

第1編 木質構造の基礎知識

第1章 木質構造の概要

1.1 木材の性質

1.1.1 樹木の成長と年輪の形成

木材として利用するのは、主として樹木の幹の部分（樹幹）である。樹幹の形状・構造は樹種や樹齢、生育条件などによって異なるが、その構造はほぼ同一で、図 1.1 のような基本的構造を持っている。一般的に「樹は生きている」と言われるが、樹木（幹の断面）の中で生きていると言えるのは、木部と樹皮の間にある形成層と一部の柔細胞組織だけであり、その形成層における細胞分裂によって木材は年々肥大成長する。春から夏にかけて成長した細胞群が早材（春材）で、夏から秋にかけて成長した細胞が晩材（夏材）であり、この濃淡が年輪となる。

木材を、年輪の接線方向に切断したときに現れる面が“板目”、中心部から放射方向に切断したときに現れる面が“柾目”、丸太を輪切りにしたときに現れる面が“木口”である（図 1.2）。板目の板では、樹皮側が“木表”、髄側が“木裏”となる。

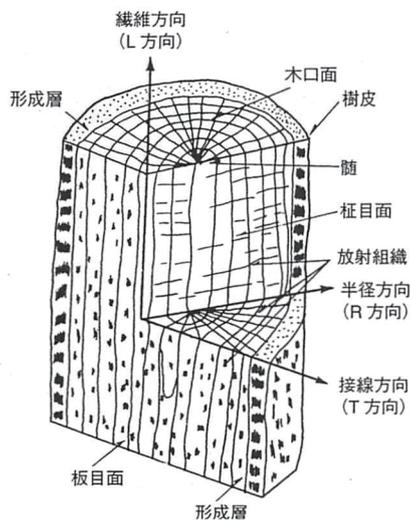


図 1.1 樹木の構造¹⁾

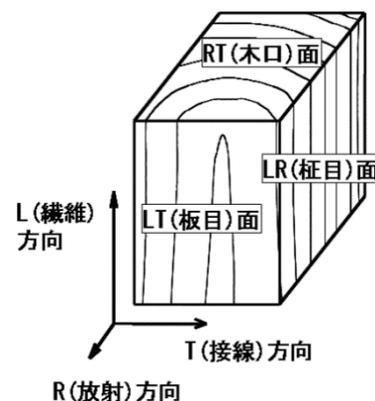


図 1.2 木材の直交3軸と3平面²⁾

1.1.2 針葉樹と広葉樹

図 1.3 には、針葉樹と広葉樹の顕微鏡写真を示した。針葉樹の場合、縦方向に並んだ細胞が仮道管で、半径方向に走っている細い筋が放射組織である。広葉樹の場合、孔のように見えるのが道管で、縦方向にならんだ細胞が木部繊維、半径方向に走っている細い筋が放射組織である。

木材の大きな特徴の一つが、樹種によって強度や耐久性などの特性が著しく異なる点である。それが木造建築を扱う際の難しさであり、面白さでもあるわけだが、木材の特性をよく知ることにより、正に適材適所な使い方ができるようになる。

表 1.1 には、木造建築によく使われる木材（構造材、造作材）を示した。広葉樹には構造用の製材規格がないこと等から、建築物の構造材として利用されるのは圧倒的に針葉樹が多い。広葉樹材は、密度の高さ（＝堅さ）を活かした込み栓やダボなどの接合具としての利用や、その高い耐久性能を活かした屋外での利用が多い。

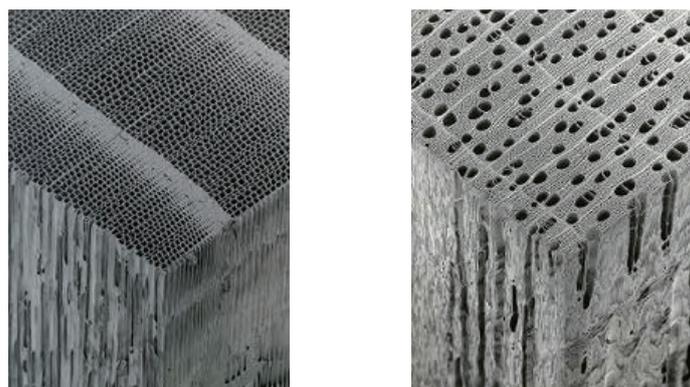


図 1.3 木材の顕微鏡写真（左：針葉樹（スギ）、右：広葉樹（マカンバ））³⁾

表 1.1 木造建築によくつかわれる木材一覧

| 種類 | 樹種 |
|--------|---------------------------------------|
| 国産針葉樹 | スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツ、エゾマツ、トドマツ、など |
| 外国産針葉樹 | ベイマツ、ベイツガ、オウシュウアカマツ、スプルース、ラジアータパイン、など |
| 国産広葉樹 | クリ、ケヤキ、ブナ、ミズナラ、ヤチダモ、シラカシ、など |
| 外国産広葉樹 | メランチ、アピトン、チーク、マホガニー、イペ、ジャラ、など |

1.1.3 辺材・心材と成熟材・未成熟材

木材が肥大成長する過程で、形成層で分裂した仮道管や木部繊維の細胞は、半年も経たないうちに生理機能が無くなる（＝生命活動を停止）。そして辺材の柔細胞が死ぬときに、貯蔵してあったデンプンなどを防虫や防腐などに役立つ物質に変える（図 1.4）。この現象が心材化で、心材が赤みを帯びているのはこの物質の色である（図 1.5）。また心材では水分を通す必要がないので、道管や仮道管では水が移動しにくくなるように組織が変化する。

若い樹木が成長する過程で、幹が細いうちは、幹全体を柔らかくして変形に対する吸収エネルギーを高めておかないと、風などの力によって簡単に折れてしまう。このため幹の中心部は木材細胞の長さが短く、それ故に弾性係数も低くなる。この部分のことを“未成熟材”という。逆に、ある程度幹が太くなると、樹幹を支えなければならないので、中心部の外側は弾性係数が高くなる。この部分を“成熟材”という（図 1.5）。

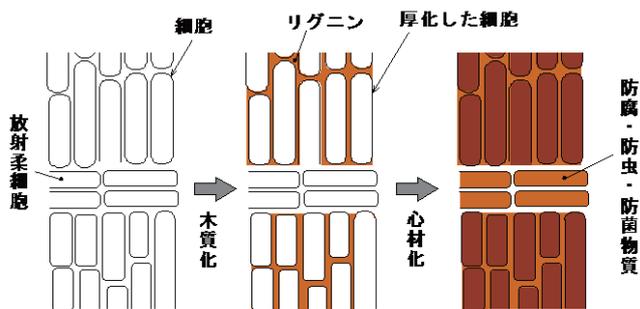


図 1.4 心材化の原理⁴⁾

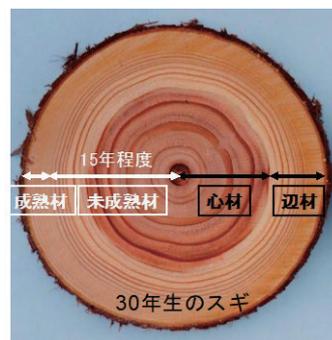
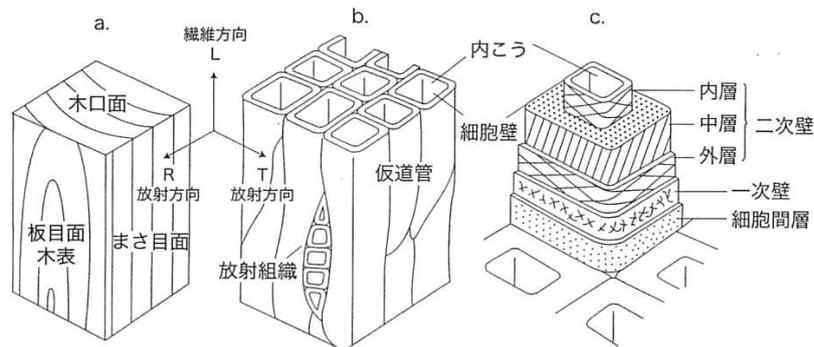


図 1.5 心材・辺材と成熟材・未成熟材²⁾

1.1.4 細胞構造と異方性

木材の基本骨格となる原料は、炭素と酸素と水素が結合してできたセルロースであり、それが何十本も纏まってマイクロフィブリルという束になっている。細胞壁は図 1.6 に示すように 1 次壁と 2 次壁（外層、中層、内層）からなるが、いずれの層でもマイクロフィブリルの配向（角度）が異なっており、特に最も厚い層（2 次壁中層）ではマイクロフィブリルが繊維軸に対して $10\sim 30^\circ$ の勾配で螺旋状に配列している。この最も厚い 2 次壁中層によって、木材の強度発現機構が特徴づけられている。ちなみに、細胞壁の比重は全ての樹種で 1.5 である。木材の比重は、含まれる細胞壁の量（空隙の量）によって決まる。

図 1.6 木材の微細構造⁵⁾

1.1.5 水分と物性

「木材中の水分の重量／木材実質の重量」を木材の“含水率”という。したがって 100% を超える場合もある。ある同一の温湿度条件下にあれば、どんな樹種の平衡含水率も概ね同じになる。特に大気中での平衡含水率を気乾含水率といい、日本では一般的に 12～15% 程度である。住宅で長い間使用されていた柱・梁・土台等の含水率を測定すると、土台で 16～17%、それ以外は 12～13% であったという報告もあり、構造材として用いる木材の乾燥程度は、概ね 15% 以下程度が望ましいことがわかる。

1.1.6 膨潤収縮

図 1.7 に示すように、木材中の水分には、細胞壁に吸着している“結合水”と、細胞内に自由に存在している“自由水”がある。自由水が全部無くなった状態を“繊維飽和点”といい、樹種に関係なく含水率 25～30% 程度である。木材は、繊維飽和点を境にして強度特性が大きく変化する。自由水が抜けるまでは強度性能に大きな変化はないが、結合水が減少すると強度が高くなる。含水率が低ければ低いほど強度が高くなるのである。また、繊維飽和点を境にして細胞壁の変形（くるい）が生じ始める。また、変形の量は方向によって異なり、おおよそ繊維方向(L)：放射方向(R)：接線方向(T)＝0.5～1：5：10 である。

木材は乾燥させてから使うのが常識だが、木材の乾燥に技術を要するのは、①結合水が木材中から簡単に出て行かない、②結合水が出て行く時に木材の変形を伴う、③さらにその変形が異方性をもつ、といった理由のためである。材料の大きさにより乾燥速度は異なり、割れの発生度合いなども変わってくる（図 1.8）。

乾燥方法には、天然乾燥、除湿乾燥、蒸気式乾燥（中温・高温）、高周波乾燥など様々な

手法があり、いずれも長所・短所がある。製材工場等では、乾燥させる材料やその断面等により様々に工夫した乾燥方法を採用している。

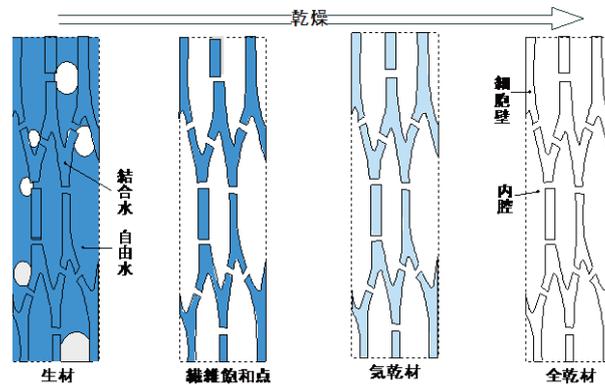


図 1.7 木材中の水分⁶⁾

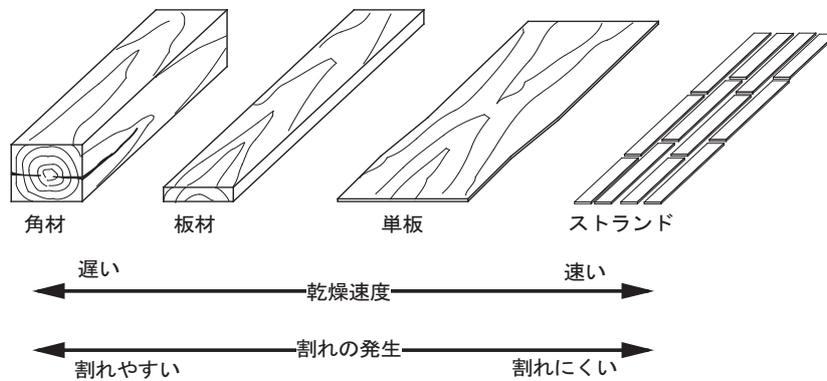


図 1.8 材料の大きさと乾燥の難易度⁶⁾

1.1.7 強度の異方性

繊維状のミクロフィブリルが長さ方向の力に対して強い抵抗力を示すのと同様に、細胞も繊維の長さ方向（縦方向）の圧縮力に対しては強く、横からの力に対してはつぶれやすく、弱い抵抗しか示さない。同様に、木材の強度は繊維方向(L)方向が最も高く、放射方向(R)方向や接線方向(T)方向ではその 1/10～1/20 程度となる。また、木材が T 方向や R 方向から部分圧縮力を受けるとめり込みを生じやすいため、木造建築物の構造設計においては、横圧縮を受ける部分の設計には注意が必要である。

1.1.8 強度のバラツキと寸法効果

木材の強度試験は JIS に定められている⁷⁾が、試験片は節などの欠点を含まない小さな試験片である。したがって、強度等は実大試験体よりも大きな値を示す。また、木材の強度やヤング率は、木材の繊維方向と作用する荷重の方向の組み合わせによって異なる。

木材は生物材料であるから、特性のバラツキから逃れることができない。したがって、強度特性のような数値を取り扱う場合には、常にバラツキがある（分布がある）ものとして考える必要がある。

実大材は無欠点小試験片に比べ、強度を低減させるような欠点である節や繊維の目切れ、あるいは乾燥による割れなどを含んでいる。このため、その強度は無欠点小試験片より小

さな値となる。この、材積が大きくなるほど強度が低下する現象を寸法効果という。無欠点小試験片の強度では引張>曲げ>圧縮の順になるのに対し、実大試験体では全く逆の傾向を示す（図 1.9）。国土交通省告示の基準強度の数値を見ても、曲げ>圧縮>引張となっているのは、この寸法効果に伴う欠点の影響が含まれているからである。

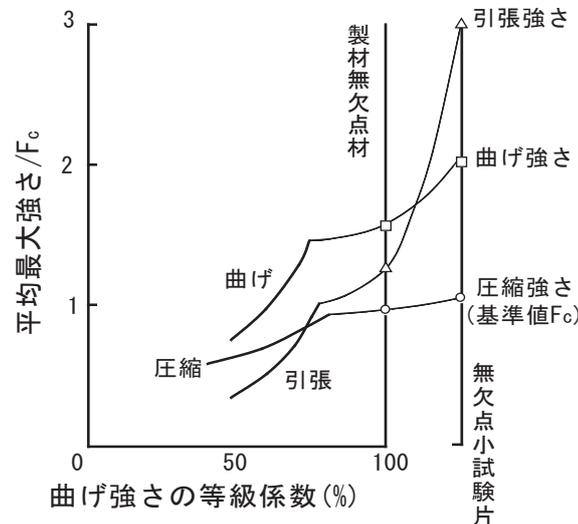


図 1.9 寸法効果の例⁸⁾

1.1.9 実大強度の下限值と許容応力度

実大材の許容応力度は強度の平均値ではなく、製品に含まれる弱い個体の値を基準にして決められる。なぜなら、破壊が生じやすいのは製品の中の強い個体ではなくて弱い個体だからである。この指標となるのが 5% 下限値 (95% 下側許容限界値) であり、基準強度を決める基本的な考え方である。

許容応力度とは「安全に使える単位面積あたりの外力の限度」である。現行基準では、建築基準法施行令第 89 条の中で基準強度から許容応力度を求める係数のみが示され、平成 12 年建設省告示第 1452 号あるいは平成 13 年国土交通省告示第 1024 号の中で基準強度を示している。ここでいう基準強度とは、上述した強度分布の 5% 下限値、あるいは旧施行令で導かれた材料強度である。

1.2 部材の特性

本節では、木質構造部材にかかる応力のうち、引張、圧縮、曲げ、せん断、めり込みの応力算定法と終局耐力の算定法について解説する。ここでは主に、木材に働く応力（材料の働く力を、負担する断面積で割った値）が、その材料の許容応力度（基準強度に荷重継続期間の影響を考慮した係数を掛けて求めた数値）を超えないように設計することにより、部材の安全性を確認する方法について解説している。

1.2.1 引張材

(1) 木材の繊維方向の引張

図 1.10 のように、木材の繊維に平行方向の引張を受ける部材の応力は、(1.1)式による。

$$\sigma_t = T/A \quad (1.1)$$

ここに、 T : 引張力 (N)

A_e : 有効断面積 (mm²)

σ_t : 引張応力度 (N/mm²)

引張応力度は、以下の条件を満たさなければならない。

$$\sigma_t \leq f_t$$

ここに、 f_t : 許容引張応力度 (N/mm²)

(2) 木材の繊維に直角方向の引張

木材の繊維に直角方向または傾斜する方向の引張は、極力これを避けることが望ましい。やむを得ず木材の繊維に直角方向または傾斜する方向に引張力が働く場合は、適切な補強等を行い、この方向に過大な応力が働かないようにすることが必要である。



図 1.10 引張力を受ける部材

1.2.2 圧縮材

(1) 木材の繊維方向の圧縮

図 1.11 のような圧縮応力を受ける部材の断面は (1.2)式によって算定する。圧縮材の場合、部材が細長くなると圧縮ではなく座屈で破壊に至ることがある (図 1.12)。そのため、部材の細長比に応じて座屈低減係数を考慮することとなっている。細長比は、材長と材せいから求めることができる。

$$N/A_e \leq \eta \cdot f_c \quad (1.2)$$

ここに、 N : 圧縮力 (N)

A_e : 有効断面積 (mm²)

η : 座屈低減係数

f_c : 許容圧縮応力度 (N/mm²)

座屈低減係数は、その有効細長比により以下の式



図 1.11 圧縮力を受ける部材

によって算定する。

$$\begin{aligned} \lambda \leq 30 & \quad \eta = 1 \\ 30 < \lambda \leq 100 & \quad \eta = 1.3 - 0.01\lambda \\ 100 < \lambda & \quad \eta = 3000 / \lambda^2 \end{aligned}$$

ここに、 λ ：圧縮材の細長比

圧縮材の細長比は、次式によって算出する。

$$\lambda = l_k / i$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = h / 3.46 \quad \dots \text{長方形断面の場合}$$

ここに、 l_k ：座屈長さ (mm) ……一般的に主要横架材間の距離

i ：座屈方向の断面二次半径 (mm)

I ：全断面積に対する座屈方向の断面二次モーメント (mm⁴)

A ：全断面積 (mm²)

h ：長方形断面の座屈方向の材せい (mm)

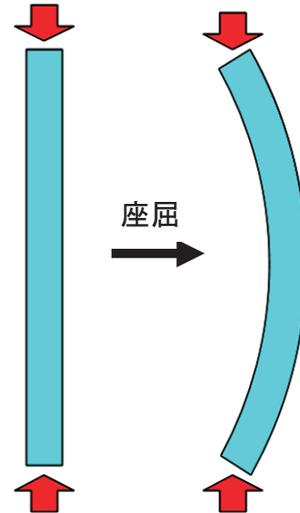


図 1.12 細長い材が圧縮応力を受けると座屈を起こす

(2) 材の接触面に対する圧縮（めりこみ）の検定

図 1.13 のように、木材の繊維直角方向に局部的に圧縮力が働くと、木材は部分圧縮によるめり込みを生じる。材の接触面に対し部分圧縮（めりこみ）を受ける部材の検定は(1.3)式による。

$$N / A \leq F_{c\theta} \quad (1.3)$$

ここに、 N ：圧縮力 (N)

A ：接触（めりこみ）面積 (mm²)

$F_{c\theta}$ ：木材の繊維方向と角度 θ をなす方向の許容めりこみ応力度 (N/mm²)

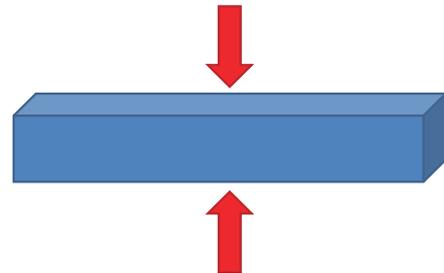


図 1.13 部分圧縮（めり込み）

1.2.3 曲げ材

(1) 曲げ

曲げ材は、部材内部に働く応力が引張や圧縮の場合よりも若干複雑で、部材断面形状の影響を受ける。特に材せいの影響を強く受けるので、注意が必要である。

図 1.14 のように単純曲げを受ける部材の縁応力は、(1.4)式により表される。

$$\sigma_b = M / Z_e \quad (1.4)$$

ここに、 M ：曲げモーメント (N・mm)

Z_e ：有効断面係数 (mm³)

σ_b ：曲げによる縁応力 (N/mm²)

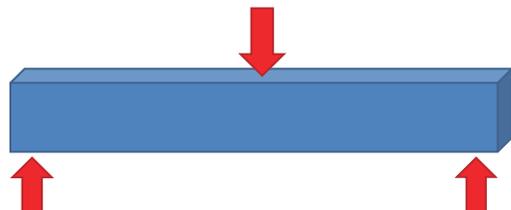


図 1.14 曲げを受ける部材

矩型断面の場合、断面係数 Z_e は下式による。

$$Z_e = b \cdot h^2 / 6$$

ここに、 b ：部材の幅 (mm)

h ：部材の有効せい (mm)

曲げによる縁応力は、(1.5)式の条件を満たさなければならない。

$$\sigma_b \leq C_f \cdot f_b \quad (1.5)$$

ここに、 f_b ：部材の許容曲げ応力度 (N/mm²)

C_f ：部材のせいの増加に伴う低減係数で、例えば構造用集成材の場合、表 1.2 による（前述の寸法効果の影響を受け、材せいが大きくなると曲げ強度は低下する影響にある）。

表 1.2 部材のせいの増加に伴う低減係数 C_f

| 異等級構成集成材 | | 同一等級構成集成材 | |
|---------------------|------|---------------------|------|
| 集成材の厚さ 方向の辺長(mm) | 係数 | 集成材の厚さ 方向の辺長(mm) | 係数 |
| 300 以下 | 1.00 | 100 以下 | 1.00 |
| 300 超 450 以下 | 0.96 | 100 超 150 以下 | 0.96 |
| 450 超 600 以下 | 0.93 | 150 超 200 以下 | 0.93 |
| 600 超 750 以下 | 0.91 | 200 超 250 以下 | 0.90 |
| 750 超 900 以下 | 0.89 | 250 超 300 以下 | 0.89 |
| 900 超 1050 以下 | 0.87 | 300 超 | 0.85 |
| 1050 超 1200 以下 | 0.86 | | |
| 1200 超 1350 以下 | 0.85 | | |
| 1350 超 1500 以下 | 0.84 | | |
| 1500 超 1650 以下 | 0.83 | | |
| 1650 超 1800 以下 | 0.82 | | |
| 1800 超 | 0.80 | | |

図 1.15 のように曲げを受ける部材に切り欠きを設けると、部材の断面係数が減少し、残存断面で負担する応力が増加する。特に、引張側に切り欠きがあるとその影響が大きいので注意が必要である。どうしても切り欠きを設けたい場合は、集成材なら材せいの 1/4 以下、製材は 1/3 以下とし、極力曲げモーメントの小さい箇所に設けることとする。

圧縮側に切り欠きがある場合： $Z_e =$ 正味断面係数 Z_0

引張側に切り欠きがある場合： $Z_e = 0.60 \times Z_0$ (切り欠きは材せいの 1/4 以下)

$Z_e = 0.45 \times Z_0$ (切り欠きは材せいの 1/3 以下)

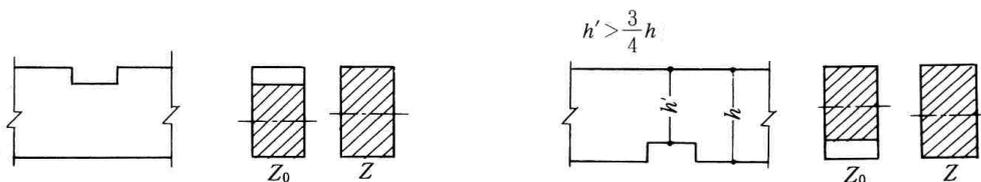


図 1.15 切り欠きを有する曲げ材⁹⁾

(2) 横座屈および横補剛

大断面ではりせいの大きい部材の場合、圧縮力により横座屈する可能性があるため、適切に横補剛を設ける必要がある。もしくは、横座屈の危険性を考慮して、予め許容曲げ応力度を低減させて設計する。

(3) せん断

曲げ材は、曲げ応力のほかにせん断応力に対するチェックも必要である。せん断が卓越すると、図 1.16 のように部材せいの中央付近で上下真つ二つにせん断破壊が発生する可能性がある。

曲げ材における水平せん断応力度は(1.7)式による。

$$\tau = \alpha \cdot Q / A_e, \quad (1.7)$$

ここに、 Q : せん断力 (N)

A_e : 有効断面積 = $b \cdot h$ (mm²)

τ : 水平せん断応力度 (N/mm²)

α : 断面形状により定まる値で、矩型断面の場合は 1.5

水平せん断応力度は、以下の条件を満たさなければならない。

$$\tau \leq f_s$$

ここに、 f_s : 許容せん断応力度 (N/mm²)

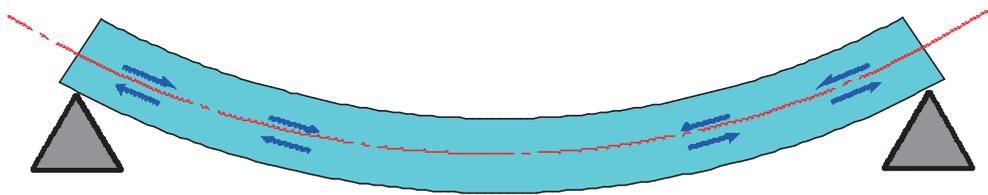


図 1.16 曲げによって生じるせん断応力

1.2.4 複合応力を受ける材

これまで述べてきたのは部材に単一の応力が発生する場合であるが、実際の建築物の中では複数の応力が発生することがある。そのような場合には、複合応力の検定を行うことにより安全性を確認することが必要である。

(1) 曲げと引張を負担する材

天井荷重を受ける陸ばりなどのように、曲げを伴う引張材の断面の算定には、(1.8)式を用いる。この場合、長期、短期の両応力について検討することが必要である。

$$\frac{M}{Z_e \cdot f_b \cdot C_f} + \frac{T}{A_e \cdot f_t} \leq 1.0 \quad (1.8)$$

ここに、 M : 曲げモーメント (N・mm)、 T : 引張力 (N)

Z_e : 有効断面係数 (mm³)、 A_e : 有効断面積 (mm²)

C_f : 材せいによる低減係数、

f_b : 許容曲げ応力度 (N/mm²)、 f_t : 許容引張応力度 (N/mm²)

(2) 曲げと圧縮を負担する材

小屋組の合掌や方杖付き柱などのように、曲げを伴う圧縮材の断面の算定には、(1.9)式

を用いる。

$$\frac{M}{Z_e \cdot f_b \cdot C_f} + \frac{N}{A_e \cdot \eta \cdot f_c} \leq 1.0 \quad (1.9)$$

ここに、 M : 曲げモーメント (N・mm)、 N : 圧縮力 (N)
 Z_e : 有効断面係数 (mm³)、 A_e : 有効断面積 (mm²)
 C_f : 材せいによる低減係数、 η : 座屈低減係数
 f_b : 許容曲げ応力度 (N/mm²)、 f_c : 許容圧縮応力度 (N/mm²)

1.2.5 わん曲部材

(1) 曲げ

わん曲部材の曲げ応力度は(1.10)式で算定する。

$$\sigma_b \leq C_f \cdot C_c \cdot f_b \quad (1.10)$$

$$C_c = 1 - 2000 \cdot (t/R)^2$$

ここに、 σ_b : 曲げ方向応力度 (N/mm²)
 C_f : 材せいによる低減係数
 C_c : 曲率半径とラミナ厚による低減係数
 R : わん曲材の中心線における曲率半径 (mm)
 t : ラミナ厚 (mm)

(2) 横引張

わん曲部材が曲げを受けると、繊維直交方向に引き裂く応力が発生し、横引張破壊を生じる危険性がある。せいが一定の矩形断面のわん曲部材が曲げモーメントを受けた時に半径方向に生じる最大応力度は(1.11)式による。

$$\sigma_r = \frac{3 \cdot M}{2 \cdot R \cdot b \cdot h} \quad (1.11)$$

ここに、 σ_r : 半径方向応力度 (N/mm²)
 R : わん曲部材の中心線における曲率半径 (mm)
 b : 断面の幅 (mm)、 h : 断面のせい (mm)
 M : 曲げモーメント (N・mm)

なお、 σ_r は以下の条件を満たさなければならない。

$$\sigma_r \leq f_{c90}、かつ、\sigma_r \leq f_{t90} = f_s / 3$$

f_{c90} : 木材の繊維に直角方向の許容全面圧縮応力度 (N/mm²)

f_{t90} : 木材の繊維に直角方向の許容引張応力度 (針葉樹では、許容せん断応力度(= f_s)の 1/3 の数値) (N/mm²)

1.3 木造建築の特徴

建築物の設計においては、建築計画の初期の段階で構造計画を立案する必要がある。構造計画を決定する因子はいろいろとあるが、基本的な要素は、鉛直荷重や地震力、風荷重といった外力に対して建築物がどのように対処するかという問題と、その建築物の用途・機能とのバランスをどのようにとるかという問題である。これに、内観や外観などの空間、芸術性が加わって構造計画ができあがる。

1.3.1 木造建築の破壊性状

木材の部材破壊は、めり込み破壊を除いて脆性的な破壊を生じることが多く、部材自体でのじん性を確保しにくい。このため構造物としてのじん性を確保するためには、接合部としてのじん性を確保することが望ましい。接合部の挙動は、使用するボルトやドリフトピンの径と長さの比やへりあき、間隔、本数に影響を受けて破壊性状が変化するため適切な設計が必要である。

1.3.2 部材接合部の剛性

鉄骨造の溶接や、鉄筋コンクリート造の打設による一体化と異なり、部材同士を接合具を用いて接合する集成材建築では、その接合部の性能が建物の性能に大きな影響を及ぼす。接合部の初期ガタ（滑り）や、ピン接合でも剛接合でもない半剛接合の剛性評価を適切に行うことが重要である。

1.3.3 面材の性能

床や壁に用いられる木質面材のせん断性能は、その面材の厚みやせん断弾性係数 G の影響よりもその面材を軸組に取り付けている接合具のせん断性能に大きな影響を受ける。このため、ブレース置換などでフレーム解析を行う場合には、剛性評価、耐力評価に十分な配慮が必要である。

1.3.4 変形

木造建築の部材設計においては、耐力に基づいて断面算定を行うよりも変形制限に基づいて断面算定を行う方が多いといってもよい。部材の変形にも、弾性変形だけでなく、クリープたわみやメカノソープティブといった木質材料特有の問題もあり十分な配慮が必要である。

1.4 木質構造の主な構造形式

木造建築物の主な構造形式は、表 1.3 のように分類でき、その構造的特徴を以下に示す。

表 1.3 木造建築の構造形式

| 構造形式 | | |
|---------------|-----------|-----------------------------|
| (1) 柱-梁構造 | 耐力壁付き軸組構造 | 壁倍率を有する耐力壁 大断面ブレース、厚板壁など |
| | 木質ラーメン構造 | |
| (2) 壁構造 | | |
| (3) 大屋根構造 | トラス、アーチなど | |
| (4) 併用構造（混構造） | | |

1.4.1 柱-梁構造

建築物では、まず、屋根や床、壁といった自重と積載荷重、積雪荷重を支持する必要がある。水平な床や屋根を支えるためには、一般的に柱-梁を用いた軸組構造が用いられる。木造住宅では、105mm 幅、120mm 幅といった小中断面の部材が用いられるが、スパンの大きい集成材建築等では大断面の部材を用いる必要がある。単一部材で梁せいが大きくなる場合には、小断面の部材を組み合わせたトラスや充腹梁、張弦梁といった組立部材を用いることもできる。また、階高・天井高などの制限により梁せいが十分に確保できない場合には、断面性能を向上させる代わりに、小さい梁を数多く架け渡すジョイント梁や2方向に架け渡す格子梁、厚板の部材を用いたマッシュホルツなどの架構形式を工夫することで要求性能を満足することもできる（図 1.17）。

木造建築では、鉛直荷重に対する検討としては、耐力だけでなく変形に対する性能が断面算定において支配的になる場合が多く、床や屋根に対するクリープなどの経年変化や床振動による居住性に対する検討もあわせて計画する必要がある。

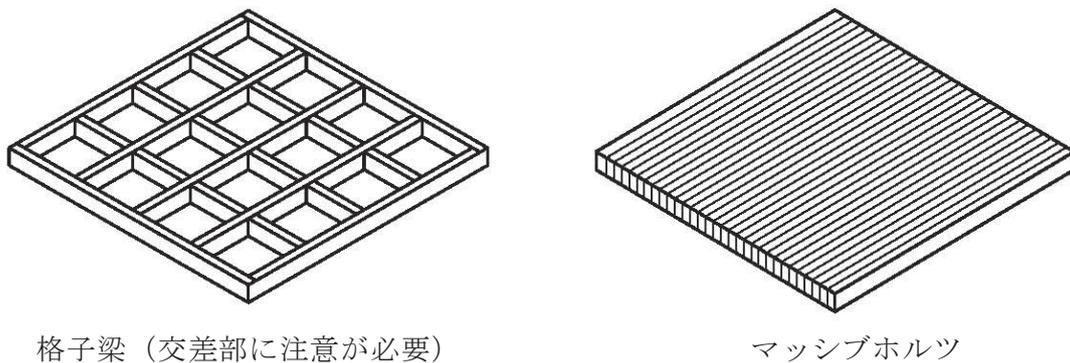
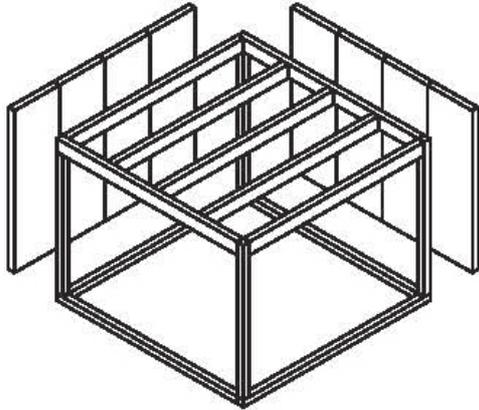


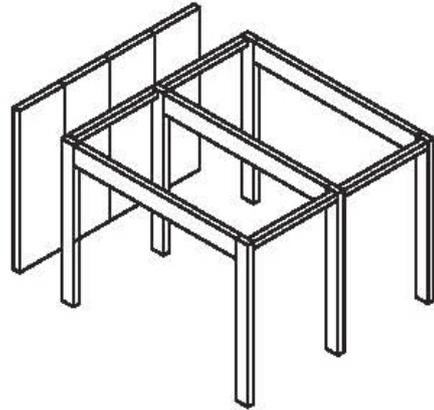
図 1.17 床架構形式

建築物では、鉛直荷重だけでなく地震力や風圧力に対しても安全性を確保することが重要であるが、柱-梁で構成される軸組構法の集成材建築では、水平力に対する抵抗要素によって、耐力壁付軸組構造と木質ラーメン構造の大きく2種類に分けることができる（図 1.18）。耐力壁付軸組構造は、柱-梁フレームに挿入された耐力壁を主な水平抵抗要素とす

る構造形式である。耐力壁としては、木造住宅の壁量計算に用いられる構造用合板などの木質面材を柱-梁に釘打したものと、軸材を用いたブレース、格子材などが対象となる。木質ラーメン構造は、柱-梁接合部のモーメント抵抗性能により水平力に抵抗する構造で、比較的大断面の部材と接合金物により半剛接合を形成する。



耐力壁付軸組構造



木質ラーメン構造 (1方向)

図 1.18 柱-梁構造

1.4.2 壁構造

鉛直荷重を、柱梁ではなく壁で支持する構造形式が壁構造であり、枠組壁工法や木質パネル構法はこの代表格である。面材を張ったパネルや厚板そのものの壁が柱の代わりに軸力を支持するとともに水平力に対してはせん断抵抗することになる。厚板の面材による壁と床を用いることができれば、壁式鉄筋コンクリート造のようなフラットスラブ構造やキャンティレバーの床版といった構造形式の木質構造建物も実現可能である (図 1.19)。近年開発が進んでいる CLT パネル構造はこの厚板面材を使った壁構造として徐々に普及している。

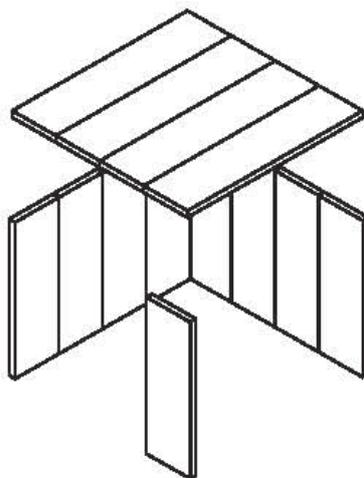
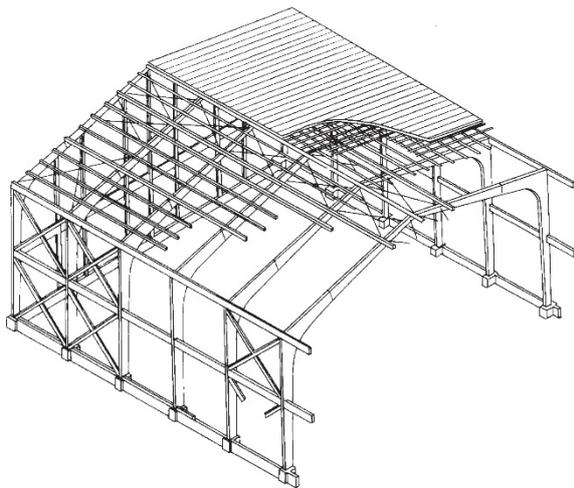


図 1.19 厚板面材による壁構造

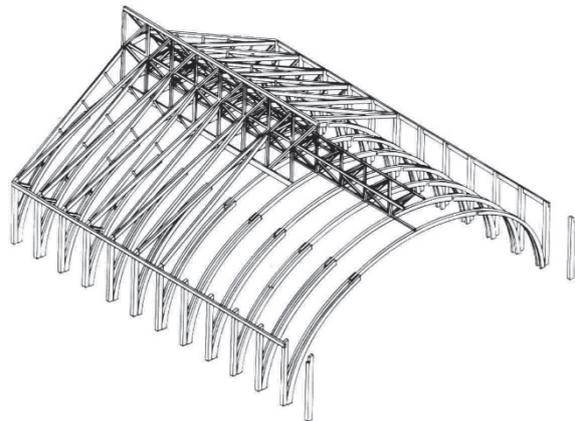
1.4.3 大屋根構造

これまでは法的制限もあり大規模な木造建築というと、体育館やドームといった大空間

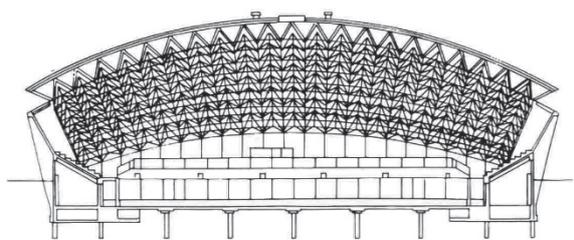
の屋根に集成材が用いられることが多かった。この場合、屋根を支える下部構造は、鉄筋コンクリート造や鉄骨造となるのが通常であったが、耐火木造建築が可能となったことで、下部構造も木造とすることも可能となる。この場合、上部構造の反力に抵抗することが必要になり、アーチ構造やドーム構造などスラストにより鉛直荷重時にも水平力が発生する場合には注意が必要である。大屋根の架構形式は、鉄骨造や鉄筋コンクリート造で用いられてきたトラス構造、吊構造、アーチ構造、ドーム構造、シェル構造、折版構造といったさまざまな構造形式が木造でも実現可能となっている（図 1.20）。すべての構造形式に共通して、自重に対する検討の他に、積雪荷重、積雪時の偏荷重に対する検討の他に、地震や大風による水平力や上下動に対する検討が必要になる場合がある。



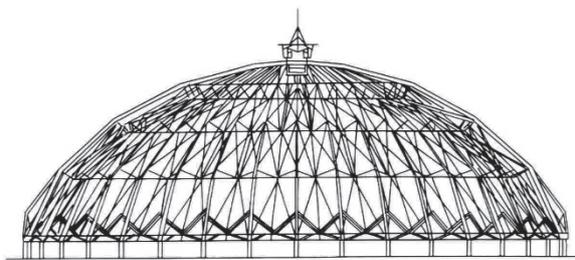
山型ラーメン構造



アーチ構造、トラス構造
(海の博物館)



立体トラス構造
(小国町民体育館)



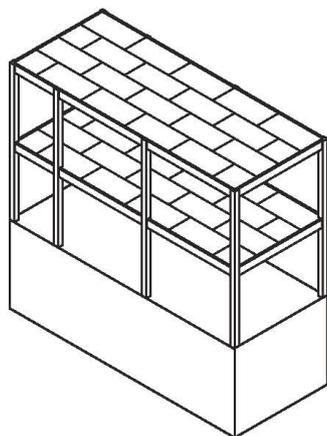
張弦構造
(出雲もくもくドーム)

図 1.20 大屋根構造

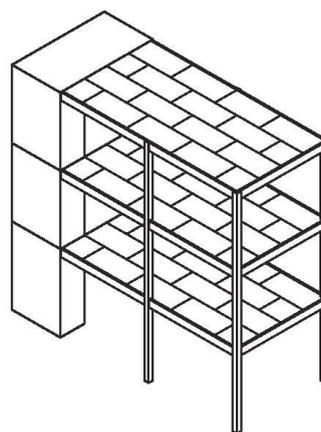
1.4.4 併用構造（混構造）

木造建築といっても建物規模、用途によっては計画上、他の構造材料と組み合わせることによって制限が緩和され、より魅力ある木造建築となる場合もあり、構造計画立案においては、併用構造の検討も欠かせない。併用構造には、他の構造との組み合わせ方により立面併用構造と平面併用構造の2種類がある（図 1.21）。立面併用構造は、建物の下層部

分を他構造、上層部分を木質構造とするもので、基礎構造からの連続性や、上層部の地震力に抵抗するための高い耐震性能が要求される。平面併用構造は、平面的に大きい規模の建物において、同一階に木構造と他構造を併用するもので、防火上の面積区画を形成することによって制限緩和を利用することができる点が木造建築としては効果が大きい。木質構造部分と他構造部分の間に構造的にエキスパンションを設けると個々の設計は簡単になるが、エキスパンション部分の寸法が大きくなり納まりに工夫が必要となる。



立面併用構造



平面併用構造

図 1.21 併用構造

参考文献

- 1) 木質構造研究会編：新・木質構造建築読本、井上書院、2012
- 2) 日本建築学会編：木質構造基礎理論、丸善、2010
- 3) 森林総合研究所 木材特性研究領域 組織材質研究室提供
- 4) 志村史夫：生物の超技術、講談社ブルーバックス、1999
- 5) 日本木材加工技術協会編：木材の基礎科学、海青社、1992
- 6) 林知行：プロでも意外と知らない<木の知識>、学芸出版社、2012
- 7) JIS Z 2101：木材の試験方法、日本規格協会、2009
- 8) Doyle and Markwardt: U.S.Forest Service Research Paper, FPL 64(1966), FPL 84 (1967)
- 9) 日本建築学会編：木質構造設計規準・同解説、丸善、2006

第2章 木質構造材料の種類¹⁾

2.1 構造用製材

2.1.1 製材の分類

丸太を「のこ（丸鋸や帯鋸など）」で切断して軸状に形を整えたものが、「製材」あるいは「製材品」である。製材には寸法など使用上の制限が色々あるが、その利点は、加工に要するエネルギーが小さいこと、接着剤がないのでリサイクルしやすい事などがある。また、古くから日本人に親しまれてきたのは製材であるため、木造建築物の構造材として未だに根強い人気がある。

