

しろあり防除技術の現状と展望*

高 橋 旨 象**

Current and Future Aspects of Termite-Controlling Techniques*

Munezoh TAKAHASHI**

(平成4年8月1日受理)

1. は じ め に

シロアリは大部分が熱帯・亜熱帯に分布し、これまで2,200余種が記録されているが、総種数は2,500を越えるであろう。シロアリは熱帯の陸上生態系においてもっとも繁栄している動物群の一つであり、その尺度としての密度・存在量(湿重量)は、熱帯の森林とサバンナのいずれにおいても4,000頭/m²・10g/m²に達する¹⁾。これは人間の平均体重を33.33 kg とすると300人/km²の人口密度に相当する。シロアリの食物はほとんどは植物の細胞壁であり、植物遺体の速やかな消費を通じての生態系の物質循環に果す役割が高く評価されている。しかし、シロアリが採餌源を農作物、植林木、木材、木質材料などに求めた場合は害虫視され、資産価値の高い建築物を加害するものはとくに防除の対象となる。

シロアリはその生息環境から、①倒木、切株、老齢木など腐朽のかかなり進行した高含水率木材内に生息する湿材シロアリ、②枯枝、立枯木など乾燥した木材内部に生息する乾材シロアリ、③主として地下部に営巣し、広く周辺の木材を加害する地下シロアリに区分される。建築物が湿材シロアリに加害されることはまれであるが、窓枠、梁、家具などの乾燥材は乾材シロアリの生育に適している。地下シロアリは多くの種を含み、その生態は多様であるが、林内の暗く閉鎖した環境を好むものは建築物の床下や壁内に侵入しやすい。ここでは、地下シロアリの建築物加害を防止する技術について、わが国を主体にその現状と展望を述べる。

2. 建築物を加害するシロアリ

シロアリは等翅目(Isoptera, シロアリ目ともいう)に属し、7科に分類されるが、日本に分布するのは表1に示す16種のみである。このうち5種が建築物を加害するが、タイワンシロアリは木柱や木柵など屋外の木材を加害し、沖縄県以北には分布しない。2種の乾材シロアリのうち、ダイコクシロアリは奄美大島以南の南西諸島と小笠原諸島にしか分布せず、アメリカカンザイシロアリは本州の数ヶ所(東京都、兵庫県、和歌山県)で発見されているが、その被害はまだ散発的である。したがって、被害の規模から防除の重要な対象になっているのは、日本ではイエシロアリとヤマトシロアリのみである。図1にこれら5種の分布域を示した。

* 第47回木研公開講座(平成4年5月22日、大阪)において講演した。

** 劣化制御研究分野(Laboratory of Deterioration Control)

Keywords: Termite control, Termiticides, Subterranean termite, Physical barrier, Organophosphates, Pyrethroids

表1 シロアリの科および日本分布種

科	種数	日 本 分 布 種
Macrotermitidae ムカシシロアリ科	1	な し
Kalotermitidae レイビシロアリ科	400	<i>Cryptotermes domesticus</i> *ダイコクシロアリ <i>Glyptotermes fuscus</i> カタンシロアリ <i>Glyptotermes kodamai</i> コダマシロアリ <i>Glyptotermes kushimensis</i> クシモトシロアリ <i>Glyptotermes nakajimai</i> ナカジマシロアリ <i>Glyptotermes satsumensis</i> サツマシロアリ <i>Incisitermes minor</i> *アメリカカンザイシロアリ <i>Neotermes koshuensis</i> コウシュンシロアリ
Termopsidae オオシロアリ科	18	<i>Hodotermes japonica</i> オオシロアリ
Hodotermitidae シュウカクシロアリ科	15	な し
Rhinotermitidae ミゾガシラシロアリ科	220	<i>Coptotermes formosanus</i> *イエシロアリ <i>Reticulitermes flaviceps amamianus</i> キアシシロアリ <i>Reticulitermes miyatakei</i> アマミシロアリ <i>Reticulitermes speratus</i> *ヤマトシロアリ
Serritermitidae ノコギリシロアリ科	1	な し
Termitidae シロアリ科	1600	<i>Capritermes nitobei</i> ニトベシロアリ <i>Nasutitermes takasagoensis</i> タカサゴシロアリ <i>Odontotermes formosanus</i> *タイワンシロアリ

* 建築物加害種

イエシロアリは神奈川県以西の海岸線に沿った温暖な地域と千葉県の一部、南西諸島、小笠原諸島に分布する。有翅虫の群飛は6～7月の風のない温暖多湿な日の夕暮れから夜にかけて行われ、走光性があるので電灯に飛来する。建築物、樹幹、切株の内部や周辺の地下部に塊状の大きな巣を作り、そこを根拠地に周辺に蟻道を伸ばして採餌する。コロニーは数十万～百万頭の大集団で、加害速度は速い。水分運搬能力があり、乾燥した木材を湿らせながら食害するので、被害は建築物下部だけでなく乾燥した小屋組材にも及ぶ。雨漏り、給排水管の漏水・結露などの供給水源があると、土壌との連絡がなくても建築物上部で生息が可能である。

ヤマトシロアリは北海道上砂川町を北限として、ほとんど日本全土に分布する。地下や土壌と接した木材内部に巣を作り、周辺の建築物や木材を加害するが、多湿を好み、乾燥を嫌うので、建築物の下部材を水平に加害することが多い。群飛は主に4～5月に行われるが、温暖な地域ではこれより早く、寒冷地では遅い。群飛は日中に行われ、走光性はない。1コロニーの個体数は1～2万程度で、特別に加工した塊状の巣は作らない。加害箇所が巣を兼ね、腐朽をとまうことが多い。

