

二級建築士 学科本科生

【学科本科生 無料体験入学用】
構造テキスト（抜粋版）
(構造計算 1 ～ 3 回講義分)

学科 III

建築構造



学科Ⅲ 建築構造

第1編 構造力学

序章 数学の基礎知識

第1節 数学の基礎

- ① 比を求める477
- ② 一次方程式480
- ③ 連立方程式483
- ④ 三角比485
- ⑤ 分母の有理化488
- ⑥ 単位の換算489

第1章 建築物に働く力

第1節 力のつり合い

- ① 力及びモーメント491
- ② 力のつり合い492

第2節 静定構造物

- ① 支点と反力494
- ② 静定構造物と不静定構造物495

第3節 静定構造物の反力

- ① 静定構造物の反力計算496

第2章 静定構造物の応力

第1節 応力

- ① 応力の種類505

第2節 静定梁の応力

- ① 静定梁の応力計算506
- ② 曲げモーメント511

第3節 静定ラーメンの応力

- ① 静定ラーメンの応力計算515
- ② 曲げモーメント図519

第4節 3ヒンジラーメンの応力

- ① 3ヒンジラーメンの応力計算522

第5節 静定トラス

- ① トラス構造527
- ② トラスの応力527
- ③ トラスの解法531

第3章 部材の性質と応力度

第1節 部材の性質

- ① 部材の力学的性質536
- ② 断面の性質537

第2節 応力度

- ① 応力と応力度542
- ② 応力度543

第3節 部材の変形

- ① 梁の変形550

第4節 座屈

- ① 座屈553
- ② 弾性座屈荷重553

第4章 建築物の振動

第1節 建築物の振動

- ① 固有周期557
- ② 一次固有周期557

第2節 建築物の応答

- ① 応答加速度558

第2編 建築構造

第1章 構造設計

第1節 荷重・外力

- ① 建築物にかかる力の種類と組合せ（令82条）.....562
- ② 固定荷重（令84条）563
- ③ 積載荷重（令85条）563
- ④ 積雪荷重（令86条）565
- ⑤ 風圧力（令87条）566
- ⑥ 地震力（令88条）569

第2節 構造設計

- ① 構造計算573
- ② 構造計画のポイント583

第3節 免震構造と制振構造

- ① 免震構造585
- ② 制振構造586

第4節 耐震診断

- ① 耐震性能の診断方法587
- ② 耐震診断法587

- ③ 耐震改修工事588
- ④ 木造住宅の耐震診断590

第2章 鉄筋コンクリート構造

第1節 鉄筋コンクリートの性質

- ① 材料の許容応力度592
- ② 鉄筋とコンクリートの一体性593

第2節 部材算定

- ① 部材算定における基本事項595
- ② 各部の設計595

第3節 コンクリートのひび割れ・耐久性

- ① 曲げひび割れとせん断ひび割れ606
- ② 乾燥収縮ひび割れ608
- ③ クリープ608
- ④ 中性化609
- ⑤ アルカリシリカ反応によるひび割れ609
- ⑥ プラスチック収縮ひび割れ609

