

2 木材の劣化とその予防

2.1 概説

木橋のよりよい保全のためには、その劣化の特徴を知っておくことが重要である。木橋の劣化と言っても、基本的には鋼橋やコンクリート橋のそれと同様であるが、木材には鋼やコンクリートとは異なる独特の劣化現象が見られる。そこでここでは、まず木材の劣化について検討する。

表-2.1 は木材の劣化の種類を示したものである。天然材料である木材では腐朽や蟻害等のいわゆる生物劣化が見られることが特徴である。このうち蟻害は木造住宅に甚大な被害をもたらしているが、木橋では閉鎖空間が少ないため、被害の報告は少ない。ウェザリングは美観に顕著な影響を及ぼすが、構造的なダメージは少ない。ただし割れは腐朽に対する弱点となる場合がある。摩耗は床版等で見られるが、その進行速度は腐朽よりも一般的にゆるやかである。

木橋において最も考慮すべき劣化は腐朽である。腐朽とは木材を栄養源とする木材腐朽菌と呼ばれる微生物の繁殖により組織が分解されることによる劣化現象のことである。木材を劣化させる微生物は他にも表-2.2 があるが、木材腐朽菌による腐朽の被害は他と比較にならないほどに大きい。

屋根がある建築物と異なり、常時風雨や日光にさらされる環境におかれる木橋は、腐朽の影響を受けやすい。腐朽は腐朽菌の生育環境を整えば急速に進行すること、また部材内部へも進行することが特徴であり、木橋の耐荷力を大幅に低下させる原因にもなる。そこで本章では木材の腐朽による劣化に関する基礎知識とその劣化防止対策の実際について述べる。

表-2.1 木材の劣化と促進要因

腐 朽	木材腐朽菌による細胞の分解により生じ、強度を著しく減少させる。部材の内部に及んだり、使用環境によっては急速に進行することもある。
蟻 害	シロアリの食害により生じる。特に高湿で暗い場所で劣化が生じやすく、住宅での被害は甚大である。他にキクイムシ等による虫害も見られる。
ウェザリング	使用環境下の日光、雨水、気温等の影響により生じる汚染や変退色、割れである。特に部材表面の劣化が顕著である。
磨 耗	摩擦などの物理作用によって生じる。特に軟質な樹種で生じやすい。

表-2.2 木材を劣化させる微生物

分 類	概 要
バクテリア類	土壌、水中等において木材を攻撃するがそれほど劣化には関係がない。
カビ類	強度的には影響無いが、木材表面を汚染し、色を変化させる。
軟腐朽菌類	土壌、水中等において木材の表面から浅い部分を軟化させる。
木材腐朽菌類	子実体と呼ばれるキノコをつくり、激しく木材を腐らせる。

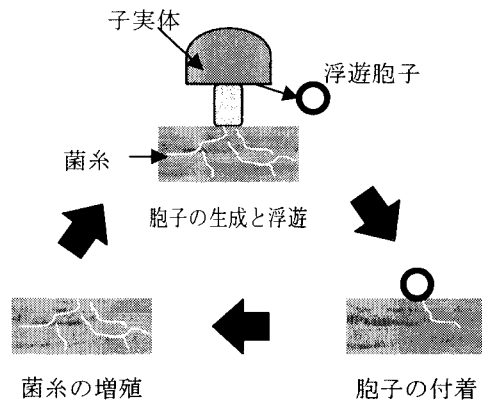


図-2.1 腐朽の進行のイメージ

表-2.3 木材腐朽菌の種類

分類	概要
褐色腐朽菌類	木材を褐色に腐らせる菌類の総称で、針葉樹を好むものが多い。主にセルロース・ヘミセルロースが分解され、リグニンはほとんど分解されない。重量減少の割には強度の低下は大きい。
白色腐朽菌類	木材を白色に腐らせる菌類の総称で、広葉樹を好むものが多い。セルロース・ヘミセルロース・リグニンの全てが分解されるが、主にリグニンが分解される。

表-2.4 木材の主要成分^{2.1)}

分類	概要
セルロース	ブドウ糖の分子が糸状に長く結合したものであり、それが何十本もまとまって束のような状態で存在している。
ヘミセルロース	数種類の糖からなるが、セルロースのように糸状ではなく無定形のままである。
リグニン	セルロースやヘミセルロースのような多糖質ではなく、フェノール系物質である芳香族化合物が複雑に重合したものである。無定形であり、結晶構造を持たない。