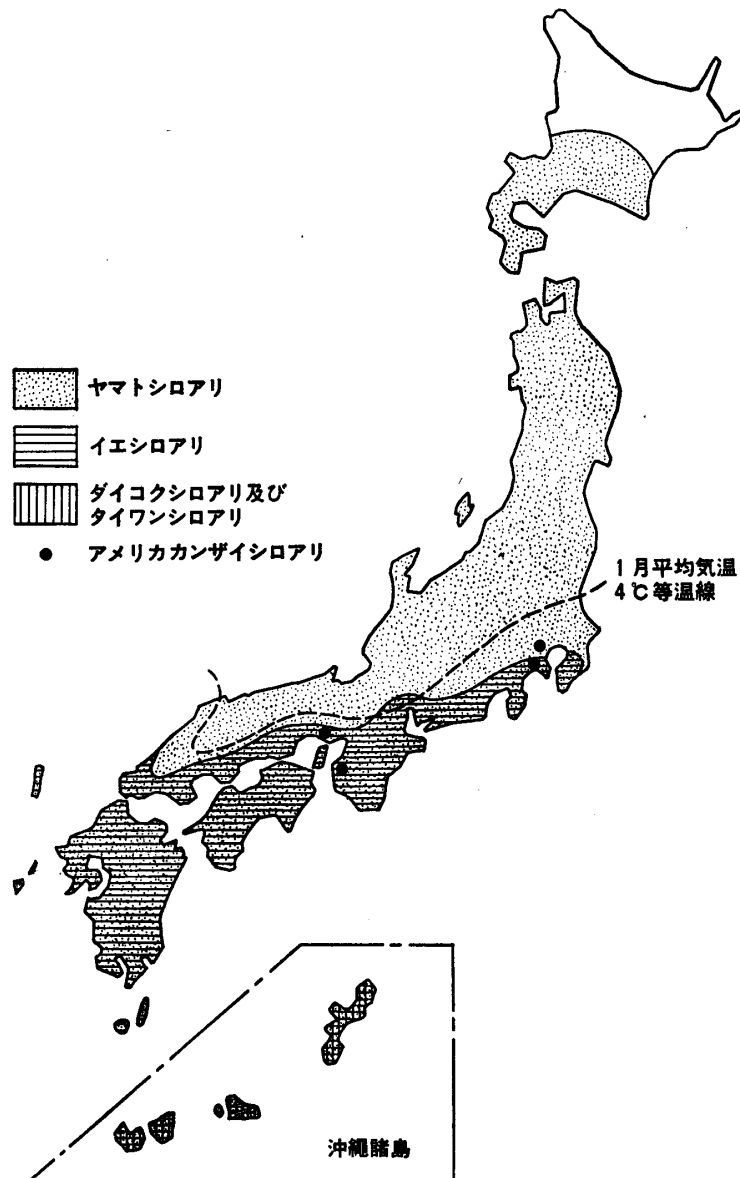
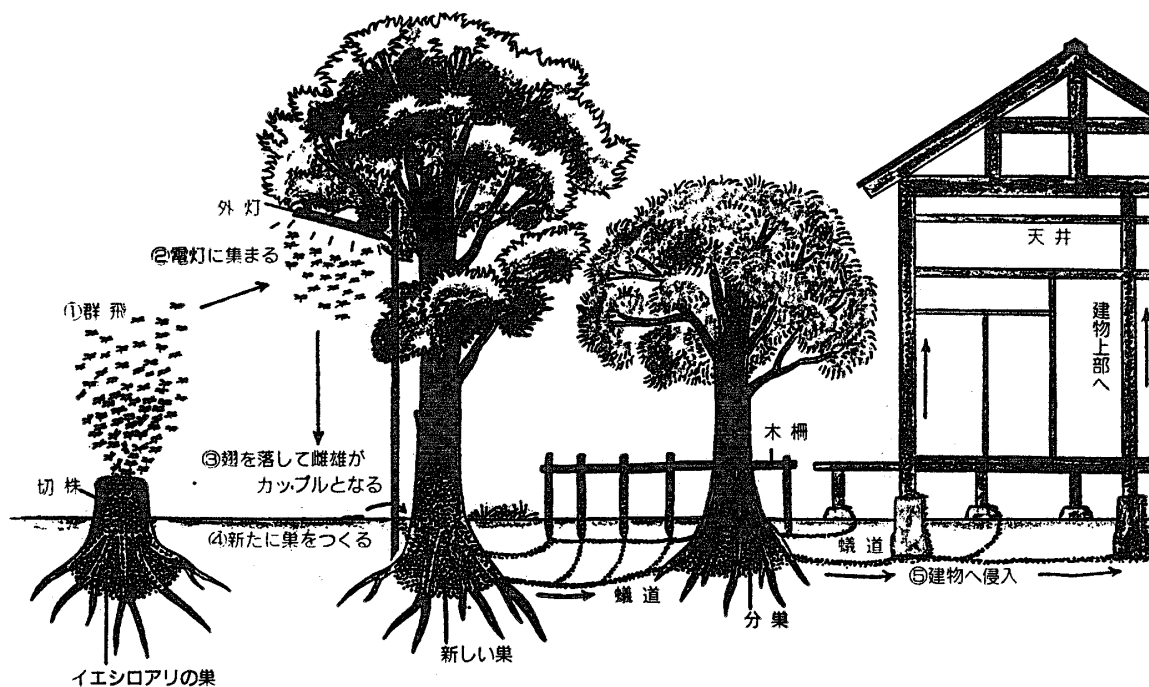


図1 建築物加害シロアリの分布²⁾

3. 現在の地下シロアリ防除法

建築物に直接飛来した有翅虫により土壌を介さず加害が開始された例はあるが、地下シロアリの建築物への侵入はほとんどが図2のように周辺の巣から土壌を通して行われる。したがって、①建築物木部への到達阻止と②到達後の木材の食害阻止が防除の基本となるが、現在はいずれも防蟻剤による土壌処理と木部処理が主体となっている。土壌処理には、床下土壌に種々の製剤形態の殺蟻剤を散布する標準的な方法のほか、防蟻剤を含んだ種々の材料で土壌を被覆して同等の性能を発揮させる方法があり、防蟻施工法として後述する。木部処理には減圧・加圧を組み合わせた工場での注入処理と、塗布・吹付け・浸漬などの現場用の表面処理があるが、いずれも接触毒性または食毒性化合物を木材中に導入して、シロアリの木材食害を阻止するために行われている。日本では、建築物木部の劣化の主因が蟻害と腐朽で、両者が同時に発生すること

図2 イエシロアリの建築物への侵入経路³⁾

が多いので、木部処理には防腐剤と防蟻剤の混合剤または防腐・防蟻性能を兼備した薬剤を用いている。

3.1 処理に用いられる防蟻剤

クレオソート油、CCA、有機塩素系化合物（防腐・防黴剤としての PCP、防虫・防蟻剤としてのドリノ剤・ヘプタクロル・クロルデン）、有機スズ化合物は今世紀初めから1960年代までに登場し、世界的に多用されてきた木材保存薬剤である。クレオソート油と CCA は防腐・防蟻性能を兼備している。有機塩素系防虫・防蟻剤は人畜への毒性や環境汚染が問題となり、世界各国で次々に使用禁止になったが、日本でもクロルデンだけは木材害虫防除剤として1986年まで使用されてきた。PCP は広範囲の微生物に高い殺菌力を持つ反面人畜にも毒性が高く、1980年頃からわが国では使用されていない。TBTO などの有機スズ化合物は養殖魚網の劣化生物着生防止用にも汎用されてきたが、魚網からハマチへの移行・蓄積が実証され、木材防腐剤としても安全性確保のため使用されなくなった。クレオソート油と CCA は効力持続性が高く、処理木材使用中の環境への悪影響がないため現在も広く用いられている。しかしクレオソート油では処理作業時の悪臭や皮膚刺激、発癌性成分の含有、CCA では処理材の焼却廃棄時の有害物質の発生などが指摘され、代替薬剤の開発を望む声が高まっている。このように、木材保存薬剤には人畜への低い毒性や廃棄処理時の安全性が強く求められるようになり、これらを改善したものが上市されているが、効力持続性や価格当りの効力の点では上記の薬剤を凌ぐには至っていない。以下に、現在使用されているか今後の活用が期待されるものを処理法別に述べる。