第4節 壁式鉄筋コンクリート構造

- ① 壁式鉄筋コンクリート構造609

第5節 プレストレストコンクリート造

- ① 概要611
- ② 方式612

第3章 鉄骨構造

第1節 鋼材の性質

- ① 鋼材613
- ② 鋼材の性質614
- ③ 鋼材の規格と許容応力度614
- ④ 形鋼617

第2節 部材の設計

- ① 筋かいの設計618
- ② 圧縮材及び柱の設計619
- ③ 梁の設計621
- ④ 柱・梁接合部の設計624
- ⑤ 柱脚の設計626

第3節 接合方法

- ① 普通ボルト接合及び高力ボルト接合628

- ② 溶接接合630
- ③ 接合の併用633

第4章 補強コンクリートブロック構造

第1節 補強コンクリートブロック構造

- ① ブロックの種別と規模635
- ② 耐力壁636
- ③ 配筋637
- ④ その他638

第5章 木質構造

第1節 各部構造

- ① 構造概要640
- ② 各部構造641

第2節 壁量計算

- ① 壁量計算（令46条4項）650
- ② 耐力壁の配置について654

第3節 木材の性質

- ① 木材の性質656

第4節 部材の設計

- ① 許容応力度661
- ② 部材の設計661
- ③ 接合部665
- ④ 耐震計画上の留意点672

第5節 枠組壁工法（ツーバイフォー工法）

- ① 各部構造673

第6節 大断面木造建築物

- ① 大断面木造建築物675

第6章 地盤と基礎構造

第1節 地盤の許容応力度

- ① 地層676
- ② 土の性質676
- ③ 地盤調査と地盤の許容応力度679
- ④ 室内土質試験681
- ⑤ 土圧682

第2節 基礎構造

- ① 基礎の設計683
- ② 地盤改良工法688

第3編 建築材料

第1章 建築材料

第1節 セメント・コンクリート

- ① コンクリート材料……………690
- ② フレッシュコンクリート ……693
- ③ コンクリート製品……………698

第2節 金属材料

- ① 炭素鋼の性質……………699
- ② 合金鋼……………700
- ③ 非鉄金属……………700

第3節 木質材料

- ① 木質材料……………701

第4節 その他の材料

- ① 石材……………704
- ② 左官材料……………705
- ③ 粘土製品……………706
- ④ 耐火・防火、断熱、防水材料……707
- ⑤ ガラス……………709
- ⑥ 塗料……………711
- ⑦ 接着剤……………712

第1編

構造力学

人命を預かる建築物を設計するうえで安全性は何よりも重要です。ここでは、建築物の構造が安全か否かを判断する際の基礎として、構造力学の考え方と計算の仕方を学びます。

序 章 数学の基礎知識

第1章 建築物に働く力

第2章 静定構造物の応力

第3章 部材の性質と応力度

第4章 建築物の振動

序章 数学の基礎知識

構造、特に構造力学を理解するうえでは、数学の知識は欠かせません。二級建築士試験を受けるにあたり、これだけはどうしても必要という「数学の基礎」について、例題を解きながらおさらいしましょう。

【力学で使われる主なアルファベット記号、ギリシャ文字記号と代表的な意味】

記号	代表的な意味	記号	代表的な意味	記号	代表的な意味
A	断面積	d	有効せい	δ (デルタ)	たわみ
E	ヤング係数	e	偏心距離	Δ (デルタ)	変形量
F	基準強度 (材料強度)	f	許容応力度	ε (エpsilon)	縦ひずみ度
H	水平反力	f_t	許容引張応力度	η (イータ)	座屈低減係数
I	断面二次モーメント	f_c	許容圧縮応力度	θ (シータ)	回転角
M	モーメント	f_b	許容曲げ応力度	λ (ラムダ)	細長比
N	軸方向力	f_s	許容せん断応力度	σ (シグマ)	応力度
P	集中荷重	g	重力加速度	σ_t	引張応力度
P_k, P_e	弾性座屈荷重	h	高さ等	σ_c	圧縮応力度
Q	せん断力	i	断面二次半径	σ_b	曲げ応力度
R	反力	j	応力中心間距離	τ (タウ)	せん断応力度
S	断面一次モーメント	k	剛比、水平剛性 (ばね定数)		
V	垂直反力、体積	l	スパン等		
W	荷重、合力	l_k	弾性座屈長さ		
Z	断面係数	n	安全率など		
		t	厚さなど		
		w	等分布荷重		

第 1 節 数学の基礎

1 比を求める



例題

$a = 2b$ のとき、 $a : b$ を求めなさい。(a 、 b は整数とする)

解答

a 、 b のいずれかに 1 を入れて、具体的な値を求める。

● 解法 1 $a = 1$ とする。 $a = 2b$ の式に $a = 1$ を入れると、 $1 = 2b$
 b を求めるために両辺を 2 で割って、 $\frac{1}{2} = b$

したがって、 $b = \frac{1}{2}$

a が 1 のとき、 b は $\frac{1}{2}$ になるから、

$$a : b = 1 : \frac{1}{2}$$

$a : b = \underline{2 : 1}$ ← 整数の比にするために両方に 2 をかける

● 解法 2 $b = 1$ とすると、 $a = 2 \times 1 = 2$
 したがって、 $a : b = \underline{2 : 1}$



例題

$3a = 4b$ のとき、 $a : b$ を求めなさい。(a、b は整数とする)

解答

$a = 1$ とする。 $3a = 4b$ の式に $a = 1$ を入れると、 $3 \times 1 = 4b$
 b を求めるために両辺を 4 で割って、 $\frac{3}{4} = b$

