

論文

外国産エクステリア材から抽出した成分の防腐・防かび性

飯田 孝彦* 瓦田 研介* 小沼 ルミ* 宮崎 巖*

Resistance Against Wood Rotting Fungi and Mold by the Extractives from Foreign-made Exterior Wood

Takahiko Iida*, Kensuke Kawarada*, Rumi Konuma*, Iwao Miyazaki*

To increase the durability of solid wood, Sugi and Buna specimens were impregnated with secondary metabolite from Ipe which retains high durability. Wood specimens impregnated with extractives were examined by accelerated fungal tests using wood decaying fungi and mold. After exposure to fungal attack with wood decaying fungi such as *Fomitopsis palustris*, Sugi specimens exhibited less than 3% mass loss. Extractives retention after weathering treatment of Sugi and Buna specimens were 82.9% and 53.6% respectively. Moreover, both specimens demonstrated bulk coefficients which predicts the permeation of extractives into cell walls. These results indicated that the extractives of Ipe have high compatibility for wood cell walls, and durability against wood decaying fungi. Additionally, another accelerated fungal test using mold was employed to evaluate the surface contamination resistance of solid wood specimens impregnated with extractives. Observation of the specimen's surfaces by microscope proved that the specimens have high resistance performance against mold such as *Aspergillus niger*.

キーワード：イペ, 耐朽性, 抽出成分, かさ効果, 木材保存剤

Keywords: Ipe, Durability, Extractives, Bulk coefficient, Wood preservatives

1. 緒言

エクステリア材として防腐処理をほとんど施さずに使用されるイペ(*Tabebuia spp.*)材は、ブラジルなど南アメリカ大陸アマゾン川流域等に広く分布する、ノウゼンカズラ科の広葉樹木材である。しかし、イペ材は製材時の切削加工が難しいため、日本国産の針葉樹や広葉樹の製材歩止りが、概ね60%程度^{1),2)}であるのに対して、イペ材の製材歩止りは低く³⁾端材などの未利用廃棄物が多い。さらに、イペ材の端材は、高い気乾密度や硬度など物理的性質により、パーティクルボードへの再利用が難しく、未利用のまま一部は燃料として用いられているにすぎない。

一方、イペ材はその抽出成分が生物に対して抵抗性があることが知られている。木部抽出成分がラバコールや他のナフトキノ誘導体を含有し、海洋せん孔生物に対して抵抗性があること⁴⁾及び内樹皮抽出成分がヒトの腸内細菌 *Clostridium paraputrificum*, *Escherichia coli* 等に対して抗菌作用を有すること⁵⁾が既に報告されている。しかし木材腐朽菌類やカビに対する抗菌性について調べた報告はない。

そこで本研究では、イペ材の端材などの有効利用法として、イペ材から抽出した成分を耐朽性の低い木材に注入し、イペ材の抽出成分が被注入木材の耐朽性に及ぼす影響について調べた。さらに、抽出成分のカビ抵抗性について調べ、木材保存剤への利用の可能性を検討した。

2. 実験方法

2.1 耐朽性試験 イペ心材の耐朽性を、JIS Z2101-1994: 木材の試験方法(耐朽性試験)を参考にして、供試菌としてオオウズラタケ(*Fomitopsis palustris* (Berk. et Curt.) Gilbn. & Ryv., FFPRI 0507)及びカワラタケ(*Trametes versicolor* (L.:Fr.) Pilat FFPRI 1030)を用いて評価した。

試験片は、20mm(T)×20mm(R)×10mm(L)の二方柁木取りとした。腐朽操作には、プラスチック製角型培養瓶(柴田科学機器㈱ 内容量約500mL)に、ポテトデキストロース寒天培地(PDA培地)100mlを入れ高圧蒸気滅菌したものを用いた。なお、ブナ材についても同様に試験した。

2.2 抽出溶媒の検討と抽出物の抗菌性 抽出溶媒として、エタノール・ベンゼン混液(1:2 v/v)及びアセトンを用い、以下の方法で抽出物含有量を求めた⁶⁾。イペ心材木粉2gを用いて、エタノール・ベンゼン混液及びアセトンを抽出溶媒として、8時間ソックスレー抽出して得た抽出溶液をエバポレーターで乾固し、デシケーター中で減圧乾燥後、質量を測定し抽出物含有量を求めた。

