

アセチル化木材と高耐朽性樹種の耐朽性評価 —屋外用途（ウッドデッキ等）を想定して—

酒井 温子*¹, 池上 智重*², 民谷 浩二*³

1. はじめに

長期優良住宅の普及の促進に関する法律が、平成21年6月より施行となり、一般住宅の寿命を延ばす取り組みが始まっている。また、公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律が平成22年10月より施行され、さらに京都議定書の第二約束期間では、樹木の生育期間のみならず木材としての使用中も二酸化炭素を固定し続けるという考え方が導入された。このように、以前にも増して、木材を利用する際に耐久性が強く求められているが、これは建築物の構造材に限ったことではなく、ウッドデッキ等の屋外用途においても同様である。

アセチル化木材が、高い耐朽性や寸法安定性を有することはすでによく知られているが^{1,2)}、従来のアセチル化処理が、木粉や薄い材料を対象としていたのに対して、近年、処理技術が向上し、厚い板材に対しても処理がなされるようになり³⁾、ウッドデッキや木製サッシ等への利用が検討され始めた。

一方、ウッドデッキ等のエクステリア製品の材料として、イペ、ウリン等の高耐朽性樹種も人気がある。しかし、高耐朽性樹種の中には天然林を伐採することでしか入手できない木材も含まれており、環境保護の観点等から、今後、使用が困難になる場合も予想される。

そこで、管理された森林において計画的に伐採された植林木にアセチル化処理を行った材料を、

天然林で産する高耐朽性樹種の代替材の候補の1つと考え、アセチル化木材と16種の高耐朽性樹種等に対して室内耐朽性試験を行い、耐朽性を比較した。その際、アセチル化木材に対しては、材料の木口端部と中央付近とから試験体を採取し、部位による差も確認した。

2. 材料と方法

2.1 材料

アセチル化木材として、タイタンウッド社が製造したアコヤ（商品名）を使用した。樹種は、管理された森林から得られたラジアタパイン辺材で、製造者によると、アセチル化による重量増加率（アセチル化度）は19%以上とのことであった。また全乾密度は0.52であった。幅155mm、厚み26mm、長さ4mの板目板3枚を任意に選択し、このうち1枚（以後、アセチル化木材（A）と呼ぶ）については、板の木口端部付近（250mmまで）と、長さおよび幅方向のほぼ中央で、試験体を切り出した。残る2枚（以降、アセチル化木材（B）および（C）と呼ぶ）からは、任意の位置で試験体を採取した。

一方、高耐朽性樹種等として合計16種を使用した。すなわち、輸入広葉樹材のイペ（*Tabebuia* spp., 全乾密度1.08）、ウリン（*Eusideroxylon zwageri* Teysm. et Binn., 全乾密度0.97）、セランガンバツ（*Shorea* spp., 全乾密度0.82）、チーク（*Tectona grandis*, 全乾密度0.59）、イタウバ（*Silvia itauba*, 全乾密度0.82）、マニルカラ（*Ma-*

* 1 奈良県森林技術センター

* 2 池上産業株式会社

* 3 タミヤ株式会社

Corresponding author : Haruko Sakai (sakai-haruko@office.pref.nara.lg.jp)

nilkara spp., 全乾密度1.00), アサメラ (*Afrormosia elata* Harms., 全乾密度0.51), アピトン (*Dipterocarpus* spp., 全乾密度0.73), クルイン (*Dipterocarpus* spp., 全乾密度0.65), 国産広葉樹材のクリ (*Castanea crenata* Sieb. et Zucc., 全乾密度0.48), 輸入針葉樹材のサイプレスパイン (*Callitris glauca*, 全乾密度0.62), ベイスギ (*Thuja plicata*, 全乾密度0.35), ベイヒバ (*Chamaecyparis nootkatensis*, 全乾密度0.50), 国産針葉樹材のコウヤマキ (*Sciadopitys verticillata* Sieb. et Zucc., 全乾密度0.46), ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Endl., 全乾密度0.37) およびスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don, 全乾密度0.38) であった。

これらは、2011年に一般に流通していた材料であり、肉眼および顕微鏡による観察結果を文献⁴⁻⁶⁾や木材標本と照合することで樹種鑑定を行った。また、一般にアピトンとはフィリピンにおける *Dipterocarpus* 属の樹木の総称、クルインとはインドネシアにおける同じ属の樹木の総称であるが、今回の供試材料は、それぞれの名前で流通していた材である。コウヤマキとスギは天然乾燥材であるが、その他については、人工乾燥の有無やその方法等の履歴が不明であり、さらに個体や産地等による材質の差違もあり得ることから、今回の供試材料がその樹種を代表するものとは限らない。試験体は、節や顕著な目切れ等の欠点を含まない心材部分から採取した。

