

苦手な人のための構造入門

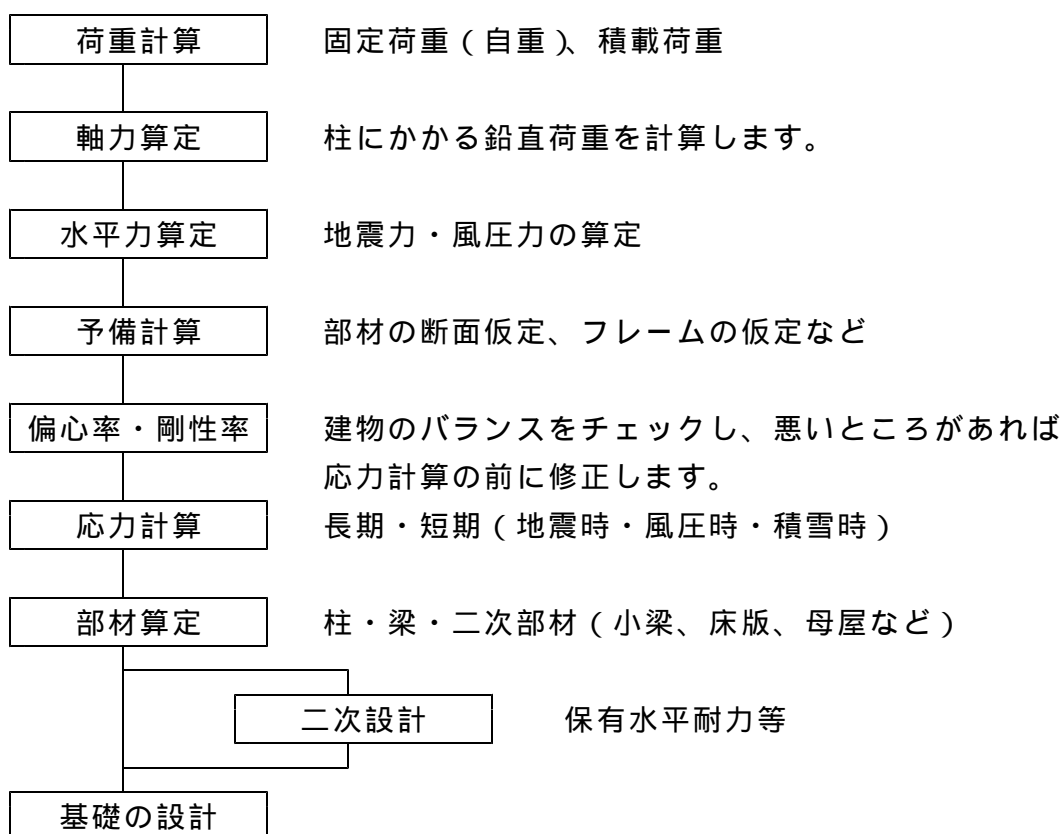
成田完二

1. 構造計算の概要

1-1 構造計算の手順について

建物の構造計算をするという行為は、建物の自重や積載荷重、地震や台風などに対して安全な骨組みなどを設計する作業です。

一般に下記の手順で作業を進めます。



1-2 荷重計算・軸力計算

【固定荷重】 各部の重量を設定します。実際に計測することは難しいので、通常は建築基準法施行令（以下「令」）に掲載された数値や、参考書などから数値を決めます。

例	床スラブ			N / m ²
	床組、フローリング			200
	コンクリートスラブ	15cm	15cm × 240N/cm	3600
	天井	石膏ボード等		200
			合計	4000

