

水溶性木材防腐剤に関する研究（第12報）

加圧式処理法における注入薬剤量

教授 芝 本 武 夫・井 上 嘉 幸

Takeo SHIBAMOTO and Yoshiyuki INOUE

Studies on Water-borne Wood Preservatives. (XII).

Retention of Treated Wood by Pressure Method.

目 次

I. 緒 言.....	179	V. 摘 要.....	186
II. 計 算 法.....	179	文 献.....	186
III. 計 算 例.....	182	Résumé	187
IV. 考 察.....	184		

I. 緒 言

加圧式木材防腐処理法は、木柱、枕木、腕木、港湾用材および坑木などに対して用いられ、すくなくとも辺材部分には防腐剤を十分に浸潤させることを目的としている。防腐剤の流動浸透と拡散浸透に対しては、対象木材の不均質性（樹種、形状、産地、辺材率、含水率、比重、年輪密度）および処理条件（防腐剤の理化学的性質、温度、前排気、注入圧力、後排気、加圧時間）などの要因が関係し、しかもそれが極めて複雑であるために、これらの要因と防腐木材の品質（現在浸潤長であらわされている）との関係については、いまだ十分に明らかにされていない現状である。防腐木材の品質に対しては、浸潤部分とそこに含まれる薬剤量が重要であるが、JIS A 9102 などでは辺材全部に防腐剤を浸潤させることはむつかしい。

この報告は加圧式処理における浸潤部分の体積と含有される薬剤量についての計算法を明らかにし、さらに、これを実際の製品に適用した場合の計算例を示したものである¹⁾。この方法によつて実際の加圧式処理製品における注入薬剤量を求め、これを JIS A 9302 に規定された防腐効力試験における吸収薬剤量（濃度によつて変えることができる）と防腐効力の関係と対比することによつて、製品の防腐効力を判定する上に役立てることができよう。

II. 計 算 法

1) 木材および枕木の加圧式による防腐剤注入部分の体積計算法

加圧式処理木柱における浸潤部は、木柱体積から非浸潤部（心材の一部と廻転槽円体の体積）を

除いた部分と考えることができる。

Fig に示す木柱の場合には、斜線の部分の体積が無視できるので、防腐剤浸潤部分の体積はつぎの式でもとめることができる。

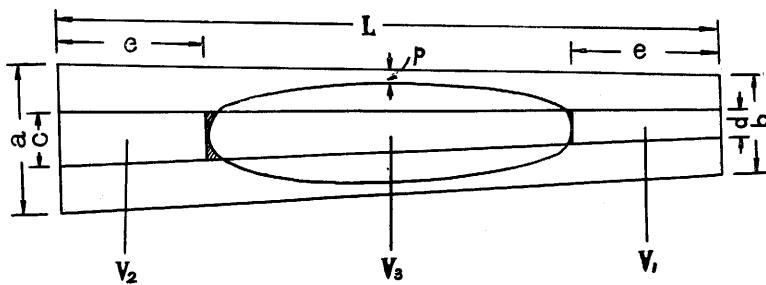


Fig. 1. Sketch showing dimensions computing the volume of treated in round timber.

$$V = V_0 - (V_1 + V_2 + V_3)$$

V: absorbed volume of wood

V_0 : total volume of wood

V_1 and V_2 : volume of heart wood

V_3 : ellipsoid of revolution

$$V_0 = \pi \int_0^L \left\{ \frac{b}{2} + \frac{(a-b)}{2L} x \right\}^2 dx = \frac{\pi L}{4} \left\{ ab + \frac{(a-b)^2}{3} \right\}$$

$$V_1 = \frac{\pi e}{4} \left[\left\{ d + \frac{(c-d)}{L} e \right\} d + \frac{\left\{ \frac{(c-d)}{L} e \right\}^2}{3} \right] = \frac{\pi e}{4} \left\{ (d+f)d + \frac{f^2}{3} \right\}$$

$$V_2 = \frac{\pi e}{4} \left[\left\{ c - \frac{(c-d)}{L} e \right\} c + \frac{\left\{ \frac{(c-d)}{L} e \right\}^2}{3} \right] = \frac{\pi e}{4} \left\{ (c-f)c + \frac{f^2}{3} \right\}$$

