

しろあり

Termite Journal

ISSN 0388—9491

2016 1
No.165



公益社団法人 日本しろあり対策協会
Japan Termite Control Association

ホウ酸塩:木材をシロアリから護るための天然薬剤

サイップ・ナミ・カータル (Saip Nami Kartal)
イスタンブール大学林学部

翻訳 京都大学生存圏研究所 吉村 剛

1. はじめに

シロアリ防除における最大のマーケット、米国においては、地下シロアリの防除は現在そのかなりの部分がキチン合成阻害剤や遅効性薬剤を有効成分としたペイント剤によって行われている。また、土壤処理に関しては、合成ピレスロイド系、ピロール系およびクロロニコチニル系の薬剤が用いられている。ガス製剤やダスト剤、さらには泡製剤なども土壤処理用として検討されているものの、十分な信頼を得るまでには至っていない¹⁾。環境問題、より具体的にはシロアリ防除薬剤の住宅内外での施工や注入処理用薬剤における重金属の使用というものは、木材産業と消費者の両者にとって考慮すべき課題となってきている。一方、ホウ素化合物（ホウ酸塩）による木材の処理は、シロアリによる食害から住宅を護る手段として有効であるだけでなく、グリーンな建築技術の推進という点からも優位性を持つ。なぜなら、ホウ素化合物を有効成分とする木材保存剤は、地下シロアリ、乾材シロアリ、乾材害虫、アリ類および木材腐朽菌類に高い効果を有しながら、人間や環境に対しては最低限の毒性しか示さないのである。

シロアリや木材腐朽菌が生息する世界中のどの地域においても、ホウ酸塩で処理された木材はこれまでいろいろな住宅部材に使用され、効果を発揮してきている。ホウ酸塩の高い生物活性は過去何世紀にもわたって良く知られており、20世紀の後半から木材保存剤への応用が拡大し続けている。ホウ酸塩はコストが安く、製品や種々の木質材料の処理に対して容易に利用することができる。処理木材は無色かつ無臭で薬剤の揮散や分解がなく、また腐食性もないことから特別な取り扱いは必要ない²⁾。

ホウ素は土壤中、水中および動植物の生体組織中でもっともありふれた元素の一つであり、酸素やその他の元素と塩を形成してホウ酸塩（borate）と総称される化合物をつくる。このホウ酸塩が、シロアリやその他の昆虫類、そして木材腐朽菌類による木材の生物劣

化に対する薬剤有効成分として用いられるのである。ホウ酸塩を有効成分とする木材保存剤には、単剤から合剤までいくつかのバリエーションがある。別の有効成分や撥水剤と複合することにより、より長い耐用年数とより広い生物活性スペクトルを得られるようになることが知られている³⁾。

ホウ素はある濃度レベルまでは生体の必須元素であるが、それを越えると有機化合物との高い錯体形成能力のために有害となる⁴⁾。Freemanらは、ホウ素がシロアリ後腸内のセルロース分解性共生原生動物に毒性があり、結果として代謝機能の低下、最終的には飢餓状態を引き起こすとしている⁵⁾。シロアリ体内に取り込まれたホウ酸は、食物交換によってコロニー全体に拡散する可能性がある。また、排泄されたホウ素も蟻道に付着し、他のコロニーメンバーによる蟻道の構築や食害活動に影響を及ぼすことになる。

ホウ素化合物は天然の生理活性物質としていろいろな昆虫類の防除に応用されている。例えば、シロアリに対しては実験室と野外試験の両方で十分な効果が認められているが、必要とされる濃度は乾材害虫の場合よりも高い。ホウ酸塩は、イエシロアリが深刻な被害を与えていろいろな地域において有効であることが示されている⁴⁾。

2. シロアリ防除のためのホウ素系木材保存剤

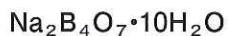
以下のような無機および有機ホウ素化合物が木材のシロアリ防除対策用として重要である³⁾。

2.1 無機系ホウ素化合物

ホウ酸 (boric acid) —B(OH)₃

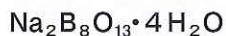
ホウ酸は透明でフレーク状の結晶あるいは粉状である。哺乳動物への毒性は極めて低いものの、菌類、バクテリアおよびシロアリを含む昆虫類に対して高い毒性を示す。

