

能登ヒバの乾燥温度による耐久性の変化

松元 浩・齋藤周逸^{*}・桃原郁夫^{*}・大村和香子^{*}

要旨：石川県能登地方の主要な造林樹種である能登ヒバ材の耐久性を生かす乾燥温度決定のための基礎資料とするため、蒸気加熱式乾燥装置による乾燥試験を実施し、乾燥温度の異なる乾燥材について耐久性試験（耐蟻性及び耐朽性）を実施した。その結果、耐蟻性については、乾燥温度が高いほど質量減少率は高くなり、85-95℃及び120℃乾燥材は、それより低温で乾燥したものと比べて有意差が認められたが、いずれの乾燥温度においても質量減少率は3%未満と高い耐蟻性を維持していた。一方、耐朽性については、オオウズラタケにおいては、乾燥温度が高いほど質量減少率が高くなる傾向が認められたが有意差は認められなかった。また、カワラタケについても乾燥温度の影響は明確に現れなかった。

キーワード：能登ヒバ、乾燥条件、耐蟻性、耐朽性

I はじめに

石川県能登地方の主要な造林樹種である能登ヒバ（ヒノキアスナロ：*Thujaopsis dolabrata* var. *hondai* Makino）は、独特の色沢や芳香を持ち、また耐久性の高い樹種であることから土台など建築用材にも使用されている。また、建築基準法の改正や品確法の施行などにより、能登ヒバ材についても表面割れの少ない乾燥材が求められるようになってきた。このため、能登ヒバ材に対しても表面割れ抑制に効果がある高温セット法を適用する場面も増加している。一方、高温セット法を活用した乾燥方法は、乾燥条件によってはスギにおいて耐久性が低下するおそれがあることが知られている（栗崎ら，2001；大村ら，2004）。そこで、高い耐久性を有する能登ヒバについても乾燥条件と耐久性の関係を明らかにしておく必要がある。これまで、能登ヒバの耐久性については、室内腐朽試験や野外杭試験が実施されており、能登ヒバの品種間の比較では、マアテがクサアテおよびスズアテより耐久性が高く、また、マアテはヒノキよりもやや高い耐久性を有することが報告されている（藤平ら，1994；中野，1985；中村，1998；酒井ら，2000；酒井ら，2005）。本報では、能登ヒバ材の耐久性を生かす乾燥温度決定のための基礎資料とするため、蒸気式加熱乾燥装置による乾燥試験を実施し、乾燥温度の異なる乾燥材について耐久性試験（耐蟻性試験及び耐朽性試験）を実施したのでその結果を報告する。

II 材料と方法

1 供試材

供試材には石川県輪島市産の末口直径約20cmの能登ヒバ（品種：マアテ）丸太から一丁取りした、寸法145×145×3,000mmの心持ち正角材を用いた。この正角材から長さ約800mmのエンドマッチした試験体を3本切り出し、その両木口面をシリコンコーキング剤でコーティングしたものを蒸気加熱式乾燥装置（SK-IF10LHP）により乾球温度50-70℃で262時間、85-95℃で142時間、120℃で30時間人工乾燥を行った。また、正角材の残りの部分については（独）森林総合研究所実験棟内で約3ヶ月間静置し、天然乾燥を行った。さらに、マッチングはとれていないが乾球温度40-50℃で358時間乾燥した能登ヒバ材も試験に加えた。

乾燥条件および試験体の密度を表-1に示す。

試験体は、乾燥材を120mm角に仕上げた際の寸法を意識して乾燥材の表面から10mm内側の心材部分で乾燥割れない部分から切り出した、20±0.5(R)×20±0.5(T)×10±0.5(L)(mm)の二方柱の直方体とした。これらの試験体を60±2℃の恒温器中で48時間乾燥し、約30分間デシケータ中で放冷した後、その重量(W_1)を0.001gまで測定し、以下の耐蟻性試験及び耐朽性試験に供した。

なお、試験にあたり、耐候操作は行わなかった。

^{*}独立行政法人森林総合研究所

表-1 人工乾燥の条件

条件	A	B	C	D
乾球温度(°C)	40-50	50-70	85-95	120
湿球温度(°C)	36-40	46-59	81-82	90
乾燥時間(h)	358	262	142	30
密度(g/cm ³)	0.51	0.49	0.50	0.54

ただし、天然乾燥は、(独)森林総合研究所実験棟内で約3ヶ月間(2003年9月~11月)静置した。このときの平均気温は23.3°C、平均湿度は58.5%、平均密度は0.51g/cm³であった。

