

明日香実験林、野外杭試験報告(7)

誌名	奈良県森林技術センター研究報告
ISSN	13459864
著者名	酒井,温子
発行元	奈良県森林技術センター
巻/号	30号
掲載ページ	p. 27-38
発行年月	2000年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



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

酒井温子

Study on Field Stake Test in ASUKA (Ⅶ)
Differences of the biodeterioration damages among exposure fields, wood species
and preservative treatments.

Haruko SAKAI

当センターでは、明日香実験林において約30年間野外杭試験を実施し、素材や防腐処理木材の被害経過から耐用年数を明らかにしてきた。本報では、野外杭試験結果をより有効に利用していくために、いくつかの検討を行い、以下の結果を得た。

- (1) 設置場所によって試験体の被害状況は異なった。すなわち、湿潤な土壌では試験体の底部よりも地際部において被害が著しいこと、落ち葉や枯れ枝が多く、生物による有機物の分解が活発な土壌では地中部の被害の進行が早いこと、草が試験体を覆うと地上部の被害が早く生じることが明らかになった。
- (2) 光学顕微鏡による観察で試験体に被害を与えた生物の推定を試みた。その結果、①表層部から内部へと徐々に進行する被害の主原因は、軟腐朽菌による分解であったが、ヤマトシロアリ、バクテリアおよび担子菌が同時に活動する場合もあった。②内部で褐色あるいは白色への変色と同時に、著しい脆弱化や多孔質化が生じる場合、活動しているのは担子菌であった。②の被害は、無処理のスギ辺材試験体と、溶脱しやすい薬剤で防腐処理された試験体に観察された。一方、①の被害は、無処理のスギ辺材試験体のみならず、防腐処理された試験体や高耐久性木材にも観察された。
- (3) 杭試験体の被害度調査では、被害の経時変化を観察する必要上、非破壊的に試験体の表面しか観察できない。このため、内部被害に気づかずに、被害度を低く評価していることがあった。

1. はじめに

野外で接地暴露された杭試験体には、シロアリや多種類の微生物による生物被害、紫外線による劣化、乾湿繰り返しによる割れ等が生じる。農林水産省林業試験場（現、森林総合研究所）では、生物による被害に注目し、表1に示す基準によって被害度を採点する方法を提案している¹⁾。また、被害度が2.5に達した時をその杭の耐用年数と定めている²⁾。当センターにおいてもこの基準により、素材や防腐処理木材について、杭の頂部、地際部および底部の被害度を調査し耐用年数を求めてきた⁷⁻¹²⁾。そして、得られた耐用年数から、素材の耐朽性や防腐薬剤の効力を評価してきた。この方法により、野外における木材の生物被害について、多くの有益な情報が得られたが、一方では、評価方法や得られた結果の活用方法などに、いくつかの疑問点も生じている。そこで、本報では、野外杭試験結果をより有効に利用していくために、

2、3の検討を行った。

まず、特定の野外杭試験地における結果を、木材を野外で使用する際の耐用年数を推定するための基礎資料とする時、設置場所によって木材の被害状況がどの程度異なるかという点は、重要な問題である。そこで、奈良県中部において、土壌条件や日当たりの異なる3地区で被害状況の違いを調査した。

また、今日まで行われてきた野外杭試験は、上述したように、杭試験体の耐用年数を知ることに主眼がおかれており、試験体に被害を与えた生物に関して、詳細な調査はされてこなかった。肉眼観察では、蟻害と腐朽を見分けることしかできないが、顕微鏡で観察することで、腐朽を引き起こした微生物を推定できる可能性がある。接地暴露を終了した杭試験体を調査し、被害の原因が明らかになれば、素材に対してどのような薬剤を含浸させれば、耐用年数を伸ばせるかを推定することができ、また、防腐剤が含浸された木材に対しては、その薬剤がど

の生物に効力が低いか明らかになり、その結果その生物に効力の高い薬剤を添加することで、耐用年数をさらに伸ばすことも可能であろう。そこで、今回は、接地暴露を終了した杭試験体を用い、横断面で表層部から内部までの被害状態を肉眼で観察すると共に、光学顕微鏡により被害を与えた生物の特定を試みた。

同時に、杭試験体の表面を肉眼で観察する被害度調査で、試験体の内部被害も把握できているかについても検討した。

表1 杭試験体の被害度調査基準¹⁾

被害度	観察状態
0	健全
1	部分的に軽度の虫害または腐朽
2	全面的に軽度の虫害または腐朽
3	2の状態のうえに部分的に激しい虫害または腐朽
4	全面的に激しい虫害または腐朽
5	虫害または腐朽により形がくずれる

表2 試験地

場所	特徴
A地区 奈良県明日香村川原 (当センター明日香実験林)	水田や果樹園の跡地で、土壌はやや湿潤である。1年の大半は、杭試験体は頂部まで草で覆われる。
B地区 奈良県高市郡高取町 (当センターの裏庭)	背の低い草が地面を覆っている。杭試験体の地上部は、1年中直射日光が当たる。
C地区 奈良県高市郡高取町 (当センターの林内)	林の中で、地面には落ち葉や枯れ枝が多い。背の高い樹木が直射日光を遮っている。草は生えていない。