また、抽出物の抗菌性を簡易に比較して抽出溶媒を検討するため、軟腐朽菌ケトミウム グロボスム(*Chaetomium globosum* Kunze ex Fries IAM 8059)を対象としたウェル法⁷⁾により、形成した生育阻止円の直径から阻止円面積を算出して抗菌性を評価した。培地はPDA培地を用いて、培養は、温度28℃で培養期間1週間とした。

*資源環境グループ

2. 3 抽出物の溶脱性の検討 エタノール・ベンゼン混液抽出成分及びアセトン抽出成分注入試験片からの溶脱性を検討するため、それぞれの試験片4個について、JIS K 1571-2004：木材保存剤の性能試験方法及び性能基準を参考にして、耐候操作を行った。耐候操作は、溶脱及び乾燥処理を10回繰り返した。

試験片は、ブナ(*Fagus crenata* Blume) 辺材(20mm(T)×20mm(R)×10mm(L)の二方桁木取り)とし、それぞれの抽出成分を、減圧下(6.4×10⁻²Pa)で、抽出成分濃度をアセトンで10g/100mLに調製した溶液を用いて注入し、減圧状態で1日静置した。その後、試験片を風乾してから減圧乾燥した。

2. 4 抽出成分を注入したスギ材及びブナ材の耐朽性とかさ効果 抽出成分が耐朽性に及ぼす影響は、JIS K 1571-2004「木材保存剤の性能試験方法及び性能基準」を参考にし、抽出成分注入試験片について、耐候操作後に供試菌としてオオウズラタケ、カワラタケ及びナミダタケ(*Serpula lacrymans* (Wulf.ex Fr.)Schroeter, FFPRI 0739)を用いて検討した。

試験片は、ブナ辺材及びスギ(*Cryptomeria japonica* D. Don) 辺材(20mm(T)×20mm(R)×10mm(L)の二方桁木取り)とし、それぞれイペ材抽出成分を前述と同様に注入処理した試験片、無処理試験片及び補正用試験片を用意した。

一部の試験片は、放射方向、接線方向及び繊維方向について、注入処理試験片の全乾後寸法 L_0 、無処理試験片の全乾後寸法 L_1 を測定し、かさ効果を式(1)により算出した⁸⁾。

$$\text{かさ効果(\%)} = \frac{L_0 - L_1}{L_1} \times 100 \quad (1)$$

2. 5 ブナ材への抽出成分浸漬とカビ抵抗性 抽出成分がカビ抵抗性に及ぼす影響は、JIS Z 2911-2006「カビ抵抗性試験方法(一般工業製品の試験(木竹製品))」を参考にして、抽出成分浸漬処理試験片及び無処理試験片について、5種類の単独孢子懸濁液を用いて各々のカビに対するカビ抵抗性試験を行い検討した。

試験片は、ブナ辺材(5mm(T)×20mm(R)×40mm(L)の二方桁木取り)とし、それぞれイペ材抽出成分浸漬処理試験片及び無処理試験片を用意した。浸漬処理試験片は、抽出成分濃度をアセトンで10g/100mLに調製した溶液中に30分浸漬した後、十分に風乾し質量を測定し、抽出成分の吸収量を求めた。無処理試験片はアセトンで同様に処理した。カビ発生の観察を50倍の実体顕微鏡を用いて1週間ごとに行った。なお、カビの発生を促進させる目的で孢子の懸濁に無機塩添加栄養液を使用した^{9), 10)}。

3. 結果及び考察

3. 1 供試木材の耐朽性 イペ材抽出成分の防腐性能を調べるに当たり、最初にイペ材自体の耐朽性を調べた。供試木材の強制腐朽8週間後の質量減少率を表1に示す。供試木材は質量減少率が2%以下の結果を与え、イペ材がブナ材に比べ著しく高い耐朽性を持つことを示している。

この高い耐朽性は供試木材の高い密度や硬度など物理的性質に加えて、含有している抽出成分による木材腐朽菌の生長抑制作用によるものと考えられた。なお、抽出成分と耐朽性に関しては、ボンゴシ材を使用した木橋が腐朽した事例報告¹¹⁾もあり、抽出成分の木材腐朽菌に対する抗菌性の強さは、菌種により異なる可能性があり注意が必要であると思われる。