また、以上の材料と比較するために、耐朽性の低い材料としてスギ辺材とブナ (*Fagus crenata*) 辺材も使用した。

これらの試験体の大きさは、JIS K 1571:2010「木材保存剤—性能基準及びその試験方法」5.2.1.1 注入処理用 (以降、JIS K 1571と呼ぶ) に準じた試験に供する際には、木口面20×20mm、繊維方向10mmとし、JIS Z 2101:2009「木材の試験方法」26. 耐朽性試験 (以降、JIS Z 2101と呼ぶ) に準じた試験に供する際には、木口面20×20mm、繊維方向20mmとした。試験体数は、条件ごとに9体または12体とした。

2.2 方法

2.2.1 JIS K 1571に準じた室内耐朽性試験

通常、木材の素材の性質として耐朽性を調べる場合には、JIS Z 2101に準拠して、試験体の大き

さを20×20×20mmとし、耐候操作を実施せずに60日間の腐朽操作を行うことが多い。しかし、ウッドデッキや木製サッシのように雨水や直射日光に暴露される環境で長期間の使用を想定する場合、処理木材のみならず素材に対しても、腐朽操作前に水濡れと乾燥を行い、含有成分の溶出と揮散を促す、すなわち、JIS K 1571に準じた耐朽性試験が実態に合うと思われる。

具体的には、アセチル化木材 (A) ~ (C) と、すべての高耐朽性樹種およびスギ辺材から採取した20×20×10mmの大きさの試験体は、採取後1週間以内に、耐候操作を開始した。耐候操作は、JIS K 1571に準じて、流水中に8時間と60℃の乾燥器内に16時間置くことを1サイクルとして、10サイクルを実施した。また、耐候操作の影響を知るために、耐候操作を行わない場合も設定した。

その後、60℃恒量を測定してから、オオウズラタケおよびカワラタケによる腐朽操作を実施した。腐朽期間は12週間とした。腐朽操作後に再度60℃恒量を測定し、この間に生じた質量減少率を算出した。平均質量減少率と標準偏差は、小数点以下を四捨五入して整数で示した。なお、アセチル化木材 (B) と高耐朽性樹種等は同時に腐朽操作を行い、菌の活性が同じ状態で結果を比較できるようにした。

2.2.2 JIS Z 2101に準じた室内耐朽性試験

JIS K 1571による耐朽性試験の結果、一般に耐朽性が中程度もしくは高いと言われているにもかかわらず質量減少率が高かったアピトン、クルイン、ベイスギ、ベイヒバ、ヒノキおよびスギの各心材部分に対して、JIS Z 2101による耐朽性試験も実施した。比較のために、スギ辺材とブナ辺材も使用した。試験体は、JIS K 1571に供した試験体を採取した後、約4カ月間室内で紙箱に入れて保管していた材料 (長さ約300mm) より、端部を10mm程度除去してから採取した。採取後は、耐候操作を実施せずに、オオウズラタケとカワラタケによる腐朽操作を行った。腐朽期間は60日間とし、この前後に測定した60℃恒量から質量減少率を算出した。平均質量減少率と標準偏差は、小数点以下を四捨五入して整数で示した。

3. 結果と考察

3.1 アセチル化木材 (A) ~ (C) の耐朽性

腐朽操作終了時点で、オオウズラタケの菌糸はすべてのアセチル化木材の全表面を覆っていた。また、カワラタケの菌糸は試験体表面を部分的に薄く被覆していた。菌糸の被覆はあったものの、試験後の試験体は、図1に示すように、部分的に変色が見られたが、形状に変化はなかった。

腐朽操作による平均質量減少率と標準偏差を表1に示した。表1からわかるように、アセチル化木材 (A) ~ (C) のいずれにおいても、小数点以下を四捨五入した結果、平均質量減少率は0%であった。ばらつきも少なく、全試験体の中でもっとも高い数値はオオウズラタケで0.3%、カワラタケで2.6%であった。このことから、今回試験に供した材料（幅155mm、厚み26mm、長さ4

mのラジアタパイン辺材板目板）について、内部まで高い耐朽性があることが確認されたといえる。

今村らによると²⁾、アセチル化によるスプールの重量増加率が増加すると、オオウズラタケおよびカワラタケによる質量減少率は低下し、オオウズラタケの場合はアセチル化による重量増加率が15~20%で、またカワラタケの場合は重量増加率が5%程度で、JIS K 1571による質量減少率はほとんど認められなくなる。製造者によると、今回の供試材料は、アセチル化によるラジアタパインの重量増加率が19%以上とのことであり、樹種は異なるものの、今村らの試験結果と合致している。

