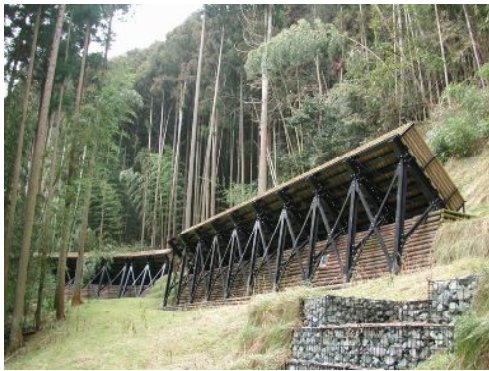


木材保存を観点とする 間伐材の土木利用マニュアル

計画・保守管理のための基礎知識



平成23年3月
奈良県森林技術センター

－ 始めに －

近年、スギ、ヒノキをはじめとする間伐材を土木構造物に使用する事例が多く見られる。奈良県においても間伐材は各種公共工事に使用されており、治山事業をはじめとする森林土木工事の構造物にも多くの施工実績がある。そこで、当センターでは間伐材のさらなる利用推進を目的に、間伐材を土木資材として利用する際、関心事となる木材の耐久性に関する各種情報を掲載したマニュアルを作成することになった。

本マニュアルでは、木材の耐久性を大きく左右する、腐朽、蟻害をはじめとする生物劣化と、その進行を遅らせるための保存(防腐、防蟻)処理の情報を中心に掲載し、合わせてそれらの理解を補助するために木材の基礎知識を付記した。また、当センターでは現在、土木資材として使用された間伐材の耐用年数、メンテナンス方法等の情報を提供するための調査、実験を行っており、これら調査から得られた知見も盛り込んだ。その際、できるだけ図や写真、表をとり入れ、わかりやすくするよう工夫した。これらデータの根拠等詳細は紹介した出典で確認していただきたい。

このマニュアルが、土木構造物の設計時に間伐材を使用する上での留意点の把握や、施工後の保守管理の際に活用され、間伐材の利用の促進につながれば幸いである。

目次

I 木材を土木資材に利用するメリット・デメリット	1
II 木材の劣化	2
1. 風化	
2. 生物劣化	
2.1 腐朽	
2.1.1 木材腐朽菌	
(1)褐色腐朽菌	3
(2)白色腐朽菌	
(3)軟腐朽菌	
2.1.2 木材腐朽の発生条件	
(1)水分	
(2)酸素	
(3)温度	
(4)野外での使用環境	4
2.1.3 木材の耐朽性	
(1)辺材と心材の生物劣化抵抗性	
(2)耐朽性の評価方法	
(3)樹種による耐朽性の差違	5
2.2 蟻害	
2.2.1 ヤマトシロアリの生態	
(1)階級と役割	
(2)群飛	6
(3)アリとの違い	
(4)加害習性	
2.2.2 樹種による耐蟻性の差違	
2.3 害虫	7
2.3.1 生材害虫	
2.3.2 乾材害虫	
III 木材の保存処理	8
1. 処理方法	
1.1 加圧注入処理	
1.2 浸せき処理	9
1.3 塗布	
2. 規格	
3. 製材のJASにおける保存処理製品の性能区分	
4. 素材(丸太)のJAS	10
5. 薬剤の種類	
6. 木材保存剤の防腐防蟻性能	11

7. 安全性	
8. 木材の薬液浸透性	12
8.1 辺材と心材の浸透性	
8.2 樹種による浸透性の差違	
8.3 含水率の影響	
8.4 インサイジング	13
IV 計画	14
1. 材料の耐久性を確保する方法	
1.1 目標とする耐用年数	
1.2 使用環境	
1.2.1 広域的環境	
1.2.2 局地的環境	
1.3 耐久性を確保するための処理方法の決定	
2. 設計上の注意点と工夫	15
V 保守管理	16
1. 劣化診断の方法	
1.1 樹種の確認	
1.2 目視による被害度の判定	
1.3 内部劣化の診断法	17
1.3.1 ピロディン	18
(1)使用方法	
(2)測定点の数と位置	
(3)ピンを打つ間隔	
1.3.2 ピロディン測定値の意味	
(1)健全材での測定値の範囲	
(2)ピロディンの測定値に影響を与える要因	19
1.3.3 レジストグラフ	
(1)使用方法	20
(2)測定値の意味	
1.3.4 レジストグラフを利用した強度の推定(断面欠損による推定法)	
(1)レジストグラフによる残存断面の推定	21
(2)測点のとり方1	
(3)波形の分析と残存断面の決定	
(4)強度の推定	
1.4 含水率	
1.4.1 全乾法	
1.4.2 含水率計	22
(1)高周波式含水率計	
(2)電気抵抗式含水率計	
2. 間伐材の劣化を促進する要因	23

2.1 植物群落による被陰

2.2 落葉落枝の堆積

資料編1 木材の基礎知識24

1. 木材の構造

1.1 木材の3方向、3断面

1.2 木材の異方性

1.3 木口面

1.4 未成熟材

2. 密度(比重)25

2.1 密度

2.2 細胞壁と空隙

3. 含水率

3.1 木材の含水率の定義

3.2 木材中の水分の状態26

3.2.1 生材状態

3.2.2 繊維飽和点

3.2.3 気乾状態

3.2.4 全乾状態

3.2.5 飽水状態

3.3 乾燥に伴う寸法変化27

4. 強度

4.1 比強度

4.2 密度の影響

4.3 含水率の影響

4.4 強度の異方性28

4.5 木材の許容応力度

資料編2 製材のJASにおける保存処理木材の性能基準31

1. 薬剤の浸潤度

2. 薬剤の吸収量32

参考文献34

I 木材を土木資材に利用するメリット・デメリット

周知のとおり、木材は樹木の光合成産物である。そのため、人間により生み出される多くの材料が生産時に二酸化炭素の排出を伴うのに対し、木材は生産時に二酸化炭素が吸収されるという特筆すべき材料である。加工、利用に伴うエネルギーもわずかである。また、利用後に焼却あるいは生物分解を受けて二酸化炭素が排出されても、もと吸収したものを大気に戻すだけである。これがカーボンニュートラルな材料と呼ばれるゆえんである。このように木材は、環境負荷という意味においては他に類をみない優秀な材料である。加えて、スギ、ヒノキを代表とする人工林の間伐材を利用する場合は、林地の公益的機能の向上にも寄与することになり、環境への効用はさらに大きい。一方、本編および資料編 1 に示すとおり、生物の代謝産物であるが故の様々な材料としての欠点も有する。ここでは、間伐材の土木資材への利用に際し、その利点と欠点を整理し、表1に示す。

表1 土木資材としての木材の特性

特 性	利 点	欠 点
物 性	<ul style="list-style-type: none"> ・密度が比較的小さく、軽量であるが強度が高い ・衝撃吸収、振動吸収、吸音効果が高い ・電気、熱伝導性が低く、絶縁、断熱効果が高い ・酸・アルカリ等化学薬品に対する耐性が高い 	<ul style="list-style-type: none"> ・腐朽、シロアリなどによる生物劣により強度が低下する ・材質が個体、部位、繊維方向により不均一であり、物性にばらつきが生じる ・含水率の変化に伴い、割れ、反り等寸法変化が生じる ・燃えやすい ・耐候性が低い
加工・運搬性	<ul style="list-style-type: none"> ・加工が容易なため、加工設備が簡易ですむ ・運搬が容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・木口付近の加工は割れ、欠けが生じやすい
経済性	<ul style="list-style-type: none"> ・安価である ・入手しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> ・価格変動が大きい ・一度に大量の入手は困難な場合あり
景観・環境性	<ul style="list-style-type: none"> ・施工地の景観に調和する ・心理的安らぎ効果がある ・二酸化炭素の貯蔵効果がある ・製材、加工時のエネルギー消費、二酸化炭素の排出量が少ない ・施工後その地に残しても生物分解を受け、土壌に還元される 	

II 木材の劣化

木材を野外で使用する際に特に考慮すべき課題は、「劣化」であろう。木材は使用するうちに、様々な環境因子による作用を受けて当初の物性が損なわれてゆく。これを木材の劣化と呼ぶ。特に野外で使用された場合、気象などの物理的エネルギーによる分解に加え、木材の宿命ともいえる生物による分解を受ける。

1. 風化

木材は野外で日光や風雨にさらされると、その表面が灰色化してゆく。これは木材成分中のリグニンが日光の紫外線により分解され、風雨により溶脱してゆくことによる。その後、カビや汚れが付着し、暗灰色化することが多い。これと同時に乾燥と吸湿が繰り返されることにより表面に大小の割れを生じ、内部まで劣化が進行する。この時、早材の柔らかい部分から先に劣化が進行するため、早材部が窪み、相対的に晩材部が浮き上がる現象がみられる。これを「目やせ」と呼ぶ。目やせは早晩材の密度の差が特に大きいスギで顕著にみられる。上記のような現象を総合して「木材の風化」と呼ぶ。この風化は屋外暴露後、1年以内に顕著になるが、表面部分のリグニン溶脱後、残存したセルロースが被膜として働くため、風化の進行速度は100年に5～6mmといわれている¹⁾。実際には前述したような割れに起因する劣化も加わるため、この値より早い速度で劣化する。図II-1に風化の例を示す。



図II-1 スギ丸太の風化
材表面の暗灰色化、木口面の目やせと割れ
生物劣化によるキノコの発生もみられる

2. 生物劣化

木材は生態系の中で分解者と呼ばれる生物群によって腐朽、食害などの分解作用を受ける。これを木材の「生物劣化」と呼ぶ。野外では、生物劣化の被害は風化より大きい。その生物劣化のなかでも急激な強度低下を伴い、木材に甚大な被害を与える劣化は腐朽とシロアリによる食害である。この他、被害の程度は小さいが、バクテリア、カビによる変色、表面汚染、他の昆虫による食害、穿孔等があるが、ここでは主として腐朽とシロアリ被害、シロアリ以外の虫害について記す。

2.1 腐朽

2.1.1 木材腐朽菌

木材を腐朽させる菌類は一般に「木材腐朽菌」と呼ばれる。分類学的には木材腐朽菌の多くは担子菌という菌類に属している。その他、劣化後に材を著しく軟化させる「軟腐朽」を起こす「軟腐朽菌」と呼ばれる菌類が存在する。木材腐朽は、腐朽後の材色が褐色化するものと、白色化するものに分けられる。前者を「褐色腐朽」、後者を「白色腐朽」と呼び、それぞれの原因菌を「褐色腐朽菌」、「白色腐朽菌」と呼ぶ。

担子菌類はその生活史のなかで、子実体と呼ばれる器官(いわゆるキノコ)で胞子を形成し、この胞子が風で飛んだり、雨で流されたりして周囲に分散し、そこで発芽して菌糸となる。菌糸は細胞が糸状

に長く連なってできた、いわば腐朽菌の本体である。この菌糸が木材の主成分であるセルロースやヘミセルロース等を分解する酵素を分泌し、細胞壁を壊して栄養としながら、伸長成長してゆく。これが腐朽である。

菌糸の一本ずつは顕微鏡で観察できるが、通常目には見えない。しかし多数集まると白色の繊維状になり、図Ⅱ-2に示すような目に見える菌糸体となる。木材の表面にこの菌糸体が発見されることにより、菌の存在が確認できる。



図Ⅱ-2 木材表面上の菌糸体

(1) 褐色腐朽菌

この菌類は、セルロースとヘミセルロースを主に分解する。そのため、リグニンの割合が高まり、この菌類による腐朽を受けた木材は褐色を呈するようになる。また、腐朽した材が乾燥すると大きく収縮し、繊維方向や繊維と直角方向に大きな亀裂を生じる。図Ⅱ-3に褐色腐朽の例を示す。褐色腐朽菌は針葉樹を分解するものが多く、強度低下も白色腐朽または軟腐朽より著しいため、針葉樹が多用される木造構造物にとって大きな脅威である。



図Ⅱ-3 褐色腐朽

(2) 白色腐朽菌

白色腐朽菌はセルロースとヘミセルロース以外にリグニンも同じ程度に分解する。そのため、木材は退色し、白っぽくみえる。白色腐朽菌は広葉樹を分解するものが多い。

(3) 軟腐朽菌

多湿な環境では、木材表層部が軟化してもろくなる軟腐朽も起こる。軟腐朽菌の仲間は担子菌類が活動できない水中でも活動できる。セルロース、ヘミセルロースを主に分解する。この腐朽は表層部にとどまるため、木材全体の強度低下は少ない。

2.1.2 木材腐朽の発生条件

木材腐朽菌生育の必要条件は水、酸素、生育に適した温度である。このうちのどの一つが欠けても、腐朽は起こらない。しかし通常、酸素と温度を遮断することは不可能である。

(1) 水分

木材腐朽菌が利用できる木材中の水分は、細胞内腔に液体の状態が存在する自由水である。よって、繊維飽和点(含水率 28%)以下では腐朽は発生しない。すでに発生した腐朽も含水率が 20%以下になると菌糸の生育が困難となるため、これ以下の含水率で腐朽は進行しない。(後述の「資料編1 木材の基礎知識 3. 含水率」を参照。)

(2) 酸素

木材腐朽菌の大部分は担子菌である。担子菌は好気性菌であるため、その生育に酸素を必要とする。そのため、水中にある木材で担子菌による腐朽は起こらない。しかし、先にも述べたが、酸素要求度の低い軟腐朽菌の場合、水中でも木材腐朽を生じさせることがある。

(3) 温度

木材腐朽菌が生育可能な温度範囲は 0℃～50℃である。種類によって活発に活動できる温度帯が決まっており、24℃以下の好低温菌、24℃～32℃の好中温菌、32℃以上の好高温菌に分類される。