したがって、 $b = \frac{3}{4}$

a が 1 のとき、 b は $\frac{3}{4}$ になるから、

$$a : b = 1 : \frac{3}{4}$$

$$a : b = \underline{4 : 3} \quad \leftarrow \text{整数の比にするために両方に 4 をかける}$$



例題

$5a = 3b = 4c$ のとき、 $a : b : c$ を求めなさい。
(a、b、c は整数とする)

解答

$5a = 3b = 4c$ の式に $a = 1$ を入れると、 $5 \times 1 = 3b = 4c$

$$\text{すなわち } \begin{array}{c} \textcircled{1} \\ \left[\begin{array}{l} 5 = 3b = 4c \end{array} \right] \\ \textcircled{2} \end{array}$$

①部分の $5 = 3b$ から $b = \frac{5}{3}$ ②部分の $5 = 4c$ から $c = \frac{5}{4}$

したがって、 $a : b : c = 1 : \frac{5}{3} : \frac{5}{4}$

分母の 3 と 4 を消すために、a、b、c それぞれに 3×4 をかける。

$$1 \times (3 \times 4) : \frac{5}{3} \times (\cancel{3} \times 4) : \frac{5}{4} \times (3 \times \cancel{4}) = \underline{12 : 20 : 15}$$



例題

$\frac{1}{2}a = 5b = \frac{1}{3}c$ のとき、 $a : b : c$ を求めなさい。
(a、b、c は整数とする)

解答

$\frac{1}{2}a = 5b = \frac{1}{3}c$ の式に $a = 1$ を入れると、 $\frac{1}{2} \times 1 = 5b = \frac{1}{3}c$

$$\text{すなわち } \begin{array}{c} \textcircled{1} \\ \left[\begin{array}{l} \frac{1}{2} = 5b = \frac{1}{3}c \end{array} \right] \\ \textcircled{2} \end{array}$$

①部分の $\frac{1}{2} = 5b$ から $b = \frac{1}{10}$ ②部分の $\frac{1}{2} = \frac{1}{3}c$ から $c = \frac{3}{2}$

したがって、 $a : b : c = 1 : \frac{1}{10} : \frac{3}{2}$

分母の 10 と 2 を消すために、a、b、c それぞれに 10 をかける。

$$10 : 1 : \frac{3}{2} \times 10 = \underline{10 : 1 : 15}$$

2 一次方程式



例題

$P \times 3l - P \times 2l - V \times 6l = 0$ のとき、 V を P を用いて表しなさい。
ただし、 V は未知数、 P 、 l は既知数とする。

解答

- ① 未知数（求めたい数）と既知数（わかっている数）を見極める。未知数に印をつけるのも有効。
- ② すべての項に共通する文字を消す。
- ③ 未知数を左辺に集め、既知数を右辺に集める。

- ① 未知数と既知数を見極める。

$$\begin{array}{l}
 P \times 3l - P \times 2l - V \times 6l = 0 \\
 \underline{3Pl - 2Pl - V \times 6l = 0} \\
 \text{まとめる} \\
 Pl - V \times 6l = 0
 \end{array}$$

未知数
↙

- ② すべての項に共通する文字 l を消すために、すべてを l で割る。

$$\begin{array}{l}
 \frac{Pl}{l} - \frac{V \times 6l}{l} = \frac{0}{l} \\
 P - 6V = 0
 \end{array}$$

- ③ 未知数を左辺に集め、既知数を右辺に集める。

$$\begin{array}{l}
 -6V = -P \quad \leftarrow P \text{ を右辺に移すと符号が逆になる} \\
 6V = P \quad \leftarrow \text{両辺に} -1 \text{ をかける} \\
 \frac{6V}{6} = \frac{P}{6} \quad \leftarrow V = \bigcirc P \text{ にするために両辺を} 6 \text{ で割る} \\
 \underline{V = \frac{1}{6}P}
 \end{array}$$



例題

$V \times 4l - 2P \times 3l = 0$ のとき、 V を P を用いて表しなさい。

解答

$$\begin{array}{l}
 V \times 4l - 2P \times 3l = 0 \\
 4Vl - 6Pl = 0 \\
 4V = 6P \quad \leftarrow -6P \text{ を右辺に移すと符号が逆になる} \\
 \frac{4V}{4} = \frac{6P}{4} \quad \leftarrow V = \bigcirc P \text{ にするために両辺を} 4 \text{ で割る} \\
 \underline{V = \frac{3}{2}P}
 \end{array}$$



