

For Dr. Ken Grace

(8 pages)

K. Tsunoda

[木材学会誌 Vol. 48, No. 2, p. 107-114 (2002) (一般論文)]

### 地下シロアリおよび腐朽に対する八ホウ酸ニナトリウム 四水和物 (ティンボア®) 処理家屋土台の劣化防止効果

角田邦夫\*2, ジェイ・ケネス・グレイス\*3,  
トニー・バーン\*4, ポール・アイ・モリス\*4

### Effectiveness of Disodium Octaborate Tetrahydrate (Tim-Bor®) in Controlling Subterranean Termite Attack and Decay of House Sill Plates

Kunio TSUNODA\*2, J. Kenneth GRACE\*3,  
Tony BYRNE\*4 and Paul I. MORRIS\*4

This study determined the field performance of simulated house sill plates (dodai) subjected to termite attack and decay. Hem-fir sill plates were pressure-treated to two levels of retention of disodium octaborate tetrahydrate (Tim-Bor®) targeted at 2% (w/w) and 3% (w/w) boric acid equivalent, applying both shell- and through-treatment. These were installed in a protected above-ground field test in Kagoshima, Japan, simulating the house sill plate used in conventional Japanese housing construction. Chromated copper arsenate treated hem-fir was used as the reference material, and locally used hinoki (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) sill plates were also installed in the test. The test site supports active subterranean termites, *Coptotermes formosanus* Shiraki and *Reticulitermes speratus* (Kolbe). Samples were inspected annually and rated for both termite and decay damage.

After 5 years untreated hem-fir controls and hinoki were most heavily attacked by termites and incipient decay signs were noticed on some untreated controls, while exceptionally only two samples of the treated materials sustained traces of termite attack. All preservatives of the current study, therefore, protected the sill plates. Based on comparisons with end-matched samples installed in a test site in Hawaii, where attack of controls appears to be up to 10 times faster, the data suggest these treatments would provide long-term protection of sill plates from termite and decay attack.

**Keywords:** Subterranean termites, disodium octaborate tetrahydrate, house sill plate (dodai), termite resistance.

八ホウ酸ニナトリウム四水和物 (ティンボア®) によって外層及び全層処理 [目標吸収量は2% (w/w) あるいは3% (w/w) ホウ酸等量] したヘムファー土台材を、日本住宅の土台の使用条件を模した非接地・非暴露法による野外試験に供した。野外試験はイエシロアリとヤマトシロアリが生息する鹿児島県下で行い、蟻害と腐朽を評価した。無処理ヒノキ土台材とCCA処理土台材も対照試験体として供試した。

\*1 Received August 8, 2001; accepted October 12, 2001.  
\*2 京都大学木質科学研究所 Wood Research Institute, Kyoto University, Uji 611-0011  
\*3 ハワイ大学マノア校 植物及び環境保護科学部 University of Hawaii at Manoa, Department of Plant & Environmental Protection Sciences, Honolulu, 96822-2271, U.S.A.  
\*4 フォリンテック・カナダ・コープ 西部研究所 Forintek Canada Corp., Western Laboratory, Vancouver, Canada

5ヶ年経過した時点で、無処理のヘムファー土台材およびヒノキ土台材が中度から重度の蟻害を蒙り、数本の無処理試験体に初期腐朽の兆候が観察された。一方、本研究の全処理は地下シロアリ食害防止に効力を発揮した。耐朽性を判断するには長期試験の結果を待つ必要があった。同様の試験を実施したハワイでの野外試験結果と比較し総合的に判断すれば、本研究の全処理は、長期にわたってシロアリと腐朽による劣化から土台を保護できると考えられた。

