

過熱蒸気処理木材の耐朽性と耐蟻性—野外杭試験の結果から—

伊藤 貴文

Decay and termite durability of wood treated by superheated steam Obtaining data from stake tests

Takafumi ITOH

過熱蒸気処理の条件が耐朽性、耐蟻性に及ぼす影響を調べるために、スギ辺材試験杭を供試材として、180～260℃で2～24時間処理を行い、野外杭試験を実施した。室内ビン試験と同様、野外杭試験でも過熱蒸気処理に伴い生じる重量減少率が高いほど、腐朽劣化の程度は緩和され、その重量減少率が15%を超えた場合には、6年経過時点で腐朽劣化は観察されていない。ヤマトシロアリに対する耐蟻性についても同様の結果が観察された。

樹種による過熱蒸気処理の効果の差異を調べるためには、スギの辺材と心材のほか、ヒノキ、ベイマツ、ベイツガとアルダー心材の試験杭を用いて、220℃および240℃で8時間の過熱蒸気処理を行った。野外杭試験は6年を経過したが、いずれの樹種でも無処理の試験杭は腐朽被害が激しく、240℃で処理した試験杭では被害がないかあっても軽微であり、過熱蒸気処理の効果が認められた。イエシロアリに対する耐蟻性評価においても、明らかに過熱蒸気処理による効果が認められたが、防蟻薬剤のような確実な効果は期待できない。

1. はじめに

既報¹⁾でも触れたとおり、木材の耐朽性や寸法安定性を向上させる方法として、不活性ガス中で200℃以上の温度をかけて行う熱処理は、薬剤を使わない改質技術として、近年注目されるようになってきている。ヨーロッパ諸国での開発の歴史は古く、1990年代にフィンランドやオランダなどで研究が始められ、サーモウッド、Platoウッドなどの商品名で既に販売されている^{2,4)}。我が国ではサーモウッドの技術導入のほか、国内で独自開発したエステック処理による熱処理木材が商品化されている。熱処理に関する論文もいくつかあるが、報告は断片的であることおよび、熱処理により付与される物性については論文により記述内容に差が見られる⁵⁻¹⁰⁾。これらの理由から、著者は、正確な温度制御ができ、かつ処理槽内の温度ムラが少ない過熱蒸気処理装置を設計、導入して、熱処理時の材内温度、処理時間、樹種と発現する耐朽性等の物性との関係を調べた。既報¹⁾では、耐朽性について室内ビン試験を実施した結果について報告をした。それによると、過熱蒸気処理に伴う重量減少率が20%程度に達したとき、木材保存剤の基準である抗菌操作時の重量減少率3%以下を満たす高い耐朽性が発現した。そこで本報では、熱処理木材を

実際に野外で使用したときの耐朽性や耐蟻性について検討するために野外杭試験を実施した結果、いくつかの重要な知見を得たので報告する。

2. 材料と方法

2.1 材料

2.1.1 過熱蒸気処理の条件と耐朽性・耐蟻性との関係

過熱蒸気処理の条件が野外における耐朽性や耐蟻性に及ぼす影響を見るための試験には、スギ (*Cryptomeria japonica*) の辺材を用い、人工乾燥により含水率を10%程度に整えた状態で、以下に示す形状に切削加工した。

主に耐朽性を評価するための試験には、木口面の形状を30mm角、繊維方向を450mmに切削加工した試験杭を11本用いた。

一方、主に耐蟻性を評価するための試験には、木口面の形状を30mm角、繊維方向を350mmに加工後、一方の先端50mmを角錐状に尖らせた試験杭を6本用いた。JIS K1571では耐朽性評価の試験杭の長さは600mmになっているが、導入した過熱蒸気処理装置の処理槽の最大寸法(奥行き)が約500mmであったので、上述のとおり試験杭の長さを450mmにした。

2.1.2 樹種による過熱蒸気処理の効果の差違

過熱蒸気処理の効果が樹種により異なるかどうかについて検討するための試験には、スギの辺材と心材のほか、ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)、ベイマツ (*Pseudotsuga menziesii*)、ペイツガ (*Tsuga heterophylla*) とアルダー (*Alnus rubra*) の心材を用いた。材料の調製方法は2.1.1と同様であった。

2.2 方法

2.2.1 過熱蒸気処理

過熱蒸気処理を行う前に105℃の送風乾燥機で試験杭を全乾状態になるまで乾燥させた。内寸約400mm(幅)×400mm(高さ)×500mm(奥行き)の処理槽を持つパッチ式の過熱蒸気処理装置を用い、それぞれの試験体が密着しないように栈木を用いて槽内に並べた。過熱蒸気処理の条件と耐朽性・耐蟻性との関係を調べるためのスギ辺材試験杭にあつては、材温を180~260℃、所定温度に達した後の維持時間を2~24時間として処理を行った。一方、樹種による過熱蒸気処理の効果の差違を評価するための試験杭にあつては、材温を220℃ならびに240℃、温度維持時間を8時間とした。いずれの場合も余剰の試験杭1本に熱電対を差し込み、試験体中央部の温度を測定することにより温度管理を行った。450mmの試験杭11本と温度測定用の杭1本を、1段に6本ずつ等間隔に並べ、栈木を用いて2段に積み、その上に350mmの試験杭6本を並べた。温度測定用の杭は2段目の中央付近に置いた。所定時間経過後には、過熱蒸気ヒーターを切り、生蒸気を槽内に入れ、試験体の温度が150℃以下になるまで放置後、取り出した。その後試験杭を105℃の送風式乾燥機に移して3日間静置し、全乾状態での重量測定を行い、過熱蒸気処理に伴う重量減少率を求めた。