3.1.1 注入処理用木部防蟻剤

クレオソート油のように原体をそのまま使用する例もあるが、一般に木部処理用薬剤は原体を水または有機溶媒に希釈するか（水溶性薬剤、油溶性薬剤）、水に溶けないものは界面活性剤を加えて乳剤とし、水で希釈（乳化性薬剤）して使用する。油溶性薬剤は溶剤が高価なため日本では注入用にはほとんど用いられず、水溶性薬剤が多用されている。乳化性薬剤は表面処理や土壌処理用が多いが、注入用としても実用可能である。

表2 注入処理用木部防蟻剤

一 般 名	略 号	標 準 組 成 (%)
クロム・銅・フッ素・亜鉛素	CFK-Z	珪フッ化銅 17.3
		珪フッ化亜鉛 19.7
		重クロム酸アンモニウム 63.0
アンモニア性銅・AAC 系*	ACQ	酸化銅 11.9
		ベンザルコニウムクロライド 9.5
		アンモニア, 水, その他 78.6
AAC 系*	DDAC-Z	ジデシルジメチルアンモニウムクロライド 25.0
		バーサチック亜鉛 8.0
		安定剤, 水, その他不活性成分 67.0
	DDAC	ジデシルジメチルアンモニウムクロライド 40.0
		ポリアルキレングリコール 20.0
		安定剤等 11.0 水 29.0
乳化ナフテン酸銅	NCU	ナフテン酸銅 58.0
		乳化剤 10.0
		溶 剤 32.0
乳化ナフテン酸亜鉛	NZN	ナフテン酸亜鉛 63.0
		乳化剤 10.0
		溶 剤 27.0

* アルキルアンモニウムクロライド

CCA は無機の銅・クロム・ヒ素化合物の混合剤であるが、酸化物と塩類の組み合わせや各化合物の配合比率により多くの種類がある。主として銅が殺菌、ヒ素が殺虫、クロムが木材への固着を分担している。原体は水溶性であるが、クロム化合物と木材成分との結合を介して、全体が不溶物として木材内で固着するため、使用時の安全性と非溶脱性が保たれている。処理木材を焼却すると、3価クロムが毒性の高い6価クロムに戻り、有毒な3価ヒ素から成る亜ヒ酸が発生するため、耐用年数の到来した処理材の廃棄処分が問題となっている。シロアリ被害のない国では、ヒ素を除くか他の化合物に置き換えたものが用いられてきているが、無機系薬剤では固着に貢献するクロムを他の化合物に置換して効力持続性を維持するのは困難である。他の系列のものを含め、わが国で注入処理用木部防蟻剤として多用されそうなものを表2に示したが、これらはいずれも防腐性能を兼備している。

薬剤の安全性は多くの試験で確認しなければならないが、原体あるいは実用に供される製剤の急性経口毒性がまず一つの尺度となり、LD₅₀の値ができるだけ大きい(300 mg/kg 以上が普通物, 30~300 mg/kg が劇物, 30 mg/kg 以下が毒物)ことが望ましい。ACQ, DDAC-Z, DDAC, NCU, NZN は原体が普通物であり、とくに後2者は有効成分のナフテン酸銅とナフテン酸亜鉛のLD₅₀が5,000 mg/kg 以上である。表2にあげた薬剤はいずれも処理材の焼却時に有害な気体を発生しないが、①クロムを含むものは焼却後の6価クロムの処理、②ACQ では処理材の着色、アンモニアの気散による作業液の不安定化とその修正法、③アルキルアンモニウムクロライド(AAC)は処理材の接地使用時の防腐性能があまり高くない、④NCU と NZN は乳化剤の木材への浸透性と作業液の安定性が油性剤と同等であるかが未確認である、などの間

表3 表面処理用木材防腐・防蟻薬剤

防腐剤成分 化合物名	濃度 (%)	防蟻剤成分 一般名	濃度 (%)
4-クロルフェニル-3-ヨード プロパルギルホルマール (A)	1.0	クロルピリホス(a)	1.0
	1.25	クロルピリホス(a) ジクロロフェンチオン(a)	0.4 0.6
	1.5	ピリダフェンチオン(a)	1.6
	2.0	ペルメトリン(b) TPIC*(c)	0.2 2.0
3-エトキシカルボニルオキシ シ-1-ブロム-1,2-ジヨード -1-プロペン(A)	0.8	クロルピリホス(a)	1.0
	1.0	ピリダフェンチオン(a) S-421**(d)	1.2 1.0
	1.0	プロペタンホス(a) S-421**(d)	0.5 1.0
	1.0	ホキシム(a) S-421**(d)	0.6 1.0
	1.2	トラロメトリン(b) S-421**(d)	0.03 1.5
	1.2	ペルメトリン(b) S-421**(d)	0.2 1.5
3-ヨード-2-プロピニルブ チルカーバメート(A)	0.8	クロルピリホス(a)	1.0
	1.0	ピリダフェンチオン(a)	1.6
	1.0	ホキシム(a) S-421**(d)	0.6 0.4
N-ニトロソ-N-シクロヘ キシルヒドロキシアミニア ルミニウム(B) N-メトキシ-N-シクロヘ キシル-4-(2,5-ジメチルフ ラン)カルバニリド(B)	0.5	ホキシム(a)	0.9
	1.0	プロポキサー(e)	0.9
	0.5	バッサ(e)	0.9
	1.0	プロポキサー(e)	0.9
ナフテン酸銅(C)	25.0	防蟻剤を兼ねる	
ナフテン酸銅(C)	37.5	防蟻剤を兼ねる	
クレオソート油(D)	32.5	防蟻剤を兼ねる	

* トリプロピルイソシアヌレート, ** オクタクロロジプロピルエーテル
 (A) 有機ヨード系, (B) ヒドロキシルミンア系, (C) 有機酸金属塩系,
 (D) タール系, (a) 有機リン系, (b) ピレスロイド系, (c) トリアジン
 系, (d) 塩素化ジアルキルエーテル, (e) カーバメート系