【積載荷重】 一般には令で定められた数値を採用しますが、倉庫や工場などで置く物が決まっているような場合は実情に合わせて決定します。

また、計算する場所に応じてその数値を変えます。

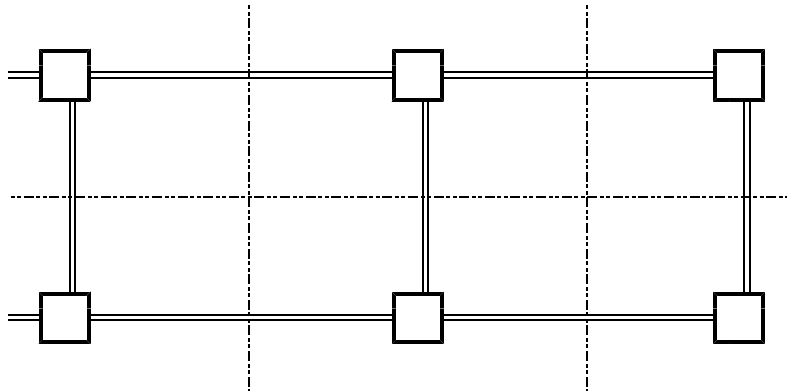
床など、直接荷重が掛かる部分はその最大を考えますが、大梁などフレームを計算するときには平均値が妥当です。

また、地震時には最大の荷重がかかっている可能性は小さいので、実情に合わせて軽減します。

例 事務室の場合（令85条）

床用積載荷重	2,900	N/m ²
大梁・柱・基礎用積載荷重	1,800	N/m ²
地震用積載荷重	800	N/m ²

【柱軸力】 柱にかかる固定荷重、積載荷重を計算します。



図のように柱間の中心で分けて柱の負担を計算します。

【地震力】 上記固定荷重と地震用積載荷重の合計を各階ごとに集計し、地震荷重を算定します。

算定の方法は

算定する階から最上階までの重量の合計 × 地震層せん断力係数 (Ci)

地震層せん断力係数 (Ci) は下記の計算式になります。

$$C_i = Z \cdot R_t \cdot A_l \cdot C_0$$

Z : 地域係数 愛知県はじめ本州のほとんど 1 . 0

R_t : 振動特性から計算する補正值 低い建物は 1 . 0

C₀ : 層せん断力係数 通常0.2以上 ルート1は0.3

A_l : 各階の荷重分布と振動特性から導かれる値

1階は1.0、中層建築までは上に行くほど大きくなる。

普通の規模の建物であれば、ほとんどA_lでC_iの数値は決まります。

例えば、C₀ = 0.2 とするとC_iは 1階で 0.20 2階 0.22 3階 0.26 というように上階に行くほど上がっていきます。

【風圧力】 風圧力は速度圧に風力係数を乗じて算定します。
速度圧とは風速から算出する数値で、風力係数は建物や部分の形状により告示で決められています。

【積雪荷重】 積雪1cmあたり20N/m²で計算します。知多半島の積雪は30cmで計算します。

1-3 応力計算

応力計算は、建物にかかる荷重が柱や梁にどのように影響するかを検討する作業です。最近ではコンピューターの発達により高度な計算が短時間ででき、立体フレームをそのまま解析することが普通にできるようになりました。
でも、昔は手計算で行う以外に方法はなく、簡易に近似値を求められる手法を先人たちが開発しています。今ではほとんど使わなくなりましたが、小規模な建物や、部材をチェックするときなど知っておくと便利です。

【たわみ角法】 節点（柱梁の交点）が移動しないものと仮定して、梁に起こる初期のたわみを解析していく手法。精度は高く、鉛直荷重、水平荷重にも対応できるが、連立方程式を解くという作業が必要であり、手計算では限界がある。

【固定モーメント法】 梁が完全固定として端部モーメントを求め、その応力を節点、部材の反対側に分配伝達させて計算する方法。簡単なかけ算と足し算で計算ができるので、鉛直荷重計算には広く用いられた。水平荷重の計算も可能であるが、方程式を解く作業があり、あまり使われない。

【D値法（武藤式略算法）】 武藤清氏が開発した水平力を解析する手法。予め、D値という分配係数を柱毎に求め、層せん断力をD値の割合で分配するという手法。電卓と表の載った参考書があれば簡単に水平荷重時の応力計算ができるため、手計算の時代は主流であった。