例題

$-\frac{3}{2}P \times 5l - \frac{2}{3}V \times 2l = 0$ のとき、 V を P を用いて表しなさい。

解答

$$\begin{array}{l}
 -\frac{3}{2}P \times 5l - \frac{2}{3}V \times 2l = 0 \\
 -\frac{3 \times 5}{2}Pl - \frac{2 \times 2}{3}Vl = 0 \\
 -\frac{15}{2}Pl - \frac{4}{3}Vl = 0 \\
 -\frac{4}{3}V = \frac{15}{2}P \quad \leftarrow -\frac{15}{2}Pl \text{ を右辺に移すと符号が逆になる} \\
 \frac{4}{3}V = -\frac{15}{2}P \quad \leftarrow \text{両辺に} -1 \text{ をかける} \\
 V = -\frac{15}{2}P \times \frac{3}{4} \quad \leftarrow V = \bigcirc P \text{ にするために両辺に} \frac{3}{4} \text{ をかける} \\
 \left(\frac{4}{3}V \times \frac{3}{4} = -\frac{15}{2}P \times \frac{3}{4} \right) \\
 \underline{V = -\frac{45}{8}P}
 \end{array}$$



例題

$P \times 2l - V \times \frac{l}{2} - 3P \times \frac{l}{3} = 0$ のとき、 V を P を用いて表しなさい。

解答

$$\begin{aligned} P \times 2l - V \times \frac{l}{2} - 3P \times \frac{l}{3} &= 0 \\ \frac{2Pl}{2} - \frac{1}{2}Vl - Pl &= 0 \\ \downarrow \quad \swarrow \quad \text{まとめる} \\ P\cancel{l} - \frac{1}{2}V\cancel{l} - P\cancel{l} &= 0 \\ -\frac{1}{2}V &= -P \\ \frac{1}{2}V &= P \\ \underline{\underline{V = 2P}} \end{aligned}$$



例題

$\frac{3}{2}Vl + Vl - 35Pl = 0$ のとき、 V を P を用いて表しなさい。

解答

$$\begin{aligned} \frac{3}{2}Vl + Vl - 35Pl &= 0 \\ \downarrow \quad \swarrow \quad \text{まとめる} \\ \left(\frac{3}{2} + 1\right)Vl - 35Pl &= 0 \\ \left(\frac{3}{2} + \frac{2}{2}\right)Vl - 35Pl &= 0 \\ \frac{5}{2}V\cancel{l} - 35P\cancel{l} &= 0 \\ \frac{5}{2}V &= 35P \\ V &= 35P \times \frac{2}{5} = \underline{\underline{14P}} \end{aligned}$$

3 連立方程式



例題

$$3Vl + Hl = 35Pl$$

$$2Vl - Hl = 0$$

のとき、 V と H を P を用いて表しなさい。（ V と H が未知数、 P と l が既知数）

解答

まずは2つの式のすべての項に共通する l を消去する。

$$3V + H = 35P \cdots \cdots ①$$

$$2V - H = 0 \cdots \cdots ②$$

V と H の連立方程式を解くために、片方（ここでは H ）を消去して、残った片方（ここでは V ）の式にして解く。

●解法1 ②の式から H を求め、その値を①の式の H へ代入して V だけの式をつくる。

$$②の式から -H = -2V$$

$$H = 2V \quad \leftarrow ②をH = \bigcircの式にする$$

これを①の H に代入して、 V だけの式をつくる。

$$3V + (2V) = 35P$$

$$5V = 35P \quad \therefore V = 7P$$

これを②に代入して

$$2 \times (7P) - H = 0$$

$$14P - H = 0$$

$$-H = -14P \quad \therefore H = 14P$$

したがって、 $V = 7P$ $H = 14P$

●解法2 ①の式と②の式の左辺どうし、右辺どうしを足して、 V だけの式をつくる。

$$3V + H = 35P \cdots \cdots ①$$

$$+) 2V - H = 0 \cdots \cdots ②$$

$$\underline{\quad \quad \quad} 5V = 35P \cdots \cdots ① + ②$$

したがって、 $V = 7P$

これを②に代入して、解法1と同様に $H = 14P$

なお、この方法は、 $A = B$ 及び $C = D$ が成り立つとき、
 $(A + C) = (B + D)$ が成り立つことを利用している。



例題

$$3V + 2H = 12P \dots\dots ①$$

$$4V - 3H = -P \dots\dots ②$$

のとき、 V と H を P を用いて表しなさい。(V と H が未知数、 P が既知数)