2.2.2 野外杭試験

2.2.2.1 過熱蒸気処理の条件と耐朽性・耐蟻性との関係

主に耐朽性を評価するための長さ450mmの試験杭は、当センターの明日香試験地(奈良県高市郡明日香村川原)に埋設した。試験杭の半分が地中に埋まるように、平成20年3月に埋設作業を行い、約1年経過ごとに、JIS K1571の基準に基づき0(被害なし)~5(崩壊)の6段階で目視評価を行い、その平均値(平均腐朽度)を求めた。同時にヤマトシロアリによる蟻害についてもJIS K1571を参考にして評価し、食害指数を求めた。

また、耐蟻性を評価するための長さ350mmの試験杭は、イエシロアリの生息が確認されている和歌山県日高郡美浜町内の煙樹ヶ浜試験地に埋設した。試験杭は頭部約50mmが地上に出るように、平成20年3月に埋設作業を行った後、1年と2年経過時にシロアリの食害による被

害度(食害度)をJIS K1571の基準に基づき0、10、30、50と100の5段階で評価を行い、食害指数を求めた。

2.2.2.2 樹種による過熱蒸気処理の効果の差違

主に耐朽性を評価するための長さ450mmの試験杭は、2.2.2.1のスギ辺材試験杭と同様、当センターの明日香試験地(奈良県高市郡明日香村川原)に、平成20年5月に埋設して、目視による評価で平均腐朽度を求めた。併せてヤマトシロアリによる食害指数も求めた。

一方、主に耐蟻性を評価するための試験は、イエシロアリの生息が確認されている京都大学生存圏研究所の生活・森林圏シミュレーションフィールド(LSF)ならびに(独)森林総合研究所の吹上試験地(いずれも鹿児島県日置市今田)で実施した。試験杭は頭部約50mmが地上に出るように、平成20年7月に埋設作業を行った後、1年経過ごとに食害度をJIS K1571の基準に基づき0、10、30、50と100の5段階で評価して、食害指数を求めた。同時に腐朽度を0~5の6段階で評価し、平均腐朽度を求めた。

3. 結果と考察

3.1 過熱蒸気処理の条件と耐朽性・耐蟻性との関係

過熱蒸気処理に伴う重量減少率を表1に示す。450mmの試験杭と350mmのそれとは若干の差が認められたが、いずれも180℃での8時間処理の重量減少率が最も低く約2%、260℃での4時間処理のそれが最も高く18%余りであった。

図1には明日香試験地における6年2か月経過後の平均腐朽度を棒グラフで、また、耐用年数とされる「平均腐朽度が2.5」を超えたものにあつては、2.5に達するまでに要した年数を数字で示す。現時点で腐朽被害が観察されていないのは240℃・8時間と260℃・2時間ならびに4時間の処理試験杭であった。また、現時点で平均腐朽度が2.5を超えていないのは、それらの他、240℃2時間と4時間の杭であった。平均腐朽が2.5を超える期間については、無処理杭が2年弱であったのに対して、過熱蒸気処理を行うことでその期間は伸びたが、やはり処理条件が厳しいほど顕著な伸びを示した。

既報¹⁾で報告したとおり、室内ビン試験での耐朽性評価において、オオウズラタケおよびカワラタケによる抗菌操作時の重量減少率と、過熱蒸気処理に伴う重量減少率との間には一定の関係が認められ、スギ辺材では過熱蒸気処理で18%以上の重量減少率があった場合、抗菌操作時の重量減少率は3%以下になり、木材保存剤の性能基準を満たした。そこで、過熱蒸気処理をしたスギ辺材

試験杭の明日香試験地における約4年2か月経過時点および6年2か月経過後での平均腐朽度と過熱蒸気処理に伴う重量減少率との関係を図2に示す。いずれの時期においても、室内ビン試験の結果と同様で、両者の間には一定の関係が認められ、過熱蒸気処理に伴う重量減少率が高いほど、平均腐朽度の値は低く、重量減少率が15%以上の杭では、6年2か月経過時点での腐朽被害は観察されていない。

図3には、過熱蒸気処理をしたスギ辺材試験杭の明日香試験地における約4年2か月経過時点および6年2か月経過後でのヤマトシロアリの食害指数と、過熱蒸気処理に伴う重量減少率との関係を示す。過熱蒸気処理に伴う重量減少率が高いほど、ヤマトシロアリに対する耐蟻性も高くなることが分かる。

過熱蒸気処理をしたスギ辺材試験杭の煙樹ヶ浜試験地におけるイエシロアリに対する耐蟻性評価結果を図4に示す。これは設置期間2年間の結果であるが、過熱蒸気処理に伴う重量減少率と食害指数との間には明確な関係を示すことができなかつた。煙樹ヶ浜試験地はシロアリ活性が高い試験地であり、スギ辺材試験杭の埋設に当たっても、活性を確認したが、試験期間中、何らかの理由で活性が低下し、その結果として、無処理および過熱蒸気処理の程度が浅い試験杭にあつてはシロアリの食害よりも前に腐朽被害が発生したことが原因であると考えられる。なお、2年で終了したのは、JIS K 1571において、耐蟻性評価の野外試験の期間を2年と定めていることと、上述したとおり耐朽性が低い無処理等の試験杭に顕著な腐朽が発生して、試験の続行ができなくなったためである。一方で、過熱蒸気処理の条件を厳しくして15%を超

表1 スギ辺材試験杭の過熱蒸気処理条件と重量減少率

過熱処理条件		試験杭の種類	
		耐朽性評価用 (450mm)	耐蟻性評価用 (350mm)
180℃	8時間	2.1	1.7
	24時間	2.8	2.4
200℃	2時間	2.5	2.3
	4時間	2.8	2.7
	8時間	4.8	4.1
	24時間	6.7	6.1
220℃	2時間	4.5	4.4
	4時間	6.6	5.8
	8時間	9.8	8.5
240℃	2時間	10.0	8.9
	4時間	13.7	12.3
	8時間	15.2	15.1
260℃	2時間	14.4	14.5
	4時間	18.6	18.4

