

I. はじめに

■ 本書の特徴

本書のシリーズは、構造計算の手順を手計算しながら習得できる「自学・自習」の教科書という意味から『ひとりで学べる演習帳』と名付けました。本書は、中層の木造建築について、大断面集成材ラーメン構造（3階建て事務所ビル）をモデルにしています。解説を読み、演習問題に取り組んでいただくことで、中層大規模木造建築物の構造計算に必要な基礎知識を確認しながら身につけていくことができます。

■ 本書を使っていただきたい方

本書は、次のような方に使っていただくことを想定して編集しました。

- ① S造やRC造の構造設計を行っており、今後、中大規模の木造建築物も勉強したいと考えている方。
- ② 木造住宅の許容応力度計算をしたことがあり、今後、中大規模の木造建築も勉強したいと考えている方。
- ③ 木造建築物の構造計算に関心がある方。
- ④ 高校や大学で建築分野の学科を専攻している方や、木造建築物の耐震性能について勉強したい方。

II. 本書の構成

1章 中大規模木造設計の基本

中大規模木造に関する構造設計の背景・考え方や、防耐火など関連する内容を解説しています。

2章 モデル建物の構造設計概要

演習の対象となるモデル建物の概要や、構造設計の方針が記載されています。モデルプランと設計方針についてイメージをふくらませてください。

3章 材料

構造材料としての木材の特性や、許容応力度などの構造計算に必要な物性値について学習します。

4章 荷重・外力

構造計算のうえで必要となる条件である、荷重や外力について学習します。

5章 仮定断面の算定

構造計画の流れを意識しながら、前章までで計算した条件を用いて仮定断面を検討してみます。

6章 応力解析

実際の建築物をモデル化するための考え方について学習します。剛性などの考え方についても学びます。

7章 断面検討

柱、梁などの各部材および接合部について、木造独自の事項にも留意しながら断面検討を行います。

8章 層間変形角・剛性率・偏心率

層間変形角、剛性率、偏心率について、木造での検討方法について解説します。

9章 基礎の設計

木造部分の設計ではありませんが、基礎も建築物の構造上大切な部分です。フーチング、基礎梁の設計方法について学習します。

資料編

木造建築物を設計するに当たっての設計資料や、関連する内容が載っています。演習「ひとりでやってみよう」において、参照が必要になるところもあります。

III. 本書の使い方

以下の各章では、およそ次のような流れで学習するように構成されています。「本文」を読むことから「解答例」を確認するまでを、本書に従って順にやってみてください。

- ① 読む 「本文」 …その項目で学習する用語の説明や、設計方法の解説をしています。
- ② 習う 「ひとりでやってみよう」(演習解説) … 演習シートを用いた計算方法の解説です。
- ③ 計算する 「演習シート」 … 繰じ込みの演習シート使って実際に計算します。
- ④ 確認する 「解答例」 … 卷末の演習シートの解答例を見て計算結果を確認します。

■ 「ひとりでやってみよう」と演習シートについて

本書の特徴は「演習」を中心に構成しているところです。「ひとりでやってみよう」が演習に該当します。計算が必要になりますので電卓をご用意ください。

「ひとりでやってみよう」では、繰じ込みの演習シートを使用します。本書と演習シートは「教科書とノート」のような関係になっています。本書の「ひとりでやってみよう」を読みながら、演習シートを使用して、自学・自習できるように構成されています。

なお、「ひとりでやってみよう」では、演習の一部を解説しています。例えば、p.61 の「ひとりでやってみよう 3-1」では、基準強度の一部のみを解説しており、他の基準強度については解説していません。解説されていない部分が演習問題に該当します。自分で計算し、演習シートに計算式・計算結果を記入してください。