1-4 部材の算定

部材の算定は部材に掛かる最大の単位応力（応力度）が許容応力度以下であることをチェックします。またたわみが許容範囲かをチェックします。

【梁の計算】 梁はほとんどが曲げ応力です。曲げ応力度は下記の計算で求めます。

$$\text{曲げ応力度} \quad b = \text{曲げモーメント} (Mb) / \text{断面係数} (Z)$$

曲げ応力度が許容応力度以下であればセーフです。許容応力度は、座屈を考慮して軽減する場合があります。

また、梁はたわみもチェックします。

【柱の計算】 柱は梁と同じような曲げ応力と、軸力による鉛直方向の応力があります。その両方の合計で安全かどうかをチェックします。

鉛直方向の応力は下記のように求めます。

$$\text{鉛直応力度 } c (\text{引張の場合: } t) = \text{鉛直力} / \text{断面積}$$

安全のチェックは、鉛直方向の応力度と曲げの応力度を合わせて行います。

$$\frac{c / f_c}{\text{圧縮}} + \frac{b / f_b}{\text{曲げ}} \leq 1.0$$

圧縮の場合、座屈を考慮して許容応力度を決めます。また鉄筋コンクリートの場合、圧縮はコンクリートが負担し、鉄筋が引張（曲げ）を負担します。圧縮軸力が鉄筋のマイナス方向に影響し、鉄筋が減る場合があります。

【せん断力の計算】 せん断力とは挟み切るような平行に反対方向に働く力で、ほとんどの部材に掛かっています。鉄骨や木造など細い部材で構成される構造は特に大きな問題になりませんが、鉄筋コンクリートはせん断力対策は必須です。柱や梁は帯筋（フープ、スタラップ）を適切に入れます。壁の配筋や開口補強などもせん断力から計算します。

【二次部材の計算】 床版、小梁、間柱、母屋、胴縁など、建物の主要な骨組みから外れた部分を二次部材と呼んでいます。これらはフレームの応力計算には出てきませんので、部材毎に応力計算から行い、部材を算定します。

1-5 二次設計

一般に保有水平耐力を検討するのが二次設計と言っています。

一次設計が中地震時に対して行うのに対し、二次設計は大地震時の安全をチェックします。

一次設計が、鉛直荷重や変形量を計算し、被害が出ないように設計するのに対し、二次設計はそれらを見せず、最大でどれだけの水平力に耐えうるかを計算します。一次設計では地震力（層せん断力）を仮定し、柱に分配して応力を求めますが、二次設計では柱梁の最大応力を計算し、保有水平耐力を計算します。一次設計の逆方向からの計算です。

1-6 基礎の設計

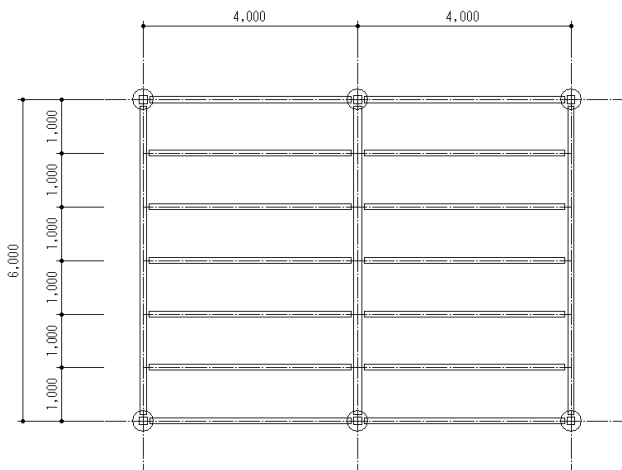
基礎の設計は通常、最後の作業になります。上部の構造計算の結果を得て、地盤に伝えられる基礎を設計します。

2. 木造部材の計算法

前半は、構造計算の流れについて簡単に解説してきました。後半は実際に部材を算定する作業を行って、構造計算の手順を少しでもわかっていただきたいと思います。

「木造耐震ネットワーク知多」ですので木造の梁の算定を例にして解説します。

2-1 単純梁の応力計算



例題として左の図で梁の計算を行います。
まず、床の仕様から固定荷重を求めます。

用途 : 事務室
 仕上げ材 : ナラフローリングt15
 床下地 : 構造用合板t24
 (ネダレス)
 天井(1階): 石膏ボード貼り

【固定荷重】

床梁@1000		N/m ²
フローリング		150 (令84条)
構造用合板t24		150 (実測)
天井		200 (令84条)
小梁	スパン 4 m	100 (")
合 計		600 N/m ²
大梁@4000		N/m ²
小梁	固定荷重	600
大梁	自重 スパン 6 m	170 (令84条)
合 計		770 N/m ²

