〈 研 究 〉

小型OPM装置による薬剤注入性

鈴木憲太郎*・谷川 充**

Preservative impregnability into wood by a
laboratory scaled OPM machine.

Kentaro SUZUKI* and Mitsuru TANIKAWA**

Summary

To determine the impregnative effects of the oscillating pressure method (OPM) for the pressure treatment of wood, a laboratory scaled OPM machine was prepared and impregnation tests of water-borne preservatives were carried out comparing with the conventional Bethell method. Four wood species, sugi (*Cryptomeria japonica*), karamatsu (*Larix leptolepsis*), hemlock (*Tsuga heterophylla*), douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and radiata pine (*Pinus radiata*), and two commercial preservatives, CCA (JIS K 1554 Type 1) and DDAC (Penta-cure New BM^R, Xyence Co. Ltd.), were tested for this experiment.

The results obtained were as follows.

1. In the case of refractory species like heart wood of karamatsu and douglas-fir, the OPM showed no significant difference in the preservative impregnability with the conventional method.
2. In the case of easy penetrative species like radiata pine, the OPM succeeded in shortening the period to reach the expected retentions of CCA.
3. The preservative retentions decreased as the moisture condition of the specimen increased.
4. The water-borne preservative of CCA increased in the chemical retentions and penetrated completely and evenly among the sapwood when the OPM was applied for the specimens under high moisture conditions.
5. Possibly because of the vesicant properties of DDAC, the retentions of its chemical showed a tendency to decrease comparing with CCA when the OPM machine of this laboratory-scale was conducted.

* : 農林水産省森林総合研究所

Foprestry & Forest Products Research Institute, Tsukuba, Ibaraki, 305

** : (株) ザイエンス

Xyence Co. Ltd., Isesaki, Gunma, 372

本報告の一部は、第42回日本木材学会(名古屋)及び第8回(社)日本木材保存協会年次大会で発表した。

要 旨

これまで実験例の多くないOPMの効果を調べるため、辺心別に5種類の樹種を、高含水率と気乾材とに分け供試した。注入条件は高含水率材については3種類、気乾材については4種類とした。供試薬剤は、CCA, DDACの2種類とした。結果は注入量で判断し、重量測定で注入量の増大過程を追跡した。高含水率材の場合、辺材のCCA注入にOPMの効果が認められ、ラジアタマツで顕著であった。気乾材の場合、ラジアタマツのCCA注入の改善が著しかった。しかし、ラジアタマツ以外の樹種では、OPMはむしろ低い値を示した。全体的に見て、高含水率材・気乾材とも、OPMは難注入材のためよりは、むしろ注入性の良い樹種の辺材の生材注入や処理時間の短縮に効果を示した。本装置の場合、DDACは、発泡のため減圧時に系外に出ることが観察され、CCAよりも全体として低い注入性を示した。

はじめに

従来、前排気、加圧、後排気の組み合わせで行うベセル法が、別名を充細胞法と呼ばれるように、木材の薬液注入の最良の方法と考えられてきた。しかし、ベセル法においても、カラマツ心材のような難注入材や、注入性が良い樹種においても高含水率の場合は、表面からわずかの範囲にしか注入できなかった。さらに、カラマツなど難注入材と呼ばれるものの多くが、高い力学的性能を備えていることから、構造部材として用いることが想定されている。しかし、防腐処理がしにくい屋外使用が制限され、資源の有効利用の面から問題とされてきた。