## 1. 緒 言

ホウ素化合物は、木材を侵害する昆虫や腐朽菌に対する毒性が高いことから<sup>1)</sup>、1940年代以降、世界で広範囲に木材保存剤として利用されてきた<sup>2)</sup>。しかしながら、八ホウ酸ナトリウム四水和物 (Disodium octaborate tetrahydrate, 以下 DOT と略記。商品名はティンボア<sup>3)</sup>) のような水溶性ホウ酸塩では、流水中での高い溶脱性が最大の欠点とされている<sup>4)</sup>。そのため、ホウ酸塩の使用は、塗装や被膜などの処理をして屋外使用する以外は、土壌と直に接触せず、かつ、雨水の影響のない箇所、すなわち、非接地・非暴露の条件下に限定され、住宅用枠材などが主たる用途である。蟻害が発生する場所では、これらの部材は有機殺蟻剤および殺菌剤を含む保存剤で処理することが数10年以上も前から実施されてはいるが、環境への影響や毒性面から使用できなくなりつつある現状である。このような背景から、防蟻処理にホウ酸塩を使用することが注目されるようになってきた<sup>5-7)</sup>。さらに、重金属を含む木材保存剤の使用を危惧する社会的動向とも相俟って、高い定着性が要求されない部材の保存処理にホウ酸塩を使用できる可能性が示唆されるようになった<sup>8)</sup>。

わが国の標準室内試験方法 (JIS K 1571) に準じて、ホウ酸処理木材小片を耐候操作せずにオオズラタケ [*Fomitopsis palustris* (Berk. et Curt.) Gilbn. & Ryv.] あるいはカワラタケ [*Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilát] の単一菌による強制腐朽によって防蟻性を、イエシロアリ (*Coptotermes formosanus* Shiraki) による強制摂食によって防蟻性を評価したところ、シロアリ食害防止に必要なホウ酸吸収量は腐朽防止の場合よりも大であった<sup>10,11)</sup>。ホウ酸で処理した素材および木質材料は、耐候操作をしなければ0.5% (w/w) ホウ酸等量 (Boric Acid Equivalent, 以下 BAE と略記) でイエシロアリに対する高い耐蟻性を示した<sup>12)</sup>。一方、耐候操作を行った場合には、10% (w/w) BAE 以上の吸収量であっても腐朽が生じた。これは、耐候操作によって木材中のホウ酸が検出限界以下になるまで溶脱してしまったからであった<sup>11)</sup>。

腐朽発生の危険性があるものの比較的程度の蟻害

を想定した暴露・接地条件での野外試験方法がこれまでいくつか提案されてきたが<sup>13-20)</sup>、これらの試験方法は非暴露・非接地条件下での木材保存剤の効力評価には不適である。近年になって、オーストラリアやアメリカ合衆国では、野外での非暴露・非接地試験が行われている。木材や木質材料の耐蟻性に関するオーストラリアでの結果は、*Coptotermes acinaciformis* (Froggatt) の食害防止には0.5~1.3% BAEの吸収量が必要であることを示しており<sup>21-23)</sup>、アメリカ合衆国におけるイエシロアリに対する小型家屋を利用した試験では、2% (w/w) BAEの吸収量が必要であった<sup>24)</sup>。これらの研究では、試験中に試験材からどの程度ホウ酸塩が溶脱したかについては言及されていない。

本研究に着手するに当り、先ず、試験方法を検討し、すでに公表したが<sup>25,26)</sup>、本報では、日本住宅の土台の使用条件を模した改良法による鹿児島での DOT 処理土台の野外試験について報告し、同様の試験を並行して行っているハワイでの結果と簡単に比較検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 木材処理

木乾燥のヘムファー土台材 (10.5×10.5×350 cm, 含水率40%以上の心材) を入手し、光学顕微鏡下で識別して、ベイツガ [*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.] とアマビリスファー [*Abies amabilis* (Doug.) Forbes] に区別した。各樹種から採取した130 cm 長の無欠点材の木口面をエポキシ樹脂でシールし、秤量後、充細胞法と拡散法<sup>27)</sup>によって DOT 単独、DOT にジデシルジメチルアンモニウムクロライド (Didecyldimethylammonium chloride, 以下 DDAC と略記) を添加 [処理薬液中に0.5% (w/w) 添加] した物あるいはクロム・銅・ヒ素系薬剤 (Chromated copper arsenate, 以下 CCA と略記) の水溶液を用いて処理した。注入圧力は1035 kPa, 加圧時間はアマビリスファーでは2時間、ベイツガでは6時間であった。水による予備加圧注入実験を行い、目標吸収量を達成するための処理濃度を決定した。