建築に用いられる製材の規格は日本農林規格（JAS）に定められており、平成 25 年農林水産省告示第 1920 号において最終改正された。第 1 条：適用の範囲で、「この規格は、原木等を切削加工して寸法を調整した一般材、押角、耳付材及びまくら木（以下「製材」）に適用する。」とされている。製材の JAS には、針葉樹の造作用製材・針葉樹の構造用製材・針葉樹の下地用製材・広葉樹製材の 4 通りの品目があり、これ以外の「枠組壁工法構造用製材および枠組壁工法構造用たて継ぎ材」と「素材」は、また別の JAS が定められている。製材関係の JAS を整理すると、図 2.1 に示す通りとなる。

構造用製材は、構造耐力上主要な部分に使用することを前提としたもので、JAS 規格の中で、材面の品質（節や割れなど）、保存処理、含水率、寸法誤差を定めることで一定の品質を担保している。材面の品質は、製材の用途（曲げを受ける横架材か、圧縮を受ける柱か）により判定基準が異なり、横架材に用いる材に対しては基準が厳しくなっている。含水率については、15%から 25%まで 5%刻みで基準が定められており、寸法誤差は人工乾燥処理の有無や仕上げの有無により表示寸法との許容誤差が定められている。

なお、製材は地域によって生産される丸太の径級や長さが異なるため、製材の寸法や等級も様々に異なる場合がある。規格上は等級が分けられていても、実際には流通していないものがたくさんあるので注意が必要である。第 7 章でも、流通している製材についての注意事項に関する記述があるので、ぜひ参照されたい。

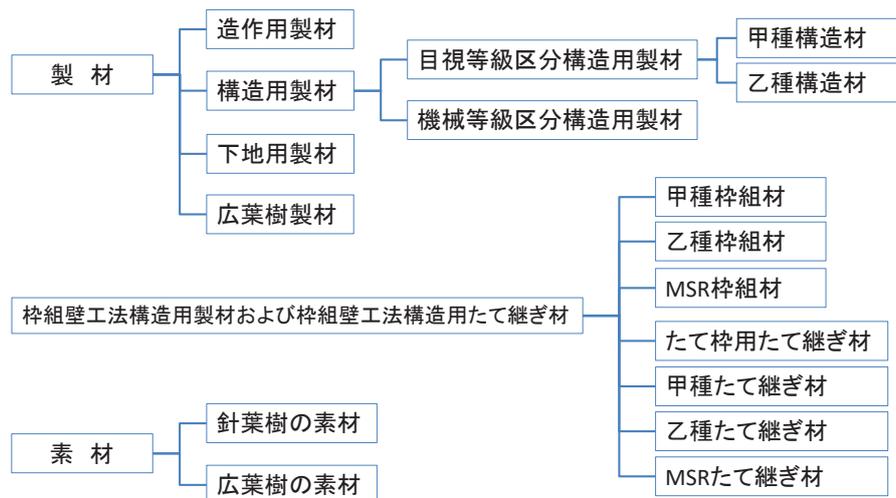


図 2.1 製材関係の JAS と品目

2.1.2 目視等級区分構造用製材

構造用製材のうち、節、丸身など、材の欠点を目視により測定し、等級区分するものを

いう。強度に及ぼす節の影響は用途に基づく使用時の荷重のかかり方によって異なるため、主として曲げ・引っ張り荷重を受ける「甲種構造材」と、主として圧縮荷重を受ける「乙種構造材」とに分けて許容できる欠点の基準値が定められている。目視等級区分構造用製材の各等級に対する基準強度は、平成12年建設省告示第1452号により樹種ごとに定められている(表2.1)。また、基準弾性係数は日本建築学会の「木質構造設計規準・同解説」²⁾に定められている(以下、弾性係数の出典は同じ)(表2.1)。

表2.1 目視等級区分構造用製材の基準強度と基準弾性係数

| 樹種 | 区分 | 等級 | 基準強度(N/mm ²) | | | | 基準弾性係数(kN/mm ²) | | |
|---------------|-------|----|--------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|------------|--------------------------|
| | | | F_c | F_t | F_b | F_s | E_0 | $E_{0.05}$ | G_0 |
| あかまつ | 甲種構造材 | 1級 | 27.0 | 20.4 | 33.6 | 2.4 | 10.0 | 6.5 | E_0 の値 の1/15 とする |
| | | 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 | | | | |
| べいまつ | 甲種構造材 | 1級 | 27.0 | 20.4 | 34.2 | 2.4 | 12.0 | 8.5 | |
| | | 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 | | | | |
| からまつ | 甲種構造材 | 1級 | 23.4 | 18.0 | 29.4 | 2.1 | 9.5 | 6.0 | |
| | | 2級 | 20.4 | 15.6 | 25.8 | | | | |
| | | 3級 | 18.6 | 13.8 | 23.4 | | | | |
| | 乙種構造材 | 1級 | 23.4 | 14.4 | 23.4 | | | | |
| | | 2級 | 20.4 | 12.6 | 20.4 | | | | |
| | | 3級 | 18.6 | 10.8 | 17.4 | | | | |
| ダフリカ からまつ | 甲種構造材 | 1級 | 28.8 | 21.6 | 36.0 | 2.1 | 13.0 | 9.0 | |
| | | 2級 | 25.2 | 18.6 | 31.2 | | | | |
| | | 3級 | 22.2 | 16.8 | 27.6 | | | | |
| | 乙種構造材 | 1級 | 28.8 | 17.4 | 28.8 | | | | |
| | | 2級 | 25.2 | 15.0 | 25.2 | | | | |
| | | 3級 | 22.2 | 13.2 | 22.2 | | | | |
| ひば | 甲種構造材 | 1級 | 28.2 | 21.0 | 34.8 | 2.1 | 10.0 | 7.5 | |
| | | 2級 | 27.6 | 21.0 | 34.8 | | | | |
| | | 3級 | 23.4 | 18.0 | 29.4 | | | | |
| | 乙種構造材 | 1級 | 28.2 | 16.8 | 28.2 | | | | |
| | | 2級 | 27.6 | 16.8 | 27.6 | | | | |
| | | 3級 | 23.4 | 12.6 | 20.4 | | | | |
| ひのき | 甲種構造材 | 1級 | 30.6 | 22.8 | 38.4 | 2.1 | 11.0 | 8.5 | |
| | | 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 | | | | |
| べいつが | 甲種構造材 | 1級 | 21.0 | 15.6 | 26.4 | 2.1 | 9.5 | 6.5 | |
| | | 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 | | | | |
| えぞまつ、 とどまつ | 甲種構造材 | 1級 | 27.0 | 20.4 | 34.2 | 1.8 | 10.0 | 7.5 | |
| | | 2級 | 22.8 | 17.4 | 28.2 | | | | |
| | | 3級 | 13.8 | 10.8 | 17.4 | | | | |
| | 乙種構造材 | 1級 | 27.0 | 16.2 | 27.0 | | | | |
| | | 2級 | 22.8 | 13.8 | 22.8 | | | | |
| | | 3級 | 13.8 | 5.4 | 9.0 | | | | |
| すぎ | 甲種構造材 | 1級 | 21.6 | 16.2 | 27.0 | 1.8 | 7.0 | 4.5 | |
| | | 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 | | | | |

2.1.3 機械等級区分構造用製材

機械等級区分構造用製材は、機械によりヤング係数を測定し、等級区分するものをいう。用いる機械は、曲げ試験機や打撃試験機などで、何れも非破壊的に荷重や打撃を加え、ヤング係数を測定する。ヤング係数は木材の強度との間に比較的高い相関関係があり、目視等級区分法に比べて高い精度で木材を強度別に分類することができる。機械等級区分構造用製材の基準強度については、目視等級区分構造用製材と同様に、平成12年建設省告示第1452号にて3つの樹种群ごとにヤング係数の等級別の基準強度が定められている（表2.2）。また、建築学会規準による基準弾性係数も表2.2に示した。

表 2.2 機械等級区分構造用製材の基準強度と基準弾性係数

| 樹種 | 等級 | 基準強度(N/mm ²) | | | | 基準弾性係数(kN/mm ²) | | |
|---|------|--------------------------|-------|-------|---|-----------------------------|------------|--------------------------|
| | | F_c | F_t | F_b | F_s | E_0 | $E_{0.05}$ | G_0 |
| あかまつ、べいまつ、 ダフリカからまつ、 べいつが、えぞまつ、 とどまつ | E50 | — | — | — | 表2.1 の樹種 に対応 した F_s の値と する | — | — | E_0 の値 の1/15 とする |
| | E70 | 9.6 | 7.2 | 12.0 | | 6.9 | 5.9 | |
| | E90 | 16.8 | 12.6 | 21.0 | | 8.8 | 7.8 | |
| | E110 | 24.6 | 18.6 | 30.6 | | 10.8 | 9.8 | |
| | E130 | 31.8 | 24.0 | 39.6 | | 12.7 | 11.8 | |
| | E150 | 39.0 | 29.4 | 48.6 | | 14.7 | 13.7 | |
| からまつ、 ひのき、 ひば | E50 | 11.4 | 8.4 | 13.8 | | 4.9 | 3.9 | |
| | E70 | 18.0 | 13.2 | 22.2 | | 6.9 | 5.9 | |
| | E90 | 24.6 | 18.6 | 30.6 | | 8.8 | 7.8 | |
| | E110 | 31.2 | 23.4 | 38.4 | | 10.8 | 9.8 | |
| | E130 | 37.8 | 28.2 | 46.8 | | 12.7 | 11.8 | |
| | E150 | 44.4 | 33.0 | 55.2 | | 14.7 | 13.7 | |
| すぎ | E50 | 19.2 | 14.4 | 24.0 | | 4.9 | 3.9 | |
| | E70 | 23.4 | 17.4 | 29.4 | | 6.9 | 5.9 | |
| | E90 | 28.2 | 21.0 | 34.8 | | 8.8 | 7.8 | |
| | E110 | 32.4 | 24.6 | 40.8 | 10.8 | 9.8 | | |
| | E130 | 37.2 | 27.6 | 46.2 | 12.7 | 11.8 | | |
| | E150 | 41.4 | 31.2 | 51.6 | 14.7 | 13.7 | | |

2.1.4 無等級材の取り扱い

JAS規格によって区分されていない製材については、平成12年建設省告示第1452号において無等級材として基準強度が与えられている（表2.3）。しかし、全ての無等級材がこの基準強度を満足しているわけではなく、節など欠点の影響を考慮すると、基準強度を満足するためにはJAS構造用製材の目視等級区分製材の甲種構造材2級以上の品質であることが望ましいとされている³⁾。

製材を中大規模木造建築物の構造材として用いる場合、JAS製材である事が望ましいのは事実であるが、地域材使用の指定やJAS認証工場が周辺にないなどの事情によってJAS製材が入手できない場合は、上記品質程度以上の品質がある事を目視で判断したり、ヤング係数や含水率を独自に測定するなどして、品質のチェックをする事が必須である。

なお、表2.3には基準強度のみ掲載しており、弾性係数は掲載していない、これは、告示に示された表の樹種区分と、建築学会規準に掲載されている表の樹種区分が異なるためである。無等級材の弾性係数が必要な場合は、文献2)の建築学会規準を参照して頂きたい。

表 2.3 無等級材の基準強度

| 樹種 | | 基準強度(N/mm ²) | | | |
|-----|----------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|
| | | F_c | F_t | F_b | F_s |
| 針葉樹 | あかまつ、くろまつ及びべいまつ | 22.2 | 17.7 | 28.2 | 2.4 |
| | からまつ、ひば、ひのき及びべいひ | 20.7 | 16.2 | 26.7 | 2.1 |
| | つが及びべいつが | 19.2 | 14.7 | 25.2 | 2.1 |
| | もみ、えぞまつ、とどまつ、べにまつ、すぎ、べいすぎ及びスプルース | 17.7 | 13.5 | 22.2 | 1.8 |
| 広葉樹 | かし | 27.0 | 24.0 | 38.4 | 4.2 |
| | くり、なら、ぶな、けやき | 21.0 | 18.0 | 29.4 | 3.0 |

2.2 構造用集成材

2.2.1 集成材の分類

集成材は、原木の丸太から帯鋸等で生産されたひき板を元に、それをたて継ぎあるいは幅はぎを行ってラミナを作り、積層接着して任意断面の軸材料を作るものである(図 2.2)。元々、大規模木造建築物の柱・梁等の構造材として広く使われてきており、近年は住宅用構造材としての需要も拡大している。

日本農林規格(JAS)による集成材は、図 2.3 に示すように分類される。

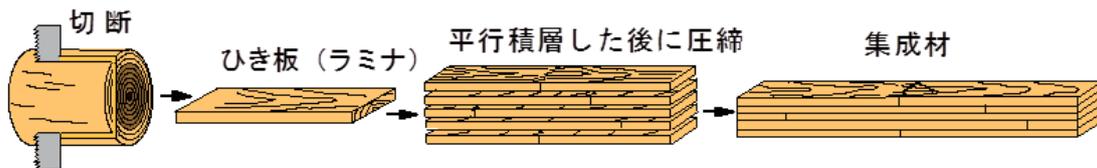


図 2.2 集成材の製造方法

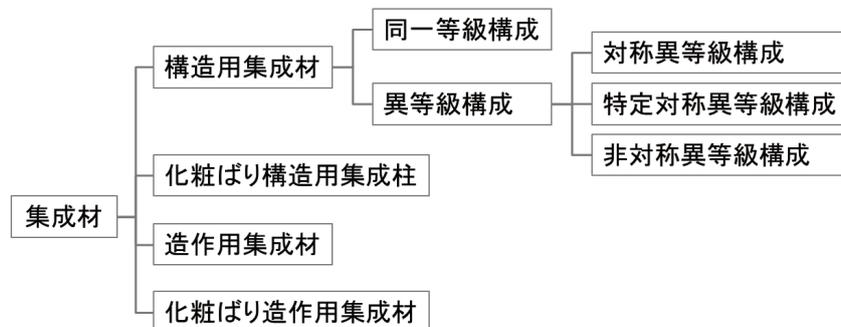


図 2.3 集成材の日本農林規格における分類

構造用集成材には、大きく分けて同一等級構成集成材と異等級構成集成材があり、同一等級構成集成材は集成材の全断面にわたって全て同一の等級のラミナによって構成されており、主として柱等の軸力に抵抗する部材に用いられる。一方、異等級構成集成材は主に曲げを受ける横架材に用いられる集成材で、集成材の外層に高い等級のラミナを、内層に低い等級のラミナを配置することで効率的に高い曲げ性能を付与した集成材である。異等級構成集成材は、さらに対称異等級構成、特定対称異等級構成、非対称異等級構成に分類される。対称異等級構成と特定対称異等級構成はラミナの構成が上下対称であるのに対し、非対称異等級構成は概ね対称な構成ながら曲げを受けた際の引張側にのみ特に高い性能の

ラミナを配置した集成材である。さらに、同一等級構成集成材と対称異等級構成集成材の中には、内層にラミナではなくラミナブロックを配置した内層特殊構成集成材というものもある。

2.2.2 基準強度と弾性係数

構造用集成材の圧縮、引張、曲げの基準強度（平成13年国土交通省告示第1024号）と弾性係数（建築学会規準）を表2.4～2.7に示す。また、せん断の基準強度とせん断弾性係数を表2.8に、めり込みの基準強度を表2.9に示す。構造用集成材の圧縮、引張、曲げの基準強度は、樹種によらずラミナの等級と断面構成により定められている。一方、せん断とめり込みの基準強度は木材の密度と相関が高いこともあり、ラミナの等級に関わらず使用される樹種により定められている。なお、構造用集成材の曲げ強度に関しては、厚さ方向の辺長に応じて寸法による調整係数を乗じて基準強度を低減する必要があり、日本農林規格に定められている表2.10の係数を乗じることとされている（異等級構成の場合は積層方向の曲げ強度に対し適用する）。

なお、化粧ばり構造用集成柱にも基準強度が定められているが、これは主に住宅の和室の柱に使われるものなので、本稿では基準強度等は掲載していない。

2.2.3 集成材の発注と設計

設計にあたっては、集成材の等級とせん断等の樹種を考慮して部材断面を決定することになるが、実際には樹種によってある程度製造しやすい等級が決まっている。スギならばE65、カラマツやヒノキならE95あるいはE105、ベイマツならE120といった等級の近辺が比較的入手しやすいものとなっている。更に、集成材の幅方向寸法が120mm以内ならば一般流通材なのでコストも安いですが、それを超えると幅広のラミナが必要になるためコストは上がり、更に210～220mm程度を超えると二次接着が必要となり、製造コストは更にかかることになる。工場によって製造可能な断面寸法や長さも決まってくるため、集成材を発注する際には、発注者、設計者と集成材供給者が十分な打ち合わせを行って、樹種や等級、断面寸法等を決定する事が望ましい。

表 2.4 同一等級構成集成材の基準強度と弾性係数

| ひき板の積層数 | 強度等級 | 基準強度(N/mm ²) | | | 基準弾性係数(kN/mm ²) | |
|-----------------------------------|-----------|--------------------------|-------|-------|-----------------------------|-----------------------------------|
| | | F_c | F_t | F_b | E_{c0}, E_{t0}, E_{b0} | $E_{c0.05}, E_{t0.05}, E_{b0.05}$ |
| 4層以上 (等級が同じ内層特殊構成集成材にあつては3層以上) | E190-F615 | 50.3 | 43.9 | 61.5 | 19.0 | 16.0 |
| | E170-F540 | 44.6 | 38.9 | 54.0 | 17.0 | 14.0 |
| | E150-F465 | 39.2 | 34.2 | 46.5 | 15.0 | 12.5 |
| | E135-F405 | 33.4 | 29.2 | 40.5 | 13.5 | 11.5 |
| | E120-F375 | 30.1 | 26.3 | 37.5 | 12.0 | 10.0 |
| | E105-F345 | 28.1 | 24.5 | 34.5 | 10.5 | 9.0 |
| | E95-F315 | 26.0 | 22.7 | 31.5 | 9.5 | 8.0 |
| | E85-F300 | 24.3 | 21.2 | 30.0 | 8.5 | 7.0 |
| | E75-F270 | 22.3 | 19.4 | 27.0 | 7.5 | 6.5 |
| | E65-F255 | 20.6 | 18.0 | 25.5 | 6.5 | 5.5 |
| | E55-F225 | 18.6 | 16.2 | 22.5 | 5.5 | 4.5 |
| 3層 | E190-F555 | 45.8 | 40.3 | 55.5 | 19.0 | 16.0 |
| | E170-F495 | 40.5 | 35.6 | 49.5 | 17.0 | 14.0 |
| | E150-F435 | 35.6 | 31.4 | 43.5 | 15.0 | 12.5 |
| | E135-F375 | 30.4 | 26.7 | 37.5 | 13.5 | 11.5 |
| | E120-F330 | 27.4 | 24.1 | 33.0 | 12.0 | 10.0 |
| | E105-F300 | 25.5 | 22.4 | 30.0 | 10.5 | 9.0 |
| | E95-F285 | 23.6 | 20.8 | 28.5 | 9.5 | 8.0 |
| | E85-F270 | 22.1 | 19.5 | 27.0 | 8.5 | 7.0 |
| | E75-F255 | 20.3 | 17.8 | 25.5 | 7.5 | 6.5 |
| | E65-F240 | 18.8 | 16.5 | 24.0 | 6.5 | 5.5 |
| | E55-F225 | 16.9 | 14.9 | 22.5 | 5.5 | 4.5 |
| 2層 | E190-F510 | 45.8 | 36.6 | 51.0 | 19.0 | 16.0 |
| | E170-F450 | 40.5 | 32.4 | 45.0 | 17.0 | 14.0 |
| | E150-F390 | 35.6 | 28.5 | 39.0 | 15.0 | 12.5 |
| | E135-F345 | 30.4 | 24.3 | 34.5 | 13.5 | 11.5 |
| | E120-F300 | 27.4 | 21.9 | 30.0 | 12.0 | 10.0 |
| | E105-F285 | 25.5 | 20.4 | 28.5 | 10.5 | 9.0 |
| | E95-F270 | 23.6 | 18.9 | 27.0 | 9.5 | 8.0 |
| | E85-F255 | 22.1 | 17.7 | 25.5 | 8.5 | 7.0 |
| | E75-F240 | 20.3 | 16.2 | 24.0 | 7.5 | 6.5 |
| | E65-F225 | 18.8 | 15.0 | 22.5 | 6.5 | 5.5 |
| | E55-F200 | 16.9 | 13.5 | 20.0 | 5.5 | 4.5 |

注： F_b には厚さ方向の長さに応じた低減係数を掛けたものを基準強度とする。

表 2.5 対称異等級構成集成材の基準強度と弾性係数

| 強度等級 | 基準強度(N/mm ²) | | | | 基準弾性係数(kN/mm ²) | | | | | |
|-----------|--------------------------|----------------|----------------|------|--|-----------------|------|--|--------------------|------|
| | F _c | F _t | F _b | | E _{c0.5} , E _{t0} | E _{b0} | | E _{c0.05} , E _{t0.05} | E _{b0.05} | |
| | | | 積層方向 | 幅方向 | | 積層方向 | 幅方向 | | 積層方向 | 幅方向 |
| E170-F495 | 38.4 | 33.5 | 49.5 | 35.4 | 15.5 | 17.0 | 15.5 | 13.0 | 14.0 | 13.0 |
| E150-F435 | 33.4 | 29.2 | 43.5 | 30.6 | 13.5 | 15.0 | 13.5 | 11.5 | 12.5 | 11.5 |
| E135-F375 | 29.7 | 25.9 | 37.5 | 27.6 | 12.0 | 13.5 | 12.0 | 10.0 | 11.5 | 10.0 |
| E120-F330 | 25.9 | 22.4 | 33.0 | 24.0 | 11.0 | 12.0 | 11.0 | 9.0 | 10.0 | 9.0 |
| E105-F300 | 23.3 | 20.2 | 30.0 | 21.6 | 9.5 | 10.5 | 9.5 | 8.0 | 9.0 | 8.0 |
| E95-F270 | 21.7 | 18.9 | 27.0 | 20.4 | 8.5 | 9.5 | 8.5 | 7.0 | 8.0 | 7.0 |
| E85-F255 | 19.5 | 17.0 | 25.5 | 18.0 | 7.5 | 8.5 | 7.5 | 6.5 | 7.0 | 6.5 |
| E75-F240 | 17.6 | 15.3 | 24.0 | 15.6 | 6.5 | 7.5 | 6.5 | 5.5 | 6.5 | 5.5 |
| E65-F225 | 16.7 | 14.6 | 22.5 | 15.0 | 6.0 | 6.5 | 6.0 | 5.0 | 5.5 | 5.0 |
| E65-F220 | 15.3 | 13.4 | 22.0 | 12.6 | 5.5 | 6.5 | 5.5 | 4.5 | 5.5 | 4.5 |
| E55-F200 | 13.3 | 11.6 | 20.0 | 10.2 | 4.5 | 5.5 | 4.5 | 4.0 | 4.5 | 4.0 |

注: F_b(積層方向)には梁せいに応じた低減係数を掛けたものを基準強度とする。

表 2.6 特定対称異等級構成集成材の基準強度と弾性係数

| 強度等級 | 基準強度(N/mm ²) | | | | 基準弾性係数(kN/mm ²) | | | | | |
|------------|--------------------------|----------------|----------------|------|--|-----------------|-----|--|--------------------|-----|
| | F _c | F _t | F _b | | E _{c0.5} , E _{t0} | E _{b0} | | E _{c0.05} , E _{t0.05} | E _{b0.05} | |
| | | | 積層方向 | 幅方向 | | 積層方向 | 幅方向 | | 積層方向 | 幅方向 |
| ME120-F330 | 20.2 | 17.6 | 33.0 | 12.7 | 8.3 | 12.0 | 8.3 | 6.9 | 10.0 | 6.9 |
| ME105-F300 | 17.9 | 15.6 | 30.0 | 11.7 | 7.5 | 10.5 | 7.5 | 6.3 | 9.0 | 6.3 |
| ME95-F270 | 16.6 | 14.5 | 27.0 | 11.1 | 6.9 | 9.5 | 6.9 | 5.7 | 8.0 | 5.7 |
| ME85-F255 | 15.9 | 13.9 | 25.5 | 11.0 | 6.3 | 8.5 | 6.3 | 5.2 | 7.0 | 5.2 |

注: F_b(積層方向)には梁せいに応じた低減係数を掛けたものを基準強度とする。

表 2.7 非対称異等級構成集成材の基準強度と弾性係数

| 強度等級 | 基準強度(N/mm ²) | | | | | 基準弾性係数(kN/mm ²) | | | | | |
|-----------|--------------------------|----------------|----------------|------|------|--|-----------------|------|--|--------------------|------|
| | F _c | F _t | F _b | | | E _{c0.5} , E _{t0} | E _{b0} | | E _{c0.05} , E _{t0.05} | E _{b0.05} | |
| | | | 積層方向 | | 幅方向 | | 積層方向 | 幅方向 | | 積層方向 | 幅方向 |
| (正方向) | | | (負方向) | | | | | | | | |
| E160-F480 | 36.5 | 31.8 | 48.0 | 34.5 | 31.8 | 14.5 | 16.0 | 14.5 | 12.0 | 13.5 | 12.0 |
| E140-F420 | 31.7 | 27.7 | 42.0 | 28.5 | 27.0 | 13.0 | 14.0 | 13.0 | 11.0 | 11.5 | 11.0 |
| E125-F360 | 28.2 | 24.6 | 36.0 | 25.5 | 24.0 | 11.5 | 12.5 | 11.5 | 10.0 | 10.5 | 10.0 |
| E110-F315 | 24.5 | 21.3 | 31.5 | 24.0 | 21.6 | 10.0 | 11.0 | 10.0 | 8.5 | 9.0 | 8.5 |
| E100-F285 | 22.1 | 19.3 | 28.5 | 22.5 | 19.2 | 9.0 | 10.0 | 9.0 | 7.5 | 8.5 | 7.5 |
| E90-F255 | 20.7 | 18.1 | 25.5 | 21.0 | 18.0 | 8.0 | 9.0 | 8.0 | 6.5 | 7.5 | 6.5 |
| E80-F240 | 18.5 | 16.2 | 24.0 | 19.5 | 15.0 | 7.0 | 8.0 | 7.0 | 6.0 | 6.5 | 6.0 |
| E70-F225 | 16.6 | 14.5 | 22.5 | 18.0 | 13.8 | 6.0 | 7.0 | 6.0 | 5.5 | 6.0 | 5.5 |
| E60-F210 | 15.7 | 13.7 | 21.0 | 16.5 | 13.2 | 5.5 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| E60-F205 | 14.3 | 12.5 | 20.5 | 16.0 | 10.8 | 5.0 | 6.0 | 5.0 | 4.5 | 5.0 | 4.5 |
| E50-F170 | 12.2 | 10.6 | 17.0 | 14.0 | 8.4 | 4.0 | 5.0 | 4.0 | 3.5 | 4.5 | 3.5 |

注: F_b(積層方向)には梁せいに応じた低減係数を掛けたものを基準強度とする。

注: 正の曲げは引張側最外層ひき板に引張力が働く場合、負の曲げは引張側最外層ひき板に圧縮力が働く場合の値である。

表 2.8 構造用集成材のせん断の基準強度とせん断弾性係数

| 樹種 | 基準強度(N/mm ²) | | 基準せん断弾性係数(kN/mm ²) |
|---|--------------------------|-----|--------------------------------|
| | 積層方向 | 幅方向 | |
| いたやかえで、かば、ぶな、みずなら、けやき及びアピトン | 4.8 | 4.2 | E _b の値の1/15とする |
| たも、しおじ及びびにれ | 4.2 | 3.6 | |
| ひのき、ひば、からまつ、あかまつ、くろまつ、べいひ、ダフリカからまつ、サザンパイン、べいまつ、ホワイトサイプレスパイン及びウエスタンラーチ | 3.6 | 3.0 | |
| つが、アラスカイエローシダー、ベにまつ、ラジアタパイン及びべいつが | 3.3 | 2.7 | |
| もみ、とどまつ、えぞまつ、べいもみ、スプルース、ロジポールパイン、ポンドローサパイン、おうしゅうあかまつ、ジャックパイン及びラワン | 3.0 | 2.4 | |
| すぎ及びべいすぎ | 2.7 | 2.1 | |

注:せん断面に幅はぎ未評価ラミナを含む構造用集成材にあつては、表中の数字に0.6を乗じた値とする。

表 2.9 構造用集成材のめり込みの基準強度

| 樹種 | 基準強度(N/mm ²) |
|--|--------------------------|
| いたやかえで、かば、ぶな、みずなら、けやき、アピトン、たも、しおじ及びびにれ | 10.8 |
| あかまつ、くろまつ、べいひ、ダフリカからまつ、サザンパイン、べいまつ、ホワイトサイプレスパイン、ラワン及びウエスタンラーチ | 9.0 |
| ひのき、ひば、からまつ及びべいひ | 7.8 |
| つが、アラスカイエローシダー、ベにまつ、ラジアタパイン、べいつが、もみ、とどまつ、えぞまつ、べいもみ、スプルース、ロジポールパイン、ポンドローサパイン、おうしゅうあかまつ、すぎ、べいすぎ及びジャックパイン | 6.0 |

表 2.10 寸法に応じて集成材の曲げ強度に乗じる係数

| 異等級構成集成材 | | 同一等級構成集成材 | |
|-----------------|------|-----------------|------|
| 集成材の厚さ方向の辺長(mm) | 係数 | 集成材の厚さ方向の辺長(mm) | 係数 |
| 300以下 | 1.00 | 100以下 | 1.00 |
| 300超 450以下 | 0.96 | 100超 150以下 | 0.96 |
| 450超 600以下 | 0.93 | 150超 200以下 | 0.93 |
| 600超 750以下 | 0.91 | 200超 250以下 | 0.90 |
| 750超 900以下 | 0.89 | 250超 300以下 | 0.89 |
| 900超 1050以下 | 0.87 | 300超 | 0.85 |
| 1050超 1200以下 | 0.86 | | |
| 1200超 1350以下 | 0.85 | | |
| 1350超 1500以下 | 0.84 | | |
| 1500超 1650以下 | 0.83 | | |
| 1650超 1800以下 | 0.82 | | |
| 1800超 | 0.80 | | |

2.3 構造用単板積層材

2.3.1 単板積層材の分類

単板積層材（Laminated Veneer Lumber、LVL）は、丸太をかつら剥きして得られた単板（Veneer）をその繊維方向が平行になるように積層して接着した材料であり、集成材と同様、木造建築物の柱・梁等の軸材料として長く使われてきている（図 2.4）。大規模木造はもちろん、住宅用構造材としても、特に応力負担の大きい梁材などに使われることが多く、強度性能に優れたばらつきの少ない材料として一定の需要がある。

日本農林規格（JAS）によると、単板積層材は図 2.5 に示すように分類される。

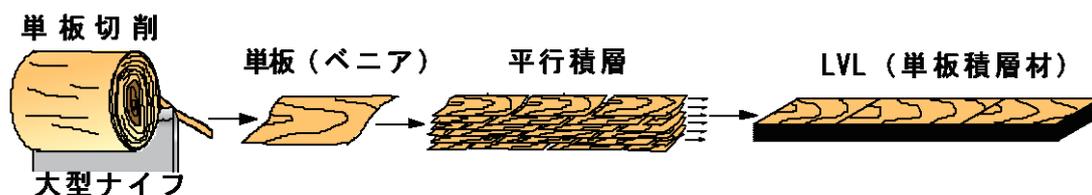


図 2.4 LVL の製造方法

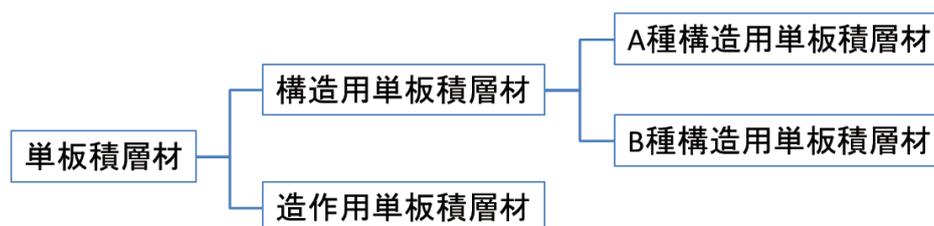
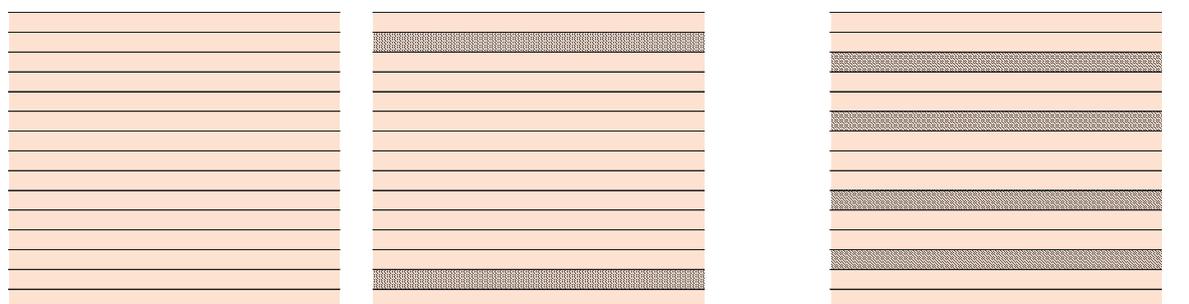


図 2.5 単板積層材の日本農林規格における分類

構造用単板積層材には A 種と B 種があり、A 種は単板を全て平行に積層したもので（最外層に隣接する単板のみ直交方向に入れることも認められている）、軸方向の材料特性に優れるため主に柱梁等の軸部材に用いられる。一方、B 種は全体の 3 割まで直交方向単板を入れることができ、寸法安定性が増すためストレススキンパネルや面材張り耐力壁・床構面など主に面的な利用を想定した材料となっている（図 2.6）。A 種は樹種にかかわらず単板の積層数及び縦継ぎ部の配置等に応じて特級、1 級、2 級に分類されるが、B 種にはこの分類はない。



A 種 LVL（全て平行層、又は、最外層の 1 つ内側が直交層）

B 種 LVL（全体の 3 割まで直交層を挿入可能）

図 2.6 2 種類の LVL

2.3.2 基準強度と弾性係数

構造用単板積層材の圧縮、引張、曲げの基準強度(平成13年国土交通省告示第1024号)と弾性係数(建築学会規準)、およびせん断の基準強度とせん断弾性係数、めり込みの基準強度を表2.11~2.15に示す。A種のめり込みの基準強度は当初はめり込む面と接着層が直交する場合(縦使い時)のみ適用することができたが、現在は平行になる場合(平使い時)にも適用することが可能となっている。B種構造用単板積層材のめり込みの基準強度は集成材と同様となっている。また、圧縮、引張、曲げ及びせん断の各基準強度は樹種によらず曲げヤング係数区分あるいはせん断性能によって等級が分けられている。B種の場合は直交方向単板が含まれており面的な利用も想定されるため、基準強度も強軸と弱軸の2種類が設定されている。せん断は日本農林規格では縦使い(V)と平使い(H)の規格基準値があるが、基準強度としては共通の値が定められている。なお、集成材の場合は厚さ方向の辺長が大きくなると基準強度に低減係数を掛けることが告示にも書かれているが、LVLの場合には記述がない。しかし、日本建築学会の木質構造設計規準・同解説²⁾にはLVLの寸法調整係数が示されているので、参考までに表2.16に示しておく。当然ながらLVLにも寸法効果はあり、梁せいの大きな部材は性能が低下する傾向にあるため、これらの係数を考慮して設計することが望ましい。

2.3.3 単板積層材の発注と設計

設計にあたっては、樹種とヤング係数、せん断性能を考慮して部材断面を決めることになるが、集成材と同様、規格に定められた全ての等級が入手できるわけではなく、樹種が決まればある程度性能は限定される。また、高い軸方向性能を求めるのか、平面的な用途・性能を優先するのかといった用途の違いによっても求める部材は変わってくる。樹種ごとの標準的な性能としては、スギならば60E、ヒノキやカラマツなら100E~120E、ベイマツなら120Eあたりが中心となる。工場によって生産可能なLVLの原板サイズが決まってくるため、特に大きな梁せいや長さが必要になる場合は、予め生産可能品目であるかどうかを、発注者、設計者とLVL供給者が十分な打ち合わせを行い、樹種や等級、断面寸法等を決定する事が望ましい。

表 2.11 A種構造用単板積層材の基準強度と弾性係数

| 曲げヤング係数区分 | 等級 | 等級 | 基準強度(N/mm ²) | | | 基準弾性係数(kN/mm ²) | | |
|-------------|----|------------------|--------------------------|----------------|----------------|-----------------------------|----------------|-------------------|
| | | | F _c | F _t | F _b | | E ₀ | E _{0.05} |
| | | | | | 平使い | 縦使い | | |
| 180E | 特級 | 180E-675FHV | 46.8 | 34.8 | 58.2 | | 18.0 | 15.5 |
| | 1級 | 180E-580FH-675FV | 45.0 | 30.0 | 49.8 | 58.2 | | |
| | | 180E-580FHV | | | 49.8 | | | |
| | 2級 | 180E-485FH-675FV | 42.0 | 25.2 | 42.0 | 58.2 | | |
| | | 180E-485FH-580FV | | | | 49.8 | | |
| 180E-485FHV | | 42.0 | | | | | | |
| 160E | 特級 | 160E-600FHV | 41.4 | 31.2 | 51.6 | | 16.0 | 14.0 |
| | 1級 | 160E-515FH-600FV | 40.2 | 27.0 | 44.4 | 51.6 | | |
| | | 160E-515FHV | | | 44.4 | | | |
| | 2級 | 160E-430FH-600FV | 37.2 | 22.2 | 37.2 | 51.6 | | |
| | | 160E-430FH-515FV | | | | 44.4 | | |
| 160E-430FHV | | 37.2 | | | | | | |
| 140E | 特級 | 140E-525FHV | 36.0 | 27.0 | 45.0 | | 14.0 | 12.0 |
| | 1級 | 140E-450FH-525FV | 34.8 | 23.4 | 39.0 | 45.0 | | |
| | | 140E-450FHV | | | 39.0 | | | |
| | 2級 | 140E-375FH-525FV | 32.4 | 19.8 | 32.4 | 45.0 | | |
| | | 140E-375FH-450FV | | | | 39.0 | | |
| 140E-375FHV | | 32.4 | | | | | | |
| 120E | 特級 | 120E-450FHV | 31.2 | 23.4 | 39.0 | | 12.0 | 10.5 |
| | 1級 | 120E-385FH-450FV | 30.0 | 19.8 | 33.0 | 39.0 | | |
| | | 120E-385FHV | | | 33.0 | | | |
| | 2級 | 120E-320FH-450FV | 27.6 | 16.8 | 27.6 | 39.0 | | |
| | | 120E-320FH-385FV | | | | 33.0 | | |
| 120E-320FHV | | 27.6 | | | | | | |
| 110E | 特級 | 110E-410FHV | 28.2 | 21.6 | 35.4 | | 11.0 | 9.0 |
| | 1級 | 110E-350FH-410FV | 27.0 | 18.0 | 30.0 | 35.4 | | |
| | | 110E-350FHV | | | 30.0 | | | |
| | 2級 | 110E-295FH-410FV | 25.8 | 15.6 | 25.8 | 35.4 | | |
| | | 110E-295FH-350FV | | | | 30.0 | | |
| 110E-295FHV | | 25.8 | | | | | | |
| 100E | 特級 | 100E-375FHV | 25.8 | 19.8 | 32.4 | | 10.0 | 8.5 |
| | 1級 | 100E-320FH-375FV | 25.2 | 16.8 | 27.6 | 32.4 | | |
| | | 100E-320FHV | | | 27.6 | | | |
| | 2級 | 100E-270FH-375FV | 23.4 | 14.4 | 23.4 | 32.4 | | |
| | | 100E-270FH-320FV | | | | 27.6 | | |
| 100E-270FHV | | 23.4 | | | | | | |
| 90E | 特級 | 90E-335FHV | 23.4 | 17.4 | 28.8 | | 9.0 | 7.5 |
| | 1級 | 90E-290FH-335FV | 22.8 | 15.0 | 25.2 | 28.8 | | |
| | | 90E-290FHV | | | 25.2 | | | |
| | 2級 | 90E-240FH-335FV | 21.0 | 12.6 | 21.0 | 28.8 | | |
| | | 90E-240FH-290FV | | | | 25.2 | | |
| 90E-240FHV | | 21.0 | | | | | | |
| 80E | 特級 | 80E-300FHV | 21.0 | 15.6 | 25.8 | | 8.0 | 7.0 |
| | 1級 | 80E-255FH-300FV | 19.8 | 13.2 | 22.2 | 25.8 | | |
| | | 80E-255FHV | | | 22.2 | | | |
| | 2級 | 80E-215FH-300FV | 18.6 | 11.4 | 18.6 | 25.8 | | |
| | | 80E-215FH-255FV | | | | 22.2 | | |
| 80E-215FHV | | 18.6 | | | | | | |
| 70E | 特級 | 70E-260FHV | 18.0 | 13.8 | 22.8 | | 7.0 | 6.0 |
| | 1級 | 70E-225FH-260FV | 17.4 | 12.0 | 19.8 | 22.8 | | |
| | | 70E-225FHV | | | 19.8 | | | |
| | 2級 | 70E-185FH-260FV | 16.2 | 9.6 | 16.2 | 22.8 | | |
| | | 70E-185FH-225FV | | | | 19.8 | | |
| 70E-185FHV | | 16.2 | | | | | | |
| 60E | 特級 | 60E-225FHV | 15.6 | 12.0 | 19.8 | | 6.0 | 5.0 |
| | 1級 | 60E-190FH-225FV | 15.0 | 10.2 | 16.8 | 19.8 | | |
| | | 60E-190FHV | | | 16.8 | | | |
| | 2級 | 60E-160FH-225FV | 13.8 | 8.4 | 13.8 | 19.8 | | |
| | | 60E-160FH-190FV | | | | 16.8 | | |
| 60E-160FHV | | 13.8 | | | | | | |
| 50E | 特級 | 50E-185FHV | 12.7 | 9.5 | 15.9 | | 5.0 | 4.2 |
| | 1級 | 50E-160FH-185FV | 12.3 | 8.2 | 13.7 | 15.9 | | |
| | | 50E-160FHV | | | 13.7 | | | |
| | 2級 | 50E-130FH-185FV | 11.1 | 6.7 | 11.1 | 15.9 | | |
| | | 50E-130FH-160FV | | | | 13.7 | | |
| 50E-130FHV | | 11.1 | | | | | | |

表 2.12 A 種構造用単板積層材のせん断の基準強度と弾性係数

| 水平せん断性能 | 基準強度(N/mm ²) | 基準せん断弾性係数(kN/mm ²) |
|---------|--------------------------|--------------------------------|
| 65V-55H | 4.2 | E _b の値の 1/15とする |
| 60V-51H | 3.6 | |
| 55V-47H | 3.6 | |
| 50V-43H | 3.0 | |
| 45V-38H | 3.0 | |
| 40V-34H | 2.4 | |
| 35V-30H | 2.4 | |

表 2.13 A 種構造用単板積層材のめり込みの基準強度（縦使い、平使い）

| めり込み性能の表示区分 | 基準強度(N/mm ²) |
|-------------|--------------------------|
| 180B | 18.0 |
| 160B | 16.0 |
| 135B | 13.5 |
| 90B | 9.0 |

表 2.14 B 種構造用単板積層材の基準強度と弾性係数

| 曲げヤング 係数区分 | 基準強度(N/mm ²) | | | | | | 基準弾性係数(kN/mm ²) | |
|---------------|--------------------------|-----|----------------|-----|----------------|-----|-----------------------------|-------------------|
| | F _c | | F _t | | F _b | | E ₀ | E _{0.05} |
| | 強軸 | 弱軸 | 強軸 | 弱軸 | 強軸 | 弱軸 | | |
| 140E | 21.9 | 4.3 | 18.3 | 2.9 | 32.2 | 5.8 | 14.0 | 12.0 |
| 120E | 18.7 | 3.7 | 15.6 | 2.5 | 27.5 | 4.9 | 12.0 | 10.5 |
| 110E | 17.2 | 3.4 | 14.4 | 2.3 | 25.3 | 4.5 | 11.0 | 9.0 |
| 100E | 15.7 | 3.1 | 13.2 | 2.1 | 23.2 | 4.1 | 10.0 | 8.5 |
| 90E | 14.0 | 2.8 | 11.7 | 1.8 | 20.6 | 3.7 | 9.0 | 7.5 |
| 80E | 12.5 | 2.5 | 10.5 | 1.6 | 18.4 | 3.3 | 8.0 | 7.0 |
| 70E | 10.8 | 2.1 | 9.0 | 1.4 | 15.9 | 2.8 | 7.0 | 6.0 |
| 60E | 9.3 | 1.8 | 7.8 | 1.2 | 13.7 | 2.4 | 6.0 | 5.0 |
| 50E | 7.6 | 1.5 | 6.3 | 1.0 | 11.1 | 2.0 | 5.0 | 4.2 |
| 40E | 6.1 | 1.2 | 5.1 | 0.8 | 9.0 | 1.6 | 4.0 | 3.0 |
| 30E | 4.6 | 0.9 | 3.9 | 0.6 | 6.8 | 1.2 | 3.0 | 2.5 |