【積載荷重】 令85条から、床梁は 2900 N/m²、大梁は1800 N/m²を採用します。固定荷重との合計は下記ようになります。

床梁@1000	600 + 2900 =	3500 N/m ²
大梁@4000	770 + 1800 =	2570 N/m ²

【応力計算】 床梁、大梁とも等分布荷重の単純梁として計算します。

$$M = 1 / 8 \times w \times L^2$$

M : 曲げモーメント

w : 等分布荷重 (単位長さあたり)

L : スパン

床梁@1000 スパン (L) = 4.0m ピッチ = 1.0m
w = 3500 × 1.0m = 3500 N / m
M = 1 / 8 × 3500 × 4.0² = 7000 N・m

< 問題 > 下記の応力を求めましょう。

大梁@4000 スパン (L) = 6.0m ピッチ = 4.0m

w =

M =

2-2 許容応力度

木材の許容応力度は令89条で決められています。

	圧 縮	引張り	曲 げ	せん断
長期許容応力度 N / mm ²	$\frac{1.1 F_c}{3}$	$\frac{1.1 F_t}{3}$	$\frac{1.1 F_b}{3}$	$\frac{1.1 F_s}{3}$
短期許容応力度 N / mm ²	$\frac{2 F_c}{3}$	$\frac{2 F_t}{3}$	$\frac{2 F_b}{3}$	$\frac{2 F_s}{3}$

F_c、F_t、F_b、F_sは基準強度 (N / mm²) で、平12建告1452で決められています。

今回の例題では 米まつ E110 を使用することとして許容応力度を算定します。E110 はヤング係数から決められる等級です。

今回は梁の設計で曲げの許容応力度だけ求めます。

建告1452、2号の表から 米まつ E110 は F_b = 30.6 N / mm²

単位が N / mm² と平方ミリではわかりづらいので N / cm² とセンチメートル単位に変換します。面積が100倍になりますから、

F_b = 30.6 N / mm²は F_b = 3060 N / cm² と変換しておきます。

長期曲げ許容応力度 (f_b) = 1.1 F_b / 3 F_b = 3060 N / cm²

f_b = 1.1 × 3060 / 3 = 1122 N / cm²

許容応力度の記号は「f_b」のように小文字になります。

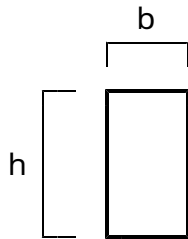
註 - 枠組み壁工法で使用する部材形式 (204, 210 など) にはさらに低減があるので注意。

2-3 断面の性質

部材の形状、サイズにより計算される数値で、柱梁などの部材をチェックするのに必要なデータを計算しておきます。

柱など、軸力を計算するには断面積「 A (cm^2)」、梁などの曲げ材には断面係数「 Z (cm^3)」、またたわみをチェックするには断面二次モーメント「 I (cm^4)」を使います。

木造梁などの長方形部材は下記の式で求めます。



断面積	$A = b \cdot h$	cm^2
断面係数	$Z = b \cdot h^2 / 6$	cm^3
断面二次モーメント	$I = b \cdot h^3 / 12$	cm^4

予め、部材を仮定して、断面の性質を求めておきます。

床梁@1000 $b \times h = 10.5 \times 21.0 = 220 \text{ cm}^2$
 $Z = 10.5 \times 21.0^2 / 6 = 771 \text{ cm}^3$
 $I = 10.5 \times 21.0^3 / 12 = 8103 \text{ cm}^4$

