田ら：1968)。出土材の場合には、土中にあるとき微生物の分解作用を受けているので、毛細管径は現生材よりも大きいと考えられる。

PEG4000 (平均分子量3000) は長さ約24 nm の屈曲性鎖状高分子であるため、溶媒中では丸まって存在している。その平均直径は分子構造から計算でき(鶴田・中島：1979)、PEG4000について計算すると約5 nm になる。

すなわち、PEG 分子の方が毛細管径よりも小さいので、PEG は毛細管内を分子拡散によって移動することができる。ただし、毛細管径に比べ拡散分子の直径はそれほど小さくはないので、移動速度は分子拡散のみならず、毛細管径の影響も受けると考えられる。

(2) 試料木材の含水率、空隙率、及び真密度 湿潤状態では、空隙部分(毛細管の全容積)は水で飽和されているので、湿潤重量 m_0 と絶乾重量 m_D の差を水の密度で除すれば空隙部の体積となる。従って、湿潤状態の試料体積 V_0 を基準にした空隙率 ϵ は、 $\epsilon = (m_0 - m_D) / (\rho_w V_0)$ から求められる：ただし、試料片の m_D を直接測定することはできないので、 m_D として計算値(= $m_0 / (1 + \eta)$)を用いた。また、木材実質の密度(真密度) ρ_T は、木材実質の重量(絶乾重量)を木材実質の体積 $(1 - \epsilon)V_0$ で除せば求められる： $\rho_T = m_D / (1 - \epsilon)V_0$ 。

PEG 含浸実験に用いた試料片の含水率、空隙率、真密度を表2に示した。含水率は、広葉樹で658%、針葉樹で452%、また、空隙率は広葉樹で約91%、針葉樹で約88%である。何れも、広葉樹の方が針葉樹より大きい。本研究で得られた出土材の真密度の平均値は、広葉樹で1.54 g/cm³、針葉樹で1.61 g/cm³である。木材実質は主に骨格成分であるセルロースと充填物質であるリグニンから構成されており、セルロースの密度は約1.5～1.6 g/cm³、リグニンのそれは約1.4 g/cm³である。出土材の場合、

密度の大きいセルロースが微生物による分解作用を受けて消失し易く、この傾向は広葉樹の方が針葉樹より大きい。広葉樹の真密度は針葉樹のそれより若干小さい。現生材の真密度は、樹種に無関係に1.50~1.55g/cm³である(右田ら:1968)。本実験の測定精度を考慮すれば、出土材と現生材の真密度はほぼ一致していると見なせる。

表2 試料の含水率, 空隙率, 真密度
Table 2 Moisture content, void fraction, and density of wood substance.

樹種	含水率 [%]	試料番号	空隙率 (ε) [-]	真密度 (ρ _T) [g/cm ³]
広葉樹	658	B-1	0.9138	1.55
		B-2	0.9102	1.54
		B-3	0.9082	1.54
		B-4	0.9123	1.54
		平均	0.9111	1.54
針葉樹	452	N-1	0.8799	1.61
		N-2	0.8806	1.62
		N-3	0.8807	1.62
		N-4	0.8782	1.61
		平均	0.8799	1.61

(3) 重量変化曲線及び有効拡散係数の算出 図1に試料片の重量増加量 (=M-M₀) 対浸漬時間 t のプロットを示した。ここで、Mは時間 t における浸漬液中での試料片重量、M₀はその初期重量である。時間が十分大きくなると、ある平衡増加量 (=M_F-M₀:ここで、M_Fは平衡重量) に漸近する。浸漬液の PEG 濃度が大きくなると、水が PEG によって置換されにくくなるため、平衡増加量も小さくなっている。

拡散モデル(河越・石垣:1990)によると、立方体の平均飽和度 $\bar{\Psi} = (M_F - M) / (M_F - M_0)$ は次式で与えられる。

$$\bar{\Psi}(t) = 1 - \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp \left\{ - (2n+1)^2 \pi^2 \frac{D_A t}{a^2} \right\} \right]^3 \quad (2)$$