表 2.15 B 種構造用単板積層材のせん断の基準強度

| 水平せん断性能 | 基準強度(N/mm ²) | | 基準せん断弾性 係数(kN/mm ²) |
|---------|--------------------------|-------|------------------------------------|
| | 縦使い方向 | 平使い方向 | |
| 65V-43H | 4.3 | 2.8 | 学会規準 等に記載 無し |
| 60V-40H | 4.0 | 2.6 | |
| 55V-36H | 3.6 | 2.4 | |
| 50V-33H | 3.3 | 2.2 | |
| 45V-30H | 3.0 | 2.0 | |
| 40V-26H | 2.6 | 1.7 | |
| 35V-23H | 2.3 | 1.5 | |
| 30V-20H | 2.0 | 1.3 | |
| 25V-16H | 1.6 | 1.0 | |

表 2.16 構造用単板積層材の寸法調整係数の例

| 幅方向(梁せい)の辺長(mm) | 係数 |
|-----------------|------|
| 300以下 | 1.00 |
| 300超 450以下 | 0.98 |
| 450超 600以下 | 0.93 |
| 600超 750以下 | 0.91 |
| 750超 900以下 | 0.89 |
| 900超 1050以下 | 0.87 |
| 1050超 1200以下 | 0.86 |

2.4 直交集成板 (CLT)

2.4.1 直交集成板の分類

直交集成板は、ひき板（ラミナ）を繊維方向を互いにほぼ平行にして幅方向に並べ又は接着したものを、さらにその繊維方向を互いにほぼ直角にして積層接着し3層以上の構造を持たせた木質材料で、Cross Laminated Timber の頭文字を取って CLT と呼ばれる（図 2.6）。

CLT は元々ヨーロッパで開発され、それが徐々に世界的に広まって日本にも導入されたものであるが、日本では製造規格がないことや建築基準法上の位置付けがないために、建築物の構造材料として使用するには様々なハードルがあった。そのため、国土交通省や林野庁のプロジェクトとして大々的な研究開発が行われ、その成果によって 2013 年 12 月に JAS 規格が、2016 年 3 月および 4 月には国土交通省の技術基準告示が公布されて、ようやく日本における CLT の利用が軌道に乗り始めたところである。ヨーロッパでは 5～7 階建て程度のアパートが CLT により数多く建てられており、イギリスやイタリアでは 9 階建てが建てられるなど、中層木造建築物の実現に欠かせない材料となっている。この流れは北米やオセアニア地域にも波及し、カナダのバンクーバーでは 2017 年夏に木造建築物としては当時世界一の 18 階建て学生寮が建設され、CLT は床版として利用された。

現行の日本農林規格には、構造用途として用いられる直交集成板 1 品目のみが定められているが、断面構成により同一等級構成と異等級構成の 2 種類がある。

直交集成板はひき板の厚さとその断面構成により様々な製品を作ることが可能であり、日本農林規格では厚さ 36mm 以上 500mm 以下、幅が 300mm 以上、長さ 900mm 以上のものを直交集成板と位置付けている。しかし、構造耐力上主要な部材（壁柱や床版）として用いる場合には、少なくとも厚さ 90mm 以上は必要になってくる。断面構成は 3 層 3 プライから 9 層 9 プライまで 6 種類の断面構成が定められており（図 2.7）、用いるラミナの等級と合わせると現行の日本農林規格内でも 42 種類の等級が定められている。ただし、現在（2019 年 7 月現在）の建築基準法で使用が認められているのは、3 層 3 プライ、3 層 4 プライ、5 層 5 プライ、5 層 7 プライの強軸方向、および 3 層 3 プライ、3 層 4 プライ、5 層 5 プライ、5 層 7 プライ、7 層 7 プライの弱軸方向に限定されている。これは、曲げ性能に及ぼす荷重継続期間の影響に関する知見が不足しているために、曲げの基準強度の算定が上記以外の断面構成には認められていないためである。

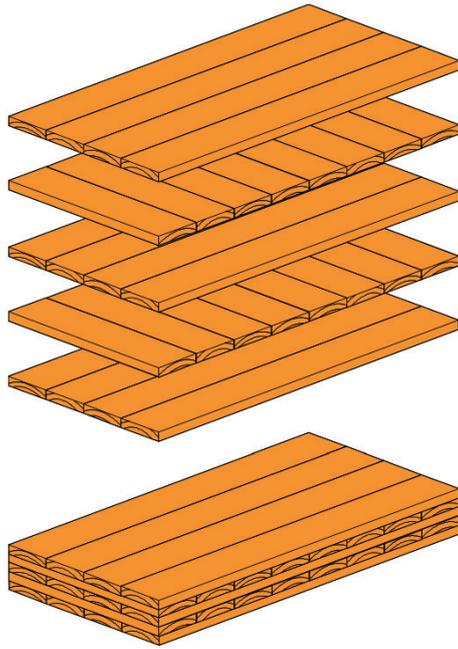


図 2.7 CLT の基本構成

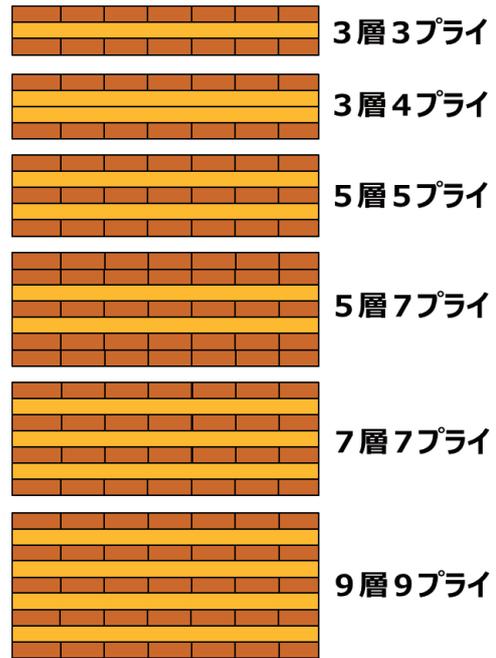


図 2.8 JAS に定められた層構成

2.4.2 基準強度と弾性係数

直交集成材の基準強度は平成 13 年国土交通省告示第 1024 号に定められているが、他の木質材料と異なる点は、断面形状に合わせて強度を計算する方式になっている点である。これは、ラミナの厚さやその構成が複雑で基準強度を一義的に決めることができないため、ラミナのヤング係数やラミナの基準強度をもとにして算定する式が掲載されている。詳細は告示を参照頂きたいが、例えば圧縮強度を例にとると、最外層ラミナの圧縮強度 σ_{c_oml} にラミナのヤング係数を考慮した等価断面積 A_A の全断面積 A_0 に対する比率と低減係数を掛けたものを圧縮強度としている。引張、曲げ、せん断についても算定方法が明記されているが、めり込みに関してのみ最外層ラミナの樹種に応じた数値を定めている。曲げについては、前記の通り適用できる断面構成に制限があるため、注意が必要である。

2.4.3 直交集成板の発注と設計

直交集成板は現在非常に注目を集めている材料で、各自治体などでも積極的に使用したいという声を聞く。しかし、製造可能な工場がまだ少ないこと、工場によって製造できる寸法に制限があること、使用できる断面構成が少ないこと等から、自由に設計に使えるレベルにはまだまだ到達していないのが現状である。他の木質材料と同様であるが、CLT を用いる際には、発注者、設計者と CLT 供給者が十分な打ち合わせを行い、樹種や等級、断面寸法等を決定しなければならない。また、CLT は版の大きさがあることから、輸送の問題や建て方時の搬入路、敷地の余裕度なども考慮して計画を立てる必要がある。

2.5 構造用面材

2.5.1 構造用合板

合板は丸太を薄く剥いた単板（ベニヤ）3枚以上を繊維方向をほぼ直角にして接着した木質材料で、日本農林規格では6種類の品目が定められている。その中で建築物の構造耐力上主要な部分に使われるのが構造用合板である（図2.9）。

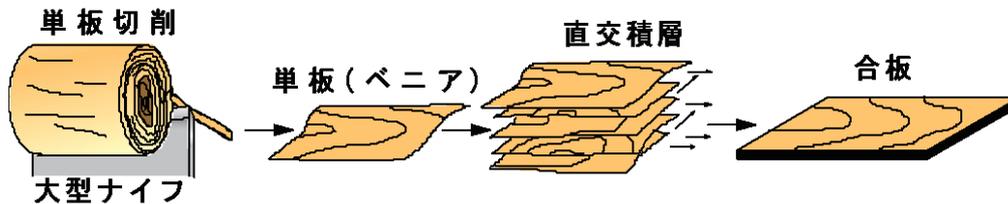


図 2.9 合板の製造方法

構造用合板は、接着の程度で特類と1類に分類され、単板の品質や曲げ性能等により1級と2級に分類される。1級は主として構造計算を必要とする木質構造に用いる事を想定しており、曲げ強さ、曲げヤング係数、面内せん断強度、層内せん断強度の規定を満たす必要がある。一方2級は、主として耐力壁や床構面の下地材として用いる事を想定しており、長手方向の曲げヤング係数のみ規定している。かつてはラワン合板を中心に1級の製品も多く出回っていたが、近年は針葉樹合板への代替が進むにつれて2級が中心となっており、1級合板は受注生産となる場合も多い。さらに、スギ等の国産材を多く利用した構造用合板も多く生産されるようになり、厚さ24mm以上の厚物合板は国産材を大量に使用した商品が主力となってきた。一般的に流通している構造用合板は、厚さが9mm、12mm、15mm、24mm、28mmあたりで、寸法は、910×1820mmが最も多く、長尺合板を製造できる数社においては、910×2730mmや910×3030mmなども製造することができる。また、メーターモジュールに対応して1000×1820mmや、1000×2730mmなどを製造できるところもあるので、大量に合板を利用する大型の建築物では、合板供給者と相談しながら設計を進めることも必要になってくるだろう。

住宅でも数多く用いられている構造用合板であるが、建築基準法上は基準強度や許容応力度の規定は無く、日本建築学会の木質構造設計規準・同解説²⁾にて許容応力度が提案されているのみである(例として、構造用合板2級の許容応力度を表2.17に示す)。従って、1級の構造用合板であっても、その材料性能を元に構造計算を行うことはできないのが現状である。しかしながら、木造建築物の耐力要素として合板張り耐力壁や床構面は非常に重要な耐震要素であるため、昭和56年建設省告示第1100号で面材張り耐力壁の性能を定めたり、軸組工法住宅の許容応力度設計の技術書⁴⁾にて釘接合部性能を元にした合板張り耐力壁の許容耐力算定手法が提案されたりしており、学校建築等に用いられる高強度耐力壁についてもそれらの知見を準用して運用している。24mm厚の構造用合板を用いると短期基準せん断耐力で30kN/m程度以上の面材張り構面を作ることと比較的容易であり、近年の中大規模木造建築物にとって無くてはならない材料となっている。

表 2.17 日本建築学会提案の構造用合板 2 級の基準特性値

| 厚さ (mm) | 基準許容応力度(N/mm ²) | | | | 基準曲げヤング係数 (kN/mm ²) | | 基準せん断 弾性係数 (kN/mm ²) |
|------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|-----|--|
| | 曲げ | | せん断 | | 0度 | 90度 | |
| | 0度 | 90度 | 面内 | 層内 | | | |
| 5 | 5.2 | 厚さに よらず 0.8 | 厚さに よらず 0.8 | 厚さに よらず 0.4 | 6.5 | 0.4 | 厚さに よらず 0.4 |
| 6 | 4.8 | | | | 6.5 | 0.3 | |
| 7.5 | 4.3 | | | | 5.5 | 0.3 | |
| 9 | 3.9 | | | | 5.0 | 0.3 | |
| 12 | 3.3 | | | | 4.0 | 0.3 | |
| 15 | 2.7 | | | | 4.0 | 0.6 | |
| 18 | 2.4 | | | | 4.0 | 1.1 | |
| 21 | 2.2 | | | | 4.0 | 1.1 | |
| 24以上 | 2.2 | | | | 3.5 | 1.4 | |

2.5.2 構造用パネル

構造用パネルは、木材から削りだした削片（ストランド）に接着剤を噴霧し、表層と内層とでストランドの方向を概ね直交方向に配向させながら 3 層構造で堆積させ熱圧した木質面材料で、英語名：Oriented Strand Board の頭文字を取って OSB と呼ばれている。日本農林規格は、この OSB の 1 品目のみの規格になっており、国産品がないために全て海外（北米または欧州）からの輸入品に対する規格となっている。そのため、他の木質材料のように製造方法を規定した規格ではなく、製品の性能によって等級を定める性能規格になっているのが特徴である。

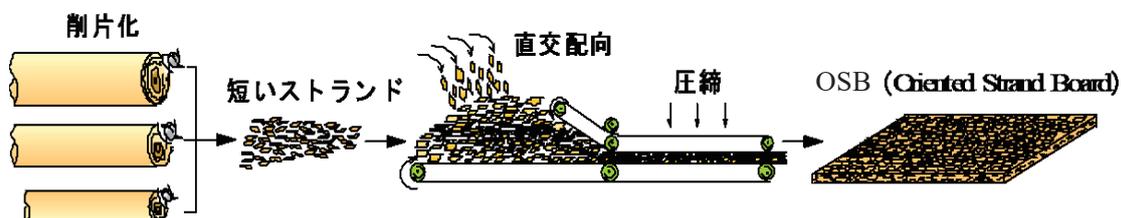


図 2.10 構造用パネル（OSB）の製造

元々が合板の代替材料として開発され、枠組壁工法の耐力壁等に用いられてきたため、日本農林規格でも曲げ性能以外に釘接合部のせん断性能や引き抜き性能が規定されている。また、曲げ性能に基づき 1 級から 4 級まで等級が分けられているが、パネルの強軸・弱軸それぞれに対しパネル厚さを考慮した曲げヤング係数および曲げ強度の規格基準値が定められている。一方で、OSB にも建築基準法に基づく基準強度や許容応力度は定められておらず、構造計算を要する際には、OSB 張り構面の実験データを用いるか、釘接合部のせん断性能に基づいて OSB 張り構面の許容耐力算定値を求める必要がある。

日本に輸入される OSB は、厚さが 9mm、9.5mm、12mm、15mm、24mm などであり、基本的には合板と用途が重なるため、常にシェアを競い合っている。一方、ボード寸法については、OSB は連続プレスで製造されるため、幅が 2745mm や 3660mm、長さが 7320mm といった大版で製造できるのが強みとなっている。そのため、ストレススキンパネルや I 型梁に用いたり、階高の高い耐力壁に継手を用いずに張りたい場合には大版で製造できる OSB の良さが生きてくるだろう。

近年は、合板などに倣って高強度耐力壁の開発等を積極的に進めており、厚さ 15mm や 24mm の OSB を用いて短期基準せん断耐力 30kN/m や 40kN/m の耐力壁の開発にも成功している。ただし、元々耐水性はあまり高くない材料のため、施工中の雨掛かりや厳しい使用環境での利用は避けることをお勧めする。

2.5.3 その他の木質系面材料

その他に木造建築物に用いられる木質材料としては、ミディアム・デンシティー・ファイバーボード (Medium Density Fiberboard, MDF) やパーティクルボード (Particleboard, PB) がある。何れも JIS 製品で、木材繊維や木材小片を原料とし、接着剤を噴霧してマットを作り熱圧してボードを製造する。両者ともに、元々は造作用、家具用の材料であったが、近年は耐力壁用面材としての技術開発が進み、2014 年および 2015 年にはそれぞれ JIS の改正があって、構造用 MDF、構造用 PB が規格に加えられた。これらは何れも密度が高く (700~800kg/m³ 程度)、合板に比べて面内せん断性能が高いという特徴を持っている。構造用 MDF、構造用 PB はまだ 9mm 厚さのものしか規格に記載がないが、今後は他の厚さの製品も規格に加えられるであろう。ボード寸法は、工場ごとに設備の新旧で差があるものの、連続プレスを導入している工場であれば OSB と同様に大版の面材料を製造することが可能である。

前記の合板や OSB も含め、これらボード類を耐力壁に用いた際の壁倍率の数値は昭和 56 年建設省告示第 1100 号に定められている。この告示では構造用面材の厚さや釘の種類と間隔を定めることで仕様規定的に壁の性能を規定しており、2018 年 3 月には同告示が改正されて、従来よりも高倍率の壁の仕様が追加された。今後の木質構造の発展に合わせて、これらボード類の需要も徐々に増加していくことが期待される。

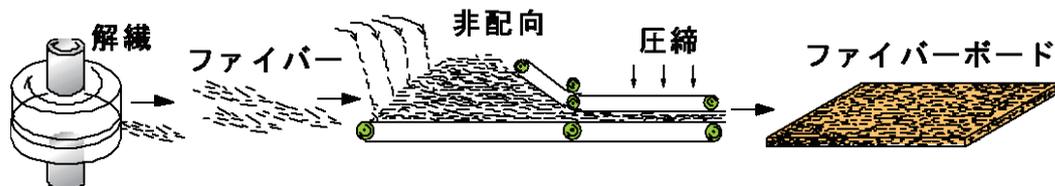


図 2.11 ミディアム・デンシティー・ファイバーボード (MDF) の製造

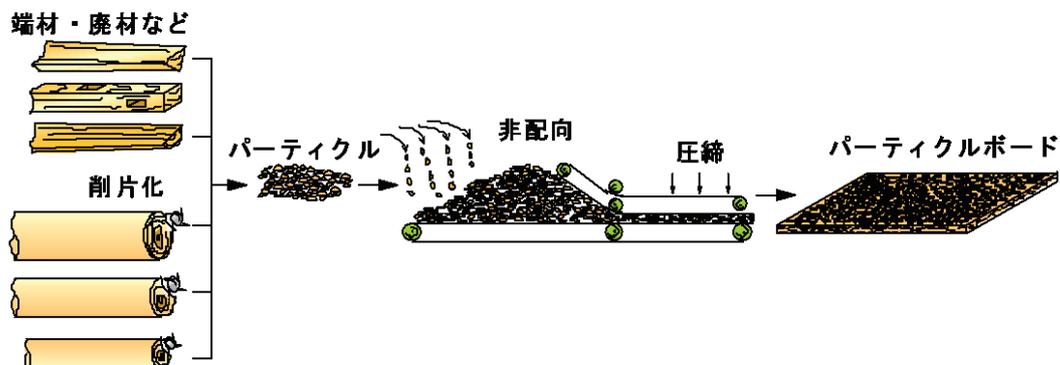


図 2.12 パーティクルボード (PB) の製造

2.5.4 せっこうボード

続いて、せっこうボードである。これは木造建築物の内壁下地材、間仕切り壁の下地材

に多用されてきた材料で、不燃性が高いために、特に防耐火性能を得たい場合に用いられる。近年、大型の木造建築物や5階建て以上の木造ビルを建設する際には準耐火構造や耐火構造にする事を求められるが、その際に最も容易に耐火性能を付与できるのがせっこうボードである。

せっこうボードのJISより構造用途として多用されるものを表2.18に抜粋して示したが、耐火構造仕様で良く用いられるのは強化せっこうボードである。この強化せっこうボードを2枚張りする仕様で1時間耐火構造の大臣認定を取得している例が多い。

せっこうボードは住宅の内装下地としても良く用いられてきたが、釘留めあるいはビス留めしても壁倍率で1倍程度とあまり高い性能は得られない。それよりも、耐火性能付与を目的として付加的に用いる方が建物の耐震性能上は余裕度が増すことになるのでよいだろう。ただし、せっこうボードは重量が大きいので、大量に用いると建物重量が増すことになり、それに応じて必要耐力も増やす必要がある点には注意が必要である。

表 2.18 主なせっこうボードの種類

| 種類 | 記号 | 備考 | 主な用途 |
|--------------|---------|--|-------------------------|
| せっこうボード | GB-R | せっこうボード製品の標準的なもの | 壁及び天井の下地材 |
| 強化せっこうボード | GB-F | GB-Rのしん(芯)に無機質繊維などを混入したもの | 壁及び天井の下地材, 防・耐火構造などの構成材 |
| 構造用せっこうボードA種 | GB-St-A | GB-Fの性能を保持したまま, くぎ側面抵抗を強化したもので, 側面抵抗によって, A種及びB種がある。 | 耐力壁用の面材 |
| 構造用せっこうボードB種 | GB-St-B | | |

参考文献

- 1) 日本建築学会編：木の学校づくり その構想からメンテナンスまで（改訂版）、文部科学省委託事業、2019
- 2) 日本建築学会編：木質構造設計規準・同解説、2006
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所監修：2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書、2015
- 4) (公財)日本住宅・木材技術センター編：木造軸組工法住宅の許容応力度設計、2017

第3章 部材の接合

3.1 接合方式の種類とその特徴

木質構造における主要構造部材の接合にあたっては、一般にボルト、ジベル等の接合具及び金物を用いて、力がスムーズに伝達されるように接合を行う。その際、木材及び金物はできるだけ精度よく加工を行い、接合部に有害なガタ（遊び）を生じないようにする必要がある。特に木質構造における機械的接合では、接合具と接合材の間にガタがない場合でも、荷重载荷により接合具の木材へのめりこみに伴うスリップを生ずるので、変形計算の際にはこれを考慮する必要がある。特に、トラス部材接合部、ブレース端部、横架材の継手等では、接合部のスリップ性状が構造全体の変形性状に大きく影響を与えるので注意を要する。

一般に、ボルト、ジベル等を用いた接合部では、接合具付近の木材に大きな力が集中するため、接合具の配置には十分注意を払う必要がある。縁端距離、ボルト間隔等は十分な距離を取り、特に木材の繊維に平行でない方向の荷重を受ける場合は、木材に割裂きを生じないように十分に注意を払う必要がある。

接合部に長期間にわたって荷重が作用する場合、構造形式、施工条件、使用条件によってはスリップが増加する場合は考えられるので注意する。ただし、接合部に部材の収縮等により木材の繊維に直角方向の力が加わることが想定される場合は、接合部にこのような力が加わらないように工夫するか、ボルト孔に適当な遊びを設ける等して、材に割裂きを生じないようにする必要がある。

なお、接合部の許容耐力の計算に関しては、日本建築学会編「木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－¹⁾」（以下、本節において AIJ 規準）を参照するものとし、本書ではその概略と接合における注意点を中心に解説することとする。

3.1.1 一般事項

わが国では、高さが 16m を超える、または地階を除く階数が 4 以上の建築物は、主要構造部の柱・はりなどが防火上の制限を受け、準耐火構造等とすることが求められている。その中で柱・はりの接合部については、火災時の加熱に対して耐力の低下を有効に防止できるよう被覆することなどが求められており、原則として、柱・はりの仕口又は継手における鋼材及びボルト、ドリフトピン等は厚さ 25mm 以上の木材又はこれと同等以上の性能を有する材料で防火上有効に被覆しなければならない（詳細は、第 1 編第 5 章を参照のこと）。また、混構造建築における接合の留意点は第 1 編第 8 章にも纏められているので適宜参照されたい。以下に、部位別の接合の代表例を示す。

3.1.2 柱脚・基礎

柱脚は土台を通じて基礎と緊結するほか、ボルト、ジベル、金物等を用いて直接基礎と緊結するのが有効である。その際、柱が負担する鉛直力を基礎に伝えるとともに、地震力、風圧力等により生ずる柱の引き抜きにも十分対応できる設計を行う必要がある。大断面アーク架構の柱脚では、二次応力、偏心等により不利な応力が生じないようにするとともに、水平せん断力に対して適切な設計を行う必要がある。なお、柱脚部には雨水、結露等により水分が停滞しないように特に注意する。

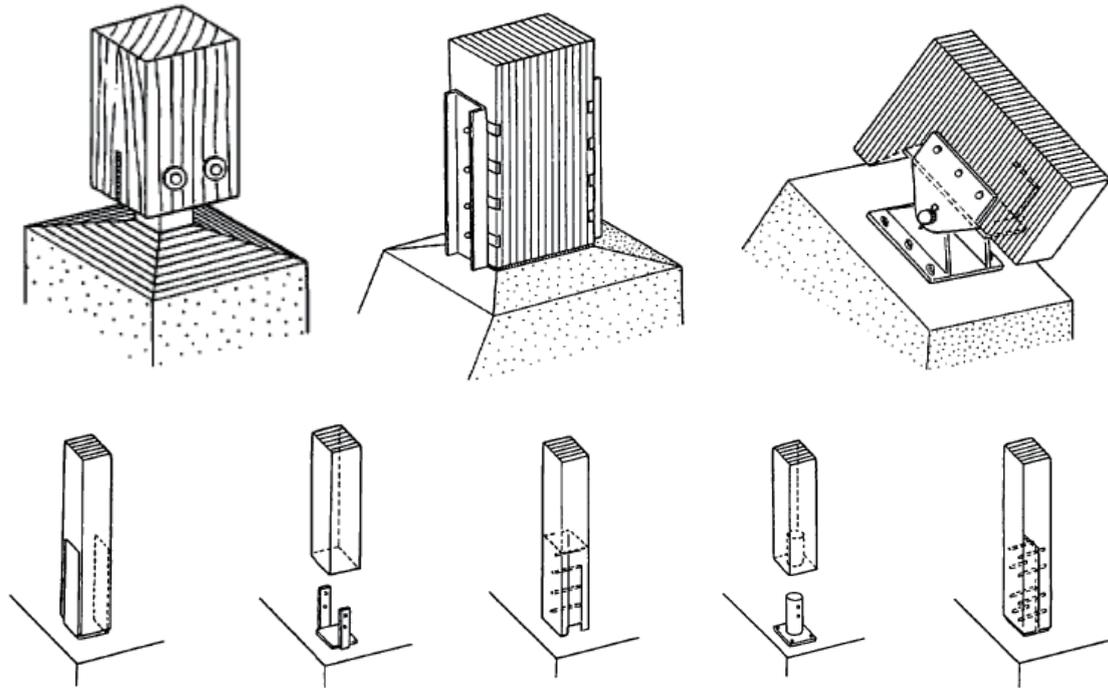


図 3.1 柱脚接合部の例

3.1.3 柱と横架材の接合

柱と横架材の接合にあたっては、ボルト、ジベル、金物等を用いて鉛直力及び水平力を伝達させる。この際、横架材の繊維に直角方向の力が作用し割裂きを生ずることのないよう注意する。また、横架材に長期間にわたって鉛直荷重が作用する場合には、接合部のクリープにより有害な変形を生じないように留意する。

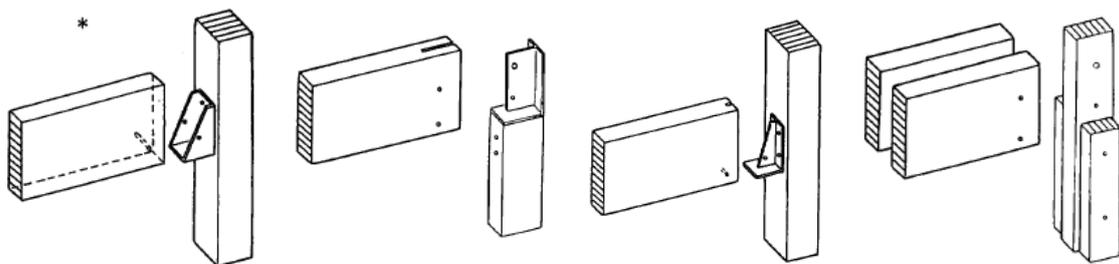


図 3.2 柱—横架材接合部の例

3.1.4 大ばりと小ばりの接合

大ばりと小ばり、母屋等の横架材の接合には、一般にはボルト、ジベル及び金物を用いるが、比較的軽微なものでは釘と金物を用いて接合することができる。

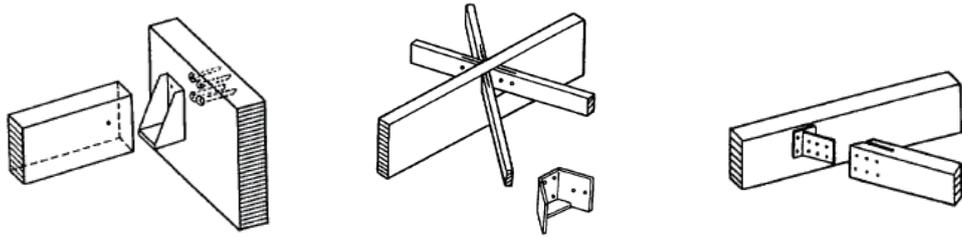


図 3.3 大ばり-小ばり接合部の例

3.1.5 はりの継手

横架材は一体のものを使用し、なるべく途中で接合しないことが望ましいが、輸送の関係上やむを得ずたて継ぎを行う場合は以下の要領による。

キャンティレバー型接合でせん断力のみを伝達させる場合は、この部分にモーメントが生じないように注意する。また、モーメントの生ずる部分で横架材のたて継ぎを行う場合は、モーメントのできるだけ小さい部分で接合するものとし、モーメント及びせん断力を完全に伝達可能な接合方式とする。この場合、ボルト、ジベル等のスリップにより有害な変形を生じないように留意する。なお、いずれの接合においても、二次応力等により材に割裂きを生じないように十分注意する。

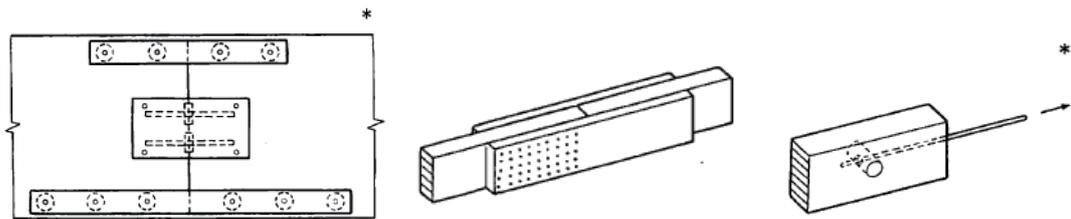


図 3.4 はり継手の例

3.1.6 ブレース端部

ブレース端部はボルト、金物等を用いて、基礎、柱、横架材等と接合する。この際、ブレースに生ずる引張力または圧縮力が、基礎、柱、横架材等にスムーズに伝達されるようにし、柱脚、柱頭における接合部に有害な二次応力を生じないようにする。

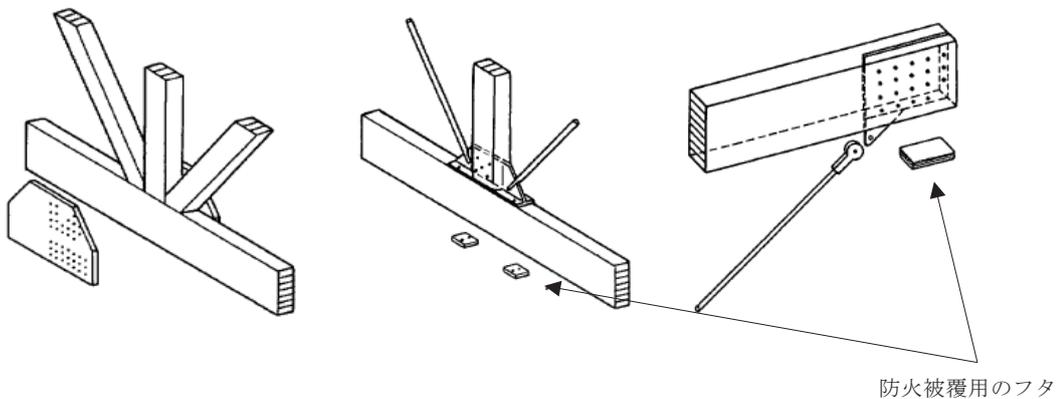


図 3.5 ブレース端部接合の例

3.1.7 アーチ頂部

3 ヒンジアーチ等の頂部は、軸力とせん断力がスムーズに伝達されるように接合する。特に、大きな力が作用する頂部の接合では、モーメント等により二次応力が生じ、割裂き等が生ずることのないようピン接合の設計を行わなければならない。

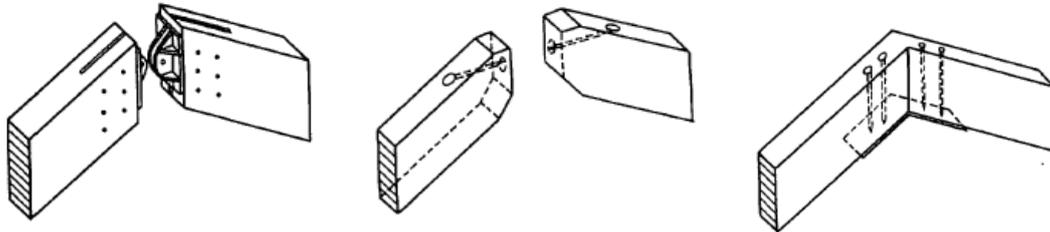


図 3.6 アーチ頂部の例

3.2 曲げ降伏型接合（ボルト、ドリフトピン、ラグスクリュー）

3.2.1 一般事項

曲げ降伏型接合とは、部材同士を棒状の接合具で打ち込みまたは貫通させて接合し、外力に対してせん断力で抵抗する機構を持つものを意味し、集成材建築物では主にボルト接合部、ドリフトピン接合部、ラグスクリュー接合部等が用いられる。

ボルト接合部には、ボルトが引張力を受ける引張ボルトとせん断力を受けるせん断ボルトがある。引張ボルトの耐力は、ボルト自身の引張強度と座金の木材へのめりこみによる。せん断ボルトでは、一般にボルトが木材にめりこみ、ボルトが曲げを受けることによりせん断力に抵抗する。したがって、せん断ボルトではボルトがボルト孔壁に密着することが必要で、ボルト孔はできるだけボルト径と一致させることが好ましい。

ドリフトピンは、丸鋼をピンと同径または多少小さめの先孔にたたき込んで用いる接合で、ボルトとくらべて初期すべりの低減が図れる。ドリフトピンの弾性挙動は、木材と木材または鋼板を挿入した接合ではボルト接合と同様であるが、終局時にピンの変形に伴い、部材同士が開こうとする力を受けるので、有効な開き止めを設ける必要がある。

ラグスクリューは、胴部の一部にネジを切った接合具で、2段にあけた先孔にねじ込んでせん断力に抵抗させる。ラグスクリューの力学特性は、鋼板を添え板とする1面せん断ボルトとほぼ同様と考えられる。

3.2.2 接合具の品質

ボルト、ナットは、JIS B 1180 六角ボルト及び JIS B 1181 六角ナットの規定による。軸部の材質は SS400 またはこれと同等品とする。ドリフトピンの品質は JIS G 3191 丸鋼による。ラグスクリューには一義的な規格がないため、信頼できる規格により材質・品質を規定されたものによる。

3.2.3 座金の寸法

座金を用いる場合の寸法は、おおむね表 3.1 に示す数値以上とする。

表 3.1 座金の寸法及び厚さ (mm)¹⁾

| 座金の大きさ \ 座金の大きさ | | ボルト径 | | | | | |
|-----------------|--------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 24 |
| 引張ボルト | 厚さ | 4.5 | 6 | 9 | 9 | 13 | 13 |
| | 角座金の一辺 | 40 | 50 | 60 | 80 | 105 | 125 |
| | 丸座金の直径 | 45 | 60 | 70 | 90 | 120 | 140 |
| 曲げボルト | 厚さ | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 4.5 | 6 | 6 |
| | 角座金の一辺 | 25 | 30 | 35 | 50 | 60 | 70 |
| | 丸座金の直径 | 30 | 35 | 40 | 60 | 70 | 80 |

3.2.4 許容引張耐力

接合部の許容引張耐力は、引張を受けるボルトなどの接合具の基準強度や、ボルトと併用する座金によってめり込みを受ける木材のめり込み強度などから算定することができる。接合部の設計にあたっては、接合具 1 本あたりの耐力だけでなく、接合部全体の設計用許容引張耐力を求め、接合部応力が接合部全体の設計用許容引張耐力よりも小さいことを確認する。

3.2.5 許容せん断耐力

接合部の許容せん断耐力は、木材の支圧強度や接合具径、接合形式などから算定することができる。ボルトなどの曲げ降伏型接合具を使った接合形式は図 3.7 のように分類できる。これらのせん断耐力は主材もしくは側材の木材が降伏する場合と、接合具が曲げ降伏する場合とで異なり、変形状も異なる。一般的には材厚(L)と接合具径(d)の比 ($=L/d$) が小さいと木材が降伏し、大きいと接合具で降伏する。また木材で降伏させると、終局では木材の割裂やせん断など脆性的な破壊を起こす危険性が高く、接合具で降伏させると破壊までの変形性能が大きく靱性的な接合部を形成することができる。

接合部の設計にあたっては、接合具 1 本あたりの耐力を求めただけでなく、木材の割裂やせん断等によって接合部全体が脆性的な破壊を起こさぬよう、接合部全体の終局耐力についても確認する必要がある。

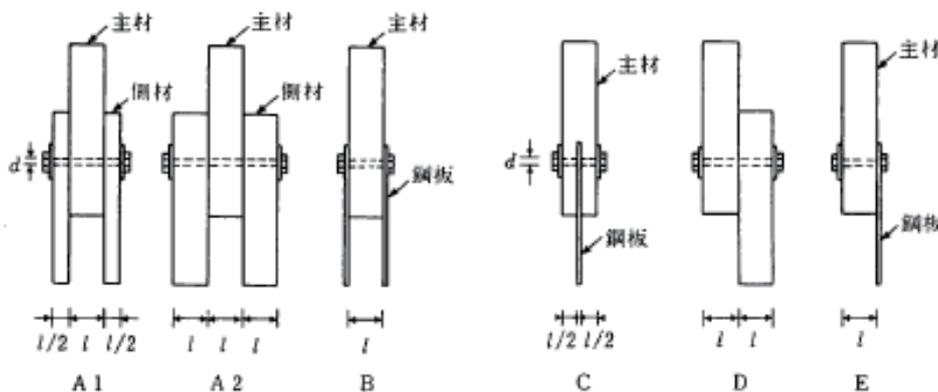


図 3.7 曲げ降伏型接合の接合形式¹⁾

3.2.6 接合具の配置

接合具が所定の耐力を発揮するためには、仕様規定的に接合具間隔をきちんと守ることが重要である。そのため、接合具の配置は以下(1)~(3)によるものとする(図 3.8)。これらの配置を守らないと、図 3.9 に示すように接合具間で木材の割裂やせん断破壊を生じて集合型破壊を起こす危険性があるので注意が必要である。

(1) 木材の繊維方向の加力を受ける場合

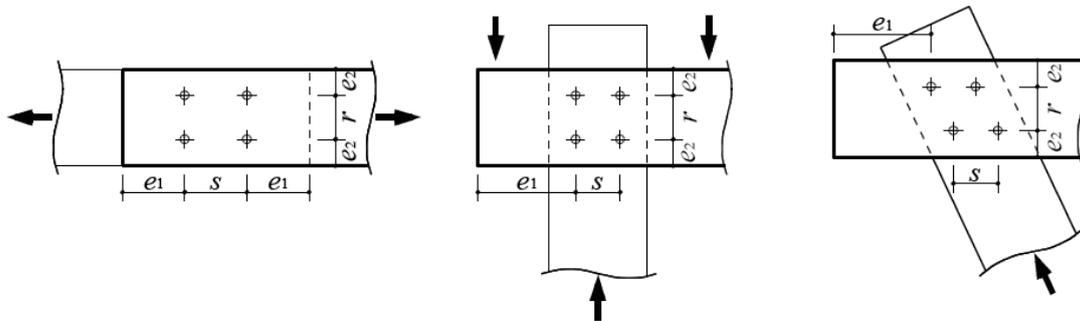
- ①材端距離(e_1) : 接合具径の 7 倍以上。ただし、材端部分に応力が生じない場合は接合具径の 4 倍以上
- ②縁端距離(e_2) : 接合具径の 1.5 倍以上
- ③木材の繊維方向の接合具間隔(s) : 接合具径の 7 倍以上
- ④接合具列間隔(r) : 接合具径の 2.5 倍以上

(2) 木材の繊維に直角方向の加力を受ける場合

- ①材端距離(e_1) : 接合具径の 7 倍以上
- ②縁端距離(e_2) : 接合具径の 4 倍以上。ただし、縁端部分に応力が生じない場合は接合具径の 1.5 倍以上
- ③木材の繊維方向の接合具間隔(s) : 接合具径の 5 倍以上
- ④接合具の列間隔(r) : 接合具径の 4 倍以上

(3) 木材の繊維に傾斜する方向の加力を受ける場合

- ①加力方向と繊維方向のなす角が 10 度以下の場合 : (1)の数値
- ②加力方向と繊維方向のなす角が 10 度を超え、70 度未満の場合 : (1)の数値と(2)の数値を直線補間した数値
- ③加力方向と繊維方向のなす角が 70 度以上の場合 : (2)の数値



① 角度 : 10 度以下 ③角度 : 70 度以上 ②角度 : 10 度以上 70 度未満

図 3.8 加力方向と木材の繊維方向とのなす角¹⁾

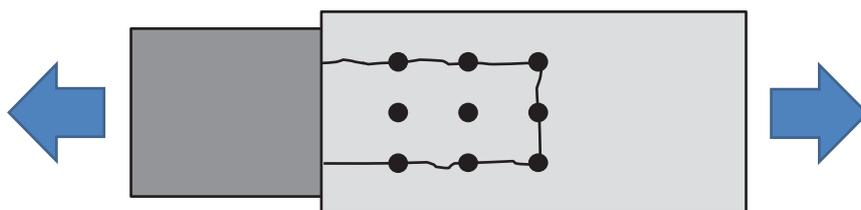


図 3.9 集合型破壊の例

3.3 ジベル接合

3.3.1 一般事項

ジベル接合は、部材間にまたがって配置されるジベル（車知、ダボ、シアキーを含む）がせん断抵抗し、木部のめり込み抵抗によって応力伝達するものであり、代表的なものでは、図 3.9 に示すように鋼製等の環状の接合具を環型に彫り込んだ木材に挿入する彫り込み型と、木材間に挿入して直接圧入する圧入型がある。

ジベルは、ボルトなどに比べて広い面積でせん断抵抗するため、主に部材間のせん断抵抗を増やしたいときに使われる。圧入型の場合は木材との間に初期ガタがないのに対し、掘り込み型はわずかに初期ガタが生じてしまうため初期滑りによる剛性低下を生じる可能性がある。

ジベル類は一般に流通している金物ではなく、海外からの輸入品か、金物メーカーへの特注品になるため、使用にあたっては納期や価格なども含めて検討する必要がある。

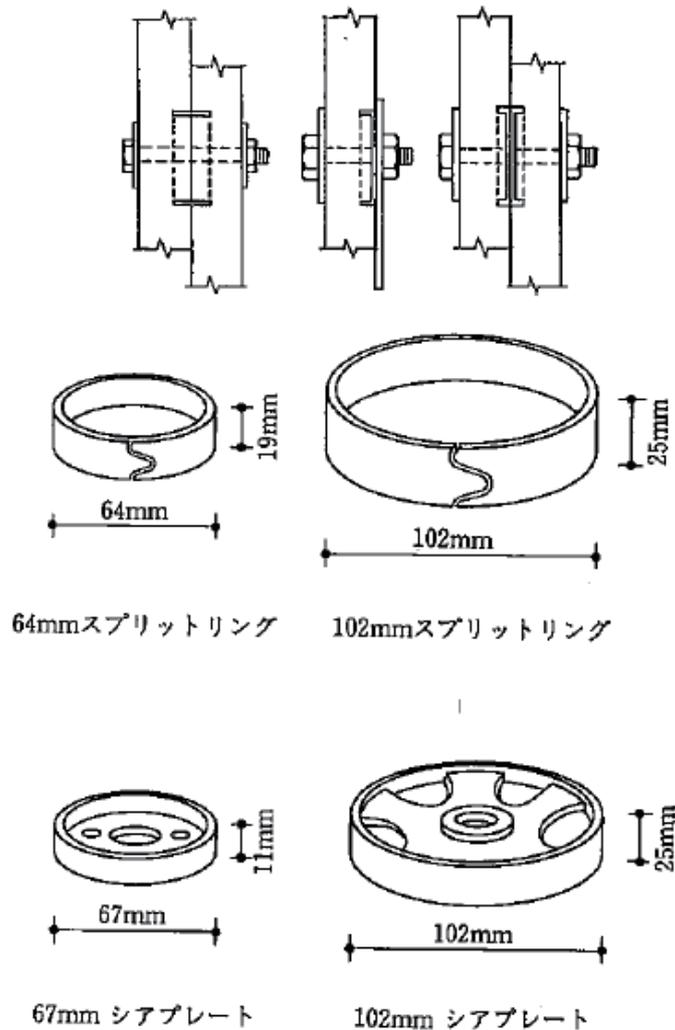


図 3.9 ジベルの形状と接合形式¹⁾

3.3.2 ジベルの材質及び品質

信頼できる規格により規定されたものによる。

3.3.3 許容せん断耐力

環型ジベル 1 個あたりの設計用許容せん断耐力は実験結果に基づき設定するものとし、接合部の設計にあたっては、ジベル 1 個あたりの耐力を求めただけでなく、接合部全体の設計用許容せん断耐力を求め、接合部応力が接合部全体の設計用許容せん断耐力よりも小さいことを確認する。なお、ジベルを複数個使用する場合には、その個数や配置によって耐力を適切に低減するものとする。

