

築約 100 年の木造住宅で使用されていたヒノキ床組材の耐朽性^{*1}

酒井 温子

築約 100 年の木造住宅の一階床組で使用されていたヒノキ材に対して、劣化調査と耐朽性試験を行った。劣化調査では、外観の観察とともに、材料を切断し内部の劣化状態を確認した。また、耐朽性試験では、奈良県内等で近年腐朽木材から分離された木材腐朽菌を供試菌として使用した。その結果、床束、大引きおよび根太の辺材には、腐朽やヤマトシロアリの食害が見られ、木口端部と外周部分の心材の一部にも腐朽が確認されたが、内部の心材は、今なお多くの腐朽菌に対して高い耐朽性を有することが明らかになった。

1. はじめに

住宅の床下は高湿度になりやすく、一階床組は腐朽やシロアリ食害を受けやすい部位である。

ヒノキ心材は優れた抗菌成分を有し、耐朽性が高いことから¹⁾、住宅の土台や大引きにしばしば利用されてきた。住宅金融支援機構監修の木造住宅工事仕様書においても、ヒノキは防腐防蟻処理をせずに土台に使用可能と記されている²⁾。しかし、含有する抗菌成分が長期間にわたる使用中に徐々に変質したり揮散等により減少したりするならば、ヒノキ心材の耐朽性も徐々に低下する恐れがある。

長期優良住宅の普及の促進に関する法律や、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相次いで施行され、木材を長期間安全に利用することが以前にも増して求められている。床組は、床にかかる鉛直荷重を受けるだけでなく、地震や台風による水平荷重に対して建物を変形しにくくする役割も担っていることから、床組材を腐朽やシロアリ被害から守り強度を保持することは、住人や利用者の安全を確保する上で重要であるが、奈良県の気候下でヒノキ材を防腐防蟻処理なしに一階床組材として使用した場合の劣化や耐朽性について、公表された情報はほとんどない。

今回、奈良県内で築約 100 年の木造住宅が解体され、一階床組で使用されていたヒノキ材を入手する機会に恵まれた。このヒノキ材の劣化調査と耐朽性試験を行ったので報告する。

2. 材料と方法

2.1 材料

平成 24 年、奈良県吉野郡黒滝村で築約 100 年が経過した木造住宅が取り壊された。この住宅の床は、露出した土壌に東石を置き床束を立てた上に、大引き、根太、床板を順に組み上げて作られていた。入手した材料は、表 1 に示したように、この住宅で使用されていた床束、大引きおよび根太で、樹種はすべてヒノキで辺材と心材が混在していた。黒滝村は古くから林業が盛んな地域であり、このヒノキも黒滝村もしくはその周辺の地域で生育した可能性が高い。材料は住宅解体後に入手したため、各材が住宅のどの位置に置かれていたかは不明である。また、一部の材料は、劣化がほとんどなく、材色からも補修に使われた新しい部材の可能性があったため、この特徴を持つ材は、劣化調査および耐朽性試験には使用しなかった。各試験体については、以下の各項で具体的に説明する。

表 1 入手した材料

部材	樹種	概寸(mm)		本数(本)
		木口断面	長さ	
床束	ヒノキ	103×103	340~480	27
大引き	ヒノキ	103×103	600~1000 ^{a)}	25
根太	ヒノキ	62×62	600~1000 ^{a)}	63

^{a)}：大引きと根太は、住宅解体時に切断されていた。

*1：本研究の一部は第 63 回日本木材学会（2013 年 3 月 盛岡）において発表した。

2.2 劣化調査

2.2.1 肉眼観察

入手した床束、大引きおよび根太から、住宅解体時の損傷が少なく、かつ外観から劣化が著しいと思われる材を3体ずつ選んだ。材に残るくぎ跡や経年による材色変化等から床組材として使用されていた時の材の上下を推定した。

床束については、木口端部およびそこから繊維方向に約100mmおきに幅約20mmの試験体を合計4体切り出し、木口断面で劣化状態を観察した。また、大引きについては、くぎ跡や材色等から床束や根太と接触していたと推定される部分2箇所と、非接触の部分4箇所、また、根太についても大引きと接触していたと推定される部分2箇所と、非接触の部分4箇所、幅約20mmの試験体を切り出し、木口断面で劣化状態を観察した。