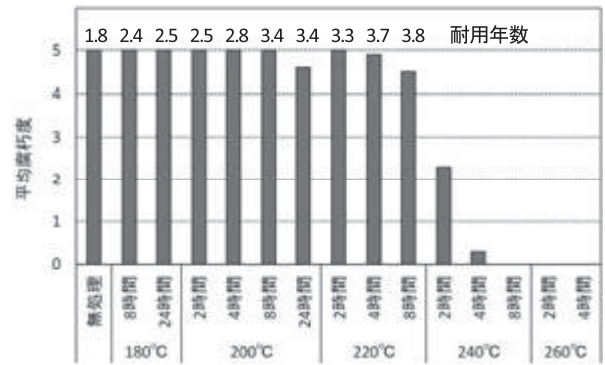


図1 種々条件で過熱蒸気処理したスギ辺材試験杭の平均腐朽度と耐用年数 6年2か月経過時 明日香試験地

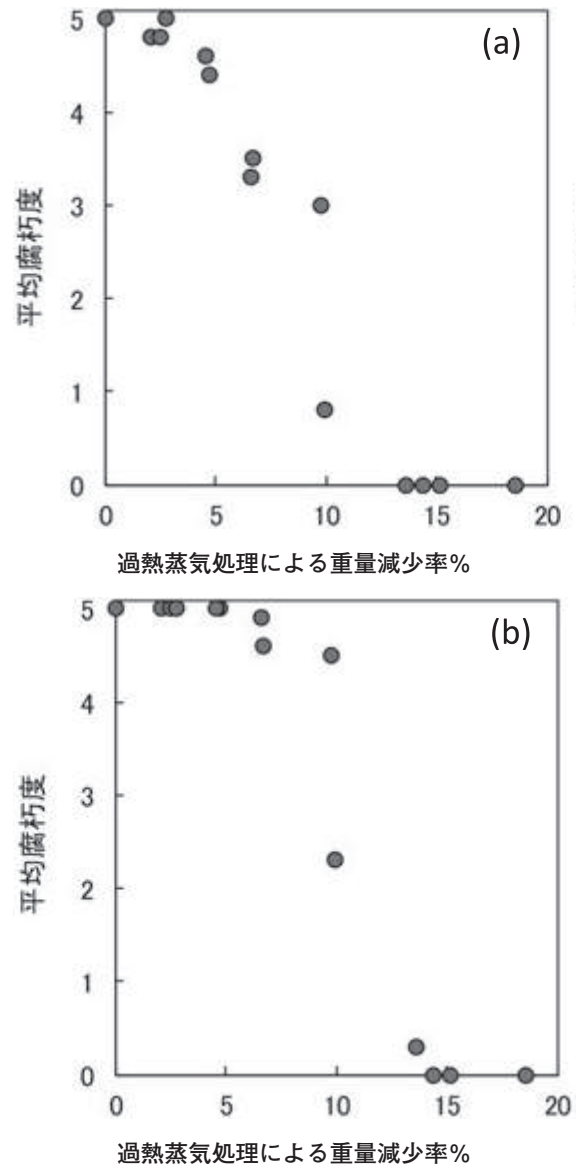


図2 過熱蒸気処理に伴うスギ辺材試験杭の重量減少率と平均腐朽度 (a) 4年2か月、(b) 6年2か月経過時 明日香試験地

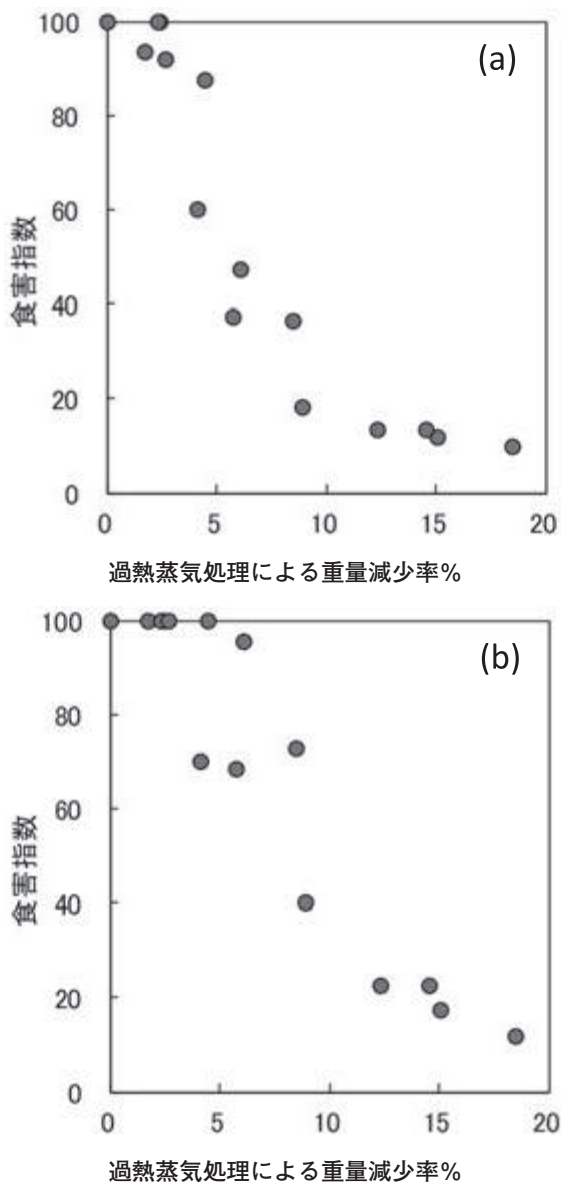


図3 過熱蒸気処理に伴うスギ辺材試験杭の重量減少率とヤマトシロアリによる食害指数 (a) 4年2カ月、(b) 6年2カ月経過時 明日香試験地

える重量減少率が生じた場合でも、2年間での食害指数を10以下にすることができなかつたことは事実であり、過熱蒸気処理だけでは防蟻薬剤並みの効果は期待できないことも明らかとなった。