2.2 腐朽とは

(1) 腐朽のメカニズム

図-2.1 は腐朽の進行のイメージである。腐朽はこのように、空气中を浮遊する木材腐朽菌の胞子が木材表面に付着、後述の条件が揃えば発芽、そして組織を分解しながら菌糸を伸ばし、最後に子実体を作り胞子を飛散させる、というサイクルで進行する。菌糸は木材の細胞壁を分解し、そこで自らの栄養源を得ている。このため、腐朽材では密度と強度が低下する。



写真-2.1 褐色腐朽菌による腐朽の例

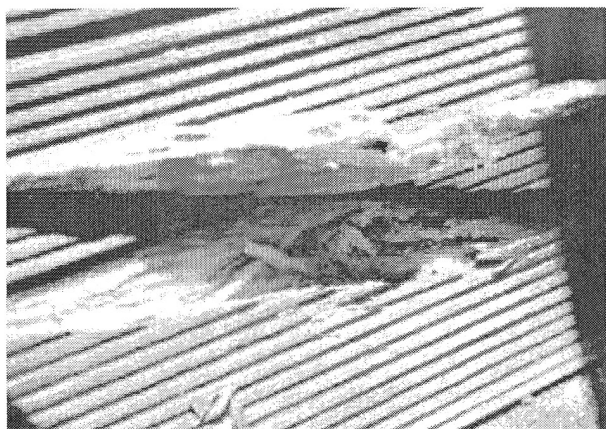


写真-2.2 白色腐朽菌による腐朽の例

表-2.5 木材腐朽菌の生育条件

条 件	概 要
水 分	木材の含水率が繊維飽和点である約28%以上
酸 素	生物として酸素（空気）は必須
温 度	適温（5～40℃）

注) 繊維飽和点：木材の細胞壁中に取り込まれている水分を結合水というが、この結合水が細胞壁中で飽和状態になることをいう。繊維飽和点を超えて細胞内腔に浸透する水分は自由水と呼ばれる。

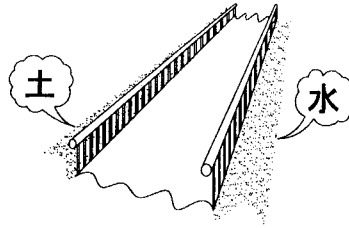
(2) 腐朽菌の種類

多数の木材腐朽菌が生育しているが、それらは表-2.3のように褐色腐朽菌と白色腐朽菌に大別される。両者はともに木材の強度を低下させるが、主に分解する細胞壁成分が異なるため、強度の低下の割合や腐朽材の様子も異なる。

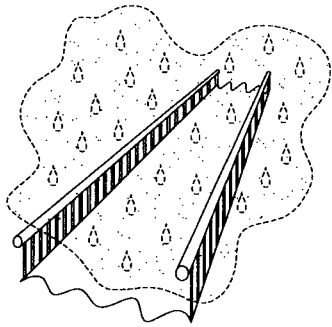
木材は表-2.4に示すセルロース、ヘミセルロース、リグニンで構成されているが、それらは、セルロースは骨、リグニンは筋肉、ヘミセルロースは脂肪に例えられることがある。褐色腐朽菌はこのうち主にセルロースを分解する。そのため、腐朽の進行の割には強度の低下が早く、また腐朽部は写真-2.1のように細かいブロック状に割れる。一方で白色腐朽菌は主にリグニンが分解される。このため、褐色腐朽菌と比較すると強度の低下はゆるやかで、腐朽部は写真-2.2のように綿状になる。

(3) 腐朽の発生と進行

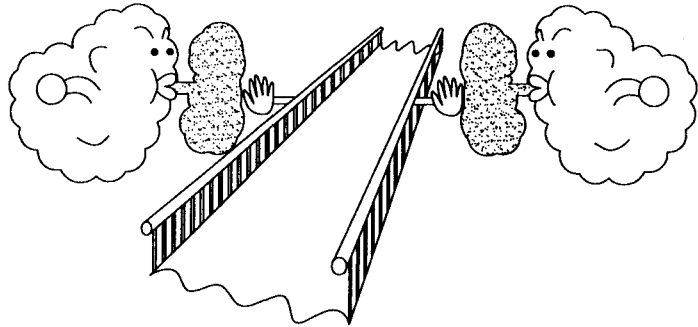
木材腐朽菌は表-2.5の3条件が揃うことで腐朽が生じる。これらより、木橋では図-2.2のように木材が土に触れるところ、水がしみ込むところ、水が常にかかるところ、湿度が高いところ、風通しの悪いところ等に腐朽が生じる可能性が高くなる。