(4) 野外での使用環境

木材の使用環境は腐朽の速度に影響を及ぼす。ここでいう使用環境とは水際、水中、接地、地中など、主に水と酸素の量に着目した木材の設置場所のことを指す。

例えば、常に湿潤状態にある粘土質の地中や水中のような酸素欠乏環境に木材が設置された場合、腐朽は抑制される。また、逆に土壤に接して設置されたような場合、酸素と水分の供給に加え、土壤表層付近は木材腐朽菌の繁殖場所でもあることから、最も腐朽しやすい条件といえる。例えば、木杭を土中に打込み、一部を土中に埋設した場合、土地の条件により変動はあるが、最も早く腐朽するのは通常地際部である。地中部と地上上端部の腐朽速度は、地中の水はけ、埋設の深さ、地上部の環境等により異なる。

2.1.3 木材の耐朽性

腐朽に対する抵抗性能を耐朽性という。広い意味での耐久性とは区別されるので注意を要する。

(1) 辺材と心材の生物劣化抵抗性

樹木の木部のうち、樹皮に近く、外側にある辺材部は、生きた細胞も含まれており、炭水化物をはじめとする栄養分も多い。一方、辺材の内側にある心材はすべて死んだ細胞の集まりである。辺材は一定期間経過すると、その内部で防腐、防虫など自らの保存性能を高めるため、抽出成分と呼ばれる化学物質を合成し、心材化する。そのため、心材は辺材よりも生物劣化に対する抵抗性が高い。



図 II-4 ヒノキ辺材部の腐朽の様子

辺材の生物劣化抵抗性は、樹種によらず低い。図 II-4 にヒノキ辺材部の腐朽の様子を示す。

(2) 耐朽性の評価方法

木材の耐朽性を評価する方法は大きく分けて2つある。一つは野外杭試験である。他の一つは室内試験である。

・野外杭試験

野外杭試験は杭状にした木材を野外の試験地に下部を埋設し、年に1, 2回引き抜き、地上部、地際部、地中部に分けて腐朽の程度を目視で評価する方法である。この目視による評価方法は、土木分野で使用されている木材の被害度の評価にも適用できる。広く用いられているJIS K 1571の被害度の評価基準を表 II-1 に示す。この方法によれば、断面が 3cm 角の杭試験体において被害度の平均値が 2.5 になった時、強度が概ね半減することから、その経過年数をその材の耐用年数と呼んでいる。具体的な評価の判定法については、「V 保守管理」の章で詳述する。

表 II-1 目視による被害度の評価基準

被害度	観察状態
0	健全
1	部分的に軽度の腐朽または蟻害
2	全面的に軽度の腐朽または蟻害
3	2の状態のうえに部分的に激しい腐朽
4	全面的に激しい腐朽または蟻害
5	腐朽または蟻害により形がくずれる

JIS K 1571 による

・室内試験

適切な温湿度に保たれた実験室内または庫内に静置したビンの中で、あらかじめ腐朽菌を培養し、そこに一定期間木材試験片を投入し、投入前後の質量から求められた減少率をもとに評価する方法である(図Ⅱ-5)。

(3) 樹種による耐朽性の差違

心材に含有される抽出成分の種類や量は、樹種により様々である。一般に樹種による木材の生物劣化抵抗性の違いは、心材の性能の違いを指す。表Ⅱ-2に奈良県森林技術センターの明日香試験地における杭試験の結果をもとにした各樹種の心材の耐朽性を示す。



図Ⅱ-5 JIS K 1571に基づく室内試験

表Ⅱ-2 明日香試験地の杭試験結果から求めた樹種別心材の耐朽性

耐朽性	耐用年数	樹種名
大	4年以上	サワラ、ヒノキ、青森ヒバ(ヒノキアスナロ)
中	2.5~4年	スギ、カラマツ
小	2.5年以下	エゾマツ、ペイマツ(蟻害による)、ペイツガ スプルース、オウシュウアカマツ

改訂版 奈良県森林技術センター 木材加工技術ハンドブックP300より抜粋

2.2 蟻害

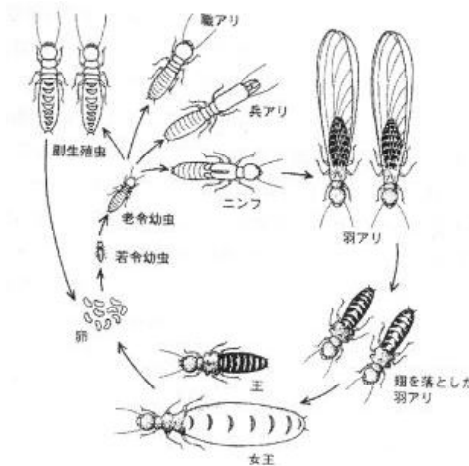
腐朽とともに木材に大きな強度低下をもたらし、甚大な被害を与える生物劣化は蟻害すなわちシロアリによる食害である。シロアリはアリの仲間ではなく、ゴキブリに近縁の昆虫である。日本に生息するシロアリのうち、分布範囲が広く、木材に大きな被害

を与える重要な種はヤマトシロアリとイエシロアリの2種である。このうち、ヤマトシロアリは北海道の一部を除く日本全土に生息する。奈良県に生息するのはヤマトシロアリである(一部地域に、イエシロアリの被害もあるとの情報がよせられている)。ここでは主にヤマトシロアリについて記述する。

2.2.1 ヤマトシロアリの生態

(1) 階級と役割

ヤマトシロアリは数万から最大50万の個体が集まって階級社会を形成する社会性昆虫である。イエシロアリのように特別に形成した大きな巣は作らず、加害場所が巣を兼ねていることが多い。図Ⅱ-6に各階級を示す。階級は大きく分けて、生殖虫(女王アリと王アリ)、有翅虫(羽アリ)、兵蟻、職蟻(働きアリ)から構成される。生殖虫は生殖を行う。産卵し、構成員を増やして、コロニー(集団)を形成する。有翅虫は巣から飛び立ち、新しい場所であつがいになり、生殖虫となって再びコロニーの形成にあたる。兵蟻は外敵の侵入に対し、巣の防衛にあたる。職蟻は採餌、育児などその他全般の役割を担う。木材を食害するのは職蟻だけである。図Ⅱ-7にヤマトシロアリの職蟻、兵蟻、有翅虫の身体的特徴を示す。



図Ⅱ-6 ヤマトシロアリの階級と生活環²⁾



職蟻
体長 5mm 前後
全体に乳白色



兵蟻
体長 3.5 ~ 6mm
頭部は淡褐色、円筒形で体長の
2分の1の長さ



有翅虫
体長 4 ~ 8mm
体色は黒褐色、胸部は
黄褐色

図 II-7 ヤマトシロアリの階級と身体的特徴

(2) 群飛

シロアリは通常、土壌や、木材の中におり、姿を見せない。しかし、ある時期有翅虫が多数発生し、一斉に巣を飛び立つ。これを群飛と呼び、これで付近にシロアリの巣があることに気づく。ヤマトシロアリの群飛の時期は、奈良県では5月連休の前後で、昼間に飛ぶことが多い。

(3) アリとの違い

職蟻や兵蟻の体色は白いので、アリとの区別はつきやすいが、ヤマトシロアリの有翅虫の体色は黒いので、一見よく似ている。しかし、図 II-8 に示すように、触角、前後の羽の大きさ、胴のくびれ(シロアリはくびれない)などから容易に区別がつく。

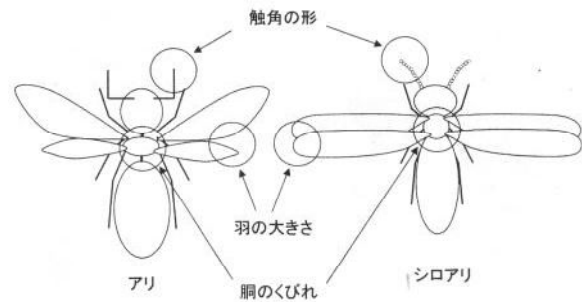


図 II-8 シロアリとアリの身体特徴の違い³⁾

(4) 加害習性

ヤマトシロアリは湿潤な材を好む。また、腐朽した材も食害する。木材の部位別では、抽出成分の少ない辺材部を、早材と晩材では、より柔らかい早材部を好んで食害し、晩材部を残す。ヤマトシロアリの食害痕を図 II-9 に示す。また、離れた場所に食害対象がある場合、図 II-10 に示すように土をふんや体液で固めた蟻道を形成し、その中を進んで目的物に達する。蟻道が発見されればシロアリの存在が容易にわかる。

2.2.2 樹種による耐蟻性の差違

多くの樹種の辺材には耐朽性と同様に耐蟻性はない。心材の耐蟻性は樹種によって違う。表 II-3 に代表的な樹種の心材の耐蟻性を示す。



図 II-9 ヤマトシロアリのアカマツ食害痕



図 II-10 ヤマトシロアリの蟻道

2.3 虫害

木材を加害する昆虫のうち、おおよそ繊維飽和点(含水率 28%)以下の含水率で乾燥した材を加害対象とするものを乾材害虫、生材を含むそれ以上の含水率の材を加害するものを生材害虫と呼んでいる。慣用的にシロアリはこの区分に含まれない。

2.3.1 生材害虫

通常の生立木、樹勢の弱った木、立ち枯れ木、伐倒木(伐採搬出後の丸太を含む)等を加害する昆虫類である。大部分は鞘翅目(甲虫目)であるが、一部膜翅目(ハチの仲間)も含まれる。表Ⅱ-4に生材害虫の材の加害形態を示す。表に示されているように、これら生材害虫の仲間は、ほとんどが、産卵時、幼虫生育期に樹皮を必要とする。すなわち、外樹皮のすぐ内側にある栄養豊富な内樹皮(師部)、形成層の他、生きた細胞群を栄養源とするためである。この他、樹皮は成虫の越冬にも利用される。

表Ⅱ-3 代表的な樹種(心材)の耐蟻性

耐蟻性	樹種名
大	コウヤマキ、イヌマキ、ヒバ(ヒノキアスナロ)、カヤ、 タイワンスギ、ボンゴシ、ブビンガ、クルイン
中	ヒノキ、スギ、カラマツ、ベイヒ、クスノキ、カツラ、ツガ、 ケヤキ、レッドメランチ、イエローメランチ
小	モミ、エゾマツ、アカマツ、クロマツ、クリ、ミズナラ、 ペイマツ、ペイツガ、ベイスギ、オウシュウアカマツ、 ラジアータパイン、オウシュウトウヒ

木材工業ハンドブック・改訂4版,丸善,P795(2004),より抜粋

表Ⅱ-4 生材害虫の分類と材の加害形態

分類	加害形態
カミキリムシ科	・成虫は樹皮上から樹皮下に産卵し、大部分の種は孵化幼虫が内樹皮を食害して生育。一部の種は成熟幼虫が辺材まで侵入。
タマムシ科	・成虫は樹皮上から樹皮下に産卵し、孵化した幼虫は内樹皮と直下の辺材を食害。
ゾウムシ科	・タマムシ科と同様。一部心材に達するものあり。
クイムシ科	・成虫が樹皮下に穿入して内樹皮に産卵し、孵化幼虫も内樹皮のみ加害し、羽化後各自脱出口から飛び立つ。 ・成虫が辺材または心材まで達する孔道を作り、持ち込んだカビを接種した後産卵。幼虫はカビをエサに生育。親虫の作った穿入孔から羽化脱出。
ナガクイムシ科	・養菌穿孔虫。昆虫による樹体への穿孔とともに、材内に持ち込まれた菌類による被害。
キバチ科	・成虫は樹皮下に産卵し、孵化幼虫は辺材部を加害。

日本木材加工技術協会関西支部編:木材の基礎科学,滋賀,海青社,P81(2006)を参考に作成

上記理由で、木材を野外に設置あるいは放置するときには剥皮し、樹皮を取り除くことが生材害虫の食害防止のために重要である。生材害虫自体の食害は通常、材の強度を著しく低下させることは少ないが、変色菌や腐朽菌を材内に持ち込むものが多いため、材の変色や腐朽が生じることがある。

2.3.2 乾材害虫

乾燥した材に産卵、加害する昆虫類である。代表的なものにヒラタクイムシ科、ナガシクイムシ科、シバンムシ科、一部のカミキリムシ科などが含まれる。野外の木材では特に問題となることは少ないが、屋内の木材には重要害虫となるものが多い。

Ⅲ 木材の保存処理

木材を腐朽やシロアリなどの生物劣化から保護するには、温度、酸素、水分のどれか一つを制限すればよいが、屋外においてはいずれも困難である。そこで木材自体をこれら生物が栄養源として利用することを不可能とする方法として、薬剤による保存処理がある。薬剤が確実に木材に浸透、注入されている限り、現状では最も有効かつ比較的安価に行える保存方法である。JASを始めとする以下の規格製品では、目的の性能(ここでは木材の保存性能)が確保されていることになるが、以下に示す各種技術要件を駆使して、常に性能確保を図る必要がある。

従来より「防腐処理、防腐剤」という言葉が用いられてきたが、これら薬剤には、シロアリに対する抵抗性も必要のため、通常防蟻剤も配合されている。そこで、近年は「防腐」に代えて「保存」という用語を使用し、「保存処理、保存剤」という言葉が使用されている。

1. 処理方法

木材保存剤による処理方法は、加圧処理と常圧処理に分けられる。常圧処理の主な方法は表面処理であり、浸せき、塗布、吹き付け等による方法がある。表Ⅲ-1に主な処理条件の特徴を示す。