3.2 樹種による過熱蒸気処理の効果の差違

過熱蒸気処理に伴う重量減少率を表2に示す。上段に並べた耐蟻性評価用の350mmの試験杭の重量減少率が下段に並べた耐朽性評価用の450mmの試験杭よりも3~4%重量減少率が低くなつた樹種もあつたが原因は不明である。しかし、おおむね220℃8時間の処理では10%、240℃8時間の処理では15~20%の重量減少率が見られた。スギの辺材よりも心材で重量減少率が明らかに

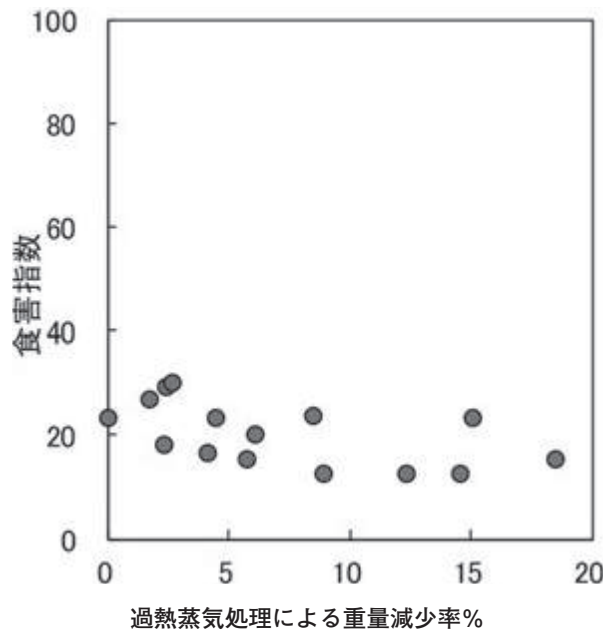


図4 過熱蒸気処理に伴うスギ辺材試験杭の重量減少率とイエシロアリによる食害指数 2年経過時 煙ヶ浜試験地

高くなつたことや、ヒノキの心材において、他の樹種よりも重量減少率が低くなつたことは、20×20×10mmの小試験体を処理に供した既報¹⁾と同様であつた。

図5に明日香試験地における6年経過後の平均腐朽度を示す。樹種による差はいくらか見られるが、無処理試験杭の平均腐朽度はいずれの樹種でも4以上となつた。一方、240℃・8時間の処理をした試験杭の平均腐朽度は、最も劣化が進んでいるアルダーでも1.5であり、耐用年数の基準とされる2.5以下であつた。現時点で樹種による差が最も生じているのが220℃・8時間の処理であり、素材の耐朽性が極めて低いアルダーでは平均腐朽度が4.9、スギの辺材では4.5であつたのに対して、素材の耐朽性が高いヒノキの心材では1.5、中程度のスギ心材では0.5であつた。素材自体では耐朽性はヒノキ心材>スギ心材であるが、220℃・8時間の処理では逆転した。このような現象は、小試験体を用いた室内ビン試験でも見られており¹⁾、その理由は明らかではないが、スギ心材は過熱蒸気処理により耐朽性が付与しやすい樹種と言える。

図6は主に耐蟻性を評価するために実施した吹上試験地での長さ350mmの試験杭の平均腐朽度(6年5カ月経過時)を示す。細かな差異は見られるが、傾向としては明日香試験地の結果とほぼ同様であつた。

図7は吹上試験地における6年5カ月経過時の食害指数を示す。アルダーを除いて無処理試験杭の食害指数は50

表2 樹種ごとの過熱蒸気処理に伴う重量減少率

樹種	過熱処理条件	試験杭の種類	
		耐朽性評価用 (450mm)	耐蟻性評価用 (350mm)
スギ辺材	220℃・8H	9.8	8.5
	240℃・8H	15.2	15.1
スギ心材	220℃・8H	12.7	9.9
	240℃・8H	20.0	16.8
ヒノキ心材	220℃・8H	11.3	8.5
	240℃・8H	17.7	14.1
ベイツ心材	220℃・8H	12.2	9.8
	240℃・8H	19.4	17.6
ベイツガ心材	220℃・8H	12.8	11.2
	240℃・8H	21.6	17.7
アルダー心材	220℃・8H	13.7	14.6
	240℃・8H	20.4	20.7

を超えたのに対して、過熱蒸気処理をすると食害指数は低くなり、それは過熱蒸気処理の条件が厳しい240℃・8時間の処理で顕著であった。ちなみに、アルダーの無処理試験杭は1年経過時において既に著しい腐朽劣化が進行したために、蟻害の発生が見られなかった。ちなみに図8は6年5カ月経過時の試験杭の外観であるが、腐朽度が5または食害度が100に達した時点で試験杭は適宜廃棄処分としたため、耐蟻性あるいは耐朽性に乏しい無処理試験杭を中心に残存している本数が減少している。一方、過熱蒸気処理による耐朽性と耐蟻性の向上は明らかで、