2.2.2 加害した生物の特定

(1) 加害虫の同定

材料を入手した時点で、一部の箇所でも虫による食害が進行していたため、加害虫を捕獲し、その形態から同定を行った。

(2) 腐朽菌の同定

殺菌したピンセットやカミソリ刃を用いて、2.2.1や後述の2.3.1で使用しなかった部位から少量の木片を採取し、シャーレ内の寒天培地に植え付け、25℃で培養を行った。寒天培地には、栄養源としてグルコース1%、ペプトン0.3%およびマルトエキス1%を添加した。寒天培地上に生育した微生物を顕微鏡で観察し、クラムプを有する等、担子菌の特徴を持つ菌糸を見つけ、その生育部位を切り取って、新たな寒天培地に植え替える作業を3回以上繰り返した。

菌種のDNA分析による同定は、ITS-5.8S rDNA塩基配列で行った。相同性検索は、国際塩基配列データベース (GenBank/DDBJ/EMBL) により実施した。

2.3 耐朽性試験

2.3.1 木材試験体

耐朽性試験には、2.2.1で使用しなかった材料から、図1に示すように、材が通直で節が少ない大引き5本と根太4本を選別して使用した。木口端部から繊維方向に約100mmまでの部分を除去し、さらに、腐朽や虫害痕、節、髓とその周辺を除き、肉眼観察で健全と思われる心材部分から、20×20×20mmの試験体を繊維方向に連続して12個ずつ採取し、12種の供試菌に対して1個ずつ使用した。

対照材として、奈良県内で近年伐採されたスギの辺材を使用した。スギ辺材試験体の大きさも20×20×20mmとし、各供試菌に対して9体ずつ使用した。辺材は樹種を問わず、抗菌成分をほとんど持たないため、耐朽性が低いことが知られている¹⁾。ヒノキの辺材幅は狭く、所定の大きさの試験体を採取することが難しかったため、ここではスギ辺材を耐朽性が低い木材の代表として用いることにした。

耐候操作は実施しなかった。

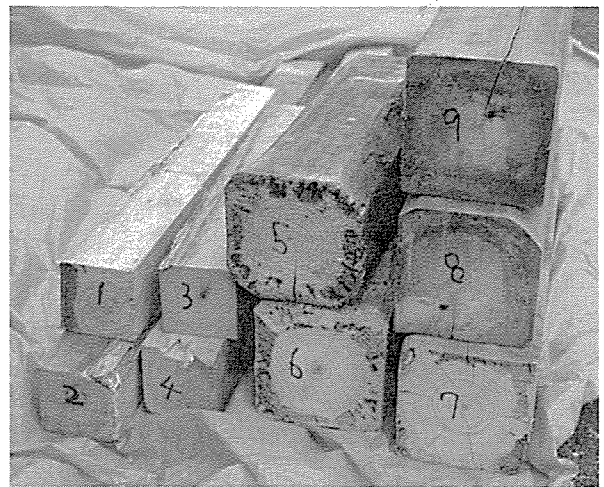


図1 耐朽性試験に供した材料

図中の1～4の材料は根太、5～9の材料は大引きである。耐朽性試験には内部の健全な心材部分を使用した。

2.3.2 方法

耐朽性試験の供試菌として、表2に記した12種類の木材腐朽菌を用いた。これらの木材腐朽菌は、非接地環境における腐朽木材やそこから発生していた子実体から近年分離され、培養ビン内でスギ辺材およびブナ辺材を単独で腐朽する性質があることがすでに確認されている³⁾。表2のNo.3の菌は、2.2.2(2)の操作により今回分離されたものである。この菌の詳細については、3.1.2で説明する。