表3 供試材料

樹種	試験地	暴露期間	加圧注入による防腐処理の有無および処理液の内容
スギ辺材	A	1年7カ月	無
スギ辺材	B	1年7カ月	無
スギ辺材	C	1年7カ月	無
スギ辺材	A	8年	有 処理液: IPBC 0.1%+ホキシム 0.28%
スギ辺材	A	8年	有 処理液: IPBC 0.4%+ホキシム 0.28%
スギ辺材	A	13年	有 処理液: DDAC 2%+ホキシム 1%
スギ辺材	A	13年	有 処理液: DDAC 6%+ホキシム 1%
スギ辺材	A	12年	有 処理液: CCA 0.35%
スギ辺材	A	12年	有 処理液: CCA 0.7%
サワラ心材	A	15年	無
マアテ心材*	A	6年	無
青森ヒバ心材**	A	9年	無

* 石川県産のアスナロ

** 青森県産のヒノキアスナロ

2. 材料と方法

2.1 杭試験体

杭試験体の接地暴露を実施した3カ所の試験地の特徴を表2に示した。また、接地暴露を終了し、観察に供した試験体を表3に示した。試験地による被害状態の違いを調査する際には無処理のスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 辺材試験体を、防腐薬剤の含有による被害状況の変化を見る際には、スギ辺材に3種類の薬剤を加圧注入した試験体を、さらに高耐朽性樹種としてサワラ (*Chamaecyparis pisifera* Endl.)、マアテおよび青森ヒバの心材を使用した。ここで記したマアテとは石川県産のアスナロ (*Thujaopsis dolabrata* Sieb. et Zucc.) で、青森ヒバとは青森県産のヒノキアスナロ (*Thujaopsis dolabrata* Sieb. et Zucc. var. *hondai* Makino) である。試験体の寸法は木口断面30×30mm、長さ600mmで、約300mmまで地面に埋設されていた。これらの試験体の一部については、被害経過および耐用年数がすでに報告されている^{11,12)}。今回は同一条件の試験体から2体ずつを観察に使用した。なお、本報では、試験体の各部位の名称を、図1のように呼ぶことにする。

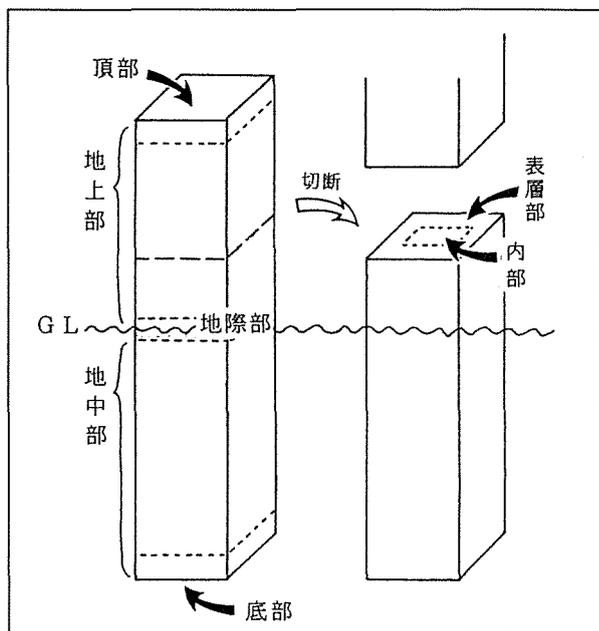


図1 杭試験体

2.2 観察方法

接地暴露を終了した杭試験体において、まず、長さ方向に約100mmごとに肉眼で表1にしたがって被害度を採点した。次に、同じ位置から長さ20mmの小試験体を切り出し、横断面で表層部から内部までの様子を肉眼で観察した後に、重量を測定した。送風乾燥器内で105℃で24時間乾燥させた後、乾燥重量を測定し、頂部から100mmの位置の小試験体の乾燥重量を100として、各小試験体の乾燥重量比を求めた。また同時に含水率も算出した。乾燥重量を測定した小試験体と繊維方向に連続した位置で、杭試験体の残部よりカミソリで木口面および縦断面の切片を切り出し、光学顕微鏡で微生物の有無や細胞壁の分解跡を観察した。

3. 結果と考察

同一条件で暴露されていた2本ずつの杭試験体は、観察結果がほぼ一致したため、被害が著しい方の試験体について結果を表4から12に示した。含水率については、同じ日に接地暴露を終了した3地区のスギ辺材試験体間では、結果の比較が可能であるため、表4～6に示した。

3.1 無処理のスギ辺材試験体

3.1.1 A地区における被害状況

表4に示したように、A地区における1年7カ月間の接地暴露により、頂部と底部には軽度な(被害度1)、また地際部には中程度の(被害度2)被害が認められた。杭を100mmごとに切断したところ、地上部の内部はほぼ健全な状態を維持していたが、地中部ではヤマトシロアリ