難注入材の注入については、前処理法として、材表面に傷をつけるインサイジング^{1), 2), 3)}、外力によって強制変形させ壁孔の破壊を期待する横圧縮処理^{4), 5)}など多様な方法が提案されているが、注入プロセスの面からの検討はあまり多くない。ベセル法以外の方法で、加減圧交替法(OPM)は、液体の流動を促進させる目的で考えられ、1950年頃スウェーデンのポリデン社で開発された。木材防腐の教科書⁶⁾に記載されながら、諸外国でもその後の進展がなく、わが国ではその実用的な効果の確認がされていない状況にある。近年では、Peekら⁷⁾、Goetschら⁸⁾によって、ラジアタマツを主体に詳細な検討がされ、急激な圧力変化は注入性の向上にさしたる影響を与えないこと、辺材については150%の高含水率が最適注入条件になることが示されている。また類似の方法で減圧工程を省略した、繰り返し加圧法(APM)は、ニュージーランドで、ラジアタマツの処理に実用化されている。

ここでは、OPMについての知見を深め、わが国における実用化の可能性を探るため、小型のOPM装置を試作し、含水率、樹種、辺心材別の注入量、浸潤面積に及ぼす影響を検討した。

1. 材料及び方法

1.1 供試木材

難注入樹種として、カラマツ、ベイマツの2種、易注入樹種として、スギ、ベイツガ、ラジアタマツの3種を供試した。また、一般に、易注入樹種であっても高含水率になると注入性の低下が認められるので、辺材と心材に区別した上、生材から取った高含水率(含水率50%以上)材と気乾材(含水率12%前後)とを供試した。試験片形状は20×20×300mmとした。

1.2 注入条件

写真-1に示すような小型OPM装置(東京クラッチダー、特注品)を用い、注入条件としては、加圧は最大圧力1000KPaに設定したコンプレッサーで行い減圧弁により所定の平衡圧力は800KPaとした。減圧は水流ポンプによって行い本実験時の平衡圧力は-90KMPaであった。OPM操作時は、減圧から加圧への立ち上がりの圧

写真-1 重量測定中の試験片とOPM装置
Photo -1 Weight check of test specimens and OPM machine.

表-1 注入条件

Table 1 Treatment condition

記号 Code	含水率状態 Moisture condition	注 入 条 件 Treatment condition	
O	高含水率 High	加圧のみ 240 分	Pressure 240 min. Through.
I'	高含水率 High	液浸減圧 30 分 + 加圧 210 分通し	Wet Vac. 30 min + Pressure 210 min. Through.
I	高含水率 High	液浸減圧 30 分 + 加圧 210 分	Wet Vac. 30 min + Pressure 210 min.
II	高含水率 High	液浸下での OPM 240 分	Wet OPM 240 min.
III	気乾 Air dried	液浸減圧 30 分 + 加圧 210 分	Wet Vac. 30 min + Pressure 210 min.
IV	気乾 Air dried	減圧 30 分 + 加圧 240 分	Dry Vac. 30 min + Pressure 240 min.
V	気乾 Air dried	液浸下での OPM 240 分	Wet OPM 240 min.
VI	気乾 Air dried	減圧 30 分 + OPM 240 分	Dry Vac. 30 min + OPM 240 min.

力上昇や、加圧から減圧への圧力降下は完全に直線的で、減圧に用いる水流の水温や加圧時のコンプレッサーの圧力に依存するが、どちらも数秒以内に所定の平衡圧力に到達した。

高含水率材については高含水率であることを活かすため材中の水分を排除して気乾材に近づける効果を持つ前排気はやめ、薬液に浸漬されている時間が合計 240 分になるように考えて、加圧のみ 240 分、液浸下での減圧 30 分 + 加圧 210 分、液浸下での OPM 240 分の 3 種類の注入法を、気乾材については減圧を薬液につけない通常の前排気に、高含水率材で実施した液浸下での減圧を条件に加え、薬液に浸漬されている時間が合計 240 分になるように考えて、液浸下での減圧 30 分 + 加圧 210 分、前排気 30 分 + 加圧 240 分、液浸下での OPM 240 分、前排気 30 分 + OPM 240 分の 4 種類の注入法を検討した。これらの処理条件を表-1 に記号を付して示す。