今回の供試材料のように、内部まで高い性能が付与されておれば、切断や表面切削等の加工をしても、耐朽性の低い未処理部分が露出するといっ



図1 アセチル化木材 (B) の JIS K 1571による腐朽操作終了後の試験体
左から、オオウズラタケ（耐候操作なし、あり）、カワラタケ（耐候操作なし、あり）

表1 アセチル化木材の室内耐朽性試験結果

試験体	平均質量減少率と標準偏差*1 (%)					
	オオウズラタケ			カワラタケ		
	JIS Z 2101*2		JIS K 1571*3	JIS Z 2101*2		JIS K 1571*3
	耐候操作なし	耐候操作あり	耐候操作なし	耐候操作あり	耐候操作なし	耐候操作あり
アセチル化木材 (A) 木口端部付近	0 (0)	-	0 (0)	0 (0)	-	0 (1)
(A) 中央部付近	0 (0)	-	0 (0)	0 (0)	-	0 (0)
(B) *4	-	0 (0)	0 (0)	-	0 (0)	0 (0)
(C)	-	-	0 (0)	-	-	0 (0)
スギ辺材*5	49 (6)	-	59 (3)	25 (1)	-	38 (3)
ブナ辺材*5	53 (6)	-	-	43 (4)	-	-

*1 ()内の数値が標準偏差。-は試験未実施を示す。

*2 試験体の大きさは20×20×20mm、腐朽期間は約60日間。

*3 試験体の大きさは20×20×10mm、腐朽期間は12週間（約84日間）。

*4 表2に示す素材と同時に供試した。

*5 アセチル化木材 (A) と同時に供試した。

た危険性がないことは、大きな長所といえる。

一方、懸念される点としては、室内耐朽性試験は、あくまで促進的に初期性能を見るための試験であり、この性能が長期間維持されるかどうかは現時点では不明である。アコヤを製造しているタイタンウッド社は、このアセチル化木材について野外非接地環境で50年、地中や淡水中で25年の耐用年数を保証しているが、木材中に導入されたアセチル基が、高温多湿な日本の屋外環境下でどの程度の期間安定であるかは、今後の検討課題である。

3.2 高耐朽性樹種等の耐朽性

表2では、腐朽操作による平均質量減少率と標準偏差を樹種ごとに示した。質量減少率と腐朽操作中の試験体への菌糸の被覆状況には関連があり、オオウズラタケによる質量減少率が高いという結果が出た試験体については、菌糸の被覆量が多く、試験体上面に子実体が形成されることが多かった。また、カワラタケによる質量減少率が高い試験体では、菌糸の被覆面積や被覆量が多い傾向にあった。

3.2.1 長期間の野外使用に適する樹種

JIS K 1571では、木材保存剤で処理された試験体に耐候操作を施した後に、オオウズラタケおよびカワラタケによる腐朽操作を行い、平均質量減少率が両菌に対していずれも3%以下であることを、木材保存剤の合格基準としている。そこで、今回の試験結果についても JIS K 1571で耐候操作ありの試験条件で質量減少率3%を基準値とすると、表2よりイベ、ウリン、セラングンバツ、チーク、イタウバ、マニルカラ、サイプレスパインおよびコウヤマキの各心材が、この基準を満たした。これらの代表として、図2に、試験後のウリン心材試験体を示した。供試菌の差違や耐候操作の有無によらず、試験体の形状は試験前と変化しておらず、この様子からも耐朽性の高さがうかがえる。

図3では、全乾密度と JIS K 1571による質量減少率の関係を示した。今回の供試材料の中で、全乾密度が0.8以上の5樹種はいずれも質量減少率が3%以下であった。理論的に考えても、腐朽菌の活動により同一量の木材実質が失われた場合、密度が高い材料ほど質量減少率は低い値となるた