り (*Reticulitermes speratus* Kolbe) による食害と微生物による腐朽が生じていた。光学顕微鏡による観察の結果、地中部の表層部でこげ茶色に変色した部分では、図2に示すように、軟腐朽菌による分解跡である先端のとがった穿孔が多く認められ、一方、地中部の内部で褐色あるいは白色に変色し脆弱になった部分では図3に示すように、クランプを持つ担子菌の菌糸と担子菌による分解跡が確認された。褐色腐朽菌は細胞壁中層を主に分解し、白色腐朽菌は細胞壁を内層から中層へと分解することが知られている¹⁴⁾。ここでは、両方の特徴が観察されたため、褐色腐朽菌と白色腐朽菌の両方による被害であると判断した。表層部と内部で観察された微生物が異なったのは、表層部では湿潤な土壤から水分の供給量が多いため、含水率がかなり高く軟腐朽菌の活動に適し、一方、内部は表層部よりも含水率が低く、担子菌の活動に適したためと考えられる。なお、地中部で見られた被害は、底部付近で軽度となったが、これは、A地区の土壤が湿潤で、地中に深くなるほど好氣的生物の活動に必要な酸素が欠乏したためと考えられる。

3.1.2 試験地による被害状況の違い

表4から6に示された3地区の無処理のスギ辺材試験体は、試験開始日も終了日も同じであるため、試験地による被害状況の差異を詳細に比較することができる。肉眼および光学顕微鏡で観察した結果、3地区の試験体の基本的な被害状況は類似していた。すなわち、3.1で説明したように、試験体の地上部では被害は少なく、地中部では試験体の表層部で軟腐朽菌とヤマトシロアリ、内部で担子菌による被害が観察された。

次に、3地区の試験体の各部位における乾燥重量比を図4に示す。図4および表4～6からわかるように、頂

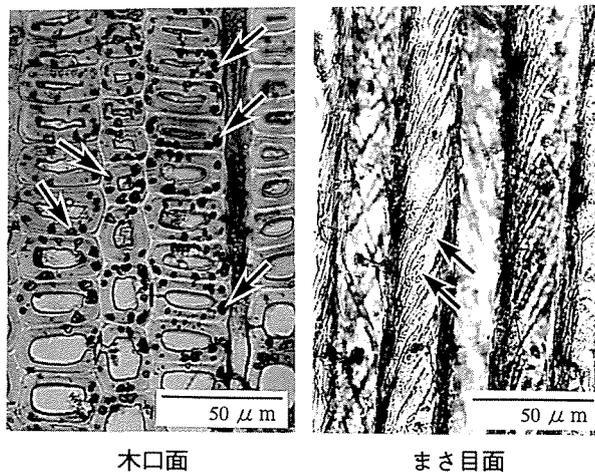


図2 軟腐朽菌による分解跡(矢印)

(観察位置：無処理のスギ辺材試験体の地中部の表層部)

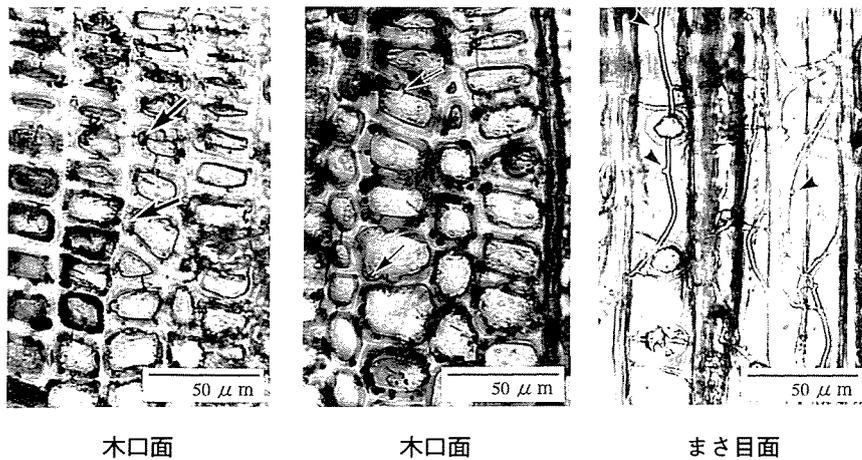


図3 担子菌による分解跡と菌糸 (矢印)

大矢印：褐色腐朽菌による分解跡
 小矢印：白色腐朽菌
 矢じり：菌糸上のクランプ

(観察位置：無処理のスギ辺材試験体の地中部の内部)

部はA地区の試験体にも被害が確認された。また地上部における含水率も、A地区の試験体がかつても高かった。これは、A地区の試験体が1年のごく一時期を除いて、頂部まで背の高い草に覆われ、湿度が高い状態が続くためと考えられる。一方、地中部は、C地区の試験体がかつても激しい被害を受けていた。これは、C地区が林の中で地面に落ち葉や枯れ枝が多く、地中でヤマトシロアリや腐朽菌が活発に活動していたためと考えられる。試験体の全部位を通して、かつても被害が少なかったのはB地区の試験体で、地上部は1年中直射日光に当たり乾燥しやすく、土壌も有機質が少なくやせていたことが原因であると考えられる。また、図4より、各試験体の中で被害がかつても著しい部位は、A地区とB地区では地際部であったが、C地区では底部であった。3.1で説明したように、これには土壌の空隙率や含水率の影響等が考えられる。

