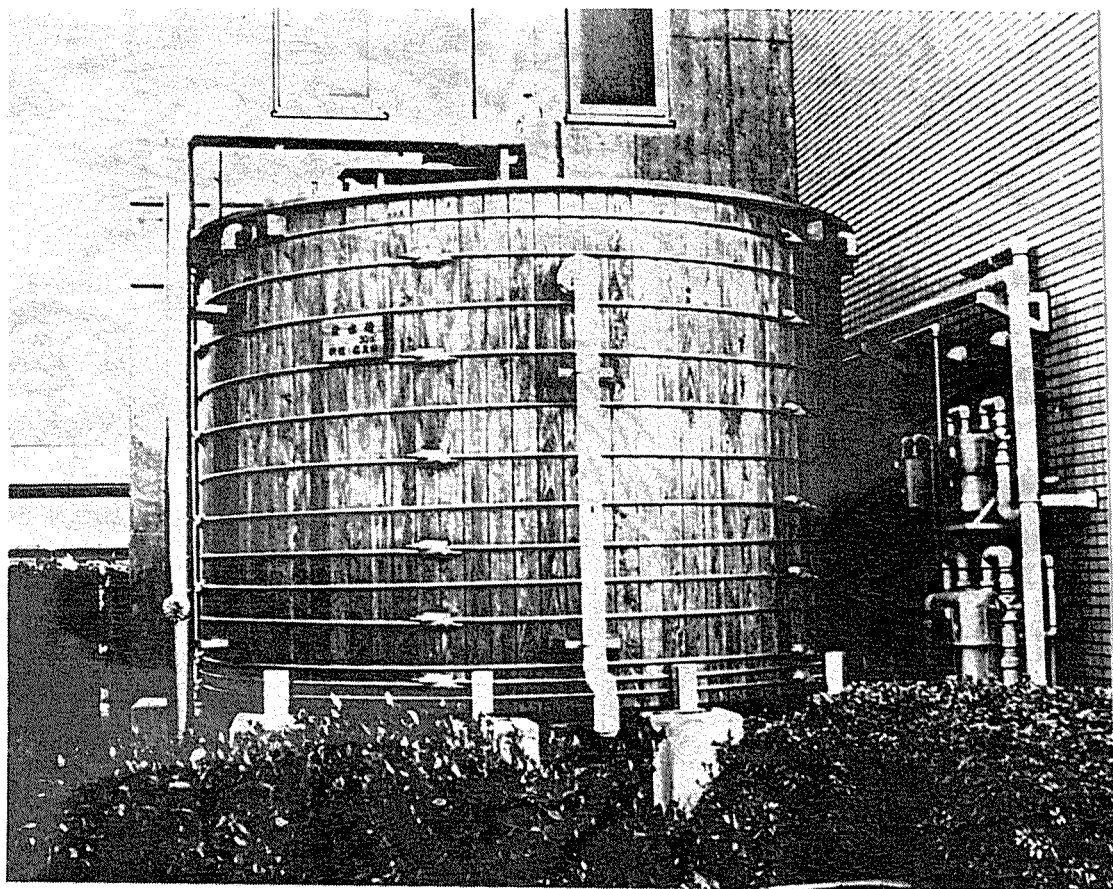


木製水槽設計施工の手引



財団法人 日本住宅・木材技術センター

まえがき

近年、価値観が多様化し、消費の高度化多様化が進展する中で、良質な飲用水を求める動きが強まっています。家庭用浄水器の出荷台数及びミネラルウォーターの消費量が、平成年代に入ってから共に年を追って著しい伸び率で増加していることがこのことを示しています。

ビル用木製水槽は、水質保全機能に優れているといわれています。つまり、木槽は鋼製のように槽内で赤水が発生する心配がないこと、FRP製のように藻が発生する心配がないこと、外部からの熱による水温上昇が小さいので、残留塩素が少なくなって水が腐敗するという危険性がないこと、断熱保温効果が高いため、冬は暖かく夏は冷たい水が供給されること、が挙げられます。良質な水を求める動きが強まっている中で、木槽のもつ上述のような特徴が評価され、その需要は増加傾向を示しているといわれています。

この反面、木槽は、腐朽菌によって腐朽し、長期の使用に耐えないという問題が指摘され、更新時にFRP製に移行するということもまみられます。しかし、設計施工及び維持管理を適切に行うことにより、木槽を相当長期に使用することは可能です。

本書は、木槽の特徴、木材の特性・利用方法、腐朽問題への対策その他理解を深めていただくための事項の記述を行いつつ、設計施工及び維持管理のあり方について記述しています。本書が多くの皆様に活用され、その結果、近年著しく高まっている良質の水を飲みたいとする要請に応えることができれば幸いです。

本書は、次ページに示す委員会の検討の成果です。具体的な作業は、木槽分科会が行いました。本書作成にあたり貴重なご指導やご意見をいただきました本委員会の委員各位、多忙な中を積極的に本書作成に取り組んでいただきました分科会の委員各位及び委員会活動を支援していただきました関係官庁の担当官ほかの皆様に対し深く感謝を申し上げます。

平成6年3月

(財)日本住宅・木材技術センター

理事長 下川英雄

建造物適用技術推進委員会

委員長	塩田 敏志	東京農業大学農学部教授
委員	木方 洋二	名古屋大学農学部教授
	大熊 幹章	東京大学農学部教授
	喜多山 繁	東京農工大学農学部教授
	矢田 茂樹	横浜国立大学教育学部教授
	古澤富志雄	職業能力開発大学校助教授
	小林 章	東京農業大学農学部講師
	平井 卓郎	北海道大学農学部助教授
	信田 聡	東京大学農学部助手
	小松 幸平	農林水産省森林総合研究所木材利用部接合研究室長
	井上 武	日本道路公団技術部緑化推進課長
	大間 武	(社)日本造園コンサルタント協会技術委員長
	蓮見 隆	(社)日本マリーナ・ビーチ協会調査役
	大曾根 真	日本木材防腐工業会専務理事

建造物適用技術推進委員会

木槽分科会

主査 委員	古沢富志雄	職業能力開発大学校助教授
	福田 清春	東京農工大学農学部助教授
	赤松 明	職業能力開発大学校助教授
	信田 聡	東京大学農学部助手
	財満やえ子	東京造形大学助教授
	藤井 雄史	藤井製桶所
事務局	牧 勉	(財)日本住宅・木材技術センター試験研究部長
	屋代 榮久	(財)日本住宅・木材技術センター技術主任

目 次

1. 総 則 -----	1
1. 1 手引きの目的 -----	1
1. 2 適用の範囲 -----	1
1. 3 用語の定義 -----	2
2. 基本的事項 -----	3
2. 1 ビル用水槽に求められる基本性能 -----	3
2. 1. 1 水 質 -----	3
2. 1. 2 構 造 -----	3
2. 2 ビル用木槽の特徴 -----	6
2. 3 木槽の設置に際して留意すべき事項 -----	7
3. 材 料 -----	8
3. 1 要求される一般的な性質 -----	8
3. 2 木材の外観構造 -----	9
3. 2. 1 木材の3断面 -----	9
3. 2. 2 生長輪と年輪 -----	9
3. 2. 3 早材・晩材 -----	9
3. 2. 4 辺材・心材 -----	10
3. 3 木材の物理的・機械的性質 -----	11
3. 3. 1 比 重 -----	11
3. 3. 2 含水率 -----	12
3. 3. 3 収縮率 -----	13
3. 3. 4 吸水性 -----	14
3. 3. 5 熱伝導率 -----	14
3. 3. 6 光の透過 -----	16
3. 3. 7 めり込み -----	16
3. 3. 8 摩 耗 -----	17
3. 3. 9 摩擦係数 -----	17
3. 3. 10 弾性定数 -----	19
3. 3. 11 強 度 -----	19
3. 4 木材の化学的性質 -----	21
3. 5 木材の腐朽と耐久性 -----	22
3. 5. 1 劣化様式と代表的菌類 -----	22
3. 5. 2 木材腐朽菌類の生活環 -----	23

3. 5. 3	腐朽条件	24
3. 5. 4	耐朽性	26
3. 6	木材の耐薬品性	27
3. 6. 1	耐酸性及び耐アルカリ性	27
3. 6. 2	塩素殺菌剤に対して	29
4.	設計及び構造	30
4. 1	設計上の留意点	30
4. 1. 1	変動水圧	30
4. 1. 2	耐震設計における係数	30
4. 1. 3	その他荷重条件	30
4. 1. 4	許容応力	30
4. 2	構造上の留意点	30
4. 3	部材構成法	32
5.	加工方法	33
5. 1	乾燥	33
5. 1. 1	乾燥の必要性	33
5. 1. 2	乾燥の要件	34
5. 1. 3	乾燥方法	34
5. 1. 4	乾燥程度	36
5. 2	化学処理	38
5. 3	機械加工	39
5. 3. 1	側板	39
5. 3. 2	底板	39
5. 4	組立	39
6.	検査及び確認	40
7.	維持管理	40
7. 1	貯水槽の掃除	41
7. 2	貯水槽等給水に関する設備の点検及び補修等	41

1. 総 目 次

1. 1 手引きの目的

ビル用水槽は、水道法に定められている水質基準を満足する上水を受水、給水又は貯水するための水槽で、木製の他に、コンクリート製、ステンレス鋼板製及びFRP製がある。衛生的に貯水し、安全に給水するための設備技術基準と、耐震基準が建築基準法で定められている。

木槽は比較的大容量の受水槽及び高置水槽として用いられており、水質保全性能について高い評価を受けているものの、①わが国では専門製造メーカーが少なく、給水設備としての知名度が低いこと、②構成主材である木材の耐朽性に関するマイナスイメージが心理的ブレーキとなっていることから、ビル用水槽としてのその使用実績はきわめて低い水準にある。

このような現況にかんがみ、発注側である設備設計担当や維持管理に当たるエンドユーザーに対して、木槽の特徴のみならず木材の性質や利用方法、メンテナンスの方法を紹介することを目的に、本手引きを取りまとめることとした。

この手引きでは、材料の選択や工作法などについてはなるべく制限を設けずに、実績のあるものを取り上げて行くことにした。特に問題となる木材腐朽については、樹種、部材の木取り方法、及び木槽の設置される環境条件の影響が大きいので、腐朽の発生条件や腐朽度のばらつきの原因等を解説するとともに、木材の繊維切断面の処理・蓋の勾配、たがで締められる木部の処理、屋外や地下設置の場合の保守管理上の留意点等木材腐朽に対する対策を整理して腐朽の進行速度を遅らせる方法について述べ、使用環境に応じて選択してもらうようにした。

構造設計については、建設省住宅局建築指導課監修の「建築設備耐震設計・施工指針」によることにし、ここでは特に木材独自の問題についてだけふれることにした。

1. 2 適用の範囲

本手引きは、水道法に定める水質基準を満足する上水を受水、給水又は貯水するための建築設備であるビル用木槽を対象とする。

[解 説]

水槽には、用途や設置場所などにより、受水槽、給水槽、消火水槽、薬品槽、高置水槽等いろいろな名称があるが、ここでは、用途を上記のように限定する。

高層集合住宅やオフィスビルなどで最も多く採用されている給水方式は、高置水槽方式である。これは、まず水道水を受水槽に貯水し、次に端末の給水器具が必要とする圧力を得られる高さに設置されている高置水槽へ受水槽に貯水した水をポンプを用いて揚水した後、建物内の必要な箇所へ給水するというシステムである。この方式は、受水槽等の設置

や配管など設備に多額の費用が必要であるが、比較的故障が少なく、安定した水圧と水量が得られ、かつ使用水量の変動に容易に対処し得るという長所を有するために、優れたサービスの提供を求められるホテルにおいても広く用いられている。

1. 3 用語の定義

本手引きにおいて使用する木槽の構成部材に関する用語の定義は、次による。

①側板

木槽の立面を構成する部材。

②底板

木槽の底盤を構成する部材。

③丸鉄輪（丸鉄バンド、たが、フープ）

底板と側板とを緊縛させるための部材。

④根太（りん）

底板の下部に位置し、底板と接し木槽及び内容水を支持する部材、但し側板とは接しない。

⑤蓋

木槽上面を覆い外気との接触を遮断する部材。

⑥蓋棧

蓋板の荷重を支え、蓋板を取り付けるための部材。

⑦マンホール

蓋板の上面に設けられる点検口で、60cm角くらいの大きさの出入り口。

⑧内・外梯子

点検時に作業員が出入りのため使用するマンホール付近に設けられる梯子。

⑨締め金具（まくら、ワイヤークリップ）

鋳物製及びダクタイル製等の、丸鉄輪を緊縛するための締め具。

⑩給排水ノズル

給水または排水するために使用するノズル。

2. 基本的事項

2. 1 ビル用水槽に求められる基本性能

2. 1. 1 水 質

上水受水槽までの水質に関しては、水道法によって水道事業者・水道用水供給事業者または専用水道の設置者が責任を持つべきものとされている。受水槽以下の給水設備における水質の管理について、ビル衛生管理法及び水道法に次の規定がある。

(1)建築物における衛生的環境の確保に関する法律（ビル衛生管理法）施行令第2条第2号（イ）及び同施行規則第4条

不特定多数の人間が使用する延べ面積3,000㎡（学校においては8,000㎡）以上の建物（特定建築物）では、建築物環境衛生管理技術者（ビル管理技術者）による以下の管理義務が求められる。

- ①飲料水は水道水と同じ水質と残留塩素を有する水であること。
- ②飲料水が汚染されるのを防止するために必要な措置を講ずること。
- ③水質や残留塩素の検査及び飲料水槽の清掃を定期的に行うべきこと。

(2)水道法施行規則第23条

水道から水の供給を受ける建物で飲料水槽の有効容量の合計が10㎡を超える給水設備（簡易専用水道）においては以下の管理義務が求められる。

- ①水槽の掃除を1年以内ごとに1回、定期的に行うこと。
- ②飲料水が汚染されるのを防止するために必要な措置を講ずること。

2. 1. 2 構 造

飲料水槽には以下の項目が基本的に要求される。

- ①漏水しないこと。
- ②外部からのほこり・その他衛生上有害なものが入らないこと。
- ③風圧、水圧、地震等による振動や衝撃に対して、安全上支障のないこと。
- ④水質検査や内部清掃作業等給水設備の維持管理が容易なこと。
- ⑤保守管理が容易なこと。

これらの基本的要求を満たす水槽の設計をするためには、建設大臣の定める次の基準を遵守し安全上・衛生上支障のない構造とすることが必要とされる。

(1)給排水設備技術基準

給水の汚染の原因としては、受水槽などの開放槽への汚染物質の混入、金属イオンの流入など配管類の接水部の材質による影響、及び給水管内に生じた負圧による吸引作用のためにおきる逆サイホン作用などが挙げられる。