OPM の加減圧サイクルは、山本らの実験結果⁹⁾で比較的良好な条件と考えられる減圧・加圧それぞれ 2 分ずつとした。加圧または OPM 工程開始後、4, 8, 20, 60, 120, 240 分後に重量を測定して、注入量の増大過程を経時的に調べた。なお、ベセル法の加圧工程中の重量測定は測定時に常圧になり、加圧交替法 (APM) に類似した方法とも考えられるので、特に拡散が期待できる高含水率材で、240 分間通しで加圧する条件と、液浸下の減圧で加圧を 210 分行う工程とにおいて、重量測定をしたものに加え、重量測定をせず通しで注入する条件を加えた。注入終了後、試験材を塩化ビニリデン製ラップに包み 3 週間以上放置した後、試験材の長さ方向の中央部を切断し、所定の呈色試薬で呈色し、浸潤面積を測定した。

1.3 供試薬剤

供試薬剤としては、市販の加圧注入用薬剤である、CCA (JIS K 1554 1号) 1.2% と DDAC (ポリアルキレングリコール含有: (株) ザイエンス製ペンタキュアーニユー BM) 1% の 2 種類とした。

2. 結果及び考察

2.1 CCA の注入結果

各処理条件での液浸してから 240 分経過後の CCA 注入量と浸潤面積を表-2 に示す。表-2 で、ベセル法の加圧工程中の重量測定は測定時に常圧になり、加圧交替法 (APM) に類似した方法とも考えられるので、特に拡散が期待できる高含水率材でベセル法の加圧工程中の重量測定をしたものと重量測定をせず通しで注入したものを比較する条件を加えたが、ほぼ同じレベルの値を示していたので、その他の条件では通しの実験は行わなかった。

注入経過で特徴の明瞭な、カラマツ心材、スギ辺材、ラジアタマツ辺材についての CCA 注入量の経時変化を図-1 に示す。ラジアタマツ辺材 (下段) については、OPM によれば、気乾材は前排気をしなくても、減圧 2 分加圧 2 分の 1 サイクル計 4 分で所定の注入量に達していた。高含水率材の場合は、気乾材よりは注入量が低下し、減圧工程を省略した加圧のみ 240 分では浸潤面積は 100% ではあったが注入量は半分以下と低い値を示した。一方、OPM であれば、120 分程度で最大注入量に到達し得ることが認められた。

気乾材の液浸減圧 30 分 (記号 III) で見ると、ラジアタマツ辺材は、他の樹種と比較して大きな注入量が得られ

表-2 液浸してから240分経過後の注入量R (kg/m³), 浸潤面積P (%)の平均と標準偏差(S. D.)*
 Table 2 Mean penetration R (kg/m³), penetrated area P (%) and these standard deviations(S. D.) after 240 min*.