さらに、A地区(明日香実験林)における野外杭試験で得られた多くの樹種の素材(無処理)の耐用年数⁹⁻¹¹⁾と、農林水産省林業試験場(現、森林総合研究所)浅川実験林における値^{5,6)}を比較すると、たとえば、スギ辺材の耐用年数はA地区で1.7年、浅川実験林で4.5年、スギ心材の耐用年数はA地区で3.9年、浅川実験林で6年、ヒノキ心材の耐用年数はA地区で4.6年、浅川実験林で7年であり、いずれも1.5倍以上の差がある。両試験地では使用した試験体が異なるので、同一樹種内でも元来木材が持っていた抽出成分の影響などで、耐用年数に差が生じる可能性がある。しかし、いずれの樹種においても、A地区における耐用年数が明らかに短かったことか

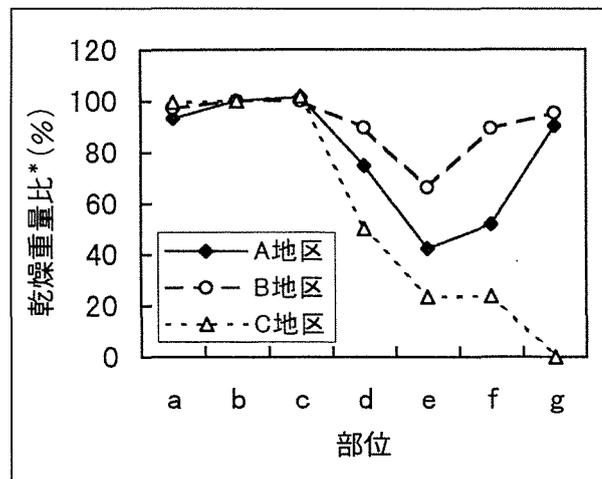


図4 無処理のスギ辺材試験体の各部位における乾燥重量比*

a : 頂部~20mm b : 100~120mm
 c : 200~220mm d : 300~320mm
 e : 400~420mm f : 500~520mm
 g : 580mm~底部

* : 部位 b の乾燥重量を100として表わした

ら、試験地の気候や土壌条件の違いがより大きく影響していると考えられる。その中でも、気候条件、たとえば月平均気温の推移や年間総雨量は大差がない^{2,12)}ことから、かつても影響が大きかったのは土壌条件、すなわち、A地区では土壌がやや湿潤であるのに対して、浅川実験林では水はけがよいことが考えられる。このことは、試験体の部位別の被害状況にも影響を与えていると考えられる。すなわち、A地区では地際部の被害が他の部位よりも優勢であるが、浅川実験林では地際部と底部はほぼ同程度の被害か、場合によっては底部の方が被害が著し

表4 杭試験体の各部位に生じた被害(1)

〔試験体：無処理のスギ辺材 試験地：A地区 暴露期間：1年7ヵ月〕

頂部からの距離 (mm)	切断前の目視による評価	切断面で観察された被害	乾燥重量比 (%)*	含水率 (%)
0 (頂部)	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・割れ ・部分的に浅く掘れている、灰色に変化 	93.1	36.2
20	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 		
100	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	100	20.7
200	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・部分的に褐色あるいは白色に変化 	101.5	37.1
300 (地際部)	2	 <ul style="list-style-type: none"> ・表面にシロアリによる食害痕 ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 ・内部は部分的に脆弱化、多孔質化、褐色あるいは白色に変化 	74.6	320.7
400	2	 <ul style="list-style-type: none"> ・表面にシロアリによる食害痕 ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 ・内部は広範囲に脆弱化、多孔質化、褐色あるいは白色に変化 	42.4	709.2
500	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	51.8	575.3
580	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・表面にシロアリによる食害痕 ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 ・内部は部分的に脆弱化、多孔質化、褐色あるいは白色に変化 	90.1	300.4
600 (底部)	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 		

*：頂部から100mmの位置における乾燥重量を100として表した。

表5 杭試験体の各部位に生じた被害(2)

〔試験体：無処理のスギ辺材 試験地：B地区 暴露期間：1年7ヵ月〕

頂部からの距離 (mm)	切断前の目視による評価	切断面で観察された被害	乾燥重量比 (%)*	含水率 (%)
0 (頂部)	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・割れ 	97.3	15.9
20	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 		
100	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	100	16.8
200	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	100	19.1
300 (地際部)	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 ・内部は部分的に薄く褐色あるいは白色に変化 	89.5	67.2
400	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 ・内部は部分的に脆弱化、褐色あるいは白色に変化 	66.1	152.8
500	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	89.2	177.0
580	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 ・内部は部分的に褐色あるいは白色に変化 	95.2	250.9
600 (底部)	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 		

*：頂部から100mmの位置における乾燥重量を100として表した。

表6 杭試験体の各部位に生じた被害(3)

〔試験体：無処理のスギ辺材 試験地：C地区 暴露期間：1年7ヵ月〕

頂部からの距離 (mm)	切断前の 目視のよ る評価	切断面で観察された被害	乾燥重量比 (%)*	含水率 (%)
0 (頂部)	0	 ・割れ	99.4	22.0
20	0	 ・変化なし		
100	0	 ・変化なし	100	20.6
200	0	 ・変化なし	101.7	26.4
300 (地際部)	3	 ・表面にシロアリによる食害痕 ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 ・内部は部分的に脆弱化、多孔質化、褐色あるいは白色に変化	50.0	345.4
400	4	 ・表面にシロアリによる食害痕 ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 ・内部は広範囲に脆弱化、多孔質化、褐色に変化	23.6	604.9
500	4	 ・同上	23.8	664.1
580	5	 ・崩壊	—	—
600 (底部)	5	 ・崩壊		