$f = \frac{(c-d)}{L} e$ とする。

$\frac{L}{2}-e=A$, $\frac{a+b}{4}-P=B$ とする

$$V_3 = \pi B^2 \int_0^A \left(1 - \frac{x^2}{A^2}\right) dx = \frac{4}{3} \pi AB^2 = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{L}{2} - e\right) \left(\frac{a+b}{4} - P\right)^2$$

$$V = \frac{\pi L}{4} \left\{ ab + \frac{(a-b)^2}{3} \right\} - \left[\frac{\pi e}{4} \left\{ (d+f)d + (c-f)c + \frac{2f^2}{3} \right\} + \frac{4}{3} \pi \left(\frac{L}{2} - e \right) \left(\frac{a+b}{4} - P \right)^2 \right] \quad (1)$$

辺材全部に注入されたと仮定すると、防腐剤浸潤部分の体積は、つきの式でもとめることができます。

$$V = \frac{\pi L}{4} \left\{ ab - cd + \frac{(a-b)^2 - (c-d)^2}{3} \right\} \quad (2)$$

$a=b$ の木柱の場合には、辺材長を S とし防腐剤が辺材全部に浸潤したと仮定すると、全体積に対する防腐剤浸潤部分の体積の割合はつぎの式でもとめることができる。

$$V = \frac{\pi a^2 L}{4} - \pi \left(\frac{a-2S}{2} \right)^2 L$$

$$V/V_0 = 4 \frac{S}{a} - 4 \left(\frac{S}{a} \right)^2 \quad (3)$$

S/a : ratio of sapwood thickness to diameter

V/V_0 : sapwood in total volume

つぎに Fig. 2 に示すとおり、枕木など角材の場合には、全部を辺材と仮定すると、防腐剤浸潤部分の体積はつぎのとおりである。

$$V = abL - \frac{4}{3}\pi \left(\frac{L}{2} - e \right) \left(\frac{a+b}{4} - P \right)^2 \quad (4)$$

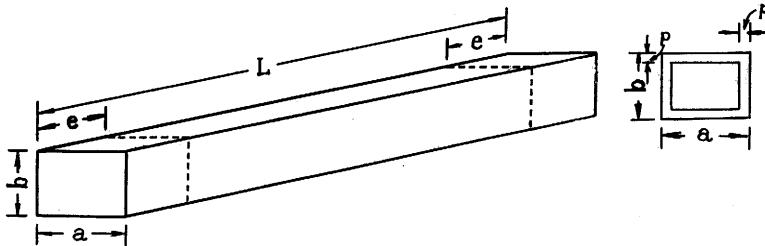


Fig. 2. Sketch showing dimensions computing the volume of treated in sawed timber.

また、木口から距離 e までは全部に浸潤し、 $L-2e$ では材表から P だけ浸潤したと考えると、浸潤部分の体積はつぎのとおりである。

$$V = 2abe + 2P(a+b-2P)(L-2e)$$

2) 空隙率

空隙率はつぎの式によつて求められる。

$$P = 100 \left\{ 1 - S \left(\frac{1}{1.46} + \frac{M_k}{100\rho_w} + \frac{M_a}{100} \right) \right\}$$

P : percentage air space in wood

S : specific gravity based on the weight when oven-dry and the volume at current moisture content

M_k : percentage of moisture content at or below the fiber saturation point

ρ_w : density of water in wood

M_a : percentage of moisture content above the fiber saturation point

1.46: true specific gravity of wood substance determined in helium gas

加圧式注入における木材の含水率が、纖維飽和点以上の場合には、空隙率はつぎのとおりである。

$$P = 100 \left\{ 1 - S \left(\frac{1}{1.53} + \frac{M}{100} \right) \right\}$$

1.53: apparent specific gravity of wood substance determined in water

$$M: M_k + M_a$$

3) 最大注入量

辺材全部に防腐剤溶液が浸潤したと仮定した場合における防腐剤溶液（比重を1とする）の体積は、つぎのとおりである。

木柱の場合

$$\frac{\pi L}{4} \left\{ ab - cd + \frac{(a-b)^2 - (c-d)^2}{3} \right\} \left\{ 1 - S \left(\frac{1}{1.53} + \frac{M}{100} \right) \right\} \dots \dots \dots \quad (5)$$