表Ⅲ-1 主な木材保存処理の特徴

処理方法		主な設備・道具	薬剤	長所	短所
常圧 表面 処理	塗布法	薬剤容器、刷毛	主に油性または油溶性 乳化性	・薬剤が少量ですむ ・部分処理が可能 ・現場処理が可能	・処理ムラが起きやすい ・狭所の処理が困難 ・手間を要する
	吹付法	噴霧器	油溶性、乳化性	・効率が良い ・狭い隙間の処理が可能 ・現場処理が可能	・薬剤のロスが多い ・周辺の汚染に注意を要す ・作業安全の防具必要
	浸せき法	浸せき槽	油性、油溶性、乳化性、 乳化性	・吸収量を時間で調整可能 ・処理ムラが少ない ・効率が良い	・多量の薬剤必要 ・部分処理が困難 ・薬液管理に注意必要
加圧 処理	加圧法	注薬缶、薬液タンク、 真空ポンプ、加圧ポン プ、計量槽(流量計)	油性、水溶性、油溶性、 乳化性 JIS K1570 で規定	・最大の注入量が得られる ・屋外使用に適する ・高耐久製品に適する ・注入量の調節可能	・特別な設備を要する ・現場処理不可能 ・特別な技術を要する

(社)日本木材保存協会編 木材保存学入門(改訂2版)平成17年 P135 の表を参考

1.1 加圧注入処理

木材を専用の密閉装置に入れ、減圧操作で木材に含まれる空気を除去し、ついで加圧操作により木材保存剤を強制的に木材内へ注入させる方法である。他の方法に比べ、高い注入量が得られる。注入処理前の木材乾燥やインサイジング(8.4インサイジング参照)が適切に行われた場合、後述する資料編2の表2-2に示す JAS 屋外使用K4D1樹種区分の浸潤度の適合基準を例にすれば、辺材の場合80%以上、心材部は表面から 10mm の範囲の80%以上に薬剤が浸潤する。図Ⅲ-1に注入



図Ⅲ-1 減圧加圧式注入処理装置

処理装置、図Ⅲ-2にインサイジング後加圧注入処理したスギ角材の浸潤状態を示す。

1.2 浸せき処理

浸せき処理は、木材を薬剤に浸せきするための処理槽があれば行うことが可能である。しかし浸せき時間にもよるが、その効果は通常木材表面から約 2mm 以内にとどまるため、処理後の乾燥により、木材表面に割れが生じると、未浸潤の部分が容易に露出し、そこから腐朽する可能性があるなど、注入処理に比べ長期間の保存効果は期待できない。

1.3 塗布

表面処理用の薬剤を刷毛などを用いて木材表面に塗布する方式である。より簡易に小規模な施設で行う場合や、加圧注入後の木材を切削加工した際に未浸潤部分が露出した場合など、現場での補修、メンテナンスに適する。注入処理に比べると長期的な効果は期待できない。



図Ⅲ-2 インサイジング後
加圧注入処理した
スギ角材の薬剤浸潤状態

2. 規格

木材保存剤に関連する製品については JIS および JAS 等により品質基準が定められている。木材保存剤の種類については「JIS K 1570:2010木材保存剤」で、保存薬剤の性能は「JIS K 1571:2010木材保存剤－性能基準及びその試験方法」で、また、これら薬剤で処理された木材製品については「製材のJAS:2007」をはじめとする木材製品関連の JAS で規定される。このほか、新規開発された製品のために、(財)日本住宅・木材技術センター(以降住木センターという)による AQ 認証(優良木質建材等認証事業)が運用されている。また、加圧注入処理方法については「JIS A 9002:2005木質材料の加圧式保存処理方法」において規定されている。

例えば、(社)日本治山治水協会、日本林道協会編集の「森林土木木製構造物施工マニュアル」において、大型木製構造物の定義として、安定計算、部材応力計算などを必要とする大規模な構造物、具体的には大型治山ダム、枠構造で高さ1.5m以上の護岸工および土留工(擁壁工)等があげられている。このような構造物を設計する必要がある場合や長期間の耐朽性を期待するような場合は特に、上記規格に準じた製品を用いることが望ましい。

3. 製材のJASにおける保存処理製品の性能区分

「製材の JAS」では「保存処理」の表示をする製品の性能区分をその使用環境に応じて、表Ⅲ-2に示すように5段階に区分している。この性能区分に応じて要求される木材の保存性能の基準は、「製材の JAS の保存処理木材の性能基準」において、薬剤の木材への「浸潤度」と、木材中の有効成分の量である「吸収量」によって規定されている。必要に応じ、「資料編2」を参照のこと。

常時屋外にある土木構造物の材料として長期間使用される木材に求められる性能は、通常K4に相当する(「IV計画」参照)。

表Ⅲ-2 製材のJASにおける保存処理製品の性能区分

性能区分	木材の使用環境	具体的使用例
K1	屋内の乾燥した条件で腐朽・蟻害の恐れのない場所で、乾材害虫に対する防虫性能のみを必要とする場合	外気に接しない比較的乾燥した状態で、ヒラタキクイムシの被害を防止する。
K2	低温で腐朽や蟻害の恐れのない条件下で高度の耐久性が期待される場合	比較的寒冷地域(北海道、東北地方)での建築部材
K3	通常の腐朽・蟻害の恐れのある条件下で高度の耐久性が期待される場合	・土台等建築部材用 ・野外に設置された木製構造物のうち、非接地のもの。交換可能な部材。 例えば木製ベンチの座部など。
K4	通常より激しい腐朽・蟻害の恐れのある条件下で高度の耐久性が期待される場合	・野外に設置された木製構造物のうち、接地のもの。交換不可能な部材。 例えば木製ベンチ、木製遊具の脚部など。
K5	極度に腐朽・蟻害の恐れのある環境下で高度の耐久性が期待される場合	・常時水と接するもの。 ・電柱、枕木、海中使用等、極めて高い耐久性を要するもの

* 具体的使用状況を野外木製構造物に適した表現に改めたもの。

* 表現の一部は鹿児島県林業試験場・工業技術センター発行の「木造施設の設計マニュアル」に掲載された表中の表現を引用した。

4. 素材(丸太)のJAS

木材製品に関する JAS のうち、丸太を対象とするものに「素材の JAS」がある。素材の JAS では強度区分に関する規定はあるが、保存処理に関する規定はない。丸太の耐久性の確保は、その使用環境に応じて前述(表Ⅲ-1)の処理方法から適切な方法を選択する。

5. 薬剤の種類

薬剤に求められる性能として、基本的な薬効のほか、変質せず、溶脱、揮散しない、木材中に浸透しやすい、接触する金属を腐食しないなどの条件が求められる。JIS K 1570 に規定される加圧注入処理用木材保存剤について、その特徴を表Ⅲ-3に示す。

表Ⅲ-3 JIS K 1570に規定される加圧注入用木材保存剤の種類と特徴

分類	種類	有効成分	記号	材色変化	臭い
水溶性	第4級アンモニウム化合物系	ジデシルジメチルアンモニウムクロリド(DDAC)	AAC-1	なし	なし
	銅・第4級アンモニウム化合物系	酸化銅・N-アルキルベンジルジメチルアンモニウムクロリド	ACQ-1	緑色～淡褐色	あり
	銅・アゾール化合物系	酸化銅・シプロコナゾール	CUAZ	緑色～淡褐色	少しあり
	ホウ素・第4級アンモニウム化合物系	ホウ酸・ジデシルジメチルアンモニウムクロリド	BAAC	赤茶色	少しあり
	第4級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物系	DMPAP・シラフルオフェン	SAAC	なし	少しあり
	アゾール・第4級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物系	DMPAP・シプロコナゾール・エトフェンブロックス	AZAAC	なし	少しあり
	アゾール・第4級アンモニウム・ネオニコチノイド化合物系	DDAC・テブコナゾール・イミダクロプリド	AZNA	なし	少しあり
乳化性	脂肪酸金属塩系	ナフテン酸銅	NCU-E	緑色	あり
		ナフテン酸亜鉛	NZN-E	なし～淡褐色	あり
		第3級カルボン酸亜鉛・ペルメトリン	VZN-E	なし～淡黄色	少しあり
油性	ナフテン酸金属塩系	ナフテン酸銅	NCU-O	緑色	あり
		ナフテン酸亜鉛	NZN-O	なし～淡褐色	あり
		アゾール・ネオニコチノイド化合物系	シプロコナゾール・イミダクロプリド	AZN	なし
油性	クレオソート油	235℃～315℃の間の留分	A	なし～褐色	強い臭い

注：クレオソート油についてはベンゾ[a]ピレン、ベンゾ[a]アントラセン、ジベンゾ[a,h]アントラセンの含有量は10ppm以下のものに限られる

6. 木材保存剤の防腐防蟻性能

当センターは明日香試験地において、素材(無処理木材)や保存処理木材に対して JIS K 1571 に準拠した野外杭試験を実施してきた。上記の加圧注入用木材保存剤についても、早くから市場に回り、使用実績のある5種類について、最も早いもので約20年前から評価試験を開始した。この結果を表Ⅲ-4に示す。明日香試験地では、表中に示したように、無処理スギ辺材試験体の耐用年数は2年以内である。このことは、ヤマトシロアリや木材腐朽菌等の活性が高いことを意味し、評価対象の薬剤に対し厳しい条件で評価がされているといえる。

表Ⅲ-4 加圧注入用木材保存剤5種の野外杭試験による耐朽性評価^{4,5,6,7,8)}

種類	記号	有効成分	JAS適合基準 吸収量(kg/m ³)	試験体における 吸収量(kg/m ³)	耐用年数 (年)	備考
無処理スギ辺材	—	—	—	—	1.7	
第4級アンモニウム化合物系	AAC-1	ジデシルジメチルアンモニウムクロリド(DDAC)	DDACとして K3: 4.5以上 K4: 9.0以上	DDACとして		
				4.0	8.5	4) 薬剤A
				4.3	7	4) 薬剤B
				8.8	9	
				13.2	10	
5.4	12	5) 薬剤C				
銅・第4級アンモニウム化合物系	ACQ-1	酸化銅・ベンザルコニウムクロリド	銅として K3: 2.6以上 K4: 5.2以上	銅として 2.8 4.5	15 未定	6) 15年で被害度1.7
脂肪酸金属塩系	NCU-E	ナフテン酸銅	銅として K3: 1.0以上 K4: 1.5以上	銅として 1.0 1.5	17 20	7)
	NZN-E	ナフテン酸亜鉛	亜鉛として K3: 2.0以上 K4: 4.0以上	亜鉛として 1.5	7.5	8)
	VZN-E	パーサチック酸亜鉛・ペルメトリン	亜鉛ヘルメトリン化合物として K3: 2.5以上 K4: 5.0以上	亜鉛として 2.5 3.4	9 9	8)

※ここでいう耐用年数は試験杭の被害度の平均が2.5に達した年数である。 ※杭の樹種はすべてスギ辺材である。
 ※試験体の大きさは30×30×600mm ※データは地際部のみでの評価である。
 ※表中の K3,K4については、表Ⅲ-2の製材の JAS における保存処理の性能区分の表を参照のこと。

木材保存剤の加圧注入処理による防腐防蟻効果は施工現場においても確認されている。実例を図Ⅲ-3に示す。これらは、スギ間伐材の丸太を落石の衝撃緩衝材に利用した、落石防止壁の写真である。これら丸太は、共に施工後5年が経過しているが、加圧注入処理がされたものには劣化が認められない。一方、無処理の丸太は、手で容易に崩れるほどに腐朽が進行している。



図Ⅲ-3 施工後5年経過した落石防止壁のスギ丸太
 左: 加圧注入処理丸太 右: 無処理丸太

7. 安全性

現在、木材保存剤の認定は(社)日本木材保存協会等で行なわれている。この認定の際の木材保存剤の性能および安全性に関する審査は住木センターが行っている。安全性に関しては、「人畜毒性」、「水産動物等に対する毒性」、「動物および土壌、水中における分解性、残留性」等の項目が審

査対象である。薬剤の性能については、前述した JIS K 1571 の基準が適用されている。この安全性審査と薬剤の性能審査に合格した薬剤が木材保存剤として認定されており、このような認定を受けた薬剤を使用することが推奨される。

8. 木材の薬液浸透性

「資料編1 木材の基礎知識」に述べるように、木材は多孔質であることから、薬液の浸透性は良いと考えられがちである。しかし、木材組織の構造上の理由により、木材への薬液浸透性は、木材中の部位や樹種で異なる。加圧注入による保存処理木材を発注する際には、このことを十分に考慮しなければならない。

8.1 辺材と心材の浸透性

通常、木材の細胞壁は液体をほとんど通さない。そこで隣接する細胞間の水分通道は、細胞壁に開いている壁孔と呼ばれる通路によって行われる。この壁孔の通道性の良否(閉鎖率)が木材への薬液の浸透性を決定する。木材中の部位では、辺材と心材でこの閉鎖率が異なり、一般に辺材の閉鎖率は樹種によらず低いため辺材への注入性は良い。一方、心材では閉鎖率が樹種により異なるほか、壁孔への抽出成分の付着などもあり、注入性は樹種により異なる。

8.2 樹種による浸透性の差違

心材の浸透性は樹種により異なる。表Ⅲ-5に主な樹種の心材の浸透性を示す。

表Ⅲ-5 主な樹種の心材の浸透性

良好	やや良好	困難	極めて困難
ヒバ*、エノキ、イタヤカエデ、シデ類、トネリコ、ミズキ、アピトン、ジェルトン、ケンパス、ラミン	スギ、アカマツ、クロマツ、ツガ、モミ、マカンバ、シオジ、ハルニレ、ベイマツ(コースト)、ウエスタンヘムロック、ダンゴン、イエローメランチ	ヒノキ*、エゾマツ、ケヤキ、ミズメ、ヤマザクラ、イースタンヘムロック、シトカスプルー、ノーブルファ、カプール、チーク、カメレレ	カラマツ、カツラ、クリ、コナラ、ハリギリ、ミズナラ、ベイマツ(マウンテン)、ベイスギ、レッドメランチ、ジャラ