3.4 接合部におけるスリップと初期ガタ

3.4.1 ボルト、ドリフトピン及びラグスクリュー

材厚がボルト径とくらべて十分大きい場合、ボルト接合等における接合具の木材へのめりこみ並びにこれに伴う接合具の曲げにより生ずるすべり剛性 K は、接合具が先孔に密着していると仮定した場合の理論式が導かれている¹⁾。しかし、実際のボルト接合では、接合具と先孔の隙間（初期ガタ）のために初期変形が生じ、剛性が理論値よりも小さくなる傾向がある。一方で、ドリフトピンやラグスクリューの場合は初期ガタを無視しても差し支えないので、ほぼ理論値通りの剛性を求めることが可能である。また、複数本の接合具を用いる場合には、各接合具剛性の単純和よりも大きく低下する傾向がある。したがって、必要に応じて実験的検討を行うか、初期ガタを考慮した解析によって剛性を求めることが望ましい。

3.4.2 ジベル接合

ジベル接合部のすべり剛性については、原則的に実験結果に基づき、変形量 2mm 時の耐力を変形量 2mm で除して算出する。特に、彫り込み型ジベルの場合は初期ガタが生じやすいので、複数個のジベルを用いる場合は剛性を適切に低減することが望ましい。ばらつきが大きい場合も、これを考慮する。

3.5 接合部の終局耐力と変形性能

3.5.1 めりこみにより破壊に至る接合

終局耐力が木材の圧縮又はめりこみ（横圧縮）に依存する接合部の終局耐力は、木材の圧縮強度又はめりこみ強度により算出する。この場合、木材が割裂等により破壊しないことを確認する。

3.5.2 鋼材の降伏により破壊に至る接合

引張ボルト等で終局耐力が鋼材の降伏に依存する場合は、鋼材の材料強度により算出する。この場合、木材が割裂等により破壊しないことを確認する。

3.5.3 せん断ボルト接合等

AIJ 規準²⁾によると、ボルト接合部の許容耐力は、木材の圧縮強度並びに鋼材の降伏点により定まる降伏耐力と、終局強度比を考慮した終局耐力をもとに定められている。材厚がボルト径とくらべて比較的小さい場合は、終局耐力は降伏耐力とほぼ一致するが、材厚

がボルト径とくらべて十分大きい場合は、ボルト頭の存在による引張り効果により終局耐力が降伏耐力の1.2倍～1.5倍程度の値になる。ラグスクリューの場合も鋼板添え板形式の場合にはボルト接合とほぼ同様の性状を示すが、ドリフトピンではボルト頭がないため終局耐力は降伏耐力と概ね一致する。この降伏耐力に対する終局耐力の比のことを“終局強度比”と定義している。

ボルト接合等における変形性能も、当然材厚とボルト径の比に左右され、材厚がボルト径とくらべて小さい場合は、一般に極めて脆性的な破壊を示す。一方、材厚がボルト径とくらべて十分大きい場合は大きな塑性変形能力を示す。ボルトのすべり剛性並びに変形性能は樹種や接合形式により異なり、一般化することは難しいが、短期許容耐力にあたるすべり量は、実験によると概ね1～2mm、降伏耐力時のすべり量は3～7mm、最大すべり量は材厚が十分大きい場合は15～30mm程度である。ただし、ボルト孔がボルト径より大きい場合は初期すべりを生ずるのでこれを考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：木質構造設計規準・同解説 ―許容応力度・許容耐力設計法―、丸善、2006
- 2) 日本住宅・木材技術センター編：木造軸組工法住宅の限界耐力計算による設計の手引き、(財)日本住宅・木材技術センター、2005

第4章 接合金物の概要

4.1 接合金物の種類

接合金物は「規格金物」と「製作金物」に大別される。「規格金物」には、住宅産業向けに開発された「住宅用補強金物」と「住宅用接合金物」と中大規模木造向けに開発された「非住宅用接合金物」がある。いずれも性能実験をもとに評価機関が耐力を評定するものであり、金物と接合具（ボルト、ラグスクリュー、ドリフトピン、釘、ビス等）及び使用材料がセットになっている。一方、「製作金物」は構造計算により許容耐力を計算するもので、特記仕様書及び設計図等で適用条件が表現される。

4.1.1 規格金物

規格金物の接合耐力は性能実験をもとにした評価機関による評価により決定されるため、金物と接合具及び適用材料等がセットになっており、特記仕様書、金物ごとのマニュアルや仕様書をもとに管理をする。

(1) 住宅用補強金物

住宅用補強金物は、木造軸組工法住宅の構造耐力上主要な部分である継手、仕口、柱頭柱脚を補強し、その部分の存在応力を伝えるように緊結するための金物である。代表的な金物を以下に示す。

① ホールダウン金物

土台・基礎と柱の緊結、横架材と柱の緊結、上下階の柱相互の緊結に使用する。柱に直に接合具で緊結するものと枠材の上から接合具で緊結するものがある。一般的に短期許容引張耐力は35kNまでであるが、35kNを超える仕様のものもある。35kNを超えるものは特別なアンカーボルトが必要になるため、施工時に注意が必要になる。(図4.1)

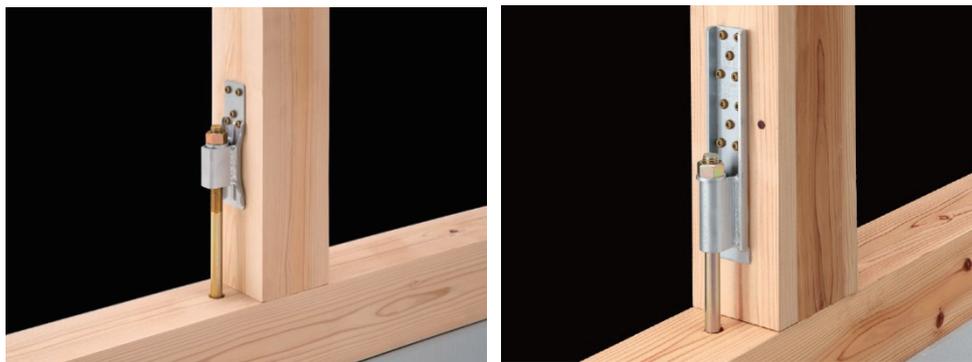


図 4.1 ホールダウン金物

②羽子板金物

小屋梁と軒桁、軒桁と柱、胴差と床梁及び通し柱と胴差の接合に使用する。(図 4.2)



図 4.2 羽子板金物

③筋かい金物

柱と土台または横架材と筋かいの接合に使用する。(図 4.3)

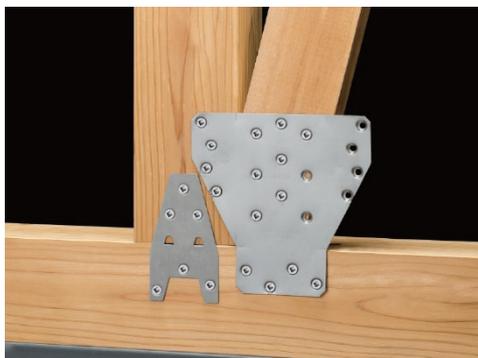


図 4.3 筋かい金物

(2) 住宅用接合金物

住宅用接合金物は、住宅用補強金物とは異なり、金物が主体的に接合部の力の伝達を行っており、金物なしでは接合部が成り立たないような接合金物を指している。住宅用接合金物は、施工の合理化と相まって、近年金物工法として広く普及している。金物には各メーカーで独自の工夫が施され、様々なタイプのものが提案されている。様々あるすべての仕様をプレカット工場が対応しているわけではなく、発注の際に加工の可否を確認する必要がある。また、加工精度の確保や干割れ等の木材の割れによる構造性能の低下を防ぐために原則集成材が用いられる。代表的な金物を以下に示す。

①梁受け金物

柱と梁の接合に使用する。接合具はボルトとドリフトピンである。(図 4.4)

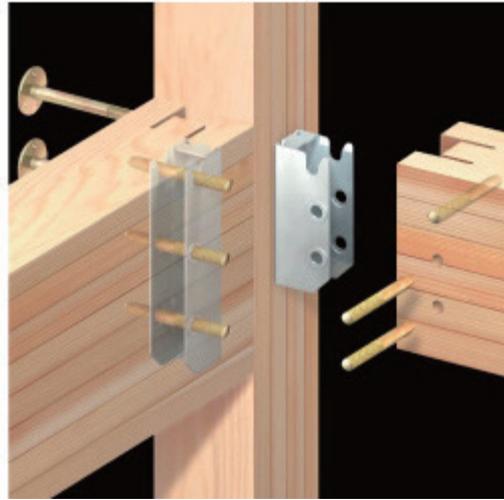


図 4.4 梁受け金物

②柱頭柱脚金物

図 4.5 に示すように、ホゾの代わりにパイプ金物を挿入し、ドリフトピンで接合するものや、図 4.6 に示すような、大きな引き抜きやめり込みに対応するため柱脚金物がある。

所定の耐力を確保するためにアンカーボルトの配置や種類に制限があるため、施工時に注意が必要になる。

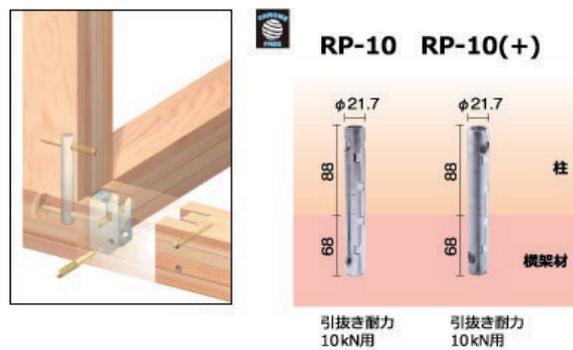


図 4.5 パイプ金物



図 4.6 柱脚金物

(3)非住宅用接合金物

プレカットを活用し、中大規模木造を普及する目的で様々な金物が開発されている。高耐力な耐力壁の柱頭柱脚金物からトラスを構成する金物、耐震要素やラーメン接合部として使用できるものまでである。代表的な金物を以下に示す。

①高耐力ホールダウン

JIS A3301 の例示仕様の柱脚金物で短期許容軸方向耐力は 158kN と高耐力なホールダウン金物である。(図 4.7)

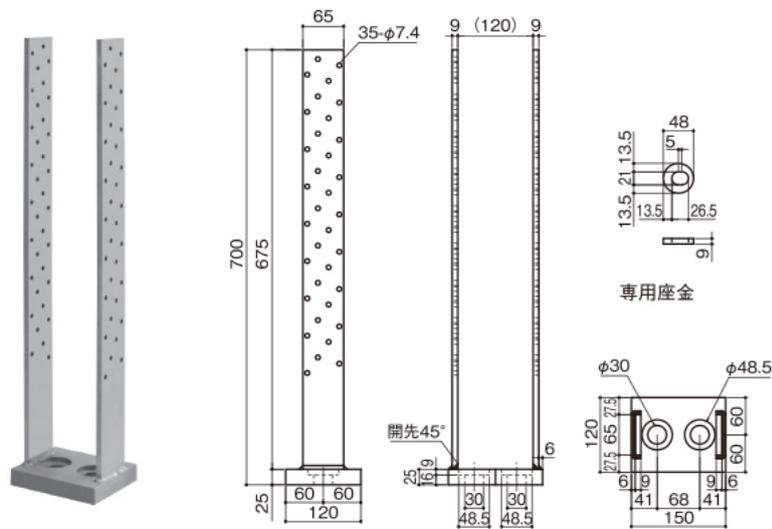


図 4.7 ビス止め柱脚金物 WHDB-160

②トラス接合金物

トラス接合金物の一例を図 4.8 に示す。図の金物は、部材の端部をピンとすることで、様々な角度に対応できる。また、プレカット加工機で加工ができるため汎用性が高い金物である。



図 4.8 トラス接合金物の例

③パイプ挿入型柱脚金物

パイプ挿入型柱脚金物の一例を図 4.9 に示す。図の金物は、基礎と 450mm 幅の平角柱を接合し、モーメント抵抗させることで狭小耐力壁を実現する柱脚金物である。



図 4.9 パイプ挿入型柱脚金物の例

④ラグスクリューボルト (LSB)

ラグスクリューボルト (LSB) は軸部の周囲に雄ネジを加工し、その端部に雌ネジまたは雄ネジを設けた接合具である (図 4.10)。木質材料に予め LSB の外径より小さい先孔を設け、その先孔に回転工具を用いて LSB を打ち込む (図 4.11)。いわゆる「ラグスクリュー (コーチボルト)」と異なり、LSB は軸方向への引張力に抵抗する接合具である。また、LSB は高い剛性と耐力を有するため、ラーメン接合部やトラス接合部で用いられる。その部材同士を接合するために製作金物を用いることが多い (図 4.12)。

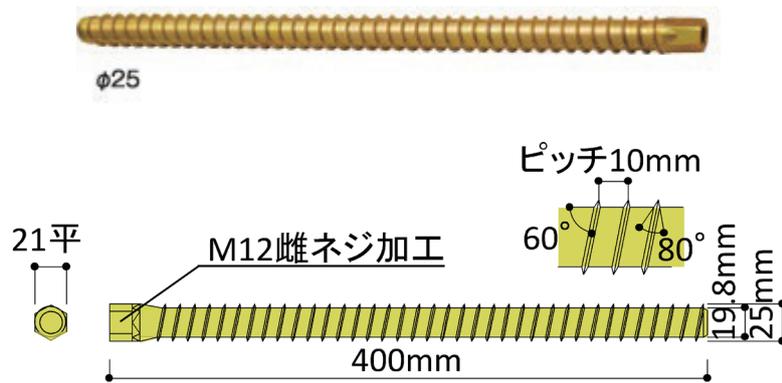


図 4.10 ラグスクリーボルト (LSB) の例



図 4.11 LSB 打ち込み状況

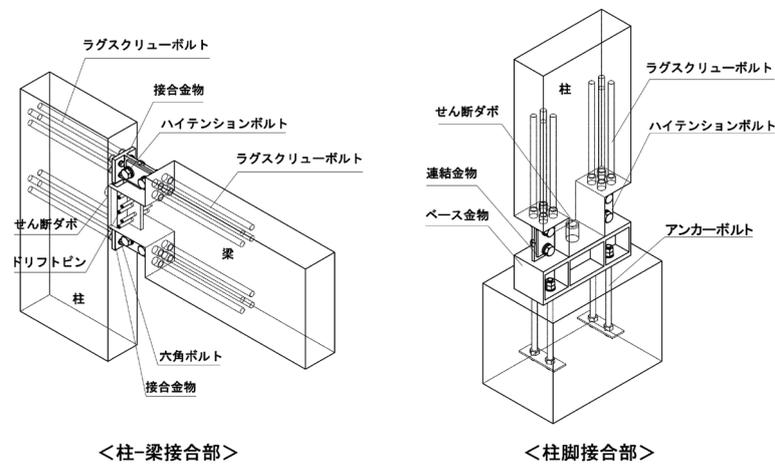


図 4.12 LSB 接合部の例 (山佐木材 (株) HP から引用)

⑤ グルード・イン・ロッド (GIR)

グルード・イン・ロッド (GIR) とは、木質材料の仕口に鋼棒を挿入し、樹脂接着剤を注入することで接着剤付着抵抗と鋼棒の引張により応力を伝達する接合部である。LSB と同様に高い剛性と耐力を有するため、ラーメン接合部やトラス接合部で用いられる (図 4.13、図 4.14)。



図 4.13 GIRによる柱-梁接合部の例



図 4.14 GIRによる柱脚接合部の例

4.1.2 製作金物

「規格金物」では対応できない応力や、複雑な納まりの場合に用いられる。製作金物の一般的な形状は図 4.15～4.17 のような鋼板を組み合わせたものであり、接合具はボルトとドリフトピンが用いられる。接合耐力や接合具配置は日本建築学会の木質構造設計規準をもとに設計される。木材や金物の加工孔径をいたずらに大きくするとガタが大きくなり構造性能を損なう恐れがあるため、設計図書の通りに管理するのが肝要になる。木質材料の加工は一般的なプレカット加工機ではなく、いわゆる大断面加工機によってなされるため、加工できる工場に限られるため、加工の可否を事前に確認する必要がある。

昨今は、製作金物の設計の手間を省くため、図 4.18 に示すような、標準図と接合耐力をセットにした梁受け金物が商品化されている。



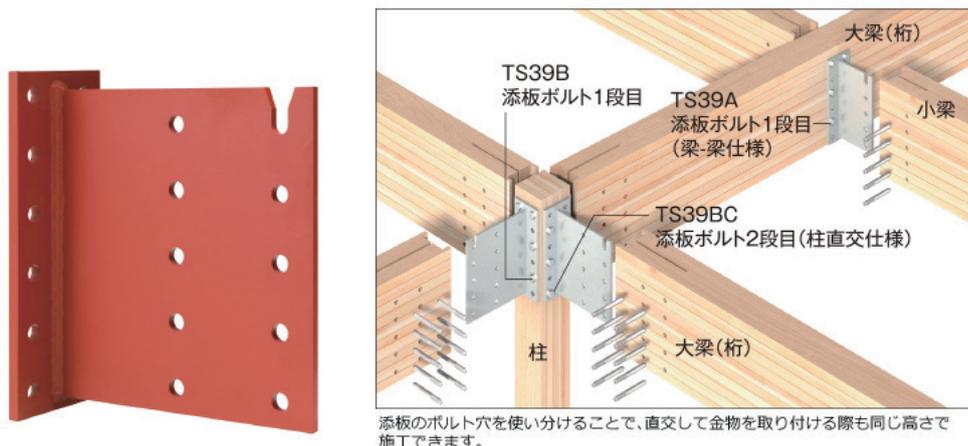
図 4.15 柱脚金物
(左：柱脚金物、右：筋かい付き柱脚金物)



図 4.16 梁受け金物
(左：大梁受け、右：小梁受け)



図 4.17 登梁受け金物
(左：登梁受け金物、右：使用部位)



添板のボルト穴を使い分けることで、直交して金物を取り付ける際も同じ高さで施工できます。

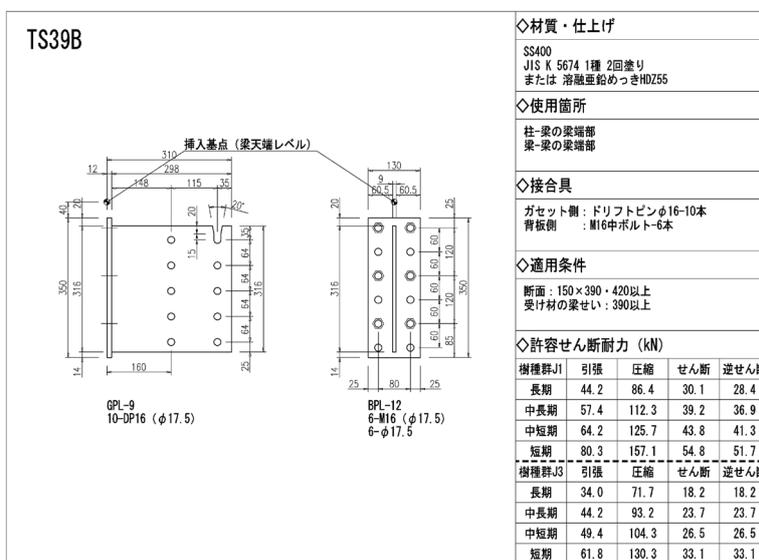


図 4.18 梁受け金物 (TS 金物)

4.2 接合金物の規格

接合金物の規格は「規格金物」にはあるが、「製作金物」は鋼材等を組み合わせて製作するため規格はない。製作金物に関しては、日本建築学会の木質構造設計規準や鋼構造設計規準をもとに設計をし、鉄骨造の仕様書に準じて製作する。

4.2.1 規格金物の規格

規格金物の規格は、下記の通りであるが、下記以外に指定性能評価機関で試験成績書を取得して基準耐力が明示された金物を、規格金物として使用できる。使用部位と金物の名称、材質、その他については特記仕様書で指定するのが一般的である。

- ・ 公益財団法人日本住宅・木材技術センターによる規格に準じた金物：Zマーク表示金物、又はCマーク表示金物
- ・ 性能認定金物：Sマーク表示金物
- ・ 同等認定金物：Dマーク表示金物

4.2.2 製作金物の規格

製作金物自体の規格は特に存在しない。製作金物の使用部位・材質・形状・寸法・溶接仕様・表面処理等については、特記仕様書及び設計図による。製作金物の材質や溶接、接合金物の規格等については第2編 第5章 接合金物（外注製作）で述べる。

4.3 接合金物の製作

近年、木質材料の機械加工技術の発展は目覚ましく、誤差1mm以下の高精度の加工が可能になっている。そのため、建物の精度管理の観点から接合金物には高い精度が求められる。よって製作金物の製作においては、特記仕様書もしくは設計図で指定する製品の寸法精度やボルト等の孔径、孔あけの許容寸法の管理ができ、指定する溶接技能者を有する工場で作成する必要がある。また、製作図をもとに一点一点製作を行うため、納期に注意が必要になる。特に、板厚が厚いものや、形鋼や鋼管等の鉄骨部材を採用する際には、調達のためのリードタイムが必要になるため注意が必要である。

製作フローの一例を図4.19に示す。このフローは、木質構造部材製作者が施工図や金物製作図を作成し、接合金物製作者に製造を依頼する想定である。

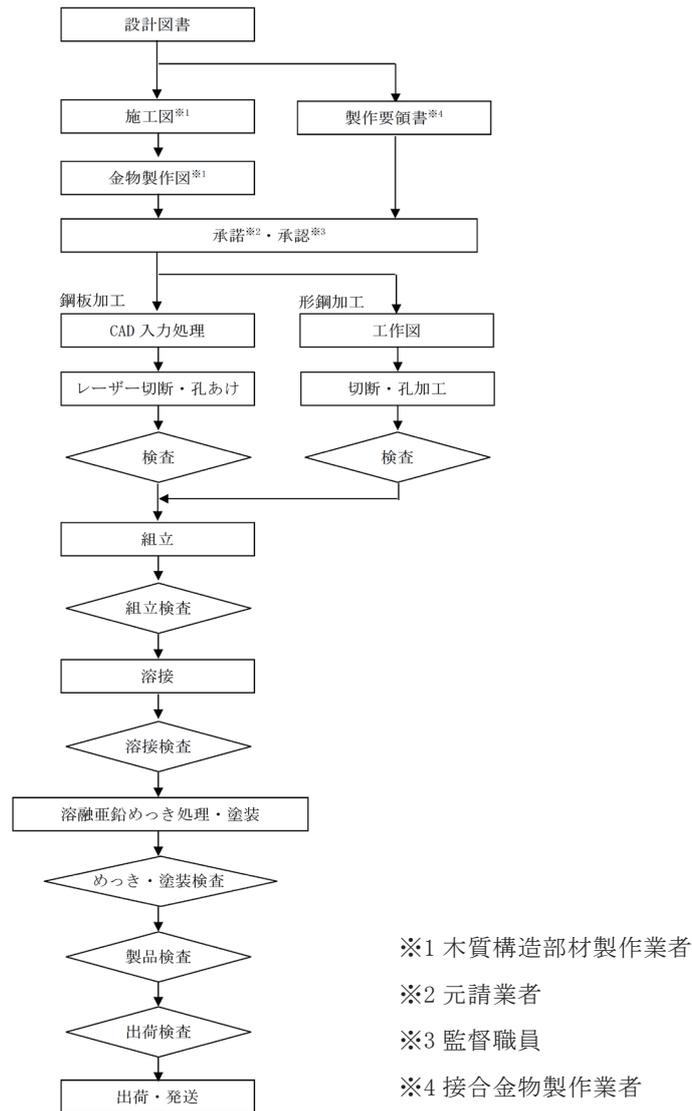


図 4.19 製作金物の製造フロー

4.4 品質管理

設計品質を達成するために、製品に対する品質目標、試験・検査方法、合否判定基準、不適合製品の手直し方法などの計画をし、品質管理を行う必要がある。そのため製作要領書を作成し、元請業者の承諾を受けて監督職員・工事監理者の承認を得る必要がある。

4.4.1 品質管理のための計画

品質管理のために計画し、実施する項目を以下に挙げる。

- ①設計品質の把握
- ②製作手順の検討
- ③工程能力の把握
- ④所要設備・機器（試験・検査機器を含む）の能力把握
- ⑤必要資格の調査・把握
- ⑥必要技能の調査・把握

- ⑦品質特性の設定
- ⑧品質水準（合否判定基準）の設定
- ⑨要求事項検証のための要領・手順（品質管理、検査）の決定
- ⑩製作要領書（検査要領書を含む）の作成
- ⑪品質記録または成績書様式の作成

4.4.2 製作要領書の内容

製作要領書の目的は、当該工事の設計図書に盛り込まれた設計品質を十分に把握し、それらの要求品質水準を十分満足させる製品を製作するための具体的な製作方法を立案・文章化し、実際の製作金物の製作にあたって施工指示書として使用することにある。したがって、設計図書に記載されていない加工法、施工法、検査方法などを詳細に立案することを含め、製作工場自身が持つ加工設備機器、技術、作業員数、経験及び熟練度などを勘案し、これらを総合的に活用して品質の確保はもちろん経済性、安全性、工期内製作を追求したものでなければならない。また、製作段階で問題が生じた場合の対応についても記載されていなければならない。

製作要領書の監督職員・工事監理者による承認は製作工場の品質保証を含めた製作全体の実施計画に関する承認であり、この承認により工場製作のスタートとなるべきものであるので、十分な検討と早期の対応が必要である。また、製作要領書は品質管理要領書や製品検査要領書などを兼ねて作成されることもある。

製作要領書の記載する具体的項目の例を示す。

- (1) 総 則：準拠した仕様書、設計規準、施工基準、疑義及び変更の処置
- (2) 工事概要：建物概要、工事範囲
- (3) 製作工場概要：名称、所在地、加工場、現寸場、材料置場及び製品置場の配置や面積、作業分担別担当者組織表、技術者の資格と人数、技能者の資格と人数
- (4) 使用材料：使用鋼材の材質、使用溶接材料の種類、製造会社名及び鋼種の識別方法、保管方法、材料試験・検査の有無及び方法
- (5) 製作工程概要：製作工程フローチャート及び監督職員・工事監理者の承認、立会試験・検査、製作工程表
- (6) 切断・加工・組立て：開先加工、スカラップ加工、切断・孔あけ等の精度基準、使用機器、高力ボルト接合部の摩擦面の処理方法・処理範囲及び注意事項、使用治具、組立て上の注意事項、組立て溶接の位置及び注意事項、組立て精度
- (7) 溶 接：溶接法と溶接基準、溶接の施工要領、仕上げ方法、歪み発生時の矯正方法、不良溶接部の補修方法、溶接技能者・溶接管理技術者・溶接検査技術者の資格及び有効期限
- (8) 品質管理及び検査：命令・情報系統図、製作の管理方法、不適合品の処理要領、外観検査基準、完成品に対する寸法検査方法及び精度基準、超音波探傷検査（UT）の合否判定規準、UT・外観検査により不合格となった箇所の補修方法、高力ボルト摩擦面の処理の確認

- (9) 塗 装：防錆塗料の種類・製造会社名、塗装方法・素地調整、塗り残し
- (10) 溶融亜鉛めっき：溶融亜鉛めっきの種類・付着量、めっき業者、素地調整、仕上げ
- (11) 輸 送：輸送方法、荷姿、輸送経路、緊急連絡先及び搬入時間、製品の仮置・養生についての注意事項
- (12) その他：工程表、溶接基準図、提出書類など

製作要領書の章立ての例を示す。あくまでも一例であり、設計の要求事項に応じて作成する必要がある。

第1章 総則

- 1.1 適用範囲
- 1.2 適用図書ならびに準拠規準
- 1.3 変更・疑義・協議
- 1.4 作業者への徹底

第2章 一般事項

- 2.1 工事概要
- 2.2 製作工場
- 2.3 業務分担表
- 2.4 作業系統図
- 2.5 設備機器一覧表

第3章 材料

- 3.1 鋼材
- 3.2 溶接材料
- 3.3 塗装材料
- 3.4 溶融亜鉛めっき

第4章 加工

- 4.1 矯正
- 4.2 けがき
- 4.3 切断
- 4.4 ひずみ取り
- 4.5 孔あけ
- 4.6 形状

第5章 組立て

- 5.1 組立て一般事項
- 5.2 組立て溶接
- 5.3 組立て精度

第6章 溶接

- 6.1 溶接一般事項
- 6.2 溶接工
- 6.3 溶接機

- 6.4 溶接材料の管理
- 6.5 溶接施工
- 6.6 仕上げ
- 6.7 矯正
- 6.8 不良溶接部の補修
- 第7章 検査
 - 7.1 工程内検査
 - 7.2 立会製品検査
 - 7.3 検査数量及び精度
- 第8章 表面処理
 - 8.1 素地調整
 - 8.2 塗装
 - 8.3 溶融亜鉛めっき
- 第9章 荷造り及び輸送
 - 9.1 荷造り
 - 9.2 製品番号
 - 9.3 搬入順序
 - 9.4 輸送
- 第10章 有資格者・資格証（写し）
 - 10.1 有資格者（写し）
 - 10.2 有資格者一覧表
- 第11章 書式及び書類
 - 11.1 工程検査表
 - 11.2 立会検査表
 - 11.3 提出書類

引用文献

鉄骨製作管理技術者登録機構：鉄骨製作管理技術者教本 2018年版，（2018）

第5章 防火に関する木材利用の留意点

平成30年6月に公布された建築基準法の改正では、大規模木造建築物に係わる防火制限が合理化され、公布後1年以内施行の政令や関連した告示など令和元年6月24日に公布、同日に施行された。本章では、法改正に関連して改正された告示など、令和2年2月末日現在の木造建築物に関連する防耐火法規に基づき、主要構造部の柱やはりに木質構造材料を利用する場合の留意点について解説する。

5.1 木造建築物の規模・用途・地域区分により要求される防耐火性能

建築基準法の規定により、木造建築物は、用途、規模（階数と高さ、延べ面積）、防火地域や準防火地域などの地域区分に応じて、それぞれ異なる防火性能の基準が要求され、その中で最も厳しいものが適用される。例えば、規模と地域区分から準耐火建築物が要求されても、用途から耐火建築物が要求されれば、耐火建築物とする必要がある。また、これ以外の条件も含めて法の要求する防耐火規準を満たすため、計画する木造建築物に対して要求される防耐火性能の技術的基準を確認する必要がある。

以下、中大規模木造建築を考える上で理解しておくべき建築基準法の主要条文の概要、関連する建築基準法施行令、あるいは国土交通省告示について説明する。

なお、以下の説明においては、法令上の用語ではなく、解説書等で一般的に用いられている用語を便宜上使用している場合があることをご承知おきいただきたい。（例：火災時倒壊防止建築物、避難時倒壊防止建築物、延焼防止建築物、1時間準耐火構造など。）

5.1.1 規模による要求性能(法第21条)

(1)法第21条の概要

比較的高さのある中高層の木造建築物が火災によって倒壊した場合には、周囲に様々な支障が生じてしまう。今回改正された建築基準法第21条第1項では、一定以上の高さの木造建築物の倒壊、倒壊に繋がる内部延焼を防止することを目的に、次のいずれかに該当する主要構造部（床、屋根は除く）の全部または一部に木材を用いた建築物については、耐火建築物、または火災時倒壊防止建築物（通常火災終了時間（建築物の構造、建設設備および用途に応じて通常の火災が消火の措置により終了するまでの間に通常要する時間）が経過するまでの間、当該火災による建築物の倒壊および延焼を防止するために主要構造部に必要とされる性能に関して政令で定める技術的基準に適合する建築物。）とすることを求めている。ただし建築物周囲の延焼防止上有効な空地を有する場合は除外されるとしている。

- ① 地階を除く階数が4以上である建築物
- ② 高さが16mを超える建築物
- ③ 倉庫、自動車車庫、自動車修理工場等で、高さが13mを超える建築物

また、第2項では、延べ面積が3,000㎡を超える木造建築物の主要構造部（床、屋根及び階段を除く）は耐火構造としなければならないとしている。ただし、延べ面積が3,000㎡を超える場合であっても、「壁等」によって有効に区画し、各区画の床面積の合計がそれぞれ3,000㎡以内とすることにより、主要構造部を耐火構造としなくても建設できるとしている。

(2)高さ・階数の制限（法第21条第1項、令109条の4、令109条の5、令109条の6）

今回の建築基準法改正により、技術的基準に適合した大規模の木造建築物は高さ

階数の制限が緩和された。具体的には、法 21 条第 1 項に規定されている地階を除く階数が 4 以上の木造建築物、あるいは高さが 16m を超える木造建築物の主要構造部の構造方式については、令 109 条の 5 に技術的基準が示され、「通常火災終了時間」に基づく構造（「火災時倒壊防止構造」）とする必要がある（注：屋根、階段は 30 分間と規定されている）。令 109 条の 5 第 1 号では、主要構造部の「火災時倒壊防止構造」に対する非損傷性、遮熱性、遮炎性の基準が示され、同条第 2 号では、耐火性能、または令第 108 条の 3 に掲げる性能（耐火性能検証法）に掲げる基準を満たすものと規定されている。

令 109 条の 5 に規定する木造建築物に対する具体的な技術的基準は、令 1 国交告第 193 号に示され、通常火災終了時間の計算方法として、せっこうボードなどの防火被覆仕様を決める固有通常火災終了時間と燃えしろ設計に用いる補正固有通常火災終了時間の計算方法が示されている他、具体の建築物として地階を除く階数が 4 以下で主要構造部を 75 分間の準耐火構造とした建築物、地階を除く階数が 3 以下で主要構造部を 1 時間準耐火構造とした準耐火建築物（地階を除く階数が 3 以下の旧施行令 129 条の 2 の 3 で定められていた建築物）、及び地階を除く階数が 2 以下の建築物の技術的基準が規定された。

令 1 国交告第 193 号では、75 分間準耐火構造については、防火区画などの技術的基準が示されるとともに、壁、柱、床、梁などの建築物の部分の区分に応じて、燃えしろ型の構造方式と石膏ボードなどを使用した防火被覆型の構造方式に分けて、火災時倒壊防止構造（特定準耐火構造）が規定されている。

なお、建築物の高さと階数の制限に対して、建築物の周囲に延焼防止上有効な空地で政令で定める技術的基準に適合する空地がある建築物は、ただし書きにより規制の対象から除かれている。

（関連告示：令 1 国交告第 193 号「建築基準法第 21 条第 1 項に規定する建築物の主要構造部の構造方式を定める件」、令 1 国交告第 195 号「1 時間準耐火基準に適合する主要構造部の構造方法を定める件」）

(3) 延べ面積の制限(法第 21 条第 2 項)

延べ面積が 3,000 m² を超える木造建築物の主要構造部（床、屋根及び階段を除く）は、耐火構造としなければならないが、延べ面積が 3,000 m² を超える場合であっても、「壁等」によって有効に区画し、各区画の床面積の合計がそれぞれ 3,000 m² 以内とすることにより、主要構造部を耐火構造としなくても建設できる。具体的には、階数 3 以下、屋根の仕上げを不燃材料とした建築物（倉庫その他の不燃性の物品を除く、物品を保管する用途に供する建築物は除く）で、壁、柱、床その他の建築物の部分、または防火戸その他の政令で定める防火設備により、通常の火災による延焼を防止するために必要とされる性能に関して政令で定める技術的基準に適合し、大臣が定めた構造方法を用いる「壁等」により、各区画の床面積の合計をそれぞれ 3,000 m² 以内に有効に区画することにより、延べ面積が 3,000 m² を超える木造建築物も建設可能となった。表 5.1 に、木造建築物の規模（高さ・階数・延べ面積）による建築物の構造制限の概要を示す。（関連告示：令 1 国交告第 250 号「壁等の構造方法を定める件」）

表 5.1 規模（高さ・階数・延べ面積）による建築物の構造制限

| 高さ | 地階を除く階数 | 延べ面積 | |
|-------|---------|------------------------------------|--|
| | | 3,000㎡ ^{※1} | |
| 16m超 | 制限なし | 耐火建築物 又は 火災時倒壊防止建築物 ^{※2} | |
| | 4以下 | 75分間準耐火構造 + その他の防火措置 ^{※3} | |
| | 3以下 | 1時間準耐火構造 + その他の防火措置等 | |
| | 2以下 | 30分間の加熱に耐える構造 + その他の防火措置等 | |
| | 平屋 | | |
| 16m以下 | 制限なし | 耐火建築物 又は 火災時倒壊防止建築物 ^{※2} | |
| | 4以下 | 75分間準耐火構造 + その他の防火措置 ^{※3} | |
| | 3以下 | 上記以外のその他の木造建築物 | |

※1) 3,000㎡以内毎に、壁等で有効に区画すれば、3,000㎡を超える木造建築物も建設可

※2) 主要構造部を火災時倒壊防止構造とした建築物。(法律上の用語ではない)

※3) 地階を除く階数4、延べ面積3,000㎡以下の建築物に対する主要構造部等の構造方式など、令1国交告第193号に例示されている。

5.1.2 用途による要求性能（法 27 条）

不特定多数の者が利用する建築物や就寝用途に供する建築物など、通常よりも高い防火安全性を確保する必要がある建築物（特殊建築物）に対して、用途別に用途に供する階や面積などの条件ごとに主要構造部の構造制限などが設けられている。法改正により、特定避難時間（特殊建築物の構造、建築設備および用途に応じて、当該建築物の在館者全てが当該建築物から地上までの避難を終了するまでの時間）が導入され、避難時間に応じた性能設計が可能になった。

令 110 条第 1 項では、特殊建築物の主要構造部の性能に関する技術的基準として、第 2 項の耐火建築物に加え、部位別に特定避難時間に対応する非損傷性・遮熱性・遮炎性が規定され、主要構造部を特定避難時間に基づく準耐火構造（避難時倒壊防止構造）とした「避難時倒壊防止建築物」が定められた。なお、特定避難時間が 45 分間未満である場合も 45 分間とし、最低でも 45 分間準耐火構造としての性能を確保する規定である。また、収容可燃物量が多い用途の倉庫、および自動車車庫などは、従来通り階数や規模により「耐火建築物としなければならないもの」、または「耐火建築物または準耐火建築物としなければならないもの」が要求されている。

特定避難時間により主要構造部と開口部に一定の防火性能が要求される建築物の用途は、次の 4 種類に区分される。

- ①劇場、映画館、観覧場、集会場など不特定多数の者が高密度に利用する用途
- ②病院、ホテル、共同住宅、児童福祉施設など多数の者が就寝に利用する用途
- ③学校、体育館、博物館、図書館、スポーツの練習場など多数の者が利用する用途
- ④百貨店、展示場、遊戯場、公衆浴場、飲食店、店舗など不特定多数の者が利用し、かつ収納可燃物量が多い用途

法 27 条第 1 項に規定する特殊建築物の主要構造部の性能に関する技術的基準は、令 110 条第 1 号で特定避難時間に基づく構造（避難時倒壊防止構造）、同条第 2 号で耐火構造、または耐火性検証法により耐火性能を確認した構造とする規定である。特殊建

建築物の外壁開口部や防火設備の遮炎性に関する技術的基準は令 110 条の 2 と令 110 条の 3 に定められている。「避難時倒壊防止構造」（特定避難時間に基づく準耐火構造）の具体的な仕様は、防火被覆型の構造方式や燃えしろ型の構造方式に分けて告示に示され、従前より認められていた木造 3 階建て共同住宅や木造 3 階建て学校も 1 時間準耐火建築物で建設できる規定である。表 5.2 に、特殊建築物の構造制限の一覧を示す。

（関連告示：平 27 建告第 255 号「法第 27 条第 1 項に規定する特殊建築物の主要構造部等の構造方式を定める件」）

表 5.2 特殊建築物の構造制限

| 建築物の種類 (主要構造部) | 耐火建築物 (耐火構造) | 又は 避難時倒壊防止建築物 (避難時倒壊防止構造 ^{※1}) | 準耐火建築物 | |
|--|-------------------------|--|------------|---|
| | | | (1時間準耐火構造) | (45分間準耐火構造) |
| 用途 | 左記の用途に供する階 | 左記の用途に供する部分 の床面積の合計 | 左記の用途に供する階 | 左記の用途に供する部分 の床面積の合計階 |
| 劇場、映画館、演劇場 | 3階以上の階、又は主階 が1階にないもの | 客席の床面積 200㎡以上 (屋外観覧席の場合、 1,000㎡以上) | — | — |
| 観覧場、公会堂、集会場 | 3階以上の階 | — | — | — |
| 病院、診療所 ^{※3} 、ホテル、旅館、 児童福祉施設等 | 3階以上の階 | — | — | 2階に病室がある場合、 2階部分の床面積の 合計 300㎡以上 ^{※4} |
| 共同住宅、寄宿舎、下宿 | 4階以上の階 | — | 3階 | 2階部分の床面積の 合計 300㎡以上 |
| 学校、体育館、博物館、美術館、 図書館、スポーツ練習場等 | 4階以上の階 | — | 3階 | 2,000㎡以上 |
| 百貨店、マーケット、展示場、カフェ、 飲食店、物品販売業を営む店舗等 | 3階以上の階 | 3,000㎡以上 | — | 2階部分の床面積の 合計 500㎡以上 |

※1) 主要構造部を避難時倒壊防止構造とした建築物。(法律上の用語ではない)

※2) 特定避難時間に基づく準耐火構造

※3) 患者の収容施設があるものに限る

※4) 病院及び診療所については、2階部分に患者の収容施設があるものに限る

5.1.3 地域区分による要求性能（法61条）

建物が集合している市街地に於ける火災の延焼と拡大を防止する目的で、防火地域と準防火地域内では集団的な防火規制として、一定の耐火性能を持つ建築物を建築することが求められている。防火地域、または準防火地域内にある建築物は、外壁の開口部で延焼のおそれのある部分に防火戸などの防火設備を設け、壁、柱、床その他の建築物の部分などに通常の火災によって周囲への延焼を防止するため必要とされる性能に関して、地域別、並びに建築物の規模に応じて、令 136 条の 2 で定める技術的基準にて適合しなければならない。

令136条の2では、第1号から第4号まで対象となる建築物と、その技術的基準が定められている。対象となる建築物の階数や延べ面積は、次の通りである。

①第1号：防火地域内の階数が3以上の建築物、もしくは延べ面積が100㎡を超える建築物、または準防火地域内の階数が4以上の建築物、もしくは延べ面積が1,500㎡を超える建築物（旧法61条、又は62条第1項により、耐火建築物が求められていた規模の建築物）

②第2号：防火地域内の階数が2以下で延べ面積が100㎡以下の建築物、または準防火地域内の階数が3以下（地階を除く）で延べ面積が1,500㎡以下の建築物、もしくは階数が2以下（地階を除く）で延べ面積が500㎡を超え1,500㎡以下の建築物（旧法61条又は62条第1項により、準耐火建築物が求められていた規模の建築物）

③第 3 号：準防火地域内の階数 2 以下で延べ面積が 500 m²以下の建築物（旧第 62 条第 2 項及び第 64 条により、外壁・軒裏を防火構造とし、延焼の恐れのある部分の外壁開口部に片面防火設備を設けた建築物とすることが求められていた規模の建築物）

④第 4 号：準防火地域内の階数が 2 以下で延べ面積が 500 m²以下の木造建築物等を除く建築物（旧法 64 条により、延焼の恐れのある部分の外壁開口部に、片面防火設備を設けた建築物とすることが求められていた規模の建築物）

令 136 条の 2 各号に掲げる基準に適合する建築物に対する主要構造部の構造方式と外壁開口部設備の構造方式は、令 1 国交告第 194 号に規定されている。例えば、同告示第 1 では、令 136 条の 2 第 1 号の基準に適合する建築物の主要構造部は、耐火構造若しくは耐火性能検証法により耐火性能が確認された構造とし、外壁開口部設備は法 2 条第九号の二ロに規定する防火設備とすることが規定されている。また、同告示の第 2 では、耐火建築物と同等以上の延焼防止性能が確保された建築物（「延焼防止建築物」）の具体的な構造方式が例示仕様として示されている。