これらを用いて、JIS Z 2101⁴⁾を参考にした方法で耐朽性試験を行った。すなわち、900ml容のガラス製の広口培養ビンに5号珪砂、培養液およびプラスチック製の網を入れ、滅菌操作後に、振とう培養で得られた供試菌の菌糸粒を含む培養液を5～10mlずつ注いだ。この際、培養ビンに加えた培養液は、グルコース2%、ペプトン0.3%およびマルトエキス2%を含む水溶液、また振とう培養液は、グルコース1%、ペプトン0.3%およびマルトエキス2%の水溶液とした。菌糸が培養ビン内で十分に繁茂した時に、エチレンオキサイドガスにより無菌状態とした試験体を1ビンに3

個ずつ設置した。この際、一方の木口面を下面として菌そうに接触させた。温度 27℃、相対湿度 75% の恒温恒湿室にて 60 日間培養した。

この腐朽操作の前後に測定した試験体の 60℃ 恒量から、次式により質量減少率を算出し、試験体の耐朽性の指標とした。

$$\text{質量減少率 (\%)} = (\text{腐朽前の 60℃ 恒量} - \text{腐朽後の 60℃ 恒量}) / \text{腐朽前の 60℃ 恒量} \times 100$$

3. 結果と考察

3.1 ヒノキ床組材の劣化状態

3.1.1 肉眼観察

図 2 に床束、図 3 に大引きおよび図 4 に根太について、外観と木口断面を示した。各部材について各 3 体を観察したが、劣化状態は類似していたので、図 2～4 ではそのうちの各 1 体を例示した。また、いずれの部材も材の表層部の 1 mm 程度は被害が顕著でない場合が多く、どの程度内部まで腐朽や蟻害が進行しているかは、表面の観察だけでは正確な把握は困難であった。このため、以下では、木口断面の様子を中心に説明する。

まず、床束については、最下部 (図 2 D) の劣化が著しく、辺材のみならず心材の広範囲にわたって腐朽やシロアリの食害が観察された。その次に内部まで劣化が進行していたのは上部 (図 2 A) であり、中間部

(図 2 B と C) では被害は主に外周の辺材で観察された。腐朽部位は褐色を呈していた。

次に、大引きと根太については、腐朽やシロアリの食害は外周部の辺材と心材の一部に限定されていた。ここでも大半の腐朽部位は褐色を呈していた。木口断面で劣化部位の分布を見ると、住宅の中で下に位置していた部分に劣化が著しい傾向があった。鈴木らは、築 29 年の茨城県内の住宅で使用されていたスギ大引き 17 本について、劣化調査を行ったところ、地面に近い位置にあった材ほど、木口断面における腐朽面積が広がる傾向があり、このことは土壌からの湿気の上昇が関係していると報告している⁵⁾。今回観察された劣化部位の分布も、鈴木らの報告と矛盾していない。また、今回は土台として使用された材は入手できなかったが、地面からの高さや材料の大きさが近いことから推定して、大引きと同様の劣化状態であった可能性がある。

一方、大引きや根太において、他の部材と接触していた部分と非接触の部分の劣化を比較すると、材表面では差がみられ、他部材との接触部分でシロアリの食害痕が多く見つかった。しかし、内部の劣化状況については、たとえば図 3 C・F (根太や床束との接触部分) と A・B・D・E (非接触部分) の比較から明らかのように、大差がなかった。