題が指摘されている⁴⁾。

ホウ素化合物の防腐・防虫（防蟻）性能は古くから認められていたが、溶脱抵抗性が低いため乾材害虫の防除以外にはほとんど使用されていなかった。しかし、その低毒性が着目され、土壌との接触がなく水の侵入のおそれの少ない条件で使用する部材の防腐・防蟻剤として再評価されている。従来、木材のホウ素化合物処理は水溶液の減圧注入や拡散によるものが多く、処理後の乾燥過程でのカビや割れの発生が難点であったが、最近ニュージーランドで気相ホウ素処理法が開発された⁵⁾。この方法では、トリメチルホウ酸エステルが木材中の結合水と反応してホウ酸とメタノールを生成するが、メタノールは回収され、処理材の乾燥も注薬缶内で行えるので、処理時間が大幅に短縮され、薬剤使用量も少ない。素材の場合は気乾材含水率以下まで乾燥が必要であり、ラジアタパイン以外の樹種の検討例がないが、成板後の含水率が低い木質ボード類の処理には適している。

3.1.2 表面処理用木部防蟻剤

わが国では、シロアリ防除業者や PCO（ペストコントロールオペレーター）による新築・既存木造建築物の木部処理に広く使用されている。これには日本の住宅の建築構法や住宅取得時の経済的・社会的要因が関連しているが、効力持続性の点では注入処理が表面処理より優れており、木材の使用環境や必要耐用年数に応じて両処理を使い分ける必要がある。表面処理に用いられる防腐・防蟻剤はすべて油溶性であるが、乳化剤としての利用も可能である。しかし、一般に乳化剤は浸透性や水溶脱抵抗性が油剤より劣っており、この場合も処理木材の劣化危険度に応じた使い分けが必要である。表面処理用の木材防腐・防蟻剤として用いられている薬剤と有効成分濃度を表 3 に示した。防蟻剤としては有機リン系化合物が多く用いられているが、ピレスロイド系化合物の使用も増加している。

3.1.3 土壌処理用防蟻剤

地下シロアリの土壌から木部への到達を阻止するために行う措置は「土壌等防蟻工法」と呼ばれ、「木部防腐防蟻工法」とともに建築物防腐防蟻工法の一翼を担っている。井上⁶⁾はこれらを図 3 のように分類している。図中の“防蟻材料を用いる工法”や“構造的防蟻工法”は、作業条件改善のため徐々に普及しつつあるが、種々の製剤形態の防蟻剤を床下土壌に散布する“標準土壌処理”が現在も大半を占めている。いずれの方法においても使用される防蟻剤の原体は木部の表面処理用と同じものであるが、“標準土壌処理”では油剤以外の種々の形態の製剤が使用されている。処理場所の地下水位が高く、近辺に井戸、池、用水路などがある場合乳化剤では流失・汚染のおそれがある時は粉剤や粒剤を使用しなければならない。粉剤や粒剤は薬剤にタルク、粘土鉱物などの担体を加えて製剤したもので、粒子の大きさは粉剤で 10~30 μm 、粒剤で 0.7~1.0 mm である。水和剤とフロアブル剤は主剤が固体で溶剤に溶けにくいものを微粉末とし、水に分散させたもので、フロアブル剤には界面活性剤、分散保持剤、安定剤なども加えられている。可溶化剤は原体を溶剤に溶かし界面活性剤を加えるが、水を加えると透明な溶液になるようにした製剤である。木部表進処理と土壌処理に用いられている防蟻剤の種類を表 4 に示した。

有機リン系防蟻剤はアルカリ加水分解を受けやすく、紫外線や土壌微生物による分解も比較的速いために残留による環境汚染は少ないが、効力持続性は有機塩素系防蟻剤より低い。また、その作用機作がコリンエステラーゼ阻害による神経毒であるため、防除処理に繰り返し従事する作業者の安全対策が重要である。防蟻剤のマイクロカプセル封入は作業性改善を目的に開発されたものであるが、効力持続性の改良にも有効である。ピレスロイド化合物は人体内では速やかに分解されて排出されるため、コリンエステラーゼ阻害はないが、有機リン系防蟻剤と同様にアルカリで分解しやすく、また魚毒性が高いものが多い。一般に低濃度では忌避性を示すため、被害発生現場のシロアリの死滅させるという実用条件での駆除性能を懸念する声もある。表 5 は最近の米国の防蟻剤のシェアを示したものであるが⁷⁾、ピレスロイドはやや減少の傾向にある。

S-421 は有機リン系及びピレスロイド系防蟻剤の原体濃度を低減し、製剤価格の上昇を抑えるために添加される共力剤とされているが、それ自体でもクロルデン、クロルピリホス、ホキシムとほぼ同等の防蟻効力