(独)森林総合研究所監修 木材工業ハンドブック・改訂4版,丸善,P808(2004)の表より抜粋

※ヒバは悪い場合もある。県内のヒノキは注入性が極めて良い。このように注入性には地域、品種、または個体差が大きいことに注意を要する。

8.3 含水率の影響

加圧注入処理を行う場合は特に、注入時の含水率に注意を要する。一般的には含水率が低いほど注入性は高くなる。設定条件としては含水率30%以下が望ましい。含水率が高い場合には、水分による注入阻害、注入薬液の濃度低下の原因となる。

8.4 インサイジング

木材の浸透性を向上させる方法として、インサイジングがある。インサイジングとは、木材の表面に多数の傷をつけて、その傷口から薬剤を浸透させる方法である。傷をつける方法は多数考案されているが、通常、ナイフ型やノミ型の小さな刃が配置された円筒形のドラムの間を通過させる方法が一般的である。図Ⅲ-4にインサイジング後のスギ角材の表面を示す。

インサイジングは JAS においても、強度低下が曲げ強さおよび曲げヤング係数の1割を超えない範囲内において欠点とは見なされないため、薬剤の浸透性向上を図る方法として急速に普及した。浸透性の悪い樹種、K4、K5など高い保存性能が必要な用途には、インサイジングなどの浸透性を向上させる前処理が求められる。



図Ⅲ-4 インサイジング後加圧注入処理したスギ材

IV 計画

1. 材料の耐久性を確保する方法

スギ、ヒノキ等の間伐材を土木資材として利用することを計画した場合に必要な、木材保存の観点からの検討事項を示す。

1.1 目標とする耐用年数

安定計算、部材応力計算などを必要とする大規模な構造物かそれ以外か等の構造物の使用目的の他、部材ごとに交換可能かどうか等の条件を考慮し、構造物全体あるいは部材ごとに目標とする耐用年数を決定する。

1.2 使用環境

広域的環境である気象条件と、溪沼等からの距離、接地、非接地などの局地的環境がある。

1.2.1 広域的環境

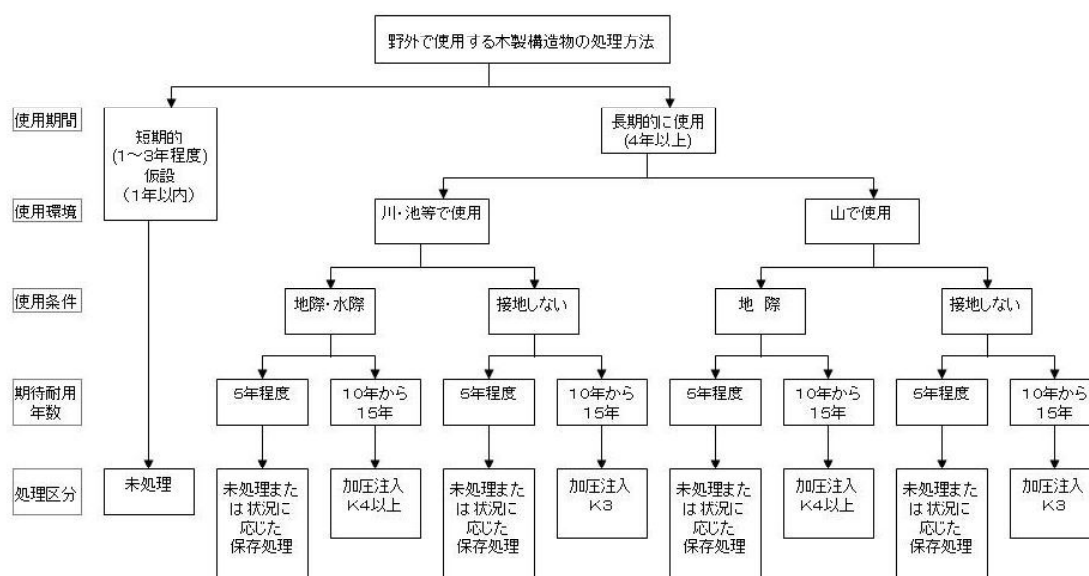
気象条件については、住木センターが作成した森林資源有効活用促進調査事業報告書中の「温度積をもとにした腐朽推定マップ」が参考になる。このなかでは腐朽の危険度が5クラスに区分されており、奈良県はほぼすべての地域が上位から2番目に高い危険度の地域にランク付けされている。ちなみに最も高いランクは沖縄地方である。このことからわかるように、局地的な高所を除く県内いずれの地域も腐朽およびシロアリの危険度は高い。

1.2.2 局地的環境

上記のように県内は全土で、生物劣化の危険が高い。その中でも、局地的にさらに危険度が高くなる環境、水際、接地条件等において、耐久性を持たせる必要がある場合は、1ランク上位の保存処理を行う必要がある。

1.3 耐久性を確保するための処理方法の決定

上記の検討結果に応じた処理方法の決定法の一例を図IV-1に示す。



図IV-1 野外で使用する木製構造物の処理方法

* 鹿児島県林業試験場・工業技術センター発行の「木造施設の設計マニュアル」を参考に作成

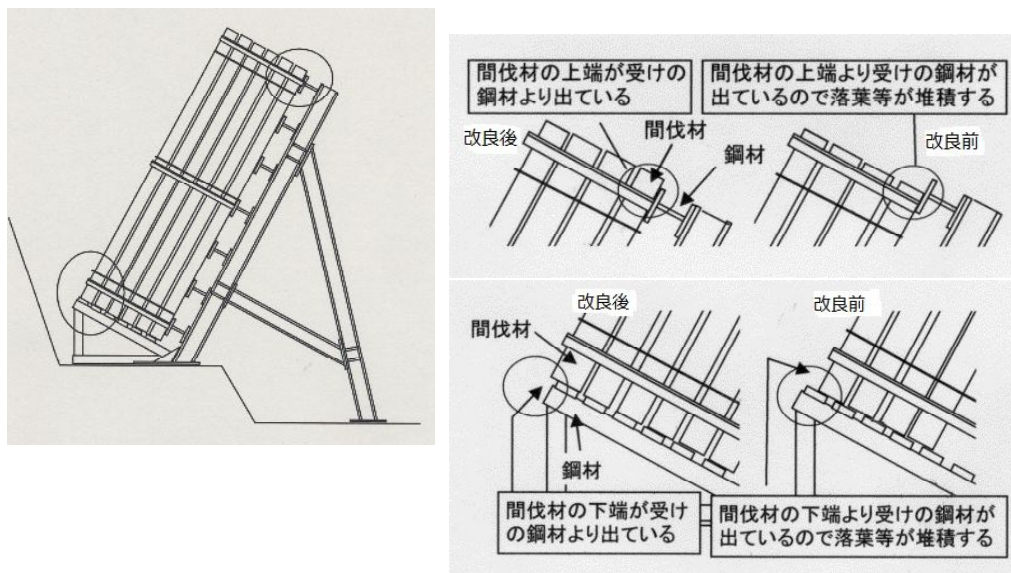
2. 設計上の注意点と工夫

設計上の工夫も、木材の耐用年数を伸ばすことに有効である。例えば丸太に丸棒加工を施し、辺材部を除去した部材を使用することにより、耐久性の向上が図れる。ヒノキの場合特にこの効果は高い。また、部材の交換が可能な構造であれば、部材ごとに処理のランクを変化させることが可能となり、コスト削減がはかれる。そのほか、点検、補修に配慮した構造にすることも必要である。

これまでに当センターが行った木製土木施設の調査において気づいた具体例を、間伐材丸太を落石緩衝材に使用した落石防止壁を例にして図IV-2に示す。

落石防止壁の丸太上に樹木からの落葉、落枝が堆積した場合、その箇所では腐朽が生じやすい。特に図に示す丸太の下部と上部の鋼材との間に生じる段差にはこれらの堆積物がたまりやすい。そこで、図のように丸太を少し長くして、鋼材から頭が出るようにする。下部においても丸太を鋼材の受けからはみ出るようにすれば、この問題は容易に解決可能である。

上記以外にも、丸太施工時、衝撃緩衝間伐材の間に 20mm 角の栈木に相当するようなスペーサーを挟むだけで、腐朽の進行速度はかなり遅くなる。



V 保守管理

1. 劣化診断の方法

1.1 樹種の確認

スギとヒノキは小径木間伐材の取引では区別せずに取り扱われることも多い。しかし、スギとヒノキでは耐朽性のみならず後述するピロディンやレジストグラフによる劣化診断時の測定値に差があることから、既設構造物に使用されている樹種を現場で見分ける必要がある。図V-1に、スギとヒノキの木口面における識別ポイントを示す。製材品で板目面が確認できる場合は、木口面と板目面の両方で行うことで、より正確な識別となる。図V-2に板目面での識別ポイントを示す。識別に際しては生物体の特徴である個体変異があることに加え、現場ではすでに材面は劣化を受けて材色の特徴も失われていることが通常であるため、識別困難な場合もある。逆に劣化が進行している場合には、「Ⅱ 木材の劣化」で述べた風化による「目やせ」はスギにおいて顕著であることも識別の助けとなる。



スギ ヒノキ

図V-1 スギとヒノキの識別ポイント(木口面)

- ・スギの木口面は、丸鋸で切断した場合、鋸刃による繊維の毛羽立ちが目立つ。
- ・スギは早材部がくぼんで、晩材部が立ち上がる形状を呈する。
- ・ヒノキではこの毛羽立ちは少なく、早晩材の凹凸の差も少ない。
- ・辺材と心材の色の違いはスギでははっきりしているがヒノキでははっきりしないことも多い



スギ ヒノキ

図V-2 スギとヒノキの識別ポイント(板目面)

- ・スギは早晩材の材質の違いが大きい。スギの早材部は特に柔らかいため、爪などで容易に傷がつく。
- ・スギは早晩材の色の濃淡の差が大きいため、境界もはっきりとしている。
- ・スギは、切削加工面も多少の荒さがあるがヒノキの切削面は平滑である。
- ・節の色がヒノキは赤みを帯び、スギは黒みを帯びる

1.2 目視による被害度の判定

目視で、木材に発生した劣化度合いを5段階、被害なしを含めて6段階にランク付けする方法である。

この被害度の判定基準は、もともと断面 30mm × 30mm、長さ 600mm のスギ辺材杭を用いた野外杭試験時に用いられるものである。断面の大きな丸太や角材においては、表現が適用しづらい面がある。そこで、従来の表現をもとに、断面の大きな部材にも適用できるよう表現を工夫した(表V-1)。また、この基準に基づき評価した実際の被害丸太を図V-3に示す。

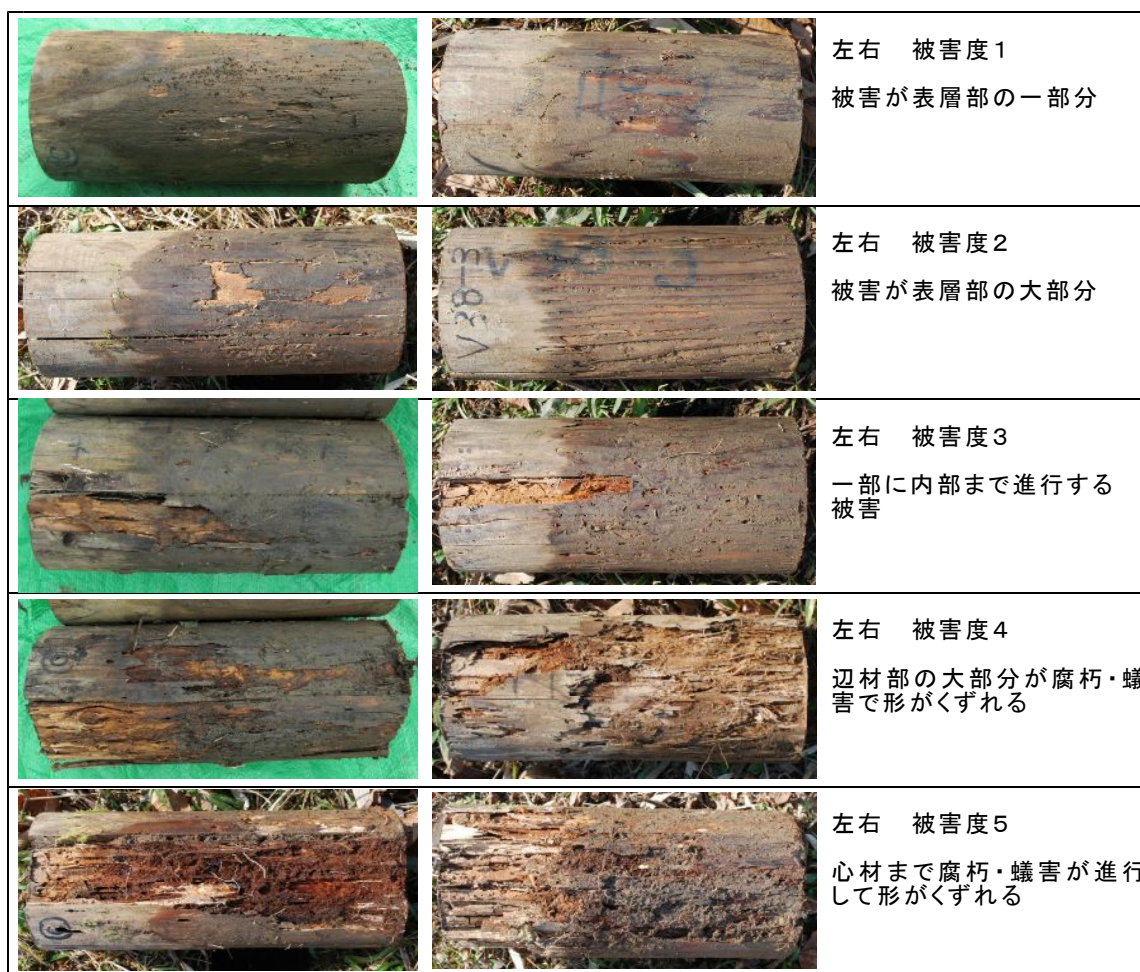
木材に発生した腐朽部分は色に変化し、材がもろくなるため、腐朽部分は比較的容易に判別できる。目視だけでなく、ハンマーによる打診音やドライバーなどを突き刺す方法を併用することにより、内部腐朽の判別もある程度可能である。被害度の判定は、経験者と共に実施するなどして、経験を積む