今回は、これらの材が住宅で使用されていた時の床下環境の湿度測定は行っていないが、同様の床下構造、すなわち、露出した土壌に束石を置き、床束を立てた、

表 2 耐朽性試験に使用した木材腐朽菌

No.	和名		学名	備考
	種名	科名・属名		
1	オオウズラタケ	サルノシカケ科 ツガサルノシカケ属	<i>Fomitopsis palustris</i>	JIS Z 2101 指定菌
2	カワラタケ	サルノシカケ科 カワラタケ属	<i>Trametes versicolor</i>	JIS Z 2101 指定菌
3	イドタケ	イドタケ科 イドタケ属	<i>Coniophora puteana</i>	分離源: 奈良県黒滝村の住宅床下材
4	オオウズラタケ	サルノシカケ科 ツガサルノシカケ属	<i>Fomitopsis palustris</i>	分離源: 鹿児島県の木橋床板
5	カワラタケ	サルノシカケ科 カワラタケ属	<i>Trametes versicolor</i>	分離源: 奈良県天理市の住宅床下材
6	キカイガラタケ	サルノシカケ科 キカイガラタケ属	<i>Gloeophyllum sepiarium</i>	分離源: 奈良県天理市の住宅ベランダ床板
7	種不明	コウヤクダケ科 属名の和名なし	<i>Peniophorella sp.</i>	分離源: 奈良県吉野町の住宅の軒下材
8	ワタグサレタケ	サルノシカケ科 シカタケ属	<i>Antrodia sinuosa</i>	分離源: 岐阜県の遊具の支柱地上部
9	ヒイロタケ	サルノシカケ科 シュタケ属	<i>Pycnoporus coccineus</i>	分離源: 奈良県高取町の根株の頂部
10	アラゲカワキタケ	ヒラタケ科 カワキタケ属	<i>Panus tigrinus</i>	分離源: 奈良県高取町の根株の頂部
11	コゲイロカイガラタケ	サルノシカケ科 キカイガラタケ属	<i>Gloeophyllum abietinum</i>	分離源: 奈良県明日香村の杭材の頂部
12	チョークアナタケ	サルノシカケ科 シカタケ属	<i>Antrodia xantha</i>	分離源: 滋賀県の木橋の桁