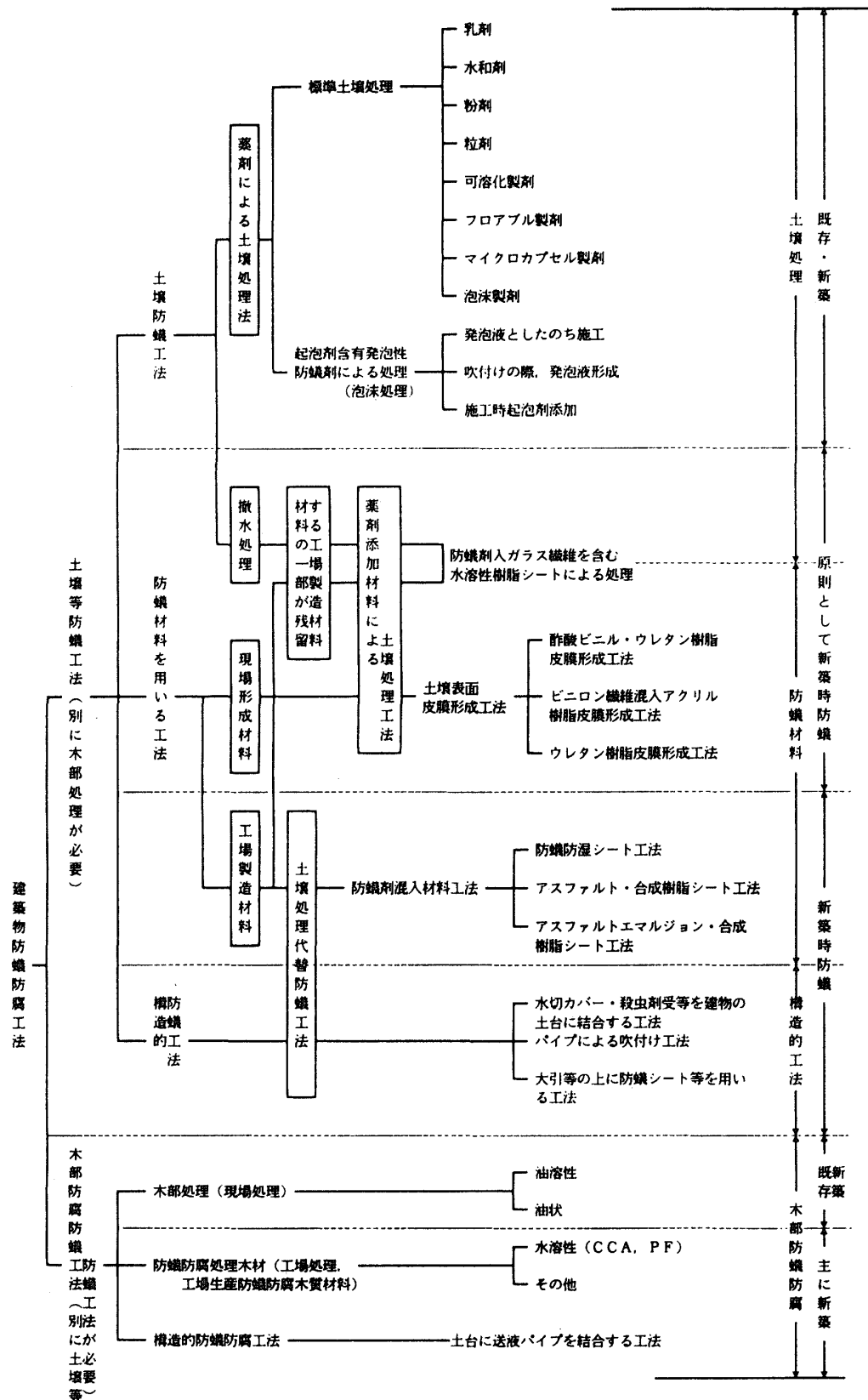


図3 実用化されている建築物防蟻防蝕工法の分類⁶⁾

表4 木部表面処理および土壌処理用防蟻剤

区 分	一 般 名
有 機 リ ン 系	クロルピリホス ホキシム ピリダフェンチオン テトラクロルビンホス フェニトロチオン プロペタンホス ジクロロフェンチオン
カ ー バ メ ー ト 系	プロボキサー パッサ
ピ レ ス ロ イ ド 系	ペルメトリン サイパメスリン トラロメスリン フェンバレレート イソフェンプロックス シラフルオフェン
ト リ ア ジ ン 系	トリプロピルイソシアヌレート
ナ フ タ リ ン 系	モノクロルナフタリン (木部のみ)
有 機 酸 金 属 塩 系	ナフテン酸銅 (木部のみ) ナフテン酸亜鉛 (木部のみ)
タ ー ル 系	精製クレオソート油 (木部のみ)
塩 素 化 ジ アル キ ル エ ー テ ル	オクタクロロジプロピルエーテル (S-421)*

* 共力剤として有機リン系およびピレスロイド系に添加

表5 最近の米国の防蟻剤シェア(%)⁷⁾

防 蟻 剤	1986年	1989年	1991年
ク ロ ル ピ リ ホ ス	12.0	61.0	65.0
イ ソ フ ェ ン ホ ス	—	5.6	10.6
ペ ル メ ト リ ン	—	9.9	10.3
サイ パ メ ス リ ン	—	16.0	12.0
フェ ン バ レ レ ー ト	—	7.5	2.1
ク ロ ル デ ン	88.0	—	—

がある⁸⁾。急性経口毒性はマウス (雄) で 4.4 ml/kg, ラット (雄) で 5.49 ml/kg と低く, その他の毒性についても多くのデータがあるが⁸⁾, 共力剤としては添加量が多すぎ, 塩素を多く含むことから, 環境への影響をさらに検討する必要がある。

3.2 土壌防蟻工法

作業の安全性、時間短縮、省力化などのために、標準的な土壌処理以外に次のような防蟻工法が開発されている。

- ①土壌表面皮膜形成工法（クリーンバリヤ[®]）
- ②土壌表面皮膜形成工法（ターモカット[®]）
- ③土壌固化工法（クリーンマルチ[®]）
- ④水溶性フィルム材（ターメッシュ[®]）による土壌処理法
- ⑤土壌表面シート敷設工法（アリダン工法[®]）
- ⑥発泡施工法

詳細は(社)日本しろあり対策協会の機関誌⁹⁻¹⁵⁾や防除施工標準仕様書特別規定に記されているが、概略は以下の通りである。

①は有機リン系防蟻剤乳剤を混合した変性酢酸ビニル樹脂、水、硬化剤（親水性ポリウレタン樹脂）、②は有機リン系防蟻剤乳剤、水、ビニロン繊維混入アクリル樹脂、③は有機系防蟻剤乳剤を混合したウレタン系樹脂と水を現場で混合して、土壌表面に防蟻剤含有樹脂膜を形成させる方法である。これらの混合はスプレーガンの先端や外部で行われて、タンク内での樹脂硬化を起こさないように工夫されている。④はポリエチレンフィルムの片面に水溶性の有機リン系防蟻剤をコートしたもので、敷設したフィルムの裏面に地下から蒸発水分が結露して薬剤を溶解し、土壌に移行する。⑤は有機リン系防蟻剤を混合したエチレンビニルアセテート樹脂シートを床下に敷設し、同じく防蟻剤を混合したゴムアスファルト展塗ポリエステル樹脂製不織布テープ、アスファルト・石油樹脂エマルジョン、アクリル・ウレタン樹脂塗料などを適当に組み合わせて固定する方法である。①～⑤には床下土壌からの水分の蒸発を防ぐ防湿機能を持たせたものが多い。

⑥の発泡施工法は有機リン系防蟻剤を水と発泡剤で希釈して発泡作業液とし、これを発泡装置により発泡して床下内に移動、充満させ、土壌面に防蟻剤を浸透させる方法である。発泡は屋内の開床部からを原則とするが、外周壁布基礎の換気孔からも可能であり、床下に作業者が入らずに処理を行うことができる。