ホウ砂 (sodium tetraborate decahydrate) —



ホウ砂は無色の結晶であり、ホウ酸と同様の生物活性を示す。

DOT (disodium octaborate tetrahydrate) —



DOTの毒性や生物活性は基本的にホウ酸、ホウ砂と同じであるが、水への溶解性が高いことから、製品や木質材料の浸漬・注入処理用として世界的に広く用いられている。北米において、シロアリ用として以下のような多くの製品が販売されている。TIM-BOR, BORA-CARE, SOLUBAR, NIBOR-D, HI-BOR, SILL-BOR WOOD, POLYBOR, OARD DEFENSE, BORA-SOL, TIMBERSAVER40, ARMOR-GUARD, BOR-RAM, BORATHOR, SHELL-GUARDなど^{5,6)}。

ホウ酸亜鉛 (Zinc borate) — $2\text{ZnO}_3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ およびホウ酸カルシウム (calcium borate) — $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ホウ酸亜鉛とホウ酸カルシウムは木材腐朽菌類とシロアリに対して効力を有し、水に溶けにくいため多くの場合木質系複合材料に対して用いられる。ホウ酸亜鉛は米国木材保存協会規格 AWPA P18とP51-10に非注入性木材保存剤として規格化されており、木質複合材料への使用が推奨されている。しかしながら、ホウ酸亜鉛で処理された材料を屋外で土壤と接触した状態で使用することは好ましくなく、その場合は防水処理と併用しなければならない⁷⁾。

その他の無機系ホウ素化合物

8 ホウ酸ナトリウム (sodium octaborate), 4 ホウ酸ナトリウム (sodium tetraborate), 5 ホウ酸ナトリウム (sodium pentaborate,) およびホウ酸を含む製剤が米国木材保存協会規格AWPA P5-10およびP25-10に掲載され、継続的に水や土壤と接することのない場所で使用される材料への注入処理用として規格化されている⁷⁾。これらの製剤では、処理時のpHは7.9~9.0に、温度は20~30℃に保つことが決められている⁷⁾。

2.2 有機系ホウ素化合物

ホウ酸やその他の単純な無機系ホウ素化合物をベースにした多くの有機系ホウ素化合物が合成され製剤化されているが、一般にその処理システムは高価なものである。**表1**に、実際に使用されている有機系ホウ素化合物（製剤）と処理方法を示す⁸⁾。

3. シロアリ用としての製剤型と必要とされる処理レベル

3.1 製剤型

シロアリ用のホウ素系化合物は粉状あるいは液体として製剤化される。多くのものは水に溶かして木材や木質材料の表面処理に使用される。一方、製品に対する加圧注入用としても水溶性製剤が使用される。さらに、**表2**に示すようにその他のいくつかの製剤型が現場処理用として製剤化されている⁶⁾。木質系部材の接合部に対する、穿孔・ロッド製剤挿入処理は現場処理法として重要な位置を占めている。同様な目的、かつ対象部位へのより迅速な薬剤の拡散を求めて、液状製剤の穿孔注入処理も行われる⁹⁾。

表1 有機系ホウ素化合物と処理方法⁸⁾

化合物・製剤名	処理方法
3メチルホウ酸 (trimethyl borate, TMB)	蒸気処理
3エチルホウ酸 (triethyl borate)	蒸気処理
Borester 7	蒸気処理
Boracol	ペースト処理、バンデージ処理、固形処理
Triethylene glycol/borate	ペースト処理、バンデージ処理、固形処理

表2 水溶性製剤以外のホウ素化合物の製剤型と製剤名

製剤型	製剤名
ゲル化製剤	Jecta Gel、Boracolなど
ペースト製剤	Cu-BOR、Cu-RAP20、MP400-EXTなど
固形製剤(ロッド)	Impelrod、Flurod、Cobrarodなど

3.2 処理レベル

シロアリに対して十分な殺虫効力が発現する処理レベルとして、質量パーセントとして0.24%BAE (BAE: boric acid equivalent (ホウ酸当量)。ホウ酸イオンの生成量からホウ酸に換算した時の量) が必要とされる。ホウ酸塩には忌避性がないことから、シロアリによる食害を完全に阻止するためには0.2%BAE (質量パーセント) を越える処理量が必要である⁵⁾。