特に240℃で8時間の処理では耐用年数に至っていない試験杭が大半であった。

ところで、2年経過時で食害指数が10以下であったのは、スギの辺材と心材、ヒノキとベイツガの心材では220℃・8時間と240℃・8時間で過熱蒸気処理をした試験杭、ベイツでは240℃・8時間の処理をした試験杭であった。このことから、JIS K 1571の判定基準では防蟻薬剤として認められるだけの耐蟻性が、過熱蒸気処理により発現したと言える。ただし、前述したとおり、スギの辺材に関して煙樹ヶ浜試験地で実施した試験では、240℃・8時間を含む種々の条件で過熱蒸気処理を行っても、その基準を満たさなかったことも併せて考えると、過熱蒸気処理単独では確実に耐蟻性を発現させることは難しいと言ってよい。

図9は明日香試験地における6年経過時のヤマトシロアリによる食害指数を示す。いずれの樹種でも過熱蒸気処理による耐蟻性の向上が認められ、処理条件が厳しいほど耐蟻性は高くなった。しかし、過熱蒸気処理後の耐蟻性においても、素材の耐蟻性が低いスギの辺材やベイツ、ベイツガ、アルダーの心材は、ある程度の耐蟻性があるとされるヒノキの心材やスギ心材よりも劣っていた。なお、アルダー材で無処理試験杭の食害指数が低いのは、吹上試験地と同様、極めて短期間に腐朽劣化が進んだことによる。