各材料への注入量は処理前後の質量差から算出した。長さ方向の中央部から、5.0 cm 厚の浸潤度と吸

収量測定用試料を採取した。吸収量測定は試料の全層を対象に行った。40メッシュのスクリーンを通過するように粉砕した木粉を、97°Cの温水で4時間抽出後、マンニトール滴定法でホウ酸量を定量し、%BAEとしてDOT吸収量を求めた。浸潤度はクルクミン酸を指示薬とする呈色反応から判定した<sup>25)</sup>。DOTを含む薬液で処理された材から、約65 cm長の材2本を連続して採取し、木口面をシールし、同レベルの浸潤度と吸収量を有する物として2つのグループに振り分け、吸収量2% (w/w) BAEあるいは3% (w/w) BAEの外層および全層処理試料を用意した。外層処理群は、処理後直ちに棧木を挟んで風乾し、屋外の側壁のない戻付き建屋内で養生した。全層処理群はポリエチレンシートに包み、DOTが全層に分布するまで3~56日間養生して拡散を図った。充細胞法による加圧注入時の浸潤度や含水率の差異が養生(拡散)期間の長さに影響したと考えられるが、一般には、ベイツガに要した拡散時間の方がアマピリスファーの場合よりも長かった。拡散期間中、材の一端から定期的に5 cm巾の試料を採取し、浸潤度を調べた。木口面をシールし、完全に浸潤するまで養生した後、風乾した。含水率が約20%になった時点で、40 cm長の試験体を採取し、1本ずつを鹿兒島とハワイに割りつけた。

比較対照に、目標吸収量を4 kg/m<sup>3</sup>に設定したCCA処理材と市販の無処理ヒノキ土台材も供試した。最終寸法40 cm長の土台試験体を調製し、処理の有無に拘わらず10% (w/w) DOT水溶液あるいは軽油で調整した2% (w/w) ナフテン酸銅溶液で木口面を塗付処理した。本試験で調製された処理(無処理も含む)の種類は、処理1: 2% (w/w) BAE外層DOT処理、処理2: 3% (w/w) BAE外層DOT処理、処理3: 2% (w/w) BAE全層DOT処理、処理4: 3% (w/w) BAE全層DOT処理、処理5: 2% (w/w) BAE+DDAC外層処理、処理6: CCA 4 kg/m<sup>3</sup>、処理7: 無処理ヘムファー(試験設置時のベイツガおよびアマピリスファーの平均気乾容積重は、それぞれ644, 624 kg/m<sup>3</sup>であった)、処理8: 無処理ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa* Endl., 市販品のため心・辺材を含む。含水率は測定していないが、試験設置時の平均気乾容積重は627 kg/m<sup>3</sup>であった)であり、繰返し数は各処理毎に10であった。

## 2.2 試験地

野外試験地は、鹿兒島県下の東シナ海に近い岡有林内に位置し、京都大学木質科学研究所が20年以上にわたって維持・管理してきた場所であり、日本産地下シロアリとして経済的に重要であるイエシロア

リとヤマトシロアリ [*Reticulitermes speratus* (Kolbe)]の2種が生息している。試験地の年間平均気温および雨量はそれぞれ、18°Cと2,240 mmである<sup>26)</sup>。気温は夏期に最大(8月の平均気温28°C)となり、シロアリの活性も高くなるが、一方、冬期の気温低下(1月の平均気温7°C)はシロアリ活性の低下に繋がるため、食害度の季節的変動は大きいと考えられた。

## 2.3 試験体の設置および調査

既報の方法にしたがって試験体を設置した<sup>25,26)</sup>。19 cm高さの3穴付きコンクリートブロックの各穴にクロマツ誘蟻杭(3×3×35 cm、一端約5 cmを削って杭状にした物)を通して土中に打ち込み、その上端が試験体下面から0.5~1 cm離れた位置にくる

