



第2章 木構造の種類と材料

本章では、SPACE を用いて木質構造の解析を行う際、知識として必要となる木質構造の種類、木材の性質、木質構造材の特性について述べる。また、これらの内容から木質構造の問題点を捉え、如何に合理的に木質構造の解析を行うかについて考察する。

2.1 はじめに

木質構造とは、主要構造部分（柱・梁・壁・床・階段等）を製材や木質材料で構成した構造をいう。以下に、木質構造の代表的な構法をまとめる。

2.2 木構造の種類と木材の特性

- ・ 伝統木造構法 （軸組構法・軸組＋壁構法）
- ・ 在来軸組構法 （軸組構法・軸組＋壁構法）
- ・ 木質プレハブ構法（軸組構法・壁構法）
- ・ 枠組壁構法 （壁構法）
- ・ 丸太組構法 （校倉造・ログハウス・壁構法）
- ・ 集成材構法 （軸組構法・軸組＋壁構法・ラーメン等）
- ・ ハイブリッド構法（軸組構法・軸組＋壁構法・ラーメン・アーチ・ドーム等）

SPACE では、木質骨組構造の解析を行うことが目的であり、在来軸組構法、枠組壁構法、集成材構法に重点を置き解析手法を検討する。

まず、木材の性質について述べる。木材を構造材料として使用する際、問題となる点について以下にまとめる。これらの項目の詳細は後節で説明する。

木材の異方性

- ・ 各方向によって機械的特性が異なる。
- ・ 脆性的な破壊を生じる事がある。

木材のばらつき

- ・ 節・割れ・丸みといった欠点が多く、材のばらつきが大きい。

木材のクリープ

- ・ クリープに伴う耐力低下が生じる。

木材の含水率

- ・ 含水率によって、乾燥収縮・湿潤膨張による寸法や機械的特性の変化が生じる。

2.2.1 木材の異方性

木材は天然の材料であり、その繊維は軸方向に配列しており、また、年輪は円周方向に配列する構成となっている。このため、木材の物理的、機械的特性は各方向で異なる性質を有する。これを異方性と言う。この性質は木材の成長過程によっても左右される。

木材を構成する木部繊維や仮道管は軸方向に配列しており、木材は軸方向からの力に対しては非常に強いが、繊維を横方向から押しつぶす力に対しては弱い性質を持っている。その力学的特性は、一般的に繊維方向をL方向、年輪の半径方向をR方向、年輪の接線方向をT方向とする直交異方性となっている。この異方性による強度やヤング係数への影響は、約L : R : T = 100 : 10 : 5 であると言われており、含水率1%当りの収縮率は約L : R : T = 1 : 10 : 20 とされている。

木材の異方性は強度やヤング係数にのみ影響があるわけではない。木材はその異方性のために、荷重の方向によっては脆性的な破壊を及ぼすことがある。一般的な木材の軸方向応力における応力とひずみの関係を図2-1に示す。図から、圧縮方向は非線形性があり、比較的靱性の性質を有しているが、引張方向は非常にもろく、ほぼ線形状態で破壊に至る性質を持つことが分かる。せん断力や曲げモーメントについても引張方向と同様に線形に破壊する脆性的で、構造物として最も避けるべき性質を有している。

この異方性という特性は接合部においても同様な性質を持っている。木質構造の接合部は構造物の変形を左右する重要な要素である。したがって、上記のような異方性による脆性的な破壊を起こさないように、圧縮側の靱性を利用する接合法や、金物の延性を活用した接合具との併用を考慮して設計する必要がある。

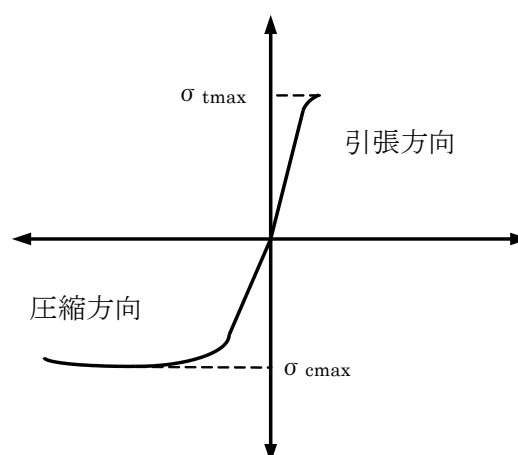


図2-1 軸方向の応力とひずみの関係

2.2.2 材のばらつき

木材は天然の材料であるため、細胞組織の配列や仮道管の配列などにより力学的・機械的特質が異なる。これに伴って、材内にばらつきが生じることとなる。また、木材の成長過程で生じる節や、割れといった欠点要素も材のばらつきの原因となっている。