(a) 土に触れるところ・水がしみ込むところ・水が常にかかるところ



(b) 湿度が高いところ



(c) 風通しの悪いところ

図-2.2 木材が腐りやすい状況のイメージ

2.3 防腐処理

(1) 防腐処理の原理

昔の人々は木材の性質をよく理解しており、適材適所にいろいろな木材を使い分けて木の文化を築き、構造物の寿命を延ばす工夫を行ってきた。例えば木造建築物の寿命は、腐朽等の被害がなければ100年単位で数えられることを伝統木造建築の数々に見ることができる。それでも木橋の使用環境は過酷であり、過去の木橋は比較的短期間に架け替えを繰り返しながら使用されてきた。

近年では、木橋であってもある程度の耐用年数が求められるようになってきている。一方で、防腐処理薬剤の開発や処理方法の発達等による防腐処理技術も進歩している。このため木橋の長期に渡る供用も期待できるようになっている。

防腐処理とは、薬効により木材腐朽菌の生育機能を阻害することで増殖を防止したり殺菌したりするものである。木橋に用いられる木材は野外で風雨にさらされるため、耐朽性が高いとされる樹種を使用することが理想ではあるが、木材資源の有効利用の観点からは難しい場合も多い。そこで、防腐処理により必要な耐朽性を確保することが一般的になっている。

(2) 防腐処理薬剤の種類

腐朽を防止するには、まず使用環境に配慮することが第一であるが、それでもなお腐朽が懸念されるような使用環境となる場合には、防腐処理が施される。表-2.6には現在使用されている4種類の処理方法が紹介されている。このうち、木橋の防腐処理では、圧力を作用させて木材内部に薬剤を浸透させる加圧注入処理を行い、さらに木材の表面に塗布処理を行う方法が広く用いら

表-2.6 防腐処理法の種類

分類	概要
塗布処理	処理範囲を自由に限定、随時繰り返し処理でき、かつ薬剤も少量で済む。手間がかかりムラが出来やすい欠点がある。
吹きつけ処理	広い面積で効率性が発揮できる。薬剤揮散があるため換気排気処置を施す必要が発生する。
浸漬処理	手間なくムラなく大量に処理できる。薬剤使用量が多量で一部分のみの処理ができない。
加圧注入処理	密閉型の耐圧缶内で圧力をかけることで木材内部へ薬剤を浸透させる。加圧注入処理は木材深く薬剤が浸透するので一番腐れにくい。特別な装置が必要であり、乾燥した材を使用しないといけないので、現場処理ができないといった欠点がある。

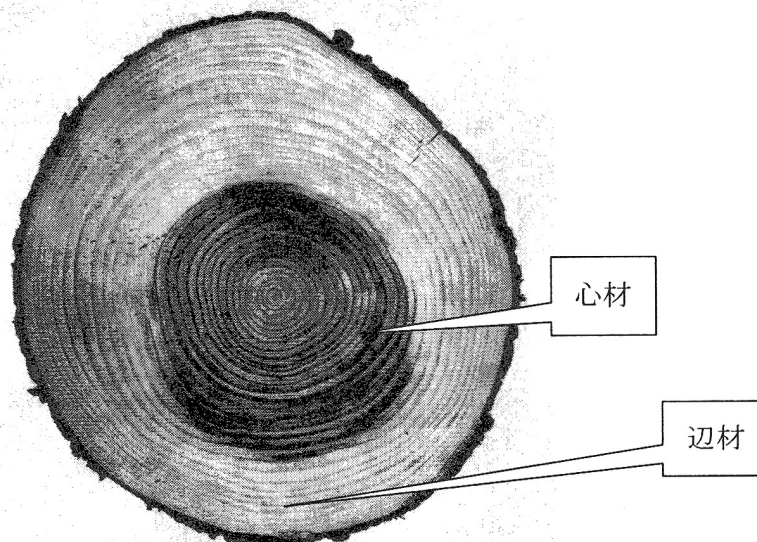


写真-2.3 辺材と心材^{2.2)} (例：スギの横断面)