表1. 供試木材のJIS Z 2101による耐朽性

樹種	平均質量減少率(%)		気乾密度(g/cm ³)
	オオウズラタケ	カワラタケ	
イペ	1.2 (0.2)	2.0 (0.1)	1.1
ブナ	69.6 (2.9)	47.1 (3.8)	0.7

()は、標準偏差

3. 2 溶媒の種類と抽出物量及び抽出物の抗菌性 イペ材からエタノール・ベンゼン混液及びアセトンを用いて抽出した場合の、得られた抽出物量を表2に、ウェル法によるケトミウム グロボスムに対する抗菌性を表2及び図1に示す。両者の抽出物量はほぼ同量であった。また、形成された阻止円面積もほぼ等しいことから、両抽出物のケトミウム グロボスムに対する抗菌性は同程度である⁷⁾と考えられた。

表2. 抽出物収量及びケトミウムグロボスム生育抑制効果に及ぼす溶媒の影響

抽出溶媒の種類	抽出物(%)	阻止円面積(cm ²)
アセトン	12.2	3.7
エタノール・ベンゼン混液(1:2v/v)	11.7	3.9



図1. 形成された阻止円(ウェル法)

3. 3 溶媒の種類と抽出物量の溶脱性 エタノール・ベンゼン混液及びアセトン抽出成分を、注入処理した試験片の耐候操作における溶脱処理回数ごとの抽出成分の残留率を図2に示す。各抽出成分ともに溶脱処理2回目以降の残留率の変化は少なかった。溶脱処理10回後の抽出成分の残留率は、エタノール・ベンゼン混液抽出成分注入材の方が約10%高かった。本研究では、耐候操作における溶脱性が若干低い、取り出せる抽出物の量やケトミウムグロボスムに対する抗菌性がほぼ同等であること及び溶媒の有害性や再利用のしやすさから、以降の実験においては抽出に用い

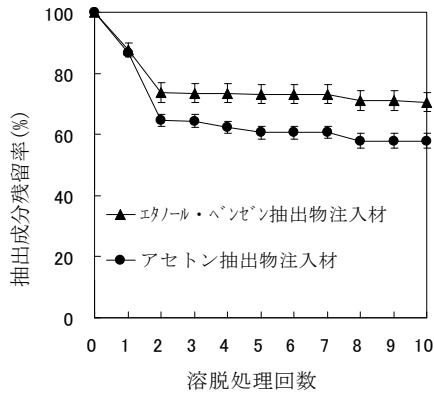


図2. 耐候操作と抽出成分残留

る溶媒はアセトンとすることにした。

3. 4 抽出成分注入とかさ効果 抽出成分注入によるかさ効果を調べた結果を図3に示す。スギ及びブナいずれの樹種においても、抽出成分を注入した試験片は、アセトンを注入した試験片と比較して、放射方向、接線方向及び繊維方向の寸法が増加したことから、含まれた抽出成分は道管及び仮道管細胞内腔に加えて細胞壁内にも存在していると考えられた。これは抽出成分が木材の代謝生産物であり、木材との親和性が高いためであると考えられる。

3. 5 抽出成分注入がスギ材やブナ材の耐朽性に及ぼす影響

イペ材抽出成分を注入した木材試験片の強制腐朽12週間後の質量減少率を表3に示す。スギ材では、無処理試験片は、オオウズラタケ、カワラタケ及びナミダタケいずれの菌種を用いた場合も質量減少率が50%前後であったのに対して、イペ材抽出成分注入試験片は、すべて質量減少率が3%以下となり供試した菌種に対して防腐性能が認められた。この結果は木材保存剤の性能基準で規定された注入処理用防腐剤としての性能基準を満たしており、既存の木材防腐剤の代替品としての利用の可能性が示唆された。