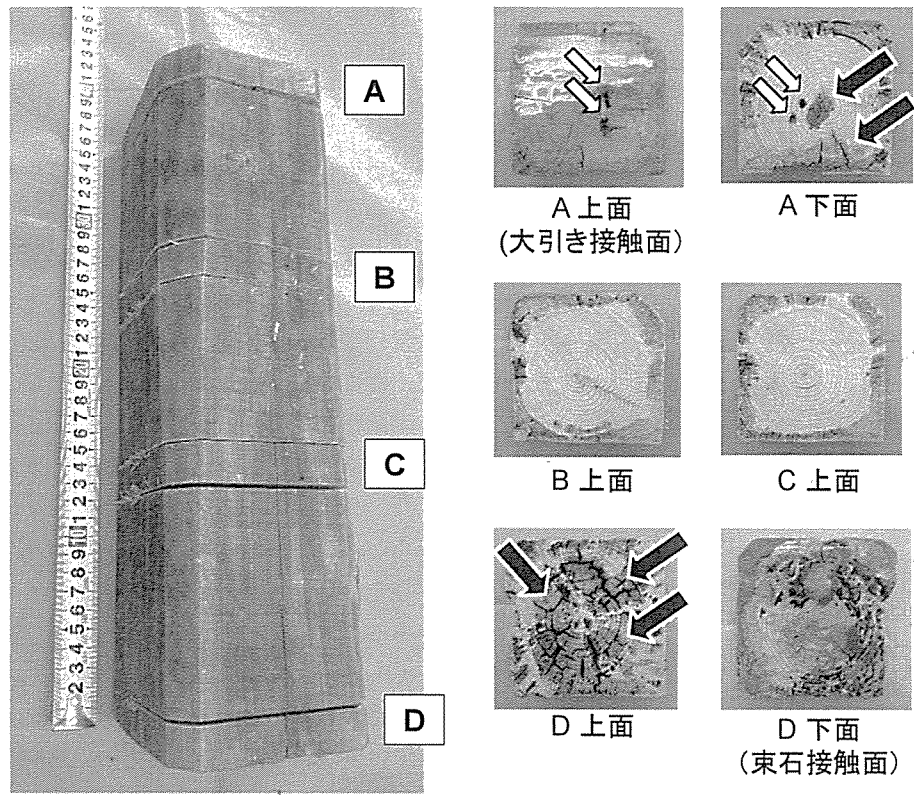


図2 床束の外観と木口断面
 黒矢印：心材の腐朽箇所、白矢印：くぎ穴

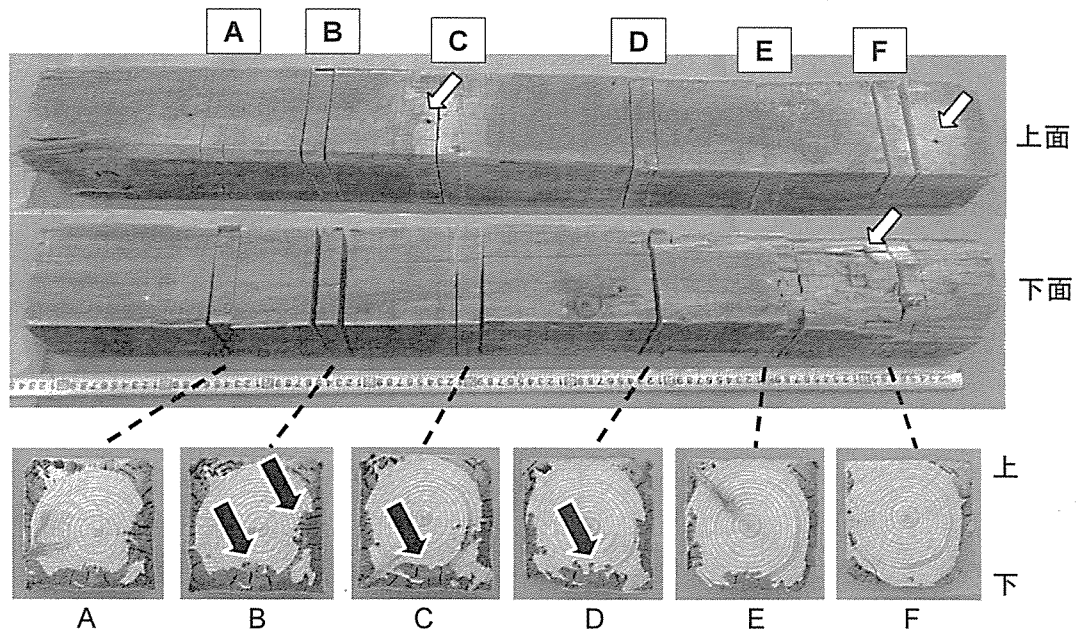


図3 大引きの外観と木口断面
 黒矢印：心材の腐朽箇所、白矢印：くぎ穴
 CとFの上面が根太に接触、Fの下面が床束に接触

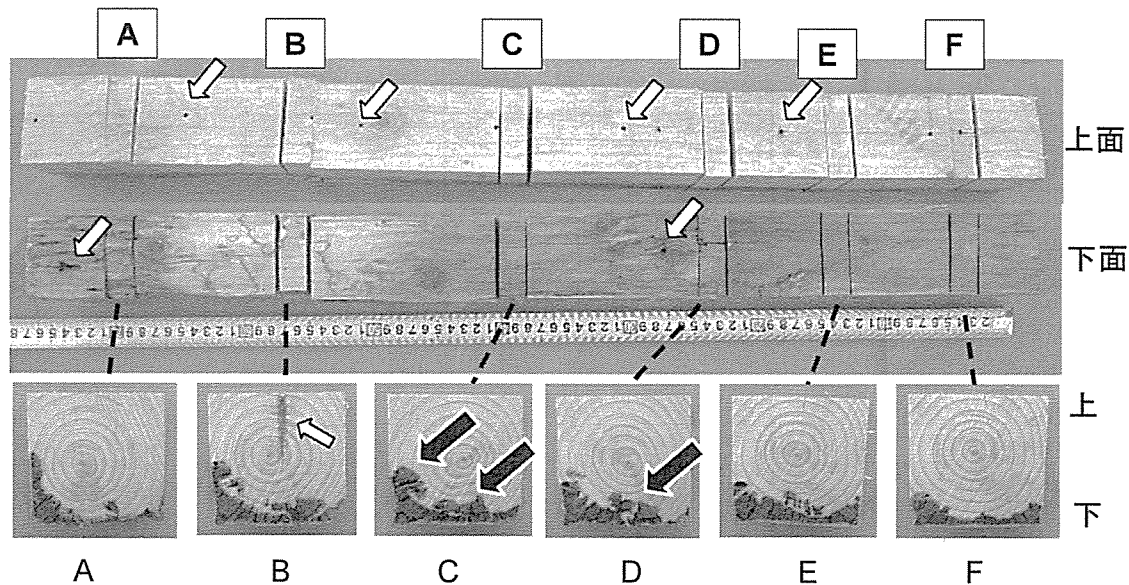


図4 根太の外観と木口断面
 黒矢印：心材の腐朽箇所、白矢印：くぎ穴
 AとDの下面が大引きに接触

上に大引き、根太、床板を順に組んだ建物の床下で、年間を通じて湿度の測定が行われた事例がいくつかある。藤平が奈良県橿原市の称念寺本堂で測定した結果によると、床下の高さが500～700mmで今回の住宅よりも床下高がやや高い状況下で、相対湿度は年間を通じておよそ55～90%で推移し、もっとも高湿度になるのが6月の梅雨時期で、そのときの相対湿度は80%以上であった⁶⁾。この本堂の床組材にも腐朽やシロアリの被害が観察されている。また、土居らは京都府宇治市の実験用の2階建て木造住宅において床下の湿度測定を行っており、それによると、土壌が露出した布基礎構造の床下では、相対湿度は年間を通じて70～95%で推移し、さらに湿度の推移は土台の含水率にも反映し、年間を通じて土台の含水率は20%以上であったと報告している⁷⁾。木材腐朽菌やシロアリが活動するには、水、酸素および適した温度の3条件がそろふ必要がある。今回、床組材の提供を受けた住宅においても、床下は高湿度の時期があり、それに伴って木材の含水率が高くなり、腐朽菌やシロアリが活動したと推定される。

3.1.2 加害した生物

加害虫は、兵蟻の頭部の形態等からヤマトシロアリと同定された。多くの部材にみられたシロアリ食害はヤマトシロアリによると推定された。