時間 t が十分大きい場合、上式は級数解の第1項のみで近似でき、次式のように簡単化される。

$$\ln(1 - \bar{\Psi}) = \ln(512/\pi^6) - (3\pi^2 D_A / a^2) t \quad (3)$$

図2に(1- $\bar{\Psi}$)対tの関係を片対数プロットで示した。時間 t が大きくなると ln(1- $\bar{\Psi}$) 対 t の関係は直線になり、(3)式が成立することが分かる。この直線部分の勾配から有効拡散係数 D_A を求めた。図中の実線は、この D_A を用いた厳密解(2)式からの計算値である。また、図1の実線も同じく(2)式からの計算値である。いずれも、実測値とよく一致している。この方法で求めた各条件下における有効拡散係数を表3にまとめて示した。

(4) 分子拡散係数と有効拡散係数の比較 分子拡散係数は、従来の推算式を用いて計算すると、約0.2 cm²/day である(付録2参照)。有効拡散係数は、表3に示したように、0.05~0.24 cm²/day の範囲に

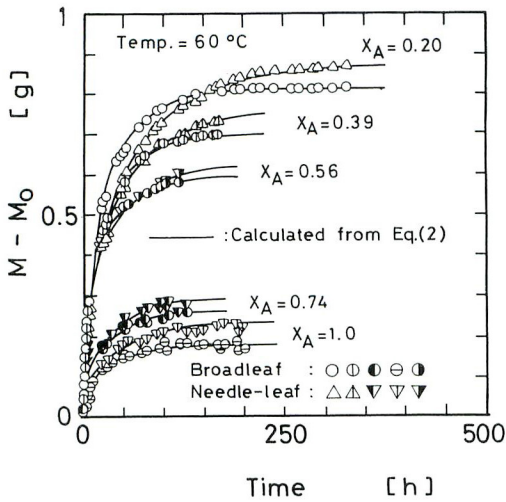


図1 試料片の重量変化曲線
Fig.1 Variation in weight of test pieces with time

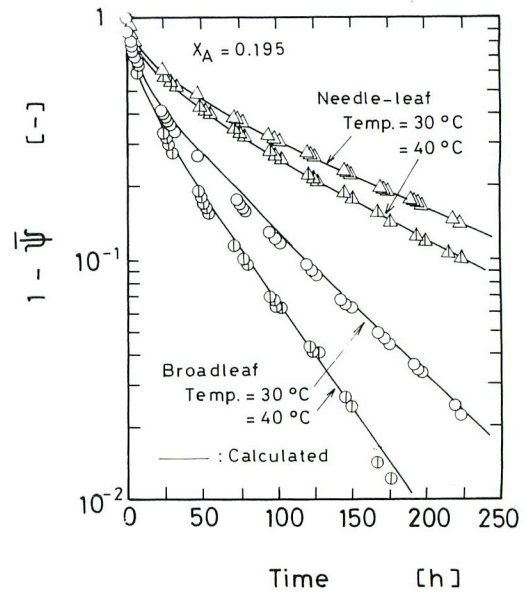


図2 未飽和度 (1- $\bar{\Psi}$) 対時間の片対数プロット
Fig.2 Plots of $\ln(1-\bar{\Psi})$ versus time

表3 各条件下における有効拡散係数
Table 3 Effective diffusion coefficients at various conditions

実験 No.	測定 温度 [°C]	PEGの 重量分率 X_A [-]	広葉樹		針葉樹	
			試料 番号	有効拡散係数 D_A [cm ² /day]	試料 番号	有効拡散係数 D_A [cm ² /day]
1	30	0.195	B-1	0.117	N-1	0.0524
2	40		B-2	0.173	N-2	0.0638
3	50		B-3	0.238	N-3	0.0613
4	60	0.385	B-4	0.198	N-4	0.109
5				0.203		0.143
6		0.562		0.240		0.194
7		0.739		0.214		0.188
8		1.000		0.179		0.149

あり、分子拡散係数の推算値と同程度である。このことは、PEGの含浸機構が分子拡散に近いことを示している。しかし、木質構造の影響も無視できないため、有効拡散係数は針葉樹と広葉樹で異なっている。