一方、ブナ材では全ての菌種に対して、無処理材試験片と比較してイペ材抽出成分注入試験片の質量減少率は低く、t検定を行った結果、危険率5%で、両者の質量減少率の平均値に有意差が見られたが、質量減少率が50%程度に達して腐朽がかなり進んでいた。これは、スギ材はブナ材と比較して、耐候操作による抽出成分の溶脱が少なく、注入した成分の残留率は80%以上で、スギ材はブナ材と比較して耐候操作後の抽出成分の含有量が多かったことや、樹

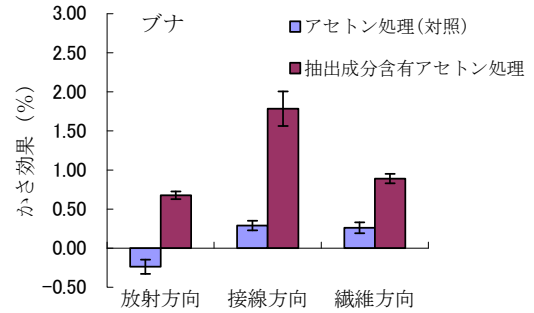
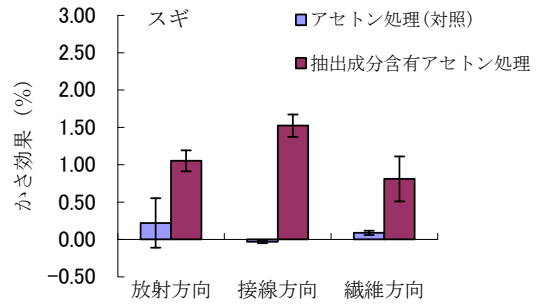


図3. 抽出成分注入によるかさ効果

種自体の耐朽性がスギ材の方が高かったことが要因であると考えられる。

3. 6 抽出成分浸漬がブナ材のカビ抵抗性に及ぼす影響

イペ材抽出成分を浸漬した試験片のカビの発生状況について、観察した結果を表4に示す。無処理試験片はカビに対する抵抗性が見られず、供試材表面にカビの生育が生じたのに対して、抽出成分を浸漬した試験片は、リゾープスオリゼ (*Rhizopus oryzae* Went et Prinsen-Geerligts) 等がわずかに観察されたが、全体的には、カビの発生がほとんど見られなかった。カビの発生を促進させる目的で胞子の懸濁に無機塩添加栄養液を使用していることを考えると、イペ抽出成分はカビに対する成長抑制作用を十分に有していると考えられ、木材防カビ剤としての利用の可能性が示唆された。また、試験に用いたカビ5菌種のなかでも、完全にカビの発生が抑制された菌種と一部カビの発生が見られた菌種があり、イペ抽出成分のカビに対する抗菌性の強さは菌種により異なることも明らかになった。

表3. イペ材抽出物を注入したスギとブナ材の JIS K 1571 による耐朽性

試験片	抽出物吸収量 (kg/m ³)		抽出成分 残留率 (%)	平均質量減少率 (%)		
	耐候操作前	耐候操作後		オオウズラタケ	カワラタケ	ナミダタケ
スギ (注入処理)	67.4	55.9	82.9	0.0 (0.0)	2.5 (0.6)	0.0 (0.0)
スギ (無処理)	—	—	—	55.8 (8.1)	48.7 (2.1)	46.1 (2.3)
ブナ (注入処理)	50.8	31.1	53.6	47.5 (3.5)	53.3 (2.5)	44.2 (11.4)
ブナ (無処理)	—	—	—	75.4 (1.8)	68.0 (4.1)	69.4 (1.9)

()は、標準偏差

表4. イペ材抽出物に浸漬処理したブナ辺材の JIS Z2911-2006 によるカビ生育抵抗性

菌種	試験片	抽出物吸収量(g/m ²)	1週間後	2週間後	3週間後	4週間後	かび抵抗性判定基準 実体顕微鏡で観察(×50)
アスペルス ニゲル NBRC6341	浸漬処理	29	0	0	0	0	0 試験表面のかび発生認められず
	無処理	—	2	2	2	2	
ペニシリウム シトリナム NBRC6342	浸漬処理	26	痕跡	痕跡	痕跡	痕跡	痕跡 試験表面に僅かなかびの発生が認められた
	無処理	—	2	2	2	2	
リゾプス オリゼ NBRC31005	浸漬処理	32	痕跡	痕跡	1	1	1 試験表面のかび発育面積が、全面積の1/3未満
	無処理	—	2	2	2	2	
クラドスポリウム クラドスポリ オイデス NBRC6348	浸漬処理	37	0	0	0	0	2 試験表面のかび発育面積が、全面積の1/3以上
	無処理	—	2	2	2	2	
ケトミウム グロボスム NBRC6347	浸漬処理	35	0	0	0	0	2 試験表面のかび発育面積が、全面積の1/3以上
	無処理	—	1	2	2	2	