受水槽以下の給水設備における汚染防止は、建築基準法施行令第129条の2に規定され、これに基づいて昭和50年建設省告示第1597号（改正昭和57年建設省告示第1674号）により、衛生的で周囲点検の可能な水槽の設置のために、受水槽や高置水槽などの構造と維持管理に関して概略次のような規定がなされている（一般には六面管理の基準という）。

- ①水槽は建物躯体を利用して築造してはならない。
- ②コンクリート製の水槽は現場施工に頼るため防水施工の完全性が期待できないので、鋼板製、FRP製あるいは木製などのものを使用する。
- ③水槽自体・槽内面の塗料・槽内部の補強材などは水質に悪影響を与えないものを使用する。
- ④水槽の設置位置は、排水の流れが悪くなったり排水が詰まったりした場合でも、排水がオーバーフロー管などを介して槽内に逆流しない位置あるいは高さとする。
- ⑤水槽のマンホール蓋・オーバーフロー管・通気管などは、ほこりその他の衛生上有害なものや雨水などが侵入しない構造のものとする。
- ⑥飲料水槽内には、飲料水配管以外の配管を通してはならない。

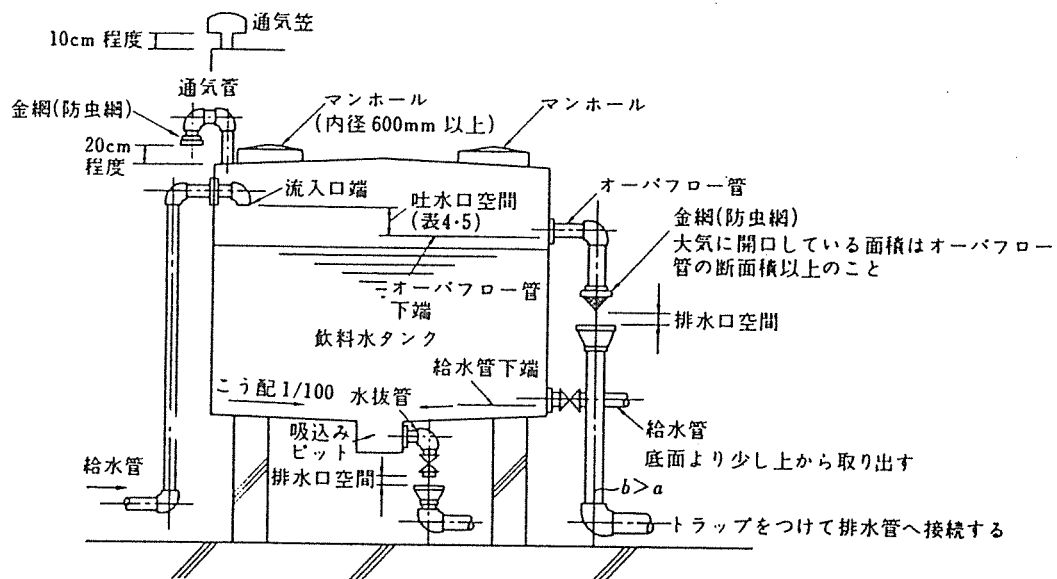


図1 給排水設備基準におけるタンクの内部構造及び接続配管に関する留意点

[解説]

- ①飲料水槽には、内部の保守点検を容易にかつ安全に行うことのできる位置に、ほこりその他の衛生上有害なものが入らないように有効に立ち上げた内径60cm以上のマンホ

ール蓋を設ける。

②槽底部には吸い込みピットを設け、それに向かって、槽底面の勾配を1/100程度とするか、同程度の勾配の排水溝を設ける。

③吸い込みピットには排水管（水抜き管）を設ける。

④飲料水槽には、ほこりその他衛生上有害なものが入らない構造のオーバーフロー管と通気管とを設け、前述の水抜き管とオーバーフロー管とは、何れも十分な排水口空間を介して排水する。

(2)屋上水槽等の耐震設計施工指針

屋上水槽等では、建築設備耐震設計施工指針（根拠法令：建築基準法第88条「工作物への準用」、建築基準法施行令第39条の2「屋上から突出する水槽等」、昭和56年建設省告示第1101号「屋上から突出する水槽、煙突等の基準」）に適合することが必要である。

屋上から突出する形状の水槽や煙突その他これに類するもの（屋上水槽等）については、特に地震入力が建築物本体とは異なる特性を有すること、及び本体とは別途設計施工される場合が多いことなどの理由から、独自の基準を設けて屋上水槽等の脱落防止等の安全確保を図ることが重要である。昭和56年建設省告示第1101号「屋上から突出する水槽、煙突等の基準」には、概略次のとおり規定されている。

①屋上水槽等や支持構造部は、建築物の構造耐力上主要な部分に緊結し、腐食や腐朽の防止のために、有効なさび止めまたは防腐のための処置を講ずること。

②屋上水槽等のうち、地階を除く階数が3以上の建築物に取り付けられるものは、屋上水槽等や支持構造部並びに取り付け部分が、この告示に掲げる荷重及び外力によって生ずる応力に対して、安全上支障がないものとする。

すなわち、荷重及び外力に対する安全性を確認する場合には、水槽本体だけでなく、荷重及び外力を支える主要な部分（骨組み、架台等）に生ずる応力を検討することが必要であり、転倒や崩壊等の重大な損傷が生じないように十分考慮した施工計画を樹てることが重要である。

(3)工作物の指定をうける高架水槽

高さが8 mを超える高架水槽は、建築基準法施行令第138条に掲げる工作物の指定を受けられるために、その構造及び強度に関して、建築基準法施行令第141条の規定による構造としなければならない。なお、防火地域内にある工作物としての木槽については、建築基準法第66条（看板等の防火措置）により、建築物の屋上に設ける場合または高さ3 mをこえるものは不燃材料で覆わなければならない。

2. 2 ビル用木槽の特徴

木槽には、ヒノキ、ベイヒバ、ベイマツ等の平割材を主要構成部材とし、形状は円筒形、楕円筒形または角形が一般的で、なかでも円筒形が多い。寸法については加工性に優れている木材を使用するために自由度は高く、大容量でも製作可能である。

木槽は、他材料による水槽に比較して、表1に示すとおり小容量槽の場合に経済性でやや評価が低いものの、耐食性能や加工性能が優れているという水槽材料として高い評価を受けている。

表1 材質別比較表

材 質	項 目	結 露	耐 食	耐 候	耐 寒	揚 重	搬 入	加 工 性		経 済 性	備 考
								工場	現場		
鋼 板	一 体 型	△	△	○	○	△	△	◎	○	○	重量大。防せいの良否に左右される 大容量も可。現場組立てに適する
	パネル組立て型	△	△	○	○	◎	◎	◎	○	○	
スレ テス ン鋼	一 体 型	△	○	◎	○	△	△	△	△	△	経済性に難 同上。現場組立て可
	パネル組立て型	△	○	◎	○	◎	◎	○	△	△	
ブ ラ ス チ ック	単 板 一 体 型	△	◎	○	△	△	△	○	○	◎	軽量。破損しやすいので取扱い注意 同上。現場組立てに適する 軽量。破損しやすいので取扱い注意 同上。現場組立てに適する
	単 板 パネル組立て型	△	◎	○	△	◎	◎	◎	◎	◎	
	サンドイッチ 一 体 型	◎	◎	○	◎	△	△	○	○	○	
	サンドイッチ パネル組立て型	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	
木 板		◎	◎	○	○	○	◎	◎	◎	△	重量やや大。現場組立て専用 経済性にやや難

【注】 ◎よい、○普通、△やや悪い

水質保存性に関しては、構成材である木材の保持する特徴を反映して、次のとおりの高い評価を受けている。

- ①鋼製にみられる槽内の錆による赤水の心配がない。
- ②FRP製槽に認められる藻の発生はない。
- ③外部からの熱による槽内の水温上昇は小さいので、残留塩素が少なくなって水が腐敗するという危険性はない。
- ④断熱保温効果が高く、水温は外気温に影響されず年中あまり変わらない。

耐久性に関しては、木材は腐朽するというイメージから一般に低い評価を受けやすいが、構成部材の耐朽性を維持するための適切な処置を講ずることによって高置水槽の場合に20年以上使用した事例も認められ、建築設備として十分な耐久性が期待できる。

施工上の特徴としては、結露しないため他材料の場合に必要なドリップパンを設置しなくても良いこと、及び槽の搬入の困難な現場であってもノックダウン工法により組立が可能ながことが挙げられる。

木槽は、施工する場合の利点として次の事項が挙げられ、木材は使い勝手のよい施工材料といえる。

- ①主材料である木材の容積密度が小さいために部材の運搬や搬入が容易である。
- ②小断面部材によるロックダウン方式の場合には部材の揚重に特別の機器を必要としない。
- ③部材表面に塗装等特別の処理を必要としないために物流での材料管理が容易である。
- ④施工時に火を使うことはなく、防食のための塗装や組立のための接着剤等も使用しない。
- ⑤ロックダウン方式の場合には取り付け作業が主体のために加工や組立にともなう騒音の発生が少ない。
- ⑥ロックダウン方式の場合には槽の設置及び解体作業が容易である。
- ⑦加工性が良いために部分補修が可能である。

なお、これまでわが国では表2に示すように、スギ、コウヤマキ、ヒノキ、及びサワラがそれぞれの用途に応じて、桶材として選択されてきた。

表2 桶に使用された樹種

スギ	大桶に使用されている、大桶の用途が醸造分野であった為、木ガのでにくい淡白な木と言うことで用途にあった選定。
コウヤマキ	古来からも桶によく使用されてきたが、高価な樹種だけに、使用しにくい、耐薬品性、耐久性、耐朽性よく木槽にも適材といえる。
ヒノキ	耐薬品性、耐久性、耐朽性によいが、精油分が多く、芳香があり、古来からの桶にはあまり使用されず、戦前からの軍需産業、化学産業における木槽にはよく使用されている。
サワラ	小桶類や生活用品によく使用され、軽く耐久性に富む。

参考：大桶＝5500ℓ

2.3 木槽の設置に際して留意すべき事項

木槽は、環境に適した材料を使用したり、基礎（土台）を正確に設置したりすることによって、優れた性能を示し長期間使用できる。ここでは設置に際して留意すべき事項について述べる。

周囲の空気の循環、特に木槽下部の循環をよくすることにより根太の腐れを防ぐことなど木材の腐朽を防止することが重要である。そのために、基礎のまわりに、雨水などの水の滞

留がないようにするとともに、風通しのよい位置に設置する必要がある。特に、屋内設置の場合は、強制換気により十分に換気を行い、基礎の周辺にそのための障害物を設置したり放置するようなことのないよう措置することが重要である。

屋外設置の木槽は、雨水の滞留による腐れを防止するための措置を講ずることが特に重要である。根太など木と接するコンクリート基礎部分に薄いゴム板などを敷き水切りを行うと共に、その部分には防腐処理材を使用する。側板と丸鉄輪との間に雨水を滞留させないように側板にはV字カットを行い、蓋には雨水の滞留がないように水勾配を必ずつけるか屋根をかける必要がある。

また、局所的な蒸気や高温が、木槽の表面に負荷され、それが腐れや割れによる漏水の原因となることのないよう周辺設備に留意する。なお、ペンキなど塗膜を形成する塗料を使用して木槽の外面を塗装することは、塗膜包水を発生させるので使用しない。

さらに、雨水の滞留、漏水、掃除及び丸鉄輪の緩みの点検など、定期的及び日常的な検査が容易にできるよう、十分な木槽まわりの間隔がとれるよう設置する必要がある。

3. 材 料

3. 1 要求される一般的な性質

木槽の構成材料としては、次の性質を持つ樹種が望まれる。

- ①食品衛生上問題となる成分を含有していないこと。
- ②耐久性、耐朽性に富み、耐候性があること。
- ③殺菌成分を含み、匂いの無いこと。
- ④塩素滅菌作用に侵されない程度の耐薬品性があること。
- ⑤供給量が豊富で安価なこと。

木材の性質では、水質保存性及び構造耐久性に影響を及ぼす耐朽性が最も重要とされ、要求耐用年数に応じて樹種及び材料を選択する必要がある。

部材は、材料強度の面から心去り板目材の使用が一般的であり、腐れ節、とび腐れ、変色、なかやせ等腐朽に係る欠点無く、年輪が緻密で木理通直な心材率100%の乾燥材が望ましい。

金物類の材質についても前掲の基本的な要求を満たすことが求められる。耐食性に優れた材料として多用されるステンレス鋼は、水道水の中に入っている滅菌のための塩素の影響を受け、水道水に含まれる遊離した塩素イオンが付着反応し、局所的な腐食が発生する事例が多発しており、プレス成形品や曲げ加工品の採用に当たっては、傷の検査や加工後の不働態処理を確認する等慎重に取り扱う必要がある。

3. 2 木材の外観構造

3. 2. 1 木材の3断面

木材の基本的な断面としては、図2、あるいは図3のX、R、Tに示すような、横断面（木口面）、放射断面（まさ目面）、接線断面（板目面）の3つに区分することができる。横断面は樹幹軸に垂直の断面、放射断面は樹幹軸に平行で髄（樹心）を通る放射方向の断面、接線断面は樹幹軸に平行で、幹の円周または年輪に接する接線方向の断面である。

3. 2. 2 生長輪と年輪

形成層の活動によって生長した木部の層は、横断面では環状の層として認められる。一生長期間に形成された環状の層を生長輪といい、暖帯、温帯地方のように1年1生長期の時は年輪と呼ぶ（図3）。

3. 2. 3 早材・晩材

温帯産の針葉樹材の年輪に見られるように、年輪の初めの部分、すなわち生長期の初めに形成され、密度が低く（淡い色）、細胞が大きい部分を早材または春材という。生長期の後半に形成され、密度が高く（濃い色）、細胞が小さい部分を晩材または夏材、秋材という（図3）。

