

ホウ酸塩処理木材と超長期住宅

1. ホウ酸塩とは

ホウ酸塩は、ホウ素と酸素を主要元素とする無機化合物の総称です。市販されているホウ酸塩は、砂漠の鉱脈から掘り出した鉱石を精製したものです。ホウ酸塩の主な用途は、ガラス繊維、ガラス、セラミックス、洗剤、肥料、化粧品、医薬などの原料です。

ホウ酸塩は地上のあらゆる所に存在します。土壌にはホウ素に換算して3-4 ppm、海水には4.5 ppm、淡水には0.01ppmのホウ酸塩が含まれています。

ホウ素は、人間が健康を維持する上で必須で、成人は一日1-3mgのホウ素が必要です。ホウ素は代謝や骨の健康、脳の機能向上に役立ちます。今日では、ホウ素不足を補うサプリメントも販売されています。

ホウ素は植物にとって必須元素で、特に野菜や果実の生育に欠かせません。世界で肥料として使用されるホウ酸塩は年間6万トンで、毎年4%の割合で増加しています。

2. 木材保存剤としてのホウ酸塩

ホウ酸塩は、動物の細胞内ではホウ酸 (H_3BO_3) として存在します。このホウ酸濃度が高まると、栄養分をエネルギーに変える反応が阻害され、動物は餓死します。シロアリ、ヒラタキクイムシ等がホウ酸塩を含む木材を摂食すると、細胞中のホウ酸塩濃度が高まり死ぬことになります。また、ホウ酸塩処理した木材中に産み付けたキクイムシの卵は孵化率が低下します。腐朽菌の場合は、ホウ酸塩が細胞膜を通して細胞内へ拡散し菌を死滅させます。

哺乳動物は例外です。過剰に摂取したホウ酸塩は、腎臓の働きで体外へ排出されますので、哺乳類に対するホウ酸塩の毒性は微弱です。

ホウ酸塩は人、犬、猫など哺乳動物には安全ですが、シロアリ、キクイムシ、木材腐朽菌等の木材劣化生物に対し強い毒性を持つ理想的な木材保存剤です。木材保存剤としては、主に八ホウ酸二ナトリウム四水和物 (DOT) が使用されています。

ホウ酸塩を含浸した木材を木材劣化生物に与えると、ホウ酸塩の濃度が高くなるにつれて劣化生物は木材を加害しなくなります。劣化生物が加害しなくなる最低限のホウ酸塩濃度を毒性閾値といいます。表1は、主な木材劣化生物に対するホウ酸塩の毒性閾値の値です。表から明らかなように、木材1立方メートル中にホウ酸に換算して3.0kg以上のホウ酸塩が注入されれば、この木材は全ての木材劣化生物から保護されることになります。

木材のDOT処理

木材をDOTで処理する最良の方法は、製材直後の生材にDOT水溶液を加圧注入する方法です。加圧注入では、生の製材を注入缶に装填し、真空に引いた後でDOT水溶液を満たし、10気圧程度加圧して薬液を木材中に圧入します。ついで薬液をタンクに戻し、処理した木材を取り出し、防水シートで包み室温で2週間ほど養生します。この養生で、表層

表1 ホウ酸塩の毒性閾値

木材劣化生物	毒性閾値 (kg/m ³)	
	ホウ酸換算	DOT
イエシロアリ	3.0	2.5
ヤマトシロアリ	<3.0	<2.5
腐朽菌	1.0~1.5	0.8~1.2
食材甲虫	1.2	1.0

部に注入されたDOTは、水を媒体として製材内部へ拡散します。

加圧注入の代わりに、生材をホウ酸塩の濃厚な水溶液に浸漬（どぶ漬け）することもあります。この方法は設備投資も小さく、含水率の高いスギ材の処理に特に有効です。

写真3の左はインサイジングした4寸角のベイツガにCCAを加圧注入したもの、右はDOTをインサイジングなしで加圧注入・養生拡散した断面です。浸透性ではDOTが遙かにすぐれています。生材のDOT処理は、長い養生期間が欠点でしたが、最近の研究では、高温蒸気の使用で、養生期間は大幅に短縮できることが明らかになりました。