ことで、安定した評価ができるようになる。また、複数人で評価を行い、その平均値を採用するの
 一つの方法である。

表V-1 目視による被害度の評価基準

被害度	観察状態	丸太など大きな断面の材料に適用した観察状態
0	健全	健全
1	部分的に軽度の腐朽または蟻害	表層部に部分的に軽度の腐朽または蟻害
2	全面的に軽度の腐朽または蟻害	表層部に全面的に軽度の腐朽または蟻害
3	2のうえに部分的に激しい腐朽または蟻害	部分的(目安は 1/2 以下)に内部まで進行する腐朽または蟻害
4	全面的に激しい腐朽または蟻害	全面的に内部まで進行する腐朽または蟻害
5	腐朽または蟻害により形がくずれる	腐朽または蟻害により大部分で形がくずれる

* JIS K 1571の被害度の区分に加え、断面の大きな材料にも適用できるよう表現を追加した。



図V-3 丸太を例にした被害度の判定の具体例

1.3 内部劣化の診断法

目視による被害度により、表面の劣化度を評価することができるが、腐朽は木材内部で起こっていることも多いため、断面が大きな材料については測定器具により、木材内部の劣化を検出することが必要である。木材内部の劣化を診断できる測定器具は数種類開発されている。その中から、当センターにも備わり、比較的簡単に測定でき、現在調査で使用されることの多い、ピロディンとレジストグラフについて説明する。

1.3.1 ピロディン

スイス proceq 社製のピロディンは、携帯や取り扱いが容易であり、測定対象木材の破壊範囲も小さいなどの理由から多くの現場での調査に採用されている。ピロディンは、直径 2.5mm の金属製ストライカーピン(以下ピンと呼ぶ)を、6N・m のエネルギーで測定対象物に陥入させた時の打込み深さから、劣化状況等の情報を得る測定装置である。測定深さの範囲は、材表面から 40mm までで、それ以上深い部分の測定はできない。通常土木現場で用いられる型式は図 V-4 に示すピロディン 6J である。



図 V-4 ピロディン

(1)使用方法

- ① 本体先端部のピンを、付属の器具で本体内部に固定されるまで押し込む。
- ② その状態で木材の測定箇所直角に押し当てた状態で、本体後端部を押す。
- ③ 直後、ピンのロックが解除され、一気にピンが木材内部に打ち込まれる。
- ④ 本体を測定物に押しつけた状態で本体側面の目盛りを読む。
- ⑤ こじることなく、垂直を保ったまま引き抜く。
- ⑥ 保存処理材測定後の陥入孔には木材保存剤を塗布する。

(2)測定点の数と位置

ピロディンの測定は直径 2.5mm のピンによるものであるから、1回あたりの測定範囲は、ごく局部的である。そのため、測定点の数と位置については、現場において目視で劣化の状態や場所を確認しつつ、できるだけ正確に劣化状況を評価できるよう配置する。

(3)ピンを打つ間隔

ピンの陥入は、一定の範囲で周囲の木材組織の破壊を伴う。先に打った測定点のごく近くで再度測定を行い、木材組織の破壊範囲が隣り合う測定点どうして重なり合うと、後から測定したピンの打込み深さは、先の測定の影響を受けると予測される。したがって、樹種あるいは材質に応じた1測定点あたりの破壊範囲を把握しておく必要がある。

当センターでピロディンの破壊範囲に関する検討⁹⁾を行った結果、隣接した測定の影響を回避するための測点の間隔は、繊維方向で、スギは 50mm、ヒノキは 30mm、接線方向についてはスギ、ヒノキとも 10mm 確保すれば測定値への影響がないことが分かっている。

1.3.2 ピロディン測定値の意味

(1)健全材での測定値の範囲

ピロディンによる測定値で木材の劣化度を評価する場合の基準値として、劣化する前の健全材の測定値を把握しておかなければならない。当センターでは、宇陀市室生区に設置されている落石防止壁に衝撃緩衝材として使用されている設置当初のスギ・ヒノキ間伐材と、この構造物に間伐材を供給した県内の森林組合から同様のスギの間伐材を入手し、スギ丸太約 500 本、ヒノキ丸太約 100 本の健全材におけるピロディンの打込み深さを測定した。スギ剥皮丸太について、その結果を図 V-5 に示す。

この結果、健全なスギ剥皮丸太のピロディンの打込み

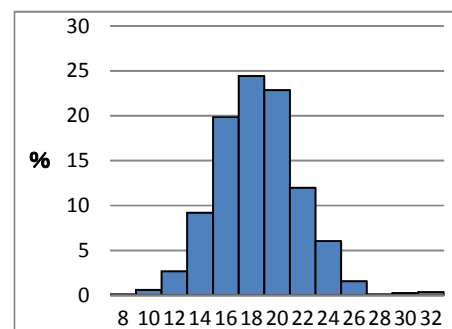


図 V-5 健全なスギ丸太のピロディン打込み深さの出現頻度

深さは平均値で、17.7mm、最大値で 32mm、最小値で 8mm であった。15 ～ 22mm の範囲にある値で、全体の 83%を占めた(測定時含水率:平均値 19.5%、最大値 38.3%、最小値 8.4 %)。これらの値は、他の文献^{10,11,12,13,14)}においてもほぼ同じ値であった。

一方、ヒノキ剥皮丸太は平均値 14.0mm、最大値 22mm、最小値 8mm で、(測定時含水率:平均値 20.0%、最大値 37.5%、最小値 9.2 %)であった。ヒノキ丸太のピロディン打込み深さの報告は少ない。他の報告も合わせた健全材の打込み深さの範囲を表 V-2 に示す。

図 V-5 の結果をみると、26mm 以上の値はほとんど検出されていないことから、スギ丸太は 26mm 以上、ヒノキ丸太で 22mm 以上の値は、腐朽その他の劣化状態を示す可能性があると考えられる。

(2)ピロディンの測定値に影響を与える要因

・密度

ピロディンはもともと、打込み対象物の密度測定器として開発された器具で、その打込み深さは密度との相関が高い。よって、基本的に測定対象木材の密度に、最も影響を受ける。材が腐朽すると密度が低下することを利用し、間接的に腐朽度合いを評価できる。

表 V-2 各文献の丸太健全材のピロディン打込み深さ(mm)

樹種	最小値	平均値	最大値	標準偏差	測定時含水率	参照
スギ	8	17.7	32	3.36	平均 19.5%、8.4 ～ 38.3%	森技セ実験値
	10.3	17.9	31	3.42	—	10)
	10.3	20.6	32.3	4.1	平均 52.7%、6.5 ～ 200.5%	11)
	—	—	33	—	—	12)
	—	17.8	—	—	—	13)
ヒノキ	8	14.0	22	2.0	平均 20.0%、9.2 ～ 37.5%	森技セ実験値
	—	—	26	—	—	12)

・含水率

含水率による影響も認められ、他の木材の物性値と同様、基本的には全乾状態から繊維飽和点までの間で変動し、含水率が高いほど打込み深さは大きくなる。その割合は、文献^{10,14)}により違いはあるが、スギで、含水率1%につき、概ね 0.05mm から 0.10mm である。

・打込み方向

年輪幅(早材幅)が大きいスギでは、放射方向より、接線方向の打込み深さが大きくなる傾向にあるとの報告¹⁰⁾がある。これは年輪幅が広い場合、密度の低い早材部に沿ってピンが打ち込まれることがあるからである。したがって、接線方向の打込み深さは値のばらつきも大きくなる。

・年輪幅

年輪幅による影響は、影響があるとする文献もあるが、一般には年輪幅との相関は低いとされることが多い。

・節

節は他の木部と比べて密度が大きく、硬い。明らかに測定値に影響を与えるため、節は避けて測定する。

1.3.3 レジストグラフ

ドイツ IML 社製のレジストグラフは図 V-6 に示すような、刃先幅 3mm、軸径 1.5mm の細長いキリ状の金属棒を回転させながら材の中に穿孔させ、材の密度変化に応じ、キリの回転抵抗が変化することを利用して、抵抗力をグラフ化する測定器である。深さ 300mm まで測定可能である。測定時の様子を図 V-7 に示す。

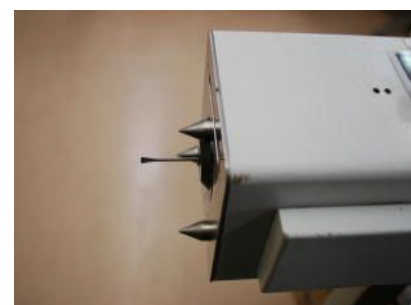


図 V-6 レジストグラフ本体先端部と本体から少し出したキリの刃先

(1)使用方法

- ①専用のグラフ用紙をセットする。
- ②レジストグラフ本体の先端部にある3本のピンを木材表面に垂直に押し当てて本体を固定する。
- ③ドリルの前進スイッチを入れてキリを材内に穿孔させる。
- ④ 300mm 伸びきり、または裏側まで貫通したら、一度スイッチから手を離す。貫通の確認は、グラフをみて、波形の立ち上がりがなくなくなり、かつ穿孔中の音に変化したことを確認のうえ判断する。
- ⑤ドリルのリバーススイッチを押して、キリを材内から抜き、レジストグラフ内部に納める。
- ⑥グラフ用紙を本体から外し、波形を確認する。
- ⑦保存処理材測定後の穿孔部には保存剤を塗布する。



図 V-7 レジストグラフによる測定状況

(2)測定値の意味

グラフの波形は密度の高い晩材部で立ち上がり、密度の低い早材部ではそれより低くなる。腐朽により密度の減少が進行した部分の波形はほとんど立ち上がりを示さず、基底部で直線状態になる。スギ材内部で腐朽部分を検出したグラフの具体例を図 V-8 に示す。また、このグラフの波形は樹種によって特徴があり、波形を観察することにより、比較的容易にスギとヒノキの

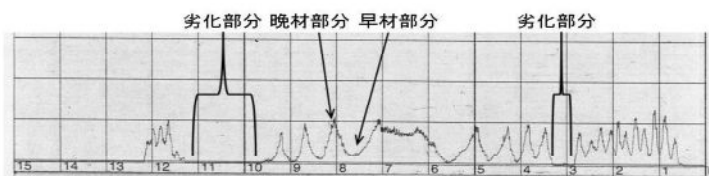


図 V-8 内部に劣化部分が観測されたスギ丸太のレジストグラフの波形

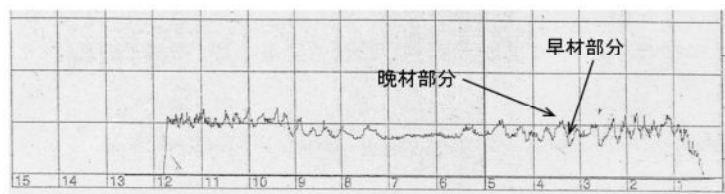


図 V-9 健全なヒノキ丸太のレジストグラフの波形

判別が可能である。スギは早材の密度が低いため、図 V-8 のように早材部ではほとんど立ち上がりを示さず上下動の顕著な波形となる。一方、ヒノキでは、図 V-9 に示すように、早材部の波形のくぼみは浅く、グラフは立ち上がりを保ちつつ、上下動する。ただし、個体変異によるばらつきにより、樹種判別の困難な場合もある。

1.3.4 レジストグラフを利用した強度の推定(断面欠損による推定法)

保守点検時の劣化診断において、ある部材に劣化部分が発見され、その部材の残存強度を推定する必要が想定される。しかし、木材中の腐朽の発生形態は不均一であるため、残存強度の推定は難しい。ここでは円柱や角柱のような簡単な断面の部材を対象に、大まかに強度を推定する方法の一例として、レジストグラフを利用した断面欠損による推定法を紹介する。この方法は腐朽が木材表層部からはじまり、ピロディンやドライバーなどでは届かない深さまで達している場合に特に有効である。

強度は、材質が同じ場合、部材の形状、特に断面形状により決定される。木材中に腐朽が発生した場合、その部分の強度をゼロすなわち断面の欠損部、残りの断面を健全部と見なし、その断面で強度を計算することにより、その部材の残存強度を大まかに推定できる。

(1) レジストグラフによる残存断面の推定

ここで問題となるのが残存する断面形状の推定である。この推定に、木材表面から 300mm 内部の腐朽まで検出できるレジストグラフを利用する。円柱や角柱のような簡単な断面の部材であれば、検出された波形から、残存する断面の形状をある程度推測可能である。具体的には以下の要領で行う。

(2) 測点のとり方

同一断面上で方向を変えて、複数の穿孔計測を行う。この際、断面の大きさに応じ、測点数を調整する。例えば直径 15cm 内外の丸太であれば直行する方向で2測点とれば良いであろう。