令 136 条の 2 第 2 号の基準に適合する建築物の主要構造部等は、同告示の第 3 に主要構造部は準耐火構造、若しくは準耐火構造とした建築物と同等の耐火性能を有する建築物の技術的基準に適合する構造とし、外壁開口部設備は法第 2 条第九号の二ロに規定する防火設備とすることが規定されている。また、同告示の第 4 では、第 2 と同様に準耐火建築物と同等以上の延焼防止性能が確保された建築物（「準延焼防止建築物」）の具体的な構造方式が示されている。例えば、階数が 3 以下かつ延べ面積が 500 m²以下で、外壁や軒裏を防火構造とすることなど旧令 136 条の 2 の技術的基準に適合する準防火地域の 3 階建て建築物などである。さらに同告示の第 5 では、令 136 条の 2 第 3 号に掲げる基準に適合する建築物の部分として、外壁と軒裏で延焼の恐れのある部分は防火構造とし、外壁開口部設備は 20 分間防火設備とする仕様が示されている。表 5.3 に、防火地域・準防火地域内における建築物の構造制限の概要を示す。（関連告示：令 1 国交告第 194 号「防火地域または準防火地域内の建築物の部分及び防火設備の構造方式を定める件」）

表 5.3 防火地域・準防火地域内における建築物の構造制限

| 延べ面積 | 防火地域 | | | 準防火地域 | | |
|------------|--------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| | 50m ² ^{※1} | 100m ² | 3,000m ² | 500m ² | 1,500m ² | 3,000m ² |
| 階数制限なし | 耐火建築物 | | | 耐火建築物 | | |
| 地階を除く階数3以下 | 延焼防止建築物 ^{※2} | | | 準耐火建築物 又は 準延焼防止建築物 ^{※3} | 延焼防止建築物 ^{※2} | |
| 地階を除く階数2以下 | 準耐火建築物 | | | その他の建築物 | 延焼防止建築物 ^{※2} | |
| 平屋 | 準耐火建築物 | | | その他の建築物 | 延焼防止建築物 ^{※2} | |

※1) 準防火地域内含み、延べ面積50m²以下の平屋建て付属建築物は、外壁・軒裏を防火構造とし、外壁開口部に20分間防火設備で建設可

※2) 延焼防止建築物：令136条の2第1号ロに掲げる基準に適合する建築物

※3) 準延焼防止建築物：令136条の2第2号ロに掲げる基準に適合する建築物(昭62技術的基準に適合する建築物)

5.1.4 その他の大規模木造建築物に対する主な防火規制

(1)大規模木造建築物等の外壁（法 25 条）

延べ面積（同一敷地内に 2 以上の木造建築物等がある場合、その延べ面積の合計）

が 1,000 m²を超える木造建築物等は、その外壁及び軒裏で延焼のおそれのある部分を防火構造とし、その屋根の構造を法 22 条第 1 項に規定する構造としなければならない。

(2)防火壁・防火床による区画（法 26 条、令 113 条、令 115 条の 2）

延べ面積が 1,000 m²を超える木造建築物は、防火上有効な構造の防火壁、または防火床により有効に区画しなければならない。ただし、耐火建築物又は準耐火建築物とした場合、および体育館など火災の発生の恐れが少ない用途に供する集成材等建築物で、主要構造部の構造方法など防火上必要な政令で定める技術基準に適合する場合は、防火壁、または防火床の設置が緩和できる。（関連告示：令 1 国交告第 197 号「防火壁及び防火床の構造方式を定める件」）

(3)小屋裏隔壁（令 114 条第 3 項、第 4 項）

小屋組が木造で建築面積が 300 m²を超える建築物は、けた行間隔 12m 以内ごとに小屋裏に準耐火構造の隔壁を設けなければならない。ただし、耐火建築物や建築物の各室、各通路の壁、および天井の室内に面する部分の仕上げを難燃材料で行うか、スプリンクラー設備などで自動式のもの、および排煙設備を設けた場合、もしくは直下の天井を強化天井とした場合は、小屋裏隔壁の設置は緩和される。（関連告示：平 28 国交告第 694 号「強化天井の構造方式を定める件」）

5.2 木造建築物の主要構造部に関連する防火性能の技術的基準

建築法令の規定により木造建築物は、主要構造部など部位別に必要な防耐火性能が要求されている。木造建築物に関連する防火上の必要な技術的基準に従うと、木造建築物は耐火建築物、準耐火建築物、避難時倒壊防止建築物、火災時倒壊防止建築物、延焼防止建築物、準延焼防止建築物およびその他の建築物に分類できる。

5.2.1 耐火建築物

耐火建築物は、法 2 条第 9 号の 2 で定義され、主要構造部が耐火構造であるもの、または耐火性能検証法等により火災が終了するまで耐えられることが確認されたもので、外壁の開口部で延焼の恐れのある部分に防火設備を有する建築物である。法 2 条第 9 号の 2 イ(1)で示す主要構造部の技術的基準は、令 107 条第 1～3 号に定められ、法第 2 条第 9 号の 2 イ(2)で示す技術的基準は、令 108 条に定められている。

(1)主要構造部を耐火構造とした耐火建築物（令 107 条第 1 号～3 号：仕様ルート A）

主要構造部に要求される耐火構造は、法 2 条第 7 号に定義され、令 107 条に定める耐火性能の技術的基準に適合する構造で、屋内および周囲で発生した火災の加熱に対する非損傷性、遮熱性、遮炎性の 3 つの防火性能が求められている。主要構造部の構造方式は、平 12 建告第 1399 号において国土交通大臣が定めた構造方法を用いるもの（告示の例示仕様）と国土交通大臣の認定を受けたものに分類される。

(2)耐火性能検証法による耐火建築物（令 108 条の 3 第 1 項、第 2 項：性能ルート B）

耐火性能検証法は、法 2 条第 9 号の 2 イ(2)に基づき、当該建築物の構造、建築設備、および用途に応じて屋内において発生が予測される火災による火熱に火災が終了するまで耐えること、および当該建築物の周囲において発生する通常の火災による火熱に火災が終了するまで耐えることを検証する方法である。耐火性能検証法の技術的基準は、令 108 条の 3 第 1 項第 1 号と第 2 項に定められ、具体的な検証方法は平 12 建告

第 1433 号に規定されている。耐火性能検証法では、現しに出来る木造の柱・はりも検証対象とされるが、部材の小径は 20 cm 以上とする規定である。

(3) 高度な検証法による耐火建築物（令 108 条の 3 第 3 項：性能ルート C）

令 108 条の 3 第 1 項第 2 号に基づき、高度な専門的知識に基づく検証法により、耐火建築物とすることも可能である。性能ルート C では、指定性能評価機関で耐火性能に関する性能評価を受け、大臣認定を受けることが必要である。

(4) 外壁開口部の防火設備

建築物を耐火建築物とするためには、外壁の開口部で延焼の恐れのある部分に防火戸その他の防火設備を有していることが必要である。防火設備に必要とされる遮炎性能は、令 109 条の 2 に技術的基準が定められ、防火設備に通常の火災による火熱が加えられた場合、加熱開始後 20 分間当該加熱面以外の面に火炎を出さないものであることが必要とされている。令 109 条の 2 の基準を満たす防火設備は、平 12 建告第 1360 号に規定する国土交通大臣が定めた例示仕様と国土交通大臣の認定を受けたもの 2 種類に分けられる。

5.2.2 準耐火建築物

準耐火建築物は、法第 2 条第 9 号の 3 で定義され、主要構造部を準耐火構造としたもの（イ準耐）、又はそれと同等の準耐火性能を有するものとして政令で定める技術基準に適合するもの（ロ準耐）で、外壁の開口部で延焼の恐れのある部分に防火設備を設けた建築物のことをいう。

(1) 主要構造部を準耐火構造とした準耐火建築物（イ準耐火建築物）

主要構造部が 45 分間準耐火構造の準耐火建築物と 1 時間準耐火構造の準耐火建築物に分類される。45 分準耐火建築物の主要構造部の構造方式は、令 107 条の 2 第 1 ～ 3 号に定められ、告示（平 12 建告 1358 号）で国土交通大臣が定めた構造方法を用いるものと国土交通大臣の認定を受けたものに分類される。また、1 時間準耐火建築物の主要構造部の構造方式は、旧令 129 条の 2 の 3 の廃止に伴い、新たに令 112 条第 2 項に「1 時間準耐火基準」として技術基準が定められ、防火被覆型の構造方式や燃えしる型の構造方式が、令 1 国交告第 195 号に例示されている。

(2) 政令で定める技術的基準に適合する準耐火建築物（ロ準耐火建築物）

法第 2 条第 9 号の 3 ロに規定する準耐火建築物で、イ準耐火建築物（45 分間準耐火構造）と同等の準耐火性能を有するものとして、令 109 条の 3 で定める技術的基準に適合する建築物である。ロ準耐火建築物には、外壁を耐火構造とするもの（ロ準耐火建築物一号）と主要構造部を不燃材料等とするもの（ロ準耐火建築物二号）があり、いずれの場合も、外壁の開口部で延焼のおそれのある部分に防火戸その他の防火設備を有することが必要である。ロ準耐火建築物一号では、外壁を耐火構造の RC 造などや木質耐火構造とすることにより、屋根架構など建築物内部には防火規制が掛からず、木造化とすることも可能であるが、主要構造部が不燃材料のロ準耐火建築物二号の場合、可燃材料である木材を主要構造部に用いる木造建築物には適用できない。

5.2.3 火災時倒壊防止建築物

令和元年6月施行の法改正により、建築物の高さを制限する法21条第1項が性能規定化され、高さ16mを超える建築物や地階を除く階数が4以上の建築物は、耐火建築物に加え、主要構造部を通常火災終了時間に基づく火災時倒壊防止構造（特定準耐火構造）の「火災時倒壊防止建築物」とすれば良いことに改正された。高さや階数の制限を超える建築物の主要構造部に必要とされている性能に関する技術的基準は令109条の5に示され、柱やはりなどの主要構造部は通常火災終了時間が経過するまで、当該火災による建築物の倒壊及び延焼を防止する為に必要な技術的基準に適合させなければならない規定である。通常火災終了時間の計算方法は、令1国交告第193号に規定化されている他、今回の法改正の考え方に基づいた具体のモデル建築物として「地階を除く階数が4の建築物」の主要構造部について、通常火災終了時間が75分間の準耐火構造が例示されている。また、旧法21条第1項ただし書きで規定されていた政令で定める技術的基準に適合する建築物は、ただし書きによる特例ではなく、3階建ておよび2階建ての建築物を対象とした旧法と同じ内容の技術的基準が、仕様規定として令1国交告第193号に規定された。

5.2.4 避難時倒壊防止建築物

法27条では、通常の建築物より高い防火安全性を確保する必要のある特殊建築物に対して、用途別に用途に供する階や面積などの条件ごとに主要構造部の構造制限などが設けられている。今回の法改正では、特殊建築物の構造、建築設備および用途に応じて、当該建築物の在館者全てが当該建築物から地上までの避難を終了するまでの時間（特定避難時間）が導入され、避難時間に応じた性能設計も可能になった。

法第27条第1項で示す技術的基準は、主要構造部の構造方式が令第110条に規定され、令110条第1項では、第2項の耐火建築物に加え、部位別に特定避難時間に対応する非損傷性、遮熱性、および遮炎性が規定され、主要構造部を特定避難時間に基づく準耐火構造（避難時倒壊防止構造）とした「避難時倒壊防止建築物」が定められた。避難時倒壊防止構造の具体的な仕様は、令和2年2月に改正された平27国交告第255号第1第1項第1号に、防火被覆型の構造方式や燃えしろ型の構造方式に分けて示された。また、法改正前より認められていた木造3階建て共同住宅と木造3階建て学校も同告示に主要構造部を1時間準耐火構造とするなどの技術的基準が示されている。

5.2.5 延焼防止建築物・準延焼防止建築物

法61条の改正により、防火地域および準防火地域内の建築物は、周囲への延焼防止する為に必要とされる性能を確保することが必要となり、規制対象となる建築物の立地や規模別に、壁、柱、床その他の部分、および防火設備の性能に関する技術的基準が令136条の2に規定された。令136条の2第1号では、法改正前に耐火建築物が要求される立地と規模の建築物に対して、第1号イでは耐火建築物、第1号ロでは耐火建築物と同等以上の延焼防止性能が確保された建築物（「延焼防止建築物」）技術的基準が規定されている。また、令136条の2第2号では、法改正前に準耐火建築物が要求される立地と規模の建築物に対して、第2号イでは準耐火建築物、第2号ロでは準耐火建築物と同等以上の延焼防止性能が確保された建築物（「準延焼防止建築物」）の

技術的基準も規定されている。令 136 条の 2 各号に掲げる基準に適合する建築物に対する主要構造部の構造方式と外壁開口部設備の構造方式は、令 1 国交告第 194 号に規定されている。同告示第 2 では、表 5.4 に示す「延焼防止建築物」の具体的な構造方式などが例示されている。

表 5.4 3 階建て以下の耐火建築物相当（延焼防止建築物）の構造方式

| 用途 | 延焼防止建築物の前提条件(例示仕様) | | | | | 要求性能 | | |
|------------|--------------------|----------|--|--------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| | 階数 | 延べ面積 | 外壁開口部の開口率(γ) | SP設備 | 区画 | 主要構造部(外壁除く) | 外壁 | 防火設備 |
| 劇場、学校、事務所等 | 3以下 (地階を除く) | 3,000㎡以下 | セツバック距離(s)に応じ下式の値以下 $\gamma \leq 0.05$ ($s \leq 1$) $\gamma \leq 0.1s - 0.05$ ($1 < s \leq 3$) $\gamma \leq 0.25$ ($3 < s$) | 必要 | 500㎡以下 | 1時間 準耐火構造 | 75分間 準耐火構造 | 20分間 防火設備 |
| 共同住宅、ホテル等 | | | | | 100㎡以下 | | 90分間 準耐火構造 | |
| 物販店舗等 | | | | | 500㎡以下 | | | 30分間 防火設備 |
| 戸建住宅 | | 200㎡以下 | 不要 | 堅穴部分区画 | 45分間 準耐火構造 | 75分間 準耐火構造 | 20分間 防火設備 | |

5.2.6 その他の建築物

上記 5.2.1～5.2.5 で述べた建築物以外のものは、令第 136 条の 2 に規定する準防地域に建築する木造 3 階戸建て住宅、令 115 条の 2 に規定する防火壁の設置を要しない建築物、およびその他の建築物がある。

以上述べた耐火建築物などの主要構造部に要求される、耐火構造から準防火性能を有する構造は、防火性の上位性能を有する構造は下位の構造などに包含されるものとして整理されており、その包含関係を図 5.1 に示す。この包含関係では、準防火構造は耐火構造を含み、防火構造は準耐火構造と耐火構造を含み、準防火性能を有する構造は耐火構造、準耐火構造、防火構造を含んでおり、部位の一部を上位性能の構造で代替できる。例えば、主要構造部の一部に耐火構造を用いた準耐火建築物も可能だが、準耐火建築物と耐火建築物は包含関係ではない。

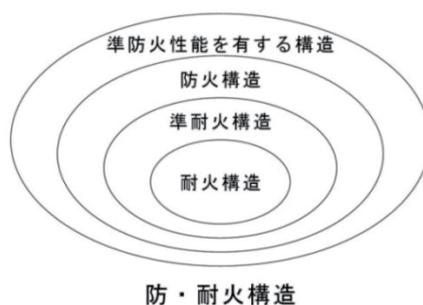


図 5.1 防・耐火性能の包含関係

5.3 耐火建築物の主要構造部に要求される性能（仕様ルート A）

5.3.1 耐火構造（法 2 条第 7 号，令第 107 条，平 12 建告第 1399 号）

耐火構造は、法 2 条第 7 号で「通常の火災が終了するまでの間、当該火災による建築物の倒壊及び延焼を防止するために当該建築物の部分に必要とされる性能」と定義され、令 107 条に定める耐火性能の技術的基準に適合する構造で、国土交通大臣が定

めた構造方法を用いるもの、また国土交通大臣の認定を受けたものである。

(1)耐火性能の種類

令 107 条の耐火性能の技術的基準では、屋内及び周囲で発生する「通常の火災」に対して建築物の部分別に火災の加熱に対する、次の耐火性能を要求している。

- ①非損傷性（令 107 条第 1 号）：火災時に構造耐力上の支障となるような変形、溶融、破壊などの損傷や、過剰な温度上昇による耐力低下を生じないことであり、損傷すれば架構の崩壊のおそれが生ずるものをいう。
- ②遮熱性（令 107 条第 2 号）：壁、床などの区画部材について、非加熱面の温度が可燃物が燃焼する危険のある一定温度以上に上昇せず、反対側の表面に接触している可燃物の着火を防ぐ性能をいう。
- ③遮炎性（令 107 条第 3 号）：壁、屋根などの区画部材について、一方の面から火災を受けたとき反対側の面に火炎を貫通するような亀裂等を生じないことをいい、延焼防止のために必要な性能である。

(2)耐火性能が必要となる部位と要求耐火時間

令第 107 条の規定では、火災時に建物の荷重を支えるべき部位（柱、はり、床、屋根、階段、および耐力壁）には、屋内火災に対する非損傷性が要求される。外壁や間仕切壁も火災時に荷重を支持する耐力壁であれば、これらの部位にも非損傷性が要求される。建物の外皮を構成する外壁と屋根には屋内火災に対する遮炎性が、外壁にはそれに加えて屋外火災に対する遮熱性が要求される。また、令第 107 条では、各部位に必要な性能の水準として、「通常の火災」に耐えるべき時間が規定されている。なお、非損傷性については、最上階から数えた階数と部位に応じて、柱とはりとは 1～3 時間、耐力壁及び床は 1～2 時間の区分が設けられている。法令上、非損傷性は 4 種類の耐火時間に区分され、例えば上階より下階の方が長い時間荷重を支持する必要がある、上階より下階の主要構造部の安全性を高く規定されている。また、遮熱性と遮炎性に関しては 1 時間を原則とし、延焼のおそれのある部分以外の外壁や屋根は 30 分となる。表 5.5 に、耐火建築物の主要構造部に要求される耐火性能の一覧を示す。

表 5.5 耐火建築物の主要構造部に要求される耐火性能

| 建築物の部分 | | 最上階から数えた階数 | 非損傷性 | 遮熱性 | 遮炎性 |
|------------|------------|--------------|------|------|------|
| 間仕切壁(耐力壁) | | 階数15階以上の階 | 2時間 | 1時間 | — |
| | | 階数5～14の階 | | | |
| | | 最上階, 階数2～4の階 | 1時間 | | |
| 間仕切壁(非耐力壁) | | — | — | 1時間 | — |
| 外壁(耐力壁) | | 階数15階以上の階 | 2時間 | 1時間 | 1時間 |
| | | 階数5～14の階 | | | |
| | | 最上階, 階数2～4の階 | 1時間 | | |
| 外壁(非耐力壁) | 延焼の恐れのある部分 | — | — | 1時間 | 1時間 |
| | 上記以外 | — | — | 30分間 | 30分間 |
| 柱 | | 階数15階以上の階 | 3時間 | — | — |
| | | 階数5～14の階 | 2時間 | | |
| | | 最上階, 階数2～4の階 | 1時間 | | |
| 床 | | 階数15階以上の階 | 2時間 | 1時間 | — |
| | | 階数5～14の階 | | | |
| | | 最上階, 階数2～4の階 | 1時間 | | |
| はり | | 階数15階以上の階 | 3時間 | — | — |
| | | 階数5～14の階 | 2時間 | | |
| | | 最上階, 階数2～4の階 | 1時間 | | |
| 屋根 | | — | 30分間 | — | 30分間 |
| 階段 | | — | 30分間 | — | — |

(3)耐火構造の例示仕様と認定耐火構造

令 107 条の基準を満たす構造方式は、耐火構造と呼ばれ、大臣が定めた構造方式と令 107 条の性能を満たす構造方式として認められたものの 2 種類がある。令 107 条の要求性能を満たす構造形式は、平 12 建告第 1399 号「耐火構造の構造方法を定める件」によって例示されている。告示の例示仕様以外で新たに開発された耐火構法（認定耐火構造）は、指定評価機関において耐火試験を行い、非損傷性、遮熱性、遮炎性の 3 つの性能のうち、部材に応じて必要な性能が満たされることを確認する。具体的な試験方法など指定評価機関が定める業務方法書に定められている。

5.3.2 防火被覆による柱・はりの耐火構造

(1)告示に例示された構造方式（例示仕様）

平成 28 年 3 月に改正された平 12 建告第 1399 号「耐火構造の構造方法を定める件」では、木材下地に対する防火被覆型の構造方式が追加され、木質構造材による柱とは

りについても、従来からの大臣認定仕様に加え、告示の例示仕様による防火被覆により、木造耐火構造が実現可能になった。表 5.6 に耐火構造の例示仕様を示すが、使用する強化せっこうボードは、準耐火構造の被覆仕様に用いる製品とは異なり、ガラス繊維やひる石などの含有量の制限値があることに注意しなければならない。

表 5.6 1 時間耐火構造（柱、はり）の構造方式

| 建築物の部位 | 通常火災に基づく加熱時間 | 構造方式 |
|--------|--------------|---|
| 柱 | 1時間 | ①強化せっこうボードを2枚以上張ったもので、その厚さの合計が46mm以上のもの (強化せっこうボードはボード用原紙を除いた部分のせっこうの含有率が95%以上、ガラス繊維の含有率が0.4%以上とし、かつひる石の含有率が2.5%以上としたものに限る。) |
| はり | 1時間 | ①強化せっこうボードを2枚以上張ったもので、その厚さの合計が46mm以上のもの (強化せっこうボードはボード用原紙を除いた部分のせっこうの含有率が95%以上、ガラス繊維の含有率が0.4%以上とし、かつひる石の含有率が2.5%以上としたものに限る。) |

注) 防火被覆の取合いの部分、目地の部分その他これらに類する部分(以下「取合い等の部分」という。)を、当該取合い等の部分の裏面に当て木を設ける等、当該建築物の内部への炎の侵入を有効に防止することができる構造とする。

(2)大臣認定仕様による耐火構造

個別に大臣認定を受けた被覆型耐火構造や燃え止まり型耐火構造による柱、はりを用いられている場合は、大臣認定仕様を満たす必要があり、特記仕様などの確認が必要である。

5.4 準耐火建築物の主要構造部に要求される性能

5.4.1 主要構造部に要求される準耐火性能（法 2 条第 7 号の 2、令 120 条第 2 項、令 109 条の 5、平 12 建告第 1358 号、令 1 国交告第 195 号、令 1 国交告第 193 号）

準耐火性能は、法第 2 条第 7 号の 2 で、「通常の火災による延焼を抑制するために当該建築物の部分に必要とされる性能」と規定されている。準耐火構造の構造方式は、令 107 条の 2 に規定された技術的基準の 45 分間準耐火構造と令 120 条第 2 項に規定された技術的基準の 1 時間準耐火構造がある。また、性能の高い準耐火構造（特定準耐火構造）として令 109 条の 5 に規定する「火災時倒壊防止構造」に対応する、階数 4 の建築物の主要構造部に求められる告示の例示仕様である 75 分間準耐火構造があり、何れも屋内及び周囲で火災が発生した際に建築物の部分別に要求される火災の加熱に対する非損傷性、遮熱性、および遮炎性が規定されている。

令 107 条の 2 は一般的な準耐火建築物に適用され、令 120 条第 2 項は木造 3 階建共同住宅等に適用される。表 5.7 に令第 107 条の 2 に規定された準耐火建築物の主要構造部に要求される準耐火性能と令 120 条第 2 項に規定された 1 時間準耐火基準、および令第 110 条第 1 号に規定されている「避難時倒壊防止構造」と令第 109 条の 5 に規定されている「火災時倒壊防止構造」の主要構造部に対して要求される準耐火性能を示す。

表 5.7 準耐火建築物の主要構造部に要求される準耐火性能

| 耐火性能 | 建築物の部分 | 準耐火構造 | 1時間準耐火構造 | 75分間準耐火構造 | 避難時倒壊防止構造 | 火災時倒壊防止構造 |
|------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|---------------------------|
| 非損傷性 | 間仕切り壁(耐力壁) | 45分間 | 1時間 | 75分間 | 特定避難時間 | 通常火災終了時間 |
| | 外壁(耐力壁) | | | | | |
| | 柱, 床, はり | | | | | |
| | 屋根(軒裏を除く), 階段 | 30分間 | 30分間 | 30分間 | 30分間 | 30分間 |
| 遮熱性 | 壁 ^{※1} , 床, 軒裏 ^{※2} | 45分間 | 1時間 | 75分間 | 特定避難時間 | 通常火災終了時間 |
| 遮炎性 | 外壁 ^{※1} | 45分間 | 1時間 | 75分間 | 特定避難時間 | 通常火災終了時間 |
| | 屋根 | 30分間 | 30分間 | 30分間 | 30分間 | 30分間 |
| 備考 | 関連する政令 例示仕様の告示 | 令第107条の2第1号 平12建告第135号 | 令第112条第2項 令元国交告第195号 | 令元国交告第1935号 | 令第110条第1号 令元国交告第255号 | 令第109条の5第1号 令元国交告第193号 |

※1) 非耐力壁である外壁の延焼のおそれのある部分以外の部分は30分間

※2) 外壁で小屋裏等と防火上有効に遮られているものを除き、延焼のおそれのある部分以外の部分は30分間

5.4.2 防火被覆による柱とはりの準耐火構造

(1) 告示に例示された構造方式 (告示の例示仕様)

45分間準耐火構造の構造方式を定める告示(平12建告第1358号)、1時間準耐火構造の構造方式を定める告示(令1国交告第195号「1時間準耐火基準に適合する主要構造部の構造方式を定める件」)、および75分準耐火構造の例示仕様を示す告示(令1国交告第193号)に、木質構造材による柱、はりの防火被覆型の構造方式が示されている。表5.8に柱の例示仕様、表5.9にはりの例示仕様を示す。

表 5.8 45分・1時間・75分準耐火構造(柱)の被覆仕様

| 建築物の部位 | 通常火災に基づく加熱時間 | 構造方式 |
|--------|--------------|---|
| 柱 | 45分 | ①厚さが15mm以上のせっこうボード |
| | | ②厚さが12mm以上のせっこうボードの上に厚さが9mm以上のせっこうボード又は難燃合板を張ったもの |
| | | ③厚さが9mm以上のせっこうボード、または難燃合板の上に厚さが12mm以上のせっこうボードを張ったもの |
| | | ④厚さが7mm以上のせっこうラスボードの上に厚さ8mm以上せっこうプasterを塗ったもの |
| 柱 | 1時間 | ①厚さが12mm以上のせっこうボードを2枚以上張ったもの |
| | | ②厚さが8mm以上のスラグせっこう系セメント板の上に厚さが12mm以上のせっこうボードを張ったもの |
| | | ③厚さが16mm以上の強化せっこうボード |
| | | ④厚さが12mm以上の強化せっこうボードの上に厚さが9mm以上のせっこうボード、または難燃合板を張ったもの |
| | | ⑤厚さが9mm以上のせっこうボード、または難燃合板の上に厚さ12mm以上の強化せっこうボードを張ったもの |
| 柱 | 75分 | ①強化せっこうボードを2枚以上張ったもので、その厚さの合計が46mm以上のもの (強化せっこうボードはボード用原紙を除いた部分のせっこうの含有率を95%以上、ガラス繊維の含有率を0.4%以上とし、かつひる石の含有率を2.5%以上としたものに限る。) |

注1) せっこうボードには強化せっこうボードを含む。

注2) 防火被覆の取合いの部分、目地の部分その他これらに類する部分(以下「取合い等の部分」という。)を、当該取合い等の部分の裏面に当て木を設ける等当該建築物の内部への炎の侵入を有効に防止することができる構造とする。

表 5.9 45分・1時間・75分準耐火構造（はり）の被覆仕様

| 建築物の部位 | 通常火災に基づく加熱時間 | 構造方式 |
|--------|--------------|---|
| はり | 45分 | ①厚さが15mm以上の強化せっこうボード |
| | | ②厚さが12mm以上の強化せっこうボード(その裏側に厚さが50mm以上のかさ比重0.024以上のロックウールまたは、かさ比重0.024以上のグラスウールを設けたものに限る) |
| はり | 1時間 | ①厚さが12mm以上のせっこうボードを2枚張ったもの(その裏側に厚さが50mm以上のかさ比重0.024以上のロックウール、またはかさ比重0.024以上のグラスウールを張ったものに限る) |
| | | ②厚さが12mm以上の強化せっこうボードを2枚張ったもの |
| | | ③厚さが15mm以上の強化せっこうボード(その裏側に厚さが50mm以上のかさ比重0.024以上のロックウール、またはかさ比重0.024以上のグラスウールを張ったものに限る) |
| | | ④厚さが12mm以上の強化せっこうボードの上に厚さが9mm以上のロックウール吸音板を張ったもの |
| はり | 75分 | ①強化せっこうボードを2枚以上張ったもので、その厚さの合計が46mm以上のもの (強化せっこうボードはボード用原紙を除いた部分のせっこうの含有率を95%以上、ガラス繊維の含有率を0.4%以上とし、かつひる石の含有率を2.5%以上としたものに限る。) |

注1) せっこうボードには強化せっこうボードを含む。

注2) 防火被覆の取合いの部分、目地の部分その他これらに類する部分(以下「取合い等の部分」という。)を、当該取合い等の部分の裏面に当て木を設ける等当該建築物の内部への炎の侵入を有効に防止することができる構造とする。

(2)大臣認定仕様による準耐火構造

個別に大臣認定を受けた被覆型の準耐火構造による柱、はりが用いられている場合は、大臣認定仕様を満たす必要があり、特記仕様などの確認が必要となる。

5.4.3 燃えしろ設計による準耐火構造

木材は表面が着火し燃焼すると、燃焼部分に遮熱性を有する炭化層が形成されるため、断面が大きい木材は、燃焼がその深部まで及ぶにはかなりの時間がかかる。大断面木材が火災に遭遇した場合、未炭化部分でも燃焼領域に近い高温部では強度や弾性率が低下するが、炭化層にごく近い部分を除けば、未炭化領域における機械的性質の劣化は全体としてあまり大きな問題にならない。このような大断面木材の加熱時の特性は、表面に形成された炭化層の遮熱性や木材自体の熱伝導率が小さいこと、木材は気乾状態でも一定の水分を含有していることなどによるもので、その結果炭化速度は比較的遅くなる。

構造用集成材や構造用製材などを用いた木造架構では、火災規模や炭化速度を適切に設定して部材の残存断面を求め、これに基づいて断面設計を行えば、火災時においても構造上必要な耐力を十分に保持することが可能となる。なお、構造用集成材や構造用単板積層材など接着剤により積層接着された木質構造材では、接着層の熱劣化も検討する必要がある。構造用集成材など関連する日本農林規格では、使用される環境に対応して、接着材の使用環境をA、B、Cの3段階に区分し、火災時でも高度な接着性が要求される環境では、使用環境Aと使用環境Bのレゾルシノール樹脂系接着剤、またはこれの同等以上の性能を有するものを使用する規定である。

実際の木造架構では、柱とはりの仕口やはり継手などの接合部が耐火上の弱点となりやすい。接合部では、部材を切り欠くことや接合金物類を用いこれが露出している

ことも多く、火災時の焼損や耐力低下の恐れが大きくなる。その対策としては、継手や仕口部分を木材その他の材料で防火上有効に被覆する方法や、鋼板添え板などは部材内部に埋め込むか挟み込む接合方法などがある。また、接合金物を用いない在来仕口など、部材の切り欠き部分が大きく耐火上不利であるが、傾ぎ大入れ長ほぞ差しなど部材相互の掛かりを十分にとることにより、火災時の焼損による耐力低下を少なくすることが可能である。以上の接合部に対する防火措置についても、燃えしろ設計に関連した告示の技術基準に反映されている。

(1)柱、はりの燃えしろ設計

構造用集成材など木質構造材を用いた柱・はり架構は、以下に述べる昭 62 建告第 1902 号に規定する燃えしろ設計と昭 62 建告第 1901 号に定められた接合部（継手、仕口等）の防火措置を行えば、部材表面を告示で規定する間仕切壁の防火被覆や床の裏面側、または直下の天井の防火被覆を行うことなく、現しで用いることができる。

昭 62 建告第 1902 号と昭 62 建告第 1901 号は、防火壁設置の緩和規定として、通常火災に基づく加熱時間が 30 分に対する防火措置の技術基準を規定している告示であるが、準耐火構造では平 12 建告第 1358 号第 2 項と第 4 項、1 時間準耐火構造では令 1 国交告第 195 号第 2 項と第 4 項で、上記の昭 62 建告第 1902 号に規定されている燃えしろ層の値を読み替え、通常火災に基づく加熱時間が 45 分と 1 時間の燃えしろ層の値を規定している。例えば、表 5.10 に示すように、構造用集成材では 30 分の加熱時間の値 2.5 cm を、45 分準耐火構造では 3.5 cm、1 時間準耐火構造では 4.5 cm とそれぞれ読み替える。これらの燃えしろの値は、通常予想される標準的な火災のもとでの木材の炭化速度（木材表面から内部へ向かって燃え進む速度）に基づいて定められたもので、燃えしろ設計を行った木造架構は、部材表面に防火被覆を行うことなく壁や床の外側に現すことができる。

燃えしろ設計の手順は、昭 62 建告第 1902 号と昭 62 建告第 1901 号の規定に従い、次の基準に適合していることを確認し、火災時の構造安全性を確認する。

①令 46 条第 2 項第 1 号イ及びロに掲げる、次の基準に適合することを確認する。

柱および横架材に使用する集成材その他の木材の品質は国土交通大臣の定める基準に適合していること。国土交通大臣の定める基準に適合する木質構造材は、昭 62 建告第 1898 号で構造用集成材、構造用単板積層材、および構造用製材の 3 種類の木質構造材である。なお、構造用製材は含水率の基準が 15% 以下（SD15）以下の製品が原則であるが、乾燥割れにより著しく接合耐力が低下する恐れのない接合方法を用いる場合は、含水率が 20% 以下（SD20）の製品も使用できる^{注)}。燃えしろ設計が可能な乾燥割れにより耐力が低下する恐れのない接合部の具体例は、接合部の防火被覆例として示した図 5.8 の長柄差し込み接合や合わせばり接合などが考えられる。（注「製材に関する燃えしろ設計等に係わる告示案に対する意見の募集結果について」平成 16 年 9 月 2 日：住宅局建築指導課）

②柱の脚部が、鉄筋コンクリート造の基礎、もしくは布基礎に緊結している土台に緊結していること。

③昭 62 建告第 1902 号の基準に従い、主要構造部である柱、またはりについて、次の

手順に従い火災時の構造安全性を確認する。

尚、柱、はりの燃えしろ設計の注意点として、75分間準耐火構造の場合は、燃えしろ層を除いた残存断面の小径が20cm以上必要となる。

| | |
|-----|--|
| 手順1 | <p>主要構造部である柱、またははりについて、その表面から内側に表 5.10 に示す燃えしろ層が除かれるものとして図 5.2 に示す残存断面を求める。なお、木材その他の材料で防火上有効に被覆された部分は除くことができるが木材により被覆する場合は燃えしろ層に相当する厚さ以上の木材が必要である。</p> <p>部材の一部を防火被覆した場合、例えば柱の45分準耐火構造では平12建告第1358号で定める間仕切壁（耐力壁）の被覆仕様、1時間準耐火構造では令1国交告第195号で定める間仕切壁（耐力壁）の被覆仕様により防火被覆を行った部分は、燃えしろ層を除く必要はない。また、はりについても告示で例示する床裏側の部分の防火被覆、または直下の天井の防火被覆を設けた部分は燃えしろ層を考慮する必要はない。</p> |
| 手順2 | 荷重及び外力によって、断面欠損のない柱、又ははりに生ずる応力を計算する。 |
| 手順3 | 令82第2号に掲げる長期の組合せによる各応力の合計より、残存断面に生ずる長期応力度を計算し、求められた長期応力度が短期の許容応力度を超えないことを確かめる。 |

表 5.10 柱、はりの燃えしろ層の厚さ

| 通常火災に基づく加熱時間 | 30分間 | 45分間 | 1時間 | 75分間 |
|--------------------|---------------------------|-----------------|----------------|--------------------------------|
| 構造用集成材 構造用単板積層材 | 2.5 cm | 3.5 cm | 4.5 cm | 6.5 cm (フェノール樹脂等 接着剤使用) |
| | | | | 8.5 cm (非フェノール樹脂等 接着剤使用) |
| 構造用製材 | 3 cm | 4.5 cm | 6 cm | — |
| その他の条件 | — | — | — | 残存断面の小径 20 cm以上 |
| 備考 (関連する告示) | 昭62建告 第1901号 第1902号 | 平12建告 第1358号 | 令1国交告 第195号 | 令1国交告 第193号 |

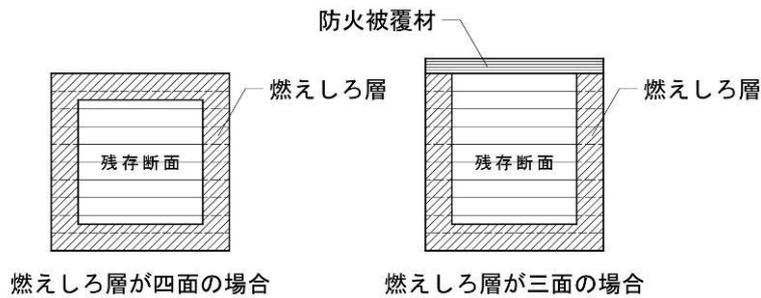


図 5.2 柱の燃えしろ設計の残存断面例

④接合部の防火設計

昭 62 建告第 1901 号の基準に従い、主要構造部である柱、はりを接合する継手、または仕口は、次の防火措置を講ずる。

(イ)木材で造られた継手又は仕口の表面から内側に表 5.10 に示す燃えしろ層を除く部分が、当該継手、または仕口の存在応力を伝えることができる構造とする。なお、木材その他の材料で防火上有効に被覆された部分は除くことができる。

(ロ)継手、または仕口にボルト、ドリフトピン、ラグボルト、構造用木ねじ等を用いる場合は、木材等で防火上有効に被覆する。

(ハ)柱、はりを接合する継手又は仕口の防火措置は、原則として木材等により有効に防火被覆を行う。木材による被覆の場合、燃えしろ層に相当する厚さの木材が原則であるが、載荷加熱試験などにより防火性能が確認された場合は、その試験体仕様に基づく被覆仕様によることも可能である。

(ニ)継手、又は仕口に鋼板の添え板を用いる場合は、添え板が埋め込まれ、または挟み込まれていること。ただし、木材その他の材料で防火上有効に被覆されている場合や継手、または仕口に生ずる応力が圧縮応力のみの場合はこの限りでない。

具体的な接合部の防火被覆仕様や燃えしろ設計の詳細は、「木造建築物の防・耐火設計マニュアル」〔国立研究開発法人建築研究所監修、(一財)日本建築センター発行〕や「木造住宅・建築物の防・耐火設計の手引き」〔(公財)日本住宅・木材技術センター発行〕が参考になる。

日本集成材工業協同組合でも、大断面集成材を用いた接合部の載荷加熱試験を行い、非損傷性が確認できた接合部の防火被覆仕様について取り纏めた技術資料「準耐火構造における接合部の防火設計の手引き」を配布している。その技術資料では、例えば柱とはり接合部（仕口）の防火設計例として、防火被覆が不要ない接合部例として図 5.3 に示す長柄差し込みや、図 5.4 に示す T 型接合金物（9 mm 厚鋼板）などの木材による防火被覆例、図 5.5 には 9 mm 厚鋼板を挟み込みドリフトピンを使用したはり継手の木材による防火被覆例などが紹介されている。

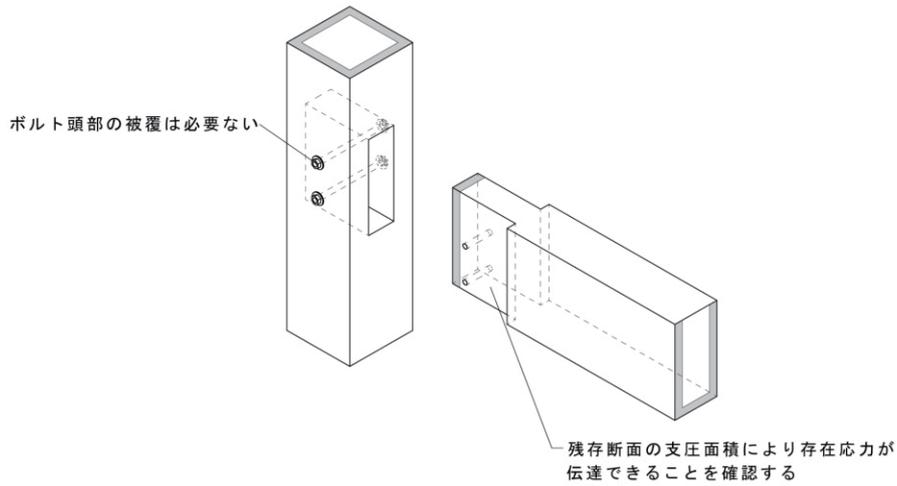


図 5.3 長柄差し込み仕口の例

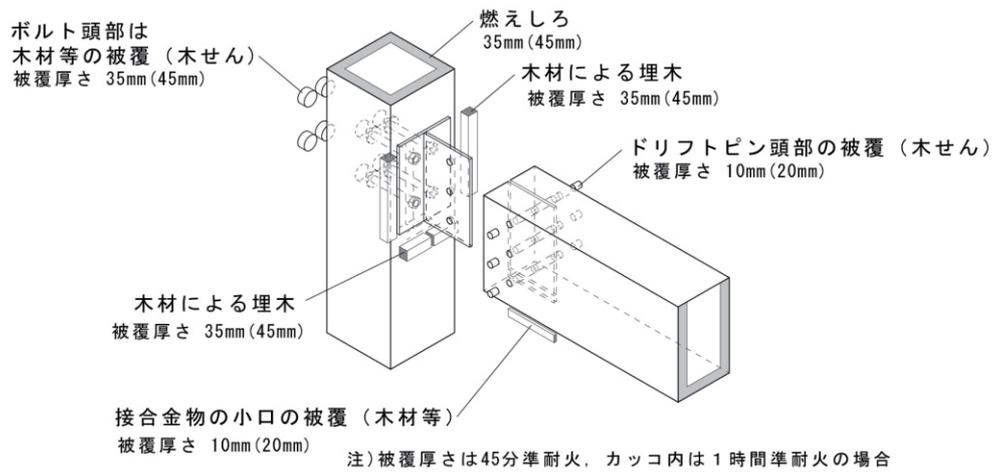


図 5.4 T型接合金物の木材による防火被覆例

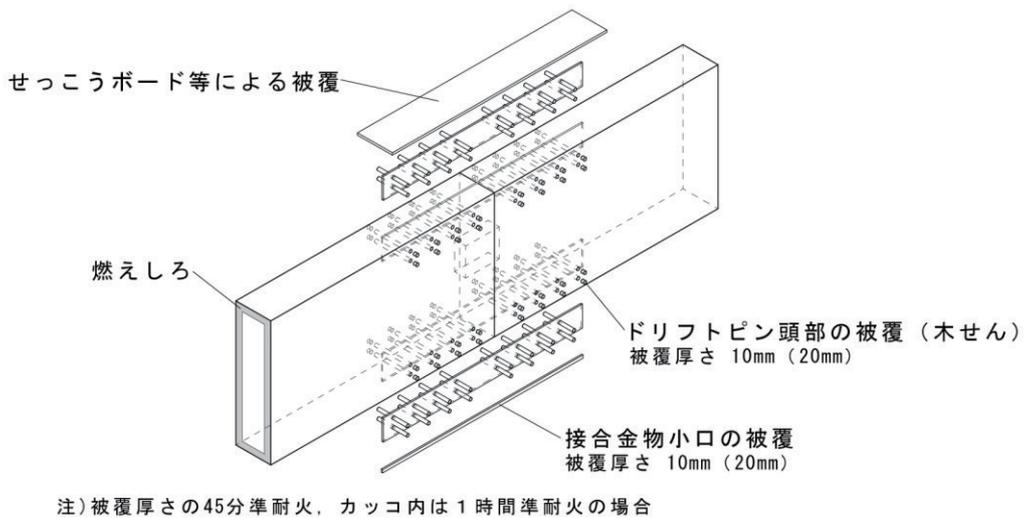


図 5.5 挟み込み鋼板によるはり継手の木材による防火被覆例

⑤防火被覆の取合いの部分、目地の部分その他これらに類する部分（以下「取合い等の部分」という。）は、取合い等の部分の裏面に当て木を設ける等により、建築物の内部への炎の侵入を有効に防止することができる構造とする。