米国とヨーロッパ諸国の多くの研究者が、シロアリに対する予防・駆除処理用としてホウ酸塩に再注目しつつある¹⁰⁾。対シロアリ用としては通常4.5kg / m³ BAEを越える吸収量が推奨されている。英国においては一般的1.8kg / m³ BAEが求められるが、一方、ドイツでは長年にわたって1.0kg / m³ BAEの浸漬処理が行われている。SuとScheffrahnはDOTを用いて0.51-1.83% BAEおよび0.40-1.54% BAEの処理を行うことによって、それぞれイエシロアリと*Reticulitermes flavipes*の食害を減少させることができると報告している¹¹⁾。しかしながら、GentzとGraceはイエシロアリの食害を減少させるためには、より高い濃度が必要であるとしている¹⁾。これらの研究成果は、米国環境保護局 (EPA) による対シロアリ用薬剤としてのホウ酸塩の採用に当たっての根拠となっている¹⁰⁾。

Ahmadによれば、ホウ酸塩は高等シロアリ (1.09% BAE) よりも下等シロアリ (0.46 - 0.56% BAE) に対してより効果が高い¹⁰⁾。オーストラリアにおける室内試験の結果、ホウ酸、8 ホウ酸ナトリウム・4 水和物、8 ホウ酸ナトリウムおよびホウ酸銅は高等シロアリ 1 種 (*Nasutitermes exitiosus*) と下等シロアリ 2 種 (*Coptotermes lacteus*, *C. acinaciformis*) に対して効果があり、食害を防止するためには1.09% BAEが必要であった。Tsunodaは、イエシロアリに対して殺虫効力のある閾値として、スギ辺材試験体に対する処理濃度0.90 - 1.80kg / m³ BAEを報告している¹²⁾。

これらの研究成果をもとに、ヨーロッパ規格EN 117では、DOTによる対シロアリ用吸収量として5.60kg / m³ (1.12% BAE) が採用されている¹³⁾。一方、米国木材保存協会規格AWPA U 1-12においては、無機系ホウ素化合物の土壤と接触しない状況で使用される製材品に対する対イエシロアリ吸収量を4.50kg / m³と規定しており、イエシロアリが生息するすべての地域に適用可能な値であると考えられる。イエシロアリ以外のシロアリに対しては、2.70kg / m³の吸収量が推奨されている。これらの値は、合板などの木質複合材料に対しても同様に適用されるものである⁷⁾。

4. 木質系複合材料への応用

当然のことながら、木質系複合材料の耐シロアリ性能の向上のためにもホウ酸塩は使用可能である。加圧成形の前にホウ酸塩を樹脂やワックス、あるいは木材そのものとの混合することによって耐シロアリ処理木質材料の製造が可能である。長軸方向に長い積層構造材においては、ホウ酸亜鉛などの粉状製剤を、材料の表面仕上げ時に塗料に混合して直接噴霧することもよく行われている。無機系ホウ素化合物の中ではエンジニアードウッド (EN材) に対する拡散性という観点から見てDOTに優位性がある。表面仕上げ剤にホウ酸塩のような拡散性の薬剤を複合させると、材料のより深い場所までの生物劣化防止層の形成につながる。この場合、表面の仕上げ剤が物理的な防水、防菌、防シロアリ層として働くとともに、内部に拡散したホウ素化合物が木材腐朽菌類や昆虫類による劣化を阻止する^{3, 14, 15)}。

耐生物劣化性能の高い面材料を製造するためのより実用的な方法として、製板後における非膨潤性処理 (= 非水系処理) が挙げられる。これには、例えば蒸散性の有機系ホウ素化合物であるメトリチルホウ酸 (TMB) を用いた蒸気処理などがある (表1)^{15, 16)}。

グリコールとホウ酸塩による複合処理もまた材料製造後の処理方法の一つとして考えることができる。室内試験のレベルでは十分な耐イエシロアリ性を発現することが示されている^{9, 15, 17)}。

ホウ酸亜鉛を用いた木質系複合材料の非加圧注入処理が米国木材保存協会規格AWPA T 1-12によって規格化されている。ラミネーテッドストランドランバー (LSL) に対しては紛状あるいは液体状の製剤が使用可能であるが、一方、配向性ストランドボード (OSB) については、粉状製剤のみが規格化されている。LSL, OSBおよびサイディング材において必要とされるホウ酸亜鉛の処理量は、質量パーセントでそれぞれ0.90, 1.46および1.46%である⁷⁾。

5. 銅とホウ素の複合製剤

銅とホウ素系化合物との複合処理が、幅広い生物活性スペクトルを持つ新世代の木材保存剤として注目されている。例えば、ホウ酸銅、メタホウ酸銅、ホウ砂-銅 (BC) (Cu-BOR), 銅アゾール-Type A, CFB (酸化銅 + 2 フッ化アンモニウム + ホウ酸), 銅HDO + 炭酸水酸化銅 + ホウ酸、ジデシルポリオキシエチル-ホウ酸アンモニウム + 炭酸銅 + ホウ酸、酸化銅 + 3 酸化クロム + ホウ酸 (CCO), 銅・クロム・ホウ酸 (CCB), などがある³⁾。