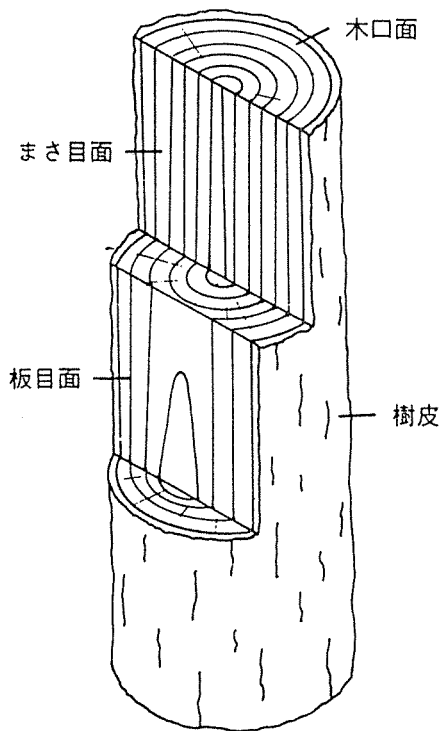
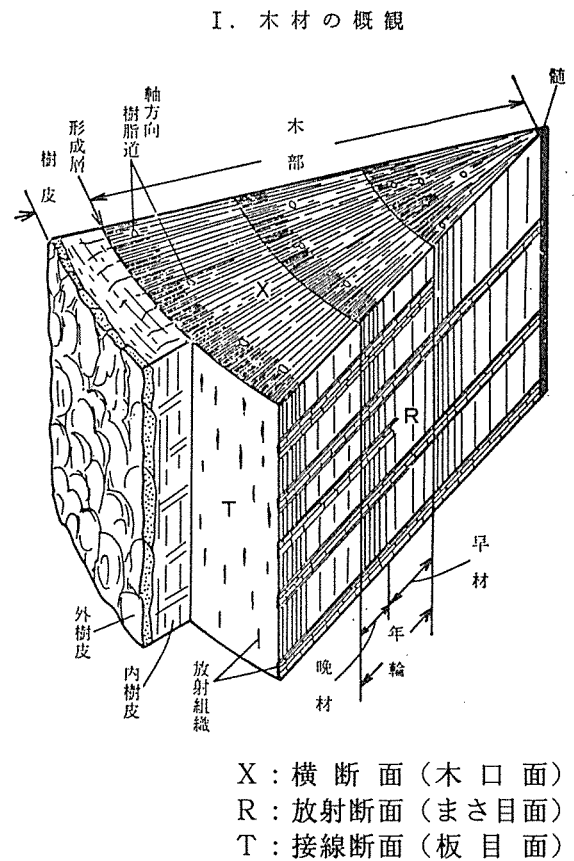


図2 木材の三つの断面



I. 木材の概観

X：横断面（木口面）
R：放射断面（まさ目面）
T：接線断面（板目面）

図3 木材（針葉樹材）の断面外観

3. 2. 4 辺材・心材

木部は水の通道、養分貯蔵という機能があるが、これらは幹のうち形成後の年数が若い外周部分で活発である。幹の内部になると、これらの機能は衰え、養分貯蔵を行う柔細胞が死細胞となる。水を通ずる導管や仮道管は形成層で造られ、分化したときは死細胞になっているので、幹の内部は生活細胞を全く含まない。この部分を心材という。また外周の生きている部分を辺材という。心材と辺材の境界で心材への移行部を移行材という。

心材では、デンプンなどの貯蔵物質が心材物質に変わり材中に沈着して濃く着色していることが多いため、赤身、赤太などと呼ばれる。これに対して辺材は一般に淡色で、白身、白太などと呼ばれる。心材の色調差の樹種による違いを表3に示す。

表3 木材の色（心材色）

黒色		クログキ、コクタン	
紫褐色		ローズウッド、ブラック ウォルナット	
	[淡い、明るい]		[濃い、暗い]
赤褐色	ツガ、アカマツ、マカン バ、アカガシ、ベイス ギ、カプール	イチイ、ミズメ、タブノ キ、イスノキ、カツラ、ペ イマツ、ベイスギ、ダーク レッドメランチ、マホガ ニー	スギ、ヤマザクラ
紅色	ヒノキ、ライトレッド メランチ	スギ、カリン	
褐色	ブナ、イタヤカエデ、ト チノキ、シオジ	カラマツ、クリ、カツラ、 ヤチダモ、ミズナラ、オニ グルミ	ヤマザクラ、チーク、マ コレ、タガヤサン
灰褐色	シラカシ		
緑色			[くすんだ]
黄褐色	ヒノキ、シナノキ、ハリ ギリ、ホワイトオーク、 ホワイトメランチ	アカマツ、ネズコ、サワ ラ、ケヤキ、キハダ、クス ノキ、ペイマツ	ホオノキ
黄色	イチヨウ、ヒバ、ベイモ ミ、イエローメランチ	カヤ、ツゲ	
黄白色		エゾマツ、ミズキ、ベイ ヒ、バルサ	
白色		モミ、トドマツ、バルサ	キリ
縞模様	ゼブラウッド、ローズウッド、ウエンジ		

注) 太字は針葉樹材、細字は広葉樹材

3. 3 木材の物理的・機械的性質

3. 3. 1 比重

(1) 比重の種類

木材の比重（単位体積当たりの質量）は種々の含水率状態により異なり、次のように示される。

$$\text{全乾燥比重 } r_o = m_o / V_o$$

$$\text{気乾比重 } r_u = m_u / V_u$$

$$\text{生材比重 } r_g = m_u / V_g$$

$$\text{容積密度数 } R = m_g / V_g \quad (\text{kg} / \text{m}^3)$$

$$\text{容積密度 } R = m_o / V_g \quad (\text{g} / \text{cm}^3)$$

ここで r : 比重、 m : 質量、 V : 体積をそれぞれ示し、添字はそれぞれの含水率状態を示す。o は全乾状態、u は気乾（11～17%）、g は生材を意味する。

木材の比重を表4に示す。

表4 木材の比重

樹種	全乾比重	気乾比重	生材比重	容積密度数		R_{20}/R_{30}	備考
					変動係数		
スギ	心材	0.33	0.36	0.729*	299		* 矢沢亀吉, 1956 ** 日本木材加工技術協会, 1966 *** 平井信二, 1958 無印は林試研報, 同資料, 1982, 1968
	辺材	0.32	0.35	0.985*	280		
	平均		0.30—0.38—0.45**	0.811*	345*	13.8*	
ヒノキ	心材	0.37	0.41	0.579	330		*** 平井信二, 1958 無印は林試研報, 同資料, 1982, 1968
	辺材	0.34	0.37	1.045	303		
	平均		0.34—0.44—0.54**		430***	10.2***	
アカマツ	心材	0.47	0.52	0.460	418		無印は林試研報, 同資料, 1982, 1968
	辺材	0.52	0.56	0.866	450		
	平均		0.42—0.52—0.62**		424	15.2	
ブナ	心材	0.64	0.68		533		同資料, 1982, 1968
	辺材	0.61	0.65		517		
	平均		0.5.—0.65—0.75**		520	7.1	
ミズナラ	心材	0.65	0.69		555		
	辺材	0.58	0.62		504		
	平均		0.45—0.68—0.90**		537	7.4	
イエローターミナリア	0.57	0.60	0.82	493		0.45	林試研報, 1977ほか
エリマ	0.30	0.32	0.59	267		0.62	
タウン	0.56	0.60	0.79	480		0.71	
バルサ	0.10	0.12	0.18	99		0.95	
レッドラワン	0.49	0.52	—	429		0.79	

(2) 比重の変動

木材の比重は樹種によって異なり、また同じ樹種でも各丸太により、さらに部位により異なる。したがって、木材の比重として与えられる1つの数値は、ある測定例あるいは平均値と考えるべきである。

一年輪内の比重の変動は、針葉樹材では、早材部の全乾比重は0.3~0.4、晩材部では0.7~0.9である。早材部と晩材部の比重の違いが大きいのはスギ、カラマツで、逆にトドマツでは違いが少なく、前者は不均質、後者は均質な材といえる。

針葉樹材では比重は年輪幅が大きくなると低下する傾向がある。一般には年輪幅と比重の相関は低い値しか得られていない。

樹幹内の比重は、針葉樹材では一般に樹心の比重が低く、外周に向かって増加し、やがて安定する。スギ、ヒノキでは樹心で高くなり、10~15年間減少し、その後安定した値をとる。マツ類は樹心より数年輪で減少し、最小値をとったあと、10~15年輪で急増し、その後安定する。仮道管の生長は比重を減少させ、晩材が多くなるほど比重は増加する。

3. 3. 2 含水率

樹木は人間と同じく生命維持、生活のための多くの水を樹幹内に含んでいる。伐採され製材されて木材となった時点では多量の水分を含んでおり生材と言われる状態にある。

木材中の水分量の程度を示すのには含水率が用いられる。これは全乾重量（水を含まない状態の木材重量）を仮に100としたときに、それに対する含まれる水の重量の比率として示される。生材の含水率は表5に示すように樹種により異なる。さらに針葉樹材では辺材部（丸太の表面付近の材）が心材部（丸太の中心付近の材）よりも含水率が高い状態にある。それに比較して広葉樹材では、心材と辺材の差は少ないものが多い。生材含水率が100%以上である場合が多い。すなわち生材の重さの半分、あるいはそれ以上は水の占める重さである。

表5 本邦産樹種の生材含水率

樹種	含水率 (%)		樹種	含水率 (%)	
	辺材	心材		辺材	心材
スギ	159.2	55.0	セーン	101.5	77.1
ヒノキ	153.3	33.5	ミズナラ	78.9	71.5
アカマツ	145.0	37.4	コナラ	74.6	67.2
サワラ	154.5	38.3	ヤマナラシ	103.7	94.5
ネズコ	228.9	56.9	シラカバ	95.0	89.7
モミ	162.6	89.4	マカバ	76.9	65.2
トドマツ	211.9	76.1	ミズメ	60.7	54.7
エゾマツ	169.1	40.6	ホオノキ	93.0	52.2
			カツラ	122.7	76.0
			シナノキ	91.9	108.3
			トチノキ	123.2	166.1

3. 3. 3 収縮率

木材の収縮率は、収縮量を収縮開始前の長さに対する百分率として表すのが一般的である。収縮率の表し方は JIS Z 2103 で次のように3つに規定されている。

$$\text{含水率1\%に対する平均収縮率} : \delta = (l_2 - l_3) / n l_1 \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{気乾までの収縮率} : \alpha_{15} = (l_1 - l) / l_1 \times 100 \quad (\%)$$

$$\text{全収縮率} : \alpha_{\max} = (l_1 - l_3) / l_1 \times 100 \quad (\%)$$

ただし、 l_1 ：生材時の長さ、 l_2 ：気乾時の長さ、 l_3 ：全乾時の長さ、 n ： l_2 を測定した時の含水率、 l ：含水率15%に換算した長さで、次式により算出したもの。

$$l = l_3 + 15 (l_2 - l_3) / n$$

収縮率は木材の方向によって著しく異なり、いわゆる異方的収縮を示す。木材の収縮率は、接線方向で最大で、次に放射方向で、繊維方向で最小である。その比は10：5：1～0.5程度と考えるとよい。木材の収縮率を表6に示す。

表6 各樹種の収縮率

樹種	収縮率 (%)									比重		
	含水率15%まで α_1			全乾まで α_2			含水率1%当り α_3					
	T	R	L	T	R	L	T	R	L	r_0	r_{15}	
針葉材	スギ	3.5	1.1	0.03	7.2	2.4	0.19	0.26	0.09	0.011	0.33	0.36
	トドマツ	4.1	1.0	0.03	9.5	2.8	0.19	0.38	0.12	0.010	0.39	0.41
	ヒノキ	3.5	1.5	0.05	6.4	3.1	0.25	0.21	0.11	0.013	0.37	0.41
	モミ	2.6	1.3	—	6.1	3.0	0.29	0.24	0.12	—	0.40	0.44
	カラマツ	4.1	1.7	0.01	8.6	3.9	0.18	0.31	0.14	0.011	0.50	0.53
	ツガ	2.9	1.6	0.02	7.2	4.0	0.16	0.30	0.17	0.010	0.51	0.54
	アカマツ	4.4	1.9	0.03	8.9	4.1	0.20	0.31	0.15	0.013	0.52	0.55
	ベイスギ	—	—	—	5.0	2.4	—	0.14	0.07	—	—	0.38
	ベイモミ	—	—	—	6.9	2.9	—	0.20	0.08	—	—	0.43
	ベイトウヒ	—	—	—	7.5	4.3	—	0.19	0.12	—	—	0.45
広葉材	ベイツガ	—	—	—	7.9	4.3	—	0.23	0.13	—	—	0.47
	ベヤマツ	—	—	—	7.8	5.0	—	0.23	0.14	—	—	0.55
	アガチス	4.2	1.8	0.02	8.6	4.1	0.17	0.30	0.16	0.011	0.43	0.46
	キリ	2.2	0.5	0.02	5.2	1.4	0.17	0.20	0.06	0.011	0.26	0.29
	カツラ	4.1	1.9	0.15	7.5	4.0	0.44	0.24	0.15	0.020	0.45	0.49
	シナノキ	5.7	3.7	0.08	9.6	6.7	0.25	0.28	0.21	0.012	0.46	0.49
	ブナ	6.9	2.4	0.11	11.5	5.0	0.37	0.33	0.18	0.017	0.64	0.68
	ミズナラ	5.9	2.0	0.24	10.1	4.3	0.48	0.30	0.16	0.016	0.65	0.70
	マカンバ	3.9	2.6	0.20	7.6	5.2	0.44	0.26	0.21	0.016	0.61	0.65
	タブノキ	4.1	1.6	0.06	8.1	4.0	0.23	0.28	0.16	0.012	0.63	0.68
樹材	アカガシ	6.8	2.6	0.09	12.1	5.6	0.27	0.38	0.20	0.013	0.87	0.92
	イスノキ	8.9	3.9	0.11	14.2	6.9	0.29	0.39	0.21	0.012	0.88	0.92
	レッドラワン	4.2	1.4	0.05	8.1	3.3	0.26	0.27	0.13	0.014	0.47	0.51
	カブール	5.2	1.7	0.03	10.0	4.2	0.24	0.35	0.17	0.013	0.62	0.65
	アビトン	6.6	2.8	0.01	11.3	5.7	0.21	0.34	0.20	0.013	0.68	0.72
	クルイン	8.3	3.9	0.03	13.7	7.5	0.22	0.39	0.25	0.013	0.76	0.79
	ジョンコン	4.1	1.8	0.02	8.1	4.1	0.18	0.28	0.16	0.011	0.47	0.50
	ラミン	5.3	1.7	0.03	10.8	4.8	0.16	0.39	0.21	0.011	0.62	0.65

T：板目方向、R：柃目方向、L：材長方向、 r_0 ：全乾比重、 r_{15} ：気乾比重
(寺沢・筒本共著 木材の人工乾燥 P.18)