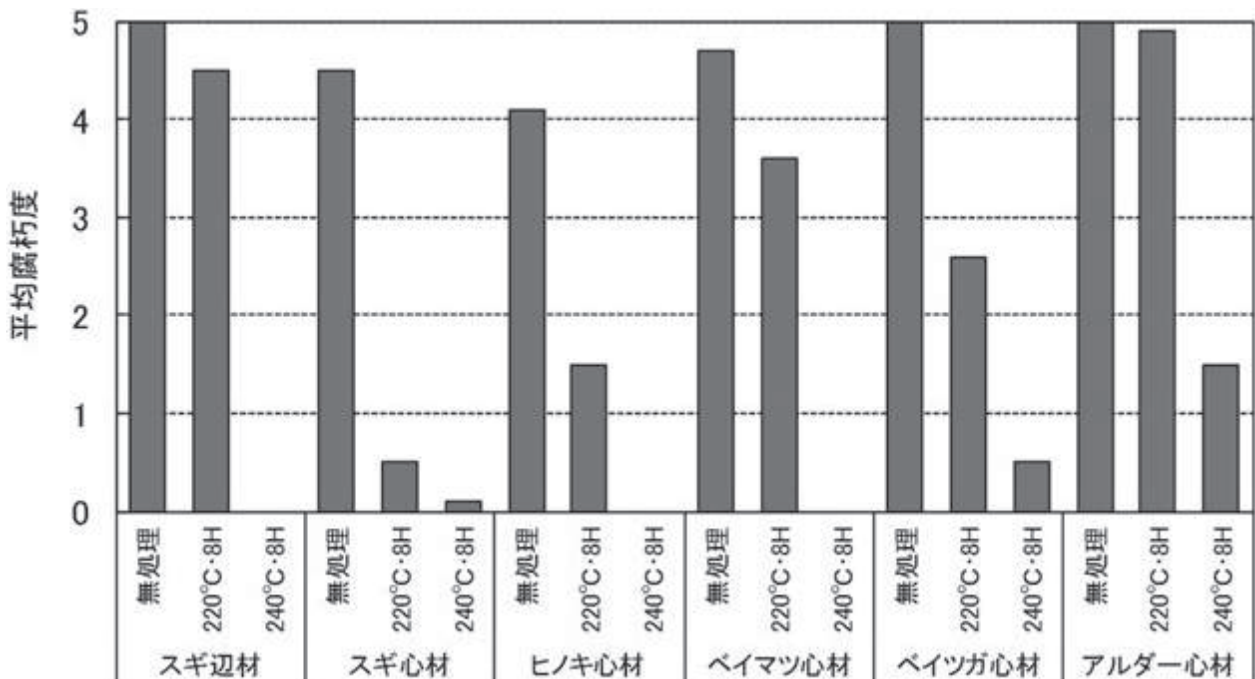


図5 過熱蒸気処理したスギ辺材と各種心材試験杭の平均腐朽度 6年経過時 明日香試験地

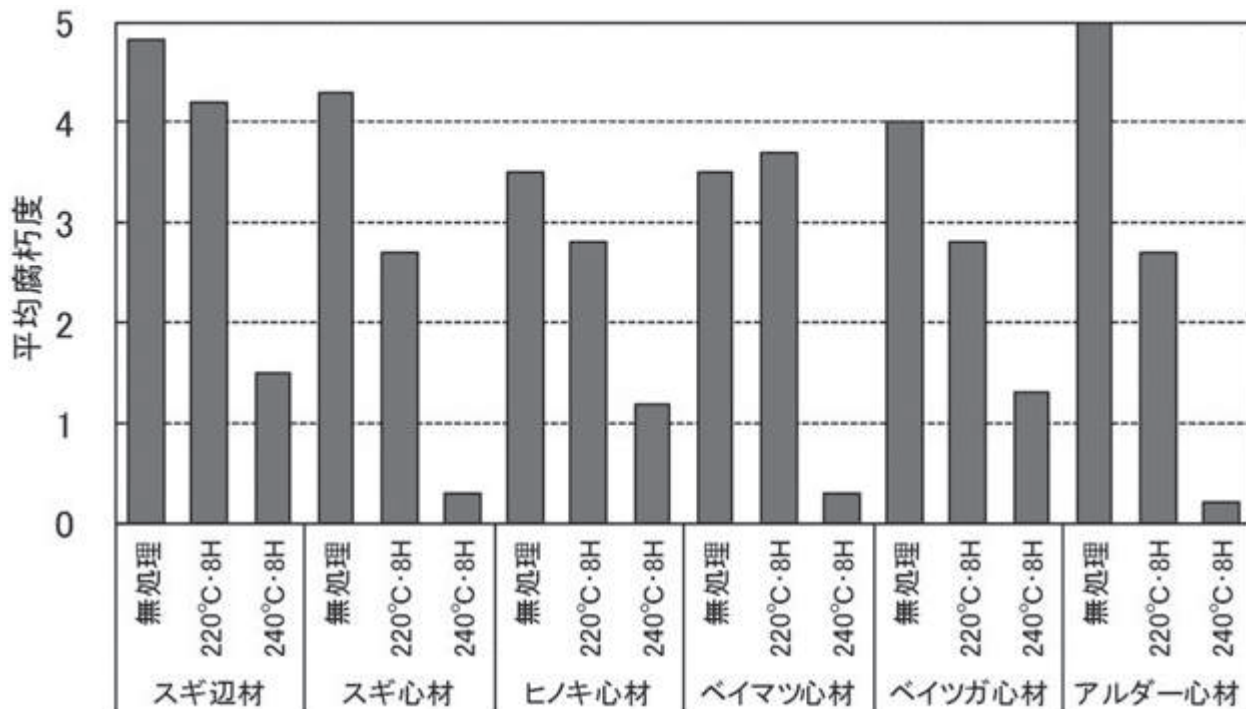


図6 過熱蒸気処理したスギ辺材と各種心材試験杭の平均腐朽度 6年5カ月経過時 吹上試験地