写真1 浸透性の比較

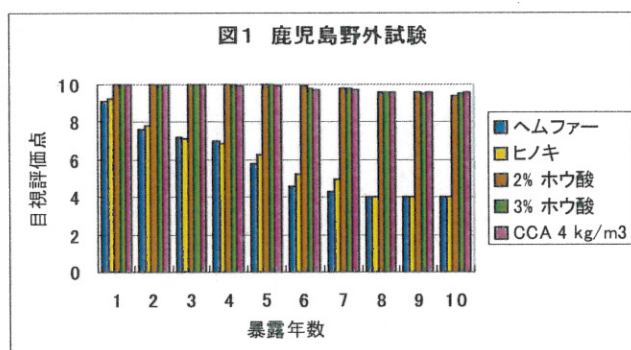
野外試験

保存処木材の耐久性は、最終的には野外試験で確認します。野外試験では、試験体を実際の使用条件に近い条件で劣化生物に暴露します。

例として、鹿児島県とハワイで10年にわたり実施された日・米・カナダ協同の野外試験を紹介します。試験場は、シロアリの多い砂地の林です。種々の条件でDOT処理した土台寸法材をコンクリートブロック上に置き、誘蟻杭を打ち込んで土中のシロアリを試験体に誘います。比較用未処理材や試験



写真2 試験体の配置



に誘います。比較用未処理材や試験

体を写真2のように並べ、全体を箱で覆って放置します。図1は試験結果です。グラフの縦軸は、試験体を目視評価した平均点です。10点は食害ゼロ、0点は完全に食害された場合です。横軸は、暴露年数です。DOT処

理した試験体は結露などで含水率50%に達しましたが、DOTの溶脱は見られず、また、10年間の暴露で、ほとんど食害されません。これに対し未処理のヒノキやヘムファーは厳しく食害されています。ホウ酸換算2%および3%処理材は、CCA 4 kg/m³処理と同等の効果が確認されました。

ホウ酸塩の溶脱

ホウ酸塩処理した木材中では、ホウ酸塩は固定されていないので、条件によっては水に溶解し、流失する可能性があります。これを溶脱といいます。溶脱は水溶性保存剤の欠陥として誇張されているくらいがあります。1950年代からの実績や研究を通して、次のような事実が明らかになりました。

- (イ) DOT処理木材が建設期間中降雨に曝された程度では、溶脱は無視できる。
- (ロ) 処理木材が土壤に接触せず、雨が掛からない条件で使用するかぎり、溶脱は起こらない。
- (ハ) 処理土台が洪水で4、5回水没した程度では、防腐・防蟻性能の低下は無視できる。
- (ニ) 結露で溶脱は起こらない。

3. なぜホウ酸塩処理か？

木材保存剤は、ACQや銅アゾールのような固着型保存剤とホウ酸塩に代表される拡散型保存剤に大別されます。わが国では、これまで固着型保存剤だけが認定されてきましたが、2008年2月にホウ酸塩Timborが認定され、木材保存業界は新時代に突入しました。表2にホウ酸塩保存剤の代表的な特徴を

まとめました。

ホウ酸塩は、哺乳動物に対する毒性が微弱な天然の鉱物で、健康、安全が要求される住宅に最適です。

また、処理条件を選べば、土台寸法材を芯部まで処理できます。高々10mmの浸透長しか得られない固着型保存剤との大きな差です。

木造住宅に100年の保証をつけるには、最低限20mmの浸透長が必要といわれます。固着型保存剤では不可能ですが、ホウ酸塩なら極めて容易です。ホウ酸塩処理が木造住宅の耐久性向上に有効な第一の理由は、浸透長の大きさにあります。

DOT処理木材は金属腐食性が低いため、あらゆる接合金具がDOT処理木材に使用できます。在来工法でも他種類の金具を使用する今日、これは大きなメリットです。

4. DOT処理で住宅の耐久性を高めた事例

A. ニュージーランド

ニュージーランドでは19世紀半ば、住宅建設用材が不足し、紙パルプ用に植林したラジアータパインを建材として使用せざるを得なくなりました。ラジアータパインの辺材はシバンムシなどに攻撃されやすいことが分かっていたので、行政は、ラジアータパインを建材に使う場合、①ホウ酸塩処理を行うこと、②非接地・非暴露の使用条件を守ることを義務づけました。