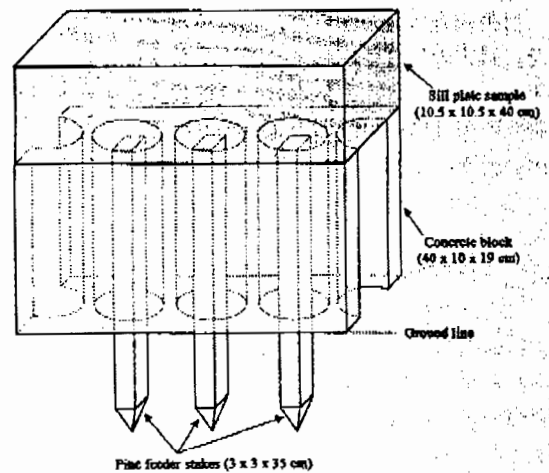


Fig. 1. Setup of a sill plate sample on the concrete block.

Table 1. Termite attack rating system.

AWPA rating	Description
10	Sound. Surface grazing (nibbling) is permitted, but such cosmetic damage must be noted in the report.
9	Trace of attack. For example, surface erosion up to 5 mm deep, or up to two termite penetrations of up to 10 mm deep.
7	Moderate attack. For example, surface erosion over 5 mm, penetrations over 10 mm deep or ramifying tunnels present.
4	Heavy attack. For example, extensive tunneling of up to 50-75% of the cross-section.
0	Failed due to termite attack.

Notes: Adapted from AWPA Standard E7-93. The same rating system was applied to decay assessment.

ようにし、試験体をブロック上に載せた (Fig. 1)。各処理毎に1本ずつの合計8本の試験体を1群として、PVC製の底なし箱 (90×50×45 cm) でカバーした。したがって、PVC製箱10個を用いて全試験体を設置した。1997年12月にPVC箱の1つにデータロガー (コーナシステム株式会社製・KADEC-HTV) を入れ、箱内の温度と相対湿度を1年間にわたって記録した。

土台試験体は1995年12月に設置し、毎年、設置同時期に調査した。試験体をコンクリートブロックから取り上げ、主として、下面の状態を目視調査し、アメリカ合衆国木材保存協会 (AWPA) 法に準じて、10~0の評価値を記録した。評価値に対する食害の程度を Table 1 に示す。シロアリ食害と同時に、同様の評価基準を腐朽害にも適用した。

目視調査が終了すると、試験体は元の状態に戻した。蟻害の程度に応じて、誘蟻杭を交換した。1998年の調査時には、木材水分計 [株式会社ケット科学研究所製・HM520型 (MOCO-2)] によって土台試験体の含水率を測定した。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 DOT 吸収量

Table 2 に DOT 吸収量の分析結果を示す。実験材料のヘムファー土台材は注意して選択したにも拘わらず、吸収量は一定しなかった。これは、供試樹種の処理性のバラツキが大きいことを反映した結果であろう。

#### 3.2 シロアリ食害の経時的変化

Table 3 に5ヶ年間のシロアリ食害の経時的変化を示している。シロアリ食害が発生しなかった処理1~4の結果は表から削除した。無処理ヘムファー土台試験体およびヒノキ土台試験体では、試験期間が長くなるにしたがってシロアリの食害が進行

し、試験開始5年後の平均評価値は約6であった。無処理ヒノキ土台試験体では、先ず、辺材部に蟻害が発生し、次第に心材部へと食害が拡大した。対照的に、DOT だけで処理した全土台試験体では、シロアリ食害も腐朽もまったく生じなかったが、処理5 (2% BAE+DDAC 外層処理) と処理6 (CCA 4 kg/m<sup>3</sup>) の1試験体ずつがそれぞれ2年目と4年目にごく軽度 (評価値9) の蟻害を蒙った。しかしながら、その後のシロアリ食害の進行は認められなかった。したがって、試験開始5年後の処理試験体の平均評価値は9.9以上であった。2種の地下シロアリが試験地には生息するが、蟻害の多くはイエシロアリによるものであった。