この場合、安全を考慮し、小数点以下は切り捨てにします。

< 問題 >

床梁@1000 の使用候補として 105 × 240 (mm) の性能を計算しましょう

2-4 断面算定

応力計算、許容応力度、断面の性質の計算が終わりましたので、梁の設計を決定しましょう。

ここまで来れば簡単です。応力を断面係数で除した値（応力度）が許容応力度を超えなければOKです。

曲げ応力度 (σ) = 曲げモーメント / 断面係数
 曲げ応力度 (σ) / 許容応力度 (f_b) = < 1.0 で SAFE

床梁@1000 米まつ E110 105 × 210 $Z = 771 \text{ cm}^3$
 $M = 7000 \text{ N} \cdot \text{m}$ $M = 700000 \text{ N} \cdot \text{cm}$
 100倍してmをcmに直しておきます。
 $\sigma = 700000 / 771 = 908 \text{ N} / \text{cm}^2$
 $f_b = 1122 \text{ N} / \text{cm}^2$
 $\sigma / f_b = 908 / 1122 = 0.81 < 1.0 \text{ SAFE}$

ちょっと余裕がありませんが、一応セーフになりました。

<問題> 床梁@1000を 米まつ E110 105×240 でチェックしましょう。

$$Z = \quad \text{cm}^3 \quad f b = 1122 \quad \text{N / cm}^2$$

$$b = 700000 / \quad = \quad \text{N / cm}^2$$

$$b / f b = \quad / 1122 = \quad < 1.0 \quad \text{SAFE}$$

大梁@4000

床梁と同じように、部材を仮定してチェックする方法が通常のやり方ですが、方法を変えて、断面を逆算する形で大きさを求めてみましょう。

M = 46260 N・m 必要な断面係数を求めます。

$$Z (\text{min}) = 4626000 / 1122 (f b) = 4123 \quad \text{cm}^3$$

梁巾 (b) を決めて、必要なせい (h) を計算します。

断面係数の計算式をせいを求める「 h = 」の形になおします。

$$Z = b \cdot h^2 / 6 \quad h^2 = 6 \cdot Z / b \quad b = 13.5 \quad \text{とします}$$

$$h^2 = 6 \times 4123 / 13.5 = 1832$$

$$h = (1832) = 42.8 \quad \text{cm} \quad \text{以上必要}$$

<問題> 上記のように 13.5cm巾で、42.8cmの梁が必要だとわかりました。大梁@4000 を 米まつ E110 135×450 (mm) として安全チェックをしましょう。

2-5 たわみのチェック

床梁のような等分布荷重単純梁のたわみは下記の式で求められます。

$$\text{たわみ} (\quad) = 5 w L^4 / 384 E I$$

w : 単位長さあたりの荷重

L : スパン

E : ヤング係数

I : 断面二次モーメント

これまでに出ていないのはヤング係数（E）です。ヤング係数とは粘り強さを示す値で、数値が大きいほどたわみにくくなります。

木材のヤング係数が載っている資料は少ないですが、木材の等級（E110など）にあらわされているのがヤング係数ですので、これを使います。

E110はヤング係数 $100 \sim 120 (\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2)$ のものがこの等級に入りますので、その最小値 $100 (\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2)$ を使います。

kgfですからニュートンに変えないといけません。 $1 \text{ kgf} = 9.8 \text{ N}$ ですので

$$E = 980 \times 10^3 \text{ N/cm}^2 \text{ を採用します。}$$

他の単位も全部、N、cmにそろえて計算します。

床梁@1000

$$w = 3500 \text{ N/m}$$

$$w = 35 \text{ N/cm}$$

$$L = 4.0 \text{ m}$$

$$L = 400 \text{ cm}$$

$$E = 980 \times 10^3 \text{ N/cm}^2$$

$$I = 8103 \text{ cm}^4$$

$$= 5 \times 35 \times 400^4 / (384 \times 980 \times 1000 \times 8103)$$

$$= 1.47 \text{ cm}$$

$$/ L = 1.47 / 400 = 1/272 > 1/300 \text{ out!}$$

長期荷重の場合、たわみの許容範囲はスパンの1/300です。

<問題>

アウトになりましたので、105×240の部材で検討しましょう。

<問題>

大梁@4000 のたわみをチェックしましょう。断面は135×450とします。