薬剤 Pres- erva- tive	注入条件記号 Code			O	I'	I	II	III	IV	V	VI
	樹種** Species**	項目 Factor		平均 S.D. Mean	平均 S.D. Mean	平均 S.D. Mean	平均 S.D. Mean	平均 S.D. Mean	平均 S.D. Mean	平均 S.D. Mean	平均 S.D. Mean
C C A	スギ Sugi	S	R	356 (129) 90.9 (20.2)	357 (120) 100 (0)	449 (146) 95.6 (6.1)	545 (63) 100 (0)	711 (67) 100 (0)	805 (9) 100 (0)	652 (48) 99.1 (2.0)	797 (14) 100 (0)
		H	R	404 (52) 76.0 (22.0)	372 (25) 100 (0)	413 (73) 87.5 (18.0)	374 (25) 76.6 (22.5)	617 (62) 82.5 (10.9)	649 (26) 92.0 (9.6)	525 (104) 81.8 (20.9)	643 (37) 87.3 (6.5)
	カラマツ Karamatsu	S	R	—	—	—	—	504 (168) 68.7 (20.9)	728 (34) 96.8 (4.8)	302 (74) 55.5 (17.9)	637 (80) 85.9 (13.4)
		H	R	—	—	—	—	308 (116) 40.2 (15.2)	252 (21) 28.3 (4.0)	243 (50) 43.5 (12.6)	140 (29) 13.8 (6.2)
	ベイツガ Hemlock	S	R	379 (62) 85.2 (21.0)	421 (65) 65.0 (6.1)	454 (49) 80.4 (15.8)	437 (100) 100 (0)	719 (17) 99.1 (2.0)	741 (19) 98.9 (2.4)	509 (43) 82.6 (13.9)	703 (73) 87.8 (6.5)
		H	R	335 (89) 51.6 (26.5)	350 (25) 60.9 (10.6)	333 (51) 47.1 (21.1)	268 (40) 60.9 (23.2)	492 (44) 62.8 (12.4)	506 (64) 67.3 (22.1)	400 (60) 51.9 (20.0)	363 (63) 87.8 (17.2)
	ベイマツ Douglas-fir	S	R	447 (42) 85.0 (17.9)	477 (36) 97.0 (6.7)	493 (19) 93.9 (7.9)	482 (38) 100 (0)	733 (30) 98.2 (2.5)	720 (6) 80.1 (6.1)	677 (56) 91.9 (7.6)	710 (25) 73.7 (26.4)
		H	R	243 (13) 32.1 (12.7)	209 (32) 35.5 (10.0)	183 (14) 24.8 (7.3)	144 (18) 32.7 (12.6)	287 (24) 43.1 (11.8)	522 (39) 47.5 (8.6)	241 (34) 32.3 (5.5)	356 (67) 36.3 (12.0)
	RP	S	R	220 (51) 100 (0)	432 (61) 100 (0)	481 (48) 100 (0)	563 (33) 100 (0)	755 (34) 100 (0)	687 (45) 100 (0)	773 (16) 100 (0)	721 (9) 100 (0)
		H	R	—	—	—	—	—	—	—	—
	スギ Sugi	S	R	—	—	419 (121) 63.0 (23.4)	388 (128) 96.1 (4.8)	621 (54) 82.2 (13.3)	770 (9) 100 (0)	556 (66) 58.1 (3.2)	775 (15) 100 (0)
		H	R	—	—	387 (91) 46.1 (4.4)	288 (36) 50.5 (7.7)	559 (48) 44.3 (5.0)	614 (35) 97.8 (2.0)	463 (79) 54.8 (17.1)	629 (23) 98.5 (2.9)
D D A C	カラマツ Karamatsu	S	R	—	—	—	—	429 (55) 48.3 (14.9)	634 (58) 100 (0)	427 (53) 61.2 (16.7)	622 (179) 76.5 (23.5)
		H	R	—	—	—	—	195 (8) 25.9 (3.8)	362 (47) 51.8 (10.6)	186 (16) 17.6 (2.6)	328 (64) 48.6 (13.2)
	ベイツガ Hemlock	S	R	—	—	484 (51) 66.9 (18.6)	255 (38) 53.7 (12.3)	378 (42) 44.3 (15.2)	682 (31) 91.3 (8.3)	335 (26) 48.0 (10.4)	694 (40) 98.5 (2.9)
		H	R	—	—	321 (22) 37.0 (3.5)	222 (33) 19.7 (3.5)	364 (36) 13.9 (2.5)	431 (57) 38.0 (7.0)	206 (35) 22.7 (5.3)	368 (71) 54.9 (16.3)
	ベイマツ Douglas-fir	S	R	—	—	478 (62) 90.3 (4.0)	385 (36) 49.7 (13.5)	562 (14) 91.8 (2.1)	691 (10) 96.0 (5.8)	487 (96) 78.5 (22.9)	671 (25) 98.4 (3.4)
		H	R	—	—	221 (21) 21.7 (2.9)	148 (15) 13.0 (4.3)	229 (18) 19.3 (2.7)	553 (72) 62.2 (11.5)	167 (21) 12.1 (1.0)	439 (45) 44.1 (8.4)
	RP	S	R	—	—	518 (35) 100 (0)	468 (87) 100 (0)	607 (86) 100 (0)	678 (8) 100 (0)	766 (12) 100 (0)	703 (7) 100 (0)
		H	R	—	—	—	—	—	—	—	—
	スギ Sugi	S	R	—	—	—	—	—	—	—	—
		H	R	—	—	—	—	—	—	—	—