5.4.4 壁、床、屋根の準耐火構造

(1)壁、床、屋根の燃えしろ設計

準耐火構造の構造方式を定める告示の改正により、柱とはり以外の主要構造部（壁、床、屋根）についても、燃えしろ設計が可能になり、構造部材を現しで用いることができるようになった。準耐火構造に関連した告示である平 12 建告第 1358 号と平 27 国交告第 253 号では、直交集成板、構造用集成材、および構造用単板積層材の 3 種類の日本農林規格に適合した木質構造材を用いた壁、床、および屋根の燃えしろ設計が規定されている。なお、壁、床、および屋根に用いられるこれらの木質構造材も、柱やはりの燃えしろ設計と同様に、木質構造材に用いられている接着剤の防火性能を考慮した規定である。

準耐火構造に関連する告示では、壁、床、および屋根の燃えしろ設計で用いることができる木質構造材は、火災時においても高度の接着性能を要求される環境に使用できる日本農林規格で定める使用環境 A、または使用環境 B の接着剤を用いた木質構造材であることが要求されている。さらに、壁（耐力壁）、床、および屋根に用いられる直交集成板と構造用集成材は、接着剤の種類に応じてラミナの最低厚さも規定されている。レゾルシノール系樹脂接着剤など以外のその他の接着剤、例えば API 系樹脂接着剤などを用いた木質構造材を用いて壁、床、および屋根の燃えしろ設計を行う場合は、関連する日本農林規格に基づき、使用環境 B に規定されている接着性能と同等性が確認された接着剤を用いる必要がある。

壁（耐力壁）、床、および屋根の燃えしろ層の値は、準耐火構造の構造方法を規定する平 12 建告第 1358 号、1 時間準耐火構造の構造方法を規定する令 1 国交告第 195 号、および 75 準耐火構造の例示仕様を規定する令 1 国交告第 193 号で、接着剤別に表 5.11 に示す燃えしろ層の値が規定されている。

壁、床、および屋根の燃えしろ設計の手順は、前述した柱とはりの燃えしろ設計の手順と同じである。また、75 分間準耐火構造の場合は、燃えしろ層を除いた残存厚さが 20 cm 以上必要である。

表 5.11 壁（耐力壁）、床、屋根の燃えしろ層の値

| 構造用集成材 構造用単板積層材 直交集成板 (JAS規格適合品に限る) | | 通常火災に基づく加熱時間 | | | |
|--|------------------------------|---|--------|--------|--------|
| | | 30 分間 ^{*)} | 45 分間 | 1 時間 | 75 分間 |
| 接着剤 の種類 | フェノール樹脂等接着剤 | 2.5 cm | 3.5 cm | 4.5 cm | 6.5 cm |
| | 上記以外の接着剤 | 3 cm | 4.5 cm | 6 cm | 8.5 cm |
| その他 の条件 | 接着剤の使用環境 | A、または B に限る | | | |
| | ラミナの厚さ (構造用集成材・直交 集成板) | フェノール樹脂等接着剤：12mm 以上に限る 非フェノール系樹脂接着材：21mm 以上に限る | | | |
| | 残存断面の厚さ | — | | | 20 cm |

*) 屋根に限る

(2)壁、床、屋根の燃えしろ設計に関するその他の注意事項

①直交集成板の残存断面の厚さと断面構成

75 分準耐火構造で非耐力壁の場合、接着材別に壁厚さの最低値が規定されているが、直交集成板を使用する場合は、加熱により炭化する部分を除いた残存断面の厚さは 3cm 以上存在し、互いに接着されたラミナは平行層と直交層が存在する必要がある。これは、炭化が進み平行層や直交層が 1 層のみ残存する状況では面材として構造面を構成することが期待できなくことを防止するためである。

②加熱面について

防火区画内において発生した火災による加熱面について、壁の場合は両面から加熱を受け、水平部材の床も上下面から 2 方向の加熱を受けるため、燃えしろ層は両面考慮する必要がある。また、吹き抜けの一部に床を設置する場合は、三方向からの加熱を想定して、残存断面を求める必要がある。従って、残存断面を考慮すると加熱面の一部を防火被覆型の準耐火構造で計画するなどの対策も必要となる。なお、防火区画を構成する床の場合では、最下階の床を除き、上面または下面からの一面加熱を受けることになり、防火区画ごとに加熱面を想定し、その加熱面から燃えしろ層の値を減じて、残存断面を求める。加熱面の取り方などの詳細については、「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」[(公財)日本住宅・木材技術センター発行]が参照できる。

5.4.5 主要構造部を準耐火構造とした建築物の層間変形角

準耐火構造に用いられる防火被覆は、地震時に想定される変形により、防火上有害な変形、破壊、脱落等を生ずる恐れがある。そうした場合は、各主要構造部に求められている所要の準耐火性能を確保できなくなることから、令 109 条の 2 の 2 の規定により、主要構造部を準耐火構造等とした木造建築物、および法 27 条第一項の規定に適合する特殊建築物（令 110 条第二号に掲げる基準に適合するものを除く）は、令 88 条に規定する地震力による層間変形角が 1/150 以内でなければならない。ただし、防火

被覆の取付け方法によっては、より大きな建築物の変形に対して防火上有害な変形、破壊、脱落などを生じないことも想定されるため、防火被覆を設けた木造架構について、水平加力実験や加熱実験などを行い、その安全性が確かめられた場合はその防火被覆の仕様によることもできる。

なお、令第 82 条の 2 における層間変形角の規定は、構造耐力上の観点から、木造での高さ制限を超えるなど高さ、階数などに関して一定の規模を超える木造建築物に対して適用されているが、令 109 条の 2 の 2 における層間変形角の規定は、上記の防火上観点から設けられたものであり、その目的とするところが異なる基準である。

引用文献

- (1) (公財)日本住宅・木材技術センター：木造住宅・建築物の防・設計の手引き
- (2) (財)日本建築センター：耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説 2001 年版
- (3) 日本集成材工業協同組合：準耐火構造における接合部の防火設計の手引き
- (4) (公財)日本住宅・木材技術センター：CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル

第6章 耐久性に関する木材利用の留意点

近年、建築物の木造化・木質化は、これまで木材関連産業を支えてきた住宅よりも建築規模の大きい、商業施設や事務所の他、庁舎、学校校舎、体育施設等の公共性の高い用途にも拡大しており、経済性、機能性、炭素貯蔵機能を有する木材の有効利用等の観点から、耐久性能は、鉄筋コンクリート造や鉄骨造と同等の性能が求められるようになってきている。他の建築材料とは異なり、生物資源由来の木質材料は、生物劣化の影響を受けやすい材料ではあるが、適正な計画・設計ができれば、他の構造方式と同等以上の長寿命化が可能なことは、国内の数々の歴史的建造物から窺える。ただし、設計段階でいくら耐久性・耐用性に対する配慮がなされていても、品質管理および施工が不適切であれば、目標とした耐久年数を得ることはできない。

本章では、建築物の木造化・木質化にあたり、適切な材料の選択と加工および施工が行われるよう、耐久性・耐候性に影響する要因を説明するとともに、過去の事例から、耐久性向上のための対策法を紹介する。

6.1 木材劣化の概要

6.1.1 気象劣化

木材を屋外に晒すと、やがて表面が白色化することがある。これは木材が太陽の紫外線を吸収しておこる現象である。また、その後、徐々に灰色化し、さらに暗灰色（図 6.1 参照）に変わることがある。これは乾燥や紫外線に抵抗力のあるカビ類が繁殖し、降雨等により湿潤してカビの胞子が木材表面で成長しておこる現象である。このような現象を気象劣化といい、木材強度への直接の影響はないが、変色や毛羽立ちは美観を損ない、表層の割れは、放置すると腐朽に発展することもある。



図 6.1 外壁が白色化と暗灰色
した事例



図 6.2
腐朽した柱



図 6.3
蟻害を受けた柱

6.1.2 腐朽と蟻害

樹木は、大気から吸収した二酸化炭素と土壌から吸収した水を用いて光合成を行って糖類をつくり、そして樹体内で木材の主成分であるセルロース、ヘミセルロース、リグニンに変化させ、これらが複合した細胞壁で構築される。この細胞壁を、木材腐朽菌が分解しながら成長すると、腐朽が発生（図 6.2 参照）し、シロアリが食害すると蟻害が発生（図 6.3 参照）する。腐朽や蟻害は木材の強度性能を著しく低下させ、

木造建築物の耐久性能に大きな影響を及ぼす（図 6.4 参照）ため、適正な対応が求められる。



図 6.4 腐朽と蟻害で耐震性を失った事例
（撮影：広島大学 森准教授）



図 6.5 金属劣化の事例

6.1.3 金属劣化

大気環境での劣化は、木材だけでなく鋼材にも、酸素と水による電気化学的作用で発生（図 6.5 参照）し、硫黄酸化物や海塩粒子等の大気中に含まれる腐食促進物質は、金属の劣化を促進させ、温度や湿度等の影響も受ける。また、木材に注入された化学物質等の影響で、構造用金物を腐食させることもあり、建築物の構造安全に支障を来す可能性もあるので、木材の耐久性を高めるために使用する薬剤等の選択には、注意が必要である。

6.1.4 法の規制

建築基準法施行令第 37 条では、「構造耐力上主要な部分で特に腐食、腐朽又は摩損のおそれのあるものには、腐食、腐朽若しくは摩損しにくい材料又は有効な錆止め、防腐若しくは摩損防止のための措置をした材料をしなければならない。」としている。また、建築基準法施行令第 49 条では、木造を対象に「構造耐力上主要な部分である柱、筋かい及び土台のうち、地面から 1m 以内の部分には、有効な防腐措置を講ずるとともに、必要に応じて、しろありその他の虫による害を防ぐための措置を講じなければならない」として、耐久性に配慮した建築物の設計を求めている。

民法第 570 条および第 566 条第 3 項では、一定の瑕疵担保期間が規定されている。また住宅性能保証制度では、構造用重要な部分は 10 年、その他の部分では、1～2年の保証期間を設けている。木材や金属の劣化は、木造建築物の構造性能に多大な影響を及ぼし、また、木材の表面劣化は、クレームの対象になることも多く、管理者には設計図書にそって、適正な施工管理に努めることが求められる。

6.2 気象劣化対策

6.2.1 劣化対策の方法

わが国の気候は、欧米に比べると夏の気温が高く、降水量も多いため、木材にとっては過酷な環境にある。よって、屋外に晒される状況で木材を使用する場合には、こうした環境を配慮した適切な対応が必要になる。

木材を屋外に晒す場合の気象劣化への対策は、紫外線、雨水、微生物などが表面劣化原因であることから、表面のコーティング処理が有効である。また外壁面が太陽光を直接受ける状況を回避する方法として、庇や軒の出を深くすることは有効で、雨水の影響も少なくすることができる。

6.2.2 塗装

塗装は、内外装の美観を高めるだけでなく、気象劣化抑制を目的に、一般的に採用されている方法で、隠蔽性の高いタイプと木目の見える半透明タイプとに大別される¹⁾。外部用塗料だけでも、様々な種類があるため、選択された塗料の特性を正しく把握して、適切な作業および管理をしていく必要がある。

(1) 隠蔽タイプの塗装には、油性調合ペイント、合成樹脂調合ペイントやフタル酸樹脂塗料等がある。欧米では広く使われているが、木材特有の木目や肌触り感が損なわれることから、国内では避けられる傾向にあるが、紫外線を遮断する能力や水分の侵入を防ぐ能力が高い。しかし、表面の塗膜が損傷して水が塗膜の裏に回ると、水の滞留を招き、腐朽を発生させる可能性が高くなる。

(2) 国内で多用される半透明タイプの木材保存塗料は、一般的に防腐、防カビ、防虫効果を有する薬剤を既調合で含む塗料で、様々な種類がある。塗料の選択にあたっては、表 6.1 に示すような特徴を理解することが望まれる。

木材保存塗料を塗膜形成で分類すると、木材中に浸透する含侵形塗料と、塗膜をつくる造膜形塗料、およびある程度木材中に浸透しながら薄い塗膜をつくる半造膜形塗料の 3 種類に分類できる。塗装面の耐候性は、造膜形の方が含侵形よりも優れているが、メンテナンス性では、含侵形や半造膜形は直に重ね塗りが可能であるのに対し、造膜形は旧塗膜を除去する必要があるなど煩雑になる。

また、造膜形は厚塗りすると、塗膜の膨れや亀裂、塗膜下の木材の蒸れや腐れなどのトラブルに進展するため、塗布量に注意が必要になるが、含侵形は木材表面への塗料の塗布量が多ければ耐候性は向上する。ただし、木材の表面をプレーナー等により平滑化した場合、厚塗りして塗布量を増加しても、撥水性維持効果は向上するが、変色抑制効果は向上せず、一方で帯鋸によるラフゾーン仕上げされた木材表面に厚塗りして塗布量を増加した場合には、撥水性維持効果に加え、変色抑制効果も向上するという報告があり、木材表面の素地調整の重要性が伺える。

塗料の色調で木材保存塗料を分類すると、木材の色調及び木目が見える「透明系」、着色されているが下地の木目が見える「半透明系」、着色により木目が見えない「着色系」に分けられ、塗料の色調による紫外線の遮蔽効果が異なるため、耐候性は、着色系、半透明系、透明系の順になる。透明系は 1 年程度の耐候性しかないため、屋外使用では、頻繁にメンテナンスできる場合以外は、使用を避けるべきである。

(3) 含有される水分の変動による木材の寸法変化は、塗膜の素地の付着に悪影響を及ぼす。また、寸法変化が生じなくても、含水率が高くなると、塗膜の付着性が低下したり、肉やせが生じて硬化不良が起きるような不具合が生じ、塗料の浸透が阻害される。JASS18 では、季節変動や測定時のばらつき、測定方法の相違などを考慮して、全断面に対しての含水率の平均値を 18%以下と定めている。

表 6.1 木材保存塗料の一般的特徴¹⁾

| 分類型 | 種類 | 特徴 | 塗装性 | 耐候性 | 防腐・防虫 | メンテナンス性 |
|------|--------|----------------------------|--------------------|-----|-----------------|-----------------|
| 塗膜形成 | 造膜形塗料 | 塗膜形成、吸放湿性低い、防腐・防虫性無い | 技術要、下地処理重要 | 高い | 一般的に有効成分含まず低い | 残存塗膜除去要、煩雑、コスト高 |
| | 半造膜形塗料 | 薄塗膜形成、防腐・防虫性あり、ハイソリッドタイプ多い | 重ね塗り可能、1回塗りタイプ多い | 中程度 | 有効成分含有 | 塗膜残存性による |
| | 浸透形塗料 | 塗膜形成せず低光沢、吸放湿性保持、防腐・防虫性付与 | 重ね塗り可能、塗装しやすい | 中程度 | 有効成分含有 | 再塗装しやすい |
| 色調 | 着色系塗料 | 木理隠す、木材に紫外線抵抗性付与、耐候性高い | 塗装しやすい | 高い | 成分による | 塗膜形成による |
| | 半透明系塗料 | 着色するが木目見える、保護塗料として一般的 | 塗装しやすいが、塗装の継ぎ目が目立つ | 中程度 | 成分による | 塗膜形成による |
| | 透明系塗料 | 木材の自然な色調や木目を保持するが光劣化防止できない | 塗装しやすい | 低い | 有効成分が光による劣化しやすい | 塗膜形成による |

(4) 防腐・防虫処理等された木材に塗装する場合は、にじみやむら、塗膜の付着性が低下する可能性があるため、特殊な処理の有無を確認し、その種類などを十分調査する必要がある。もし、塗装に対して不適切な処理が素材表面に施されていると判断される場合は、監督職員・工事監理者と協議の上、対策を講じる。

(5) 素地ごしらの良否や、塗装材料の品質管理、塗料の塗付け量、塗装回数、乾燥時間、作業中および施工後の養生の良否等は、木材表面の塗装の耐久性に影響する。よって、JASS18等を参考に適切な品質管理と施工管理をしていくことが求められる。

6.2.3 構造的耐久設計

外壁面が、太陽光や雨水を直接受けることを避けるため、庇や軒の設計は重要なポイント（図 6.6 参照）になる。また、雨水が地面に到達すると、跳ね返りにより壁面の足元が濡れることになる（図 6.7 参照）ため、基礎の高さを適切に設けることが気象劣化対策だけでなく、耐久性向上の面でも重要である。犬走部分を砂利や人工芝などを敷設すると跳ね返りの雨量を抑えることが可能になるが、逆にテラスやウッドデッキを外壁に接して設けると、新たな跳ね返り面になる。

よって、管理者は設計図書への記載事項の意図を把握し、庇や軒の高さ、跳ねだし寸法が妥当であるかの確認をするとともに、関連する工事についても配慮することが望まれる。

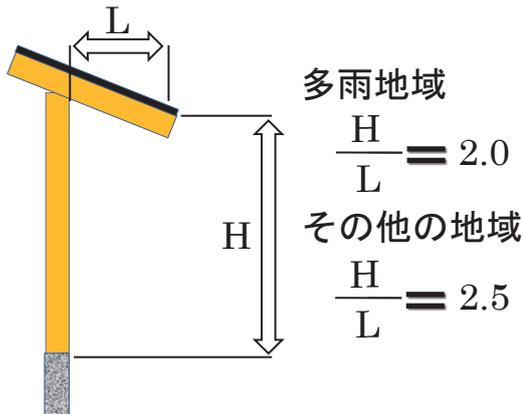


図 6.6 推奨される軒の深さ²⁾

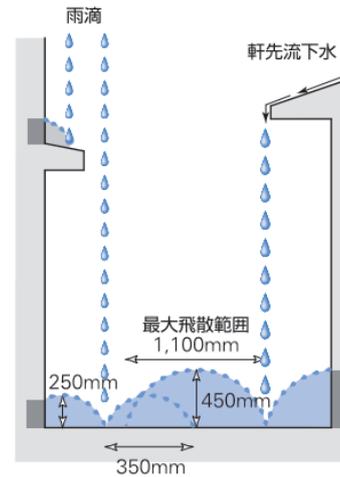


図 6.7 跳ね返り雨水による足元の濡れ³⁾

6.3 防腐対策

6.3.1 防腐対策の方法

腐朽菌が生育する条件は、酸素、水分、温度、栄養分としての木材の4つである。よっていずれか1つの要因が欠けても腐朽は発生しないが、酸素や温度を制御するのは困難である。そこで、水分、または養分としての木材を制御することが現実的な木材の腐朽対策になる。

養分としての木材の制御には、耐久性の高い木材を使用するほか、薬剤処理や木材細胞壁の化学構造を変える化学修飾などがある。また、水分の影響を受けないようにするためには、適正な水仕舞と結露対策がポイントになる。

6.3.2 樹種の違いによる木材の耐久性

木材には様々な樹種があり、腐りやすいものから腐りにくいものまで、耐久性においても、性質が大きく異なる。よって建築基準法施行令第49条の対象となる、地面から1m以内の部分にある柱や土台に、あるいは屋外に柱や横架材が晒される状況で木材が構造部材として使われる場合には、耐久性の高い樹種を選択が求められる。

「製材の日本農林規格」(以下、製材のJAS)では、比較的耐久性の高い樹種をD1に、その他の樹種をD2に分けている。「住宅の品質管理確保の促進等に関する法律」(以下、品確法)に基づく告示では、さらに耐久性の高いD1の樹种群から、特に高い樹種を区別している(表6.2参照)。ただし、木材の耐腐朽性は辺材と心材では異なり、辺材の耐久性は心材の耐久性より低く、表6.2は心材が対象になる。

表 6.2 代表的な樹種の心材の耐久性区分⁴⁾

| 製材のJAS の分類 | 樹種群 | 品確法による区分（劣化対策等級3） | |
|---------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | | 土台 | 外壁の軸組みなど |
| 耐久性D1 | ヒノキ、ヒバ、ベイヒ、ベイスギ、 ベイヒバ、タイワンヒノキ | 無処理で土台に 使用可能 | 軸組などに小径 12.0cm以上必要 |
| | スギ、カラマツ、ベイマツ、 ダフリカカラマツ、サイプレスパイン | 土台に使用する 際はK3相当の 処理が必要 | |
| 耐久性D2 | その他の樹種 | | 軸組などに小径 13.5cm以上必要 |

表 6.3 木材の保存処理の区分と要求性能⁵⁾

| 性能区分 | 要求性能 |
|------|--|
| K1 | 屋内の乾燥した条件で腐朽や蟻害のおそれがない場所で、乾燥害虫に対しての防虫性能のみを必要とするもの。 |
| K2 | 低温で腐朽や蟻害のおそれが少ない条件下で、高度の耐久性の期待できるもの。 |
| K3 | 通常の腐朽や蟻害のおそれがある条件下で、高度の耐久性の期待できるもの。 |
| K4 | 通常よりも激しい腐朽や蟻害のおそれがある条件下で、高度の耐久性の期待できるもの。 |
| K5 | 極度に腐朽や蟻害のおそれのある環境下で、高度の耐久性の期待できるもの。 |

6.3.3 薬剤保存処理

耐久性があまり高くない樹種や辺材であっても、薬剤保存処理で耐久性を高めることができ、処理法には加圧処理法と常圧処理法の2つの方法がある。木材の保存処理は、その要求性能によって表6.3のように区分されている。

製材のJASでは、使用する薬剤の種類を定め、表6.3の性能区分に応じて、浸潤度の規定（表6.4参照）と、薬剤の種類別に吸収量の規定を定めている。また、集成材のJASでは、木材保存剤の吸収量の基準を表6.5のように定め、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%以上であることを求めている。

表 6.4 薬剤の浸潤度の基準（製材の JAS）

| 性能区分 | 樹種区分 | 基準 |
|------|-----------------------------|--|
| K1 | 全ての樹種 | 辺材部分の浸潤度が90%以上 |
| K2 | 心材の耐久性区分 D ₁ 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20%以上 |
| | 心材の耐久性区分 D ₂ 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 |
| K3 | 全ての樹種 | 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 | 心材の耐久性区分 D ₁ 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 |
| | 心材の耐久性区分 D ₂ 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（木口の短辺が90mmを超える製材にあっては、20mm）までの心材部分の浸潤度が80%以上 |
| K5 | 全ての樹種 | 辺材部分の浸潤度が80%以上で、かつ、材面から深さ15mm（木口の短辺が90mmを超える製材にあっては、20mm。ただし、円柱類にあっては、全ての直径において30mm。）までの心材部分の浸潤度が80%以上 |

表 6.5 薬剤の吸収量の基準（集成材の JAS）

| 性能区分 | 使用した木材保存剤の種類 | 保存処理を施した集成材の区分 | 基準 |
|------|-------------------|---------------------|--|
| K3 | 第四級アンモニウム化合物系 | 製品処理集成材 ラミナ処理集成材 | ジデシルジメチルアンモニウムクロリドとして4.5kg/m ³ 以上 |
| | アゾール・ネオニコチノイド化合物系 | 製品処理集成材 | シプロコナゾール・イミダクロプリドとして0.15kg/m ³ 以上 |



図 6.8 加圧処理法による木材の薬剤処理

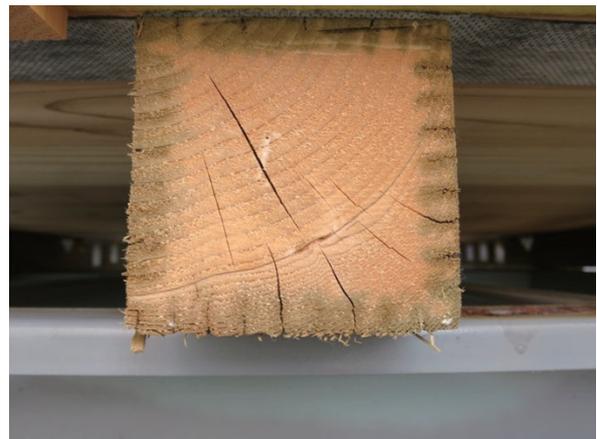


図 6.9 インサイジングにより薬剤処理した木材の断面

(1) 加圧処理法は、加圧と減圧の組み合わせによって、薬剤を内部に注入する処理方法（図 6.8 参照）で、木材表面から深く薬剤を浸透できれば、耐久性は向上すると期待される。

① 薬剤が浸潤しにくい樹種もあり、心材は辺材と比較すると薬剤は浸潤しにくい。浸潤が困難な樹種の場合には、木材の表面に傷をつける、インサイジングと呼ばれる加工（図 6.9 参照）を施すことで浸潤度を高めることができる。このインサイジングは製材の JAS では、欠点とみなさないこととしているが、その仕様は、製材の曲げ強さ及び曲げヤング係数の低下がおおむね 1 割を超えない範囲内としている。

② 含水率が高い木材では、水が薬剤の浸潤を阻害するため、処理前の木材は適正な含水率に調整することが必要である。また、処理後は、処理前と比較して、断面寸法が膨らむことがあるので、事前に調査して、納期に支障がないように適切な養生期間を設定することが望ましい。

③ 薬剤はインサイジングの有無に関わらず、図 6.9 のように表層部分だけに浸潤しているため、薬剤処理後に継ぎ手や仕口の加工を施すと、薬剤の未浸潤部分が露出することになるので、加工後に薬剤処理することが前提になる。やむを得ず、薬剤処理後に加工する場合は、露出部分に薬剤の塗布や吹き付け等を行う必要がある。現地にて木材の切断や穴あけ加工をした時も、同様に露出面の処理をしなければならない。

④ ラミナに薬剤処理した後、養生が不十分なまま積層すると、接着不良を生じる可能性がある。薬剤や樹種、接着剤の種類に応じて、剥離をおこさないように適切な製造計画を立て、品質管理していくことが望まれる。

(2) 常圧処理法には、保存薬剤の塗布・吹き付けや浸漬によって処理する方法がある。効果は表面にとどまるが、設備が不要で材料加工時の処理や施工現場でも適用できる方法で、加圧処理法と併用されることもある。

① 加圧処理に使用した薬剤との相性を、製品カタログやサンプルにより事前に確認しておくことが望まれる。

② 保存薬剤の塗布・吹き付けは、工場で実施することが原則である。塗布量および薬剤の取り扱いについては、製品カタログ等により、事前に確認して、適切な施工を行う必要がある。

③ 拡散法は、木材中に存在する水に、薬剤の浸透圧によって処理する常圧処理法のひとつで、ほう砂ほう酸混合物のような水溶性の薬剤が採用される。その処理法から雨水に晒されると溶脱するため、処理後の養生が品質管理において重要になる。

6.3.4 化学修飾

防腐薬剤を使わずに木材の耐久性を向上させる方法として、木材を、200℃を超える飽和水蒸気下で数時間処理して寸法安定性も付与する熱処理（図 6.10 参照）、加圧処理用の木材保存剤の代わりに低分子フェノールを木材に注入する樹脂処理（図 6.11 参照）、木材細胞壁にアセチル化試薬を作用させて木材細胞壁の化学構造を変える処理（図 6.12 参照）等の化学修飾がある。

これらの処理方法は、木材の強度低下を招く可能性があるため、構造耐力上主要な部分の木材に使われることは稀である。屋外に晒される構造部材等に採用する際は、事前に強度試験等を実施し、安全性に支障がないことを確認する必要がある。また、

表面塗装を施す場合には、製品カタログやサンプルにより、事前に不適合がないことの確認が不可欠である。



図 6.10 熱処理した木材の使用例



図 6.11 軒に樹脂処理した木材の使用例



図 6.12 外壁にアセチル化処理した木材の使用例

6.3.5 水仕舞

木材を濡らさない、あるいは濡れても水を滞留させずに、木材が乾燥した状態を保つことが、木材の防腐対策として最も効果のある対処法である。しかし木造建築物は複数の材料を重ね合わせて内外装を仕上げていくため、その過程で1つでも施工不良や施工管理不足が生じた場合、腐朽に直結する水の侵入や滞留を招く可能性が高まる。

設計者は当然、水仕舞を考慮して設計図書を作成するが、細部におよぶディテールは、必ずしも設計図書には表記されていない場合もある。また、大きな変更なく耐久性を高めることができる判断されるディテールは、VE案として積極的に提案していくことが望ましい。その際は、加工詳細図を、次工程も考慮して作成し、監督職員・工事監理者の承認を得て、加工・建方を進めていく必要がある。

(1) 屋外に構造用製材や構造用集成材等が暴露されて使われる場合、「6.3.3 防腐対策」のいずれかの対処が不可欠であるが、雨水に晒される場合には、水の滞留を招かないよう注意して、加工詳細図の作成と適切な加工・施工を行うことが必要である。

(2) 外壁は経年変化に伴って外壁仕上げ面から内部に雨水の侵入を許すことがある。内部に水が浸入した場合、防水紙を留め付ける金具周りから、構造部材にまで水が到達する可能性がある。外壁通気工法（図 6.13 参照）は、仮に水が侵入したとしても、通気層を通じて水の排出や、外壁裏面の乾燥が行える。ただし、通気層の空気の流れが確保されることが不可欠で、木造の躯体工事において、次工程の納まりも考慮して明らかに支障となる箇所については、監督職員・工事監理者と協議の上、適切な対応を図る必要がある。

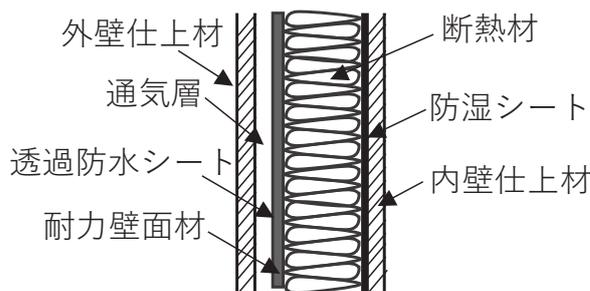


図 6.13 外壁通気工法の事例

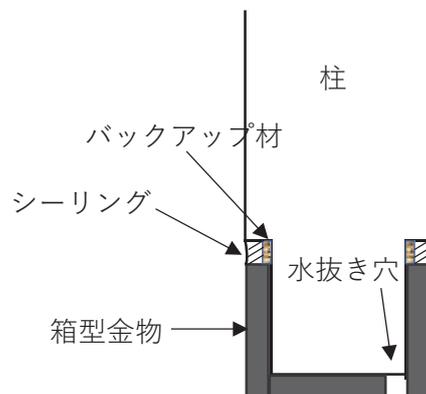


図 6.14 脚部のシーリングの事例

(3) 屋根の雨仕舞については、屋根の仕上げ材に応じて適正な勾配を設ける必要があるが、近年は水勾配が緩くなる屋根やバルコニーにシート防水が、木造建築物であっても採用される機会が増えている。シート防水は壁側の立ち上がり寸法が十分でない場合、あるいは立ち上がりの水仕舞部や入隅部の納まりが不適切な場合には漏水の可能性が心配される。また、ドレーンの取り付けについては木造では、複数の業者が絡むことから、責任の所在が不明確なまま工事が行われてしまう可能性が高い。よって、使用するドレーンの仕様や工事手順を鑑み、躯体工事の施工計画を進めていく必要がある。

(4) 近年、複数の職種をこなす多能工が増えており、木造建築物では顕著である。しかし、専門知識を有していない職能工による施工は、様々なトラブルの原因になるため、避けなければならない。例えば、シーリング工事（図 6.14 参照）を施工する場合には、JASS8 を参考に、適切な工事をする必要がある。3 面接着等、誤った施工をすれば、短期間で母材からシーリングが剥離し、水を滞留させる原因になる。

(5) 木造の建方が始まり、屋根工事が終了する期間の雨対策は、施工計画段階から事前に協議しておく必要がある。短期間の水濡れでは耐久性に支障はないが、繰り返し雨水に晒された状況や、水が滞留したまま次工程で隠蔽される状況が生じると、木材が割れる原因となり、接合金物の錆の原因、木材表層の汚れにも影響する。完全な養生は困難なため、いくつかの工区に分けて、木工事から屋根仕舞までの時間を短縮するなどの配慮が望まれる。

6.3.6 結露対策

結露は、温度が高い空気が低い温度下に晒されることにより起こる現象で、木造建築物では、断熱材内に侵入した室内側の水蒸気を含んだ空気が外部に抜けず、外気温の影響で冷やされることによって発生する壁内結露と、暖かい空気が温度の低い物体に触れて起こる表面結露が課題になる。

(1) 壁内結露は、断熱性と気密性の確保が、有効な対策となる。しかし、入念な施工を行っても、水蒸気を含んだ空気が壁内に侵入することを完全に防ぐのは難しいため、木造住宅工事仕様書（監修：住宅金融支援機構）では次のような措置を求めている。

① 断熱材の屋外側には、上下部が外気等に通じている通気層を設ける。なお、断熱材（無機繊維系）が通気層を流れる冷気流に直接面する場合は、必要に応じて、その表面に水蒸気の放出を妨げない適当な防風のための層を設ける。

② 断熱材の屋外側は、水蒸気の放出が可能な材料または工法とする。

(2) CLT パネル工法を採用する場合、壁の CLT 間に隙間が生じると、室内側の湿った空気が隙間を通過して断熱材を通過後、急激に冷やされ、透湿防水シートの屋内側で結露する可能性がある。特に吹き抜けを設けるなど、室内と室外に気圧差が生じた場合には、空気の流入量が増え、その可能性が高くなるため、目地処理は結露対策の重要なポイントとなる。また、接合に引きボルトや箱型の金物を使用する際、CLT を貫通する場合、空気の流入がないように工夫することが求められる。

また、外壁では屋内から湿った空気が断熱材を抜けて外壁の仕上げ材に触れた場合に結露が発生するが、外壁通気工法を採用すれば通気層の空気の流動により、透過性の高い防水シートを通過後、結露した水分を乾かすことができる。よって断熱材と透

湿防水シートが密着しておらず隙間があると、透湿防水シートの室内側で結露が発生し、CLTを濡らすことになるので注意が必要である。

(3) 表面結露は、接合に使用した金物等が、屋内と屋外を貫通して熱橋が生じた場合や、台所、浴室、洗面所やトイレに繋がる給水管、排水管やガス管の周辺温度が低下する時に発生する。よって、金物や配管の表面温度を低下させないよう、断熱処理を適正に実施することが必要になる。

(4) 1階の床下には、基礎で外気を遮断する基礎断熱と床下で断熱する床断熱がある。基礎断熱は床下に外気が流入しないようにする必要があるため、コンクリート基礎と土台またはCLT間に隙間ができないよう、施工する必要がある。

床断熱仕様の場合は、室内側の空気が床下に回り込むと、そこで空気が冷やされ、結露が発生する。よって、気密テープ等で床下に室内の暖かい空気が流れない工夫が必要である。また、床下から床上に跨ぐ金物が熱橋にならないような配慮が求められる。

(5) 施工中に木材表面が雨水に晒されると、表面の含水率が一時的に繊維飽和点を上回ることもある。この状況が維持されたまま、防水シート等で密閉されると、乾燥できないため、木材の表面の含水率が繊維飽和点を超えた状況が長期間続くことになる。

また、濡れた木材と防水シート間に気密性の高い材料が挟まれた場合や空間があると、直射日光によって木材表面に浸漬した水が蒸発し移動して、日陰になった空間で冷やされ、結露の要因になるため注意が必要である。

6.3.7 木材の含水率管理の重要性

木材腐朽菌は、木材の中に適当な水分が存在しないと生きられないため、木材を十分乾いた状況に保つことが、木材の耐久性を向上させるための有効手段となる。その際、繊維飽和点である含水率30%以下が目安となり、初期の木材乾燥の品質管理と施工中の雨掛かりへの配慮が求められる。

(1) 木材を、平衡含水率まで乾燥させておくと、突発的な結露が発生した場合に木材表面の含水率を繊維飽和点以下に保つことができる。

(2) 木材は異方性があり、木口からの吸水は極めて顕著で、水の浸透も深くなるため、コンクリートや鋼材との接触面や、木材の仕口・継ぎ手からの水の侵入には十分な配慮が必要である。構造部材の木口からの吸水が心配される場合には塗料等で、浸透を防御することが不可欠である。

(3) 含水率の高い木材の使用は、乾燥する過程で木材の割れを誘発する可能性が高く、割れから水が浸入すると、木材内部の腐朽を促進させることになる。

(4) 充填断熱とした場合、木材が乾燥により収縮すると、断熱材と構造材の間に隙間が生じるため、断熱性能が低下すると共に、結露の心配が懸念される。

6.4 防蟻対策

6.4.1 防蟻対策の方法

我が国で木造建築物に大きな被害を与えているシロアリは、イエシロアリとヤマトシロアリの2種類である。基本的には、防腐対策と同様に水分の制御が防蟻対策のポイントになる。ただし、イエシロアリは比較的乾燥に強いいため、より確実性の高い対

策が必要である。

また、近年、外来種であるアメリカカンザイシロアリの被害事例が報告されている。イエシロアリやヤマトシロアリと異なり、被害を受けた建物から頻繁に羽アリが飛翔して周囲の建築物に移動すること、また低い含水率であっても生息が可能であるため、予防駆除が困難である。ただしイエシロアリは数十万から数百万頭、ヤマトシロアリは数万から数十万頭で1つの巣を形成し職蟻が湿った木材を食害するのに対し、アメリカカンザイシロアリは数百から数千頭で巣を形成しているため、食害は緩慢である。

(1) 防腐対策として紹介した薬剤処理には、防腐には効果があるが、防蟻には期待できない処理方法もあるため、事前に調査しておく必要がある。

(2) イエシロアリおよびヤマトシロアリは、地下や土壌と接した木材内部に営巣し、蟻道を作って木材を加害しながら移動する。よって、対策として、防蟻シート敷設、べた基礎や、最近実用化された、金網や特殊は粒径サイズの粒状物などでシロアリを遮る物理的方法もある。いずれの方法も、遮蔽物が破断していると侵入を許すため、木工事の施工により、損傷しないように注意し、破断を生じた場合には元請業者と協議の上、速やかに対処することが必要である。

(3) イエシロアリは、建築物の近くに巣をつくりにくい環境を整えることが重要である。工事期間中、切りくず等出さないように心掛け、廃材は環境負荷も考慮して適切に処理する。

6.5 防錆対策

近年、鋼材を使った接合金物や接合具を使う木造建築物の事例が多くなっている。鋼材の強度は、木材と比べると高く、薄い鋼板、あるいは細い鋼棒で力を伝達することができるが、腐食すると接合部の耐力低下につながる。

腐食は、酸素と水による電気化学的作用や、化学物質等との接触によって生じるため、木材同様の水に対する配慮や被覆、構造用金物を腐食させる化学物質との接触回避が対策として有効になる。

錆の発生を可能な限り遅らせる方法が防錆処理で、鋼材表面に塗装皮膜を構成する防錆塗装と、鋼表面に鉄・亜鉛の合金層および亜鉛の膜を形成する溶融亜鉛めっきがある。防錆処理は、設計図書に記載されている方法で実施し、指示されている特記事項に従って施工する。

6.5.1 防錆塗装

防錆塗装の耐久性は、素地調整の良否に左右され、下塗り用の塗料の適正な防錆性能を発揮させる標準塗付け量、亜鉛めっき面に対する塗料の標準塗付け量、および塗膜面の検査内容は、「鉄骨工事技術指針・工場製作編 2018」（日本建築学会）に準拠する。その内容は「第2編 第5章 接合金物（外注製作）」に示す。

6.5.2 溶融亜鉛めっき

鋼材の溶融亜鉛めっきの種類と品質、および外観検査に関する合否の判定基準は、「建築工事標準仕様書 JASS6 2018」（日本建築学会）に準拠し、その内容は、「第2編 第5章 接合金物（外注製作）」に示す。検査において不適合となった場合は、めっき面の欠陥の補修を実施し、割れを発見した場合は、交換するか、元請業者に報

告し、その補修方法については承認を得なければならない。

6.5.3 木材の保存処理薬剤と金属との相性

木材に使用される保存処理薬剤には様々な種類があるが、中には金属の錆の発生を促す薬剤があるため、接合部に金物を使用する場合には、薬剤の適切な選択が求められる。表 6.6 は、加圧薬剤処理または表面薬剤処理した木材と金属の相性を、4年間の暴露試験によって得られた調査結果であり、数値が大きいほど腐食が進んでいることを示している。4.0以上の組み合わせは、避けることが望ましい。

表 6.6 保存処理木材と金物の相性（屋外暴露試験 4年目）⁶⁾

| 処理方法 | 亜鉛メッキ | | | | | | 亜鉛合金メッキ | | 複合処理 | | | |
|------------------|-------------|-----|-----------|-----------|-----|-----------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----|
| | Zn8 Cr3 | Z27 | HDZ -A | HDZ 23 | Z60 | HDZ 35 | Zn+ Mg 合金 めっき 1 | Zn+ Mg 合金 めっき 2 | 電気 亜鉛 めっき + 皮膜 1 | 電気 亜鉛 めっき + 皮膜 3 | Z27 +カ チオ ン電 着塗 装 | |
| 木材非接触 | | | | 2.0 | | | | | | | | |
| 加 圧 処 理 | AAC | 5.0 | 4.7 | 2.7 | 3.3 | 3.3 | 4.0 | 2.0 | 3.7 | 5.0 | 3.3 | 1.0 |
| | SAAC | 5.0 | 4.3 | 3.0 | 3.3 | 2.3 | 4.0 | 2.7 | 2.7 | 3.3 | 3.0 | 1.0 |
| | BAAC | 4.7 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 4.0 | 2.3 | 2.0 | 3.3 | 2.7 | 1.0 |
| | ACQ | 5.0 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 3.0 | 1.0 |
| | CUAZ-2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.7 | 3.0 | 1.0 |
| | CUAZ-3 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 3.0 | 3.0 | 1.0 |
| | AZN | 4.7 | 3.3 | 3.0 | 3.0 | 2.3 | 3.7 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 1.7 | 1.0 |
| | ホウ酸 | 3.3 | 3.3 | 4.0 | 3.3 | 2.7 | 3.3 | 2.7 | 2.3 | 3.0 | 3.0 | 1.0 |
| 表 面 処 理 | ナフテン酸銅 | 3.7 | 2.7 | 2.3 | 2.3 | 1.0 | 2.7 | 1.7 | 2.3 | 1.7 | 3.0 | 1.0 |
| | チアメトキサム他 | 3.3 | 4.0 | 3.3 | 3.3 | 2.7 | 3.3 | 1.7 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 1.0 |
| | ジノテフラン他 | 4.0 | 2.3 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 2.3 | 1.7 | 1.0 | 3.0 | 3.0 | 1.0 |
| | ビフェントリン他 | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.3 | 1.0 | 3.0 | 1.0 | 1.0 |
| | エトフェンブロクス乳酸 | 2.7 | 2.7 | 2.3 | 2.3 | 1.0 | 2.7 | 1.3 | 1.0 | 1.0 | 1.7 | 1.0 |
| | エトフェンブロクス油剤 | 3.0 | 2.0 | 2.3 | 2.0 | 1.3 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 1.7 | 1.7 | 1.0 |
| 未処理 | ベイマツ | 4.3 | 3.7 | 3.0 | 4.3 | 3.3 | 3.3 | 2.3 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 1.0 |
| | ベイツガ | 2.3 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 1.3 | 2.7 | 2.0 | 1.0 | 3.0 | 1.7 | 1.0 |

6.5.4 構造的耐久設計

木材同様、雨水や結露した水が滞留しないよう、設計図書に基づき、適正な加工・施工を実施する。ただし、大きな変更なく耐久性を高めることができると判断されるディテールは、VE案として積極的に提案していくことが望ましい。

6.6 維持管理計画

腐朽、蟻害や気象劣化により、構造安全性や美観などの初期の性能が経年変化により低下していくと、建築物の利用者に不利益を与えるだけでなく、社会的にも好まし

くない状況になる。建築基準法第8条には、すべての建築物の所有者または管理者、使用者は、その建築物が常時適法な状態にあるように維持すべき義務であることが明記されている。

このような事態を防ぐために、建物を点検し、必要に応じて補修や修繕を行う必要がある。このような行為を維持管理という。維持管理行為には、腐朽や蟻害が進行した段階で修繕する事後の維持管理に対し、計画的に点検、診断、補修を行い、機能低下や劣化を察知して故障を未然に防ぐ予防的な維持管理がある。

6.6.1 予防的な維持管理

予防的な維持管理では、点検や診断、あるいは定期的な塗り替え、部品の取り替え等を実施する。腐朽や蟻害が進行した場合に発生する修繕費用は高額になる可能性があるため、定期的に点検・診断を行い、早めに対応していくことが望まれる。よって管理者は監督職員・工事監理者から要望があれば、施工計画の段階で、専門的立場から維持管理計画を策定するとよい。