解析計算上でこのばらつきを考慮することは困難であり、一般的には木質構造設計規準・同解説¹⁾による強度や弾性係数を、環境条件や使用条件に合わせて設定する方法で、上記のばらつきを考慮する。

2.2.3 木材のクリープ

木材に荷重を加えると変形を生じるが、荷重が増加しなくても時間の経過と共に変形が増大することがある。この現象をクリープと言う。荷重が強度と比べてある限度内であるならば、クリープ変形は長期的に安定するが、荷重がある限度を超えると変形は一定の経過時間後、急速に増加して破壊に至る。

この現象については詳しく述べないが、木材の場合一般的にクリープによる長期間の強度低下は50%程度であるとされている。

2.2.4 木材の含水率

木材は大気中の湿度変化に伴い、水分は結合水となって木材の細胞に付いたり離れたりする現象が起きる。また全乾状態から繊維飽和点(含水率約30%)状態までは、水分が細胞壁の非結晶領域に出入りするため、細胞壁の寸法が変化し、木材の乾燥収縮・湿潤膨張の現象が起きる。この現象によって、機械的特性にも影響を及ぼすと考えられており、強度や弾性係数に変化が生じる。

2.3 木質材料の性質

前項で木材の性質について述べたが、ここでは、木材を用いて人工的に作られた材料について述べる。この木質材料は、天然材料を処理し、人工的に構成を変えることによって作られる。この材料には、木材とは異なった性質を持たせさせることが可能となる。

木質材料の内、一般的に構造用として用いられる材料を以下に挙げる。

- ・集成材 (laminated wood, or, glulam(glued-laminated timber))
- ・単板積層材「LVL」(laminated veneer lumber)
- ・合板 (plywood)

次節では、上記の各材料についてその特徴を簡潔に述べる。

2.3.1 集成材

集成材は、ひき板または小角材をその繊維方向を互いに並行にして、厚さ、幅、及び長さ方向に集成接着した一般材をいう。ひき板または小角材をラミナといい、厚さは一般的に 2cm から 5cm である。

集成材には

- ・ 造作用集成材
- ・ 化粧ばり造作用集成材
- ・ 化粧ばり構造用集成柱
- ・ 構造用集成材

があり、それぞれ JAS によって規定されている。

次に、集成材の性質と集成材断面の構成について説明する。

2.3.1.1 集成材の性質

集成材の特徴を以下に述べる。

1. 自由な材の形状と長さを作ることができる。
2. 湾曲した材（アーチ）を作ることができる。
3. 構造材では木材特有の欠点をラミナ加工時に分散し、除去する事ができ、自由な強度を持つ材料を生産可能である。
4. ラミナ加工時に十分に乾燥する事ができる。（含水率 15%前後）
5. 欠点の除去・十分な乾燥により、ばらつきを少なくすることができる。また、強度が木材より高くなる。

2.3.1.2 集成材断面の構成

ここで、集成材の断面構成について説明する。集成材断面の構成は、用いるラミナの等級によって、同じ等級のみのラミナで構成された同一等級構成集成材と、異等級のラミナで構成された異等級構成集成材に分けられる。

異等級構成集成材断面のラミナの配置を図 2-2 に示す。断面を 4 層に分け、「最外層」「外層」「中間層」「内層」にラミナをそれぞれ配置する。この時、一般的に最外層に上等級のラミナを配置し、内層ほど低等級のラミナを配置する構成となる。ラミナの等級は機械区分等級