(5) 有効拡散係数に及ぼす樹種の影響 含水率、空隙率とも広葉樹の方が針葉樹よりも大きく、PEGの拡散が容易であることを示唆している。事実、表3に示した針葉樹と広葉樹の拡散係数を比較して

みると、広葉樹の拡散係数は $0.1\sim 0.24\text{ cm}^2/\text{day}$ 、針葉樹のそれは $0.05\sim 0.2\text{ cm}^2/\text{day}$ であり、いずれの条件下においても、有効拡散係数は広葉樹の方が針葉樹よりも大きい。

(6) 有効拡散係数に及ぼす PEG 濃度の影響 図 3 に 60°C での有効拡散係数 D_A 対 PEG の重量分率

X_A の関係を示した。広葉樹、針葉樹のいずれの場合にも、 D_A は $X_A=0.6\sim 0.7$ 近傍で最大値になる複雑な挙動を示している。また、PEG の低濃度領域では、木質構造の影響を受け易い高分子の PEG が水中を拡散するため、樹種の影響が顕著である。高濃度領域では、逆に PEG 中を低分子の水が拡散するため、樹種の影響が小さくなっている。

60°C での有効拡散係数の濃度による変化幅を調べてみると、広葉樹の場合、 $D_A=0.21\pm 0.03\text{ cm}^2/\text{day}$ 、針葉樹の場合、 $D_A=0.152\pm 0.042\text{ cm}^2/\text{day}$ である。従って、中央値に対する偏差は、広葉樹の場合で $\pm 14\%$ 、針葉樹の場合で $\pm 28\%$ であり、変化割合はそれほど大きくはない。

(7) 有効拡散係数に及ぼす温度の影響 表 3 に示した

実験 No. 1 ~ 4 は、 X_A を一定 ($=0.195$) にして、温度を $30\sim 60^\circ\text{C}$ と変化させた場合の結果である。温度が高くなるにつれて有効拡散係数が増加する傾向が認められる。Eyring の速度理論に従うと、拡散係数は次式で表すことができる。

$$D_A = A T \exp\left[-\frac{E}{RT}\right] \quad (4)$$

ここで、 A は定数、 T は絶対温度、 E は拡散の活性化エネルギー、 R は気体定数である。図 4 に、(4)式に基づいてプロットした $\log(D_A/T)$ 対 $1/T$ の関係を示した。用いた試料片が各温度毎に異なるため、データの変動は多少あるが、ほぼ直線関係が得られる。勾配から活性化エネルギーを求めると、広葉樹、針葉樹ともほぼ等しく、 $E=14.3\text{ kJ/mol}$ となった。溶媒が水の場合、拡散の活性化エネルギーは $13\sim 15\text{ kJ/mol}$ である。(Akita : 1981)。本実験値はこの文献値とはほぼ一致しており、妥当な結果である。

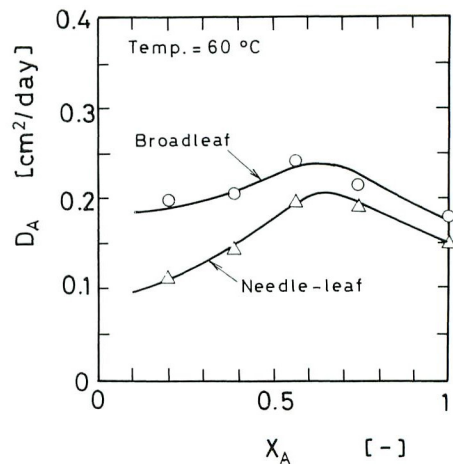


図 3 有効拡散係数対 PEG 濃度の関係
Fig. 3 Relation between effective diffusion coefficient and PEG concentration

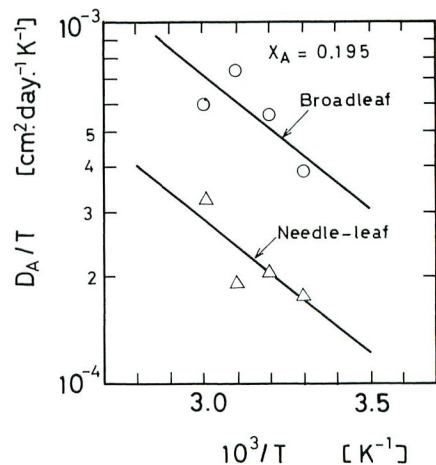


図 4 有効拡散係数と温度の相関
Fig. 4 Correlation of effective diffusion coefficient with temperature