巻末に解答例を掲載していますので、演習が終了したら確認に利用してください。

■ ポイント

設計における重要点や、間違いやすい点を解説しています。

■ コーヒーブレイク

本書では、適宜、「コーヒーブレイク」で、考え方の注意点やコラム的な内容を記載していますので参考にしてください。

■ 実務との相違

実務では、通常の構造計算はコンピュータプログラムによる一貫計算で処理される場合がほとんどです。本書でも、応力解析部分は、代表的なソフトウェアを使用することを前提としています。そして、そのための入力の仕方なども解説しています。ただし、それ以外は、できるだけ手計算や表計算ソフト程度で算出するように作られています。

その理由は、コンピュータ処理では見落としがちな構造計算の流れや背景を把握し、計算過程における各項目の意図や目的を理解していただくためです。そこで、手計算を可能とするために簡略化した箇所もあります。また、基本的な性能は網羅していますが、詳細な部分での検討を省いたところもあります。本書の目的をご理解いただき、コンピュータ処理による出力を鵜呑みにすることなく、結果を適切に判断できる能力の向上に役立てていただければ幸いです。

1. 中大規模木造設計の基本

memo

1.1 中大規模木造の概要

(1) 中大規模木造建築の歴史と参考図書

木造建築には、軸組構法やツーバイフォー構法などで建てられる住宅規模のものと、校舎や体育館、事務所ビルなどの非住宅用途で比較的規模の大きな建築物とがあります。ここでは後者を、「中大規模木造建築」と呼びます。

現代の中大規模木造建築の隆盛に繋がる動きは、1987年の準防火地域での木造3階建ての解禁と、いわゆる「燃えしろ設計」の導入が契機になっています。それまでは、主要都市の市街地は大部分が準防火または防火地域のため、事実上、木造3階建ては建てられませんでした。そして、この改正を受け、1988年に日本住宅・木材技術センターから「3階建て木造住宅の構造設計と防火設計の手引き」が刊行されました。この本は、3階建て木造住宅の構造計算法を解説した初めての書籍でした。そして、阪神・淡路大震災とその後の研究成果、および2000年の基準法改正を受けて、上記の本を改訂するかたちで、同センターより「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」が刊行されました。これがいわゆる「グレー本」と呼ばれるもので、木造建築の許容応力度計算を行う場合の基礎となる多くの式が記述されています（以下、2017グレー本）。

一方、本書で扱う非住宅の中規模木造建築については、日本建築センター発行の「大断面木造建築物設計施工マニュアル」（1988年6月）が永く参考書と位置づけられていました。この本も、上記、1987年の規制緩和が契機となってまとめられたものです。名前の通り、大断面の集成材を用いた建物の設計法がまとめられています。

また、引張材・圧縮材というような部材単位の設計や、接合部の設計には、主に、日本建築学会の「木質構造設計規準・同解説」（以下、2006学会木規準）が参照されてきました。木質構造の部材設計では、最も権威のあるものとされています。なお、この書籍は、主に単位部材と接合部の設計を主眼に作られています。そのため、例えば「耐力壁」や「水平構面」といった部位単位の設計は記載がありません。また、外力や応力の組み合わせなどの詳細は、他の書籍を参照することを前提としています。

(2) 中大規模木造の構造設計

さて、前述の「燃えしろ設計」が認められてから、比較的大規模な建築物が建設されるようになりました。その構造形式は、筋かい（ブレース）構造から、木質ラーメン構造、2ヒンジ・3ヒンジのアーチ、平行弦・立体トラスなど、極めて多様です。これは、材料が木材であれば、全て「木質構造」と分類されるためです。逆にいえば、木材がいかにさまざまな構造形式に適用可能であるかを示しています。

中大規模木造建築には、事務所や校舎のような多層構造のもの、および体育館のようにスパンの大きなものがあります。前者は、筋かいや構造用面材による耐力壁形式によるものが一般的ですが、一方向または二方向に、木質ラーメン構造を組み合わせたものもあります。