また、腐朽部分から2種の担子菌が分離された。

1つ目の菌株は、床束と大引きで褐色を呈していた複数の部分から得られ、ITS-5.8S rDNA塩基配列において、データベース上の20菌株以上と相対率が

99%以上であり、イドタケ (*Coniophora puteana*) と同定された。イドタケは住宅の床下等で褐色腐朽を引き起こす菌として知られている⁸⁾。

2つ目の菌株は、大引きと根太で材が黄白色に変化した2箇所の部位からの分離菌であるが、データベース上でもっとも相対率が高かったのが *Tulasnella pruinosa* で98%であった。しかし、登録されている菌株が1種しかないため、本報では種を特定するための情報が不足していると判断し、科属種とも現時点では不明とした。また、この2つ目の菌株は、培養ビン内で健全なスギ辺材やブナ辺材を単独で腐朽する性質を有していなかった⁹⁾。

和田らは、築60年の一般住宅に使用されていた土台を対象として、DNAを用いた腐朽菌の菌種に関する詳細な分析を行っている。それによると、横幅70mm、高さ95mmの木口断面の6箇所から、2種類の分析方法により、データベース上で確認できただけでも、合計で5もしくは7種類の木材腐朽菌およびカビが検出されている⁹⁾。今回の床組材については、分離できた担子菌は2菌株であるが、実際にはより多くの菌種が腐朽に関与していた可能性もある。

3.2 ヒノキ床組材の健全部の耐朽性

今回耐朽性試験に使用したヒノキ心材の60℃乾燥時の密度は、0.43～0.50g/cm³であった。現在の健全なヒノキ材の気乾密度は、0.34～0.54g/cm³であり¹⁰⁾、木材の乾燥状態が異なるので正確な比較はできないものの、耐朽性試験にはほぼ健全な部分が使用されたと推定された。