4. PEG 含浸後の試料片の状態変化

(1) 見かけの状態(質感) PEG 含浸処理後の試料片は、広葉樹、針葉樹とも、表面は蠟状の固体 PEG で覆われ、光沢をもち、黒ずんでいる。表面の木目、年輪等は不明瞭である。この試料片を77日間室内に放置して、自然乾燥させた。これを、水中での重量測定(浮力法)のため、数十秒間水(温度18℃)に浸漬し取り出したところ、試料表面の PEG は溶出し、黒ずんでいた表面の色彩が明るくなった。その結果、表面の木目、年輪が明瞭になり、木材の質感がよみがえった。

(2) 体積変化率 含浸終了後77日を経た試料片の体積、及び体積変化率 β を表4に示した。変化率が負の値になることは、試料片が収縮したことを示している。広葉樹、針葉樹のいずれの場合にも、体積収縮率は4.5%前後である。長さの変化率は、等方性を仮定すれば、 $(1+\beta)^{1/3}-1$ から計算でき、本実験の場合、いずれも約-1.5%になった。

表4 PEG 置換比、体積変化率、及び水分残存率 (77日後)

Table 4 Replacement ratio of PEG, fractional volume change, and residual moisture content (77 days after)

樹種	含浸完了後		置換比	体積変化率	水分残存率
	重量	体積			
	m_E [g]	V_E [cm ³]	α [-]	β [-]	γ [-]
広葉樹	38.28	32.29	1.079	-0.0461	0.302
針葉樹	44.34	37.39	1.077	-0.0430	0.321

(3) 重量置換比 重量置換比 α を空隙部分を充している含浸前後の充填物質(水、PEG)の重量比として定義する。充填物質の重量は、試料の全重量と絶乾重量の差であるので、 α は次式から求められる。

$$\alpha = \frac{m_E - m_D}{m_O - m_D} \quad (5)$$

ここで、 m_E は純 PEG 含浸後の試料重量である。本実験では、含浸処理完了後、試料を77日間自然乾燥させた後に m_E を測定し、 α を求めた。これを表4に示した。 α は針葉樹、広葉樹とも約1.08である。実際の保存処理を行った大型出土材の α は、1.05~1.18である(増澤・西山:1974)。本実験結果はこの文献値とほぼ一致しており、小型試料で得た本実験結果が実際の保存処理の基礎データとして使えることを示している。

(4) 水分残存率 空隙部の水が全て PEG で置換されたときの α は、試料片の体積変化を無視すると、PEG(固体)と水の密度比(=1.20:付録1参照)に等しくなる。 α の実測値は、上述のように約1.08であり、計算値よりも小さい。体積の収縮を考慮すれば、 α の計算値は若干小さくなるが、それでも実測値は計算値より小さい。このことは、全ての水分が PEG で置換されず、一部残存することを示している。

水分残存率 γ を、初期含水量(= $\epsilon V_o \rho_w$)に対する残存含水量の割合として定義すると、含浸処理

後の残存含水量は $\gamma \varepsilon V_0 \rho_w$ である。また、固体 PEG の密度を ρ_s とすれば、PEG の量は $\{(1+\beta) - (1-\varepsilon) - \gamma \varepsilon\} V_0 \rho_s$ である。従って、両者の和を初期含水量で除すれば、含浸前後の充填物質の重量比 α となる。すなわち、 α と γ の間には次式が成立する。

$$\alpha = \gamma + \left[1 - \gamma + \frac{\beta}{\varepsilon} \right] \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (6)$$

上式を水分残存率 γ について解くと、次式が得られる。

$$\gamma = \frac{\{1 + (\beta/\varepsilon)\} (\rho_s/\rho_w) - \alpha}{(\rho_s/\rho_w) - 1} \quad (7)$$