また、この種の建物は、従来、ほとんどが集成材で建てられたことから、中大規模木造建築といえば、一般に集成材構造を指していました。ただし、製材や単板積層材(LVL)、クロスラミナティンバー(CLT)など、集成材以外の材料による中大規模木造建築も試みられています。特に近年は、CLTによる多層木造建築が注目されています。

木造建築物は、柱や梁・筋かいなどの軸部材と、構造用合板に代表される面部材、そしてそれらを接合する接合具から構成されています。これらの木造建築の構造計算にあたっては、建物のタイプごとに、適切な構造計画、すなわち適切なモデル化が必要です。

また、現代の構造設計では、大地震時の韌性を確保することや破壊順序を制御することは重要な検討項目です。しかし、前述のように、木造建築の構造形式は多様です。そこで、まず、個々の構造要素ごとにその力学的挙動の特徴を把握する必要があります。

そして、特に終局性能の異なる耐力要素を一つの建物内で併用する場合には、個々の要素の挙動が建物全体の性能とどのように関わっているかを検討しておく必要があります。例えば、図1.1-1は、木質ラーメン構造と耐力壁構造の荷重-変形関係を示しています。木質ラーメンは、一般に初期剛性は小さいが变形が大きくなると耐力も上昇します。逆に耐力壁の多くは、初期剛性は大きいが、大変形時には強度が下がっていきます。このように、挙動の異なる耐力要素を組み合わせるときには、その荷重変形関係の違いを考慮して、架構全体としての韌性をどのように確保するかを検討する必要があります。