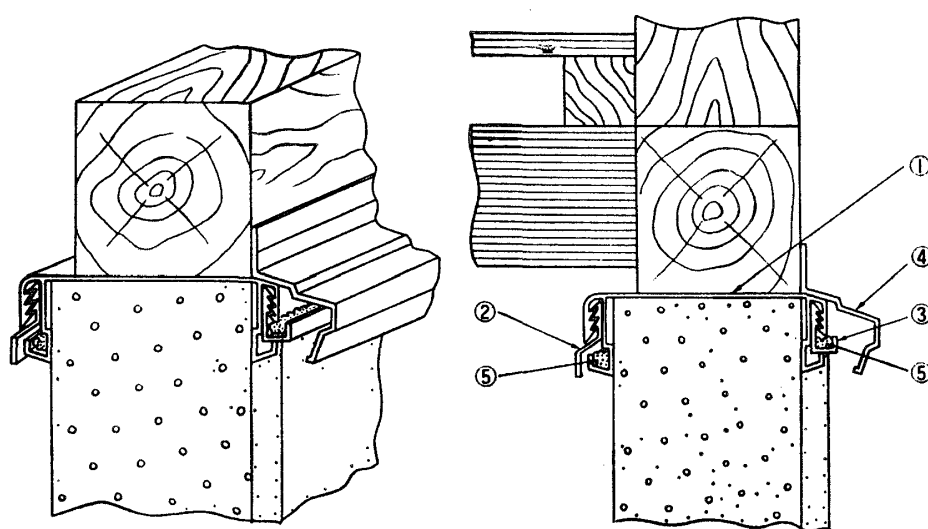


図4 構造的防蟻工法の一例¹⁶⁾

- ①基礎カバー、②内部カバー、③外部防蟻剤受け、
④外部化粧水切りカバー、⑤内部防蟻剤受け

構造的防蟻工法としては、水切りとシロアリの到達を阻止するため、金属やプラスチックのカバーを布基礎と土台に結合する方法がある。この場合、土壌には一切処理を行わない代りに防蟻剤受けをカバーや束石に取り付けるようになっている（図4）。

4. 総合防除の試み

現在の地下シロアリ防除の土壌処理では、有機リン系防蟻剤原体の標準施用量は布基礎内周と束石や配管の周囲は 50 g/m^2 、その他の床下土壌は 30 g/m^2 である。上に述べた種々の防蟻材料にもほぼ同量の防蟻剤が混入されており、これらは農業に用いられる時の施用量（ $0.01 \sim 0.1 \text{ g/m}^2$ ）の300倍以上である¹⁷⁾。これだけの施用量でも九州や沖縄では防除施工5年以内のイエシロアリ被害の再発がしばしば報じられている。しかし、有機リン系やピレスロイド系防蟻剤は環境への蓄積が少ないといっても、また、環境問題に対する世界的な意識の高まりからいっても、これ以上の薬剤施用量の増加を避け、物理的・化学的・生物的な手法を取り入れた総合防除への展開を急ぐべきである。

病害虫の生理生態の特徴を利用した種々の方法を併用し、薬剤の使用量を軽減しながら防除の目的を達成するシステムを総合防除といい、農林業分野では多くの成功例がある。シロアリは社会性昆虫としても食料性昆虫としても、他の昆虫には見られない多くの特徴を持っているが、防除に適用可能な特徴は以下の通りである。

- 1) アリや数種の捕食哺乳動物以外に有力な天敵を持たないが、シロアリ寄生性を示す線虫、ダニ、糸状菌がある。
- 2) 比較的分解しにくいセルロースを主な栄養源としているため、その分解を共生微生物の酵素活性に依存している。
- 3) 直接の木材食害は非生殖階級である職蟻により行われるので、一般の昆虫でみられるような薬剤耐性系統出現のおそれがない。
- 4) 老熟幼虫から前兵蟻や生殖階級への分化に、幼若ホルモンが関与する。
- 5) ある種の褐色腐朽菌とその腐朽木材に誘引されるものがある。
- 6) 採餌行動や警報伝達などにフェロモンが大きな役割を果たしている。
- 7) 個体間の給餌やグルーミング（体の舐めあい）が盛んに行われる。
- 8) 乾燥を嫌い、微弱な空気の動きにも敏感な退避行動を取る。
- 9) 直角以上に傾斜した斜面は登らない。
- 10) 触角や体表を傷つけるガラス破片や砕化・運搬が困難な粒子で覆われた所には蟻道を作らない。
- 11) 夜間に群飛する有翅虫は走光性を持ち、電灯に飛来する。

これらの特徴を利用して行われている研究例を以下に述べる。

4.1 昆虫寄生菌による防除

昆虫寄生菌は外部寄生菌と内部寄生菌に大別されるが、高い殺虫性を示すのは内部寄生菌である。イエシロアリとヤマトシロアリが属するミゾガシラシロアリ科の種に殺蟻性を示す内部寄生菌として、*Absidia coerulea*, *Aspergillus* spp., *Beauveria bassiana*, *Conidiobolus coronatus* (= *Entomophthora coronata*), *Entomophthora virulenta*, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces fumosoroseus*, *Penicillium* spp. などが知られている¹⁸⁾。これらの中では *Conidiobolus coronatus* の殺蟻性がきわめて高く、落下孢子による強制接触3時間で9日後、6時間では1日後にイエシロアリの全供試個体が死亡した。また、健全職蟻20頭と50頭の中に感染個体1頭を入れると、20頭区は4日後、50頭区は5日後に全数が死亡し、高い感染性を示した¹⁸⁾。*Conidiobolus* 属と *Entomophthora* 属の高い殺蟻性はハワイでも確認されており、サトウキビ畑のイエシロアリ防除への利用が試みられている^{19,20)}。

4.2 JHA (Juvenile hormone analogues, 幼若ホルモン類似体) による階級分化の混乱

シロアリ社会は、コロニー活動に必要な生殖、防衛、労働（採餌、給餌、巣や蟻道の構築・修復・清掃など）の役割を分担する三つの階級と未成熟個体で構成されている。各階級の構成比率は種により若干異なるものの90%以上を労働階級（職蟻）が占め、数%が防衛階級（兵蟻）、残りが生殖階級と未成熟個体から成る。階級分化の経路は種により異なるが、老熟幼虫の大部分は職蟻になり、一部は前兵蟻、ニソフ、副生殖虫に分化し、前兵蟻は兵蟻に、ニソフは有翅虫へ成長する。この階級分化のメカニズムはまだ解明されていないが、幼若ホルモンまたはその合成類似体（JHA）が分化を促進することが確認されている。そこで、JHAをコロニーに導入して労働機能を欠く兵蟻と生殖虫を過剰に出現させ、オーバーワークになった職蟻を疲弊させてコロニー活動を衰退させようという発想から、いくつかの室内試験が行われた²¹⁻²⁵⁾。土岐ら²⁵⁾はエチル〔2-(*p*-フェノキシフェノキシ)エチル〕カーバメートを JHA として用い、ヤマトシロアリに対しては高い前兵蟻分化作用があることを認めたが、イエシロアリにはほとんど効果がないと報告している。Su²⁶⁾はこの相違を、イエシロアリはヤマトシロアリより兵蟻の構成比率が高く、コロニー内の幼若ホルモン濃度が高いので JHA の影響が現われにくいと推察している。