*: O, I'を除き, 加圧またはOPM工程開始後それぞれ4, 8, 20, 60, 120, 240分後に試験材重量を測定した。

Sample mass were determined after 4, 8, 20, 60, 120 and 240 minutes from pressure stages or OPM stages except code O or I'.

** : RP=ラジアタマツ Radiata pine, S=辺材 Sapwood, H=心材 Heart wood.

図-1 CCA 注入量の経時変化

Fig. 1 Periodical changes of retention of CCA in wood

左: 高含水率材液浸, 中: 気乾材 Wet Vac., 右: 気乾材 Dry Vac., Bethell: 後排気無し
Left: High moisture specimens, Center: Air dried specimens Wet Vac.,
Right: Air dried specimens Dry Vac., Bethell: Without after vacuum process.

たこと、気乾材のOPMは前排気をしなくても、減圧2分加圧2分の1サイクル計4分で所定の注入量に達していたことが認められた。これは、ラジアタマツ辺材が液浸減圧の浸透性が良いことに加えて、急激な圧力変化によって、浸透部分の先端でCCAの未浸透部分への移動が促進されたと考えられる。高含水率材の場合は、気乾材より注入量が低下するが、OPMであれば、ベセル法と比較してばらつきが少なく、かつ、120分経過程度で500kg/m³以上の注入量まで到達し得ることが認められた。これは急激な圧力変化においても、浸透部分の先端付近で、未浸透部分に既に水が含まれているために、CCAの拡散が促進されたと考えられる。

スギ辺材で気乾材(図-1中段、記号III-IV)を見る

と、ベセル法とOPMとは大きな差は認められなかった。これは、スギ辺材の場合は液浸減圧の浸透性がラジアタマツ辺材ほどは良くないことによって、急激な圧力変化によっても、浸透部分の先端で、付近の未浸透部分への拡散があまり促進されなかったと考えられる。高含水率材の場合は、CCA注入量はベセル法に比較して、OPMの方がばらつきが小さく全体の底上げとなっている。これは、急激な圧力変化によって、浸透部分の先端でCCAの未浸透部分が既に水が含まれていることによるCCAの拡散が促進されたと考えられる。

難注入材のカラマツ心材の場合(図-1上段)は気乾材のデータのみであるが、OPMはベセル法よりもむしろ低い注入性を示した。また、OPM注入後の試験材を走

査型電子顕微鏡で観察したが、壁孔の変化は全く認められず、今回の条件では壁孔の閉塞をゆるめる効果はなかった。これは、急激な圧力変化によっても注入性が改善されず、薬剤浸透部分の先端でCCAの未浸透部分への移動がほとんど促進されなかったために、加圧時間の総計の差が効いて、OPMの注入量の増加が期待できず、ベセル法の方が有利になったと考えられる。

ベセル法とOPMを比較すると、ベセル法の方が加圧時間の総計が長くなるので、加圧時間の総計による注入量の増加が期待できる場合は、ベセル法の方が有利になり、減圧時間の総計による注入量の増加が期待できる場合は、OPMの方が有利になる。全体的にみて、高含水率材の場合、注入性の良い辺材の場合にOPMの効果が

認められ、特に中央部の浸潤面積は全て100%と良好な浸潤を示した。気乾材の場合、ラジアタマツを除きOPMはほぼ同等かむしろ低い値を示した。難注入材の場合、OPMはベセル法と同等以下の注入性を示し、注入性の良い辺材試験片の場合、高含水率材気乾材とも、OPMはベセル法に比べて、CCA処理では所定注入量に到達する時間を短縮する効果が認められた。以上の結果、CCA処理の場合、OPMは難注入材のためよりは、むしろ注入性の良い樹種での生材注入や処理時間の短縮に効果を示すものと考えられた。この傾向はラジアタマツで顕著であった。