3. 3. 4 吸水性

木槽に用いる木材は水が直接接する状態で使用される。樹種別の木材の吸水特性は重要な性質である。

木材の吸水は、主として木口面から繊維方向に水が浸透する。これは、毛管の表面張力によるものである。半径 r の毛管では、毛管中への水の浸透長 L は、次式で表される。

$$L = r \sigma \cos \theta \cdot t / 2 \eta$$

ここで、 η : 水の粘度 (dyn・s/cm²)、 σ : 水の表面張力 (dyn/cm)、 θ : 接触角 (deg)、時間 (s)。

実際には、木材の吸水性は、心材<辺材、繊維方向に直角方向<繊維方向となる。浸透通路になる組織や吸水浸透する組織の範囲は、樹種によって異なる。表7に樹種別の吸水量を示す。

表7 木材の吸水量測定例

樹種	辺心材	吸水面	平均年輪幅 (mm)	気乾比重	試験開始時含水率 (%)	24時間後の吸水量 (g/cm ³)
ヒノキ	心材	木口	0.9	0.37	12.1	0.187
	"	柾目	1.2	0.40	12.8	0.054
	"	板目	1.7	0.46	13.4	0.039
アカマツ	辺材	木口	2.8	0.55	13.1	0.749
	"	柾目	2.9	0.56	13.4	0.096
	"	板目	3.2	0.59	13.7	0.112
ブナ	辺材	木口	3.1	0.65	12.8	0.380
	"	柾目	1.7	0.64	12.4	0.069
	"	板目	3.2	0.65	12.9	0.083
ケヤキ	心材	木口	3.8	0.71	12.0	0.222
	"	柾目	3.9	0.71	12.2	0.038
	"	板目	4.3	0.73	12.1	0.070
アカラワン	心材	木口	—	0.42	12.5	0.143
	"	柾目	—	0.41	12.9	0.025
	"	板目	—	0.41	13.0	0.033

JIS A 1004 (1954) による、数値は5個平均、防水には常温硬化性石炭酸系合成樹脂を使用。

3. 3. 5 熱伝導率

定常状態で熱の一次元の流れを考えると、 h 時間に材料を伝導する熱量 (q) は、材料の両表面温度差 ($\theta_1 - \theta_2$)、面積 (s) に比例し、厚さ (d) に反比例して流れる性質があ

る。この関係は次式で表されるが、この式の中の材料固有の定数 λ が熱伝導率である。すなわち材料の熱の通しやすさを示すもので、値が小さいほど熱を通しにくく断熱性がよいことを示す。

$$q = \lambda (\theta_1 - \theta_2) s \cdot h / d$$

木材の熱伝導率は様々な材料の中でも値が小さく断熱性能が高い材料であり、保温材としての性能を備えている。熱伝導率は図4、図5、表8に示すように実用的には比重、含水率、材料温度とほぼ直線的な関係があるとみなせる。

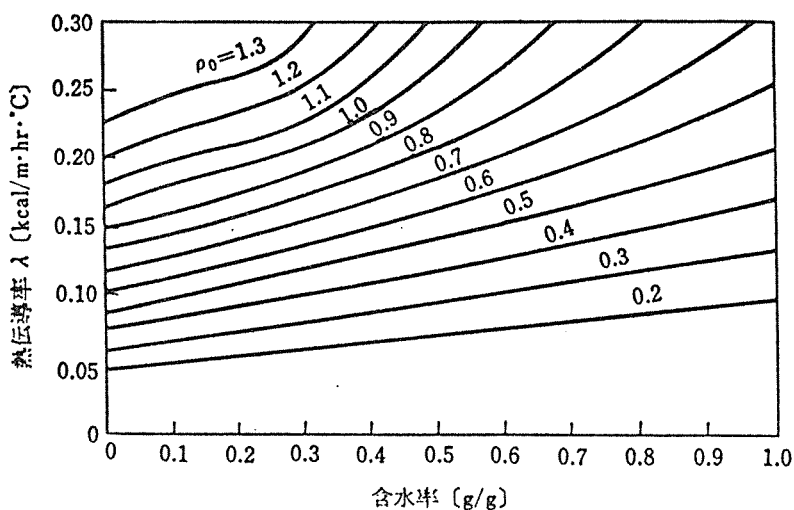


図4 木材の熱伝導率と含水率の関係

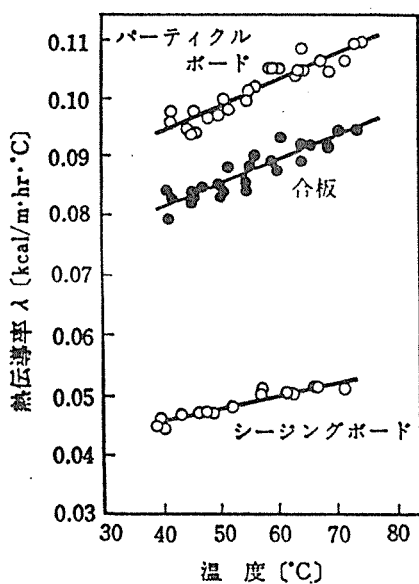


図5 木質材料の熱伝導率と温度の関係

($u = 0\%$)

表8 木質材料の熱伝導率

材	料	比 重	熱伝導率 λ [kcal/m·hr·°C]
針葉樹[Ⅱ]	スギ, エゾマツ	0.30~0.45	0.08
針葉樹[Ⅰ]	マツ, ヒノキ, ヒバ, ツガ	0.46~0.60	0.11
広葉樹[Ⅱ]	ラワン	0.46~0.60	0.11
広葉樹[Ⅰ]	クリ, ミズナラ, ブナ, ケヤキ	0.61~	0.14
合 板		0.55	0.11
インシュレーションボード	A級	0.23~0.30	0.042
シーリングボード		0.30~0.40	0.045
ハードボード		0.8 ~1.1	0.15
パーティクルボード (200タイプ)		0.79~0.83	0.12
木片セメント板		0.5 ~0.7	0.15
炭化コルク		0.14	0.032

注 気乾状態, 20°Cにおける値.

3. 3. 6 光の透過

光の透過率は、投射エネルギーと透過エネルギーとの比で求められるが、光の波長により著しく異なる。また材の厚さが減少すると急に増加する。400 μ m以下の光はほとんど透過しないが、可視光線に対してはBeer'sの法則が成立する。

$$\log(I_0/I) = k t$$

ここで、 I_0 : 投射光度、 I : 透過光度、 t : 木材の厚さ、 k : 定数（波長200~2,000 μ mの範囲では25~34である）、 k 値は比重、材の色によって変化する。

図6に光の波長と透過率の関係を、材の厚さ（インチ）別に示した。

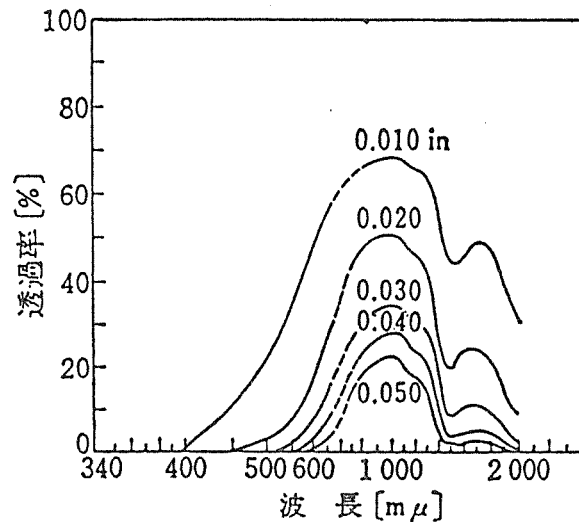


図6 厚さが異なる場合の波長と透過率の関係（試料：ポンドローサマツ）

3. 3. 7 むり込み

実際の構造物では、材全面に荷重が作用することはまれであり、材の局部に荷重が加わるのが普通である。この場合の圧縮変形をむり込みといい、その比例限度をむり込み比例限度と呼ぶ。むり込みは、被圧材の材料条件、加圧材の材質、形状、それらの位置関係により異なる。一般にむり込み比例限度は、全面加圧の時最低値を示し、余長が大きくなるほど増大するが、正方形断面の場合には余長の長さが高さの1.5倍以上になるとほとんど変化しなくなる。荷重方向による差は、針葉樹材では、

まさ目方向 > 板目方向 > 45度方向

広葉樹材では、

まさ目方向 > 板目方向 = 45度方向

である。表9に樹種別、各種の加圧条件の違い、方向別によるむり込み比例限度を示す。

表9 各種の加圧条件によるめり込み比例限度力度

樹 種	年輪幅 (mm)	含水率 (%)	比重	縦圧縮 強さ (kg/ cm ²)	余長のある場合			端末加圧の場合			全面加圧の場合		
					R (kg/ cm ²)	T (kg/ cm ²)	45 (kg/ cm ²)	R (kg/ cm ²)	T (kg/ cm ²)	45 (kg/ cm ²)	R (kg/ cm ²)	T (kg/ cm ²)	45 (kg/ cm ²)
スギ	6.0	14.0	0.30	284	36	29	21	27	22	15	27	17	10
エゾマツ	3.5	16.0	0.39	291	35	29	20	—	—	—	27	20	7
アカマツ	2.0	14.0	0.46	411	59	52	38	46	38	25	38	29	17
ブナ	2.0	15.5	0.62	486	115	79	77	87	55	57	77	48	45
アビトン	—	15.0	0.69	562	86	57	51	76	50	—	45	32	30

3. 3. 8 摩 耗

耐摩耗性はテーパ型摩耗試験機を用いて測定した厚さ摩耗量の大小で表されるが、実際に使用される場合には、かなり経験的な判断に頼っていることが多く、特別に数値化された基準はない。しかし、あえて耐摩耗性の基準を設定するとすれば、少なくともスギ材、ヒノキ材、ベイスギ材、ベイマツ材など、特別な支障はないようであるから、これらの樹種の耐摩耗試験データ以下の数値であれば、実用上支障がない基準として一応の設定が可能かと考える。なお、摩耗量は比重の大きな樹種の方が小さい傾向があり、摩耗量と木材の比重の関係は、次式で示される。

$$d = 14.30 \times r^{-1.435} \text{ (柾目)} \quad d = 13.29 \times r^{-1.756} \text{ (板目)}$$

ここで、d : 摩耗量、r : 比重。

3. 3. 9 摩擦係数

ふたつの物体が互いに接して運動しようとするとき、これを阻止しようとする力が働く。この力を摩擦力という。摩擦力と接触面で物体に作用する垂直力の比を摩擦係数という。物体がまさに動き始めようとするとき、摩擦力は最大となるが、この時の摩擦係数を静摩擦係数という。また物体が相対運動しているときの摩擦係数は静摩擦係数よりも小さく、これを動摩擦係数と呼ぶ。摩擦係数は材料の組み合わせ、摩擦面の荒さ、潤滑油有無、滑り、転がりなどにより非常に値が異なる。潤滑面の摩擦係数は乾燥面のその1/2~1/10である。木材の鋳鉄に対する動摩擦係数は木口、板目、まさ目を問わず0.09~0.25であり、乾燥したカシ同志の静摩擦係数と、動摩擦係数はそれぞれ0.62、0.48程度である。

表10 各樹種の摩耗量測定値（柁目で100回転目）

樹種	摩耗面	比重	厚さ摩耗量 〔μ〕 d(100~500)	樹種	摩耗面	比重	厚さ摩耗量 〔μ〕 d(100~500)	樹種	摩耗面	比重	厚さ摩耗量 〔μ〕 d(100~500)
アカマツ	R	0.48	52~174	ブナ	R	0.58	39~137	タブノキ	R	0.52	62~263
	T	0.46	57~207		T	0.58	35~145		T	0.51	73~314
エゾマツ	R	0.36	79~275	ハンノキ	R	0.49	41~171	トチノキ	R	0.50	47~134
	T	0.37	84~339		T	0.47	53~195		T	0.51	50~169
ヒメコマツ	R	0.41	72~319	セン	R	0.55	32~116	ヤチダモ	R	0.68	28~101
	T	0.37	91~411		T	0.52	33~139		T	0.66	34~138
ヒノキ	R	0.39	75~285	ハルニレ	R	0.53	42~175	ヤマザクラ	R	0.57	39~148
	T	0.40	92~357		T	0.58	39~164		T	0.56	39~148
ヒノキアスナロ	R	0.47	63~271	ホオノキ	R	0.47	57~213	アビトン	R	0.73	25~
	T	0.46	77~324		T	0.49	58~225		T	0.74	28~
イチイ	R	0.50	43~169	イスノキ	R	0.91	21~91	ジョンコン	R	0.52	40~
	T	0.48	57~258		T	0.88	23~94		T	0.52	57~225
カラマツ	R	0.57	37~142	イタヤカエデ	R	0.63	27~116	カブール	R	0.71	30~
	T	0.54	62~215		T	0.61	22~92		T	0.72	34~
カヤ	R	0.52	50~203	カツラ	R	0.48	55~195	ラミン	R	0.67	31~
	T	0.50	49~190		T	0.49	59~203		T	0.69	30~112
クロマツ	R	0.57	52~200	ケヤキ	R	0.66	22~98	レッドラワン	R	0.58	37~153
	T	0.61	44~194		T	0.64	27~144		T	0.58	38~
モミ	R	0.42	46~195	キリ	R	0.25	121~370	チーク	R	0.61	48~209
	T	0.43	71~231		T	0.26	138~490		T	0.60	51~
サワラ	R	0.33	88~379	クスノキ	R	0.69	33~155	ウォールナット	R	0.67	28~120
	T	0.34	119~468		T	0.68	44~194		T	0.66	25~
スギ	R	0.39	74~275	マカンバ	R	0.70	31~128	ホワイトメランチ	R	0.54	51~
	T	0.40	69~251		T	0.67	24~125		T	0.54	55~232
トドマツ	R	0.42	84~322	ミズメ	R	0.67	27~130	サベリ	T	0.68	25~129
	T	0.43	90~335		T	0.71	24~128		バユール	T	0.45
トウヒ	R	0.41	77~257	ミズナラ	R	0.70	30~125	ブビンガ	T	0.97	15~58
	T	0.40	77~263		T	0.75	28~121		ダオ	T	0.68
ツガ	R	0.56	36~145	シナノキ	R	0.52	64~274	マヤビス	T	0.39	105~434
	T	0.57	40~151		T	0.52	66~285		ベルボック	T	0.49
アカガシ	R	0.94	17~81	シオジ	R	0.54	41~177	ブライ	T	0.43	83~334
	T	0.94	21~91		T	0.51	53~200		セプター	T	0.46
アサダ	R	0.72	26~96	シラカシ	R	0.96	16~77				
	T	0.74	27~113		T	1.00	15~73				

注 d(100~500) : 100回転, 500回転目の厚さ摩耗量 (テーパ型摩耗試験機).