memo

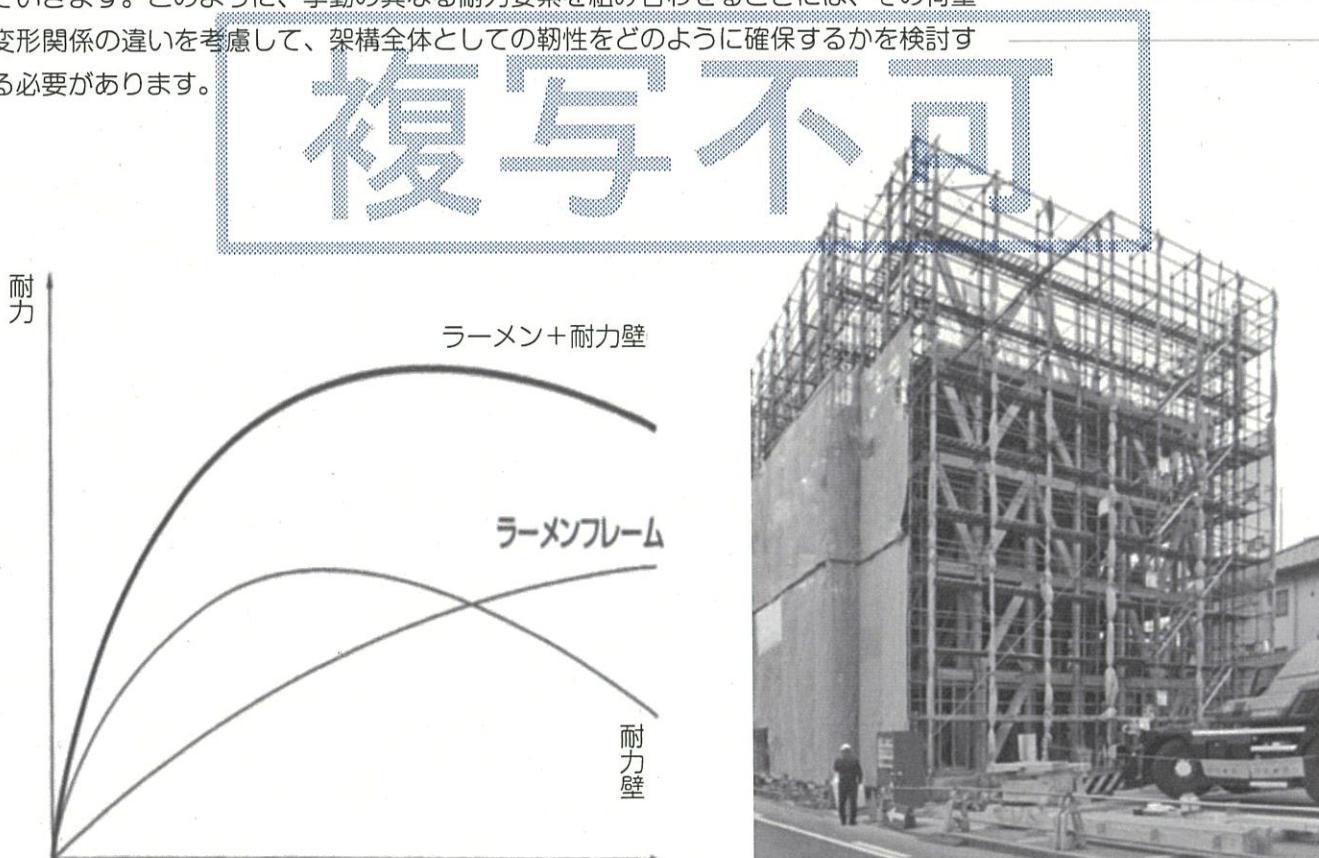


図1.1-1 木質ラーメンと耐力壁の組み合わせ

写真1.1-1 筋かいによる木造5階建て
(写真提供:(株)シェルター)

2. モデル建物の構造設計概要

2.1 モデル建物の建築概要

memo

モデル建物は、建設地を準防火地域、建物規模を3階建て、軒高9m超、延べ面積500～1500m²の木造事務所ビルとします。これらより、建物の防耐火種別を準耐火建築物（1時間準耐火構造、イ準耐）にします。また柱と梁を化粧あらわしにすることを想定し、木質部材の燃えしろ設計を行います。

平面は、典型的な長方形・片側コア形式とします。平面寸法は、東西方向13.5m×南北方向18.0mとし、各階床面積は243.0m²、延べ面積は729.0m²になります。廊下・階段・EV・便所等の共有部分は西側に配置しています。

柱と梁の断面寸法の決定に大きく影響する事務室のX方向スパンは、共用部分に対してレンタブル比が小さくなり過ぎず、また、一般的な木質部材による設計・製造可能性といった観点から9mに設定しています。天井高は、一般的な事務所に比べてやや低いですが2.4mとし、天井ふところ高1.1mを確保できるように階高は3.5m、最高高さを11.5mとっています。

構造形式は、X方向（東西方向）を大断面集成材等によるラーメン構造、Y方向（南北方向）をプレース構造とします。敷地は世田谷区で南側が接道していると仮定して、主要採光面を南側全面とし、他の3面は換気・排煙用の小開口が設けられる程度ではほぼ全面が壁になることを想定しています。