2 耐蟻性試験

耐蟻性試験は、(社)日本木材保存協会「加圧処理用木材防蟻剤の室内防蟻効力試験方法および性能基準(JWPS-TW-P.1)」を参考に、直径8cm、高さ6cmのアクリル樹脂製円筒の一部に、硬石膏を厚さ約5mmに固めたものを飼育容器とし、これをあらかじめ脱脂綿に水を含ませたものを敷き詰めた蓋付き容器中に静置した。この飼育容器の硬石膏の上に厚さ1mmのプラスチック製の網を置き、この上に試験体の木口面を上下にして、1個ずつ水平に置き、無作為に巣から取り出したイエシロアリ(*Coptotermes formosanus* SHIRAKI)職蟻150頭と兵蟻15頭を投入した。試験体数は1条件5個とし、飼育容器は28±2°Cの暗所に21日間静置した。今回の試験においては、試験開始後6日後、14日後および21日後にシロアリの生存数を計測するとともに、試験体の様子も観察した。

試験の評価は、所定期間経過後、試験体を飼育容器より取り出し、試験体表面の付着物を丁寧に取り除いた後、60±2°Cの恒温器中で48時間乾燥し、約30分間デシケータ中で放冷した後、その質量(W₂)を0.001gまで測定し、式1による質量減少率を求めた。また、職蟻の生存数と投入数の関係から死虫率を求めた。

$$\text{質量減少率} = (W_1 - W_2) / W_1 \times 100 (\%) \dots \text{式1}$$

3 耐朽性試験

耐朽性試験は、JIS K 1571-1998「木材防腐剤の性能基準及び試験方法」および日本木材保存協会規格第3号1992「木質材料の耐朽性試験方法」を参考に、オオウズラタケ(*Fomitopsis palustris* (Berk. et Curt.) Gilbn. & Ryv. FFPRI 0507)及びカワラタケ(*Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilát FFPRI 1030)による腐朽試験を実施した。試験体はエチレンオキサイドガスで滅菌し、培養液の組成は、麦芽抽出物質量分率2.0%、ペプトン質量

分率1.0%とした。また、オオウズラタケの場合、殺菌した厚さ1mmのプラスチック製の耐熱性の網を菌そうの上に置き、その上に試験体を置いた。なお、試験は、通常の12週目の測定に加え、4週目及び8週目の測定を行う試験片を用意し、耐蟻性試験と同様の方法でそれぞれの腐朽期間における質量減少率を求めた。

試験における繰り返し個数は、1条件につき12個とした。

III 結果と考察

1 耐蟻性試験

図-1に耐蟻性試験における乾燥条件と質量減少率との関係を示す。図中のエラーバーは標準偏差を示し、アルファベットが異なる場合は有意差があることを示す。無処理材として用いたスギ辺材の平均質量減少率は25.8%であり、本試験の性能基準値である平均質量減少率15%以上を満たしており、本試験は有効であることを確認した。結果はいずれの乾燥条件においても平均質量減少率が3%未満であった。この数値は木材防蟻剤を用いた場合、「防蟻性能有り」と判断される数値である。正式な防蟻性能試験では耐候操作と呼ばれる前処理が入るため防蟻処理木材と同等の防蟻性能を持つとは言えないものの、能登ヒバ乾燥材は高い耐蟻性を有することが分かった。乾燥条件の影響を見ると、85-95°C及び120°C乾燥材は、それより低温で乾燥した場合と比較して、質量減少率は有意に高い傾向が認められ(p<0.05、Tukey-Kramer HSD)、乾燥温度が高くなると耐蟻性成分が失われることを示唆する結果が得られた。

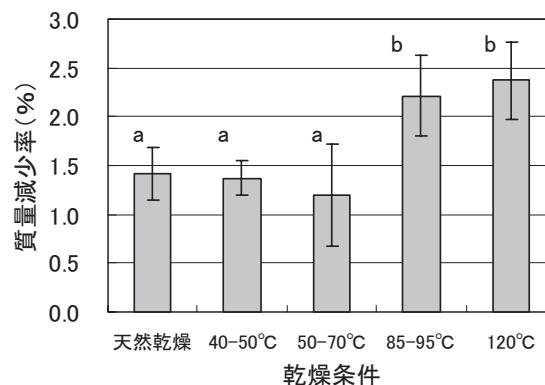


図-1 各乾燥条件における平均質量減少率(耐蟻性試験)
エラーバーは標準偏差
アルファベットが異なる場合は有意差あり

大村ら（2011）は、季節やコロニーによるシロアリ活性の違いを相殺できる可能性があるとして、耐蟻インデックスを求めて各樹種間の耐蟻性の比較を行っている。本試験の結果についても、大村ら（2011）を参考に、式2を用いて各乾燥条件における平均質量減少率を用いて耐蟻インデックスを求めた。