実測の α 及び β を用いて(7)式から計算した水分残存率 γ を表 4 に示した。これから、広葉樹、針葉樹とも、水分残存率は30%以上であることが分かる。この残存水分が処理後の出土材に与える影響については、今後検討する必要がある。

5. 結 言

出土木材への PEG 含浸による木材重量の経時変化を、拡散モデルに準拠して解析し、有効拡散係数を求めた。有効拡散係数の値は、分子拡散係数の推算値と同程度であることを見出した。次に、有効拡散係数に及ぼす樹種、PEG 濃度、及び温度の影響を調べた。その結果、有効拡散係数は、広葉樹の方が針葉樹よりも大きく、また、PEG 濃度による拡散係数の変化は $\pm 14\% \sim \pm 28\%$ で、それほど大きくはないことが分かった。有効拡散係数に及ぼす温度の影響は、Eyring の速度式で整理できた。

さらに、PEG 含浸後の試料片についても検討した。出土材は、PEG 含浸後は収縮し、その体積収縮率は約4.5%であることが分かった。また、含浸完了後の水分残存率を求め、初期含水量の30%以上の水分が未置換のまま残留していることを明らかにした。

本研究結果は、本実験に使用した試料材に対して得られた結果である。この結果を実際の保存処理に適用するためには、種々の劣化状態、木材内の劣化状態の不均一性、及び木目による異方性など多くの因子の影響を検討する必要がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、奈良国立文化財研究所・沢田正昭氏から試料の提供、並びに貴重な御助言を戴きました。ここに記し、深謝いたします。

<付録 1> PEG 溶液の密度と粘度、及び固体 PEG の密度

実験結果の整理に必要な PEG 水溶液の各濃度、温度における密度および粘度の実測値を表 A-1 に示した。粘度はオストワルド粘度計を用いて測定した。増澤らも B 型粘度計を用いて PEG 溶液の粘度を測定している(増澤・西山：1974)。濃度の低い範囲では本実験値と良く一致しているが、濃度が高

い範囲では PEG は非ニュートン流体であるため、測定方法によって異なる。偏差が最大となる純 PEG (60℃) の場合、増澤らは B 型粘度計によって 262 cP の結果を得ている。本実験値 (=208 cP) との差は約 21% 程度であり、実用上差し支えないので、簡便なオストワルド粘度計による測定値を用いることができる。

固体 PEG の密度 ρ_s は、1.196~1.206 g/cm³ である (Merck Index : 1976)。ここでは、この平均値 1.20 g/cm³ を ρ_s とした。

表 A-1 PEG 溶液の密度及び粘度
Table A-1 Density and viscosity of PEG solution

温 度 [℃]	重 量 分 率 X_A [-]	密 度 [g/cm ³]	粘 度 [cP]
20	0	0.998	1.005
	0.1936	1.033	6.619
	0.3742	1.069	27.676
30	0	0.996	0.802
	0.1940	1.031	5.026
	0.3766	1.062	19.554
40	0	1.116	71.340
	0.1949	1.026	3.752
	0.3788	1.056	13.987
50	0	1.111	47.042
	0.1953	0.988	0.550
	0.3810	1.024	2.814
60	0.5450	1.050	10.028
	0.7394	1.101	31.759
	1.0000	0.983	0.469
60	0.1963	1.019	2.278
	0.3854	1.038	8.179
	0.5623	1.067	23.807
	0.7394	1.082	57.580
	1.0000	1.103	208.006

<付録 2> 分子拡散係数の推算

拡散成分の濃度が無限小の場合には、Wilke-Chang の式から拡散係数を推算することができる (Wilke ら : 1955)。

$$D_{AO} = 6.4 \times 10^{-3} \frac{T \sqrt{\xi M_m}}{\mu V^{0.6}} \quad (A-1)$$

ここで、 D_{AO} は分子拡散係数 [cm²/day]、 T は絶対温度 [K]、 M_m は溶媒の分子量、 μ は溶媒の粘度 [cP]、 V は拡散分子の沸点における分子容 [cm³/mol] である。 ξ は溶媒の会合定数で、水の場合、 $\xi=2.6$ である。