名称：演習用モデル建物

所在地：東京都世田谷区

地域地区：近隣商業地域・準防火地域

主要用途：事務所

規模：地上3階建て（塔屋なし、地下階なし）

延べ面積：729.0 m²

建築面積：243.0 m²

構造：木造

最高高さ：11.5m

軒高：10.7m

階高：3.5m

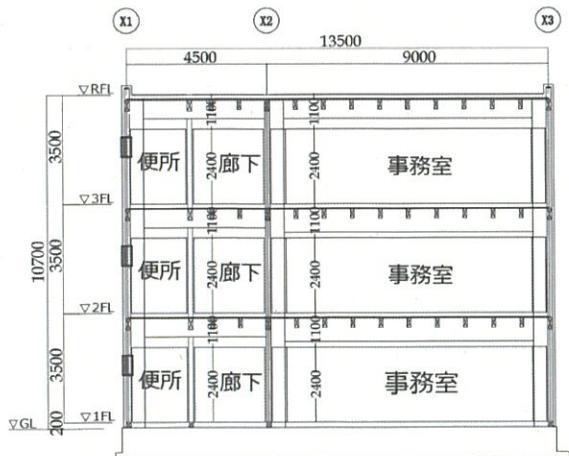
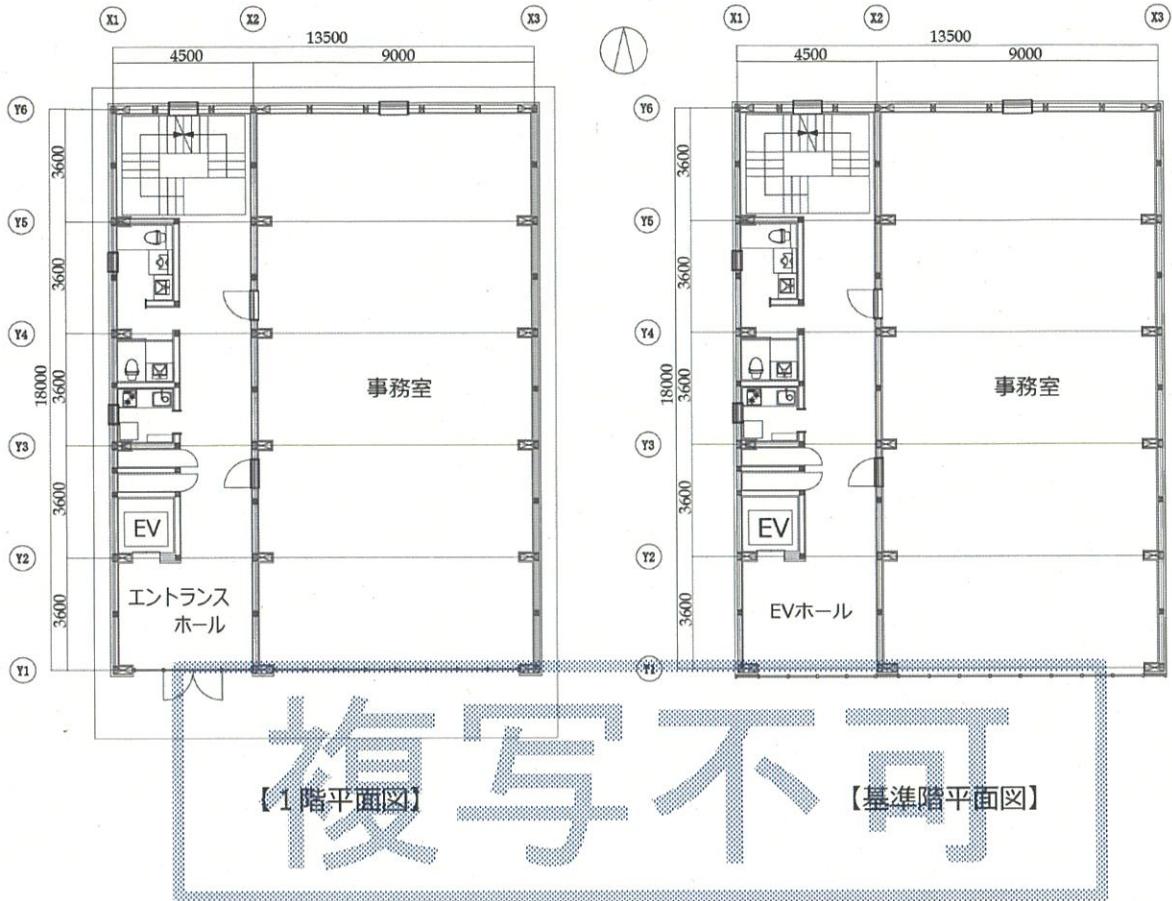
防耐火建築物の種別：準耐火建築物 ※イ準耐火建築物とする

(3階以下、500 m²以上1500 m²以下、建物用途による制限なし)