(3) 波形の分析と残存断面の決定

図 V-10 の例1

表層部で腐朽が進行し、内部が健全な場合は比較的簡単に推測できる。図中点線が推定の腐朽部と健全部の境界線である。2測点で健全部の長さに差がある場合は、健全部の面積が小さくなる実線で囲まれる面積を採用すれば安全側の数値となる。

図 V-10 の例2

2測点のうち、1測点の内部で、腐朽が検出されたような場合は腐朽の範囲を特定するため、適宜測点を追加する必要がある。

(4) 強度の推定

推定の断面積を算出する。縦圧縮強さは、算出された面積とその樹種の基準強度の積で求まる。もとの健全状態の断面積に対する推定残存面積の割合が圧縮強さの残存率となる。曲げ強さの場合は、例1の場合であれば推定残存断面の形状により、適宜円形、または楕円形のタイプに当てはめ、所定の断面係数で残存曲げ強さは算出可能である。ただし、例2のような場合は計算に詳しい知識を要し、精度も落ちると思われる。

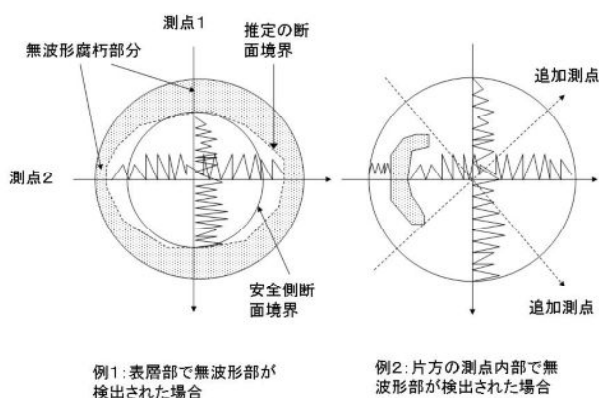


図 V-10 レジストグラフによる
残存断面の推定例

1.4 含水率

含水率は腐朽に関する重要な情報となる。進行中の腐朽が存在する部分は周囲の健全部より含水率が高い。まだ腐朽が発生していない場合でも、常時含水率が高い部位は将来、腐朽が発生する可能性が高いと予測できる。メンテナンスの際は雨天および、その後2日くらいを避けて、他の測定とともに含水率の測定を行うことを推奨する。

1.4.1 全乾法

木材の含水率の定義は、全乾木材の重さに対する、木材中に含まれた水分の重さの割合である。含水率の詳細は「資料編1 木材の基礎知識」を参照のこと。ここに言う全乾とは、測定対象木材から試験片を採取し、105℃の乾燥器中で恒量に達するまで乾燥させた状態をいい、そのときの重さを全乾重量と呼ぶ。この方式が最も正確な木材の含水率を計測する方法であり、全乾法という。

1.4.2 含水率計

全乾法による含水率の測定には乾燥器や天びんなどの設備が必要である。現場で含水率の測定ができる器具として、各種の携帯型の含水率計がある。測定方式により長所、短所があるため、測定対象の状態に応じ、適切に使い分けることが望ましい。

(1) 高周波式含水率計

・原理

含水率 25%から 120%の範囲では、木材の誘電率と、含水率との間に直線関係があることを含水率の計測に利用した計測器が、高周波式含水率計(図V-11)である。

・使用上の注意点

含水率が 25%～ 120%の範囲の測定に適する。表層から 3cm ～ 5cm 付近が測定対象のため、断面が大きな材で表層と内層部の含水率が大きく異なるような場合には、材全体の含水率との測定誤差が大きくなる。また、材の密度に大きく影響を受けるため、樹種による密度補正のダイヤル操作が必要である。測定時は木材の繊維方向と計測器の上下方向が一致する方向になるよう、電極を木材の表面に押し当てる。この際、電極が図V-12の○印のように木材表面に均一に接触することが前提であるため、丸太の計測には向かない。



図V-11 高周波式木材含水率計

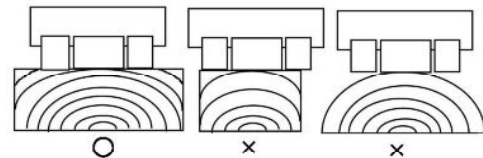
(2) 電気抵抗式含水率計

・原理

木材は絶縁体であるが、含水率の上昇とともに少しずつ電気を通すようになる。この含水率の上昇とともに電気抵抗値が低下する性質を含水率の測定に利用した計測器が電気抵抗式含水率計である。この性質は主として繊維飽和点(含水率約 28%)以下での現象である。

・使用上の注意点

含水率が 28%以下の測定に有効である。28%以上の含水率を測定できる機器もあるが、原理上高い精度は期待できない。図V-13に示すように2本または4本の針状の電極を木材に刺して、その電極間の電気抵抗値を測定する。よって、測定値は表層数ミリの値である。電気抵抗値は温度による影響を大きく受けるため、測定器に自動補正機能が付いていない場合は温度による補正が必要である。高周波式ほどではないが、密度による影響も受けるため、樹種に応じて補正を行うダイヤル操作が必要である。



図V-12 高周波式含水率計電極の正しい押し当て方



図V-13 電気抵抗式含水率計

2. 間伐材の劣化を促進する要因

これまでも述べたが、野外で使用される木材の劣化を促進させる最も大きな要因は、広域的気象の他、日光と水分、および設置条件として、地面との接触(接地)である。日光と水分については、木材の上部に傘の役目を果たす覆いがあるだけで、劣化速度はかなり遅くなる。

この他に、当センターがこれまでに行ってきた間伐材を使用した構造物の劣化調査で、生物劣化に最も影響を与える注目すべき因子は、木材への植物群落による被陰と、落葉落枝の堆積である。



図 V-14 植生の被覆による腐朽の促進

2.1 植物群落による被陰

落石防止壁の衝撃緩衝用丸太が、繁茂した植生による被覆を受けると、その内部は、日光の遮蔽、蒸散作用による水分供給、防風効果などによって、常に湿潤状態に保たれ、腐朽菌の生育に適した環境が発生する。また、木材害虫を含む様々な昆虫の住み家ともなる。図 V-14 は施工後 1 年未満の新しい無処理の丸太である。一夏の間に成長した草本が被さり、11 月の調査時には、丸太表面で腐朽菌の菌糸が繁茂していた。図 V-15 は植生の被覆により腐朽が進行した丸太脚部の劣化状況である。

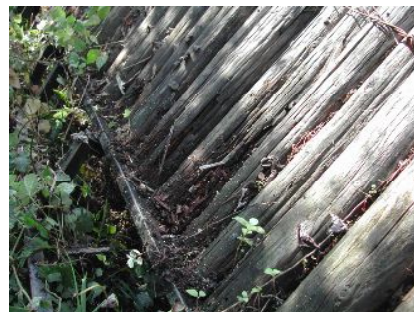


図 V-15 植生の被覆による腐朽の促進

2.2 落葉落枝の堆積

この他、丸太の生物劣化を促進する要因として、落葉落枝の丸太への堆積がある。植生による直接の被覆がない場合であっても、施設周辺の植生が落とす枝や葉が丸太に堆積するだけで、水分保持や胞子の捕捉効果によって、腐朽菌の生育に適した環境が発生する。図 V-16 にこの事例を示す。落石防止壁上端部の丸太と鋼材によって生じた段差部分にスギの落葉落枝が堆積していた。これを除去したところ、丸太には藻類が繁茂していた。この部分では、含水率が高い状態で維持されていたと推測された。



図 V-16 落葉落枝の堆積と除去後の湿潤状態

木材の基礎知識

1. 木材の構造

樹木の幹や枝は、図1-1に示すように、樹皮とその内側の木部からなり、木部の中心には髓がある。樹皮と木部の間には形成層と呼ばれる肥大成長のための細胞分裂組織が存在し、木部はこの組織で生産された細胞の集合体である。これら細胞の大部分で細胞壁が形成され、木質化が完了すると間もなく死ぬため、木部は多孔質の細胞壁の集合体となる。

1.1 木材の3方向、3断面

木材には図1-1に示すように、3方向と3断面がある。樹木の伸長方向に平行な方向を軸方向または繊維(L)方向、軸方向に垂直でかつ髓を通る方向を放射方向または半径(R)方向、軸方向に垂直で年輪に接する方向を接線(T)方向という。

一方、断面については、軸方向に垂直な横断面を木口面、髓を通る縦断面を柁(まさ)目面、髓を通らず年輪に接する縦断面を板目面という。

1.2 木材の異方性

木材は上記の方向により強度、寸法変化の割合など、各種物性が大きく異なる。これを木材の異方性という。例えば含水率の増減に伴う寸法変化でいえば、繊維方向を1とすると、放射方向は10倍、接線方向は20倍変化する。強度についても4.4で述べるように方向により大きく異なる。よって木材を利用する際、目的に応じて最適な方向となるよう考慮を要する。

1.3 木口面

図1-1に示すように、木口面の内側の色の濃い部分を心材、外側の薄い部分を辺材という。心材は抽出成分と呼ばれる物質群の含有量が高い。この抽出成分には有色の物質が含まれることが多いため、心材の色は濃くなる傾向にある。生物劣化に対する抵抗性も大きく異なり、一般に心材の方が抵抗性が高く、辺材の抵抗性はほとんどない。詳細は「Ⅱ木材の劣化」を参照のこと。

四季がある温帯や寒帯の樹木の木部には年輪ができる。1年輪内で、春から夏にかけて成長した細胞壁が薄い細胞で構成された、色が薄い部分を早材(春材)という。一方、夏から秋にかけて成長した細胞壁が厚い細胞で構成された部分は晩材(夏材)と呼ばれ、色が濃く見える。

1.4 未成熟材

木材の細胞は、樹幹の中心部すなわち髓に近い部位ほど古く、木が若い時に形成された細胞である。髓の周囲、10から15年輪程度までの部位は、材質の変動が大きく強度特性や寸法安定性が劣っており、この部分の材は未成熟材と呼ばれる。まだ若い、細い間伐材を利用する際にはこのことに留意する必要がある。

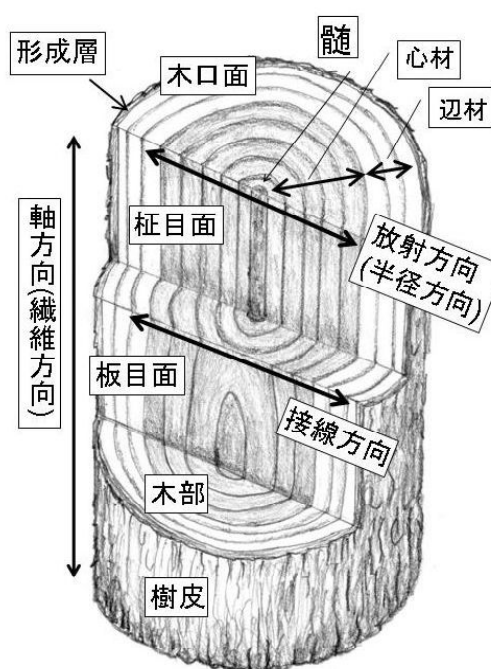


図1-1 木材の構造

2. 密度(比重)

2.1 密度

単位体積あたりの重さである密度(単位は通常 g/cm^3 。木材の場合、比重を用いることも多い。)は、次に示す含水率とともに木材の性質に最も大きく影響を及ぼす因子である。木材の密度には、木材内部の水分状態により、「全乾密度」、「気乾密度」、「生材密度」がある。通常木材の密度はこの気乾密度(気乾比重)で表す。密度は樹種によって異なるが、同一樹種でも、生育環境等の違い等が原因で、個体ごとに異なる。これが材質のバラツキの原因の一つとなる。表1-1に主要な木材の気乾密度を示す。

表 1-1 主要な樹種の気乾密度¹⁾

単位: (g/cm^3)			
針葉樹材		広葉樹材	
樹種	気乾密度	樹種	気乾密度
スギ	0.36	キリ	0.29
ヒノキ	0.41	ブナ	0.68
アカマツ	0.55	ミズナラ	0.70
		イスノキ	0.92

注)気乾密度・・・含水率約15%時の密度

2.2 細胞壁と空隙

木材の実質は細胞壁であり、その内部は空隙である(図1-2)。この細胞壁の密度は樹種によらず一定で、約 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ である。空隙を含む材全体の密度は、最も軽いバルサの密度で約 $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ 、最も重いリグナムバイタは約 $1.3\text{g}/\text{cm}^3$ であるが、これはすなわち空隙率の違いである。木材の強度は、細胞壁が担うため空隙率の低い、すなわち細胞壁が厚く密度の大きい樹種が大きい。一方、断熱性は空隙内部の空気が担うため、空隙率の高い、密度の低い樹種が高い値を示す。

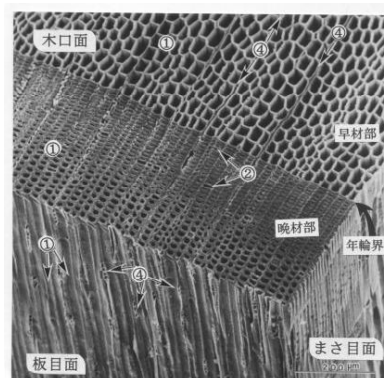


図1-2 スギの走査電子顕微鏡写真(写真: 京都大学名誉教授 佐伯浩氏)

①仮道管 ②軸方向柔細胞
④放射柔細胞

3. 含水率

木材の物性は図1-3に示すように、水分が細胞壁とその内部空隙にどのような状態で存在するかにより大きく異なる。含水率は密度とともに木材の各種物性を決定する最重要の因子である。木材を材料として使用する際には、含水率には常に注意を払い、目的に応じて制御する必要がある。