解答

- 解法1 ②の式から H を求め、その値を①の式の H へ代入して V だけの式をつくる。

$$②の式から -3H = -4V - P$$

$$3H = 4V + P$$

$$H = \frac{1}{3}(4V + P) \quad \leftarrow ②をH = \bigcircの式にする$$

これを①の H に代入して、 V だけの式をつくる。

$$3V + 2 \times \frac{1}{3}(4V + P) = 12P$$

$$9V + 2(4V + P) = 36P \quad \leftarrow \text{すべての項に3をかける}$$

$$9V + 8V + 2P = 36P$$

$$17V = 34P \quad \therefore V = 2P$$

これを②に代入して

$$4 \times (2P) - 3H = -P$$

$$8P - 3H = -P$$

$$-3H = -9P \quad \therefore H = 3P$$

したがって、 $V = 2P$ $H = 3P$

- 解法2 ①の式の全体を3倍、②の式の全体を2倍して、ともに $6H$ とし、
 ①の式と②の式の左辺どうし、右辺どうしを足して、 V だけの式をつくる。

全体を $\times 3$

$$3V + 2H = 12P \dots\dots ① \quad \Rightarrow \quad 9V + 6H = 36P \dots\dots ①'$$

$$4V - 3H = -P \dots\dots ② \quad \Rightarrow +) \quad 8V - 6H = -2P \dots\dots ②'$$

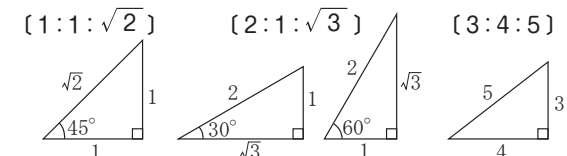
$$\text{全体を} \times 2 \quad 17V = 34P \dots\dots ①' + ②'$$

したがって、 $V = 2P$

これを②に代入して、解法1と同様に、 $H = 3P$

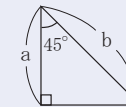
4 三角比

直角三角形の辺の比は以下となる。



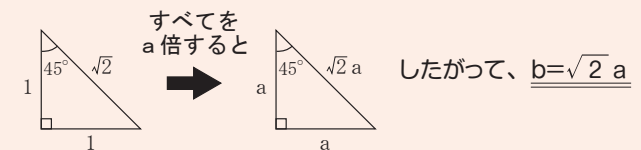
例題

b を a を用いて表しなさい。



解答

- 解法1



- 解法2 (内項の積) = (外項の積) を使う。

$$a : b = 1 : \sqrt{2} \quad \Rightarrow \quad b \times 1 = a \times \sqrt{2}$$

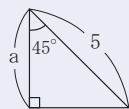
(内項の積 $b \times 1$)
(外項の積 $a \times \sqrt{2}$)

したがって、 $b = \sqrt{2} a$



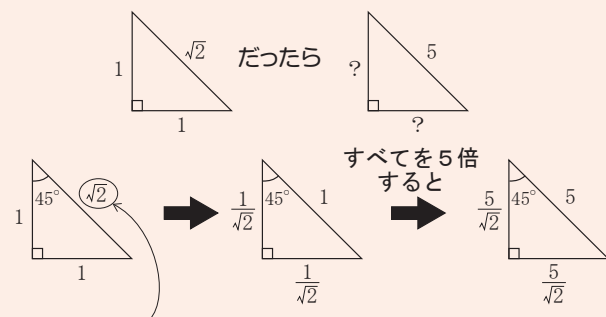
例題

aの長さを求めなさい。



解答

- 解法1 45°の直角三角形（辺の比が $1:1:\sqrt{2}$ ）の $\sqrt{2}$ を5に換算したとき、1が換算される値がaとなる。最初から $\sqrt{2} \rightarrow 5$ には換算しにくいため、まずは $\sqrt{2} \rightarrow 1$ にした後、5倍する。



5に対応する $\sqrt{2}$ を1にするため、
まずはそれぞれの辺を $\sqrt{2}$ で割る。
($\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}}=1$)