3. 3. 10 弾性定数

弾性定数（ヤング係数）は物体が単位のひずみを生じるのに必要な応力を表し、物質の力学的性質を表す重要な定数である。弾性定数の逆数はコンプライアンス（ひずみ率）といい物体の変形のしやすさを表す。したがって、弾性定数が大きいことはコンプライアンスが小さいことになり、物体は変形しにくいことを意味する。

弾性定数は繊維飽和点以下では、含水率の増加とともにほぼ直線的に低下する。その低下割合は、曲げ弾性定数の場合含水率が1%増加するとともにヤング率は2%低下するといわれている。繊維飽和点以上の湿潤状態では、含水率に関係なく一定の値をとる。

したがって、湿潤状態のヤング係数は、気乾状態の70%程度となることが予想される。

表11に木材の曲げ弾性定数を示す。

表11 木材の弾性定数

樹種	比重	含水率 (%)	弾性率 ($\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$)			せん断弾性率 ($\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$)			ポアソン比			体積弾性率 ($\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$) K
			E_L	E_R	E_T	G_{LR}	G_{LT}	G_{RT}	ν_{LR}	ν_{LT}	ν_{RT}	
スギ	0.33	15.0	75	6.0	3.0	6.5	3.5	0.15	0.40	0.60	0.90	5.4
アカマツ	0.51	13.5	120	12.5	6.5	10.0	5.5	0.45	0.40	0.60	0.65	8.2
ブナ	0.62	14.5	125	13.5	6.0	10.0	6.5	2.0	0.40	0.50	0.65	7.2
ミズナラ	0.70	14.5	115	14.5	7.5	9.5	7.0	1.5	0.40	0.60	0.60	9.0
レッドラワン	0.53	16.0	132	10.2	5.2	6.6	4.9	1.2	0.39	0.61	0.62	6.2
シトカスプルー	0.38	13	119	9.2	5.1	7.7	7.4	0.39	0.37	0.47	0.44	5.0
ダグラスファー	0.59	9	167	13.3	9.2	12.0	9.3	0.81	0.43	0.37	0.63	11.6
バルサ	0.13	10	39	1.8	0.6	2.1	1.4	0.20	0.23	0.49	0.67	0.68
イエローポプラ	0.38	11	99	9.1	4.2	7.4	6.8	1.12	0.32	0.39	0.70	5.3
ビーチ	0.75	11	140	22.9	11.6	16.4	10.8	4.70	0.45	0.51	0.75	17.2

（林業試験場，1982：Hermon, R. F. S., 1948 から作成）

3. 3. 11 強度

木材の強度特性は、それをとりまく温度や、湿度のような環境の影響を強く受ける。一般には、温度、湿度の上昇によって、強度は低下するが、特に構造材料としては、湿度、すなわち木材の含水率が重要な意味を持つ。すなわち気乾状態の木材の含水率が増すと、含水率1%の増加に対して、強度は圧縮の場合6%、引張りの場合1.5%、曲げの場合4%の低下をきたす。建築基準法の許容応力度の扱いでは、水槽のように常時湿潤状態が想定される時には、示された許容応力度の70%の数値を適用するようになっている。含水率30%（繊維飽和点）以上＝湿潤状態では一定値を保つ。

建築基準法施行令に示された繊維方向の許容応力度（表13）は、表12の樹种群の基準強度値をもとに、基準強度のばらつき、木材欠点による低減、荷重継続時間、使用環境、寸法、

形状などの係数を勘案して決定されている。

表12 樹種群の基準強度値

(単位：kgf/cm²)

樹種		縦圧縮強さ	曲げ強さ	せん断強さ	
針葉樹	I	アカマツ, クロマツ, ベイマツ	450	800	90
	II	カラマツ, ヒバ, ヒノキ, ベイヒ	425	750	80
	III	ツガ, ベイツガ	400	700	80
	IV	モミ, エゾマツ, トドマツ, ベニマツ, スギ, ベイスギ, スプルース	350	650	70
広葉樹	I	カシ	550	1,100	160
	II	クリ, ナラ, ブナ, ケヤキ	430	850	110

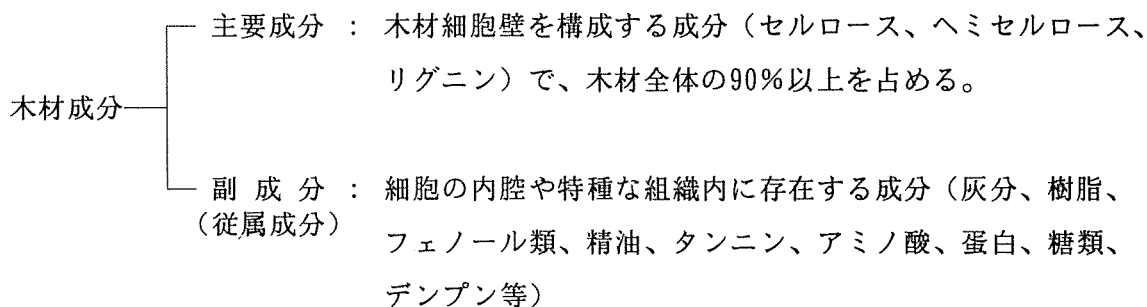
表13 木材の繊維方向の許容応力度

(単位：kgf/cm²)

樹種		長期応力に対する値				短期応力に対する値 <i>sf</i>	
		圧縮 <i>Lfc</i>	引張 <i>Lft</i>	曲げ <i>Lfb</i>	せん断 <i>Lfs</i>		
針葉樹	I	アカマツ, クロマツ, ベイマツ	75	60	95	8	長期応力に対する値の 2倍
	II	カラマツ, ヒバ, ヒノキ, ベイヒ	70	55	90	7	
	III	ツガ, ベイツガ	65	50	85	7	
	IV	モミ, エゾマツ, トドマツ, ベニマツ, スギ, ベイスギ, スプルース	60	45	75	6	
広葉樹	I	カシ	90	80	130	14	
	II	クリ, ナラ, ブナ, ケヤキ	70	60	100	10	

3. 4 木材の化学的性質

木材を構成する化学成分は以下に示すように、主要成分と副成分に分けられる。



(1)セルロース

セルロースは木材成分の約50%を占め、グルコース（別名ブドウ糖）が数千個直鎖状に結合したものである。1グルコース当たり3個の水酸基を持つために、部分的に一つのセルロース分子と隣接する他のセルロース分子との間で、様々に水素結合を生じ、結晶構造を作る。水素結合をしていない部分では非晶構造を作る。このように、セルロース分子鎖はいくつも集まって束になり、束はさらに互いに絡み合いセルロースマイクロフィブリルとして、木材細胞壁に強度を与えている。鉄筋コンクリートに例えるならば、セルロースが鉄筋部分に相当する。

(2)ヘミセルロース

ヘミセルロースは複数の成分より成り、広葉樹と針葉樹とでは化学的な構造及び存在量を異にする。主なヘミセルロースは広葉樹材ではキシランであり、針葉樹材ではグルコマンナンである。広葉樹キシランは広葉樹材に20~35%存在し、キシロースが約200程度結合した主鎖に所々アセチル基やグルクロン酸基の枝が出ている。針葉樹のグルコマンナンはグルコースとマンノースが混合し、100個以下に結合した主鎖に所々ガラクトースやアセチル基の枝が

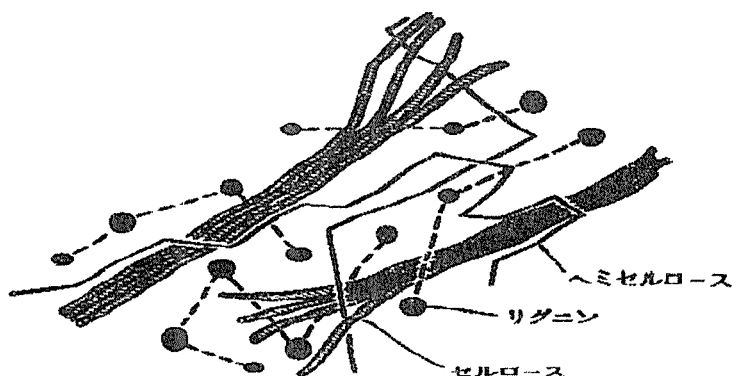


図7 木材細胞壁を構成する主要3成分

(善本知孝：木材のはなし、大月書店 p. 25, 1983より)

出たものである。これらのヘミセルロースはセルロースマイクロフィブリルの間隙を埋めるように存在する。ヘミセルロースは鉄筋コンクリートの鉄筋を結び付ける針金部分に相当する。

(3) リグニン

リグニンは木材の20～30%を占め、木材細胞壁中でヘミセルロースとともにセルロースマイクロフィブリルの間隙を埋めるように存在する。また、木材細胞間層（中間層）に高濃度で存在する。リグニンはフェノール性の化合物（コニフェリルアルコール等のフェニルプロパン類）が三次元網目状に複雑に結合したもので、針葉樹と広葉樹とでは構成単位のフェノール物質構造に違いがある。鉄筋コンクリートに例えるならば、リグニンはコンクリート部分に相当する。

(4) 副成分

中性溶媒（主としてエーテル・アセトン・エタノール・水など）に溶解する成分や水蒸気蒸留などで留出する揮発性成分で、いずれも主要成分よりかなり分子量が低く、種類も多い。また、各成分の含有量は樹種、樹齢、立地によって異なる。

3. 5 木材の腐朽と耐久性

3. 5. 1 劣化様式と代表的菌類

微生物による生物劣化には次の様式がある。

(1) 腐 朽

木材腐朽は、その主要成分が菌類生育の栄養源となり、比較的短期間に木材の組織構造が破壊されるものである。その結果、木材に激しい形態的損傷と強度低下が生ずる。担子菌類（いわゆるキノコ）により生じ、腐朽材が白色化するものを白色腐朽と呼び、褐色化するものを褐色腐朽と呼ぶ。これらの他に、非担子菌類（カビ）による軟腐朽がある。

褐色腐朽菌類は針葉樹材を好んで腐朽するものも多く、木造建築物にとって重要な害菌が多い。代表的なものとしてはイドタケ、ナミダタケ、キカイガラタケ、マツオオジ、イチョウタケ、オオウズラタケなどが知られている。

白色腐朽菌類は広葉樹の落枝上などによく見られ、ホシゲタケ、カワラタケ、カイガラタケ、スエヒロタケ、ヒイロタケなどが知られている。

軟腐朽菌類は土壌と接したり、比較的高い含水率の木材を腐朽し、ケトミウムやフィアロフォラなどが知られる。

(2) 変 色

木材の変色は、その主要成分は分解されず腐朽には至らないが、木材を変色して美観を損ねる。変色は木材内部におよぶが強度低下は生じない。着色原因は着色菌糸、分泌色素、フェノール成分の重合着色化などである。マツの青変やブナの褐変が代表例であり、ブナ

ノクワイカビやオウレオバシディウムなどが知られている。

(3)表面汚染

表面汚染は、湿った木材の表面で発生し、木材を様々に着色・汚染する。汚染は内部へは広がらないので、強度的にはほとんど問題とならないが、生育により衛生的に問題となることがある。ケカビ、クモノスカビ、アオカビ、コウジカビ、クロカワカビ、フザリウムなどが知られる。

(4)バクテリア類による分解

水中ではバクテリア類による木材分解も生ずる。細菌類は木材組織中の壁孔を分解するために、液体の浸透性増加を生ずる。また、木材の主要成分も分解されるが、経済的重要性については不明な点が多い。

腐朽、変色及び表面汚染について、その原因となる菌（科学的分類群）並びに木材の主要成分及び副成分の分解の程度を一覧表にまとめると、表14のとおりである。

表14 木材劣化様式と菌類の分類群及び木材成分分解の関係

劣化様式	科学的分類群				木材主要成分			副成分
	接合菌	担子菌	不完全菌	不担子菌	セルロース	ヘミセルロース	リグニン	澱粉・糖・アミノ酸・蛋白質
褐色腐朽		○			○	○	・	○
白色腐朽		○			○	○	○	○
軟腐朽	○		○		○	○	△	○
変色	○		○		—	—	—	○
表面汚染	○	○		○	—	—	—	○

- ：科学的分類群の欄にあっては該当することを、また木材の主要成分及び副成分の欄にあっては分解することを意味する。
- △：一部分解する。
- ・：ほとんど分解しない。
- ：分解しない。

3. 5. 2 木材腐朽菌類の生活環

木材の生物劣化の中で、最も恐ろしいのは激しい強度低下と形態損傷が生ずる腐朽である。これらの原因となる木材腐朽菌類は木材上で図8のような生活を行っている。

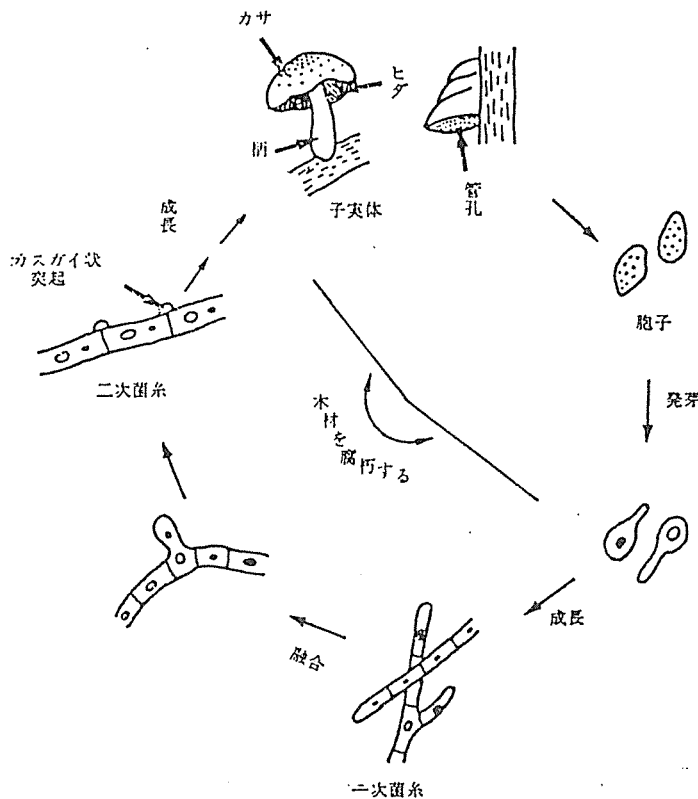


図8 木材腐朽菌類の生活環

(1) 胞子

菌類の体から離れて行く生殖細胞で、生育が止まった状態にあり、乾燥や高温に対して抵抗力がある。

(2) 菌糸

胞子は水を吸収して発芽し、一次菌糸を生ずる。この一次菌糸は木材を分解して栄養を取りながら成長を続ける。やがて性の異なる胞子から生じた菌糸どうしが出会うと融合して二次菌糸を作る。二次菌糸もまた木材を分解し、栄養源とする。