3.1 木材の含水率の定義

木材の含水率は上記の全乾状態の木材すなわち水分を含まない木材実質の重量に対する、水分の重量の割合で表す。そのため、正確には実験室的に、次に示す方法(全乾法という)で、式1により求める。全乾ベースで表すため、木材の含水率は100%を超え、200%の場合も、スギなどでは普通にある。

・全乾法による木材の含水率の求め方

含水率を求めたい木材の試験片の重量をあらかじめ測定した後、105℃の乾燥器内に投入し、恒量(重量変化がなくなった状態)に達した時点の全乾重量を求める。

式1

$$\text{含水率}U(\%) = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100$$

W : 含水率を求めたい木材の重量

W₀: 105℃の乾燥器中で恒量に達したときの重量

3.2 木材中の水分の状態

3.2.1 生材状態

伐採直後の木材では、水分は細胞壁内と空隙内の両方に存在する。この時、細胞壁内に存在し、細胞壁の主成分である、「セルロース」や「ヘミセルロース」、「リグニン」と結合した形で存在している水分を「結合水」と呼ぶ。一方、空隙内部に液体の状態が存在する水分を「自由水」と呼ぶ。木材を乾燥させると、まずこの自由水が大気中に放出され、減少してゆく。自由水の量の変化は、木材の物性に大きな影響は及ぼさない。

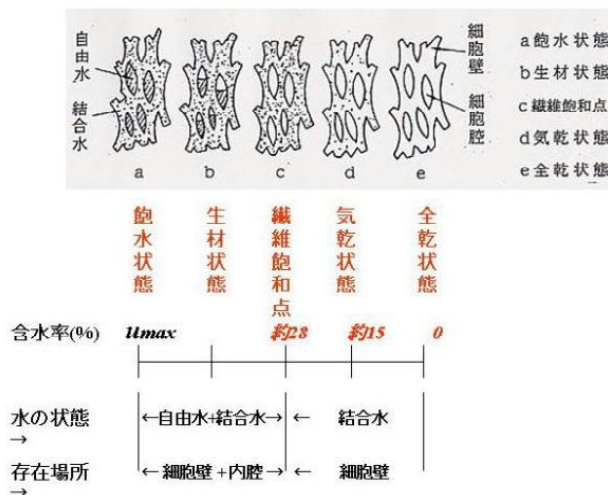


図1-3 木材中の水分の状態

3.2.2 繊維飽和点

その後乾燥が進み、自由水が完全になくなり、細胞壁内の結合水が飽和状態にある状態を「繊維飽和点」という。この時の含水率は約 28%である。

この繊維飽和点以下の領域では、木材成分と結合している結合水の量が変化するため、各種物性が影響を受ける。例えば乾燥が進行し、結合水の量が減少すると、木材成分相互の結合力が高くなるため、強度も高くなる。また、細胞壁が収縮するため、木材も収縮し、割れや反りが発生する。

3.2.3 気乾状態

乾燥が進行し、細胞壁内の結合水は大気中に蒸発していく一方で、親水性に富む細胞壁に再び吸着され、大気中から結合水に戻るものもある。細胞壁内の結合水の減少が一定の水準まで達すると、細胞壁内の水分は大気中へ蒸発する量と、大気中から吸着される量が平衡状態となる。この時の含水率を「平衡含水率」といい、この時の木材の水分状態を「気乾状態」と呼ぶ。平衡含水率は、日本の気候下では 11%から 17%となり、通常 15%を用いる。つまり、日本では、木材を長期間、水に濡れないようにして大気中に放置すると、その含水率は約 15%になる。

3.2.4 全乾状態

木材を 100 °Cから 105 °Cの温度下に一定時間以上おき、細胞壁の成分と水分との間の結合を強制的に切断し、水分の放出を続けると、やがて細胞壁中の水分はなくなり、減少していた木材の重量は恒量に達する。この木材の細胞壁内部、および細胞空隙中に水分が全く存在しない状態を全乾状態という。

3.2.5 飽水状態

木材が長期間水中に存在した場合や、木材を水中に浸せきした状態で減圧および加圧し、強制的に木材中に水分を注入させた場合など、細胞壁内部、空隙内部の両方が水分で満たされている状態を飽水状態という。

3.3 乾燥に伴う寸法変化

先に述べたとおり、繊維飽和点(含水率約 28%)以下の領域で乾燥が進むと結合水の減少を伴うため、木材は収縮する。この収縮により割れが発生する。また木材は、自身が有する異方性、不均一性のために、収縮の度合が部位により異なるため、反りやねじれが発生する。図1-4に木材の乾燥に伴う収縮と異方性による木口断面の変形様式を示す。

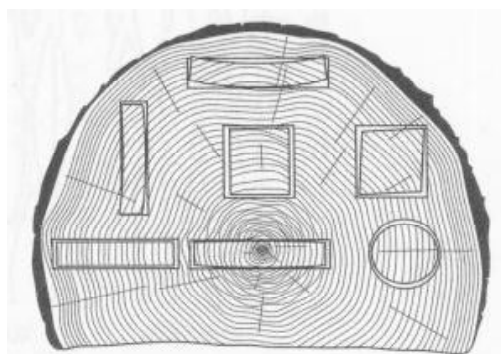


図1-4 生材からの乾燥による断面変形²⁾

4. 強度

4.1 比強度

木材と他材料の強度の比較を表1-2および図1-5に示す。木材の強度の特徴はいわゆる軽くて強いことである。木材の強度は金属やコンクリート等よりも低いが、強度を比重で割った比強度で表すと、これら材料よりも高いことがわかる。単に強いだけでなく、その材料の重さも考慮に入れるべき場合には大きなメリットである。

4.2 密度の影響

木材の強度は密度と高い相関がある。木材のように内部に空隙を持つ材料の場合、密度はその単位体積中の材料の実質量を表す。当然、強度を担うのは木材実質である細胞壁であるため、その量が多いほど、すなわち密度が高いほど強度は増す。

4.3 含水率の影響

先にも述べたが、繊維飽和点(含水率約 28%)以下の領域では、含水率の変化とともに、強度も変化する。表1-3に含水率 1%の変化に対する強度と硬さの変化率を示す。

表1-2 各種材料の強度と比強度³⁾

材 料 名	比重	引張強さ (kgf/cm ²)	比引張強さ	圧縮強さ (kgf/cm ²)	比圧縮強さ	備考
木 材 (supruce)	0.46	1.06 × 10 ³	2.30 × 10 ³	380	826	(1)
コンクリート	2.5	41	16	704	282	
ガラス	2.5	510	204	510	204	
アルミニウム	2.8	2.52 × 10 ³	900	-	-	
鋳鉄	7.8	1.41 × 10 ³	181	1.22 × 10 ³	156	
鋼 (0.06% carbon)	7.9	4.68 × 10 ³	592	8.16 × 10 ³	1.03 × 10 ³	
ABS	1.1	510	464	510	464	
Carbon FRP	1.5	10.6 × 10 ³	7.07 × 10 ³	10.6 × 10 ³	7.07 × 10 ³	(2)
木 材 (スギ:宮崎産)	0.413	1.01 × 10 ³	2.45 × 10 ³	353	855	
木 材 (スギ:秋田産)	0.375	886	2.36 × 10 ³	341	909	
木 材 (フナ:北海道産)	0.655	1.26 × 10 ³	1.92 × 10 ³	417	603	
木 材 (キリ:福島産)	0.291	229	787	549	1.89 × 10 ³	

注) (1)Dinwoodie, J. M., 1974, (2)中井 孝ら, 1982.

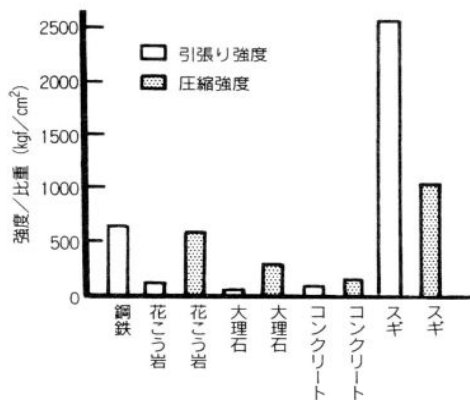


図1-5 比強度の比較⁴⁾

4.4 強度の異方性

木材の強度は木材の繊維方向に対してどの方向に力を加えるかにより大きく異なる。図1-6に示すように、繊維方向と0°、すなわち繊維方向に力を加えたとき、最も強く、90°で最も弱くなる。

4.5 木材の許容応力度

木材を構造用部材として用いる場合の構造計算には許容応力度の数値が必要となる。木材の許容応力度は、建築基準法施行令第95条で定められた材料強度(同第89条の基準強度)に対し、長期、短期、積雪などの使用条件に応じた安全率(長期の場合は基準強度に対し3分の1.1、短期の場合は3分の2)を乗じて決定される。

森林土木現場での使用が想定される、無等級材(JAS規格に定められていない木材)の各樹種(材料(基準)強度を表1-4に、許容応力度を表1-5に示す。また参考として、製材のJASに規定されている各種区分のうち、目視等級区分によるものについて、土木資材としての利用が想定される代表的な樹種の材料(基準)強度を抜粋して表1-6に、対応する許容応力度を表1-7に示す。

曲げ強度	4%
曲げ弾性率	2%
縦圧縮強度	6%
横圧縮強度	5.5%
せん断強度	3%
縦引張強度	2%
横引張強度	1.5%
硬さ(木口)	4%
硬さ(側面)	2.5%

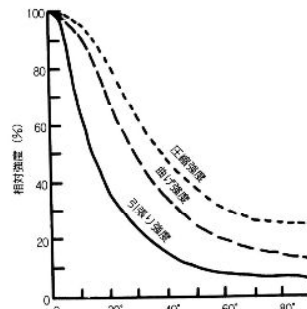


表1-3含水率の変化1%に対する力学的性質の変化率⁵⁾

材軸方向と繊維走行のなす角度が強度に及ぼす影響⁶⁾

表1-4 木材の材料(基準)強度 (JASに定められていない無等級材)

樹種		基準強度(単位: N/mm ²)			
		圧縮	引張り	曲げ	せん断
針葉樹	アカマツ、クロマツ、ベイマツ	22.2	17.7	28.2	2.4
	カラマツ、ヒバ、ヒノキ、ベイヒ	20.7	16.2	26.7	2.1
	ツガ、ベイツガ	19.2	14.7	25.2	2.1
	モミ、エゾマツ、トドマツ、ペニマツ スギ、ベイスギ、スプルース	17.7	13.5	22.2	1.8
広葉樹	カシ	27.0	24.0	38.4	4.2
	クリ、ナラ、ブナ、ケヤキ	21.0	18.0	29.4	3.0

(建築基準法施行令第89条第1項 平成19年11月27日改正 国土交通省告示第1524号)

表1-5 木材の許容応力度 (JASに定められていない無等級材)

樹種		長期許容応力度 (単位: N/mm ²)				短期許容応力度 (単位: N/mm ²)			
		圧縮	引張	曲げ	せん断	圧縮	引張	曲げ	せん断
針葉樹	アカマツ、クロマツ、ベイマツ	8.1	6.5	10.3	0.9	14.8	11.8	18.8	1.6
	カラマツ、ヒバ、ヒノキ、ベイヒ	7.6	5.9	9.8	0.8	13.8	10.8	17.8	1.4
	ツガ、ベイツガ	7.0	5.4	9.2	0.8	12.8	9.8	16.8	1.4
	モミ、エゾマツ、トドマツ、ペニマツ ツ、スギ、ベイスギ、スプルース	6.5	5.0	8.1	0.7	11.8	9.0	14.8	1.2
広葉樹	カシ	9.9	8.8	14.1	1.5	18.0	16.0	25.6	2.8
	クリ、ナラ、ブナ、ケヤキ	7.7	6.6	10.8	1.1	14.0	12.0	19.6	2.0

(建築基準法施行令第89条第1項 平成19年11月27日改正 国土交通省告示第1524号をもとに算出)

表 1-6 木材の材料(基準)強度 (製材の JAS 目視等級区分によるものより抜粋)

樹種	区分	等級	基準強度 (単位: N/mm ²)			
			圧縮	引張り	曲げ	せん断
スギ	甲種構造材	1級	21.6	16.2	27.0	1.8
		2級	20.4	15.6	25.8	
		3級	18.0	13.8	22.2	
	乙種構造材	1級	21.6	13.2	21.6	
		2級	20.4	12.6	20.4	
		3級	18.0	10.8	18.0	
ヒノキ	甲種構造材	1級	30.6	22.8	38.4	2.1
		2級	27.0	20.4	34.2	
		3級	23.4	17.4	28.8	
	乙種構造材	1級	30.6	18.6	30.6	
		2級	27.0	16.2	27.0	
		3級	23.4	13.8	23.4	
アカマツ	甲種構造材	1級	27.0	20.4	33.6	2.4
		2級	16.8	12.6	20.4	
		3級	11.4	9.0	14.4	
	乙種構造材	1級	27.0	16.2	26.4	
		2級	16.8	10.2	16.8	
		3級	11.4	7.2	11.4	
ベイマツ	甲種構造材	1級	27.0	20.4	34.2	2.4
		2級	18.0	13.8	22.8	
		3級	13.8	10.8	17.4	
	乙種構造材	1級	27.0	16.2	27.0	
		2級	18.0	10.8	18.0	
		3級	13.8	8.4	13.8	
ベイツガ	甲種構造材	1級	21.0	15.6	26.4	2.1
		2級	21.0	15.6	26.4	
		3級	17.4	13.2	21.6	
	乙種構造材	1級	21.0	12.6	21.0	
		2級	21.0	12.6	21.0	
		3級	17.4	10.2	17.4	

(建築基準法施行令第 89 条第 1 項 平成 19 年 11 月 27 日改正 国土交通省告示第 1524 号より抜粋)