角材の場合（辺材だけと仮定する）

$$\left\{ abL - \frac{4}{3}\pi \left(\frac{L}{2} - e \right) \left(\frac{a+b}{4} - P \right)^2 \right\} \left\{ 1 - S \left(\frac{1}{1.53} + \frac{M}{100} \right) \right\} \dots \dots \dots \quad (6)$$

最大注入薬剤量はつぎのとおりである。

$$W_{\max} = \frac{P}{100} \cdot \frac{P_s}{100} \cdot W$$

W_{\max} : maximum amount of preservative

P_s : percentage of sapwood

W : weight of preservative in unit volume

III. 計 算 例

$a=25 \text{ cm}$, $b=15 \text{ cm}$, $c=16 \text{ cm}$, $d=8 \text{ cm}$, $P=2 \text{ cm}$, $L=1000 \text{ cm}$, $e=100 \text{ cm}$ とした木柱の場合における防腐剤浸潤部分の体積は、つぎのとおりである。

$V_0=0.320539 \text{ m}^3$, 木柱の材積をもとめる式、すなわち、 $(\text{中径})^2 \cdot 8/10 \cdot L$ では 0.32 m^3 となる。

$$V_1 + V_2 = 0.024651 \text{ m}^3$$

$$V_3 = 0.107179 \text{ m}^3$$

したがつて、 $V=0.188709 \text{ m}^3$

辺材の体積は 0.236803 m^3 となる。

$e=150 \text{ cm}$ の場合の V は 0.190095 m^3 となる。

いま、 10 m 木柱について中央部の浸潤長を 2 cm とし、両木口から 1 m または 1.5 m が圧力による浸潤とし、含水率を 30% , 40% , 50% , 60% とし、比重を 0.30 または 0.35 と仮定した場合の空隙率、防腐剤浸潤部分の体積、最大注入量に対する比率をもとめると、Table 1 に示すとおりである。

Table 1 に示す R は、 $P=71.38$, $e=100$ の場合に 66.63% である。これは防腐剤浸潤部分の体積 (V) にお注入可能な余地が 33.37% 存在することを示している。

つぎに木柱の場合における注入溶液体量を 280 kg/m^3 とすると、

$$280 \times 0.320539 = 89.751$$

$$e=100 \text{ の場合}, 89.751 / 0.188709 = 475.605 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$e=150 \text{ の場合}, 89.751 / 0.190095 = 472.138 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

したがつて、 V_0 に対して 280 kg/m^3 の注入量が最大注入溶液体量となる場合の含水率は Table 2 のとおりである。

Table 1. Calculation example of air space of wood, penetration volume and ratio of actual absorption to maximum absorption of treated wood.

Moisture content %	30		40		50		60					
Specific gravity	0.30	0.35	0.30	0.35	0.30	0.35	0.30	0.35	0.30	0.35	0.30	0.35
Air space in wood %	71.38	66.61	68.38	63.11	65.38	59.61	62.38	56.11				
Penetration length from cross section cm	100	150	100	150	100	150	100	150	100	150	100	150
Penetration volume of wood m^3	125.69906	126.62228	129.03921	129.98696	119.09425	119.96859	123.37794	124.28411	112.48943	113.31563	117.71667	118.58126
R %	66.63	66.14	71.40	70.88	69.55	69.55	75.36	74.81	72.74	72.21	79.79	79.20
	76.24	75.69	84.76	84.15								

R: Ratio of actual absorption (taken as 280 kg/m^3) to maximum absorption.