(3) 子実体

二次菌糸が成長を続け、最終的には子実体と呼ばれるキノコを作る。子実体の裏面には担子器とよばれる先端が膨らんだ構造を作る。この担子器上に通常4個の胞子が作られる。

3. 5. 3 腐朽条件

(1) 栄養

木材腐朽菌類やその他の劣化を生ずる微生物にとって、生育のための栄養源は、木材中の諸成分そのものである。

セルロースは腐朽菌類の良好な栄養源となる。これはセルロースを構成するグルコースの繋がり方を少し変えると、我々人間にとっても良い栄養源として知られる澱粉の一部アミロースとなることから容易に想像されよう。なお、セルロースの分解様式は、腐朽様式により異なっている。白色腐朽や軟腐朽では、通称セルラーゼと呼ばれる複合酵素によりセロビオースへと分解される。セロビオースはグルコースへとさらに加水分解される。生じたグルコースは菌体内部に吸収され、エネルギー源となり、また菌体成分の合成に用いられる。褐色腐朽におけるセルロース分解は不明な点が多く、急激な解重合には非酵素的な・OHラジカルの関与が考えられている。

ヘミセルロースもセルロース同様に糖類の重合体であり、腐朽菌類の良い栄養源となる。ヘミセルロースの分解には、各構成要素間の結合を加水分解して切断する酵素が必要である。広葉樹キシランの場合、キシラナーゼなどが作用して、キシロースやグルクロン酸を生ずる。針葉樹マンナンの場合、マンナーゼなどが作用して、マンノース、グルコース、

ガラクトースを生ずる。これらの加水分解酵素により生じた単糖類は菌糸体に取り込まれ利用されて行く。なお、褐色腐朽では・OHラジカルによる分解も生ずるものと考えられる。

リグニン自然界で主に白色腐朽菌類によって分解される。リグニンを構成するフェニルプロパン単位間の化学結合は多種多様であり、生分解の詳細は不明な点が多い。健全及び腐朽リグニンの比較などより、フェニルプロパン側鎖の酸化的解裂、脱メトキシル化、芳香核の水酸化及び核解裂を経て分解が進行すると考えられている。リグニン分解に関与する酵素としてはリグニンペルオキシダーゼ、マンガンペルオキシダーゼやラッカーゼが研究されている。

副成分の中でフェノール類やタンニン、精油等の抽出成分は生物の生育にとって毒物として作用する。これらの成分は樹種によって含量に違いがあり、耐朽性の違いの一因となっている。例えばヒバ材やタイヒ材（タイワンヒノキ）が高耐朽性であるのはヒノキチオール（別名βツヤプリシン）を含むからである。ヒノキ材はカジノール、クリ材はタンニン、チーク材はラパコノンを含み、高耐朽性の一因となっている。また、これらの抽出成分は、心材特に辺材に近い心材に比較的多量に存在し、心材が辺材よりも生物劣化を受け難い原因となっている。

一方、蛋白質やアミノ酸、糖類、澱粉等は生物の良好な栄養源であり、心材よりも辺材に多く含まれる。特に、蛋白質やアミノ酸、その他の窒素成分は腐朽速度に影響を及ぼす。腐朽菌類の菌糸体には数パーセントの窒素が含まれている。一方、木材は形成層や未成熟材を除くと、極めて少量の窒素しか含んでいない。木材では炭素対窒素の含有比が千対一を越えることも珍しくない。腐朽菌が木材を分解するために分泌する諸酵素は蛋白質であり、比較的高い窒素含量を持っている。腐朽菌類は窒素を得ることなしに木材を腐朽することはできない。従って、木材が使用される環境から窒素が供給される場合、例えば土壌中に埋め込まれた木材に土壌中の水可溶性窒素が入り込み、木材の窒素含量が高くなると腐朽速度はかなり速くなる。以上のように、辺材は生物劣化を受けやすくなっている。

(2)水 分

繊維飽和点（25～30%、平均28%）から飽水状態までの含水率で木材腐朽は生ずる。これは木材の腐朽には自由水の存在が必要なことを意味している。一般に腐朽の進行が速いのは、繊維飽和点よりも含水率が10%以上高い状態から150%までである。なお、時として乾燥している木材に腐朽が生ずることがある。これを乾腐朽もしくは乾腐と呼ぶが、代表的な原因菌類はナミダタケである。ナミダタケは菌糸がたくさん集まってできた菌糸束を作り、あたかも植物の根のようにして木材以外の湿った所から水を得て腐朽を生ぜしめる。

(3)温 度

木材腐朽菌類は、種類により生育に適する温度が異なるが、一般に生育可能な温度は0～50℃である。成長速度は生育適温まではゆっくりとしたカーブで上昇し、適温をすぎると

と急激に減少し死滅する。代表的な腐朽菌類の生育適温を低・中・高に大別すると表15のようになる。

表15 木材腐朽菌類の生育適温

	生育適温	腐 朽 菌 類
好低温菌類	24℃以下	イドタケ, ナミダタケ
好中温菌類	24~32℃	イチョウタケ、カイガラタケ、 オオウズラタケ、カワラタケ スエヒロタケ、マツオオジ
好高温菌類	32℃以上	キカイガラタケ、ヒイロタケ

(4)空気（酸素）

微生物は栄養物質を分解して、自己の体を作り繁殖する。言い換えるならば、栄養物が微生物によって、自身の体へと変化する。この変化にはエネルギーが必要であり、このエネルギーもまた栄養を取ることによって得ている。エネルギーを得る過程には、酸素を必要とする『呼吸』と、必要としない『発酵』の2とおりの方法がある。酸素を必要とする微生物を好気性微生物、必要としないものを嫌気性微生物と呼ぶ。木材腐朽菌類は、好気性微生物であり、酸素が無いところでは生育できず、従って木材を腐朽することはできない。

(5) その他

木材腐朽菌類の生育に適するpHは5~6.5の範囲である。木材のpHは樹種によって異なるが、およそ4.5~6.5の範囲にあり、木材腐朽菌類は十分生育可能である。褐色腐朽では腐朽の進行に伴いpHは低下するが、白色腐朽ではあまり低下しない。

一般に光は腐朽菌類の生育に影響を及ぼさず、子実体（キノコ）の形成に影響を及ぼすと考えられている。

3. 5. 4 耐朽性

木材が様々な劣化に抵抗して、どの位長持ちするのかその抵抗性を木材の耐久性と言う。耐久性を損なう劣化現象とその原因はおよそ表16のとおりである。

腐食性ガスや薬品によるものを除くと、最も激しい劣化は生物、特に腐朽菌類によるものである。腐朽菌に対する木材の抵抗性を耐朽性という。風化や摩耗は腐朽に比べるとはるかに影響が少ない。一般に、風化だけであると、100年間に0.5~1.27インチの厚さ現象が報告されている。スギ下見板については日当たりの良い南側で66年間に2.2mmの厚さ減少が報告されている。次に代表的木材（心材）の耐朽性について、表17に示す。

表16 劣化現象と劣化原因

劣化現象	劣化原因
風化 摩耗 腐食 腐朽 変色・汚染 虫害	紫外線、風雨、塵芥等 土砂、塵芥等 塩素ガス、亜硫酸ガス、化学薬品等 木材腐朽菌類、軟腐朽菌類 変色菌類、表面汚染菌類 シロアリ、ヒラタキクイムシ等

表17 木材（心材）の耐朽性

耐朽性区分	国産	米 国 産	熱 帯 産	シベリア産
大	ヒノキ、クリ ヒバ、ケヤキ ヤマザクラ	ベイヒ、ベイヒバ ベイスギ レッドウッド	チーク、タイヒ コキー バンキライ	
中	スギ、カラマツ ヒメコマツ カシ、ナラ	ベイマツ カラマツ	アピトン レッドラワン ダークメランチ	カラマツ ベニマツ
小	エゾマツ、ツガ トドマツ、モミ アカ・クロマツ トウヒ、ブナ	スプルース ストローブマツ ベイツガ ベイモミ	アンペロイ ラミン	エゾマツ トドマツ

3. 6 木材の耐薬品性

ここでは、木材の耐薬品性、及び飲料水の消毒に用いられている塩素殺菌剤に対する木材の抵抗性について述べる。

3. 6. 1 耐酸性及び耐アルカリ性

図9は、木材を各種酸で処理した場合の曲げ強度残存率を示している（右田伸彦：木材化学、産業図書、1950、P.233-241より作図したもの。）。

表18は、数種の酸類に対する木材及び金属材料の抵抗性を示す。

図9 酸処理と曲げ強度残存率

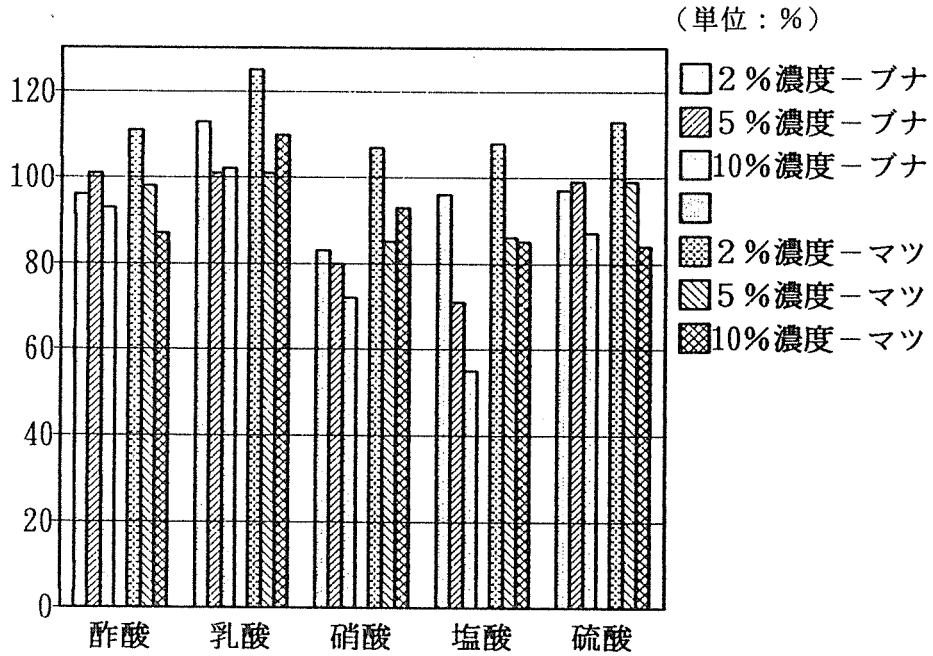


表18 各種材料の耐酸性

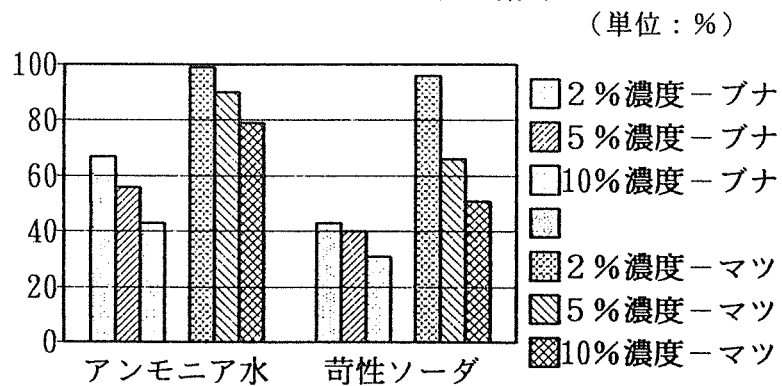
		木 材	スチール	ステンレス	アルミニウム
有機酸	蟻酸	良好	使用不可	乏しい	使用不可
	酢酸	優れる	使用不可	乏しい	優れる
無機酸	10%塩酸	優れる	使用不可	使用不可	使用不可
	10%硫酸	優れる	乏しい	良好	乏しい

(National Wood Tank Institute Technical Bulletin 758, Wood Tanks, 1975より)

これらの図表から分かるとおり、木材は酸類、特に有機酸類に対して高い抵抗性を持っている。また、低温では無機の鉍酸類に対しても抵抗性に富む。

一方、アルカリに対しては幾分抵抗性が低下する。図10は、アルカリ処理による木材の曲げ強度残存率を示す。

図10 アルカリ処理による強度残存率



木材が酸よりもアルカリに弱いのは、木材を構成するセルロースやリグニンが酸に対して抵抗性であるのに比して、ヘミセルロースやリグニンはアルカリと反応しやすく、一部溶解することによる。

なお、アルカリでもpHが10以下の強度では木材はほとんど分解されない。また、広葉樹のヘミセルロースは針葉樹のよりもアルカリに溶解しやすいことから、一般に針葉樹は広葉樹よりもアルカリに対する抵抗性に富む。

ある種の塩類は防腐や防火の目的で木材に注入して使われる。このことから分かる通り、一般に木材の耐塩類性能は高い。

なお、アルコールなど有機溶媒に対しても、常温常圧下では木材を構成する主要成分の抵抗性は極めて高い。

3. 6. 2 塩素殺菌剤に対して

飲料水には細菌類（特に病原性の細菌）に対して迅速な殺菌効果を示すことから塩素消毒が行われている。また、飲料水槽の保守管理の上から消毒剤が水槽に直接使用されることも十分に想定される。しかし、塩素殺菌剤に対する木材の抵抗性などについてはほとんど報告がない。そこでパルプ漂白における知見をもとに、塩素殺菌剤と木材の抵抗性について考えてみた。

塩素は水中に溶けた場合、 $Cl_2 + H_2O = HOCl + H^+ + Cl^-$ の反応を生ずる。この反応における平衡は、周囲の水素イオン濃度によって左右どちらかへ移る。つまり周囲のpHによって表19の様に組成が異なる。

表19 水中での塩素の存在状態

pH 2 以下：大部分元素状塩素
pH 2 ～ 3：元素状塩素及び次亜塩素酸
pH 4 ～ 6：大部分次亜塩素酸
pH 7 ～ 9：大部分次亜塩素酸及び次亜塩素酸塩
pH 9 以上：大部分次亜塩素酸塩

(林業試験場編：木材工業ハンドブック、丸善、1973、P. 886)