2.2 DDACの注入結果

各処理条件での液浸してから240分経過後のDDAC注

図-2 DDAC注入量の経時変化

Fig. 2 Periodical changes of retention of DDAC in wood

左: 高含水率材液浸, 中: 気乾材 Wet Vac., 右: 気乾材 Dry Vac., Bethell: 後排気無し
Left: High moisture specimens, Center: Air dried specimens Wet Vac.,
Right: Air dried specimens Dry Vac., Bethell: Without after vacuum process.

入量と浸潤面積を表-3に、注入量の経時変化を図-2に示す。DDACはCCAと比較して、ラジアタマツ処理については、気乾材を処理した場合、ベセル法と比較して注入性の向上が見られたが、他の樹種ではベセル法と同等かむしろベセル法の方がOPMよりは注入性が良い結果であった。高含水率材の場合、全ての条件でDDAC注入量はベセル法がOPMを上回っていた。DDACがCCAと比較して全般的に同等か若干劣る結果を示したことは、カラマツラミナの注入実験でDDACがCCAより注入性が良いとする鈴木らのデータ¹⁰⁾とは反対の結果であった。これは、DDACが発泡性を有し、特に液浸で減圧すると、材中の空気が除去されると同時に発泡が助長される傾向があり、木材と薬液との接触が阻害されるだけでなく、今回使用した装置では、薬液が系外に流出し、液面が試験材の上部を下回ることがあったためと考えられる。この点に関しては、OPMスケジュールの前に前排気を行って材中の空気をできるだけ除去するか、適切な消泡剤の添加が必要と考えられた。

3. ま と め

(1) 高含水率材の場合、CCA処理で、注入性の良い辺材の場合にOPMの効果が認められ、240分後の中央部の浸潤面積は全て100%となった。

(2) 気乾材の場合、ラジアタマツを除きOPMはむしろ低い値を示した。特にDDACの場合、OPMスケジュールの前に前排気を行って、発泡を減少させることが必要であると考えられた。

(3) 辺材試験片の場合、高含水率材気乾材とも、OPMは難注入材のためよりはむしろ注入性の良い樹種でのCCAの生材注入や薬剤処理時間の短縮に効果を示した。この傾向はラジアタマツで顕著であった。

(4) DDACはCCAよりも全体に低い注入量を示した。この理由として、DDACの発泡性が減圧工程時に注入阻害作用を示したこと、系外への薬液の流出が考えられた。

4. おわりに

本実験の実行については、タンザニア森林研究所(TA FORI)のMr. Alexander W. Chihongoの協力を得た。ここに深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 柏崎清作：木材保存，14(2) 71-79 (1988)
- 2) (社)日本木材保存協会：木材保存学入門，138，1992
- 3) 安藤啓介，中村彰，服部順昭，喜多山繁：木材工業，48(7)，314-319 (1993)
- 4) 飯田生穂，高山知香子，宮川修，今村祐嗣：木材学会誌，38(2)，223-240 (1992)
- 5) 飯田生穂，今村祐嗣，柏直樹，中村嘉明：木材保存，18(1)，31-37 (1992)
- 6) Richardson B.A.: Wood Preservation, Construction Press, 102, 1978
- 7) Peek R-D. and S.Goetsch: IRG Document No: IRG/WP/3615, 1-10 (1990)
- 8) Goetsch S. and R-D. Peek: IRG Document No: IRG/WP/3668, 1-17 (1991)
- 9) 山本幸一，井上衛，鈴木憲太郎：木材保存，17(5)，224-225 (1991)
- 10) 鈴木憲太郎，宮武敦，杉本吉正：41回日本木材学会要旨，406 (1991)

(1993. 12. 6 受理)