*：頂部から100mmの位置における乾燥重量を100として表した。

表7 杭試験体の各部位に生じた被害(4)

〔試験体：IPBCとホキシムを含有するスギ辺材(処理液 IPBC 0.1%)
試験地：A地区 暴露期間：8年〕

頂部からの距離 (mm)	切断前の 目視のよ る評価	切断面で観察された被害	乾燥重量比 (%)*
0 (頂部)	3	 ・割れ ・脆弱化、黒色に変化	71.8
20	2	 ・内部が脆弱化、褐色に変化	
100	1	 ・変化なし	100
200	1	 ・変化なし	106.1
300 (地際部)	2	 ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 ・内部は部分的に脆弱化、褐色あるいは白色に変化	55.9
400	2	 ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 ・内部は広範囲に脆弱化、多孔質化、褐色あるいは白色に変化	54.2
500	1	 ・同上	67.0
580	0	 ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 ・内部は部分的に脆弱化、褐色あるいは白色に変化	101.7
600 (底部)	0	 ・変化なし	

*：頂部から100mmの位置における乾燥重量を100として表した。

表8 杭試験体の各部位に生じた被害(5)

[試験体: DDAC とホキシムを含有するスギ辺材 (処理液 DDAC 2%)
試験地: A地区 暴露期間: 13年]

頂部からの距離 (mm)	切断前の目視による評価	切断面で観察された被害	乾燥重量比 (%)*
0 (頂部)	3	 <ul style="list-style-type: none"> ・割れ ・深く掘れている、黒色に変化 	83.2
20	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・割れに沿って黒色に変化 	
100	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	100
200	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし (右下の欠損は草刈り鎌による) 	84.3
300 (地際部)	4	 <ul style="list-style-type: none"> ・表層部(約1mm)こげ茶色に変化 	48.1
400	4	 <ul style="list-style-type: none"> ・表層部(約1~2mm)こげ茶色に変化 	43.5
500	3	 <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	61.5
580	2	 <ul style="list-style-type: none"> ・表面やや軟化 	101.4
600 (底部)	2	 <ul style="list-style-type: none"> ・表面やや軟化 	

*: 頂部から100mmの位置における乾燥重量を100として表した。

表9 杭試験体の各部位に生じた被害(6)

[試験体: CCA を含有するスギ辺材 (処理液 CCA 0.35%)
試験地: A地区 暴露期間: 12年]

頂部からの距離 (mm)	切断前の目視による評価	切断面で観察された被害	乾燥重量比 (%)*
0 (頂部)	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・割れ ・深く掘れている、黒色に変化 	96.3
20	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	
100	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	100
200	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・部分的にこげ茶色に変化 	97.4
300 (地際部)	4	 <ul style="list-style-type: none"> ・全面が薄くこげ茶色に変化 ・表面やや軟化 	32.8
400	3	 <ul style="list-style-type: none"> ・全面がこげ茶色に変化 ・表面やや軟化 	55.1
500	2	 <ul style="list-style-type: none"> ・部分的にこげ茶色に変化 ・表面やや軟化 	78.4
580	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	93.8
600 (底部)	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	

*: 頂部から100mmの位置における乾燥重量を100として表した。

表10 杭試験体の各部位に生じた被害 (7)

[試験体：無処理のサワラ心材 試験地：A地区 暴露期間：15年]

頂部からの距離 (mm)	切断前の目視による評価	切断面で観察された被害	乾燥重量比 (%)*
0 (頂部)	2	 <ul style="list-style-type: none"> ・割れ ・浅く掘れている、黒色に変化 (左上は人為的な欠損) 	91.7
20	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・割れ (左上は人為的な欠損) 	
100	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	100
200	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	96.7
300 (地際部)	4	 <ul style="list-style-type: none"> ・表層部外側 (1mm未満) こげ茶色に変化 ・表層部内側 (1mm程度) 褐色に変色 	33.8
400	3	 <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	62.4
500	2	 <ul style="list-style-type: none"> ・表面やや軟化 ・部分的に褐色に変化 	93.1
580	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	102.1
600 (底部)	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	

*：頂部から100mmの位置における乾燥重量を100として表した。

表11 杭試験体の各部位に生じた被害 (8)

[試験体：無処理のマアテ心材 試験地：A地区 暴露期間：6年]

頂部からの距離 (mm)	切断前の目視による評価	切断面で観察された被害	乾燥重量比 (%)*
0 (頂部)	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・割れ ・浅く掘れている、黒色に変化 	95.5
20	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・割れ 	
100	0	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	100
200	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	97.7
300 (地際部)	3	 <ul style="list-style-type: none"> ・表面にシロアリによる食害痕 ・表層部外側 (1mm未満) こげ茶色に変化、表層部内部 (1mm程度) 黄褐色に変化 	66.6
400	2	 <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	72.4
500	2	 <ul style="list-style-type: none"> ・同上 	75.9
580	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・表層部外側 (1mm未満) こげ茶色に変化、やや軟化 ・一部褐色に変化 	87.2
600 (底部)	1	 <ul style="list-style-type: none"> ・変化なし 	