4. まとめ

イペ材の二次代謝物の木材腐朽菌及びカビに対する抗菌性を検討するため、イペ材から抽出した成分を耐朽性の低い木材へ注入し、抽出成分が耐朽性及びカビ抵抗性に及ぼす影響について調べた。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) イペ材抽出成分を注入したスギ試験片の強制腐朽12週間後の質量減少率は、3%以下となり、イペ材から抽出した成分を耐朽性の低い木材へ注入することで高い耐朽性が付与された。この結果は、木材保存剤の性能基準で規定された注入用防腐剤としての性能基準を満たしている。
- 2) イペ材抽出成分を注入したスギ材及びブナ材試験片について、放射方向、接線方向及び繊維方向の寸法が増加し、かさ効果が確認されたことから、抽出成分は道管及び仮道管細胞内腔に加えて、細胞壁内にも浸透している可能性が示唆された。これは木材の代謝生産物である抽出成分と木材との親和性が高かったためと考えられる。
- 3) イペ材抽出成分を浸漬処理したブナ材試験片について、カビ抵抗性試験を行ったところ、培養4週間後における観察で、一部の試験片にカビの発生が見られたものの、全体的にはカビの発生は少なかったことから、イペ材抽出成分には供試したカビに対する成長抑制作用が認められた。

謝辞

イペ材原産国であるブラジル連邦共和国におけるイペ材関連の情報提供にご協力頂きました。独立行政法人 森林総合研究所 大村和香子氏、北三 株式会社 松下悦久氏に感謝申し上げます。

(平成20年7月4日受付、平成20年8月5日再受付)

文 献

- (1) 村田光司, 伊神裕司, 松村ゆかり: 「スギ大丸太並材の製材歩止り」, 第58回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 563 (2008)
- (2) 鎌田昭吉: 「北海道産広葉樹の製材木取り(I)」, 木材工業, Vol. 34, pp. 176-178 (1979)
- (3) 細田木材工業株式会社: <http://www.woody-art-hosoda.co.jp/reportback.htm> (2004年6月25日)

- (4) Manners G D, Jurd L: “New natural products from marine borer resistant woods”, *Agricultural Food Chemistry*, Vol. 25, pp. 726-730 (1977)
- (5) Byeoung-Soo Park, Jun-Ran Kim, Sung-Eun Lee, Kyoung Soon Kim, Gary R. Takeoka, Young-Joon Ahn, Jeong-Han Kim: “Selective Growth-Inhibiting Effects of Compounds Identified in *Tabebuia impetiginosa* Inner Bark on Human Intestinal Bacteria”, *J. Agriculture and Food Chemistry*, Vol. 53, pp. 1152-1157 (2005)
- (6) 日本木材学会編: 「木材科学実験書Ⅱ. 化学編」, pp. 148 - 150 (1985)
- (7) 高鳥浩介, 相原真紀, 花澤良, 小菅旬子, 李憲俊, 村松芳多子, 太田利子: 「カビ検査マニュアルカラー図譜」, (株)テクノシステム, pp. 135 (2002)
- (8) 日本木材学会編: 「木材科学実験書Ⅱ. 化学編」, pp. 293 - 294 (1985)
- (9) 宮崎巖, 富田向日子: 「種々の環境における乾式法による塗料のカビ抵抗性試験方法」, 東京都立工業技術センター研究報告, Vol. 23, pp. 87-90 (1994)
- (10) ASTM Designation: G21-96: “Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi”, pp. 1-5 (2002)
- (11) 鈴木憲太郎, 軽部正彦, 宮武敦, 加藤英雄: 「ボンゴシ材を使った公園用木橋の落下について」, 木材工業, Vol. 55, pp. 78-81 (2000)