この行政判断の正しさは、その後の実績で証明されました。毎年40万立米がDOT処理され、約2万棟の住宅が建設されましたが、1992年のレポートは、非接地・被暴露の原則を守った場合の溶脱事故例は皆無だったと報告しています。

ホウ酸塩は、今日、住宅木部の保存処理に使用されている保存剤のなかで最も古い歴史を持っています。

B. ハワイ

ハワイでは、アジアから持ち込まれたイエシロアリが猛威をふるった結果、対策として1980年代に、木造住宅全構造材の防蟻処理が義務づけられました。はじめは、CCA処理が中心でしたが、1992年にDOT処理材が参入しました。現在、DOT処理剤のシェアは90%以上といわれます。

写真4は、ホノルル市の建設現場のものです。写真に見える木材や構造合板は、すべてDOT処理してあります。全構造材をホウ酸塩処理する方式は、今日、米国のメキシコ湾沿岸を中心に、イエシロアリ対策として普及が進んでいます。

表2 木材保存剤としてのホウ酸塩

- ・ 安全で環境に優しい
- ・ シロアリ、キクイムシ、腐朽菌、カビに有効
- ・ 無色無臭（不揮発性）でVOCと無関係
- ・ 難注入材を中心部まで処理できる（拡散）
- ・ 金属を腐食しない
- ・ 非接地で雨から保護された用途に適する



写真3 1950年代に建設されたニュージーランドの住宅



写真4 ハワイの全構造材ホウ酸塩処理住宅の建設現場

米国では新築住宅の防蟻処理の主流は土壌処理と土台（sill plate）の加圧注入処理ですが、土台の約90%はホウ酸塩処理木材を使用しています。

5 日本の住宅は何故短命なのか？

国土交通省住宅局は2002年に長寿命木造住宅整備指針を発表しています。この指針は、長寿命木造住宅が満たすべき条件として、① 継承性・持続性の確保、② 物理的長期耐用性の確保、③ 維持保全性・更新の容易性の確保、④ 可変性の確保、⑤ その他（環境問題への配慮）の5項目を挙げています。

5項目中、物理的長期耐久性の確保は、構造材料、特に木材の劣化に関係しています。日本の木造住宅建て替え周期が外国と比較して異常に短いことはよく知られています。原因を一言でいえば、木材劣化対策が遅れていることです。以下、具体的例について説明します。

（1）耐久性樹種の過大評価

建築法規では、土台は加圧注入処理が必要ですが、ヒノキやヒバは耐久性樹種として未処理材の使用が許されています。しかし、ヒノキやヒバの腐朽、蟻害は研究報告で紹介され、建築関係者の間ではよく知られた事実です。アメリカカンザイシロアリは、日本の樹種中、ヒノキが好物ともいわれます。

（2）合成殺虫剤の誤用

建築基準法は、蟻害や腐朽の恐れがある地上1メートル以内の構造材の保存処理を要求しています。一般に土台は加圧注入処理されますが、土台以外の床組や外壁構造材の防蟻処理には合成殺虫剤をベースとした表面処理剤が使用されています。合成殺虫剤は、農薬向けに開発されたものが殆どで、効果は5年で消滅します。建築基準法の趣旨に沿うためには、住宅の外壁を5年ごとに開き、構造材を再処理する必要があります。しかし、再処理は費用、日常生活への支障などから殆ど実施されていません。多くの住宅で、外壁下部は、新築後5年で無防備になります。