耐蟻インデックス（%）＝100－（各乾燥条件の平均質量減少率／スギ辺材の平均質量減少率）×100・・・式2

表-2 は耐蟻インデックスの計算結果である。耐蟻インデックスは、無処理試験体（スギ辺材）の平均質量減少率が15%で、かつ処理材（乾燥材）の平均質量減少率が3%の場合に80%となる。すなわち、耐蟻インデックスが80%超で高い耐蟻性を有するということになる。今回の試験結果はいずれも80%を上回っており、今回採用した乾燥条件の範囲内では能登ヒバ（マアテ）は高い耐蟻性を維持していることが明らかとなった。

表-2 各乾燥条件における耐蟻インデックス

条件	耐蟻インデックス (%)
天然乾燥	95
40-50℃	95
50-70℃	95
85-95℃	91
120℃	91

シロアリ職蟻の各乾燥条件における死虫率の推移を図-2に示す。職蟻死虫率は摂食期間の増加とともに徐々に増加する傾向を示した。死虫率はスギ辺材で低かったが、ヒバにおいては乾燥条件による違いは認められなかった。

摂食21日目のシロアリの様子を写真-1～3に示す。試験開始1日目で、天然乾燥、40-50℃、50-70℃の試験区では致死個体が見られたが、85-95℃、120℃の試験区では致死個体は認められなかった。シロアリはヒバの試験体には近寄らず、試験体から10～15mm程度離れたところを巡回していた。摂食21日目においても、ヒバ乾燥材に近寄っている個体は少ないが、スギ辺材は厚さ方向に貫通された試験体中にほとんどのシロアリが侵入していることが分かる。

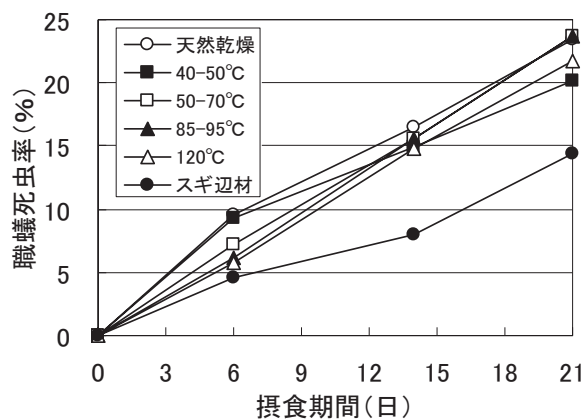


図-2 摂食期間に伴う職蟻死虫率の推移

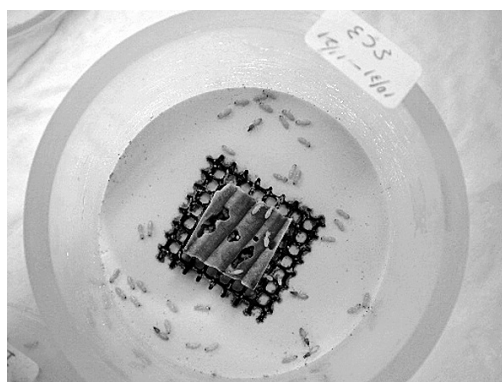


写真-1 スギ辺材（摂食21日目）

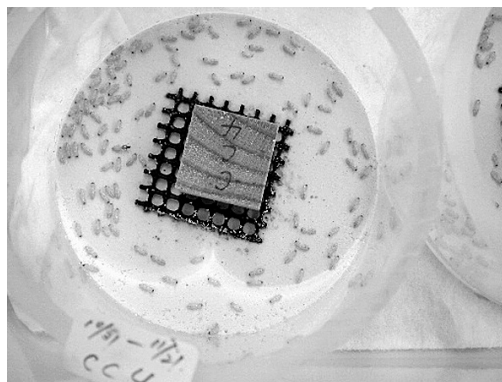


写真-2 ヒバ天然乾燥材（摂食21日目）

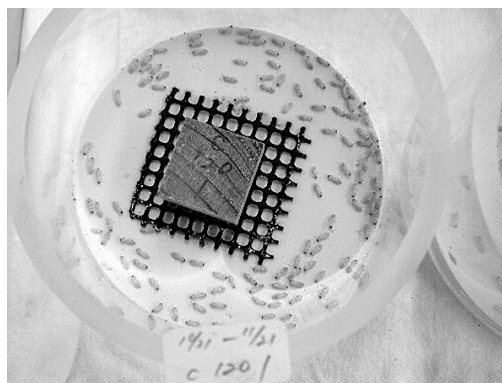


写真-3 ヒバ120℃乾燥材（摂食21日目）

大村ら (2011) の報告では、耐候操作により、ヒバのヤマトシロアリに対する耐蟻性が著しく低下したが、イエシロアリではあまり低下していない。今回の試験は、耐候操作を行わずイエシロアリで試験を実施したが、石川県はヤマトシロアリの生息地であることを考慮すると、今後はヤマトシロアリに対する耐蟻性の確認および耐候操作で溶脱する水溶性の耐蟻成分の分析を実施する必要がある。