塩素と有機物との反応は水素原子と塩素原子の置換反応、二重結合への塩素の付加、酸化などである。次亜塩素酸の場合、特にアルカリ下では酸化反応が主となる。木材の構成成分の中で、リグニンや着色性抽出成分の酸化分解と溶出が生ずる結果、木材は白く漂白される。これは塩素殺菌剤によって、木材が劣化する可能性を示している。しかし、このような木材に対する分解反応は、極めて高い薬品濃度下に行われる。一方、水中での殺菌効果は、残留塩素が0.1～1 ppm の濃度で効果が発揮される。この濃度は極めて低いものであり、したがって、殺菌の目的で行われる塩素消毒では木材はほとんど劣化しないと考えられる。

4. 設計及び構造

木槽の設計には、静荷重及び地震時の変動水圧による荷重を加算し、それらの合力に対して、木槽各部に発生する応力が、材料の許容応力以内に収まるようにすることが必要である。

4. 1 設計上の留意点

4. 1. 1 変動水圧

変動水圧の計算は、建設省住宅局建築指導課監修「建築設備耐震設計・施工指針」によることを原則とする。なお、さらに詳細については、(社)強化プラスチック協会発行の、「FRP水槽構造設計計算法(増補改訂版)」を参照するとよい。

4. 1. 2 耐震設計における係数

建設省住宅局建築指導課監修「建築設備耐震設計・施工指針」に準ずる値を用いることを原則とする(表20参照)。

4. 1. 3 その他荷重条件

- ①積雪：各地方の設定積雪値を用いる。
- ②風圧：塔槽類に準ずる。
- ③天端への人の荷重：個々に設定する。

4. 1. 4 許容応力

木材については日本建築学会「木構造計算基準」、また鋼材等については建築基準法施行令等によることを原則とする。

4. 2 構造上の留意点

木槽の基本構造は建設省住宅局建築指導課監修「給排水設備技術基準・同解説」によることを原則とする。

[解説]

槽構造は、構造強度、価格、耐久性、及び維持管理に影響を及ぼす。木槽では、搬入・揚重・補修・解体・移設の面で有利なロックダウン方式による円筒形、楕円筒形または角形が主である。接合方法は、前2者では本核接合した側板を丸鉄輪と締め金具とで締め付けるのに対して、後者の基本形は校倉で、相対する側板をボルト・ナットを用いて緊結する。円筒形は強度及び価格の面で優れている。角形は限定された空間を有効に利用する点で優れて

表20 建設設備耐震設計施工指針に掲げる荷重及び外力

応力の種類	荷重及び外力について想定する状態	一般の場合	建築基準法施行令(以下「令」という。)第86条第2項ただし書の規定によって特定行政庁が指定する多雪区域における場合	備考
長期の応力	常時	G + P	G + P + S	
短期の応力	積雪時	G + P + S	G + P + S	
	暴風時	G + P + W	G + P + W	水又はこれに類するものを貯蔵する屋上水槽等にあつては、この重量を積載荷重から除くものとする。
	地震時	G + P + K	G + P + S + K	

注)この表において、G、P、S、W及びKは、それぞれ次の応力（軸方向応力、曲げモーメント、せん断応力等の各をいう。）を表すものとする。

G：屋上水槽等及び支持構造部の固定荷重による応力

P：屋上水槽等の積載荷重による応力

S：令第86条に規定する積載荷重による応力

W：風圧による応力

この場合において、風圧は、次のイによる速度圧に次のロに定める風力係数を乗じて計算した数値とするものとする。ただし、屋上水槽等又は支持構造部の前面にルーパー等の有効なしゃへい物がある場合においては、当該数値から当該数値の1/4を越えない数値を減じた数値とすることができる。

イ、速度圧は、令第87条第2項の規定により計算すること、この場合において「建築物の高さ」とあるのは、「屋上水槽等又は支持構造部の地盤面からの高さ」と読み替えるものとする。

ロ、風力係数は、令第87条第4項の規定に準じて定めること。ただし、球形又はこれに類する形状の屋上水槽等にあつては0.5とするものとする。

K：地震力による応力

この場合において、地震力は、特別な調査又は研究の結果に基づき定める場合のほか、次の式によって計算した数値とするものとする。ただし、屋上水槽等又は屋上水槽等の部分の転倒、移動等による危害を防止するための有効な措置が講じられている場合にあつては、当該数値から当該数値の1/2を越えない数値を減じた数値とすることができる。

$$P = K w$$

この式において、P、K及びwは、それぞれ次の数値を表すものとする。

P：地震力（単位：kg）

K：水平震度（令第88条第1項に規定するZの数値に1.0以上の数値を乗じて得た数値とする。）

w：屋上水槽等及び支持構造部の固定荷重と屋上水槽等の積載荷重との和（令第86条第2項ただし書の規定によって特定行政庁が指定する多雪地域においては、更に積雪荷重を加えるものとする。）（単位：kg）

いるが、接合部からの漏水の危険性が高く、構造上補強材を必要とし、また槽内部に多数のボルトを配置する必要があるために清掃がしにくいこと等課題が多い。

なお、木槽では、保温構造並びに防露及び結露受け構造は、通常使用状態では特に配慮する必要はない。

4. 3 部材構成法

①側板

板幅及び厚みがそれぞれ12～25cm及び5～10cmで、長さが木槽本体の全高とほぼ一致する寸法の板材で構成するのが一般的である。幅方向は本核加工し、さらに両側断面には木槽直径に応じて角度を付ける。

②底板

板幅及び厚みがそれぞれ12～30cm及び5～10cmで、長さが木槽直径から側板厚さを差し引いた寸法の板材で構成し、円形状に引き回されることが多い。ただし楕円木槽の場合は楕円状に、角槽の場合は四角状に加工される。底板の側断面は正確に面が合うように加工し、だぼ接合または本核接合する。清掃が容易なように水勾配をつける。

③丸鉄輪

口径12～21mmの丸鉄鋼を円曲げしたものが一般的である。これに締め金具をはめ、ラチェットレンチ、ギヤードレンチ、トルクレンチなどで側板を締め付ける。

④根太

幅が7～15cm、厚みが9～20cmの角材が使用されることが多い。

⑤蓋

3～4cmの厚みの板を本核（または雇い核）加工し、蓋棧及び側板木口面はステンレス釘などで打ちつける。屋外配置の場合には雨水流入防止のため、更に上面にステンレス板などを張り、水勾配をもたせ、軒先は木槽本体より5～10cm張出す。虫等の小動物進入を防ぐために、蓋材木口や軒先部分を覆ったり、またはシールする。

⑥蓋棧

幅が5～10cm、厚みが10～20cmの角材を70～100cmピッチで取り付ける。木槽直径7m程度から支持柱を設置することもある。

⑦マンホール

通常は一重マンホールであるが、屋外設置の場合には二重マンホールも使用される。

⑧内外梯子

内部、屋外ともに木製梯子が多く、梯子の支持は木製の角材またはステンレス金具などを使用する。

⑨締め金具

形状は一方締めと二方締めのタイプにわかれる。メーカーによって推奨する金具は異なる。

るが、締め付け力を丸鉄輪だけに伝える形状が良い。

5. 加工方法

5. 1 乾燥

5. 1. 1 乾燥の必要性

木材製品をつくる時には材料の乾燥は不可欠である。それを理解するためには木材と水の関係、つまり水が抜けるときにどのようなことが起こるのかを知っておく必要がある。

生材を大気中に放置すると乾燥して、大気との温度湿度と平衡を保つ含水率まで乾燥する。このときの含水率を平衡含水率という。日本での平衡含水率は15%程度であり、この時の含水率を気乾含水率ともいう。木槽の場合には、水と接する内側はかなり高い含水率状態にあるが、桶の外側は空気に接し、ほぼ気乾含水率に近い平衡含水率となる。

木材は含水率が変化すると収縮（膨張）する性質がある。また断面の違い、例えば半径方向、接線方向によって収縮の程度が異なる性質がある（収縮異方性）。収縮異方性があるため木材は乾燥すると様々に変形する（図11）。

また木材の収縮は含水率がおおよそ28%以下で始まる。この28%は繊維飽和点（F S P）といって、木材を構成する分子のうち水と結合できる部分がすべて水と結合した状態であるとされている。これ以下の含水率では、乾燥に伴い木材と結合していた水分子（結合水）がはずれるため、その水分子の占めていた体積だけ木材寸法が減少する。一方、F S P以上の含水率では、水は細胞の内腔、細胞間層などに自由水として存在する。この場合には、含水率が増えると木材重量は増えるが木材の寸法変化がないため体積は増えないことになる。

したがって、木材が収縮して割れや狂いが問題となるのはF S P以下の含水率域である。前述のように木材製品は平衡含水率付近の含水率で使用されることが多く、しかも平衡含水率はF S P以下であるため当然収縮に伴う損傷が問題となる。

木材が乾燥して行く場合には、材の表面と内部では同じ含水率で乾燥していくことはない。通常表面が早く乾燥して低い含水率となるが、内部はなかなか乾燥して行かない。そこで、内部と表面で含水率が異なる状態となる。これを水分傾斜といい、木材の表面付近がF S P以下の含水率になり、水分傾斜が大きいと収縮による乾燥応力が問題となり、割れの危険性も高くなる。

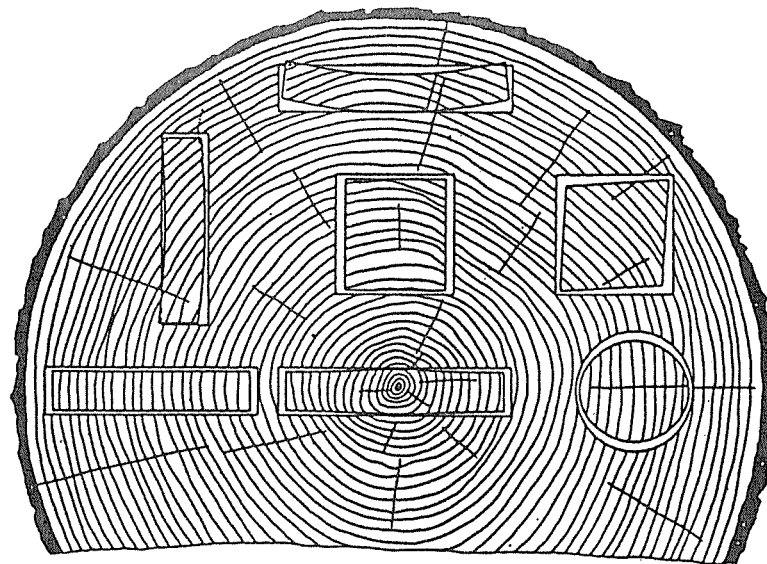


図11 木取り位置と収縮による断面の変形

5. 1. 2 乾燥の要件

木材乾燥は、時間、品質、乾燥コストを考慮して行うことが重要である。すなわち、①短時間で仕上げること、②損傷を少なく仕上げること、③目標値まで均一に仕上げること、④安価に仕上げることを常に考えなければいけない。ところが、「短時間」で仕上げることと、「損傷を少なく」仕上げることは、両立しにくい条件であり、さらに「安価で乾燥する」という条件が加わると複雑になる。したがって、最終製品に要求される性能、使用する木材の特徴などを勘案し、乾燥コストや設備の減価償却と製品の付加価値のバランスを考えながら、最適な乾燥方法・システムを決定する。前述の「時間」、「品質」、「安価」のうち、どの条件を優先させるかによって、導入すべき乾燥装置、乾燥技術も異なる。的確に判断して乾燥技術を選択することが重要である。

5. 1. 3 乾燥方法

(1)天然乾燥

天然乾燥は、屋外に木材を積み重ね、大気中の温度及び湿度、風並びに太陽の熱で乾燥する方法で、最も基本的な乾燥法である。

人工乾燥装置が多く使用されている現状にあるが、天然乾燥の果たす役割は大きい。含水率管理が厳しい家具用広葉樹材乾燥においては予備乾燥として、含水率を揃えるという観点から当然のこととして行われてきた。また、針葉樹構造材のように製品の付加価値の低い材の乾燥においては、天然乾燥を上手に組み入れることにより安価な乾燥が可能となる。天然乾燥は一見簡単のように思えるが、以外と基本が守られていない場合が多い。重要なポイントは土場の管理と積み重ね方法にある。天然乾燥における積み重ねの基本は以下のとおりである。

- ①狂い防止のため同一厚さの積木を上下方向に揃えて挿入すること。

- ② 棧積み上部は日射、風雨を直接受け品質劣化が著しいので屋根を設けること。
- ③ 基礎部は雨の跳ね返りなどをさけるため、50cm程度の高さから棧積みすること。
- ④ 腐朽カビ対策として土場の水はけをよくすること。
- ⑤ 風通しを考え棧積みの位置（土場配置）を決定すること。
- ⑥ 棧木の管理を十分にすること。
- ⑦ 雨ざらしを避ける保管法を考えること。
- ⑧ 乾燥経過を把握すること。
- ⑨ さらに季節別にどのくらいで乾燥するのかをあらかじめ調べて置くことも必要である。

(2) 蒸気式乾燥

通常、送風機が室内に設置されるタイプが多く内部送風機型（あるいはインターナルファン型、略してI F型）蒸気式乾燥装置とよばれるものが多く普及している。この装置を使用した乾燥は人工乾燥の中では、もっともポピュラーであり、乾燥スケジュールなど乾燥技術も最も確立されている。普及率も70%以上と高い。乾燥室の必要条件である温度、湿度、風の制御が十分に行えるため、現状では様々な乾燥要求に対応できる最もオールマイティーな乾燥装置である。

この乾燥装置は、重油、軽油、木くず焚きなどのボイラーによる蒸気を熱源として、これを加熱管に通し乾燥室内の空気を加熱する加熱空気乾燥である。乾燥室内の湿度調節は、乾燥室内に設置された増湿管、蒸着管に蒸気を通し、それらからの蒸気の噴射と吸排気筒のダンパー開閉によって行う。乾燥室内の温度、湿度の均一化を計るため、乾燥室上部あるいは側部に数台の送風機が設置される。乾燥室の規模は収容材積14m³前後のものが多い。また乾燥室一室ごとに貫流ボイラーがセットになったユニットタイプの据置式乾燥室もある。またコンクリート、コンクリートブロック造の造り付け多室タイプの構造などがある。また、材の搬入方法の違いにより台車方式またはフォークリフト方式がある。最近では各種自動制御を導入したものもある。