Table 2. Moisture content which correspond to the maximum absorption.
(taken as 280 kg/m³)

Air space in wood %	47. 5605		42. 2138	
Specific gravity	0. 30	0. 35	0. 30	0. 35
Moisture content %	109. 40	84. 43	110. 55	85. 42

IV. 考察

スギおよび米スギに対するマレニット溶液の JIS A 9102 による加圧式処理における注入量は、Table 3 のとおりである。カラマツはスギおよび米スギに比較して比重が大きく、辺材量がすくないために、注入量は一般に約 150 kg/m³ である。

Table 3. Absorbed solution of pole treated with 1. 25% Malenit solution.

Wood species	Length of pole m	Number of pole	Average absorbed solution kg/m ³
Thuja plicata	11	38	220
	12	22	195
	13~15	6	180
Cryptomeria japonica	7	10	287
	8	10	284
	10~11	12	277

いま、比重を 0.3 とし、含水率を 30% としたときの空隙率をもとめると、Table 1 に示すとおり 71.38 % となる。したがつて、 $0.7138 \cdot 0.188709 = 0.134700$ (m³) となり、防腐剤溶液の比重を 1 とすると 134.700 kg となる。水溶性防腐剤の注入量は、一般に 260~300 kg/m³ (主として 280 kg/m³) が実用されているので、10 m の木柱では、
 $280 \cdot 0.320539 = 89.751$ (kg) $89.751 / 0.188709 = 475.605$

したがつて防腐剤浸潤部分においては、475.605 kg/m³ が注入されたことになる。また、含水率が 109.4% のときの最大注入溶液量が 89.751 kg となる。注入溶液量が 475.605 kg/m³ である場合の注入薬剤量は、マレニットの濃度を 1.25% とし、比重を 1 とすれば 5.95 kg/m³ となる。つぎに、こうしてもとめた注入薬剤量と防腐効力試験における薬剤量とを比較する。Wolman 塩について、JIS A 9302 による防腐効力試験で耐候操作が 10 回の場合の吸収薬剤量と効力値との関係は、Table 4 のとおりである。

木柱の場合の 5.95 kg/m³ の算出には仮定があり、また木柱の内部に向つて薬剤の濃度勾配があるため、材表面では平均注入薬剤量より濃度が大きく、これが木柱の耐久年数に関係をもつと考えられる。つぎに、諸外国における Wolman 塩処理の場合における注入薬剤量を示すと、Table 5 のとおりである。

Table 4. Relation between retention and effective value of Wolman salts.

Sample No. ²⁾	Retention kg/m ³	Effective* value	Sample No. ²⁾	Retention kg/m ³	Effective* value
1	6.96	77.1	14	14.74	100
2	6.93	84.8		8.29	97.6
3	6.18	84.4	15	13.86	92.7
4	6.19	79.1		8.29	90.0
8	13.23	100	16	13.16	100
	7.71	82.7		7.99	97.6
9	13.48	100	17	14.45	97.7
	8.71	100		8.22	92.4
10	12.34	92.4	18	13.96	100
	7.91	93.6		8.74	100
11	13.77	97.9	19	12.70	100
	8.71	83.3		6.13	83.9
12	13.76	100	20	11.47	96.4
	8.72	100		6.17	80.6
13	13.53	97.6	21	10.77	75.8
	8.58	95.2		5.57	77.9

* values after 10 times weathering procedure.

Table 5. Retention of Wolman type preservatives.

Preservative	Retention kg/m ³	Remark
Tanalith, Tanalith U	4.09	Post service record ⁸⁾
Tanalith (old formula)	4.5	Pine pole ⁴⁾
Triolith	5.61	Poles service record ⁶⁾
Trioxan U, Trioxan UA	3.5~4.0	Retention for German National Post ⁶⁾
Triolith, Triolith U, tanalith U	4.0~4.8	Collected data on practical experience ⁷⁾
Tanalith U	5.5	Fence post ⁸⁾
Tanalith, triolith	10	International termite exposure test ⁹⁾
Tanalith U	3.2~9.1	Stake test ¹⁰⁾
Triolith	4.81~8.01	Fence post ¹¹⁾
U-salz (Tanalith U or Basilith UA)	4.5	Standard retention for German National Post ¹²⁾
U-salz (Tanalith U or Basilith UA)	2~6	Standard retention for German National Railways ¹²⁾
Basilith UA	3.65~5.4	¹³⁾
Tanalith	7.21	A Quarter century evaluation of poles and posts at the Gulfport test plot ¹⁴⁾
Tanalith	10.21	International termite exposure test ¹⁵⁾
Water-borne preservatives	5.34~16.02	¹⁶⁾
Tanalith	5.93	Timber for the Rock Island Railroad ¹⁷⁾
Tanalith, Triolith	10.21	International termite exposure test ¹⁸⁾
Tanalith	8.44	Laboratory treated pine block for subterranean termite attack ¹⁹⁾
Tanalith	8.81	Standard retention for highway construction (post, etc.) ²⁰⁾
Tanalith	5.61~8.01	Railroad car material wood for use on farms piles and timbers in marine construction ²¹⁾
Malenit, Malenit C, Malenit K	3.13~3.75	Japanese telephone pole