2 耐朽性試験

図-3 および図-4 に各乾燥条件における平均質量減少率の培養日数に伴う推移を示す。培養12週後の無処理試験体(スギ辺材)の質量減少率は、オオウズラタケにおいては43%、カワラタケにおいては38%であり、本試験の有効性の基準値であるオオウズラタケ30%以上、カワラタケ15%以上を上回った。いずれの腐朽菌においても培養日数の増加とともに質量減少率は増加する傾向が認められた。オオウズラタケにおいては、腐朽操作4週目までは乾燥温度による違いは見られなかったが、8週目以降において乾燥温度が高いほど質量減少率が高くなる傾向が認められたが(図-3)、カワラタケについては、オオウズラタケに比べて乾燥温度の影響は明確に現れなかった(図-4)。

腐朽操作12週後の質量減少率を図-5および図-6に示す。いずれの腐朽菌においても、特に乾燥温度が高い条件ほどばらつきが大きく、質量減少率と乾燥条件の間に有意差は認められなかった。しかし、特にオオウズラタケにおいて、乾燥温度が70℃以下の条件で最も腐朽した試験体の質量減少率が1.9%であったのに対し、90℃前後や120℃前後ではそれぞれ23%、44%まで上昇したことから、高い乾燥条件では耐朽性が低下するリスクがあると考えられる。

腐朽操作12週後のオオウズラタケによる試験体の重量測定後の様子を写真-4~6に示す。スギ辺材は腐朽菌による分解のため、乾燥によって大きく収縮し原型をとどめていない。一方、ヒバ天然乾燥材においては変形は認められないが、120℃乾燥材の試験体の角の部分には腐朽菌の侵入によって分解された部分の変形・変色が認められる。

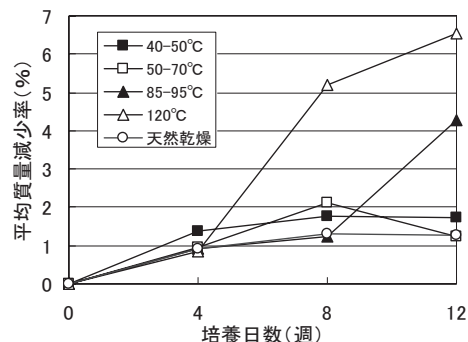


図-3 培養日数に伴う平均質量減少率の推移 (オオウズラタケ)

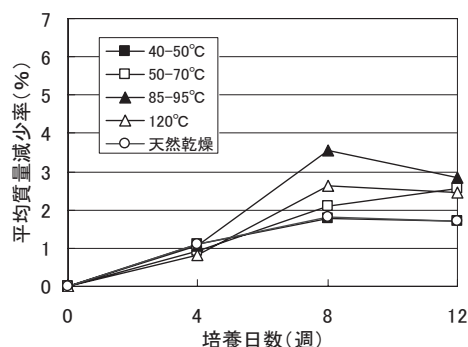


図-4 培養日数に伴う平均質量減少率の推移 (カワラタケ)