れている。

表-2.7 は木橋でよく用いられる木材の心材の浸透性を示している。このように樹種によって浸透性は大きく異なるため、加圧注入処理に適するものや、逆に加圧注入処理よりも塗布処理の方が適しているものもある。ここで心材とは写真-2.3 の中心部の濃色部分のことであり、周辺部の淡色部分は辺材と呼ばれる。心材は一般的に辺材よりも耐朽性に優れている。一方で浸透性は心材よりも辺材の方がよいが、辺材は含水率が高いため、十分に乾燥されたものでないと注入不良が生じる可能性がある。

(3) 防腐処理に関する性能基準

防腐剤の性能については、「(社)日本木材保存協会 (JWPA)」、「(社)日本しろあり対策協会」が定めた基準があり、木材保存剤としての有効性、安全性に対し厳密な基準と審査のもと、認定を行っている。また、木材保存剤あるいは保存処理木材としての性能については、「日本工業規格

表-2.7 主な木材の浸透性区分^{2.3)}

区分	国産材	輸入材
容易	針葉樹：ヒバ	針葉樹：レッドウッド サザンイエローパイン 広葉樹：バーチ
やや容易	針葉樹：アカマツ クロマツ スギ ツガ モミ	針葉樹：ベイツガ(ウェスタン) ベイマツ(コースト) ホワイトウッド
困難	針葉樹：エゾマツ トウヒ トドマツ ヒノキ	針葉樹：ベイツガ(イースタン) 広葉樹：チーク バラウ
極めて困難	針葉樹：カラマツ 広葉樹：クスノキ クヌギ クリ	針葉樹：ベイスギ、ベイマツ(マウンテン) ウェスタンレッドシーダー 広葉樹：ジャラ ホワイトオーク

表-2.8 AQ 屋外製品部材の浸潤度判定基準（切断の場合）^{2.2) 2.4)}

区分	樹種		浸潤度
	国産材	輸入材	
I 心材の耐朽性が 大のもの	針葉樹：ヒノキ、ヒバ 広葉樹：ケヤキ、クリ	針葉樹：ベイヒ、ベイスギ、ベイヒバ、レッドウッド 広葉樹：バラウ、セランガンバツ	製材品：辺材部分の80%以上とする。 丸太：辺材部分の80%以上とする。
II 心材の耐朽性が 中のもの	針葉樹：スギ、カラマツ 広葉樹：クヌギ	針葉樹：ベイマツ、ダフリカカラマツ 広葉樹：ケンパス	製材品： 辺材の80%以上、及び表面から10mm以内に存在する心材の80%以上とする。 丸太： 辺材の80%以上、及び表面から10mm以内に存在する心材の80%以上とする。
III 心材の耐朽性が 小のもの	針葉樹：アカマツ、クロマツ、トドマツ、エゾマツ	針葉樹：ベイモミ、ベイツガ、ラジアータパイン、スプルース 広葉樹：レッドラワン	製材品： 狭い材面が50mm以下の製材 木裏から10mmの80%以上、木表から材の厚さの1/2の80%以上とする。 狭い材面が50mmを超え75mm以下の製材 木裏から15mmの80%以上、木表から材の厚さの1/2の80%以上とする。 狭い材面が75mmを超える製材 木裏から20mmの80%以上、木表から材の厚さの1/2の80%以上とする。 丸太：表面から30mmの80%以上とする。

(JIS)、「日本農林規格 (JAS)」、「(社)日本木材保存協会規格」、「(社)日本しろあり対策協会規格」、「(財)日本住宅・木材技術センター優良木質建材等認証 (AQ 認証)」により規格化され、認証されている。表-2.8～2.10 に薬剤の浸潤度、吸収量、および防腐処理に関する性能規格の一覧を示す。