*：頂部から100mmの位置における乾燥重量を100として表した。

表12 杭試験体の各部位に生じた被害 (9)
 [試験体：無処理の青森ヒバ心材 試験地：A地区 暴露期間：9年]

頂部から 距離 (mm)	切断前の 目視のよ る評価	切断面で観察された被害	乾燥重量比 (%)*
0 (頂部)	2	 ・割れ ・浅く掘れている、黒色に変化	86.7
20	0	 ・割れ	100
100	0	・変化なし	96.3
200	0	・変化なし	69.8
300 (地際部)	3	 ・表面にシロアリによる食害痕 ・表層部外側(1mm程度)こげ茶色 に変化、表層部内側(1mm程度) 褐色に変化	81.4
400	2	 ・表面にシロアリによる食害痕 ・表層部外側(1mm程度)こげ茶色 に変化	94.1
500	1	 ・表面にシロアリによる食害痕 ・表層部外側(1mm程度)こげ茶色 に変化、表層部内側(1mm程度) 褐色に変化	101.2
580	1	・薄くこげ茶色に変化	
600 (底部)	0	・変化なし	

*：頂部から100mmの位置における乾燥重量を100として表した。

い、という違いが見られる。おそらく、A地区の試験体の地際部は、湿潤な土壌から水分が供給され、木材腐朽菌の活動に適した含水率が保たれていたと思われる。それに対して、A地区の試験体の底部は水分の過多と酸素の不足により、また浅川試験地の試験体の地際部と底部はやや水分不足により、A地区の試験体の地際部よりも被害が遅れたと思われる。

このように、野外で接地暴露した杭試験体に観察された被害状況は、試験地によって大きく異なった。また、実際に木材を屋外で接地して使用する際にも、生物被害の程度は、その地域の気候のみならず、設置場所の土壌条件や草の影響を受けることに注意が必要であろう。

3.3 防腐剤を含有したスギ辺材試験体

防腐効力を持つIPBCを0.1%、防蟻効力を持つホキシムを0.28%含む処理液で加圧注入処理したスギ辺材の試験体(吸収量としてIPBC 0.6kg/m³、ホキシム1.4kg/m³を含有)を、A地区で8年間接地暴露した結果を表7に示す。地際部の横断面で観察したところ、表層部はこげ茶色で、光学顕微鏡により主に軟腐朽菌による細胞壁の分解跡が認められた。一方、頂部から約30mmまでの範囲と地中部において、内部にかなり脆弱で劣化が著しい部分があり、光学顕微鏡によりクランプを有する担子菌

の菌糸と担子菌による分解跡が確認された。この表層部と内部で観察された被害状況は、無処理のスギ辺材試験体の場合と類似していたが、無処理の場合、暴露期間が1年7カ月で地際部と同程度の被害が認められたことから、この薬剤処理によって被害の発生および進行を遅らせることができたといえる。しかし、IPBCは木材中での固着率が低い¹³⁾ため、薬剤の流脱と共に腐朽が進行したと考えられる。以上の様子は、IPBC 0.4%とホキシム 0.28%を含む処理液で加圧注入処理した試験体にも観察されたが、現時点での被害は表7の結果と同程度あるいはやや軽度であり、頂部から300mm付近の被害度は2、乾燥重量比は64.1、400mm付近の被害度は1、乾燥重量比は55.4であった。

防腐効力を持つDDACを2%、防蟻効力を持つホキシムを1%含む処理液で加圧注入処理したスギ辺材の試験体(吸収量としてDDAC 8.8kg/m³、ホキシム4.4kg/m³を含有)を、A地区で13年間接地暴露した結果を表8に示した。地際部の横断面を観察したところ、表層部はこげ茶色で、光学顕微鏡により主に軟腐朽菌による細胞壁の分解跡とともに、担子菌の菌糸と担子菌による分解跡が確認された。内部は健全であり、光学顕微鏡で観察した範囲では微生物は認められなかった。以上の様子は、

DDACを6%とホキシムを1%含む処理液で加圧注入処理したスギ辺材の試験体にも認められた。被害は表8の結果と同程度あるいはやや軽度であり、頂部から300mm付近の被害度は4、乾燥重量比は57.4、400mm付近の被害度は3、乾燥重量比は63.2であった。

CCA 3号0.35%を含む処理液で加圧注入処理したスギ辺材の杭試験体(吸収量としてCCA 1.8kg/m³を含有)を、A地区で12年間接地暴露した結果を表9に示した。DDACとホキシムを含有する試験体の場合と活動していた微生物は類似していた。また、CCA 3号0.7%を含む処理液で加圧注入処理した試験体では、被害は表9の結果と比較すると軽度であり、頂部から300mm付近の被害度は0、乾燥重量比は98.4、400mm付近の被害度は1、乾燥重量比は77.3であった。