マレニット溶液の実用濃度が 1.25%で用いられた理由はつぎのように推定される。すなわち、
1) 独逸などにおける坑木処理の濃度を基準とした。 2) 安価。 3) 寒天培養基を用いた稀釀法による発育阻止効力が他の Wolman 塩に比較して大きい。 4) 溶液の安定性と浸潤性。
しかし、JIS A 9302 の防腐効力試験によれば、1.25%はやや低濃度に過ぎ、実用濃度は一層高くする必要があろう。すなわち、Table 4 より、従来のマレニットの 1.47% を注入した木柱の浸潤部分の効力値が 77.1 となり、また、Table 5 より最近の Tanalith の注入量を仮りに 5.5 kg/m³ としてこれと比較すると、2%の濃度が必要となろう。

加圧式処理における注入量は、圧力による急激な注入量(流動浸透)と圧力がほぼ平衡に達したときの拡散による浸潤量(拡散浸透)の和としてあらわされるが、わが国の木柱に対する水溶性防腐剤の注入ではほとんど研究されていない。Mc Lean^{22) 23)} が塩化亜鉛溶液について行なった浸潤長をもとめる式を変形すると、 $\log x = \frac{e^{bP}}{a} \log \frac{fP}{V}$ となる。

x: average penetration length

P: absolute pressure

V: absolute viscosity of the solution

a, *b*, *f*: constant

しかし、スギ木柱の中央部の浸潤長と Wolman 塩の粘度、液温、圧力、処理時間などの関係についてはまだ明らかにされていない。加圧式注入法において、こうした解析を行なうことは今後に課せられた重要課題の一つであろう。

V. 摘要

- 1) 加圧式注入法により処理された木材の浸潤部分の体積は、木柱の場合には(1)の式で、角材(辺材が全部と仮定)の場合には(4)の式で算出することができる。
- 2) 辺材全部に防腐剤溶液が浸潤すると、注入溶液体量(比重を1と仮定)は、木柱の場合には(5)の式で、角材の場合には(6)の式であらわすことができる。
- 3) Wolman 塩の注入薬剤量は一般に 3.5 kg/m³といわれているが、注入されない部分の体積を除いて注入薬剤量をもとめると約 6 kg/m³ (5.95 kg/m³) である。
- 4) この方法により JIS A 9302 の防腐効力試験における薬剤吸収量と加圧式注入法における材中の薬剤量とを比較することによって実際の防腐効力の判定に資することができる。

文献

- 1) J.D. Mc Lean: Preservative treatment of wood by pressure methods (Agriculture Handbook) No. 40, 138 (1952).
- 2) 芝本武夫・井上嘉幸・見城芳久: 木材誌 5, 31 (1959).