後述のハワイでの結果を併せて考慮すれば、シロアリの食害挙動は一定でなく、処理レベルの違い、外層あるいは全層処理の別、樹種の違いが食害度に直接的に反映されない散発的食害行動をとるようであった。シロアリに対して忌避効果がないホウ酸塩による処理木材の耐蟻性は、ホウ酸塩の食害性に依存しており、シロアリが一旦食害した後に、処理材への食害遅延や忌避を誘発し、さらなる食害を制限することによって発揮される<sup>20)</sup>。したがって、例外的な処理材の軽度の蟻害 (Table 3 参照。処理5および6の1本ずつ) はこのような食害挙動に起因するのであろう。

#### 3.3 PVC箱内の温湿度と腐朽の発生

PVC箱内の温度は鹿児島市の気温よりも約1°C、相対湿度は約10%高かった (Table 4)<sup>21)</sup>。箱内の温湿度下における木材の平衡含水率を算出したところ、年平均19%であった (Table 4)。しかしながら、夜間には相対湿度が100%に達し、PVC箱の蓋内面に生じた結露が平状になって、試験体上面に落ちていたことは明白であった<sup>21)</sup>。5ヶ年経過した現時点では材色の変化や溶出物の堆積がなく、試験体から

Table 2. Analyzed preservative retentions in test material.

Treatment	Penetration	Preservative retention (%BAE)	
		Mean	Range
Hem-fir			
Untreated		0	0-0
Borate 2%BAE*	Shell	2.9	1.1-5.4
Borate 3%BAE*	Shell	3.4	1.3-5.0
Borate 2%BAE*	Through	1.6	1.1-2.6
Borate 3%BAE*	Through	3.0	1.7-5.1
Borate 2%BAE+DDAC*	Shell	1.5	0.5-2.0
CCA (oxide) 4 kg/m <sup>3</sup> *	Shell	4.5	2.8-5.1
Untreated hinoki		0	0-0

\*: Target retention

Table 3. Progress in termite and decay ratings for 5-year exposure (1995-2000).

	Treatment			
	5: 2%BAE+DDAC shell	6: CCA 4 kg/m <sup>3</sup>	7: Untreated hem-fir	8: Untreated hinoki
Box 1	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	9-7-7-7-7 10-10-10-10-10	9-7-7-7-7 10-10-10-10-10
Box 2	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-7-7-7-7 10-10-10-10-9	7-4-4-4-4 10-10-10-10-10
Box 3	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-10-10-9-9 10-10-10-10-10	7-7-7-7-7 10-10-10-10-9	9-7-7-7-7 10-10-10-10-10
Box 4	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	9-7-4-4-4 10-10-10-10-9	9-7-7-7-7 10-10-10-10-10
Box 5	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	9-7-7-7-7 10-10-10-10-9	9-7-7-7-7 10-10-10-10-10
Box 6	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	9-7-7-7-4 10-10-10-10-9	9-7-7-7-4 10-10-10-10-9
Box 7	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	9-7-7-7-4 10-10-10-10-9	10-9-9-9-9 10-10-10-10-10
Box 8	10-9-9-9-9 10-10-10-10-10	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	9-7-7-7-7 10-10-10-10-10	10-10-10-9-7 10-10-10-10-10
Box 9	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-10-9-7-4 10-10-10-10-9	10-10-9-7-7 10-10-10-10-9
Box 10	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-10-10-10-10 10-10-10-10-10	10-10-10-10-7 10-10-10-10-10	10-10-4-4-4 10-10-10-10-10
Mean	10-9.9-9.9-9.9-9.9 10-10-10-10-10	10-10-10-9.9-9.9 10-10-10-10-10	9.1-7.6-7.2-7.0-5.8 10-10-10-10-9.3	9.2-7.8-7.1-6.8-6.3 10-10-10-10-9.8

Notes: Treatments 1-4 are omitted from the table because of no attack (i.e. ratings are all 10-10-10-10-10).  
Figures on the upper and lower lines in each box are for termite and decay rating, respectively.