(3) 除湿乾燥

基本的には乾燥室内空気を除湿機（ヒートポンプ）内の凝縮機の廃熱及び補助ヒーターにより比較的低温（40℃前後）な加熱空気にして、送風機により乾燥室内を循環させる。材間を通過し木材水分を蒸発させて湿った空気は再度除湿機内の蒸発機で乾いた空気に変え、加熱循環しながら乾燥する。ヒートポンプを利用することが特徴の乾燥法である。通常、乾燥に要するエネルギーは除湿機、補助ヒーター、ファンの動力など電気でもかなわれる。ボイラーが要らず、リスクの少ない低温乾燥であり、基本的に除湿機の能力次第で機械まかせな乾燥であるため、新たに乾燥を始める場合には導入しやすい。

装置構成は気密性の良い乾燥室、除湿機、補助ヒーター、空気循環用送風機、制御盤などからなり、比較的シンプルな装置構成である。装置価格は蒸気式乾燥装置より安価である。

(4)高周波減圧乾燥

圧力缶体の中にベタ積みした材に一定間隔に電極板を挿入した台車を収容して、缶内空気を真空ポンプで50トル（大気圧の1/11の圧力）程度まで減圧して、乾燥を進める減圧乾燥である。減圧と同時に電極板に高周波（5～15メガヘルツ）を加えて、木材を誘電加熱して材温を高め乾燥を促進する。蒸気式、除湿式などの加熱空気による乾燥は材の表面から熱を加える外部加熱である。一方、高周波による内部加熱では、材内部を表面よりも高温にすることができるため乾燥にとって理想的な蒸気圧差をつけることができるため急速乾燥ができる。また断面が大きな材の乾燥が可能である。減圧下では水の沸点も低く40℃前後であり、低温乾燥にも係わらず材内の水分移動速度を大きくすることができる。乾燥に要するエネルギーは電力でまかなわれる。装置構成は高周波発信機、コンデンサ、水冷却装置群、台車、制御盤などからなる。装置は他の乾燥装置に比較して複雑で高価である。

(5)太陽熱利用乾燥

乾燥に必要なエネルギーを太陽熱から得て乾燥を行う装置で、最大の特徴は省エネルギーによる乾燥コストの低減を目指している点である。個々の装置には、太陽熱エネルギーを効率良く集熱、蓄熱するために集熱器、蓄熱槽、熱交換器、温湿度制御など特別の設備、機器を備えて人工乾燥装置の省エネルギータイプとしての利用を考えたアクティブソーラシステム、また壁体を透過体で囲み、ブロック、水、木材等の蓄熱材に直接太陽エネルギーを集熱、蓄熱し、その熱を自然放熱するパッシブソーラシステムがある。後者は天然乾燥と同様に気象条件に強く影響を受け、予備乾燥装置としての利用を主に考えたものになる。パッシブソーラシステムによる装置は設備費、乾燥コストが安価である。

以上の乾燥法を含めて表21に乾燥装置、乾燥前処理の得失、特徴を示す。

5. 1. 4 乾燥程度

木製水槽に使用される材料も、使用部位に合わせて適切な乾燥を施すことが重要である。乾燥程度（仕上げ含水率）を決定する基本的考え方は、木槽が設置される環境における平衡含水率を基準として決めることが望ましい。設置場所が屋外か屋内かにより、また屋内でも湿潤環境なのか、乾燥した環境なのかにより平衡含水率が異なるが、一般的には底板、側板、蓋板、蓋棧、根太とも20%程度の乾燥が必要であろう。腐朽防止の面からも含水率20%以下が乾燥の目安となる。

表21 乾燥法の長所・短所

	長 所	短 所	最大の特徴
天然乾燥	乾燥コストが安い 操作は簡単 低温であるため一般に品質はよい	乾燥時間が長い 割れ変色ができる場合もある 乾燥時間は天候に左右される 土地が必要である 乾燥条件の制御はできない	乾燥コストが安い
太陽熱乾燥	乾燥コストが安い 操作が簡単 低温乾燥であるため一般に品質はよい 設備費が安い	乾燥時間は長い 温度湿度など細かに乾燥条件を制御できない 乾燥時間は天候に左右される	乾燥コストが安い
除湿乾燥	乾燥コストは安い 操作が簡単 低温乾燥であるため品質はよい 少しの操作ミスなら大事に至らない 設備費が安い ボイラーが不要	乾燥時間は長い 細かな乾燥条件の設定はできない 寒冷地では壁体断熱に考慮が必要 補助加熱が必要になることが多い 除湿機ラジエーターの耐久性が短い 関係湿度が低くなると除湿能力が低下する	乾燥コストが安い
蒸気式乾燥	十分な乾燥条件の制御ができる 操作技術のノウハウの蓄積が多い 広範囲の樹材種に対応できる 熱源としての燃料の選択の幅がある 脱脂、調湿処理ができる	乾燥技術を要する 設備費は比較的高い ボイラー設備を必要とする	広範囲の樹材種の乾燥（汎用性）
減圧乾燥	乾燥速度が速い 操作自体は自動化されている 低温乾燥であるため品質は良い 厚材の乾燥に効果がある べた積みのため材の圧縮操作がしやすい	設備費、メンテナンスが高い 乾燥コストが高い 乾燥技術の蓄積は蒸気乾燥に比べ少なく 適性条件を見つけるため時間を要す 乾燥むらが比較的大きい	厚材乾燥に向く 急速乾燥
マイクロ波乾燥	形の不定なもの、厚材の乾燥に向く 乾燥速度が速い	乾燥コストが高い 実用的な製材乾燥用装置としては確立していない 設備費が高い 使用周波数に電波法の規制がある	急速乾燥 複雑な形状、厚材の乾燥
高温乾燥	乾燥速度が速い 乾燥コストは蒸気式の通常乾燥よりも安い 針葉樹構造材の乾燥が可能	変色、割れが出易い 乾燥室壁体の断熱、耐熱構造が必要	急速乾燥
熱板乾燥	乾燥速度が速い 狂い抑制効果がある 薄い材に適する	割れが出易い 材種が限定される 製材用装置としては確立していない 処理材積が少ない	狂い抑制 急速乾燥
(遠)赤外線乾燥	薄い材に適する 熱放射による非接触加熱 遠赤外線の場合には加熱効率が良い可能性もある	表面乾燥であるため厚材には適さない 製材用装置としては確立していない	薄材の乾燥
プリドライヤ	天然乾燥代替の意味、効果がある	乾燥むらは避けられない	予備乾燥
薫煙加熱処理	製材時のひき曲がりか低減し歩留まりが向上	乾燥装置、乾燥技術が不十分 あくまで乾燥前処理である	歩留まり向上

5. 2 化学処理

木材を長期間保存するためには、木材を保存剤で処理したり、腐朽し難い環境や状態を作ることが必要である。例えば、根太など木と接するコンクリート基礎部分には薄いゴム板などを敷き水切りを行い、その部分には防腐処理木材を使用する、側板と丸鉄輪との間に雨水を滞留させないように側板にはV字カットを行う、蓋と側板との接触面は、内外ともにシールしておく、等である。また、ペンキなど塗膜を形成する塗料による木槽外表面塗装は、塗膜包水を発生させるので実施しない。

保存剤は大別すると防腐剤、防虫剤に分けられる。現在使用されている主な防腐剤は表22のとおりであるが、水と接する部分及び浸潤等により貯水部分に薬剤が混入するおそれのある部分に薬剤を使用した保存処理を行ってはならない。

表22 木材防腐剤

油状防腐剤	クレオソート
油溶性防腐剤	フェノール類、ナフテン酸金属、有機ヨウ素化合物、キノリン系化合物、N-ニトロン-N-シクロヘキシルヒドロキシアミンのアルミニウム塩
水溶性防腐剤	クロム・銅・ヒ素(CCA)化合物、4級アンモニウム塩

また、防虫剤としては有機リン系、ピレスロイド系、カーバメイト系、ホウ素系等の薬剤があり、防腐と防虫の各剤を混合して使用することがある。

防腐薬剤を木材へ処理する方法としては、塗布、吹き付け、浸漬、加圧注入法などがある。スギ辺材を用いた野外試験によると表23のような耐朽性効果が期待される。

表23 スギ辺材による野外試験結果

無処理	耐用年数 2 年
クレオソート 3 回塗布	耐用年数 8 年以下
ホウ素化合物の加圧注入	耐用年数 8 年以下
ナフテン酸銅数回塗布	耐用年数 9 ～11年
硫酸銅加圧注入	耐用年数 15～17年
C C A 加圧注入	耐用年数 25年以上

5. 3 機械加工

5. 3. 1 側板

- ①材料それぞれの幅を揃え、各寸法に仕分けをする。
- ②側板の内面に当たる部分を反り刃で削る。
- ③三方プレナ機で側板材両端に雌核及び雄核加工を行うと同時に、側板外面に当たる部分を切削加工する。
- ④底板との接合部を加工する。側板材1枚毎に加工する方法と、木槽全体の側板を分割して各ブロック単位毎に加工する方法とがある。
- ⑤側板の長さ切断と四方を面取り加工する。側板材1枚毎に両端を一度に丸鋸で切断する方法と分割したブロック毎に切断する方法とがある。
- ⑥節止めする。割れた節や死節からの水漏れを防ぐために、それらの部位を除去しコウヤマキ等耐朽性の高い樹種の心材で埋める。

5. 3. 2 底板

- ①材の捻れや反り等を修正し、四面をプレナ加工する。
- ②底板材の合わせ面（正直）を、隙間の無いように加工する。
- ③だば接合または本核接合加工する。
- ④底板を組み上げて側板に応じた外形を描き、それらの外周を切断し、かんな仕上げをする。

5. 4 組立

建築設備の施工においては、労災等を除き、法令上の問題はないが、基本的には次の事項が求められる。

- ①施工上の合理化・省力化について配慮されていること。
- ②施工現場の好ましい作業環境の保全と防災について配慮されていること。
- ③建物と設備の耐用年数の違いに起因する将来の設備機材の刷新・交換について配慮されていること。

槽の組立は次の手順で行われる。

①根太

基礎の中心を割り出し、墨打ちし、その中心から均等割りて根太の位置決めを行い、設置する。

②底板

根太の上に、中央部分の底板材から順次端部の底板材へと並べる。全体を並べ終えた

後にそれをほぼ均等に2－3分割し、適当な間隔を設けて固定する。

③側板

最も作業のしやすい場所に最初の側板材1本を建て、中心方向にも円周方向にも垂直になっていることを確認し、下部と上部とを固定する。固定した側板材に対して他の側板材を順次同じ作業を繰り返して組立て、最後の1枚を固定し、次に荷締め機で仮固定し、始めの1筋の丸鉄輪を固定する。次に同じ作業の繰り返しを下部から行き、上部に移行して行く。

④ドレン口と給水ノズル口等ノズルを取り付ける。

なお、現場での組立施工作業に入る前に、次の事項の確認が必要である。

- ①基礎の各寸法が図面どおり仕上がっていること、
- ②コンクリート基礎の上面の高低差が5mm以内であること、
- ③作業に十分な壁面との空間があること、
- ④給水口等各取り出し口の位置。

6. 検査及び確認

木槽メーカーは、部材加工及び竣工時に、次の事項について検査及び確認を行うこと。

- ①部材には、腐れが無いこと。
- ②構造は給排水設備技術基準を満足すること。
- ③清掃・消毒後、水質が水道法水質基準を満足すること。
- ④液面制御機能が正常であること。
- ⑤接合部からの漏水が無いこと。確認は1週間程度満水放置後にする。この検査時に漏水の認められる場合には漏水防止作業を行い、さらに1週間満水放置し、検査する。

7. 維持管理

建築物の所有者等は、水質基準に適合した水を供給するために、ビル用木槽等給水に関する設備に関して、中央管理方式の空気調和設備等の維持管理及び清掃等に係る技術上の基準（昭和57年厚生省告示第194号）の「貯水槽の掃除」及び「貯水槽等給水に関する設備の点検及び補修等」に基づいて、適正に維持管理が行われるように体制の整備を図らなければなら

ない。

7. 1 貯水槽の掃除

ビル衛生管理法に基づく特定建築物及び水道法に基づく簡易専用水道では、1年以内毎に1回の定期的な掃除が義務づけられている。清掃業務はビル衛生管理法に基づき都道府県知事が物的・人的基準を満たしたものとして認める専門的な知識、技能を有する登録建築物飲料水貯水槽清掃業者に委託することが望ましい。清掃は水道水を用いて、高圧洗浄機等を利用して噴霧により吹き付けるかブラシ等を利用して行うこととされている。

高圧洗浄の場合には、木目の方向、材質の状態、接合部の状態に応じて、洗浄水の水量、水圧、噴射角度、噴射水形状を選択する必要がある。また、鉄製ワイヤーブラシの使用は、材面を破壊するため避けること。

なお、清掃・消毒後の水質が水道法水質基準を満足することを確認すること。

7. 2 貯水槽等給水に関する設備の点検及び補修等

木槽への有害物質等の混入による汚染及び付帯設備の作動不良による事故を未然に防止するために、設備の定期的な点検を行う必要がある。標準的な検査事項は次のとおりである。

- ①木槽の上部及び周囲の清潔保持並びに根太まわりの通気及び通風の妨げになる障害物等の有無。
- ②木槽の損傷、漏水等の有無。
- ③外部からの汚水等による汚染の有無。
- ④木槽内の異物混入の有無。
- ⑤色、濁り、沈澱物等の有無。
- ⑥マンホールの施錠の有無及び密閉状態等。
- ⑦オーバーフロー管及び水抜き管の排水口空間の有無。
- ⑧オーバーフロー管及び通気管の防虫網の損傷の有無。
- ⑨ボールタップ、満減水警報装置、フロートスイッチ又は電極式制御装置、揚水ポンプ等の作動状況。

木槽内部の詳細な点検は定期清掃の際に行い、損傷等の有無を確認する必要がある。

欠陥箇所等が発見された場合には、速やかに補修・清掃を実施すること。

なお、自家滅菌装置を使用する場合には、給水中の滅菌塩素が遊離してガス化し、槽内気相部が日常的に塩素にさらされることによって腐朽速度が速まるような環境になるのを防ぐため、給水中の遊離塩素濃度を必要以上に高くしないよう管理する必要がある。

屋外での長期間の供用後、木材表面に干割れが認められる場合には撥水処理を推奨する。木槽は水漏れが認められた場合でも直ちに破壊には至らず、漏水発生箇所の部分補修により期待する耐用年数までの使用が可能になる場合が多いため、速やかに漏水防止処置を依頼す

ること。また、地震、洪水の後等、木槽の破損や汚染が疑われる場合には速やかに点検を実施し、異常の有無を確認すること。