(4) 防腐処理薬剤の取扱いと安全性

日本において、これまで防腐剤といえばCCA（クロム・銅・ひ素化合物系防腐剤）が多く使わ

表-2.9 AQ 保存処理製品の対象薬剤及び性能区分別薬剤吸収量^{2.4)}

薬剤名	有効成分	AQ 表示	吸収量 (単位 kg/m ³)	
			1種 (接地用)	2種 (非接地用)
ナフテン酸銅 (乳剤)	CU	NCU	1.5 以上	1.0 以上
ナフテン酸亜鉛 (乳剤)	ZN	NZN	4.0 以上	2.0 以上
アルキルアンモニウム化合物系	DDAC	AAC	9.0 以上	4.5 以上
銅・アルキルアンモニウム化合物系	ACQ	ACQ	5.2 以上	2.6 以上
バーサチック酸亜鉛・ピレスロイド系	ZN	VZN	5.2 以上	2.6 以上
クロム・銅・ひ素化合物系	CCA	CCA	6.0 以上 18.0 以下	3.5 以上 10.5 以下
銅・ほう酸・アゾール化合物系	CUBAZ	CUAZ	5.2 以上	2.6 以上
銅・アゾール化合物系	CUAZ	CUAZ-2	2.0 以上	1.0 以上
ナフテン酸亜鉛 (油剤)	ZN	NZN	3.2 以上	1.6 以上
プロピタンホス・アゾール系	AZP	AZP	0.3 以上	0.15 以上
ほう酸・アルキルアンモニウム化合物系	BDDAC	BAAC	6.4 以上	3.2 以上
リグニン・銅・ほう素化合物系	CUB	LCB	6.0 以上	3.0 以上
クレオソート油	A	A	80 以上	—

注)処理液としての吸収量

表-2.10 関連性能規格一覧

規格名	名称
JIS A 9002	木材の加圧式防腐処理法
JIS K 1570	木材防腐剤
JIS K 1570	木材防腐剤の性能基準及び試験方法
農林水産省告示第 143 号	針葉樹の構造用製材の日本農林規格
農林水産省告示第 1086 号	広葉樹製材の日本農林規格
(社)日本木材保存協会規格第 1 号	塗布・吹付け・浸せき用木材防腐剤の防腐効力試験
(社)日本木材保存協会規格第 11 号	塗布・吹付け・浸せき用木材防蟻剤の防蟻効力試験
	(2) 室内試験方法
(社)日本木材保存協会規格第 12 号	加圧用木材防蟻剤の防蟻効力試験
(社)日本木材保存協会規格第 14 号	木材防蟻剤及び木材防腐・防蟻剤の性能基準
木質建材等認証推進事業	「屋外製品部材」「保存処理材」の基準

れてきた。しかし近年、CCA 処理木材の焼却処理における環境への影響が問題となり、そのため最近では種々の新製品が CCA に取って代わるようになった。

防腐剤は薬事法による医薬品、医薬部外品、また農薬取締法による農薬に該当しない国の適用外化学品である。しかしながら、その多くの主成分は農薬から流用されており、取り扱いには十分な配慮が必要となってくるため、それぞれの製品基準に基づき、安全対策、健康管理、環境への配慮を怠らないように使用方法を遵守すべきである。表-2.11 は防腐剤の取り扱いに関する法規である。

表-2.11 防腐剤取扱上の関連法規一覧

分類	法規名称
環境関連	<ul style="list-style-type: none"> ・水質汚濁防止法 ・環境基本法 ・大気汚染防止法 ・廃棄物の処理及び清掃に関する法律
化学物質関連	<ul style="list-style-type: none"> ・化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律 ・毒物及び劇物取締法 ・農薬取締法 ・消防法
安全対策関連	<ul style="list-style-type: none"> ・労働安全衛生法

表-2.12 木材保護塗料の種類

分類	概要
造膜型	<ul style="list-style-type: none"> ・塗膜を造り、そのため光沢がある。 ・美しく、初期の性能維持期間が長い。 ・一度塗膜に割れや剥離等の劣化が生じると生物汚染や日焼けによる変色が進行し、部分的な汚れが目立つ。 ・塗り替え時、旧塗膜を剥離して再塗装後の剥離を防止したり、素地の漂白により仕上がり的美観を向上させることが必要となるため、コスト高になる。
浸透型	<ul style="list-style-type: none"> ・塗装ムラが少なく、塗装が簡単。 ・造膜型に比べて劣化の進行は早い、顔料の離脱が徐々に進行するため、自然な風合いでの変色となる。 ・塗り替え時に下地洗浄（塗装前の汚れ落とし）程度で再塗装が簡単にでき、コスト安になる。

2.4 木材保護塗装

(1) 木材保護塗料の原理

木材保護塗料とは、木材の劣化を予防するとともに美観や耐久性の維持と向上を目的とした外装外構材向け塗料である。特にカビ類等による木材表面の変色等の生物汚染を予防することができる。原理としては、塗装によって通常の塗料の性能に防腐性、かび抵抗性、撥水性等を付与し、結果として外部の美観向上及び維持に貢献する。防腐剤（特に加圧注入処理）が木材深く浸透し防腐防虫防蟻の形成層により表面からの一定層を保護するのと比較して、木材保護塗料は塗料自身に薬剤が含浸されており、材表層で初期段階の微生物侵入や環境諸因子からの保護機能を果たす。