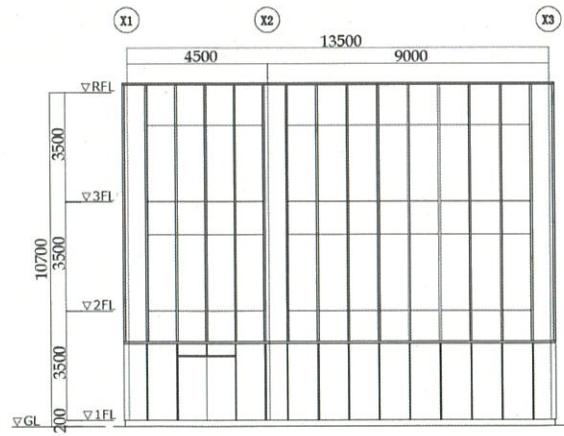
支持地盤：関東ローム層（許容地耐力100kN/m²）

構造計算および防耐火についての検討フローを図2.1-1、図2.1-2に示します。

2.2 平面図・立面図



【東西断面図】



【南立面図】



ひとりでやってみよう 5-7

プレースの仮定断面

モデル建物では、5.1 節で述べたように、Y 方向の水平抵抗要素をプレースとします。ここでは 1 階 Y 方向のプレースの必要断面を試算してみます。

(1) 負担地震力

1 階の全地震力は、5.2 節 (3) より約 500.0kN で、Y 方向はこの水平力を全てプレースに負担させますので、 $\beta = 1.0 > 5/7$ となり、割り増し率は 1.5 となります(表 5.5-1 参照)。したがって、1 階の地震力は、

$$500.0 \times 1.5 = (\quad) \text{ kN}$$

となります。

(2) プレース軸力

プレース軸力は、地震力とプレース角度から算定します。プレースは全部で 8 本、プレース角度を θ とすると幅 3.6m と高さ 3.6m から $\cos \theta = 3.6 / \sqrt{3.6^2 + 3.6^2} = (\quad)$ となります。したがって、プレース 1 本が負担する軸力 N_d は、

$$N_d = 750.0 \text{ kN} / (\quad) \text{ 本} / (\quad) = (\quad) \text{ kN}$$

となります。

(3) 軸力に対する検討

プレースの必要断面を、プレース軸力と圧縮材の座屈の許容応力度から算定します。圧縮材の座屈の許容応力度は、圧縮に対する許容応力度に座屈による低減係数 η を乗じて求めます。プレース断面は、前述のように、正方形断面とします。

$$\text{有効座屈長さ } \ell_k = \sqrt{3600^2 + 3600^2} = (\quad) \text{ mm}$$

$$\text{断面2次半径 } i = \sqrt{I/A} = \text{断面小径 } D/3.46$$

$$\lambda = \ell_k / i = 5091 \text{ mm} / (D/3.46) = \frac{(\quad) \times 3.46}{D} = (\quad) / D < 100$$

$\therefore D > (\quad) \text{ mm} \rightarrow$ プレース断面を 180mm × 180mm として検討します。

$$\lambda = \ell_k / i = (\quad) / (180 \text{ mm} / 3.46) = (\quad)$$

$$\text{座屈による低減係数 } \eta = 1.3 - 0.01 \times \lambda = 1.3 - 0.01 \times (\quad) = (\quad)$$

対称異等級構成構造用集成材 E105-F300 (カラマツ) を想定します。

$$\text{圧縮に対する基準強度 } F_c = 23.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{圧縮に対する短期許容応力度 } s_f_c = K_0 \times K_d \times K_z \times K_m \times K_f \times F_c$$

$$= 1/2 \times 2.0 \times 0.9 \times 1.0 \times 2/3 \times (\quad) = (\quad) \text{ N/mm}^2$$

K_0 : 基準化係数 1/2。

K_d : 荷重継続時間影響係数 短期 2.0。

K_z : 寸法効果係数 0.90 と仮定。

K_m : 含水率影響係数 1.0 とする。

K_f : 安全係数 2/3。