PEG-水の 2 成分系の場合、拡散成分の濃度が無限小の場合として、PEG 濃度が十分小さい場合 (PEG が拡散成分) と、PEG 濃度が十分大きい場合 (水が拡散成分) がある。ところが、高分子溶液

中を低分子が拡散する後者の場合、今のところ一般的な推算式はなく、Wilke-Chang の式は適用できないようである (Sherwood ら：1975)。ここでは、前者の場合についてのみ計算した：推算値は $D_{A0} = 0.22 \text{ cm}^2/\text{day}$ である。

Polson は、分子量が1000以上の高分子の水中における拡散係数に対して次のような簡単な実験式を与えている (Sherwood ら：1975)。

$$D_{A0} = 2.37M_A^{-1/3} \quad (\text{A-2})$$

ここで、 D_{A0} は分子拡散係数 [cm^2/day]、 M_A は拡散分子の分子量である。 $M_A = 3000$ として計算すると、 $D_{A0} = 0.164 \text{ cm}^2/\text{day}$ である。

上の2つの推算式による計算値には大差はなく、PEG4000の水中における分子拡散係数は $0.2 \text{ cm}^2/\text{day}$ 程度と考えることができる。

参 考 文 献

- 右田伸彦・米沢保正・近藤民雄編(1968) 木材化学 上, 共立出版：27-43.
- 河越幹男・石垣 昭(1990) 遺跡出土木材への PEG 含浸処理に関する理論的考察, 考古学と自然科学 第22号：95-102.
- 沢田正昭(1977) 化学からみた「保存科学」の現状, 化学の領域 第31巻：1082-1090.
- 島地 謙・伊東隆夫(1982) 図説木材組織, 地球社：140-141.
- 鶴田禎二・中島章夫編(1979) 高分子の化学, 岩波書店：107-155.
- 増澤文武(1974) PEG 含浸処理した出土木材の経時変化, 保存科学研究室紀要 元興寺仏教民俗資料研究所：52-58.
- 増澤文武・西山要一(1974) 出土木製品の PEG 含浸処理に関する実験(II), 保存科学研究室紀要 元興寺仏教民俗資料研究所：39-46.
- Akita K. (1981) "Diffusivities of Gases in Aqueous Electrolyte Solutions" Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals, Vol. 20 : 89 - 94.
- Glasstone S., Laidier K. J. and Eyring H. (1941) "The Theory of Rate Processes" McGraw-Hill, New York : Chapter 9.
- Sherwood T. K., Pigford R. L. and Wilke C. R. (1975) "Mass Transfer" McGraw-Hill, New York : 34 - 35.
- Wilke C. R. and Chang P. (1955) "Correlation of Diffusion Coefficients in Dilute Solutions" A. I. Ch. E. J., Vol. 1 : 264 - 270.
- Windholz M. (1976) "The Merck Index" 9-th ed., Merck & Co. Inc., Rahway, New Jersey : 984.

**Influences of Wood species, PEG concentration and Temperature
on Impregnation rate of Waterlogged Wood with PEG**

Mikio KAWAGOE and Akira ISHIGAKI

Department of Chemical Engineering, Nara National College of Technology

22 Yata-machi, Yamato-Koriyama, Nara 639-11, Japan

The impregnation of waterlogged wood with polyethylene glycol (PEG) was carried out under various conditions using two kinds of wood, broadleaf and needle-leaf trees: Temperatures were from 30 to 60°C, and PEG concentrations from 20 to 100 wt. %. Change in weight of test pieces with time was measured, from which effective diffusion coefficients were calculated based on the diffusion model. The effective diffusion coefficients in the broadleaf tree were found to be larger than those in the needle-leaf tree. The effective diffusion coefficients showed very complicated behavior with PEG concentration in both the trees, which take maximum value at a certain concentration of PEG. The effect of temperature on the effective diffusion coefficient was correlated by the kinetic theory proposed by Eyring.

Further, fractional change in volume of the wood and replacement ration of PEG in the wood were measured by leaving the test pieces in air at room temperature for 77 days after completion of impregnation. Using these data, residual moisture contents in the woods were calculated, which were found to be 30%, or more.