4.3 腐朽材および合成道するベフェロモンの防除への利用

地下シロアリは採餌のため巣から遠く離れて行動するが、餌の所在を他の個体に知らせたり帰巣するために、通路に道するベフェロモンを分泌する。イエシロアリとヤマトシロアリの属するミゾガシラシロアリ科においては、報告された道するベフェロモンはすべて同一の (Z,Z,E)-3,6,8-ドデカトリエン-1-オールであり²⁷⁾、合成品もある。一方、褐色腐朽菌キチリメンタケの菌体と同菌の腐朽材はこの科のシロアリを誘引することが古くから知られていたが、その原因物質が上の道するベフェロモンと全く同じものであることが確認されている²⁸⁾。また褐色腐朽菌ナミダタケとその腐朽材にもイエシロアリ誘引作用があるが、この場合はこれとは別の物質によるものである²⁸⁾。キチリメンタケやナミダタケの腐朽材、あるいは合成道するベフェロモンを含浸した木材に、JHA・シロアリ寄生菌・遅効性殺蟻剤などを塗りつけ、イエシロアリやヤマトシロアリの蟻道に設置し、餌として巣に持ち帰らせると、給餌やグルーミングによりこれらがコロニー内に伝播し、コロニーの衰退に至ることが期待される。遅効性殺蟻剤としては、グリコールホウ酸エステル、スルフルアミド、ジハロアルキルアルシルスルフォンなどが検討されている²⁹⁾。

4.4 物理的バリアーによる侵入阻止

古典的な蟻返しを応用した防蟻工法が日本では一部実用化され、「3.2 土壌防蟻工法」で紹介した¹⁶⁾。コンクリートスラブ式の住宅の多い米国やオーストラリアでは、シロアリがくわえるには重すぎ、潜り込むには小さすぎる砂粒をスラブの下に敷きつめる方法が開発されている²⁹⁾。米国の Basaltic Termite Barrier や Bar-Betty System では、直径 1.7~2.4 mm の砂粒が用いられている。オーストラリアの Grantiguard は花崗岩粒子を使用する。ステンレスやポリエステルの網を敷きつめる方法もオーストラリアで開発されている。これらの方法はいずれも単独では完全な侵入阻止が困難との判断から、粒子や網の上または建物周囲の薬剤散布が併用されている。

4.5 化学処理による木材の非栄養化

シロアリの食物は植物細胞壁であるが、栄養源になっているのは主にセルロースである。セルロースはリニンほど難分解性ではないが、その分解にはまとめてセルラーゼと呼ばれる複数の酵素が必要であり、リグンとヘミセルロースに囲まれた木材セルロースを利用できるものは自然界全体からみれば少数である。シロアリが生態系の中で安定な位置を占めているのは、微生物との共生により豊富にあるセルロースを分解・消化する仕組みを獲得したためである。

木材の寸法安定性、強度、その他の物性改良を目的に研究が進められてきた化学修飾や複合化が、薬剤を用いずに木材の耐朽・耐蟻性を高める技術としても注目され、一部は実用化されている。シロアリの場合、処理材は摂取されても消化されないか、食物として認知されなくなるかにより、飢餓状態に追い込まれて耐蟻性能が発現する。

4.5.1 化学修飾

木材を種々の試薬で処理し、木材成分に普遍的に存在する水酸基を他の結合に置換して材質の改善を図る方法を化学修飾という。水酸基は親水性であるため水分子と結びつきやすく、吸湿による木材の狂いの原因となっている。また、種々の化学反応の受け皿となり、腐朽菌やシロアリの木材分解酵素系とも結びつきやすい。化学修飾用の試薬は水酸基との間にできる化学結合により、エステル化型、アセタール化型、エーテル化型に分けられる。程度の差はあるがいずれの型においても耐朽・耐蟻性の向上が認められ、エステル化型では無水酢酸、2,4-トリレンジイソシアネート、メチルイソシアネート、アセタール化型ではホルムアルデヒド、エーテル化型では β -プロピオラクトン、アクリロニトリル、エピクロロヒドリン、ジクロロヒドリン、プロピレンオキシド、ブチレンオキシドによる多くの研究例がある³⁰⁾。

無水酢酸処理をより水酸基をアセチル基に置換したアセチル化木材はすでに実用化され、浴室用部材（浴槽・内装材・すのこ）、住宅サンデッキ、浮き桟橋、屋外表示板などに使用されている³¹⁾。また、ホルムアルデヒドによるホルマル化木材³²⁾や、フタル酸のような二塩基酸の無水物とエピクロロヒドリンによるオリゴエステル化木材³³⁾も実用化を目的とした研究が進められている。どの化学修飾でもイエシロアリの食害を完全に阻止することはできないが、ヤマトシロアリに対しては高い阻止効果がある。また、両シロアリとも処理レベルの上昇にともない餌を与えない飢餓状態の時に似た死亡率曲線を示すようになる³⁴⁾。

4.5.2 複合化

水溶性のフェノールホルムアルデヒド樹脂を注入し材内で熱硬化させたフェノール樹脂複合化木材を、腐朽や蟻害の起こりやすい外構部材などに利用する研究が行われている。この処理では高分子量の樹脂を注入しても耐朽・耐蟻性はほとんど向上せず、数平均分子量が200~400で、単量体のフェノールアルコールを主成分とする樹脂がもっとも優れていることが明らかにされている³⁵⁾。

異なる種類の水溶性の無機物を別々に浸透させ、陰イオンと陽イオンの反応により水不溶の安定な無機物を木材内で生成・沈着させたものを無機質複合化木材と称している。無機物の組み合わせは多数あるが、バリウムイオンとリン酸イオンの反応によるリン酸バリウム塩複合化木材が、すぐれた防火性と耐朽・耐蟻性を有している。これを準不燃材料とするためには木材とほぼ等しい重量の無機物の沈着が必要であるが、腐朽や蟻害に対しては10%程度の重量増加率で十分な阻止効果があり、他の化学処理木材では得られなかった室内試験でのイエシロアリ食害の完全阻止が達成されている³⁶⁾。

複合化木材を与えたシロアリの死亡率は、化学修飾と同様に処理レベルの上昇にともなって増大するが、全数死滅時間は飢餓状態より速く^{35,36)}、その機構が注目されている。