Table 4. Temperature and relative humidity inside the test PVC box.

Month	Inside the PVC box		Kagoshima city <sup>29)</sup>		Calculated equilibrium moisture contents (%) of wood in the PVC box
	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	
January	8.4	86	7.2	71	18.9
February	8.2	87	8.3	70	19.3
March	12.9	85	11.4	69	18.3
April	15.0	84	16.4	73	17.8
May	21.6	83	20.1	74	17.1
June	25.7	88	23.4	79	19.2
July	29.3	88	27.4	78	18.9
August	29.8	87	27.9	77	18.4
September	27.2	86	25.1	76	18.1
October	21.7	87	20.0	71	18.9
November	16.6	91	14.5	72	21.3
December	8.2	87	9.2	72	19.3
Yearly mean	18.7	87	17.6	72	18.9

の DOT 溶脱の兆候は観察されなかったが、この現象が長期間続けば、DOT 溶脱を引き起こす原因になるかも知れない。1998年12月18日に各試験体の含水率を測定したところ、試験体上面および下面の平均含水率はそれぞれ39%と42%であった。すなわち、試験開始3年後には土台試験体の少なくとも表面では腐朽菌が生育できる含水率に達していた。大半の

試験体では、下面の含水率が上面のそれよりも高かった。湿潤状態が続いたために、無処理ヘムファー土台試験体には変色菌や表面汚染菌(かび)が発生し、また、断定はできなかったが腐朽に起因するであろうと思われる試験体表面の変化が認められたが、試験開始後4年間は腐朽を確認できなかった<sup>29)</sup>。しかし、5年目になって初めて無処理ヘムファー

土台試験体と無処理ヒノキ土台試験体に初期腐朽に関連する材表面の軟化が観察された。試験体の含水率は旧来の軸組工法住宅の土台と同等であり<sup>33)</sup>、腐朽の発生は当然の結果であった。2, 3の試験体では、1998年の調査時に含水率が60~70%に達しており、結露水と誘蛾杭からの水分移動の影響があったと推定された。

#### 3.4 試験地間の比較

ハワイでの結果の詳細は後刻報告する予定であるため、ここでは、2試験地間を簡単に比較するに止めたい。Table 5は、鹿児島とハワイでの4年間の結果を要約して示したものである。土台試験体を取めた箱間でのシロアリ食害の変動は大きい<sup>32,34,35)</sup>、ハワイにおけるシロアリ食害の方が鹿児島と比べ、処理の有無に関係なく速く、食害速度が安定していた。

ハワイでのシロアリ食害が激しい原因として、一年中気温が高いこととイエシロアリそのものの活性が高いことが挙げられる<sup>34,35)</sup>。イエシロアリの食害適温を検討した結果は、20~35°Cが食害適温であることを証左しており<sup>36,37)</sup>、鹿児島市の月平均気温が20°Cを下回る11月から4月末までは、シロアリの活動が抑制されるであろう。さらに、イエシロアリの木材食害度と温度との関係を室内実験で調べた山野は、最大食害度は35°Cで記録され、その程度は25°Cと20°Cの場合のそれぞれ2倍以上、4倍以上であったと報告している<sup>38)</sup>。これらの結果は、20°C以上の期間の長さがイエシロアリの活性を左右する重要な因子であることを裏付けているばかりでなく、木材食害のパラツキや木材摂食量の季節変動を説明できるであろう。アメリカ合衆国ルイジアナ州でのイエシ