(2) 木材保護塗料の種類と補修方法

表-2.12 のように、塗膜の形成状態から造膜型と浸透型の 2 種類に分けられる。通常、木材保護塗料は半透明着色塗料であり、塗装後も木目が残り、木材の質感を損なわない。

補修方法も表-2.13 のように造膜型と浸透型に分類できる。劣化が生じやすい箇所は図-2.3 のように、絶えず日光にさらされる箇所、雨や雪がよく当たる箇所、水が滞留しやすい箇所、人通

表-2.13 木材保護塗料の補修方法

分類	処理方法
造膜型	同じ塗料で重ね塗りをするか、変色や劣化が著しければ、旧塗膜を 80～100 番手の粗いサンドペーパーで研磨、あるいは市販の木材用塗料剥離剤にて剥離を行い、完全に旧塗膜を取り除いてから再塗装を実施する。
浸透型	同じ塗料で重ね塗りをするか、変色や劣化が著しければ、漂白剤、洗浄剤を用いて洗浄後、毛羽立ち等の発生により必要ならばサンディングし、再塗装を実施する。 浸透型の再塗装では、ウエザリング（気象因子による劣化現象）により微細クラックの発生で塗料の吸収がよくなるため、塗布量が増大するが次回のメンテナンス時期が延長される。

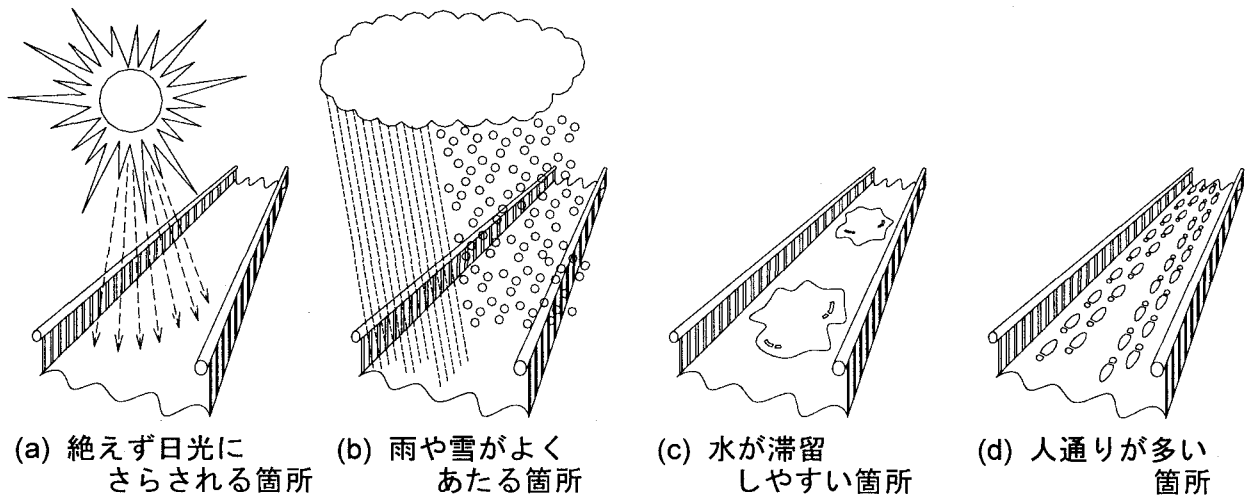


図-2.3 塗装の劣化が生じやすい箇所

りが多い箇所等であり、塗膜劣化や色褪せ、微生物による変色等の劣化が見られる。補修の目安としては、造膜型の場合は塗膜が割れや剥離の発生が見られるようになった頃、一方浸透型の場合は全体にやや色褪せが始まり木材の色調が失われる頃が最適である。

参考文献

- 2.1) 林知行：ウッドエンジニアリング入門，学芸出版社，pp.26-30，2004.
- 2.2) (財)日本規格協会：木材のおはなし，pp.75-134，2001.
- 2.3) (財)日本木材総合情報センター：木でつくる水辺の施設，pp.11-19，2000.
- 2.4) (財)日本住宅・木材技術センター：優良木質建材等の品質性能評価基準（品質性能試験の試験項目、試験方法及び判定基準），pp.33-34，2002.