DDACおよびCCAは、日本農林規格で木材保存剤として認定されており、これらによって処理された木材は、薬剤の流脱も少なく屋外における長期使用に耐えうると評価されている。今回の観察からも、DDACおよびCCA処理試験体の内部は、担子菌およびヤマトシロアリによる攻撃を受けず、健全な状態が保たれていることが確認された。しかし、これらの薬剤も、今回検討した濃度範囲では、表層部から徐々に進行する被害を防ぐことはできなかった。防腐防蟻剤で処理された試験体の被害経過と比較すると、使用した薬剤によって耐用年数は大きく異なったが¹²⁾、バクテリアや軟腐朽菌を含めた多くの微生物に効力のある、すなわち抗菌スペクトルの広い薬剤ほど、表層部からの被害が少ない可能性が考えられる。

3.4 高耐朽性木材の杭試験体

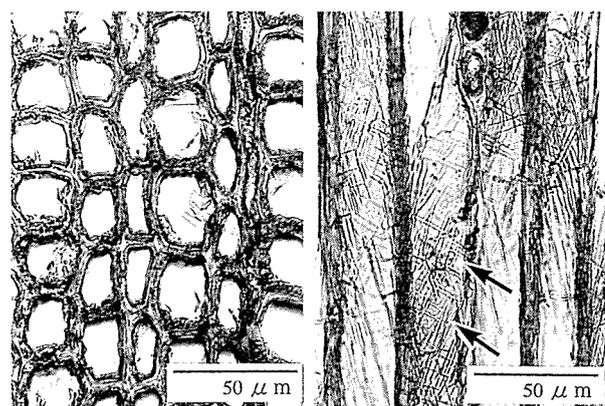
サワラ、マアテおよび青森ヒバの心材は、高耐朽性木材として知られ、室内腐朽試験ではオオウズラタケによる重量減少率はそれぞれ0、6.9、1.9%、カワラタケによる重量減少率はそれぞれ1.8、1.8、1.6%という報告がある^{3,4)}。一方、A地区で接地暴露後15年を経過したサワラ心材、6年を経過したマアテ心材、および9年を経過した青森ヒバ心材の無処理杭試験体について、観察結果を表10~12に示した。サワラ心材地際部のもっとも表層部は主に軟腐朽菌による被害であったが、その内側はバクテリアによって分解されていた。光学顕微鏡で観察されたバクテリアによる細胞壁の分解跡を図5に示す。また、マアテ心材地際部のもっとも表層部は主に軟腐朽菌とヤマトシロアリによる被害であったが、その内側はサワラ心材と同じくバクテリアによって、さらに青森ヒバ心材地際部のもっとも表層部も主に軟腐朽菌とヤマトシロアリによる被害であったが、その内側は担子菌によって分解されていた。青森ヒバを腐朽していた担子

菌を図6に示した。菌糸にクランプがあることから担子菌と判断したが、図中に矢印で示したように、菌糸の所々で突起物が観察された。さらに、いずれの杭試験体も内部は健全な状態で、光学顕微鏡では微生物はほとんど確認できなかった。この3樹種の試験体と3.1で報告したスギ辺材試験体を比較すると、表層部が軟腐朽菌やヤマトシロアリに攻撃された点では一致していたが、その内側で活動していた微生物の種類や被害状況は異なっていた。

以上は、A地区における結果であり、試験地によって生物の生息状況は異なるため、各樹種の被害状況については多くの場所で調査する必要があるが、サワラ心材にはバクテリアに、マアテ心材にはバクテリアとヤマトシロアリに効力のある薬剤を、さらに青森ヒバ心材には担子菌とヤマトシロアリに効力のある薬剤を含浸させることで、少なくともA地区においては耐朽性をさらに高めることができる可能性がある。

3.5 表面観察による被害度と、横断面の観察結果あるいは乾燥重量比との関係

表1にしたがって杭試験体の被害度調査を行う時、多くの場合経時変化を見るため、非破壊的に表面の観察し



木口面

板目面

図5 バクテリアによる分解跡(矢印)

(観察位置：サワラ心材試験体の地際部の表層部内側)

かできないのが現状である。サワラ心材やマアテ心材に見られたように、被害が表層部から内部へと進行する場合は、表面観察による被害度と乾燥重量比はよく対応していた。一方、表層部で主に軟腐朽菌による分解が生じると、表面はやや軟化するものの形状は維持されており、このため、同時に内部で担子菌による著しい被害が生じていても、それに気がつかずに被害度を低く採点している場合があった。たとえば、表4において、上部から400mmの部位では、切断前の表面観察では被害度は2であった



板目面

図6 青森ヒバを腐朽していた担子菌の菌糸
矢印は菌糸が形成した突起物

が、切断してみると、内部では担子菌による被害がかなり進行しており、乾燥重量比は42.4%であった。また、表7において、上部から400mmの部位では、切断前の表面観察では被害度は2であったが、切断してみると、内部では被害が進行しており、乾燥重量比は54.2%であった。これらの試験体の強度はかなり低下していると思われる。実際に屋外で使用されている木材においても、内部被害は発見が遅れることがあるため、十分な注意が必要であろう。