表3 腐朽操作によって生じた質量減少率

No.	供試菌	ヒノキ心材 ^{a)} の質量減少率(%)			スギ辺材 ^{b)} の質量減少率(%)			片側有意確率(P)
		最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	
1	オオウズラタケ(JIS指定菌)	-1.9	2.8	9.0	35.2	42.3	48.3	9.6×10^{-12}
2	カワラタケ(JIS指定菌)	-0.5	2.2	11.7	9.6	17.4	23.0	2.8×10^{-7}
3	イドタケ	-0.4	3.6	9.4	-1.2	10.7	14.8	2.9×10^{-3}
4	オオウズラタケ	0.6	7.9	33.3	43.9	46.8	51.7	6.3×10^{-7}
5	カワラタケ	-1.2	0.3	1.7	6.7	10.9	15.5	5.2×10^{-7}
6	キカイガラタケ	-0.6	0.1	1.1	25.7	31.1	35.3	1.4×10^{-9}
7	コウヤクタケ科(種は不明)	0.2	3.1	5.8	5.3	9.4	13.9	4.2×10^{-5}
8	ワタグサレタケ	2.1	7.6	11.3	7.5	17.1	36.8	4.8×10^{-3}
9	ヒイロタケ	0.8	2.3	6.6	6.0	10.9	14.8	1.1×10^{-5}
10	アラゲカワキタケ	2.9	4.6	8.4	7.3	10.8	13.1	1.8×10^{-6}
11	コゲイロカイガラタケ	-1.0	-0.1	1.4	10.4	33.8	47.2	3.6×10^{-5}
12	チョークアナタケ	0.2	12.4	22.8	1.9	10.4	25.5	3.0×10^{-1}

^{a)}: 築約100年の木造住宅で大引きまたは根太として使用されていた材

^{b)}: 近年に伐採された材

次に、耐朽性試験によって生じた質量減少率を表3に示した。

床下で使用されていたヒノキ心材の腐朽による平均質量減少率は、JIS Z 2101に供試菌として指定されているオオウズラタケおよびカワラタケの場合、2.8%および2.2%であった。現在の奈良県産ヒノキ材の心材を用いた既往研究では、たとえばオオウズラタケによる質量減少率は2.4%、カワラタケでは1.6%という結果が得られており¹¹⁾、両者の比較から、今回の供試材料は現在のヒノキ材と同程度の耐朽性を保持していたと言える。

また、スギ辺材試験体9個体と、床組材として使用されていたヒノキ心材から切り出した9個体とをt検定にかけ、「2つのグループが平均値の等しい母集団から取り出されたもの」であるかどうかを確率的に予測した。両グループは異なる集団から取り出されたものなので、確率は低くなるはずである。予想通り、検定の結果、表3に示したように、供試した12菌株のうちで11菌株に関しては、片側優位確率(P)は有意水準0.01よりも小さく(P<0.01)、このことから、多くの木材腐朽菌に対して、今回耐朽性を調査したヒノキ心材部位は、スギ辺材すなわち耐朽性が低い材料とは異なる集団であり、高い耐朽性を有していたと判断された。

一方、チョークアナタケに関しては、Pは0.30で有意水準0.01よりも大きかった。この検定結果は、床組材として使用されていたヒノキ心材が、チョークアナタケによる腐朽に関して、スギ辺材よりも耐朽性が高いとはいえないことを意味している。チョークアナタケは、ベイマツ心材をベイマツ辺材と同等に分解する

ことがすでに明らかにされており¹²⁾、多くの樹種の心材に含まれる抗菌成分に対して抵抗力を有する可能性がある。この点については、今後、現在のヒノキ心材も含め、さらに多くの樹種で試験を行う必要がある。

また、3.1で説明したように、今回入手した材のヒノキ心材部分の一部には、腐朽が見られたことから、心材部分の中には耐朽性が低い部位も存在していたと推定される。特に、木口端部や外周部の心材で見られた褐色腐朽は、その部位からイドタケが分離されたことから、イドタケによる腐朽が強く疑われているにもかかわらず、内部の健全部を使用した耐朽性試験の結果では、イドタケによる平均質量減少率は3.6%で、顕著な腐朽はみられなかった。腐朽部位が、もともと耐朽性に劣った箇所であった可能性や、イドタケ以外の菌による腐朽への関与も否定できないが、長期間の使用中に抗菌成分が揮散等により失われ、木口端部や外周部の耐朽性が低下した可能性も考えられる。この点についても、さらに検討が必要である。