また、予防的な維持管理は、竣工時の、より詳細な情報があると合理的に進めることができる。よって、施工図や使用した材料等の資料は、監督職員の指示により提出すると共に、一定期間保存しておくことが望ましい。

6.6.2 表面割れ

木材が屋外に晒される環境では、表面温度が高くなれば表層が収縮し、表面が濡れて含水率が高くなり、表層は膨張する。このような膨潤・収縮が繰り返されると、初期段階では適切に含水率が管理された木質材料であっても、時間が経てば、干割れが発生する可能性は高く、その割れが起点になって水が木材内部に侵入すれば、腐朽菌の繁殖を促すことになる。

また、構造用集成材や直交集成板等、接着剤によりラミナを積層して構成される木質材料が屋外環境に暴露され、乾湿繰り返しを受けると、木材繊維が繋がっていない接着層が割れることがある。やむを得ず木質材料が屋外に晒される場合には、設計だけではなく、施工時においても十分な配慮が求められる。

(1) 屋外に木質材料が晒され、表層に割れが生じた場合を配慮し、水が表面に溜まりにくい状況を作っておくことは、防腐対策として効果的な手段である。木質材料を梁のように横使いにした場合は、金属や木材で、上面に保護カバーを付けておくことが望ましく、太陽光を遮ることもできるため、干割れ防止にも効果がある。

ただし、金属で保護カバーをするときには、金属カバーの裏面で結露すると、その結露水が木材腐朽の原因になるため、通風を確保する等の適切な結露対策が必要である。また、木材で保護カバーをするときには、節がある材料や幅の広い材料の選択を避け、木材の寸法変化が少なくなるように、表面だけではなく裏面にも塗装をしておくことが望ましい。なお、保護カバーの継手から水が浸入しないように施工すると共に、保護カバーがあっても、上面には水が溜まらないように、水勾配をとることが望まれる（図 6.15 参照）。

さらに、保護カバーの取り付け方法については、点検や補修を考慮して、容易に取り外し、交換できるような納まりにしておくことが望まれる。

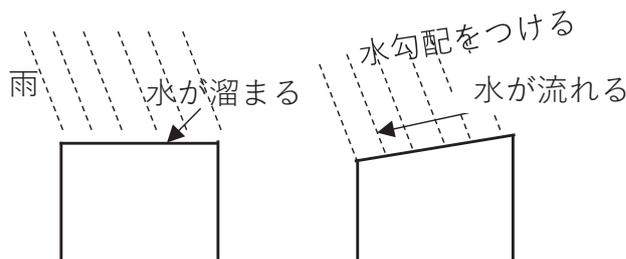


図 6.15 木材上面の水勾配

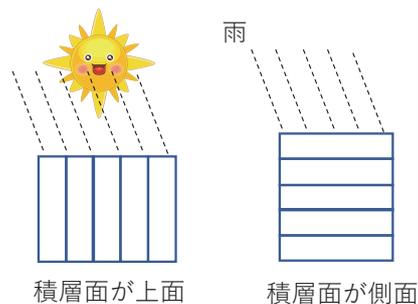


図 6.16 構造用集成材の据え方

表 6.7 耐久性向上のためのチェック項目

| 項目 | チェック内容 | 参考資料 |
|---|---|--------|
| 気象劣化対策 | <input type="checkbox"/> 選択した塗料の特性を確認。 | 表6.1 |
| | <input type="checkbox"/> 木材表面の素地調整を、適切に実施。 | |
| | <input type="checkbox"/> 塗装する木材の、全断面に対する含水率の平均値は18%以下。 | |
| | <input type="checkbox"/> 防腐・防虫処理等された木材に塗装する場合は、特殊な処理の有無を確認。 | |
| | <input type="checkbox"/> 塗料の塗付け量、塗装回数、乾燥時間、作業中および施工後の養生の良否等、確認。 | JASS18 |
| | <input type="checkbox"/> 庇や軒の高さ、跳ねだし寸法は、設計性能を満足。 | |
| 腐朽・蟻害対策 | <input type="checkbox"/> 地面から1m以内の部分にある柱や土台に、あるいは屋外に柱や横架材が晒される状況で木材が構造部材として使われる場合には、耐久性の高い樹種の選択。 | 表6.2 |
| | <input type="checkbox"/> 使用する樹種の、辺材と心材の耐久性能の相違を把握。 | |
| | <input type="checkbox"/> 薬剤保存処理をする場合、浸潤度と、吸収量が規定を満たしているか確認。 | 表6.4 |
| | <input type="checkbox"/> 集成材を薬剤保存処理する場合は、適切な薬剤を選択し、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%以上であることを確認。 | 表6.5 |
| | <input type="checkbox"/> 薬剤の浸潤が困難な樹種は、インサイジング処理。 | |
| | <input type="checkbox"/> 薬剤処理する前の木材の含水率が、薬剤注入に支障のない数値であることを確認。 | |
| | <input type="checkbox"/> 薬剤処理後、加工により薬剤が湿潤していない部分が露出したので、適切な措置を実施。 | |
| | <input type="checkbox"/> 集成材のラミナに薬剤処理する場合、接着不良が生じない対策を実施。 | |
| | <input type="checkbox"/> 保存薬剤の塗布・吹き付けと加圧処理を併用にあたり、双方に使用する薬剤の特性を確認。 | |
| | <input type="checkbox"/> 保存薬剤の塗布・吹き付けは、工場で実施。 | |
| | <input type="checkbox"/> 化学修飾した木材に表面塗装を施す場合、不適合がないことを確認。 | |
| | <input type="checkbox"/> 施工図作成の折、水仕舞がよくないと判断されたディテールは、監督職員に相談。 | |
| | <input type="checkbox"/> 外壁の通気層の空気の流れに支障となる納まりにならないことを確認。 | |
| | <input type="checkbox"/> 屋根の雨仕舞を考慮し、施工図を作成。 | |
| | <input type="checkbox"/> シーリング工事をする場合、施工個所の妥当性と施工手順を確認。 | JASS8 |
| | <input type="checkbox"/> CLTパネル工法を採用した際、屋内から屋外への空気の流れに対し配慮。 | |
| | <input type="checkbox"/> 接合金物等の表面結露に対する適切な措置を実施。 | |
| | <input type="checkbox"/> 施工中の雨対策を事前に協議。 | |
| | <input type="checkbox"/> 含水率管理を適切に行った木材を使用。 | |
| <input type="checkbox"/> 木口の水の接触到配慮。 | | |
| <input type="checkbox"/> 工事期間中の木質系廃材の処理を適切に実施。 | | |
| <input type="checkbox"/> 接合金物には、適切な防錆処理を実施。 | JASS6 | |
| <input type="checkbox"/> 保存処理薬剤の、接合金物への影響がないことを事前に確認。 | 表6.6 | |
| 維持管理計画 | <input type="checkbox"/> 専門的立場から、維持管理計画を策定。 | |
| | <input type="checkbox"/> 点検、診断、補修に役立つ資料を準備。 | |
| | <input type="checkbox"/> 構造材として使用した木材が、屋外に晒される場合は保護カバーを適切に施工。 | |
| | <input type="checkbox"/> 保護カバーの取り付け方法は、点検や補修を考慮。 | |
| | <input type="checkbox"/> 構造用集成材、CLTの利用にあたり、使用環境に適した接着剤を使用している。 | |

(2) 気象劣化が心配される場所で、構造用集成材や CLT 等が使用される場合、接着剤は集成材の JAS 規格に記載される使用環境 A で使用可能な、耐候性のある接着剤を選択しなければならない。また上面は乾湿繰り返しの影響が大きくなるため、積層面が上向きになる使い方は避けたい。積層面が側面になるように構造用集成材が使われた場合には、たとえ割れが生じても深い割れには進展し難く、木材内部への水の侵入も軽減され、1 層目と 2 層目間の接着層には止水効果も見られ、長い期間でなければ、保護カバーの役割も果たしてくれる (図 6.16 参照)。

6.7 施工管理上のチェック項目

6.1 で説明した木材劣化の要因を踏まえ、木造・木質化に向けて 6.2～6.6 で述べた、施工時の耐久性向上のためのチェック項目を表 6.7 にまとめた。

参考文献

- 1) 片岡厚：住宅と木材 Vol.37 No.435, pp20～pp23, 2014
- 2) 木口実：外装木材の塗装処理と維持管理，日本木材保存協会：木材保存 Vol. 42-3, pp151～pp156, 2016
- 3) 木を活かす建築推進協議会：木造建築物の耐久性向上のポイント，2015
- 4) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS18, pp273～pp275, 2017
- 5) 日本集成材工業協同組合編著：集成材建築物設計の手引, pp247～pp298, 2012
- 6) 屋我嗣良、河内進策、今村祐嗣：木材科学講座 12 保存・耐久性, pp139～pp141, pp198～201, 1997
- 7) 住宅金融普及協会，監修 住宅金融支援機構：木造住宅工事仕様書（平成 22 年改訂），pp142～pp143, 2010

引用文献

- 1) 木口実：外装木材の塗装処理と維持管理，日本木材保存協会：木材保存 Vol. 42-3, pp151～pp156, 2016
- 2) 木を活かす建築推進協議会：木造建築物の耐久性向上のポイント，pp21～pp22, 2015
- 3) 石川廣三：雨仕舞のしくみ 基本と応用，彰国社，pp101, 2004
- 4) 日本集成材工業協同組合：集成材建築物設計の手引，pp273, 2012
- 5) 全国木材検査・研究協会：製材の日本農林規格並びに改正の要点及び解説，pp174, 2015.10
- 6) 石山央樹・中島正夫・森拓郎・野田康信・中島裕貴・槌本敬大：保存処理木材に接する各種表面処理鋼板の暴露試験【その 5】暴露試験 4 年経過報告と画像解析の改良，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），2015

第7章 中大規模木造工事の概要と木質材料調達等の留意点

7.1 中大規模木造工事の流れ

7.1.1 木造工事の受注形態と流れ

木造工事には、林業、製材業、商社、問屋、木質材料製作者、中間加工業者、製作金物加工業者、建方業者等、多くの専門工事業種が関与する。元請けである受注者から木造工事を請ける業務形態は様々であり、木質材料や接合に使用される金物や接合具も、下請業者が自社で製造・加工する場合、外注品、あるいは支給品を使用する場合がある。

図7.1に、下請業者が自社で木質材料の生産・加工・建方を請け負った場合の現場に材料が納入するまでの流れの事例を、図7.2に、受注した元請業者が、木質材料の生産と加工および建方を別々に発注して対応する場合の木造工事の流れの事例を示す。

7.1.2 施工計画

設計図書の内容と品質目標を加味した施工方針のもとで、施工方法・作業手順・使

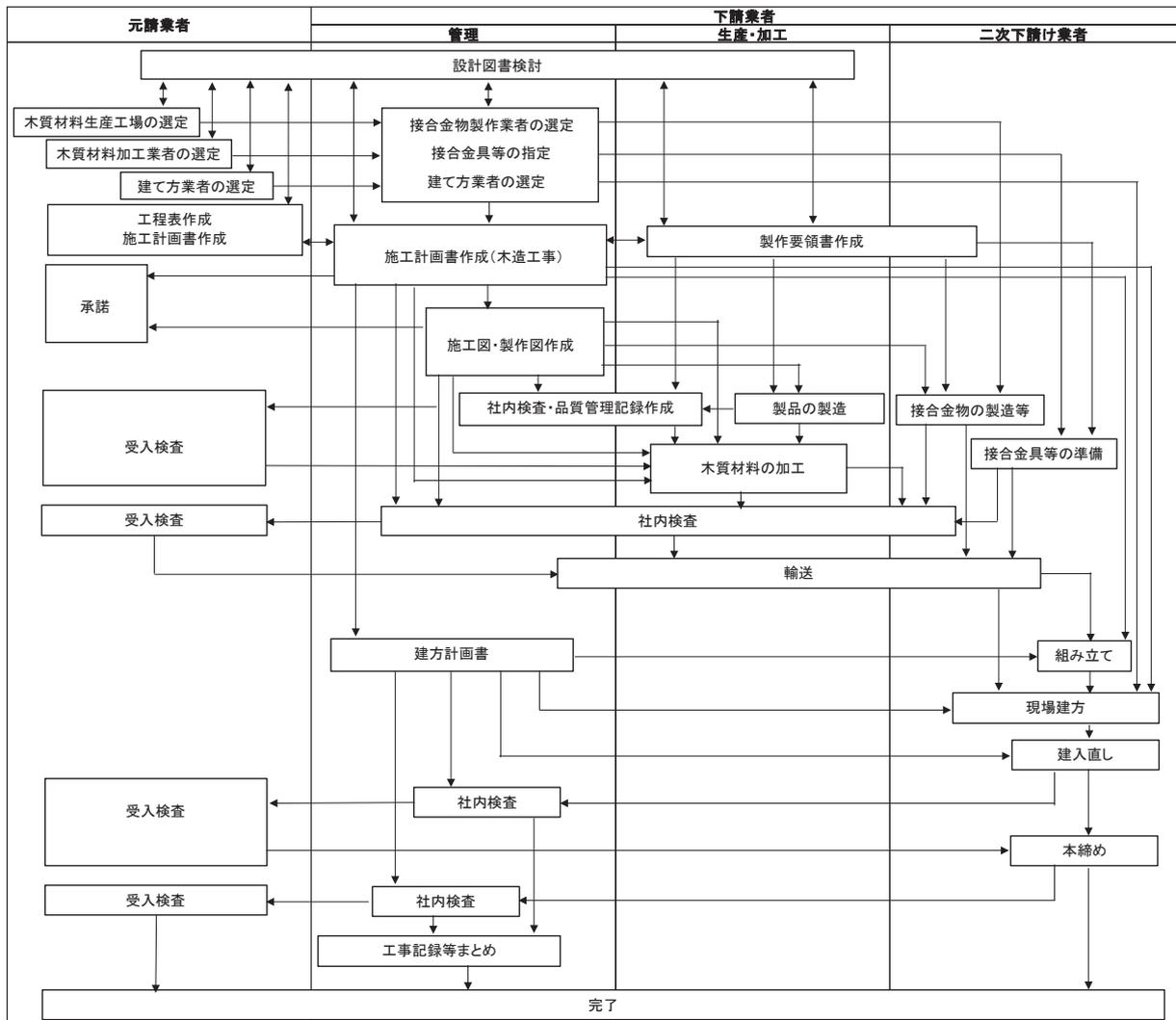


図 7.1 木造工事の流れ

(下請業者が自社で木質材料の生産・加工・建方を請け負った場合)

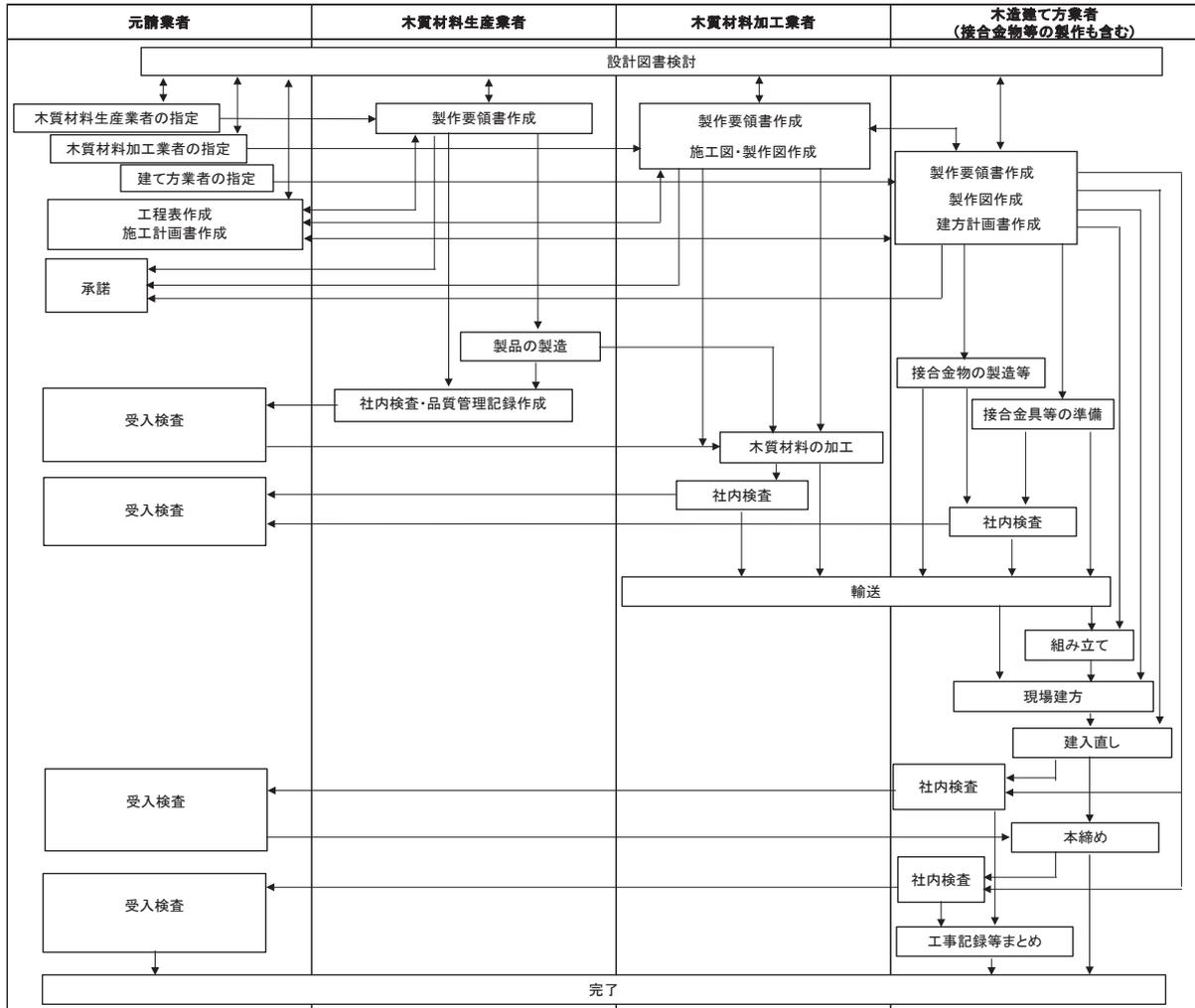


図 7.2 木造工事の流れ

(木質材料の生産・加工・建方を分離して発注された場合)

用する施設などを計画し、具体的に明文化した書類を、施工計画書という。施工計画書は、原則として木質構造工事管理責任者が作成し、これを受けて木質材料の製作、加工に関わる専門工事業者は製作要領書を、建方の専門工事業者は建方計画書を作成する。

7.1.3 製作要領書

木質材料および製作金物の品質が、設計図書に記載される品質を満足するように、製作工場の概要、製作方法や加工手順、品質管理方法および現場への搬入について、具体的に計画・検討した実施計画書が製作要領書である。製作要領書は、原則として材料の製作、加工前に作成し、元請業者の承諾と監督職員・工事監理者の承認を受けておく必要がある。製作要領書の詳細は、第3編の第3章に示す。

7.1.4 施工図・加工図

設計図書は完成後の建物の姿を示すものであるが、木質材料の加工、組立に関する詳しい情報は詳細に表現されていない。よって設計図書に盛り込まれた内容を、木造工事に関わる管理者および技術者・作業者が十分に理解し、適切な施工を行うためには、木造工事全体が把握できる施工図と、柱や梁等1品1品の品質規格、部材寸法や加工を描いた加工図が必要になる。施工図・加工図は材料の製作・加工前に作成し、元

請業者の承諾と監督職員・工事監理者の承認を受ける。

施工図・加工図は、加工、組み立てに関わる作業者が容易に読み取れるように描くことが重要である。また設計図書内でのくい違い、不明確な点がある場合や、設計図書通りに製品の製作・加工や施工を実施した場合に懸念される課題がある場合などは、元請業者や監督職員・工事監理者に質疑し、回答・指示を受けるなどして、手戻りのないように進めなければならない。

7.1.5 建方計画書

構造形式の特徴、現場条件等から施工品質、安全性、経済性、工期を鑑みて、具体的に建方計画を示したものを建方計画書という。建方計画書には、工事内容に適した施工職種の選択、作業手順、建方に必要な揚重機の選定や仮設計画の他、建方時の誤差や建方精度を確保するために行う建入直しの検討項目などを記載する。建方計画書の詳細は、第3編の第3章に示す。

7.2 品質管理と認証工場

7.2.1 設計品質と施工品質

工事に使用される木質材料は、顧客が安心・満足できる品質である必要があり、生産者の都合だけでその品質目標が設定されてはならない。施主・設計者が施工の目標として設計図書で定めた性能・仕様を設計品質といい、設計品質を満足するように施工した実際の品質を施工品質という。

品質管理の方法が不十分なことが理由で、不適合な木質材料が、構造上主要な部位に使用された場合には、建物利用者の生命や身体、財産などへ損害を与える可能性もあるため、施工者らは、この施工品質を保証するために、元請業者や監督職員・工事監理者と互いに協力し、流通過程における品質管理体制および品質管理方法を、関与するすべての企業が明確に把握して組織的に品質管理する必要がある。

7.2.2 品質の管理手法

品質管理は、製作された材料を検査または試験をして、不適合があれば取り除き、現場に適合品だけを納入することを目的に実施する管理手法である。一方で、その企業あるいは共同体が提供する品質が、継続的に改善・向上するために、プロセスを重視した管理手法を品質マネジメントという。

建築工事監理指針では、品質管理の結果が管理値を外れるなど疑義が生じた場合には、品質計画に従って適切な処理を施すと共に、その原因を検討し、再発防止のための必要な処置をとることを求めており、品質マネジメントによる管理を示唆している。

7.2.3 JAS 制度

JAS 制度とは「農林物資の規格等に関する法律」(昭和 25 年法律第 175 号)(以下 JAS 法)に基づいて、農林物資の品質改善、生産の合理化、取引の公正化及び使用または消費の合理化を図るためのものであり、農林水産大臣が制定した日本農林規格による検査に合格した製品に JAS マークを貼り付けすることを認める「JAS 規格制度」と、農林水産大臣が制定した品質管理基準に従った表示をすべての製造業者または販売業者等に義務付ける「品質表示基準制度」の 2 つの制度から成り立っており、木質

材料は前者が対象となり、後者は食料品が該当する。

工事で使用する材料については、設計図書にその品質、性能が規定されている。一般的な木材等の林産物にあつては、通常、日本農林規格（JAS）が指定されるが、これは設計者が、品質マネジメント活動に必要な職務分担の明確化、活動の基本となる標準類（社内基準・作業標準など）が整備されている組織での製作・加工を求めているからである。

JAS マークを貼りつけることができる製造業者等の認証は、民間の第三者機関（登録認証機関）がこれを認証する仕組みとなっており、登録認証機関から認証を受けた製造業者等が JAS マークを貼りつける仕組みになっている。製造業者等に加えて、製造工程を管理し、かつ、製品が JAS 規格に適合するかどうかの検査を行う能力のある販売業者または輸入業者も、登録認証機関の認証を受けて JAS マークを貼付することができる（表 7.1 参照）。

7.2.4 構造用製材の認証工場の条件

第三者機関から、製造業者が構造用製材の認証を受けるには、品質マネジメントによる継続的な品質管理能力を有することが求められる。「製材についての取扱業者の認証の技術的基準」（令和元年 8 月 15 日農林水産省告示第 669 号）に規定される基準の概要は、次のような項目である。

（1）製造又は加工、保管、品質管理及び格付のための施設

- ① 構造用製材の製造又は加工にあたり、作業を行うのに支障のない作業場、乾燥場、機械器具、搬送設備が整備されていること。
- ② 適切な広さであり、製品の品質を保持できる製品保管施設が整備されていること。
- ③ 品質管理に必要な機械器具を備えた、適切な広さの施設であること。
- ④ 格付のため、必要な機械器具を備え、検査結果の評価及び証票の管理のための適切な広さの設備であること。

（2）品質管理の実施方法

- ① 品質管理責任者に、品質管理に関する計画の立案及び推進、内部規程の制定、確認及び改廃についての統括、従業員に対する品質管理に関する教育訓練の推進等の職務を行わせていること。
- ② 原木及び製品並びに製造工程についての品質管理に関する事項、製造及び品質管理の機械器具の管理に関する事項、品質管理記録の作成及び保存に関する事項等に関し、内部規程を具体的かつ体系的に整備していること。
- ③ 内部規程に基づいて品質管理を適切に行い、その記録を作成及び保存していること。
- ④ 品質管理の結果、製品の品質が安定していること。
- ⑤ 内部規程の適切な見直しを定期的に行い、かつ、従業員に十分周知していること。

（3）品質管理を担当する者の資格及び人数

表 7.1 に示す、品質管理担当者、品質管理責任者、製品の材面の品質検査担当者が置かれていること。

（4）格付の組織及び実施方法

製造部門及び営業部門から、実質的に独立した組織及び権限を有する格付を行う部門があり、格付に関する規定を具体的かつ体系的に整備していること。

(5) 格付を担当する者の資格及び人数

表 7.1 に示す、格付を行う能力と経験を有し、認証機関が指定する技能講習を定期的に受講している格付検査担当者、格付責任者等が置かれていること。ただし、認証機関が指定する技能研修を定期的に受講している格付検査担当者を置かずに、試料の検査を第三者に委託する場合にあっては、製材の試料の検査を適正に行い得る機械器具及び人員を備える者と委託契約を締結し、格付のための試料の検査を行わせ、かつ、当該試料の検査の結果に基づき格付を行う。表 7.1 において前者をタイプ A、後者の第三者に委託する場合をタイプ B とする。

表 7.1 製材工場の認証事業者別有資格者の人数

| | | 製造業者 | | 販売業者・輸入業者・輸出業者 | | | |
|---|---------------|---|---|---|---|---|--|
| | | Aタイプ | Bタイプ | 販売業者 | | 指定工場 | |
| | | | | Aタイプ | Bタイプ | Aタイプ | Bタイプ |
| ① | 品質管理担当者 | 製材の品質管理に関する知識及び技能を有する者 2名以上 | | — | — | 製材の品質管理に関する知識及び技能を有する者 2名以上 | |
| ② | 品質管理責任者 | ①の中から認証機関が指定する講習会において製材の品質管理に関する課程を修了した者 1名 | | ①の中から認証機関が指定する講習会において製材の品質管理に関する課程を修了した者 1名 | | — | — |
| ③ | 製品の材面の品質検査担当者 | 製材の選別に関する知識及び技能を有し、かつ、認証機関が指定する研修において製材に係る選別技術を修得している者 2名以上 | | — | — | 製材の選別に関する知識及び技能を有し、かつ、認証機関が指定する研修において製材に係る選別技術を修得している者 2名以上 | |
| ④ | 格付検査担当者 | 認証機関が指定する研修を定期的に通講している者1名以上 | — | 認証機関が指定する研修を定期的に通講している者1名以上 | — | — | — |
| ⑤ | 格付責任者 | ②以外の中から講習会において製材の格付に関する課程を修了した者 1名以上 | | ②以外の中から講習会において製材の格付に関する課程を修了した者 1名以上 | | — | — |
| ⑥ | 格付担当者 | — | ②に該当する者であって、講習会において製材の格付に関する課程を修了した者 1名以上 | — | ②に該当する者であって、講習会において製材の格付に関する課程を修了した者 1名以上 | — | 工場での格付検査の一部は、②に該当する者であって、講習会において製材の格付に関する課程を修了した者 1名以上 |

* Aタイプ認証工場

認証の技術的基準(製造設備、検査施設、品質管理体制、格付体制、内部検査体制等)を満たし、認証を受けたものについて、自ら検査、格付を実施し、JASマークを表示する工場

* Bタイプ認証工場

認証の技術的基準のうち、格付検査担当者の資格を有するものを置かない等の理由により自ら格付のための試料の検査を行わず、検査を外部の第三者検査機関に行わせ、その結果に基づいて判定、格付を実施し、JASマークを表示する工場

(6) 木材乾燥士、針葉樹製材乾燥技術者及び木材保存士

人工乾燥処理製材または保存処理製材の認証工場の場合は、表 7.2 に示す資格取得者を1名以上配置する。

表 7.2 人工乾燥処理製材、保存処理木材認証工場に必要な有資格者

| 品目・区分 | 資格（資格認定機関） |
|----------|---|
| 人工乾燥処理製材 | 木材乾燥士（公益社団法人日本木材加工技術協会）または 針葉樹製材乾燥技術者（公益財団法人日本住宅・木材技術センター） |
| 保存処理木材 | 木材保存士（公益財団法人日本木材保存協会） |

7.2.5 構造用製材以外の木質材料の認証工場の条件

第三者機関から、製造業者が構造用集成材の JAS マーク表示の認証を受けるには、品質マネジメントによる継続的な品質管理能力を有することが求められる。「集成材についての取扱業者の認証の技術的基準」（平成 30 年 3 月 29 日農林水産省告示第 687 号）に規定される基準の概要は、「製材についての取扱業者の認証の技術的基準」と同様である。

ただし、品質管理担当者の製造又は試験研究の経験、品質管理責任者が受講する認証機関が指定する講習会における品質管理に関する課程、及び製品の材面の品質検査担当者の選別の経験は、集成材に関するものをいう。

また直交集成板については、「直交集成板についての取扱業者の認証の技術的基準」（平成 30 年 3 月 29 日農林水産省告示第 687 号）、単板積層材については「単板積層材についての取扱業者の認証の技術的基準」（令和 2 年 6 月 1 日農林水産省告示第 1064 号）に、技術的基準が規定されている。

7.3 木質材料の生産・流通の留意点

7.3.1 生物資源の利活用

木材はコンクリートや鋼材とは異なる、生物資源由来の材料である。よって再生可能であり、持続可能な資源と言える。また樹木の成長過程で炭素を固定し、さらに建築資材として利用すれば、建築物の存在期間中は炭素固定機能の役割を果たすことから、環境に優しい建材と言われている。さらに地域材の積極的な利用は地域経済の活性化に繋がると期待されている。しかし建築材料として木質材料を利用するには、生物資源であるが故に考慮すべき、次のような項目に対する配慮が必要になる。

(1) 含水率

木質材料は、含水率の変化によって、形状変化、寸法変化する材料である。例えば丸太から木取りをした材料を乾燥した後、再度組み合わせると、図7.3のように元の状態には戻らず、中央部の芯材のように割れも発生する。また含水率が繊維飽和点に近い梁材に載荷すると、図7.4の上のグラフのように、含水率の低下（図7.4下図参照）とともに著しくたわみが進行する。このような現象が建物内で発生すると、床の不陸、建具の不具合、床鳴りなどの原因になる。よって木質材料を木造建築の構造材料として利用する場合、含水率の管理は品質管理上、極めて重要である。建築物省エネ法の施行により、これまで以上に建築物には高断熱高気密化が求められることから、

平12建告第1898号に記載される15%が数値目標となろう。

木材乾燥は、断面寸法が大きくなれば、乾燥の難易度は増し、乾燥に必要な時間と費用も変わってくる。また過乾燥は、表面の変色や、強度の低下につながる割れや熱劣化の要因にもなるため、サイエンスを踏まえた高度な技術と経験が必要であり、木材乾燥の担当者及び管理者には、日々進歩する木材乾燥の技術を学ぶことが求められる。



図 7.3 木取りによる断面変形の事例

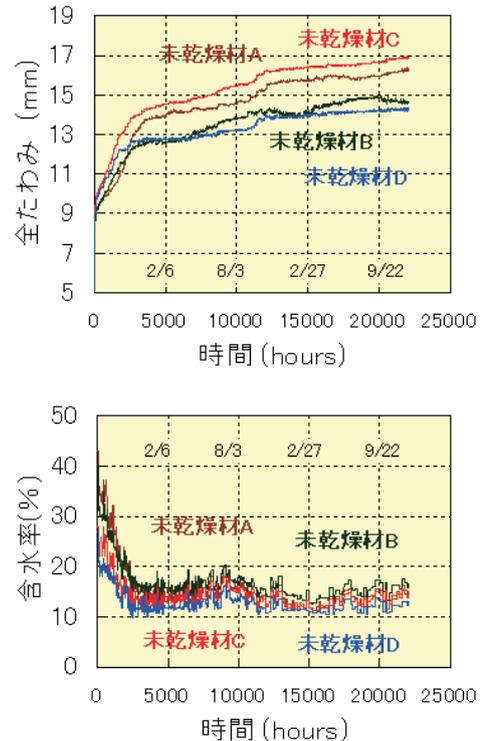


図 7.4 梁のたわみと含水率の変化

資料提供：宮崎県木材利用技術センター荒武志朗氏

(2) 強度性能

図 7.5 および図 7.6 は、同寸のスギ、およびヒノキの構造用製材の曲げ試験により得られたヤング係数の出現頻度である。中大規模木造建築に木質材料を積極的に活用するには、コンクリートや鋼材等と同等の品質に対する信頼性が求められるが、このように木材は、強度性能にバラツキがある材料である。強度区分法は、木材の信頼性を高めるために進められた研究で、中大規模建築物の木造化には欠かせない技術である。機械等級区分構造用製材は、目視等級区分構造用製材と比較すると、強度を精度良く推定でき、定量表示されるため、今後、中大規模木造建築に採用される機会が多くなってくると推察される。

「工学的な手法によって強度性能を保証する工程を経た木質材料」をエンジニアード・ウッド (以下、EW) という。構造用集成材、構造用単板積層材、直交集成板は代表的な EW で、構造用製材と比較すると、強度性能にバラツキが小さく、含水率を容易に 15%以下にコントロールできる。構造用集成材は、信頼性が高い材料として、これまでも中大規模木造建築物に広く使われてきた。ただし、接着剤で再構成する材料であることから、ラミナのたて継ぎと積層接着の品質管理が極めて重要である。

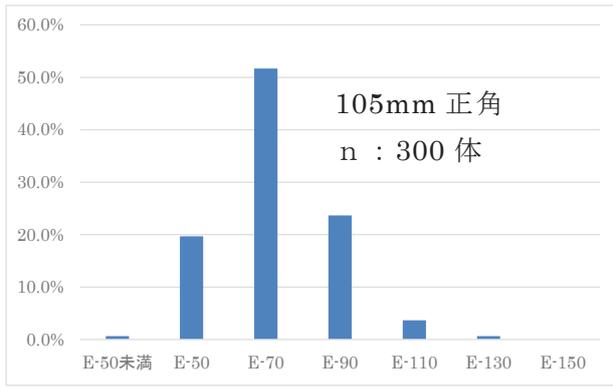


図 7.5 愛媛県のスギのヤング係数の出現頻度*

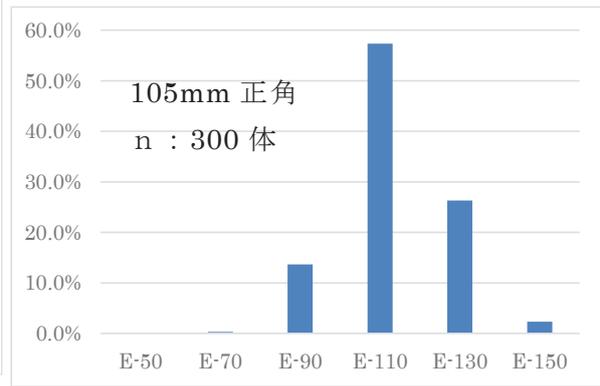


図 7.6 愛媛県のヒノキのヤング係数の出現頻度**

参考資料： * 愛媛県林業試験場 愛媛県林業試験場研究報告第15号（1994年）

** 愛媛県農林水産研究所林業研究センター 業務成績報告書（2011年度）

また、図 7.5 と図 7.6 から分かるように、樹種が違えばヤング係数の出現頻度が異なり、各樹種で強度の出現範囲が制限される。例えばスギを使う場合、E90 を標準とするような設計は、材料の調達が困難になる。EW を選択する場合も同様で、ラミナのヤング係数の出現状況を事前に把握し、設計品質に影響が出る場合は、速やかに元請業者に報告し、対応策を検討しなければならない。

同様に、各樹種の強度性能の出現頻度は、構造用集成材、CLT、構造用単板積層材を使用する際にも配慮する必要がある。無理のない強度規格の提示は、日本集成材工業協同組合、日本 CLT 協会や、関連企業のホームページで紹介されている。

また構造用集成材には、異等級構成と同一等級構成があるが、主に曲げを負担する横架材には異等級構成、柱には同一等級が利用されている事例が多いようである。その理由として、まず異等級構成については、例えば下方方向への力を受けた部材には曲げモーメントが発生し、このとき断面の概ね上半分には圧縮力、下半分には引張力が作用し、断面の中心あたりから上方へ、あるいは下方の部分ほど、負担する力は大きくなるが、異等級構成は力の負担の大きい外側にヤング係数が高い、すなわち強度が高いと推定されるラミナを、内側にはヤング係数が低い、すなわち強度が低いと推定されるラミナを配置する、合理的な構成となっていることがあげられる。一方、地震時・暴風時に生じる水平力に対し、異等級構成の構造用集成材は力の向きに応じ強度性能が異なるが、同一等級構成の構造用集成材は同じ強度区分のラミナで構成されているため、理論的には力の向きにかかわらず、同じ強度性能を有していることになる。構造計算をするにあたり、力の向きに関わらず強度性能が同じであることは好都合で、作業の煩雑さを回避することができる。ただし、例えば異等級構成である E65-F225 と同一等級構成である E65-F240 を比較すると、E65-F225 では、最外層ラミナに、E65-F240 では要求されない L80 という強度区分のラミナを選択しなければいけないが、内層用として L50、L60 のラミナも使用できるとされており、L80 以上ラミナの出現頻度は 25%以上あれば製造上支障はない。一方で同一等級構成の E65-F240 は L70 以上の強度区分のラミナを使用することになるため、L50、L60 のラミナは使

用できず、仮に図 7.5 のような強度の出現頻度だと、丸太から構造用集成材に至る歩留まりがかなり低下することになる。このことは建設コストや納期に影響するため、同一等級構成の構造用集成材の使用割合が多い場合には、早い段階で元請業者との協議が求められる。

(3) 寸法

コンクリートは、流動的な材料を現場に運び打設するため、基本的に躯体寸法の制限は受けない。一方、鋼材は、材料の搬送経路の道路事情で部材寸法の制限を受けることがある。これに対し木材は、鋼材と同様に運搬時の制限を受けるが、生物資源特有の寸法制限も加わる。

樹木は、植栽後、成長を続け、順調に育てば樹齢が高いほど径は大きく、樹高は高くなる。図 7.7 は、ある森林のスギの樹齢と平均直径の関連性を示している。拡大造林が中心である我が国の人工林では、図 7.8 から、10~12 齢級（1 齢級=5 年）に近い森林面積の比率が高い状況にあるが、この図を参考にすれば、搬出される木材の径は、現在、約 30cm が主流ということになる。よって構造用製材の矩形断面の幅と高さは、丸太の径の制限を受けることになる。

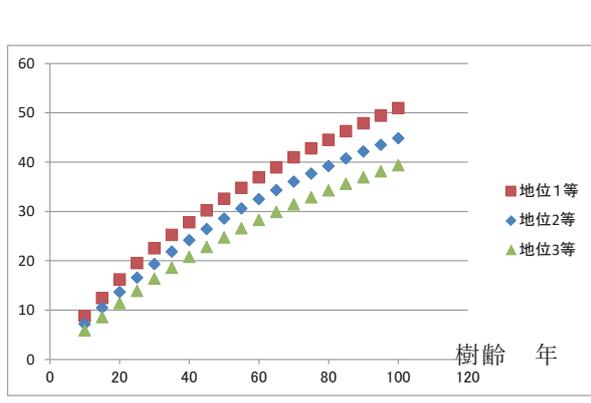


図 7.7 丸太の齢級と径の関係事例
資料提供：森林総合研究所

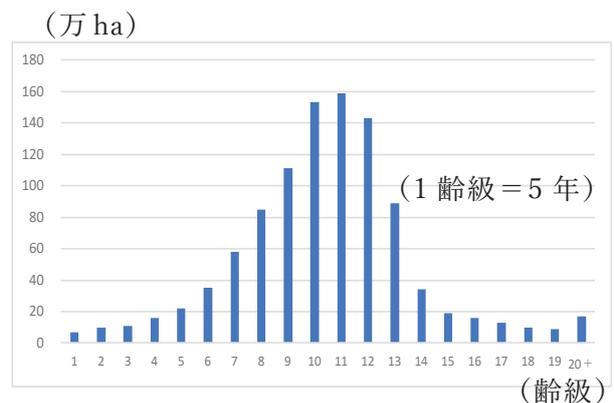


図 7.8 人工林の年齢構成（平成 29 年）
参考資料 森林・林業白書 平成 30 年版

長さについても、樹木は、必ずしも真っ直ぐ成長するわけではなく、長い材料は、周囲の樹木を傷めずに切り出すことも難しく、傾斜地、あるいは曲がりくねった道では搬出も困難になるため、長尺で通直の丸太材は、貴重な材料である。

7.3.2 木質材料の生産と流通の状況

現在の木材の供給体制及び流通体制は、これまで木材需要を支えてきた、共同住宅を含む住宅の分野を対象に構築されている。ところが、住宅と非住宅系の中大規模木造建築では、次のように違いがある。

- ① 住宅よりも非住宅建築の方が、室内が広い。
- ② 住宅より非住宅建築の方が、階高が高い。
- ③ 1棟あたりの中大規模木造建築の木材使用量は、住宅よりも多い。
- ④ 木材関連企業から見て、中大規模木造の1棟あたりの使用量は多いが、住宅需要のように発注に継続性はなく、発注形態が一過性である。

よって中大規模建築物の木造化を進めるには、こうした住宅との違いを鑑み、次のような項目に配慮して施工計画等を立てる必要がある。

(1) 寸法

近年、製材工場では、山から頻繁に搬出される丸太の大きさや、住宅向けの規格寸法（表 7.3 参照）を考慮した、生産効率の高い大型化・自動化の傾向が顕著である。中大規模建築物では、上記①、②の理由から、住宅向けの構造材よりも、断面寸法が大きく、長さも長くなる可能性があるが、このような製材工場では技術的に製材できない場合がある。例えば丸太の径が 36cm を超える、あるいは長さが 6m を超える材料は、製材できない可能性が高い。また技術的問題だけではなく、特注寸法の製材は、通常の生產業務に支障を来すため、経営的観点からも受け入れが難しくなる。

表 7.3 構造製材と構造用集成材の規格寸法の一例

| | 幅 | 長さ | せい (mm) | | | | | | | | | | | |
|--------|-----|------|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | mm | mm | 105 | 120 | 150 | 180 | 210 | 240 | 270 | 300 | 330 | 360 |
| 構造用製材 | 105 | 3000 | ○ | | ○ | ○ | ○ | | | | | | | |
| | | 4000 | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | |
| | | 6000 | ○ | | | | | | | | | | | |
| | 120 | 3000 | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | |
| | | 4000 | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | |
| | | 6000 | | ○ | | | | | | | | | | |
| 構造用集成材 | 105 | 3000 | ○ | | ○ | ○ | ○ | | | | | | | |
| | | 4000 | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | |
| | | 6000 | ○ | | | | | | | | | ○ | ○ | |
| | 120 | 3000 | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | |
| | | 4000 | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | |
| | | 6000 | | ○ | | | | | | | | ○ | ○ | |

* 製材工場、集成材工場により異なる。

また、仕上げ工程で使う自動鉋等は断面寸法、長さのいずれにも影響する。小さなエレメントにしたのち、接着剤を使って大きな材料に再生産される構造用集成材、構造用単板積層材、直交集成板のような EW でも、生産ラインに強度区分の選別機、圧縮する装置や自動鉋等を使用するため、なんらかの寸法の制限はかかる。

よって設計で求められる寸法に応じるためには、施工計画を立てる際、事前に製材から現場に至る生産工程を調査して、材料調達を図る必要がある。

(2) 納期

木材は、多段階の工程を経て建築の現場に運ばれるため、それぞれの工程で必要な時間を考慮すると、発注から納入に至るまで、時間を要する材料である。

まず伐採は、継続的な森林の役割を踏まえた、長期的視点に立った施業計画の下、実行しなければならない。したがって、木材の使用量が多くなる場合には、施業計画とのマッチングが必要で、需要側と供給側の早めの調整が求められる。また、猛暑や積雪、虫害等への配慮から 1 年中、伐採できないため、工程計画等は、供給側の慣習を踏まえて立てることが望まれる。

次に、木材乾燥は、十分な時間が必要な工程である。人工乾燥は、天然乾燥と比較すると、乾燥期間が短くなると期待されるが、乾燥の1番の目的は、品質の向上であり、無理なスケジュールで乾燥させることは避けなければならない。また断面寸法が大きくなる程、時間を要し、乾燥スケジュールの組み方によっては、天然乾燥だけの乾燥と比較して、より時間がかかることもあり、建設現場の工程に大きく影響する。