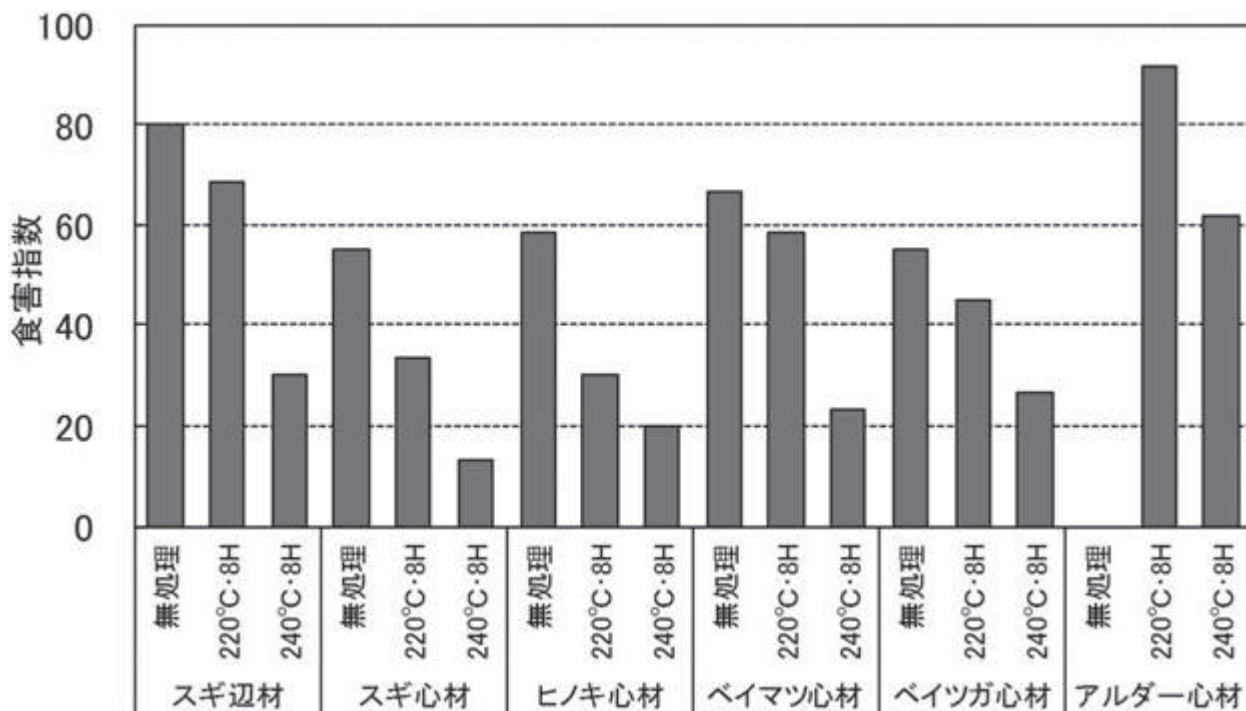
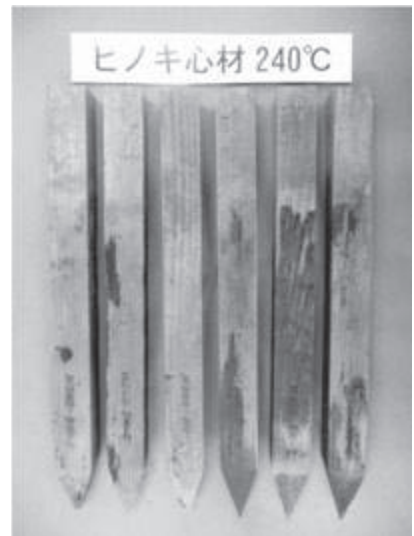
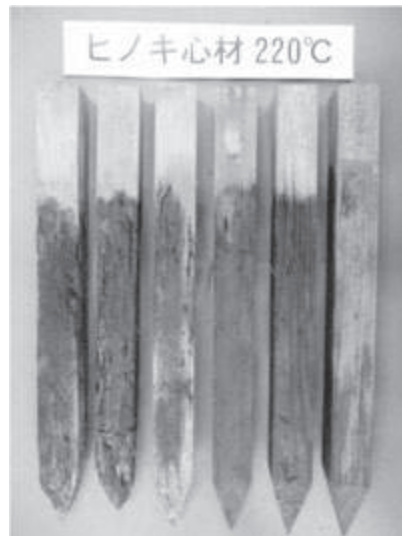
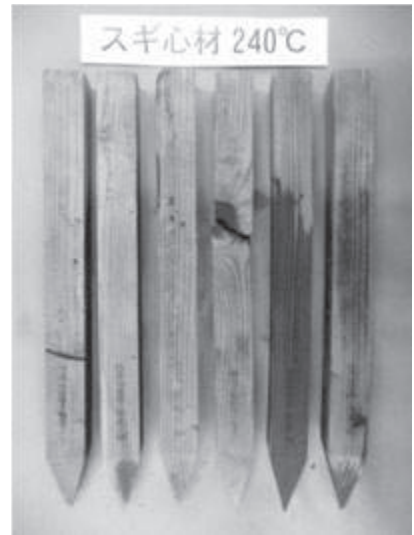