4. まとめ

野外で接地暴露した杭試験体を、非破壊的に表面で観察した後、横断面で被害状況を肉眼および光学顕微鏡で観察した。今回検討した範囲では、以下のことが明らかになった。

(ア) 試験地による影響

杭試験体に見られる生物被害には、試験地の土壌や草が影響していた。すなわち、湿潤な土壌では地際部の被害が底部よりも優勢であった。落ち葉や枯れ枝が多く、生物による有機物の分解が活発な土壌では、杭の地中部の被害が著しかった。一方、草が覆い茂る場所では、地上部の被害が早く生じた。

(イ) 各杭試験体に被害を与えた生物の推定

- ① 表層部から内部へと徐々に進行する被害は、こげ茶色に変色してやや軟化するが、比較的形状が維持

されていることが多かった。細胞壁の分解跡から判断すると、軟腐朽菌による分解が主であったが、ヤマトシロアリ、バクテリアおよび担子菌が同時に活動する場合もあった。

- ② 内部で褐色あるいは白色への変色と同時に、著しい脆弱化や多孔質化が生じる場合、クランプを持つ多数の菌糸の存在と細胞壁の分解跡から判断すると、活動しているのは担子菌であった。
- ③ ②の被害状況は、無処理のスギ辺材試験体で観察されたが、担子菌に効力を持つDDACやCCAで処理された試験体には観察されなかった。両薬剤はシロアリに対しても効力を持つため、ヤマトシロアリによる被害も認められなかった。高耐朽性木材として知られるサワラ心材やマアテ心材の試験体にも、②の被害は観察されなかった。心材成分が担子菌やシロアリに効力を持つためと考えられる。
- ④ ①の被害状況は、無処理のスギ辺材試験体のみならず、防腐処理された試験体や高耐朽性木材にも観察された。バクテリアや軟腐朽菌を含めた多くの微生物に効力のある、すなわち抗菌スペクトルの広い薬剤で表層部を処理することで、①の被害を軽減できる可能性がある。防腐防蟻剤で処理された試験体の被害経過を比較すると、使用した薬剤によって耐用年数は大きく異なったが¹²⁾、薬剤の抗菌スペクトルの広さが耐用年数に影響を与えている可能性がある。

(ウ) 内部被害の危険性

杭試験体の被害度調査においては、長期にわたり被害の経時変化を観察する必要上、非破壊的に試験体の表面しか観察できない。表面観察による被害度が低くても、担子菌に抵抗力の弱い木材が無処理で使用されている場合や、流脱や揮散しやすい薬剤で処理されている場合には、表面よりも先に内部で被害が進行していることがあった。内部に薬剤の未浸透部分がある場合も、内部被害が先行する可能性がある。

参考文献

- 1) 雨宮昭二：浅川実験林苗畑の杭試験（1）：杭の被害程度を評価する方法。林業試験場研究報告，150，143-156（1963）
- 2) 雨宮昭二，松岡昭四郎，庄司要作，井上 衛，阿部 寛，内藤三夫：浅川実験林苗畑の杭試験（2）：防腐処理杭の10年間の被害経過。林業試験場研究報告，230，105-142（1970）

- 3) 藤平眞紀子, 中村嘉明, 正田洋子: 青森ヒバ、能登アテ、ラオスヒノキの耐朽性. 奈良県林試木材加工資料, 23, 21-23 (1994)
- 4) 花尾英男, 中村嘉明: 木材の耐朽性試験Ⅱ. 奈良県林試木材加工資料, 8, 20-22 (1979)
- 5) 松岡昭四郎, 雨宮昭二, 庄司要作, 井上 衛, 阿部寛, 内藤三夫: 浅川実験林苗畑の杭試験(3): 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)
- 6) 松岡昭四郎, 井上 衛, 庄司要作, 鈴木憲太郎, 山本幸一: 浅川実験林苗畑の杭試験(7): 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)
- 7) 中村嘉明: 油溶性防腐剤注入処理杭の野外における経過年数と劣化の相関: 明日香杭試験報告(第1報). 材料, 359, 929-934 (1983)
- 8) 中村嘉明, 花尾英男: 簡易な防腐処理したスギ丸太杭の野外ばくろ試験: 明日香杭試験報告Ⅱ. 奈良県林試木材加工資料, 12, 16-23 (1983)
- 9) 中村嘉明: 野外杭試験より求めた素材の耐用年数と室内耐朽性試験との関連: 明日香杭試験報告 第3報. 奈良林試研報, 14, 32-39 (1984)
- 10) 中村嘉明: 野外杭試験と室内耐朽性試験の関係. 木材保存, 17-1, 17-25 (1991)
- 11) 中村嘉明, 藤平眞紀子: 明日香実験林、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朽性. 奈良県林試木材加工資料, 27, 12-15 (1998)
- 12) 酒井温子, 岩本頼子, 中村嘉明: 日本農林規格認定の木材保存剤を加圧注入した杭の被害経過: 明日香実験林、野外杭試験報告 第6報, 木材工業, 56(1), 17-22 (2001)
- 13) 酒井温子: 乳化性木材表面処理用防腐剤の耐候性(第1報): 蛍光X線分析法による薬剤成分の分析方法と測定事例. 奈良県林試木材加工資料, 27, 37-40 (1998)
- 14) 高橋旨象: きのこと木材. 東京, 築地書館, 1989, 53-76.

(2000年9月5日受理)