ロアリに関する野外試験結果も、上述の傾向を支持しており、気温が30°Cを越える時期の木材食害度が最大であることを示した<sup>39)</sup>。

#### 4. 結 論

本研究によって以下の結論が得られた。

- 1) 本研究で採用した非接地・非暴露下での試験方法は、試験箱内の温湿度および土台試験体の含水率測定から在来軸組工法における土台の使用条件と同等以上の生物劣化が生じる環境であり、湿潤であっても保存有効成分の溶脱が生じない条件下における保存処理木材の耐蟻性評価に有効であった。耐朽性評価法としての有用性は、長期間のデータに基づいて判断すべきであろう。
- 2) 土台実大サイズのCCA処理土台試験体(吸収量4 kg/m<sup>3</sup>)もDOT処理土台試験体[吸収量2% (w/w) BAE]も地下シロアリによって表面をごく軽度にかじられはしたが、本研究の全処理は少なくとも5ヶ年間は土台をシロアリ食害から保護できた。
- 3) 供試ヒノキ土台試験体では辺材部から蟻害が生じ、心材部へと食害が進行し、また、初期腐朽の兆候である材表面の軟化は辺材部に限定されていたとはいえ、高耐久性材料として市販されているヒノキ土台の耐蟻性・耐朽性は本研究の全処理材に劣り、無処理ヘムファー土台と大差がなかった。
- 4) 無処理材ヘムファー土台試験体へのイエシロアリの加害度から判断すれば、ハワイでの食害の進行度は鹿児島約10倍であった。ハワイでの結果は、日本の場合の促進試験結果と解釈できるであろう。

Table 5. Comparison of termite damage between Kagoshima and Hawaii sites after 4 years.

Treatment	Penetration	Ratings for termite damage			
		Kagoshima <sup>32)</sup>		Hawaii <sup>35)</sup>	
		Mean	Range	Mean	Range
Hem-fir					
Untreated		7.0	10-4	0	0-0
Borate 2%BAE*	Shell	10	10-10	9.2	10-7
Borate 3%BAE*	Shell	10	10-10	9.7	10-9
Borate 2%BAE*	Through	10	10-10	9.8	10-9
Borate 3%BAE*	Through	10	10-10	9.7	10-9
Borate 2%BAE*+DDAC	Shell	9.9	10-9	9.3	10-7
CCA (oxidc) 4 kg/m <sup>3</sup> **	Shell	9.9	10-9	9.5	10-7
Reference material					
ACZA** 4 kg/m <sup>3</sup> ** Douglas fir (commercial product)	Shell	—	—	10	10-10
Untreated hinoki		6.8	9-4	—	—

\*: Target retention, \*\*: Ammoniacal copper zinc arsenate, —: Not tested.