- 3) A. W. P. A., : **28**, 300 (1932). 34, 251 (1938).
- 4) K. Wing: Electrot. Z., **56**, 857 (1935).
- 5) A. W. P. A., : **32**, 320 (1936).
- 6) K. Wing: Holz, **2**, 272 (1939).
- 7) L. K. Andrews et al: A. W. P. A., **37**, 54 (1941).
- 8) J. O. Blew: A. W. P. A., **43**, 26 (1947).
- 9) G. M. Hunt and T. E. Snyder: A. W. P. A., **44**, 392 (1948).
- 10) J. O. Blew: A. W. P. A., **44**, 88 (1948).
- 11) J. O. Blew et al: A. W. P. A., **45**, 225 (1954).
- 12) J. Liese: Handbuch der holzkonservierung 367 (1950).
- 13) H.B. van Groenou, H. W. L. Rischen and J. van Den Berg: Wood preservation during the last 50 years, 151 (1951).
- 14) G. Q. Lumsden: A. W. P. A., **48**, 27 (1952).
- 15) G. M. Hunt and T. E. Snyder: A. W. P. A., **48**, 314 (1952).
- 16) G. M. Hunt and G. A. Garratt: Wood preservation, 253 (1953).
- 17) H. B. Christianson Jr.: A. W. P. A., **53**, 102 (1957).
- 18) J. O. Blew. Jr. and H.R. Johnston: A.W.P.A., **53**, 225 (1957).
- 19) A. E. Lund: A. W. P. A., **54**, 46 (1958).
- 20) A. W. P. A.: **54**, 123 (1958).
- 21) A. W. P. A.: **54**, 123, 125, 127, 131 (1958).
- 22) J. D. Mc Lean: A. W. P. A., **20**, 44 (1924).
- 23) J. D. Mc Lean: A. W. P. A., **22**, 147 (1926).

Résumé

The most effective method of treating wood with preservative is by means of pressure. In Japan, the essential types of pressure treatment, Bethell process with Wolman preservative for telephone poles and Lowry process with creosote oil for ties are in most widely use. The treating conditions of Bethel process actual employed for Japanese cedar are as follows; temperature of preservative is ordinary temperature or below 40°C, moisture content of wood is about 30~40%, preliminary vacuum is about 600 mm Hg for 30~60 minutes, maximum preservative pressure is about 10~14 kg/cm² using pressures gradually raised, length of pressure period is 4~12 hours and no final vacuum. The absorbed solution is about 280 kg/m³ for apparent specific gravity at 1.25% of Wolman solution. Therefore, retention of about 3.5 kg/m³ have been commonly used. There is often a wide variation in both the retention and penetration obtained in individual poles in the same charge. The tendency of some purchasers is to specify relative low retentions in the hope of reducing the cost to the lowest safe minimum.

The purpose of this study is to discuss the absorption, retention and penetration of Wolman preservatives especially Malenit for telephone poles to commercial treating-plant operators, inspectors and others interested in pressure-treating processes.

The results obtained are as follows;

- 1) Penetration volume of round or sawed timber can be measured by the following formula.

For round timber:

$$V = \frac{\pi L}{4} \left\{ ab + \frac{(a-b)^2}{3} \right\} - \left[\frac{\pi e}{4} \left\{ (d+f)d + (c-f)c + \frac{2f^2}{3} \right\} + \frac{4}{3} \pi \left(\frac{L}{2} - e \right) \left(\frac{a+b}{4} - P \right)^2 \right]$$

For sawed timber:

$$V = abL - \frac{4}{3} \pi \left(\frac{L}{2} - e \right) \left(\frac{a+b}{4} - P \right)^2$$

- 2) Maximum penetration volume of poles when all sapwood was filled with preservative is as follows;

For round timber:

$$\frac{\pi L}{4} \left\{ ab - cd + \frac{(a-b)^2 - (c-d)^2}{3} \right\} \left\{ 1 - S \left(\frac{1}{1.53} + \frac{M}{100} \right) \right\}$$

For sawed timber:

$$\left\{ abL - \frac{4}{3} \pi \left(\frac{L}{2} - e \right) \left(\frac{a+b}{4} - P \right)^2 \right\} \left\{ 1 - S \left(\frac{1}{1.53} + \frac{M}{100} \right) \right\}$$

- 3) It is said that the retention of Wolman salt in pressure process is about 3.5 kg per total volume of poles. But, in the case when unpenetrated volume is omitted, actual retention is about 6 kg/m³.

- 4) From this method, it is able to compare the absorbed preservatives at decaying test described in JIS A 9302 with the actual amount of preservatives in pressure process.