図7 過熱蒸気処理したスギ辺材と各種心材試験杭のイエシロアリによる食害指数 6年5カ月経過時 吹上試験地

4. おわりに

過熱蒸気処理の条件が腐朽性、耐蟻性に及ぼす影響ならびに、樹種による過熱蒸気処理の効果の差異を調べる

ために、野外杭試験を実施した。過熱蒸気処理の条件を変えて調製したスギ辺材試験杭の野外試験では、室内ビン試験と同様、過熱蒸気処理に伴い生じる重量減少率が高いほど、腐朽劣化の程度は緩和され、その重量減少率



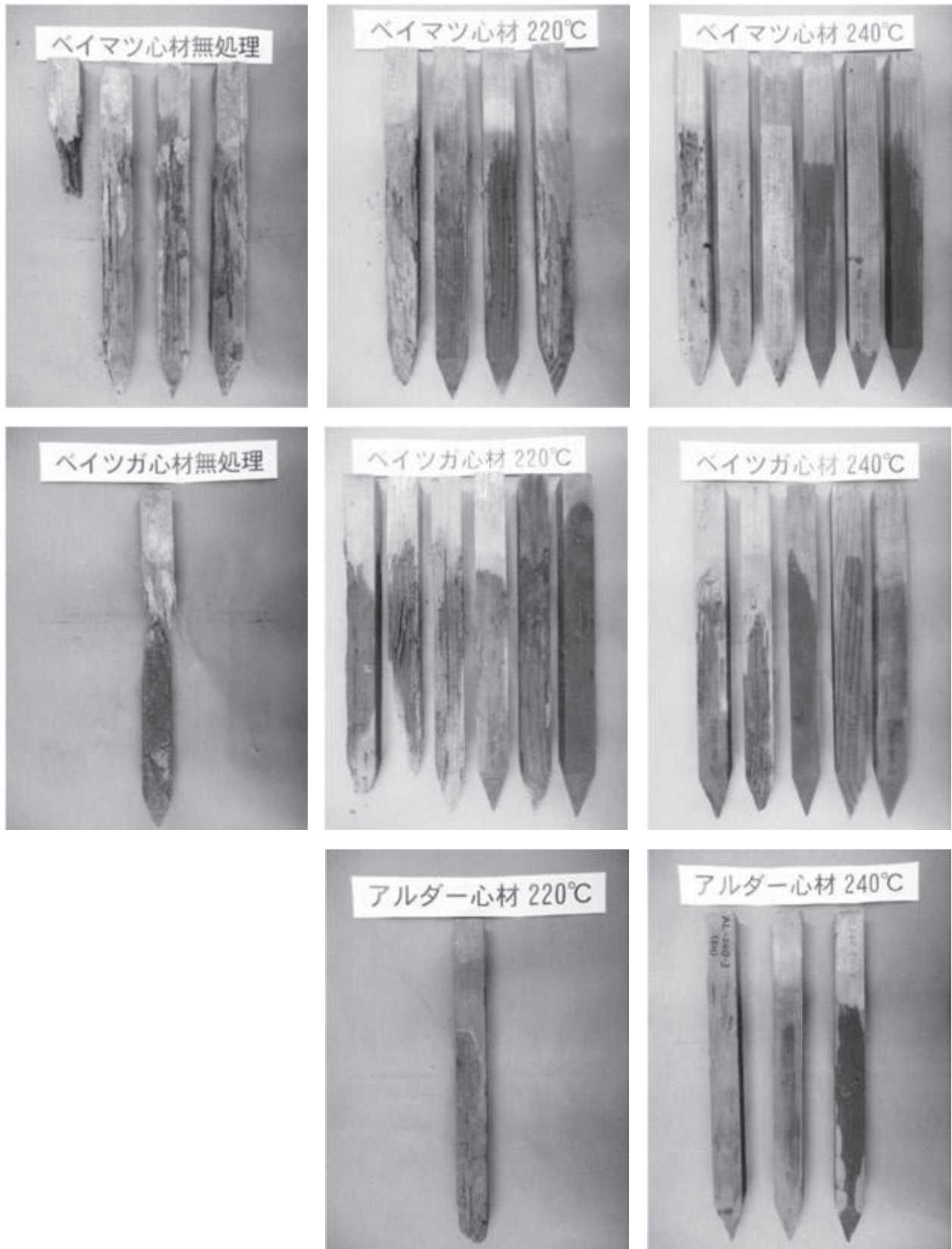


図8 過熱蒸気処理したスギ辺材と各種心材試験杭の外観 6年5カ月経過時 吹上試験地

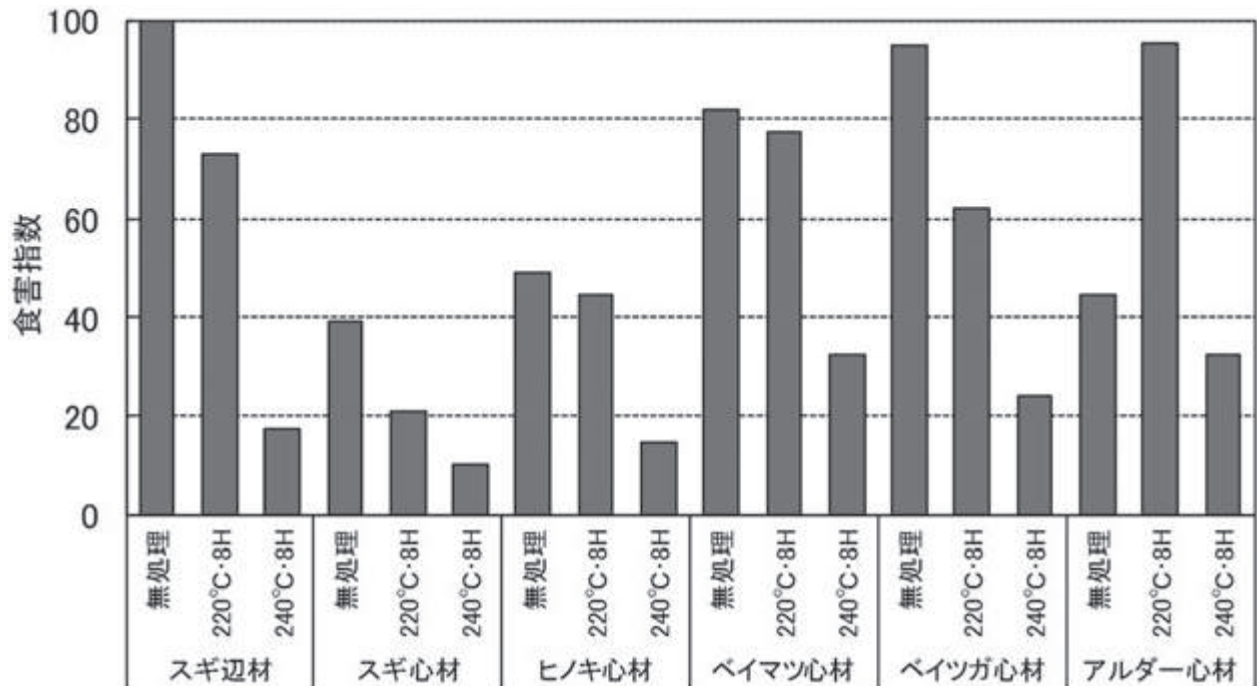


図9 過熱蒸気処理したスギ辺材と各種心材試験杭のヤマトシロアリによる食害指数
6年経過時 明日香試験地

が15%を超えた場合には、6年経過時点で腐朽劣化は観察されていない。ヤマトシロアリに対する耐蟻性についても同様の結果が観察された。

樹種を変えて行った野外杭試験は6年を経過したが、いずれの樹種でも無処理の試験杭は腐朽被害が激しく、240°Cで処理した試験杭では被害がないかあっても軽微であり、過熱蒸気処理の効果が認められた。イエシロアリに対する耐蟻性評価においても、明らかに過熱蒸気処理による効果が認められたが、防蟻薬剤のような確実な効果は期待できない。

なお、本研究は、京大大学生存圏研究所生活・森林圏シミュレーションフィールド共同利用研究の一環として実施した。また、(独)森林総合研究所の厚意により、同所吹上試験地の一部を利用させていただいた。ここに関係各位に謝意を表したい。

引用文献

- 1) 伊藤貴文, 増田勝則: 過熱蒸気処理による木材への耐朽性付与. 奈良県森林技術センター研究報告. 38, 45-51 (2009)
- 2) 桃原郁夫: 熱処理と耐久性. 木材保存. 31 (1), 3-11 (2005)
- 3) Timo Aavakallio (吉村剛訳): フィンランドにおけ

- る木材保存. 33 (5), 212-217 (2007)
- 4) 花田健之, 土居修一, 加文字栄治: Plato熱処理材の耐朽性・耐蟻性. 木材保存. 32 (1), 13-19 (2006)
- 5) 佐藤敬之: 熱処理による木材の耐久性向上に関する技術開発. 木材保存. 30 (6), 269-272 (2004)
- 6) 酒井温子, 岩本頼子, 伊藤貴文, 佐藤敬之: 窒素雰囲気下で熱処理された木材の耐朽性, 耐蟻性および吸湿性. 木材保存. 34 (2), 69-79 (2008)
- 7) 森田珠生, 荘保伸一, 山口秋生: 熱処理木材の指標値としてのホロセルロース含有率と材色. 第23回日本木材保存協会年次大会論文集. 日本木材保存協会編. 東京, 2007-5, 日本木材保存協会. 2007, 32-36.
- 8) 森田珠生, 荘保伸一, 山口秋生, 今村祐嗣, 杉山淳司: 230°C以上の高温熱処理木材における各種物性の発現. 第24回日本木材保存協会年次大会論文集. 日本木材保存協会編. 東京, 2008-6, 日本木材保存協会. 2008, 36-37.
- 9) 荘保伸一, 今村祐嗣: 化学修飾機構を基盤においた高信頼性熱処理木材の開発. 地域材を利用した住宅用の新製品開発に関する発表会要旨集. 日本住宅・木材技術センター編. 東京, 2008-3, 日本住宅・木材技術センター. 2008, 14-22.
- 10) Le Xuan Phuong, Satoshi Shida, Yukie Saito, Ikuo Momohara: Effect of heat treatment on bending

strength and decay resistance of *Styrax tonkinensis* wood. *Wood Preservation*, 32 (1) , 7-12 (2006)

(2015年3月5日受理)