5. 今後のシロアリ防除

本年7月、小笠原でイエシロアリによる建築物被害が爆発的に発生した。小笠原は以前からこのシロアリの分布地であり、それなりの対策は講じられていた。しかし関係者の話では、最近リュウキュウマツのマツクイムシ被害が多発し、放置されたままの枯死木が新たな栄養源となってイエシロアリの生息密度が異常に増大したためらしい。そして、マツノザイセンチュウを媒介するマツノマダラカミキリは日本本土から持ち込まれた疑いがあると言われている。

耐久資産である建築物をシロアリから守るため、建築物への侵入と木材への加害を阻止する対策が種々講じられている。しかし、建築物の蟻害防止には、建築物に行う直接の保存対策以外にも、居住地域周辺のシロアリ密度低減対策が必要であることをこの例は示している。シロアリの生理生態的特徴を利用した前項の総合防除はこの目的に適しているが、その実行には行政機関の協力が必要である。

化学処理による木材の高耐久化は、強度低下などの望ましくない影響を最小限にとどめ、短時間に試薬を均一に浸透させて反応効果を上げる必要があることから、構成要素の小さい合板、LVL（単板積層材）、ボード類に適している。建築物の土台、床束、大引などの断面の大きい部材の保存処理や、既設建築物に発生

した菌・蟻害の防除には薬剤処理が有効な手段であり、化学処理は薬剤処理に全面的に代替するものではない。また、現状では同等の耐蟻・耐朽性を得るための費用は薬剤処理よりかなり高くなるので、同時に新しい機能を付与して付加価値を高める必要がある。

日本は小さな国であるが、気候区分は亜寒帯から亜熱帯に及び、それに応じてカビ、腐朽、シロアリ被害の様子も異なっている。ヤマトシロアリは北海道まで分布しているといっても、東北・北海道ではシロアリ防除業者の仕事の大半は床下のカビと腐朽の防除である。逆に九州・沖縄では保証期間中のイエシロアリの再発が多く、有機リン剤に対する不信の声が高まっている。処理技術の習熟とともに、現行の認定薬剤と防蟻材料の性能の再検討、改良が必要である。木部処理用の防腐・防蟻剤は使用環境と地域に応じた配合を考える時期に来ており、防蟻成分を高めたもの、防腐成分を高めたものなど、色々な配合の中から選択できるようにするべきである。土壌処理剤もヤマトシロアリのみの発生地域とイエシロアリ多発地域では異なった配合のものを使い分け、過剰処理や過少処理にともなう環境汚染や建築物の早期劣化が起こらないようにしなければならない。そのためには薬剤の性能試験規格を現行の処理法別から処理材の使用環境区分別に応じたものに再編成し、社会に信頼される性能審査・認定システムを確立する必要がある。

引用文献

- 1) 安部琢哉：地形，12，189-202 (1991)
- 2) (社) 日本しろあり対策協会編著：シロアリストップ大作戦，48pp.，(1990)
- 3) (社) 日本しろあり対策協会編著：パンフレット「シロアリ」，(1990)
- 4) 日本木材防腐工業組合編著：新防腐剤調査委員会報告書，66pp.，(1991)
- 5) B.J. MURPHY and P. TURNER: *Wood Sci. and Technol.*, **23**, 273-279 (1989)
- 6) 井上嘉幸：長持ちする木のはなし，イセブ，163pp.，(1990)
- 7) 上妻二郎：米国における防蟻剤の現況，東洋木材防腐株式会社研修会講演資料，(1992)
- 8) 小西清司，奥村健也，志澤寿保：木材保存，**14**，55-63 (1988)
- 9) 平原 保：しろあり，No. 88，3-9 (1992)
- 10) 小林智紀：同上，10-16 (1992)
- 11) 北田正司：同上，17-21 (1992)
- 12) 菊本廣一：同上，22-27 (1992)
- 13) 菊本廣一：同上，28-33 (1992)
- 14) 志澤寿保：同上，34-39 (1992)
- 15) 戸田房巳：同上，40-43 (1992)
- 16) トーヨーサッシ株式会社：Cecoa Repellent Barrier，セコア R B 技術資料，(1990)
- 17) 伊藤高明：木材保存，**17**，51-53 (1991)
- 18) T. YOSHIMURA, K. TUNODA, M. TAKAHASHI and Y. KATSUDA: *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.*, **4**, 11-16 (1992)
- 19) J.K. FUJII, W.H. KO and K.M. KANEGAWA: *Rev. Ecol. Biol. Soc.*, **17**, 353-357 (1980)
- 20) W.H. KO, J.K. FUJII and K.M. KANEGAWA: *J. Invert. Pathol.*, **39**, 38-40 (1982)
- 21) M. AFZAL and M. AHMAD: *Material und Organismen*, **17**, 93-116 (1982)
- 22) I. HRDY and J. KRECEK: *Insects Socioux*, **19**, 105-109 (1972)
- 23) A. SPRINGHETTI: *Experientia*, **30**, 1197-1198 (1974)
- 24) C.M. YIN and C. GILLOT: *Canad. Zool.*, **53**, 1071-1078 (1975)
- 25) H. DOKI, K. TSUNODA and K. NISHIMOTO: *Material und Organismen*, **19**, 175-187 (1984)
- 26) N.-Y. SU: Personal communication
- 27) M. TOKORO, M. TAKAHASHI and R. YAMAOKA: *Mokuzai Gakkaishi*, **38**, 294-300 (1992)
- 28) 大村和香子，高橋旨象，角田邦夫，吉村 剛：第42回日本木材学会研究発表要旨集，487 (1992)
- 29) J.R.J. FRENCH: *Intern. Res. Group on Wood Preserv.*, Document No: IRG9WP/1503, (1991)
- 30) R.M. ROWELL: "The Chemistry of Solid Wood", ACS 207, Washington D.C., 175-210 (1984)
- 31) 佐立正人：変わる木材スーパーウッドの時代，日本木材学会編，海青社，31-38 (1991)
- 32) K. MINATO, S. YUSUF, Y. IMAMURA and M. TAKAHASHI: *Mokuzai Gakkaishi*, in press

高橋：しろあり防除技術の現状と展望

- 33) 松田鉄明：変わる木材—スーパーウッドの時代，日本木材学会編，海青社，70-76 (1991)
- 34) 今村祐嗣：同上，130-136 (1991)
- 35) J. Y. RYU, Y. IMAMURA, M. TAKAHASHI and H. KAJITA: *Mokuzai Gakkaishi*, in press
- 36) 角田邦夫，吉村 剛，高橋旨象，平尾正三，碓氷宏明，小西 悟：第42回日本木材学会大会研究発表要旨集，478 (1992)