合成殺虫剤系の木部処理剤は、健康被害などの理由で、米国では禁止されています。

（3）固着型保存剤の限界

日本では、従来、固着型保存剤だけが認可されてきました。固着型保存剤は加圧注入しても10mm程度しか木材中に浸透しません。このため、柱が太くなるほど内部の未処理部分の比率が大きくなります。学識経験者の間では、木材を100年保たせるためには、最小限20mmの浸透長が必要と考えられています。この程度の浸透長は、ホウ酸塩では容易です。木材保存協会は2008年2月にホウ酸塩Timborを加圧処理用木材保存剤として認定しました。認定は、超長期住宅の実現に役立つものと思われます。

（4）住宅の断熱化と高気密化

省エネルギー住宅の普及に伴い、居住空間と外界を仕切る床、外壁、屋根等のいわゆるエンベロップの気密化、断熱化が進んでいます。この結果、事故が起これば、床、外壁、屋根のどこにでも結露する可能性が出てきました。防腐防蟻処理は、エンベロップ全体に要求されます。今後の緊急課題です。

（5）新規劣化生物の出現

アメリカカンザイシロアリに代表される外来種の活動、ノンフォルム化と関係するといわれるヒラタキクイムシの増加、地球温暖化によるシロアリ生息地域の拡大など、200年後には深刻な問題となる可能性があります。特にアメリカカンザイシロアリの被害は各地で深刻化しています。

200 年住宅を設計する場合には、上記の問題点を理解する必要があります。

6 超長期住宅の建て方

木造住宅に長期の耐久性を持たせるためにはいくつかの条件があります。第一は木質部材を乾燥状態に保つことです。腐朽菌やシロアリは、乾燥した木材を嫌います。第2は、地下のシロアリが住宅の木質部材に近づけないような完全なバリアーを設けます。第三は、木材が吸湿し、あるいはバリアーが破られる事態に備えて、木質部材を防腐・防蟻処理しておくことです。さらに、設計の段階で、日常の点検を容易にする工夫をしておくことも大切です。また、居住空間と外部の境界（エンベロープ）での結露を防止するため、気密設計および断熱材の選択、施工も重要です。

（1）木質部材の吸湿防止対策

床組の吸湿を最小限にするため、基礎工事は、品確法劣化対策等級3に適合する基礎、床下設計とします。特に床下は、厚さ 60mm 以上のコンクリートで覆い、地下からのシロアリ湿気を防ぎます。換気口や基礎パッキングで床下の十分な換気を確保し、床（基礎）を高くし床下点検を容易にします。

（2）バリアーの形成

床下をコンクリートで覆うだけでは、バリアーは不完全です。シロアリは、水道管、ガス管、排水管などのパイプの導入孔とコンクリートの間の隙間やコンクリートの割れ目を通して床下に侵入します。これらの進入経路を塞ぐ手段がいろいろ提案されていますので、適切なものを選び、施工して下さい。

土壌の表層に殺虫剤液を散布する土壌処理法は、古くから行われていますが、最近の薬剤は分解しやすく、効果の持続が問題です。5年毎にコンクリートに穿孔し、ポンプで土壌処理剤を注入、再処理するのは費用が高くなります。また、床下のコンクリートの上に直接土壌処理剤を散布するのは危険です。

ベイト法は、最近、環境にやさしく、安全なバリアー形成法として認定されました。200年間の効果持続性を満足する手法として注目されます。

（3）木部の防腐・防蟻処理

全構造材をDOT処理することが理想ですが、1階の構造材だけの処理でも高い効果が期待できます。この場合、2階の外壁や屋根組には15%DOT水溶液を散布し、カンザイシロアリに備えることをお奨めします。おそらく100年後にはアメリカカンザイシロアリが日本に定着しています。カンザイシロアリには、駆除より予防が効果的かつ経済的です。

（4）点検を容易にする

床下に容易に入れるような入り口を確保します。また、床下作業を容易にするため、布基礎に大きめの切り込みをつけることも大切です。

（5）断熱材

住宅の気密性と断熱性が高まると、断熱材に結露しカビが発生し易くなります。カビは孢子で室内環境を汚染することが知られています。湿気を帯びた断熱材を素早く乾燥させる壁構造を工夫するとともに、吸湿しても黴が発生しにくい断熱材を選択することも大切です。このような観点から、セルロースファイバーは最も優れた断熱材といえます。

以上

2008. 4. 7