表2 高耐朽性樹種等(素材)の室内耐朽性試験結果

	樹種 ^{*4}	平均質量減少率と標準偏差 ^{*1} (%)						
		オオウズラタケ			カワラタケ			
		JIS Z 2101 ^{*2}		JIS K 1571 ^{*3}	JIS Z 2101 ^{*2}		JIS K 1571 ^{*3}	
		耐候操作なし	耐候操作あり	耐候操作なし	耐候操作なし	耐候操作あり		
広葉樹材	輸入材	イベ	-	0 (0)	0 (0)	-	0 (0)	0 (0)
		ウリン	-	0 (0)	0 (0)	-	0 (0)	0 (0)
		セラングンバツ	-	1 (1)	2 (1)	-	0 (0)	3 (2)
		チーク	-	2 (1)	3 (1)	-	1 (0)	0 (0)
		イタウバ	-	1 (0)	1 (0)	-	0 (0)	0 (0)
		マニルカラ	-	1 (1)	2 (1)	-	1 (1)	3 (2)
		アサメラ	-	2 (1)	5 (2)	-	12 (4)	21 (2)
		アビトン	12 (2)	36 (5)	41 (5)	16 (3)	32 (4)	35 (4)
	クルイン	14 (3)	22 (4)	19 (6)	14 (3)	22 (2)	23 (3)	
	国産材	クリ	2 (0)	1 (1)	11 (5)	17 (8)	28 (20)	44 (10)
ブナ辺材		43 (2)	-	-	32 (5)	-	-	
針葉樹材	輸入材	サイプレスパイン	-	0 (0)	3 (2)	-	0 (0)	0 (0)
		ベイスギ	8 (9)	27 (20)	41 (4)	1 (0)	2 (1)	0 (0)
		ベイヒバ	14 (2)	45 (6)	52 (7)	3 (1)	2 (3)	0 (0)
	国産材	コウヤマキ	-	0 (0)	0 (1)	-	1 (0)	0 (0)
		ヒノキ	5 (5)	18 (13)	39 (9)	7 (5)	12 (12)	22 (11)
		スギ	3 (2)	14 (8)	36 (4)	2 (1)	2 (1)	6 (5)
		スギ辺材	47 (6)	53 (9)	-	22 (3)	41 (6)	-

*1 ~ *3 は表1に同じ。

*4 特に記載のない場合は心材である。



図2 ウリン心材の JIS K 1571による腐朽操作終了後の試験体
左から、オオウズラタケ（耐候操作なし，あり），カワラタケ（耐候操作なし，あり）

め、今回のような室内試験と評価方法を用いると、高密度の材料は耐朽性が高いという判定を受けやすくなる。しかし、図3によると、全乾密度が低くても質量減少率が低い樹種も存在することから、質量減少率への密度の関与はあるとしても、それほど顕著なものではないと考えられ、今日までの多くの研究が示してきたように^{7,8)}、木材の耐朽性にとって最も重要な因子は抽出成分である。

JIS K 1571で耐候操作ありの試験条件で質量減少率が3%以下となった8樹種については、それぞれが保有する抽出成分が木材保存剤に匹敵する極めて高い抗菌力を有し、かつ水濡れや乾燥にも耐えうる、つまり耐候性も有することから、長期間の野外使用にも耐えうる可能性が高い。国産材の中では、コウヤマキがイペ等と同等の耐朽性を示した。コウヤマキは、一部の地域で植林されているが、現在、蓄材量が少なく、まとまった量が市場に出てくることは少ない。今後、無処理で屋外使用に適する木材を国内で安定して得るために、植林することを提案したい。

3.2.2 屋内湿潤環境で使用できる樹種

耐朽性が高いと言われているクリ、ベイスギ、ベイヒバ、ヒノキおよびスギ各心材は、JIS K 1571の試験では、質量減少率が高く、前述のイペ等と比べると顕著な差があった。耐候操作をすることで質量減少率が増加しており、水濡れや乾燥の繰り返して抗菌成分が徐々に消失する可能性が高い。試験後の試験体の様子を、図4にクリ心材について、図5にベイスギ心材について、腐朽が