## 文 献

- 1) Cockcroft, R., Levy, J. F.: *J. Inst. Wood Sci.* 6(3): 28-37 (1973).
- 2) Drysdale, J.A.: *The Int. Res. Group on Wood Preserv. Doc. No. IRG/WP 94-30037* (1994).
- 3) Grace, J.K.: Proc. 2nd Int. Conf. on Wood Protection with Diffusible Preservatives and Pesticides, Mobile, Alabama, 1997, pp. 85-92.
- 4) 角田邦夫: 木材保存 25(2), 2-12 (1999).
- 5) Greaves, II.: Proc. 1st Int. Conf. on Wood Protection with Diffusible Preservatives and Pesticides, Nashville, Tennessee, 1991, pp. 14-18.
- 6) Findlay, W.P.K.: *Pest Technology* 2(6), 124-127 (1959).
- 7) Williams, L.H.: Proc. 1st Int. Conf. on Wood Protection with Diffusible Preservatives, Nashville, Tennessee, 1990, pp. 29-34.
- 8) ボール・アイ・モリス, 木口 実 (訳): 木材保存 25(4), 2-12 (1999).
- 9) Tsunoda, K.: "High-performance utilization of wood for outdoor uses" (ed. by Y. Imamura), Press-Nct, Kyoto, 2001, pp. 113-129.
- 10) Tsunoda, K., Kirita, S., Takahashi, M.: Proc. 2nd Pacific Rim bio-based composites symposium, Vancouver, B. C., 1994, pp. 102-108.
- 11) Yalilikic, M.K., Yusuf, S., Yoshimura, T., Takahashi, M., Tsunoda, K.: Proc. 3rd Pacific Rim bio-based composites symposium, Kyoto, 1996, pp. 544-551.
- 12) Tsunoda, K.: *J. Wood. Sci.* 47, 149-153 (2001).
- 13) Kay, D., MacNulty, B.J.: *Mat. u. Org.* 3, 127-138 (1968).
- 14) Usher, M.B., Ocloo, J.K.: *Holzforschung* 29(4), 147-151 (1975).
- 15) Behr, E.A., Smith, V.K.: *Mat. u. Org.* 11, 109-120 (1976).
- 16) Behr, E.A., Smith, V.K.: *Mat. u. Org.* 14, 259-268 (1979).
- 17) Beal, R.H.: *For. Prod. J.* 29(12), 29-34 (1979).
- 18) Carter, F.L., Beal, R.H.: *Int. J. Wood Preserv.* 2(4), 185-191 (1982).
- 19) Ocloo, J.K.: *Int. J. Wood Preserv.* 3(1), 31-38 (1983).
- 20) Amburgey, T.L., Beiter, C.B., Parikh, S.V.: *Proc. Am. Wood Preserv. Assn.* 89, 61-83 (1993).
- 21) Peters, B.C., Allen, P.J.: *Australian Forestry* 56(3), 246-256 (1993).
- 22) Kennedy, M.J., Creffield, J.W., Eldridge, R. H., Peters, B.C.: *The Int. Res. Group on Wood Preserv. Doc. No. IRG/WP 96-10147* (1996).
- 23) Peters, B.C., Fitzgerald, C.J.: *Mat. u. Org.* 32, 41-66 (1998).
- 24) Preston, A.F., Jin, L., Archer, K.J.: *Proc. Am. Wood Preserv. Assn.* 92, 205-220 (1996).
- 25) Grace, J.K., Tsunoda, K., Byrne, A., Morris, P.I.: Proc. Wood Preservation in the 90's and beyond, Savannah, Georgia, 1994, p. 240 (1995).
- 26) Tsunoda, K., Adachi, A., T. Yoshimura, Byrne, T., Morris, P.I., Grace, J.K.: *The Int. Res. Group on Wood Preserv. Doc. No. IRG/WP 98-10255* (1998).
- 27) Morris, P.I., Byrne, A., Minchin, D.R.: *For. Prod. J.* 46(3): 51-55 (1996).
- 28) Winters, E.T.: Unpublished Bulletin, United States Borax and Chemical Corp., Los Angeles, Calif. 2pp. (1965).
- 29) 理科年表: 丸善, Tokyo, 1996, p. 1043.
- 30) Su, N.-Y., Tamashiro, M., Yates, J.R., Haverty, M.I.: *J. Econ. Entomol.* 75, 188-193 (1982).
- 31) Dirol, D., Vergnaud J.M.: *The Int. Res. Group on Wood Preserv. Doc. No. IRG/WP 1543* (1992).
- 32) Tsunoda, K., Adachi, A., Yoshimura, T., Byrne, T., Morris, P.I., Grace, J.K.: *The Int. Res. Group on Wood Preserv. Doc. No. IRG/WP 2000-30239* (2000).
- 33) Tanaka, T.: *Mokuzai Kogyo* 39, 604-699 (1984).
- 34) Grace, J.K., Oshiro, R.J., Byrne, T., Morris, P.I., Tsunoda, K.: *The Int. Res. Group on Wood Preserv. Doc. No. IRG/WP 2000-30236* (2000).
- 35) Grace, J.K., Oshiro, R.J., Byrne, T., Morris,

- P.I., Tsunoda, K.: *The Int. Res. Group on Wood Preserv. Doc. No. IRG/WP 2001-30265* (2001).
- 36) 中島 茂, 森 八郎: "しろありの知識", グリーン・エージ, 東京, 1961, p. 346
- 37) 森本 桂: "シロアリと防除対策", (社)日本しろあり対策協会, 東京, 2000, pp. 1-126.
- 38) 山野勝次: しろあり 37, 9-15 (1979).
- 39) Delaplane, K.S., Saxton, A.M., LaFage, J.P.: *Am. Midl. Nat.* 125, 222-230 (1991).