このような必要な時間の問題に対し、住宅の市場では、見込み生産で対応している。この見込み生産は、材料が継続的に一定量出荷されること、寸法等の規格化がなされることで成立する生産体制で、寸法が限定されれば、大量生産も容易になるため、コストパフォーマンスにも繋がる。しかし、住宅市場の発注は、‘継続性’が見込めることに対し、公共建築物の発注は一過性であること、空間の大きさ、構造形式等が多様で寸法の規格化ができないことから、発注を‘待つ’からの受注生産でなければ、基本的には材料の調達ができない。

ここで生じる納期の問題は、木材の伐採から加工に至る木材供給の工程をリード・タイムとして工事の工程表が組まれることで解消されると思われるが、単年度発注が基本である公共建築物では、理想の工程が組めない状況にある。そこで、工事の発注とは切り離し、発注者が地元の木材関連産業と契約を結び、材料の調達を行う分離発注という方法に注目が集まっている。

ただし、この分離発注は、確かに材料を準備する時間の確保には有効な方法であるが、施工計画においては、品質や費用に影響する、次のような問題点があることを理解しておく必要がある。

- ① 木材供給者と設計・工事監理者間に、品質基準の相違が生じると、材料の受け入れができない。
- ② 設計図書が不十分な状況で材料の調達を始めると、数量に増減が出やすい。
- ③ 材料の保管期間が長くなるため、保管費等、コストが増加する可能性がある。

小さなエレメントで木材を乾燥し、再構成する EW の活用は、乾燥期間が短く、また構造用集成材であれば、材料の幅だけ固定できれば、ひき板を事前に準備でき、材せいと長さには自由度があるので、実施設計が終わった後の製造でも、与えられた納期で製品を納めることができる。よって、EW を構造材として選択された建築物では、分離発注する事例は少ない。EW の生産工場が地域にない場合でも、製材品と EW の特徴を睨んだ適材適所という考えの下、地域産業に活かされる無理のない木質材料の調達計画が練られることが望まれる。

(3) 接着剤

構造用集成材、CLT、構造用単板積層材に使用されている接着剤は、主にレゾルシノール樹脂系接着剤、フェノール樹脂系接着剤と水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤である。接着剤は、構造性能・耐火性能・耐久性能に影響を与えるため、付表1のように使用環境を区分し、要求される性能に応じ、使用可能な接着剤に制限を設けている。例えば構造用集成材については、JAS規格で付表1の使用環境Bで使用される場合には、レゾルシノール樹脂系接着剤、またはJASの審査に合格した水性高

分子イソシアネート系樹脂接着剤を使用する必要があり、使用環境 A で使用される場合には、レゾルシノール樹脂系接着剤に使用が限定される。

レゾルシノール樹脂系接着剤はレゾルシノールとホルマリンを、またフェノール樹脂系接着剤はフェノールとホルマリンを主原料とすることから、健康面への懸念が聞かれることがある。しかし製造時に接着剤の硬化不良がおこってしまった場合には、ホルマリンと空気中の酸素が反応して揮発性有機化合物（VOC）であるホルムアルデヒドが放散されることになるが、接着剤硬化後は非常に安定した接着剤なので、適正な品質管理が製造時に行われていれば、建築物への使用にあたり、健康面への課題は回避される。ホルムアルデヒドの放散量に関しては、建築基準法施行令第 20 条の七「居室を有する建築物の建築材料についてのホルムアルデヒドに関する技術的基準」にて規制がかけられており、これに対し JAS 規格にて健康被害の要因とされるホルムアルデヒドの放散量の基準が設けられ、平均 0.3mg/L 以下・最大 0.4mg/L 以下の放散量の製品には **F☆☆☆☆** と表示されることになっている。構造用集成材の JAS 認証工場では、この基準を満たす製品の出荷が行われている。

表 7.4 構造用集成材・CLT・構造用単板積層材の使用環境

| | |
|-------|---|
| 使用環境A | 含水率が長期間継続的に、または断続的に19%を超える環境、直接外気にさらされる環境、太陽熱等により長期間断続的に高温になる環境、構造物の火災時でも高度の接着性能を要求される環境、その他の構造物の耐力部材として、接着剤の耐水性、耐候性または耐熱性について高度な性能が要求される環境をいう。 |
| 使用環境B | 含水率が時々19%を超える環境、太陽熱等により時々高温になる環境、構造物の火災時でも高度の接着性能を要求される環境、その他の構造物の耐力部材として、接着剤の耐水性、耐候性又は耐熱性について通常の性能が要求される使用環境をいう。 |
| 使用環境C | 含水率が時々19%を超える環境、太陽熱等により時々高温になる環境その他構造物の耐力部材として、接着剤の耐水性、耐候性又は耐熱性について通常の性能が要求される使用環境をいう。 |

7.4 木造工事の加工及び建方の留意点

7.4.1 木質材料の加工の留意点

これまで木材需要を支えてきた在来軸組工法の木造住宅では、かつては大工職が構造用木質材料の墨付けをして仕口および継ぎ手の加工を、継承された技能を駆使して行っていた。しかし、昭和 50 年代より技能工の高齢化や人手不足が懸念されるようになり、それを補うかたちで機械によるプレカット技術が登場した。プレカットは、IT 技術の進化とともに、精度の向上と生産性の向上が図られ、平成 12 年以降は急速にシェアを拡大し、平成 29 年には、92%の在来軸組工法の住宅で、プレカット工場を経由した構造用木質材料が使用されている。

ただし、住宅の在来軸組工法で使用されているプレカットの生産ラインは、住宅用の規格材を対象に組み立てられており、加工できる部材の断面寸法や長さには制限がある。また形式化された仕口・継手の加工が基本で、中大規模木造建築で見られる、特殊な加工には対応できないケースが多い。

これに対して、大断面集成材メーカーを中心に導入されているプレカット装置は、比較的大きな断面や 10m を超える長さの材料加工も可能である。さらに現在は、CAD で描いた加工形状を、連動して具現化できるようになり、生産効率は住宅用のプレカ

ット機械には劣るが、自由度の高い加工ができるようになっており、加工精度も極めて高い。

木質材料の加工精度は施工品質に大きく影響するため、木質構造工事管理責任者は、設計品質に応ずる最も適した加工方法を、品質、費用、工程を鑑み、選択することが求められる。

7.4.2 中大規模建築の木造工事の留意点

木造建築物の躯体工事は、現場での材料受け入れ後、主要構造部の地組・建方、建て入れ直し、本締め、二次部材の取り付けという手順で行われる。この手順は、住宅と中大規模建築とも概ね同じであるが、規模や受注体制等の違いから、次のような相違が生じる。

- ① 規模が大きい建築物では、工期短縮を図るため、複数の工区や作業領域を分けて、工程が組まれる。
- ② 鉄筋コンクリートの基礎に打ち込まれたアンカーボルトは、住宅では土台の加工が現場でできるため、厳密な精度は求められないが、中大規模建築では、S造と同等の精度の確保が求められる。
- ③ 住宅では主要構造部材は、ほぼ同時に現場に搬入されるが、規模が大きくなると、建方に必要な材料を順次、搬入する。
- ④ 建方開始から屋根仕舞が終了するまで、品質に影響する気象条件への配慮が必要になる。
- ⑤ 中大規模木造では部材断面が大きく、部材が長くなる可能性があり、搬入経路については事前の調査が必要である。

また、S造の建方と比較すると上記④に加え、次のような点に注意する必要がある。

- ① 木質材料は衝撃や支圧により損傷しやすい。
- ② 作業者の足跡や手あかが、汚れの原因になる。
- ③ 施工職種が多用で、現地での加工もある。
- ④ 使用する工具が異なる。
- ⑤ 可燃物である。

木造建築物は、これまでは住宅が主体であった。また、中大規模木造建築の施工にあたり、建方計画書作成の折には、S造を参考にすることが薦められるが、上記のような相違点を整理して、適切に計画を立てることが望まれる。

7.4.3 中大規模木造建築の技術者・技能者の留意点と管理体制

設計図書だけでは、部材の加工や施工にあたり十分な情報が得られないため、工事の実施に際しては、施工図や加工図を作成し、設計図書と相違がないことや、設計図書通りに組み立てができるのかを事前に確認する必要がある。

近年、施工図や加工図は CAD による作成が一般的であるが、図面の作成者には、CADを効率的に使いこなせる能力だけでなく、設計図書を読み解く能力、材料の品質、納期、現場での建て方手順等、木質材料と建築に関わる幅広い知識が求められる。また、7.4.2で取り上げたプレカット機械ではなく、構造用の木質材料の加工を大工職の手に委ねられることも未だ見られるが、その場合にも、施工図・加工図の作成は不可欠で、図面作成者は大工職の知識も学ぶ必要が生じる。

施工図および加工図は作成後、元請業者の承諾と監督職員・工事監理者の承認が必要で、承諾・承認が得られなければ、次工程に進むことはできない。また、使用する材料の発注も、施工図ができていなければ、品質や数量が確定できないため、無駄な材料の発注や工事の遅延に繋がることになり、材料の品質や施工品質に多大な影響を与える。よって、実施工程表は、この施工図、加工図の作成に必要な時間も考慮して作成さ

れることが望まれる。

また中大規模木造建築では、加工から施工に至るまで、大工職をはじめとする多くの人手が必要になる。施工計画は、適切な職能工の配置と、無理のない人員を確保し、職能工は施工計画に基づき加工と施工を行う。木質構造工事管理責任者は、受入検査に向け、自主管理である社内検査を実施し、設計品質に応じた施工品質の確保に努める必要がある。

平成6年の建設業法改正により、法律上、施工体制台帳の整備が義務化され、平成26年6月の建設業法の改正により、平成27年4月からの公共工事において、受注者は下請け金額にかかわらず、下請業者に工事を発注した場合は、施工体制台帳を整備しなければいけなくなった。木質構造工事管理責任者は、中大規模木造の公共建築物の施工に関わる場合には、従来の住宅市場を背景とした木工事の慣習にはない、施工体制作りの必要性を認識しておく必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修：建築工事監理指針／上巻 平成28年版，第1章 一般共通事項，2016
- 2) 全国木材検査・研究協会：製材の日本農林規格並びに改正の要点及び解説，2015
- 3) 日本合板検査会：構造用集成材の適正製造基準，2013
- 4) 鉄骨製作管理技術者登録機構：鉄骨製作管理技術者教本 2018年版，pp280，2018
- 5) 日本鋼構造協会・建築鉄骨品質管理機構：鉄骨工事管理責任者－認定審査テキスト，2018
- 6) 日本集成材工業協同組合：集成材建築物設計の手引，2012
- 7) 文部科学省：木の学校づくり手引書，2019

第8章 木質混構造建築の施工上の留意点

8.1 木質混構造建築の重要性

近年、多層の大規模木質構造建築の建設に関心が集まっている。その背景としては、気候変動の問題への意識の高まりの中、CO₂ 固定効果のある木質材料を再評価する動きが見られること、及び、戦後植林された木材が活用期を迎える一方、必ずしも国産木材の活用が進んでいないという、我が国固有の問題がある。しかし、我国が世界でも有数の地震国であることを考慮すると、多層大規模建築の木質化を純粋な木質構造のみで進めることは必ずしも効率的とは言えず、S造・RC造との混構造とした方が市場競争力を有する可能性もある。

このような状況を背景として、国の施策としても、木質混構造建築を積極的に推奨しようとする動きが見られる。例えば、大規模の木質構造の出現には集成材あるいはCLT（直交集成材）の寄与は大きいと思われるが、林野庁と国土交通省が平成26年11月に策定した「CLTの普及に向けたロードマップ」では図8.1に示すように、鉄骨造建築等の床・壁や建築の耐震補強におけるCLTの部分的利用が示されている。

その後、林野庁、国土交通省は平成29年3月、令和3年3月に同ロードマップを更新しているが、平成28年度期首にはCLTの生産能力が5万m³/年を超え、また令和2年度末にはCLTを活用した建築物の竣工件数が550件を超えるなど、ロードマップの示す方向性は徐々に現実のものとなりつつある。

このような状況の中、従来木質構造には殆ど関心を示すことのなかったS造やRC造建物を得意とする設計者、技術者が、自分達の得意分野の経験を活かすことで木質混構造建築に挑戦しようとする機運が見られる。今後の木質混構造建築の発展のためには、これら設計者、技術者のニーズに応えることが重要と思われる。本章ではこのようなニーズに対して、木質混構造建築の基本的事項として、その構成・接合法を8.2で概説する。

次に、多層の中大規模建築に対する木質混構造建築の最近の具体的な取り組みについて、その概要を8.3で示す。また、これら取り組みを参考にして、木質構造と異種構造の混構造建築の施工上の留意点を8.4で解説する。最後に、8.5では、木質構造と異種構造の混構造建築を施工する場合の工程管理上の留意点について、概説する。

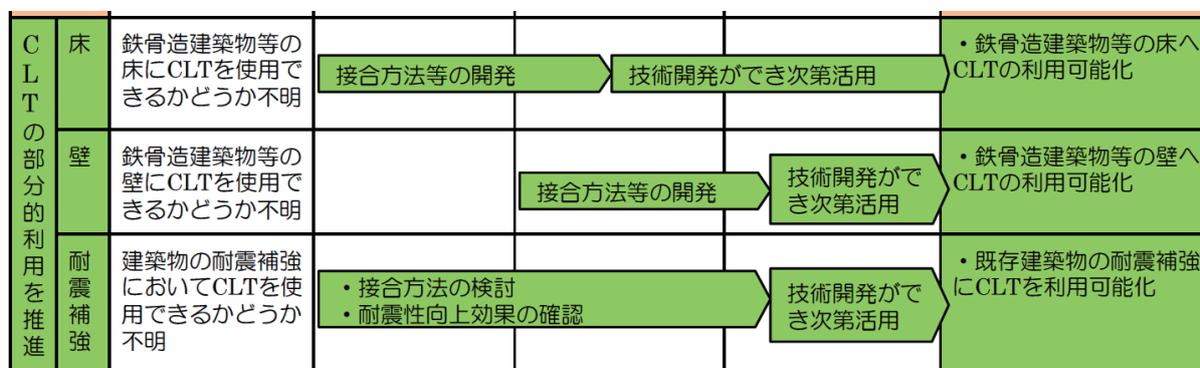


図 8.1 CLTの普及に向けたロードマップ（平成26年度版からの抜粋）

8.2 木質混構造建築の基本

a) 木質混構造建築の構成

設計者や技術者が多層の中大規模建築で木質混構造を採用する意図としては、木質構造建築に対する「耐震性」あるいは「耐火性」についての不安がある。その不安を解消するための木質混構造建築の具体的な構成について、RC造と鋼構造の場合に分けて概説する。

① RC造と木質構造の混構造

RC造と木質構造の混構造建築では、平面的あるいは立面的なゾーン分けを行うことにより混構造建築としてもメリットを引き出すケースが多くみられる。例えば学校建築において、教室は木質構造とする一方トイレや洗面所等の水回りは構造的にも剛強で、耐火性にも優れるRC造とすることにより、建物全体としての性能を確保するというような試みである。構造的にも耐火的にも優れたRC造の特性を利用することにより、木質構造の弱点を補おうとする構造形式である。

同様な目的から、下層は載荷能力にも耐火性にも優れたRC造とし、上層のみ木質構造とするというような構成もよく見受けられる。

② S造と木質構造の混構造

S造と木質構造の混構造の場合には、柱・梁・床・壁といった構造要素毎の組み合わせを変えることにより混構造を考える試みが多く行われている。具体的には、

- ・柱、梁はS造とし、床、壁は木質構造とする。
- ・軸力の大きな柱、耐震要素を支持する大梁はS造とし、他は木質構造とする

など、様々な組み合わせが想定される。このような構成になる背景としては、S造の場合部材要素は工場製作が基本であることから、木質構造と共通する部分が多いことによるものと思われる。

次節ではS造との混構造の場合の接合法の考え方について、基本的事項を解説する。

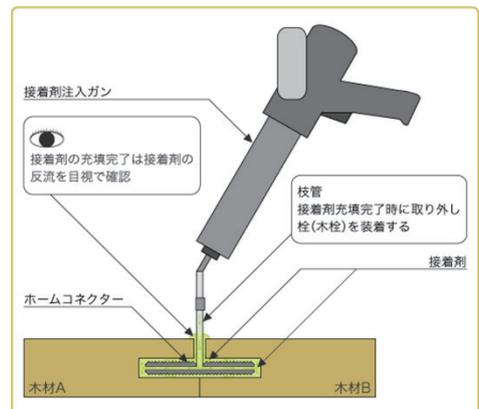


図 8.2 GIR 接合の例
(ホームコネクター工法)

b) 木質混構造を実現するための接合部の基本

① GIR 接合

GIR (Glued in Rod) 接合とは木材に孔をあけ異型鉄筋等の棒状の接合具を挿入し、木材 - 接合具の空隙にエポキシ樹脂を充填硬化させることにより接合耐力を発揮する接合法である。木造建築の接合部では基礎 - 柱又は壁や柱 - 梁の接合に使用される (以降の接合法もほぼ同様)。

特徴としては比較的少ない数量の接合具で高剛性高耐力を期待できること、部材と接合具のギャップをほぼゼロにできること、接合具が全て木材の内部に隠れるため (樹脂注入用孔は埋め木する) 木材の木肌を意匠的に見せたい場合にはここで取

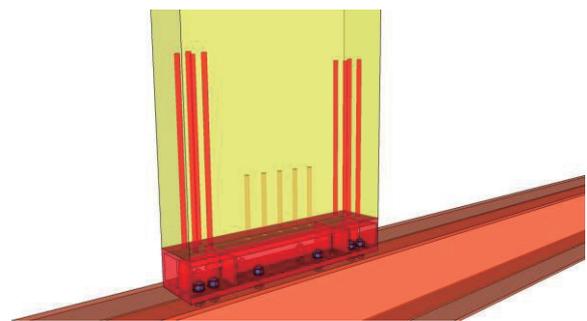


図 8.3 GIR 接合のイメージ図

り上げた接合方法の中では最も適している。問題点としては施工の際にエポキシ樹脂が温度環境によっては 20 分程度で硬化を始めてしまうので段取りを上手く行わないとエポキシ樹脂の無駄が発生してしまうこと、接着剤ポンプの解体洗浄などで思わぬ手間が掛かること、また何より注入作業の際にシーリング等によって入念に養生しない限り部材間の隙間からエポキシ樹脂の漏れが発生しやすく後処理が必要になること、エポキシ樹脂のロス率を予測するのが難しく、どうしてもエポキシ樹脂が予定より多く必要になってしまうといった事等がありこの辺りを上手にこなす必要がある。

GIR 接合は木造建築の接合部では基礎 - 柱（又は壁）や柱 - 梁の接合等に使用される。鋼構造に適用するのであれば鋼製フレーム内に CLT の壁を配置する使い方や鋼製梁に CLT や集成パネルの床を取り付ける工法の接合部としての使い方が考えられる。

② 鋼板挿入ドリフトピン接合

鋼板挿入ドリフトピン接合は木材にドリフトピン孔とスリット（溝）を加工し同じくドリフトピン孔をあけた鋼板を挿入し孔位置を合わせてドリフトピンを打ち込み固定する接合法である。耐力性能に優れた接合法であり鋼構造と木部材との接合では現在最も普及しているように感じられる。

考慮すべき点としては埋め木によって隠すことも可能であるがスリットとピン頭が外から見えること、深いスリットの加工はプレカットの際に一般的に径の大きな丸ノコを使用するため必要以上に長いスリットになること、それを避けるにはチェーンソー等を使用した手加工になるため加工手間が掛かること、ピン孔位置がずれると現場での修正が困難なため木材の加工および鋼材側の溶接等に高い精度が要求されること等がある。また CLT に適用する場合に一般的にはシングルスリットであり材の真中にスリットが入るので問題は起こらないが、ダブルスリットにする場合スリット位置をあまり外側に寄せると外層材の繊維方向によっては全く耐力が発揮されないことになるので特に注意が必要である。鋼構造への適用例としては鋼製フレーム内に CLT の壁を配置する使い方が多く見られる。

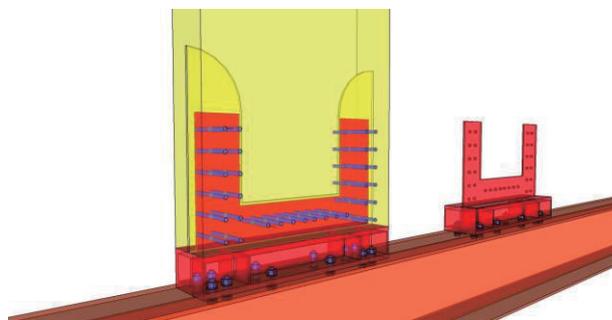


図 8.4 鋼板挿入ドリフトピン接合のイメージ図

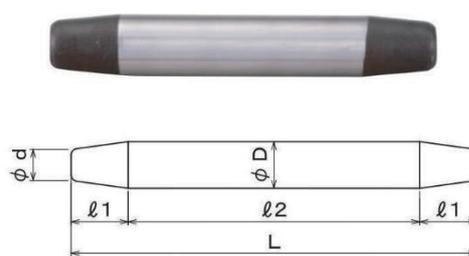


図 8.5 ドリフトピン

③ 鋼板挿入ボルト接合

接合形式や部材の加工については鋼板挿入ドリフトピン接合と似ているがボルト接合には耐力性能として降伏以降のボルト頭とナットによるロープ効果が見込めるといった違いがある。木造においては工場や試験場といった大きな断面の材を使用した大空間を有する建物の接合部によく

見られる。ボルト頭や座金、ナットが外部に多数露出した外見上の武骨さや耐火上の問題からか鋼構造に採用された例を見たことがほとんどない。部材の交換や取り外しが必要な状況があれば対応しやすい工法なのでそのような用途には適しているかもしれない。

④ ビス接合

ビス接合は特に欧州の木造建築においてはよく採用されている工法である。径や長さに豊富なバリエーションがあり主要な構造体の木部材同士の接合部にも使われている。ビス接合の長所は木材側の切り欠きや孔あけといった加工を大幅に削減することができる点である。ただし一本当たりの接合耐力が高くないので接合部一箇所に多数本のビスを打つ必要があるため建物全体で見れば数万本からそれ以上の本数のビスを打つことになり、一見手軽そうに見えるが実は作業としてはやや大変な部類のようである。

鋼構造ではH鋼等の鋼製フレームの上にCLT等の木質パネル床を敷く工法における接合方法として採用される例が見られる。その場合H鋼のフランジに直接ビス孔をあけるか、孔をあけた付けフランジを設けてそこに床を接合するといった方法がある。鋼製フレーム-木床の工法においては床の水平構面をビス接合ではなく鋼製ブレースで保たせる設計が主流なようでありそこまで極端な本数のビス打ちにはならないようである。

ビス接合は解体やその後の木材の再利用を考慮した計画にも対応可能である。再利用する場合には一度ビスを打った箇所に再度ビスを打つと接合耐力が低下するため位置を変えるといった配慮が必要になる。

⑤ LSB 接合

LSB (Lag Screw Bolt) は山径φ19~35程度の大径の全ネジの端部に雌ネジまたは雄ネジを設けた形状の接合具である。

一般的には下孔をあけた木材にLSBをねじ込んでおき箱形状の金物を介して雌ネジに高強度ボルトまたは普通ボルトを通して締めつけ接続する(雄ネジの場合はナットにより接続)という使い方である。LSB接合は元々木造建築の軸力に対して抵抗するための接合法として開発されており、通常はせん断抵抗のためのドリフトピンや鋼製ダボ等と組合わせた接合部として設計される。ただし最近ではせん断抵抗金物としても一部のLSBは使用されつつある。

特徴としては耐力性能については一本当たりの押し引きに対して高剛性高耐力であること、また施工性については工場で予め木材にLSBを打ちこんでか

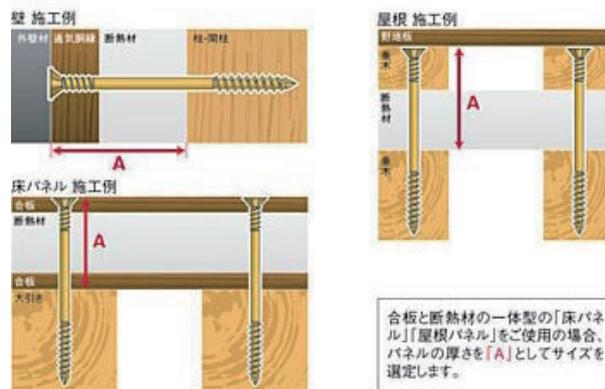


図 8.6 ビス接合のイメージ図

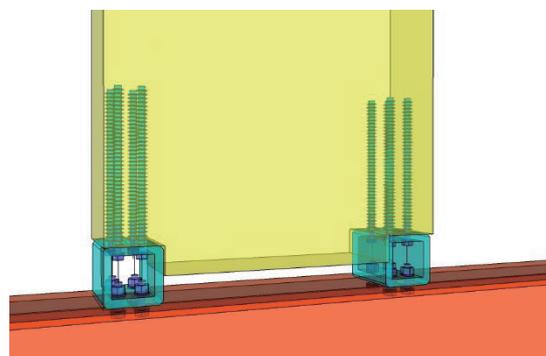


図 8.7 LSB 接合のイメージ図

ら現場に搬入され、建て方においては部材を所定の位置に収めて雌ネジにボルトを締めつけるだけで完了するという作業の容易さ等がある。なお LSB の木材への打ち込みには耐力性能上の理由からインパクトドライバー等ではなくシアレンチを使用する。意匠性については LSB 自体完全に木材内にあるため外部から見えないが必ず金物を介して接合されるので要求に応じて金物を隠すような切り欠き加工やカバー等が必要になる。

考慮すべき点としては木材の孔あけ加工の精度にかなり正確性が求められること、また CLT の木口に打つ場合積層板材（ラミナ）の配置と LSB の位置関係や繊維方向によっては引っ張りを受けた際の終局時の耐力や破壊形態が異なるので LSB 配置については慎重に検討する必要がある。また接合部の設計によっても破壊形態は異なるが箱形金物の降伏変形が先行する破壊が望ましく接続ボルトの破断や木破による LSB の引き抜けが先行するような破壊は避けるべきである。

木造建築においては GIR 接合等と同様に基礎 - 柱又は壁や柱 - 梁の接合に使用される。鋼構造への適用としては鋼製フレーム内に CLT の壁を配置する使い方や鋼製梁に CLT や集成パネルの床を取り付ける工法の接合部としての使い方が考えられる。また実際にいくつか採用例がある。

尚、これらの接合法については、第 1 編第 4 章接合金物の概要により詳細な説明があるので併せて参照されたい。

8.3 最近における木質混構造建築の具体的取り組み

a) 鉄骨造建築の床への木質材料（CLT 等）の利用

鉄骨造と木質構造の混構造建築については、中高層鉄骨造オフィスビルの床に木質材料（CLT 等）を用いるための技術開発が行われている。従来の鉄筋コンクリート造の床を木質材料に置き換えようという試みである。これらの建築においては、

- ・鉄骨梁と木質床の接合方法
 - ・木質床の 1 時間または 2 時間の耐火被覆方式の確立
 - ・鉄骨梁から木質床への熱伝達により木材が発火危険温度に達しないこと
- 等が、技術開発上の重要なポイントとなる。また、
- ・地震時における耐火被覆材の脱落防止
 - ・天井吊り材の耐力確保とコースレッド等を介しての熱伝達の影響の排除
 - ・外壁周や堅穴部分の耐火被覆等

についても留意が必要であるが、これらについては、以下の資料がある。



図 8.8 雌ねじ加工を施した LSB の例

●資料1：平成25年度補正 林野庁委託事業

事業名：CLT等新製品・新技術利用促進事業のうちCLT実用化促進（接合部データ等の収集・分析）
「鋼構造オフィスビル床のCLT化」

実施項目

1. 木床と梁の接合方法、木床と木床の接合方法
2. 木床荷重をS造大梁に伝達する為の木製小梁の性能、接合方法等の検討
3. 工期短縮、ローコスト化を目指した合理的施工方法の検討
4. 木床のモデル建物について、構造設計を行い、構造計算書、構造設計図の作成方法

●資料2：平成26年度 林野庁委託事業

事業名：CLT等新たな製品・技術の開発促進事業のうち中高層建築物等に係る技術開発等の促進（耐火部材開発）
「鋼構造オフィスビル床のCLT化」

実施項目

1. 中高層以上の建物に要求される2時間の耐火性能をCLTに持たせる為の検討
2. 小型加熱炉により、経済的、かつ軽量な被覆材の選定の為の加熱試験の実施
3. 鉄骨接合部における温度状況、その熱がCLTに与える影響の確認
4. 小型加熱炉により確認した被覆材を用いての水平炉における載荷加熱試験を実施し、性能評価における2時間耐火性能を有することの確認

●資料3：平成27年度 林野庁委託事業

事業名：CLT等新たな製品・技術の開発・普及事業（木質耐火部材開発）
「鋼構造オフィスビル床のCLT化」

実施項目

1. コスト削減を目的とした2時間耐火床構造の開発
2. 被覆仕様の検討 鉄骨部分、木口面、止めつけビスの保持力の確認
3. 天井材への繰り返し荷重による影響と熱橋の確認
4. 小型加熱炉により確認した被覆材を用いての水平炉における実大載荷加熱試験を実施し、性能評価における2時間耐火性能を有することの確認
5. S造フレームとCLT床の面内せん断試験、繰り返し荷重による接合部への影響、スタッド縁距離等接合強度の把握

●資料4：平成28年度 林野庁委託事業

事業名：都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業（木質耐火部材開発）
「鋼構造オフィスビル床のCLT化」

実施項目

1. 床貫通孔耐火被覆及び床取合部の耐火性能確認
2. パイプシャフト用矩形床開口部の性能確認
3. CLT関連告示の内容を踏まえ、剛床の成立を初めとする、構造に関する検討、見直し、確認。
4. 鉄骨はり接合部耐火被覆の耐火性能

●資料5：平成30年度 林野庁委託事業

事業名：CLT等新たな木質建築部材利用促進・定着事業「新たな製品技術の開発」

実施項目

1. 鉄骨梁とCLT床の新接合方法の開発
2. CLT床相互の新接合方法の開発
3. 新耐火被覆方法の開発

また、これらの工法を用いた建物の実施例としては以下がある。

●実施例 1： 松尾建設本店ビル（6階建てオフィス）



写真 8.1 松尾建設本店ビル外観



写真 8.2 松尾建設本店ビルの工事中風景

●実施例 2： 泉区高森 2 丁目プロジェクト（10階建て高層賃貸マンション計画）



写真 8.3 泉高森プロジェクト外観



写真 8.4 泉高森プロジェクト工事中の風景

b) 建築物の耐震補強における CLT の利用について

建築物の耐震補強における利用については、既存の鉄筋コンクリート造建築物の耐震補強壁として CLT を用いるための技術開発が行われている。CLT パネルの木口間および RC 造のフレームと CLT パネルの間にエポキシ樹脂を注入して固定する接着工法について、実験が行われた柱スパンの範囲内で、壁の開口が少なく、CLT の壁の四辺を接着した耐震壁の場合、初期剛性を CLT のせん断剛性とし、せん断強度をコンクリートの接着せん断強度とすることで、安全側に補強効果の評価できることが報告されている。

これについては、以下の資料がある。

- 資料 6：平成 27 年度 林野庁委託事業
- ・事業名：CLT 等新たな製品・技術の開発・普及事業（CLT 等接合部データ等の収集）
- 「木質材料を用いた RC 造建築物耐震補強工法開発」

8.4 木質構造と異種構造の混構造建築の施工上の留意点

a) 鉄骨梁と木床の接合方法

①GIR 接合による方法

鉄骨梁に打設した頭無スタッドとエポキシ樹脂による接合方法である。スタッド本数が増えると、精度上の問題から施工上の不具合が生じる恐れがある。例えば、この方法は、資料1に示す工法を採用した実施例1の建物で用いられているが、実施例1では施工管理者より、スタッド間隔が細かく、鉄骨とCLT床の施工精度上の不整合から、問題が生じる恐れがあることが指摘された。それを回避する方法として、スタッドの後打ち工法が開発されている。

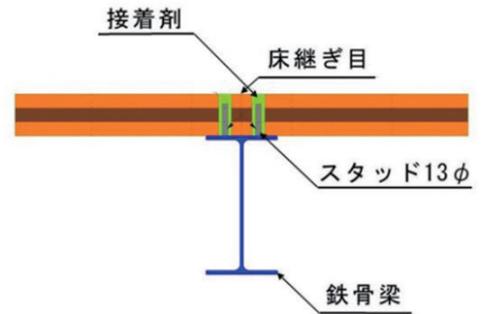


図 8.9 鉄骨梁と木床の接合方法 (1)



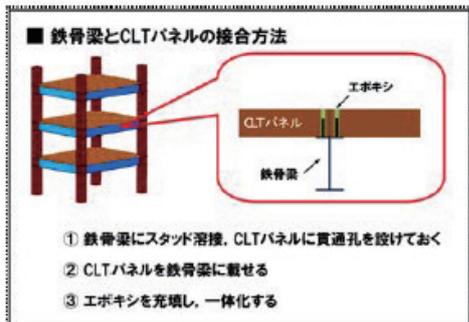
【CLT吊込開始】



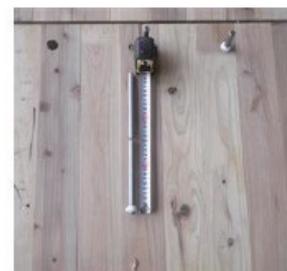
【CLT吊込状況】



【CLT吊込完了】



【特殊スタッドガン】



【特注スタッド(150+150)】



【CLTと梁のクリアランス確保】



【スタッド溶接】



【スタッド余長切断】



【切断後のスタッドとCLT孔位置】



【エポキシ樹脂注入】



【スプライン合板取付】

図 8.10 スタッドの後打ち工法

②LSB 接合による方法

これは、資料5に示した方法で、頭部に雌ねじ加工を施した LSB を木材に埋め込んでおき、鉄骨梁とボルト接合する方法である。この場合、ボルト孔のクリアランスについて注意が必要である。建築基準法施行令では、建物が鉄骨構造の場合については、ボルトが支圧ボルトではクリアランスは1mm以内、ボルトが高力ボルト摩擦接合ではクリアランス2mm以内と定められているが、鉄骨と木材の混構造についての記載は無い。

資料5では、この接合方法を行う場合、ボルト孔のクリアランスは4mm程度必要としている。また、床に一般的に生じるせん断力程度であれば、4mmのクリアランスを設けたとしても、接合面における滑り等は生じないことを実験により確認している。

最近になって、(株) トーネジが使用目的を CLT 床と鉄骨梁の接合に限定した LSB (T-LSB) について、一般

評価 (ベターリビング) を取得しているが、ボルト孔のクリアランスについては 4mm 以下と記載されている。

いずれにせよ、このような接合においては T-LSB のように一般評価を取得している場合を除けば、別途実験等により接合条件・接合強度を確認することは極めて重要である。また、このような実績を積み重ね、木質材料と鉄骨の適切な接合法を模索することは、今後重要と思われる。

③コンクリート又はモルタルを介した接合による方法

実施例2で採用されている方法である。GIR や LSB に比べ、湿式の材料を用いることから精度上の不整合の問題は生じ難いのが利点である。

■ ラグスクリューボルト (LSB) を用いた方法

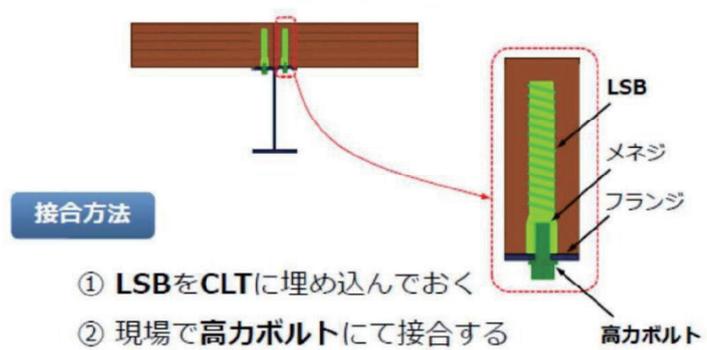


図 8.11 鉄骨梁と木床の接合方法 (2)

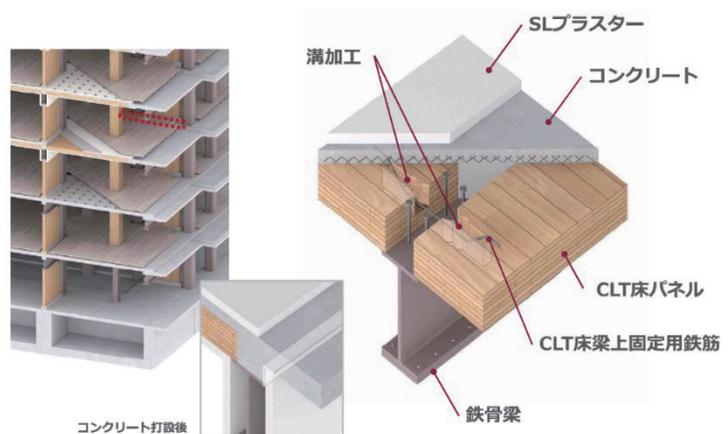


図 8.12 鉄骨梁と木床の接合方法 (3)

b) 耐火被覆方式

資料2には、CLT床の2時間耐火の方式が示されている。また、資料2、資料4には、鉄骨からの熱伝達により、木材が発火しないための鉄骨梁の耐火被覆方法が示されている。その他、資料4には、床に設備の貫通孔等がある場合の耐火被覆方式や、天井吊り材からの熱橋の影響についても、問題無い旨が示されている。

耐火被覆を行う場合、下面の被覆材の貼り付けに多くの手間がかかることが指摘されている。そのような状況を回避するため、下面の耐火被覆を工場で行う場合の方法が資料5に示されている。

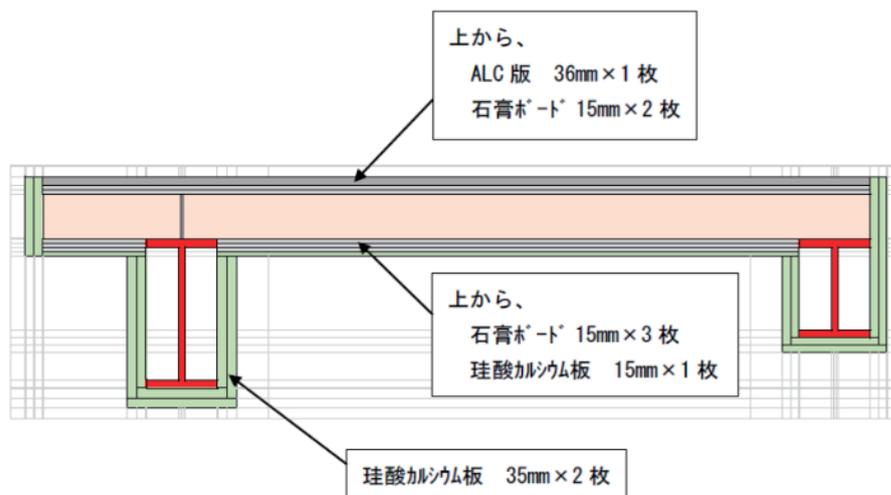


図 8.13 2時間耐火被覆方式の例

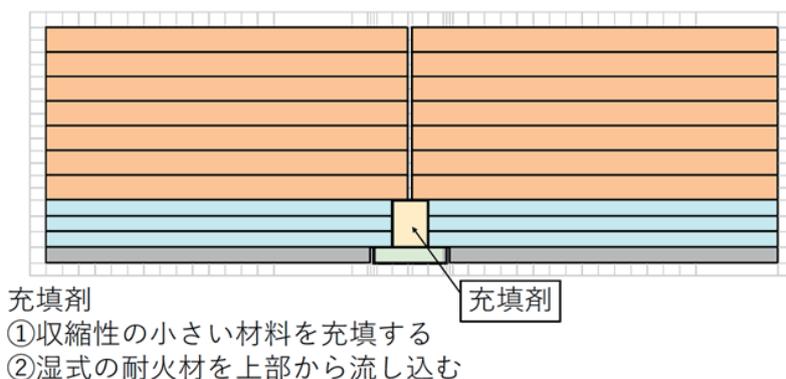


図 8.14 2時間耐火被覆方式の改良例

8.5 工程管理上の留意事項

木質混構造のメリットとして、しばしば工期の短縮が指摘される。しかし、実際には、鉄骨工事と木工事の連携が悪いと、そのメリットが発揮できない恐れもある。まず重要なことは、鉄骨の製作開始のホールドポイントの明確化である。そして、当然のことながら鉄骨製作が始まるまでは、原則木材加工に取りかかるべきではない。しかし、鉄骨工事において、著しい工期の遅延等が認められる場合には、部分的に木工事の加工を先行して認めるための調整の方法を、あらかじめ定めておくことが望ましい。

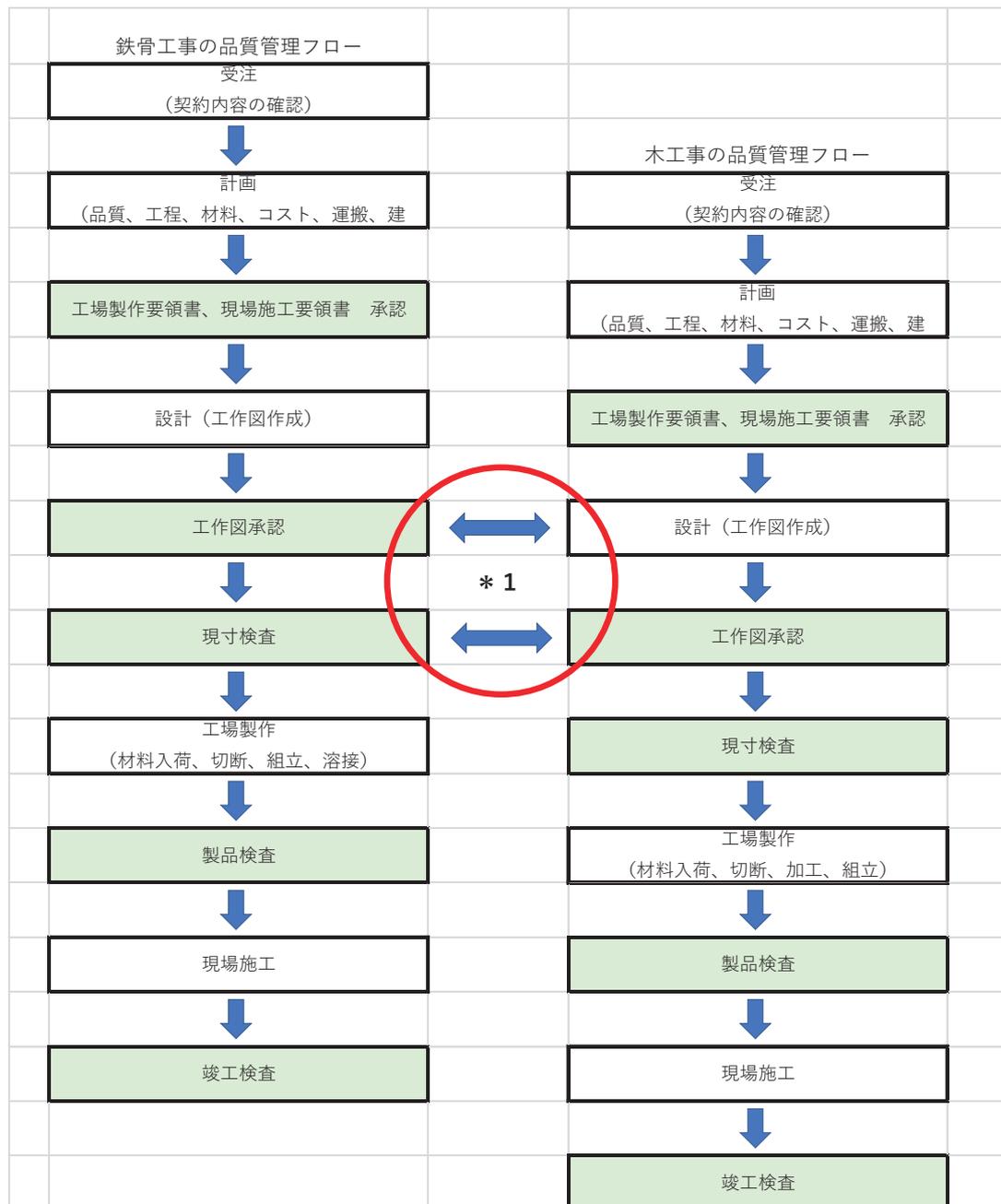


図 8.15 鉄骨工事・木工事の工程管理上の要点

*1)この段階における鉄骨工事、木工事の進捗調整をいかに円滑におこなうかが、ポイントとなる。