4. まとめ

築約100年の木造住宅で床組材として使用されていたヒノキ材を調査したところ、床束、大引きおよび根太の辺材には、腐朽やヤマトシロアリの食害が見られ、木口端部と外周部分の心材の一部にも腐朽が確認された。しかし、大引きや根太の内部の心材は、今なお、多くの腐朽菌に対して高い耐朽性を有することが明らかになった。

このことから、今後、同様の住宅を建てる際には、

構造を工夫して床下の湿度を低く保つことや、防腐処理により辺材部分や外周部の心材の耐朽性を高めることで、床組材の耐用年数をさらに延長させることができ、腐朽等による修理や部材交換を減らすことができると予想された。

一方、住宅工法は100年前と現在では異なり、床下の土壌をコンクリートで被覆させる、いわゆるベタ基礎構造が近年では主流となっている。この工法の場合には土壌が露出した状態よりも、床下の湿度は低くなるという報告⁷⁾がある。また、現在は、プレカットが普及し寸法変化が生じないように床組材もあらかじめ人工乾燥させることが多いが、人工乾燥に伴う木材の耐久性の変化^{13, 14)}についても考慮が必要である。さらに、木材の耐朽性には個体差があること、今回供試していない木材腐朽菌も数多く存在すること等から、今後も調査事例を増やしていく必要がある。

謝 辞

供試材料の入手にご協力くださった奈良県森林技術センター 田中正臣氏に感謝します。

文 献

- 1) たとえば、福田清春：“2.1.8 木材および木質材料の耐朽性”。木材保存学入門。改訂2版，東京，(社)日本木材保存協会，2005，48-49.
- 2) 住宅金融支援機構監修：木造住宅工事仕様書 平成25年版，東京，住宅金融普及協会，2013，67-72.
- 3) 酒井温子：非接地環境で木材を腐朽していた担子菌の性質－生育温度および木材分解力－。奈良県森林七研報。42，53-61 (2013)
- 4) 日本工業規格 JIS Z 2101 木材の試験方法 26 耐朽性試験。東京，(財)日本規格協会，2009，47-50.
- 5) 鈴木憲太郎，田中俊成，山本幸一：木造住宅部材の含水率と腐朽・ぎ害の実態調査(第5報)茨城県下に建てられた南京下見床ばり市営住宅の調査例。第34回日本木材学会大会研究発表要旨集。日本木材学会編，名古屋，1984-4，日本木材学会，1989，34.
- 6) 藤平真紀子：称念寺本堂の温湿度環境と床下部材の劣化状況。木材保存，39(3)，125-139 (2013)
- 7) 土居修一：木造住宅床下の腐朽菌動態を調べてみて。木材保存，39(4)，172-179 (2013)
- 8) 高橋旨象：“3 木材の防腐 1 建築物の木材腐朽菌”。きのこ木材。初版，東京，築地書館，1989，77-84。(きのこの生物学シリーズ6)
- 9) 和田朋子，中田裕治，吉田誠，五十嵐圭日子，鮫島正浩，堀沢栄，土居修一，桃原郁夫：腐朽した土台材中に存在する菌類の菌叢解析。木材保存，39(6)，280-290 (2013)
- 10) 森林総合研究所監修：“1.2.1 日本材”。木材工業ハンドブック。改訂4版，東京，丸善，2004，11.
- 11) 酒井温子，岩本頼子：“Ⅶ保存2木材の耐朽性2.2室内試験”。木材加工技術ハンドブック。改訂版，奈良，奈良県森林技術センター，2000，300-302.
- 12) 酒井温子，岩本頼子：8年で架け替えられた歩行者用木橋の腐朽。奈良県森林七研報。39，1-7 (2010)
- 13) 桃原郁夫：熱処理と耐久性。木材保存，31(1)，3-11 (2005)
- 14) 寺西康浩，酒井温子，岩本頼子：4種類の 방법으로乾燥したスギ、ヒノキ正角材の耐朽性。木材工業，61(6)，248-253 (2006)

(2014年4月9日受理)