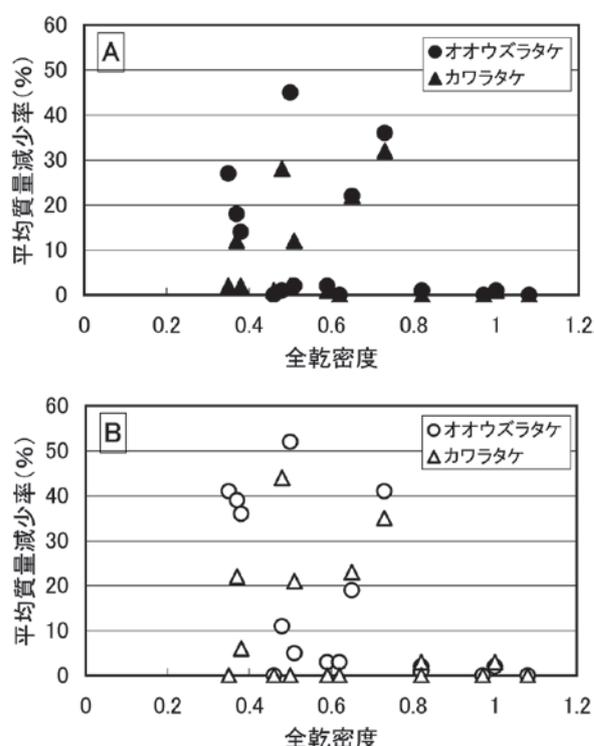


図3 高耐朽性樹種（心材）における密度と腐朽による質量減少率の関係
A：耐候操作なし，B：耐候操作あり

著しい方の木口面を上にして示した。これらの図より、特に供試菌がオオウズラタケの場合、耐候操作を実施することで木口面から腐朽が進行したことが確認できる。ウッドデッキのように、野外で雨水や直射日光が当たるような厳しい環境で使用する場合、木口面の露出箇所、たとえば、部材の端部、表面割れやボルト穴付近から徐々に腐朽が進行し、イペ等よりも耐用年数が短くなる可能性がある。

しかしながら、JIS Z 2101による試験結果では、スギ辺材やブナ辺材よりも、クリ、ベイスギ、ベイヒバ、ヒノキおよびスギ各心材の質量減少率は著しく小さく、これらの木材が高い耐朽性を有することも明らかである。住宅の床下等、雨水や直射日光に直接暴露されない環境で、高耐朽性樹種として使用することが可能と思われる。また、今回得られたJIS Z 2101による質量減少率は、既往の試験結果よりも全般に高い値であった⁹⁾。その原因として、材料の個体差とともに、供試菌の活性が高かったことも考えられる。

3.2.3 耐用年数

高耐朽性樹種であっても、抗菌力のある抽出成分が経年と共に徐々に揮散や溶脱等により木材中から失われると、いずれは腐朽しやすくなり、寿命を迎えると考えられる。

今回のJIS K 1571による室内耐朽性試験で質量減少率が3%以下となったウリン、セランガンバ

ツ、チーク、コウヤマキ各心材については、浅川実験林での現在のJIS K 1571:2010「木材保存剤－性能基準及びその試験方法」5.2.3野外試験に準じた野外杭試験で耐用年数10年以上が確定している^{10, 11)}。一方、これらよりも室内耐朽性試験で質量減少率が高かったクリ、ベイスギ、ベイヒバ、ヒノキ各心材では、耐用年数7.0～7.5年、アピトン、クルイン、スギ各心材では、耐用年数は3.5～6.0年となっており^{10, 11)}、両試験結果はよく対応している。

なお、ここでいう野外杭試験における耐用年数とは、JIS K 1571により木口断面が30×30mmの杭の平均被害度が2.5を越える年数と定義されており、大きさや形状が様々な木材製品にその年数をそのままあてはめることは適切ではない。また、ウッドデッキのような非接地で板を横に使う用途での耐用年数は、接地の杭とは異なることから、今回の室内耐朽性試験結果や既往の杭試験結果を



図4 クリ心材のJIS K 1571による腐朽操作終了後の試験体
左から、オオウズラタケ（耐候操作なし、あり）、カワラタケ（耐候操作なし、あり）



図5 ベイスギ心材のJIS K 1571による腐朽操作終了後の試験体
左から、オオウズラタケ（耐候操作なし、あり）、カワラタケ（耐候操作なし、あり）

元に、各材料で作ったウッドデッキの耐用期間の長短は推定できても、具体的な年数を示すことは難しい。

4. まとめ

オオウズラタケとカワラタケを使った促進的な腐朽操作と、それに加えて、あらかじめ使用環境を考慮して水濡れと乾燥を組み込んだ耐候操作とを合わせて、アセチル化木材と高耐朽性樹種の耐朽性について評価した。