図 2-2 集成材断面の構成

「L」で表され、後に付く数字はラミナのヤング係数基準値（単位： tf/cm^2 ）を示す。

単板積層材（LVL）に用いられる材料には、ロータリーレースと呼ばれる機械を用いて丸太を桂剥きした板目板状の単板が使用される。この単板の繊維方向が同じになるように積層接着して構成する。単板の厚さは1mm程度から20mm程度まで使用されているが、一般的にLVLの場合、積層数が多くなるとばらつきが小さくなると言われているために積層数を多くする傾向がある。

ここで、LVLの特徴と性質を以下に述べる。

1. 積層数が多いため材質のばらつきが集成材より小さく、強度も高い。
2. 集成材と同様に用途に応じて単板の構成が可能である。

2.3.2 単板積層材 (LVL)

合板はLVLと同様に桂剥きされた単板を用いて、繊維方向を一枚ごとに積層し、板材料としたものである。合板には様々な種類があるが、ここでは構造用合板についてのみ着目する。合板の特徴について以下に述べる。

1. 大きい面の材料を作ることができる。
2. 板材としての強度は高いが、比較的ばらつきが大きい。

2.3.3 合板

木質構造の設計方法は鉄骨造の設計とは大きく異なる。本節ではその違いについて述べ、木質部材の設計方法を木質構造設計規準・同解説¹⁾に基づいて簡潔に述べる。

まず、木質材と鉄骨における設計時の違いについて考察する。

- 1) 木質材は異方性を有する材料である。
- 2) 木質材は材料強度が、樹種・成育環境・含水率・材のばらつき等により異なる。
- 3) 木質材はクリープによる破壊的特性を有する。

2.4 木質部材の特徴

- 4) 1) と同様に弾性係数も異なる。
- 5) 木質構造には材中間に切り欠きや穴などの断面欠損があり、引張・曲げに計算上考慮が必要である。
- 6) 木質部材の圧縮材の座屈に対する考慮の仕方が異なる。
- 7) 接合部が半剛接合である。

以上のような違いがあり、部材の設計上で考慮が必要となっている。上記1) に関しては前述している。また2)、4)、7) については、SPACEで解析するという観点から、以下の節で順次触れていく。

2.4.1 構造用材料の強度

構造用材料の強度については、基準強度特性値・基準材料強度・設計用材料強度の3つに分けて考えられている。各々、次のように規定されている。

基準強度特性値 (σ_F) : 原則として標準試験体を用いた標準試験により得られた強度分布の信頼水準 75%における 5%下限許容限界値をいう。ただし、基準強度特性値の全部または一部について、合理的に推定が可能な場合には推定値に基づき決定しても良い。

基準材料強度 (F) : 基準強度特性値 (σ_F) に使用環境における劣化影響係数 (K_d) を乗じて決定する。

設計用材料強度 ($\sigma_d F$) : 基準材料強度 (F) に寸法効果係数 (K_s) 及び強度にかかわる含水率影響係数 (K_m) を乗じて決定する。

上記の劣化影響係数 (K_d) 及び寸法効果係数 (K_s) と含水率影響係数 (K_m) については次のように規定されている。各値については、木質構造設計規準・同解説を参照されたい。

劣化影響係数 (K_d) : 通常の使用環境に対応した促進劣化試験等の結果に基づいて決定する。

寸法効果係数 (K_s) : 基準材料強度の根拠となる標準断面寸法と設計断面寸法との差異の影響を勘案して決定する。

含水率影響係数 (K_m) : 含水率が強度に及ぼす影響を勘案して、使用環境区分に応じて決定する。

構造用材料の許容応力度には基準許容応力度と設計用許容応力度が定義されており、以下に示す。

2.4.2 構造用材料の 許容応力度

基準許容応力度 (${}_0f$) : 基準材料強度 (F) に安全係数 (K_d) 及び、基準化係数 (K_o) を乗じて決定する。基準許容応力度が長期の許容応力度となる。

設計用許容応力度 (f) : 基準許容応力度に、部材の設計条件に応じて荷重継続期間影響係数 (K_d) ・寸法効果係数 (K_s) ・システム係数 (K_s) ・含水率影響係数 (K_m) を乗じて決定する。

上記の安全係数 (K_d) ・基準化係数 (K_o) ・荷重継続期間影響係数 (K_d) ・システム係数 (K_s) については次のように規定されている。
各値については、木質構造設計規準・同解説を参照されたい。