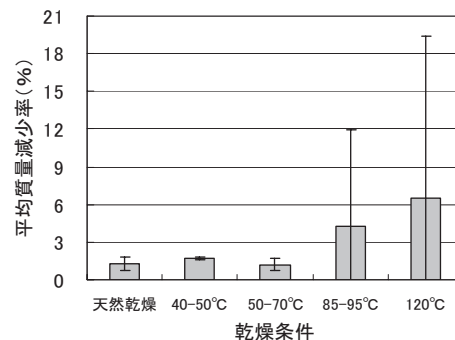


図-5 乾燥条件と平均質量減少率の関係 (オオウズラタケ、12週後)
エラーバーは標準偏差

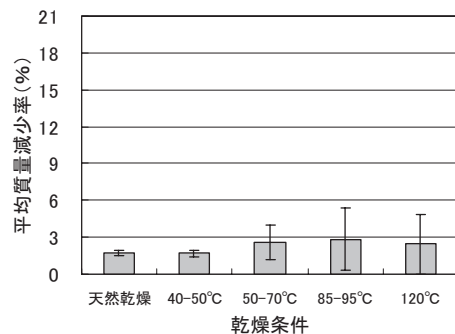


図-6 乾燥条件と平均質量減少率の関係 (カワラタケ、12週後)
エラーバーは標準偏差

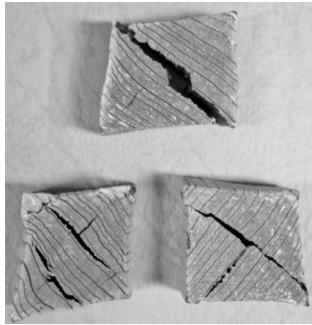


写真-4 スギ辺材 (12 週後)

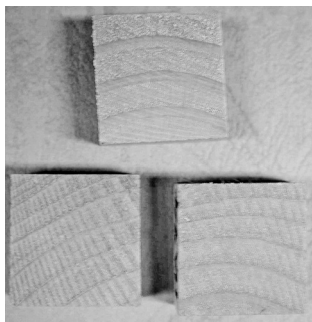


写真-5 ヒバ天然乾燥材 (12 週後)

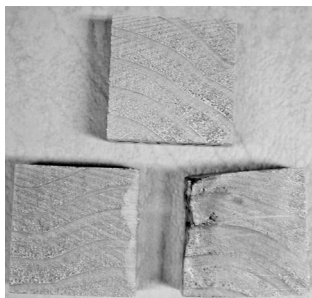


写真-6 ヒバ120°C乾燥材 (12 週後)

IV おわりに

本報では、能登ヒバ材の耐久性を損なわない乾燥温度決定のための基礎資料とするため、蒸気式加熱乾燥装置による乾燥試験を実施し、乾燥温度の異なる乾燥材について耐久性試験（耐蟻性試験及び耐朽性試験）を実施した。その結果、耐蟻性試験においては、高い耐蟻性を発揮したが、天然乾燥材と比べると乾燥温度 70°C までの範囲では耐蟻性に変化は見られず、乾燥温度が 85°C を超えると有意に耐蟻性は低下した。また、耐朽性試験においてはばらつきが大きく明確な傾向は認められなかったものの、オオウズラタケにおいては乾燥温度が高くなると激しく腐朽される試験体が増える傾向を示した。現在、能登ヒバ心持ち正角材

の乾燥においては、表面割れを少なくすることを目的として、高温セット法が活用されており、内部割れおよび強度性能の観点からは適正な乾燥条件が導き出されつつあるが、今後は耐久性も含めた検討が必要である。

また、今回、耐蟻性試験においては、耐候操作を行わずイエシロアリで試験を実施したが、石川県はヤマトシロアリの生息地であることを考慮すると、今後はヤマトシロアリに対する耐蟻性の確認および耐候操作で溶脱する水溶性の耐蟻成分の分析を実施する必要がある。

引用文献

- 藤平眞紀子・中村嘉明・疋田洋子 (1994) 青森ヒバ、能登アテ、ラオスヒノキの耐久性. 奈良県林業試験場木材加工資料 23 : 21-23.
- 栗崎 宏・塚本英子・水本克夫 (2001) 高温乾燥したスギ心材のオオウズラタケに対する耐朽性. 木材保存 27 : 61-66.
- 中村嘉明・藤平眞紀子 (1998) 明日香試験林、野外杭試験報告 (第 5 報) 2×4 工法構造用製材と青森産ヒバ材、能登産アテ材等 18 樹種の素材の野外耐久性. 奈良県林業試験場木材加工資料 27 : 12-15.
- 中野徹夫 (1985) アテ材の耐朽性について. 石川県林業試験場研究報告 15 : 11-24.
- 大村和香子・加藤英雄・小林 功・桃原郁夫 (2004) スギ心材の熱処理条件とシロアリの摂食量との関係. 木材工業 59 : 170-173.
- 大村和香子・桃原郁夫・木口 実・吉村 剛・竹松葉子・源濟英樹・野村 崇・金田利之・三枝道生・前田恵史・谷川 充 (2011) 異なる劣化環境下における日本産および外国産樹種の耐蟻性能. 木材学会誌 57 : 26-33.
- 酒井温子 (2000) 明日香実験林、野外杭試験報告 (第 7 報) 試験地、樹種および防腐処理による被害状況の違い. 奈良県森林技術センター研究報告 30 : 27-38.
- 酒井温子・岩本頼子・中村嘉明 (2005) 青森産ヒバ材および石川県産アテ材の野外耐久性. 木材保存 31 : 207-213.