JIS K 1571に準拠した室内耐朽性試験の結果、今回使用したアセチル化木材は、イペ、ウリン等の8種の高耐朽性樹種と共に、オオウズラタケおよびカワラタケによる質量減少率が3%以下となり、高い耐朽性と耐候性を有すると判断された。また、今回使用したアセチル化木材は内部も耐朽性が高く、切断や表面切削を行っても未処理部分が露出する恐れはなかった。したがって、今回使用したアセチル化木材とイペ、ウリン等とは、材料の耐朽性や耐候性の点で同等であり、アセチル化木材はイペやウリンの代替になりうると言える。ただし、耐用年数、すなわちどれだけ長期間の使用に耐えるかは、今回の促進的な試験では明らかにできないため、今後、野外試験等による確認が必要となる。

また、高耐朽性木材の中には、腐朽操作前に耐候操作を実施すると、腐朽による質量減少率が增加する樹種があった。この特徴を持つ樹種については、雨水や直射日光に直接暴露される野外よりも、住宅床下等で使用することが適すると考えられた。

なお、アセチル化木材も高耐朽性樹種も、実際の使用にあたっては、寸法安定性、加工性、接着性^{12, 13)}、金属腐食性等、耐朽性以外の性能も把握しておく必要があることは言うまでもない。また、今回の結果の活用にあたっては、素材は個体差があることから、表2は今回使用した材料の結果であることに留意されたい。

引用文献

- 1) Stamm, A. J. and Baechler, R. H. : Decay resistance and dimensional stability of five modified woods. *Forest Products Journal*, **10** (1), 22-26 (1960).
- 2) Imamura, Y. and Nishimoto, K. : Some aspects on resistance of acetylated wood against biodeterioration. *Wood Research*, **74**, 33-44 (1987).
- 3) Rowell, R. M., Kattenbroek, B., Ratering, P., Bongers, F., Leicher, F., and Stebbins, H. : Production of Dimensionally Stable and Decay Resistant Wood Components Based on Acetylation. 11DBMC (The 11th International Conference on Durability of Building Materials and Components) T12, 2008.
- 4) 緒方健 : “南洋材の識別”, 社団法人日本木材加工技術協会, 1985.
- 5) 島地謙, 伊東隆夫 : “図説 木材組織”, 地球社, 1982.
- 6) 日本材料学会木質材料部門委員会編 : “木材工学辞典”, 1982, pp.732-750.
- 7) 社日本木材保存協会編 : “木材保存学”, 1972, pp.63-72.
- 8) 今村博之ら編 : “木材利用の化学”, 共立出版, 1983, pp.151-160.
- 9) たとえば, 奈良県森林技術センター編 : “改訂版 木材加工技術ハンドブック”, 2000, pp.300-302.
- 10) 松岡昭四郎, 雨宮昭二, 庄司要作, 井上衛, 阿部寛, 内藤三夫 : 各樹種の野外試験による耐朽性調査結果, *林業試験場研究報告*, **232**, 109-135 (1970).
- 11) 松岡昭四郎, 井上衛, 庄司要作, 鈴木憲太郎, 山本幸一 : 日本産, および南洋産材の野外に設置した杭の腐朽経過と耐用年数, *林業試験場研究報告*, **329**, 73-106 (1984).
- 12) 柳川靖夫, 民谷浩二 : アセチル化木材を使用した集成材の接着性能と寸法変化, *奈良県森林技術センター研究報告*, **41**, 59-67 (2012).
- 13) 柳川靖夫, 民谷浩二 : アセチル化木材の縦つぎ材製造条件, *奈良県森林技術センター研究報告*, **41**, 69-71 (2012).

(2012.9.18受付)

要 旨

アセチル化木材（ラジアタパイン辺材，アセチル化度19%以上）と16種の高耐朽性樹種等について，JIS K 1571：2010「木材保存剤－性能基準及びその試験方法」5.2.1.1注入処理用に準拠して，室内耐朽性試験を実施した。その結果，腐朽操作前に耐候操作（流水中の浸せきと60℃乾燥の10回繰り返し）を実施しても，今回使用したアセチル化木材は，イペ，ウリン等の一部の高耐朽性樹種と共に，オオウズラタケおよびカワラタケによる質量減少率が3%以下となり，高い耐朽性と耐候性を有すると判断された。また，今回使用したアセチル化木材は，4mの板材の木口端部付近のみならず中央付近においても，同様の高い耐朽性能を示した。一方，一般に高耐朽性樹種と呼ばれる木材の中には，腐朽操作前に耐候操作を実施すると，腐朽による質量減少率が増加する樹種があった。この特徴を持つ樹種については，雨水や直射日光に直接暴露される野外よりも，屋内（湿潤環境含む）で使用することが適すると考えられた。