安全係数 (K_d) : 安全係数には通常 2/3 を用いてよい。これは、圧縮・曲げにおいては比例限度の破壊強度に対する割合、引張・せん断においては破壊強度の 2/3 を意味する。つまりは安全率 1.5 となる。

基準化係数 (K_o) : 荷重継続期間影響係数の基準となる継続期間に対応させるための調整係数で、材料のクリープ破壊特性に基づき決定される。通常は 1/2 となる。

荷重継続期間影響係数 (K_d) : 強度に及ぼす荷重継続期間による影響を勘案するための係数で、継続載荷実験等による材料のクリープ破壊特性に基づき決定する。(長期で 1.10、長中期で 1.43、中短期で 1.60、短期で 2.00)

システム係数 (K_s) : 荷重継続期間影響係数の基準となる継続期間に対応させるための調整係数で、

材料のクリープ破壊特性に基づき決定される。通常は $1/2$ となる。

構造用材料の弾性係数は基準弾性特性値と設計用弾性係数に分けて定義されている。以下に基準弾性特性値と設計用弾性係数について述べる。また、ここでいう弾性係数とは、通常の弾性係数とせん断弾性係数を意味する。

2.4.3 構造用材料の 基準弾性特性値と 設計用弾性係数

基準弾性特性値 (E_0, G_0) : 原則として、標準試験体を用いた標準試験により得られる弾性係数値分布の信頼水準 75%における 5%下限許容限界値とする。

設計用弾性係数 (E, G) : 基準弾性特性値に剛性にかかわる含水率影響係数 (K_m) を乗じて決定する。ただし、主要な材で変形がきわめて重視される部材、圧縮力に対して単独で働く主要な部材に対しては、さらに下限値調整係数 (K_l) を乗じて決定する。

上記の含水率影響係数 (K_m)・下限値調整係数 (K_l) については次の様に規定されている。各値については、木質構造設計規準・同解説を参照されたい。

含水率影響係数 (K_m) : 含水率が剛性に及ぼす影響を勘案し、使用環境区分に応じて決定する。

下限値調整係数 (K_l) : 弾性係数値分布の信頼水準 75%における 5%下限許容限界値に調整するための係数で、弾性係数値分布に基づき決定する。

ただし、せん断弾性係数は通常繊維方向の弾性係数の $1/15$ とされており、繊維に直角方向の弾性係数は $1/25$ とされている。

第2.4.1節、第2.4.2節、第2.4.3節において、木質構造材の強度・許容応力度・弾性係数に対する考え方について簡潔にまとめた。これら

は、鉄骨の考え方とは大きく異なり、それぞれについて解析ではどのように数値設定するかが問題となる。これについては第3章で述べる。

引張材・圧縮材・曲げ材の設計については基本的には鉄骨造と同様であるが、木質構造にはめり込み等の特性を持つため異なる性質がある。また、座屈に対する座屈低減係数の考え方も異なる。ただし、SPACEの解析では繊維に直角方向の圧縮材の座屈などは考慮しないこととする。これらについては第3章において詳しく述べる。

木質構造における接合部の設計は非常に重要であり、接合方法により構造物の安全性が決まるとも言える。木質構造の接合部で最も大きな問題は、力を受けると接合部が必ず変形するという性質である。これは、接合部が半剛接合であることを示し、接合部の設計が悪いと、接合部による大変形破壊を起こす要因となる。

接合部の半剛接合となる要因にめり込み現象がある。めり込みとは接合具（ドリフトピン・ボルトなど）が木材にめり込む現象をいう。これに伴って、接合部では複雑な応力が発生し、多種の破壊形態が生じる原因となっている。しかしながら、この接合部の特性は、木質材料が靱性の小さい材料であるという欠点を補い、骨組全体に粘り強い性質を与えることになる。このような接合部を用いた構造体は靱性が高くなり、破壊までのエネルギー吸収も大きくなる。これらの特性は地震時に有効であり、粘りのある接合部は耐震要素として大きな役割を担っているとも言えよう。これらについて、後章でより詳しく説明する。

2.5 部材と接合部