6. 結論

重金属を含有した従来型の木材保存剤の使用に対する社会的関心の高まり、そして広い生物活性スペクトルと高い効果を有する新しいタイプの製剤の開発を車の両輪として、ホウ酸塩の木材保存分野における使用は世界的に増加し続けている。ホウ素化合物を有効成分とする木材保存剤はほ乳類に対する毒性が非常に低く、木材腐朽菌類やほとんどすべての種類のシロアリに対して効果がある。もちろん、ホウ素化合物が屋外暴露され湿潤状態となった処理木材から容易に溶脱することは間違いない事実ではあるが、屋内や乾燥状態で使用される場合には、シロアリによる食害に対して十分な阻止効力を持つ。

引用文献

- 1) Gentz, M.C., J. K. Grace (2009) : The response and recovery of the Formosan subterranean termite (*Coptotermes formosanus Shiraki*) from sublethal boron exposures, Int. J. Pest Manage., 55, 63–67.
- 2) Bhatia, T.K. (2002) : Use of borate-treated wood as part of an IPM approach for durable and sustainable construction, Pro. 4th International Conference on Urban Pests, the USA, Charleston, pp. 269–276.
- 3) Kartal, S.N. (2009) : Boron-based wood preservatives and their use. In “Handbook on Borates: Chemistry, Production and Applications” Ed. by M.P. Chung, Nova Science Publishers.
- 4) Lloyd, J.D. (1998) : Borates and their biological applications, International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/WP 98-30178, Stockholm, Sweden, 25 pp.
- 5) Freeman, M. H., C. R. McIntyre, J. Jackson (2009) : A critical and comprehensive review of boron in wood preservation, Proc. Amer. Wood Prot. Assoc., 105, 279–294.
- 6) Lebow, S., R. W. Anthony (2012) : Guide for use of wood preservatives in historic structures, General Technical Report FPL-GTR-217, Madison, WI, U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, pp.59
- 7) American Wood Protection Association (2012)
- 8) Vinden, P., J. Romero (1997) : Developments in the application of organic boron compounds, Proc. 2nd International Conference on Wood Protection with Diffusible Preservatives and Pesticides. Madison, WI, USA. Proceedings No. 7284, pp. 119–126.
- 9) De Groot, R.C., C. C. Felton, D. M. Crawford (2000) : Distribution of borates around point source injections in wood members exposed outside, Research Note FPL-RN-0275. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, pp.5
- 10) Ahmed, M.B., J. R. J. French, P. Vinden (2004) : Evaluation of borate formulations as wood preservatives to control subterranean termites in Australia, Holzforschung, 58, 446–454.
- 11) Su, N. Y., R. H. Scheffrahn (1991) : Laboratory evaluations of disodium octaborate tetrahydrate (Tim-Bor) as a wood preservative or a bait-toxicant against the Formosan subterranean termites (Isoptera: Rhinotermitidae), International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/WP/ 1513, Stockholm, Sweden, pp.25
- 12) Tsunoda, K. (2001) : Preservative properties of vapor-boron-treated wood and wood-based composites, J. Wood Sci., 47, 149–153.
- 13) Schoeman, M.W., J. D. Lloyd (1998) : International standardization: a hypothetical case study with stand-alone borate wood preservatives, International Research Group on Wood Preservation, Doc. No. IRG/WP 98-20147, Stockholm, Sweden, pp.11
- 14) Kartal, S.N., Y. Imamura (2004) : The use of boron as wood preservative systems for wood and wood-based composites, Proc. 2nd International Boron Symposium, Turkey, Eskisehir, pp. 333–338.
- 15) Smith, W.R., Q. Wu (2005) : Durability improvement for structural wood composites - Current state of the art, For. Prod. J., 52 (2), 8–17.
- 16) Morrell, J.J. (2002) : Wood-based composites: what have we learned? Int. Biodeterior. Biodegrad. 49, 253–258.
- 17) Kirkpatrick, J.W., H. M. Barnes (2006) : Biocide treatments for wood composites—A Review. The International Research Group on Wood Protection, Doc. No. IRG/WP 06 40323, Stockholm, Sweden, pp.20