* 表中、甲種構造材とは製材の JAS に規定される区分で、主として高い曲げ性能を必要とする部分に使用されるもの。土台、大引、根太、はり、けた、筋かい等をさす。
乙種構造材とは、主として圧縮性能を必要とする部分に使用するもの。通し柱、管柱、床束、小屋束等をさす。

表 1-7 木材の許容応力度(製材のJAS目視等級区分によるものより抜粋)

樹種	区分	等級	長期許容応力度 (単位: N/mm ²)				長期許容応力度 (単位: N/mm ²)			
			圧縮	引張り	曲げ	せん断	圧縮	引張り	曲げ	せん断
スギ	甲種構造材	1級	7.9	5.9	9.9	0.7	14.4	10.8	18.0	1.2
		2級	7.5	5.7	9.5		13.6	10.4	17.2	
		3級	6.6	5.1	8.1		12.0	9.2	14.8	
	乙種構造材	1級	7.9	4.8	7.9		14.4	8.8	14.4	
		2級	7.5	4.6	7.5		13.6	8.4	13.6	
		3級	6.6	4.0	6.6		12.0	7.2	12.0	
ヒノキ	甲種構造材	1級	11.2	8.4	14.1	0.8	20.4	15.2	25.6	1.4
		2級	9.9	7.5	12.5		18.0	13.6	22.8	
		3級	8.6	6.4	10.6		15.6	11.6	19.2	
	乙種構造材	1級	11.2	6.8	11.2		20.4	12.4	20.4	
		2級	9.9	5.9	9.9		18.0	10.8	18.0	
		3級	8.6	5.1	8.6		15.6	9.2	15.6	
アカマツ	甲種構造材	1級	9.9	7.5	12.3	0.9	18.0	13.6	22.4	1.6
		2級	6.2	4.6	7.5		11.2	8.4	13.6	
		3級	4.2	3.3	5.3		7.6	6.0	9.6	
	乙種構造材	1級	9.9	5.9	9.7		18.0	10.8	17.6	
		2級	6.2	3.7	6.2		11.2	6.8	11.2	
		3級	4.2	2.6	4.2		7.6	4.8	7.6	
ベイツ	甲種構造材	1級	9.9	7.5	12.5	0.9	18.0	13.6	22.8	1.6
		2級	6.6	5.1	8.4		12.0	9.2	15.2	
		3級	5.1	4.0	6.4		9.2	7.2	11.6	
	乙種構造材	1級	9.9	5.9	9.9		18.0	10.8	18.0	
		2級	6.6	4.0	6.6		12.0	7.2	12.0	
		3級	5.1	3.1	5.1		9.2	5.6	9.2	
ベイツガ	甲種構造材	1級	7.7	5.7	9.7	0.8	14.0	10.4	17.6	1.4
		2級	7.7	5.7	9.7		14.0	10.4	17.6	
		3級	6.4	4.8	7.9		11.6	8.8	14.4	
	乙種構造材	1級	7.7	4.6	7.7		14.0	8.4	14.0	
		2級	7.7	4.6	7.7		14.0	8.4	14.0	
		3級	6.4	3.7	6.4		11.6	6.8	11.6	

(建築基準法施行令第 89 条第 1 項 平成 19 年 11 月 27 日改正 国土交通省告示第 1524 号をもとに算出)

製材のJASにおける保存処理木材の性能基準

製材の JAS における保存処理木材の性能の基準は、薬剤の木材への「浸潤度」と木材中の有効成分の量である「吸収量」によって規定されている。

1. 薬剤の浸潤度

浸潤度は薬剤が木材内部にどれだけ浸潤しているかを示す度合いである。「製材の JAS」における浸潤度の適合基準は、K1 ～ K5 の各性能区分ごとに、表2-1に示す樹種の耐久性区分に応じて表2-2（土木資材の使用環境を想定し、K3 ～ K5 を抜粋）のように規定されている。

表2-1 製材のJASにおける樹種の耐朽性区分

心材の耐朽性区分	樹種
D1	ヒノキ、ヒバ、スギ、カラマツ、ベイヒ、ベイスギ、ベイヒバ、ペイマツ、ダフリカカラマツ、サイプレスバイン
D2	D1に掲げる樹種以外のもの

・浸潤度を求める方法

浸潤度を求める方法は、保存処理された木材の木口断面において、木材中に浸潤した薬剤を呈色反応により可視化し、辺材部、心材部それぞれで式1、2により呈色部分の割合を求める。図2-1に角材を呈色させた木口断面の例を、図2-2に丸太を例にした浸潤度算出のための概念図を示す。

表2-2のK4区分D1樹種の適合基準を例にすると、辺材部分の浸潤度が80%以上でかつ材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上となっている。

辺材部の浸潤度は式1で求める。この場合、分母の[試験片の辺材部分の面積]に相当するのは図2-2の着色部分以外の白い部分の面積である。

心材部の浸潤度は式2で求める。この場合、分母の[試験片の材の表面から深さd(mm)までの心材部分の面積]に相当するのは、図中矢印で示した10mmの線(深さdに相当)より外側の三日月状の着色部分の面積である。



図2-1 呈色液で呈色させた心材のみの角材における保存剤の浸潤状況

式1

$$\text{辺材部分の浸潤度(\%)} = \frac{\text{試験片の辺材部分の呈色面積(mm}^2\text{)}}{\text{試験片の辺材部分の面積(mm}^2\text{)}} \times 100$$

式2

$$\text{製材の表面から深さd(mm)までの心材部分の浸潤度(\%)} = \frac{\text{試験片の材の表面から深さd(mm)までの心材部分の呈色面積(mm}^2\text{)}}{\text{試験片の材の表面から深さd(mm)までの心材部分の面積(mm}^2\text{)}} \times 100$$

表2-2 製材のJASにおける保存処理製品の浸潤度の基準例

性能区分	樹種区分	浸潤度の適合基準
K3	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が 80%以上でかつ材面から深さ10mm までの心材部分の浸潤度が 80%以上
K4	耐朽性 D1樹種	辺材部分の浸潤度が 80%以上でかつ材面から深さ10mm までの心材部分の浸潤度が 80%以上
	耐朽性 D2樹種	辺材部分の浸潤度が 80%以上でかつ材面から深さ15mm(木口短辺が 90mm を越える製材にあつては20mm)までの心材部分の浸潤度が 80%以上
K5	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が 80%以上でかつ材面から深さ15mm(木口短辺が 90mm を越える製材にあつては20mm)。ただし、円柱類にあつてはすべての直径において30mm)までの心材部分の浸潤度が 80%以上

注：目視等級区分構造用製材の規格より、K3からK5を抜粋

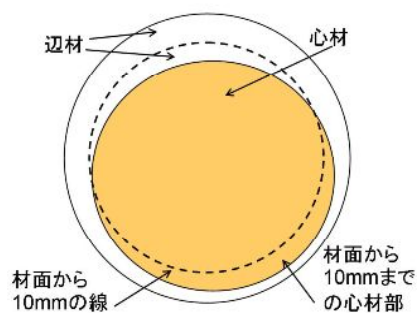


図 2-2 丸太木口における浸潤度算出のための概念図

2. 薬剤の吸収量

薬剤の吸収量は、木材に浸潤した薬剤の有効成分の量を、測定しようとする木材から試料を採取し、薬剤ごとに定められた方法により定量して求める。こうして求めた数値について、各性能区分ごとに、使用する木材保存剤の種類に応じて吸収量の適合基準が規定されている。土木資材の使用環境を想定し、K3からK5の値を表2-3に示す。

表2-3 製材のJASにおける薬剤吸収量の適合基準

区分	薬剤の種類	記号	吸収量の適合基準
K3	第4級アンモニウム化合物系	AAC-I	DDACとして4.5kg/m ³ 以上
	第4級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物系	SAAC	第4級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物として2.5kg/m ³ 以上
	ホウ素・第4級アンモニウム化合物系	BAAC	ホウ素・第4級アンモニウム化合物として3.2kg/m ³ 以上
	銅・第4級アンモニウム化合物系	ACQ	銅・アルキルアンモニウム化合物として2.6kg/m ³ 以上
	銅・アゾール化合物系	CUAZ	銅・シプロコナゾール化合物として1.0kg/m ³ 以上
	アゾール・ネオニコチノイド化合物系	AZN	アゾール・ネオニコチノイド化合物として0.15kg/m ³ 以上
	脂肪酸金属塩系	NCU-E	銅として1.0kg/m ³ 以上
		NZN-E	亜鉛として2.0kg/m ³ 以上
VZN-E		亜鉛・ペルメトリン化合物として2.5kg/m ³ 以上	
ナフテン酸金属塩系	NCU-O	銅として0.8kg/m ³ 以上	
	NZN-O	亜鉛として1.6kg/m ³ 以上	
K4	第4級アンモニウム化合物系	AAC-I	DDACとして9.0kg/m ³ 以上
	第4級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物系	SAAC	第4級アンモニウム・非エステルピレスロイド化合物として5.0kg/m ³ 以上
	ホウ素・第4級アンモニウム化合物系	BAAC	ホウ素・第4級アンモニウム化合物として6.4kg/m ³ 以上
	銅・第4級アンモニウム化合物系	ACQ	銅・アルキルアンモニウム化合物として5.2kg/m ³ 以上
	銅・アゾール化合物系	CUAZ	銅・シプロコナゾール化合物として2.0kg/m ³ 以上
	アゾール・ネオニコチノイド化合物系	AZN	アゾール・ネオニコチノイド化合物として0.3kg/m ³ 以上
	脂肪酸金属塩系	NCU-E	銅として1.5kg/m ³ 以上
		NZN-E	亜鉛として4.0kg/m ³ 以上
		VZN-E	亜鉛・ペルメトリン化合物として5.0kg/m ³ 以上
ナフテン酸金属塩系	NCU-O	銅として1.2kg/m ³ 以上	
	NZN-O	亜鉛として3.2kg/m ³ 以上	
クレオソート油	A	クレオソート油として80kg/m ³ 以上	
K5	銅・第4級アンモニウム化合物系	ACQ	銅・アルキルアンモニウム化合物として10.5kg/m ³ 以上
	脂肪酸金属塩系	NCU-E	銅として2.3kg/m ³ 以上
	ナフテン酸金属塩系	NCU-O	銅として1.8kg/m ³ 以上
	クレオソート油	A	クレオソート油として170kg/m ³ 以上

注：目視等級区分構造用製材の規格より、K3からK5を抜粋

参考文献

- 1) 日本木材加工技術協会関西支部:木材の魅力・体力・底力,P52(2010)
- 2) 松本忠夫:社会性昆虫の生態シロアリとアリの生物学,培風館,51(1983)
- 3) (社)日本木材保存協会住宅生物劣化診断部会編:実務者のための住宅の腐朽・虫害の診断マニュアル,(社)日本木材保存協会,P32(2007)
- 4) 酒井温子ほか:日本農林規格認定の木材保存薬剤を加圧注入した杭の被害経過.木材工業.Vol56-1,17-22(2001)
- 5) 酒井温子ほか: IPBC あるいは DDAC を加圧注入した杭の被害経過と耐用年数.木材保存.Vol34-3,112-118(2008)
- 6) 酒井温子ほか:銅・第四級アンモニウム化合物系木材保存剤(ACQ)を加圧注入した杭の耐用年数の推定.奈良県森林技術センター研究報告.38,57-60(2009)
- 7) 酒井温子ほか:銅系木材保存剤を加圧注入した杭の耐朽性(1)銅の吸収量と耐用年数の関係.木材保存.Vol36-1,17-22(2010)
- 8) 酒井温子ほか:銅あるいは亜鉛を含有する木材保存薬剤を加圧注入した杭の被害経過.木材保存.Vol27-3,114-120(2001)
- 9) 増田勝則:ストライカーピンの径を変化させた時のピロディンの貫入深さと材の破壊範囲.奈良県森林技術センター研究報告.36,27-36(2007)
- 10) 津島俊治:ピロディン打込み深さに影響を与える諸要因.九州森林研究.55,192-195(2002)
- 11) 越智俊之:ピロディン打込み深さに与える要因の検討.島根中山間セ研報.4,31-34(2008)
- 12) 井戸聖富ほか:性能評価による紀州材利用方法の開発.和歌山県林業試験場業務報告.62,23-25(2004)
- 13) 津島俊治ほか:大分県におけるスギ小径丸太の耐久性試験結果.九州森林研究.56,270-273(2003)
- 14) 飯島泰男:土木用木質構造物の耐用年数評価について.木材保存.25-5,3-12(1999)

資料編

- 1) 寺沢真ほか:木材の人工乾燥.日本木材加工技術協会,P18(1995)
- 2) 今村祐嗣ほか編:建築に役立つ木材・木質科学.東洋書店,P34(1997)
- 3) 伏谷賢美ほか:木材の物理.文永堂,P156(1985)
- 4) 木材活用事典編集委員会編:木材活用事典.(株)産業調査会事典出版センター,P120(1994)
- 5) 高橋徹ほか編:木材科学講座3物理.海青社,P123(1992)
- 6) 木材活用事典編集委員会編:木材活用事典.(株)産業調査会事典出版センター,P118(1994)

木材保存を観点とする
間伐材の土木利用マニュアル
計画・保守管理のための基礎知識

2011年3月1日発行

発行 奈良県森林技術センター

〒635-0133 奈良県高市郡高取町吉備1

TEL 0744-52-2380 FAX 0744-52-4400

URL <http://www.nararinshi.pref.nara.jp>

印刷 株式会社アイプリコム

〒636-0246 奈良県磯城郡田原本町千代 360-1

TEL 0744-34-3030 FAX0744-34-3040

URL <http://www.aipricom.co.jp>

© Nara Forest Research Institute 2011