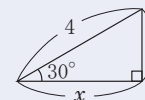
したがって、 $a = \frac{5}{\sqrt{2}}$

- 解法2 $a:5=1:\sqrt{2}$
 $\sqrt{2}a=5$
 $a=\frac{5}{\sqrt{2}}$



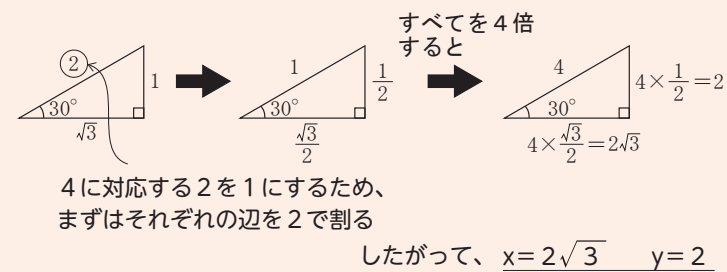
例題

x、yの長さを求めなさい。



解答

- 解法1

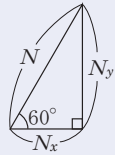


- 解法2 $x:4=\sqrt{3}:2$
 $2x=4\sqrt{3}$
 $x=2\sqrt{3}$
 $y:4=1:2$
 $2y=4$
 $y=2$

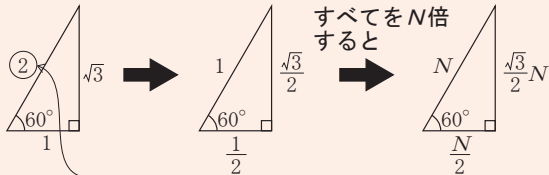


例題

N_x 、 N_y を N を用いて表しなさい。



解答



N に対応する2を1にするため、
まずはそれぞれの辺を2で割る

$$\text{したがって、} \underline{N_x = \frac{N}{2}} \quad \underline{N_y = \frac{\sqrt{3}}{2} N}$$

5 分母の有理化

「分母の有理化」とは、分母に $\sqrt{\quad}$ を含まないようにすることをいう。

$\frac{4P}{\sqrt{2}}$ の分母 ($\sqrt{2}$) の $\sqrt{\quad}$ を取るには、分子と分母の両方に $\sqrt{2}$ をかければよい。

$$\frac{4P}{\sqrt{2}} = \frac{4P}{\sqrt{2}} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \frac{4P \times \sqrt{2}}{\sqrt{2} \times \sqrt{2}} = \frac{4\sqrt{2}P}{2} = 2\sqrt{2}P$$

これは1



例題

$\frac{2P}{3\sqrt{3}}$ の分母を有理化しなさい。

解答

$$\frac{2P}{3\sqrt{3}} = \frac{2P}{3\sqrt{3}} \times \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} = \frac{2\sqrt{3}P}{3 \times \underbrace{\sqrt{3} \times \sqrt{3}}_{=3}} = \underline{\underline{\frac{2\sqrt{3}P}{9}}}$$



例題

$\frac{2P}{\sqrt{2}}$ の分母を有理化しなさい。

解答

$$\frac{2P}{\sqrt{2}} = \frac{2P}{\sqrt{2}} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{2}P}{2} = \underline{\underline{\sqrt{2}P}}$$

6 単位の換算



例題

300cm^4 を mm^4 で表しなさい。

解答

まずは1cmが何mmかを考える。

1cm=10mmのため、両辺を4乗して

$$(1\text{cm})^4 = (10\text{mm})^4$$

$1^4\text{cm}^4 = 10^4\text{mm}^4$ ← $(1\text{cm})^4$ を求める際、数値(1)と単位(cm)が4乗される

$$1\text{cm}^4 = 10^4\text{mm}^4$$

$$\text{したがって、} 300\text{cm}^4 = 300 \times 10^4\text{mm}^4 = 3 \times 10^2 \times 10^4\text{mm}^4 = \underline{\underline{3 \times 10^6\text{mm}^4}}$$



例題

300mm⁴をcm⁴で表しなさい。

解答

まずは1mmが何cmかを考える。

1cm=10mmのため、両辺を10で割り、右边と左边を逆にして

$$1\text{mm}=10^{-1}\text{cm} \quad \leftarrow \quad \frac{1}{10}=10^{-1}\text{となる}$$

両辺を4乗して

$$(1\text{mm})^4=(10^{-1}\text{cm})^4$$

$$1^4\text{mm}^4=(10^{-1})^4\text{cm}^4 \quad \leftarrow \quad (1\text{mm})^4\text{を求める際、数値}(1)\text{と単位}(\text{mm})\text{が4乗される}$$

$$1\text{mm}^4=10^{-4}\text{cm}^4$$

$$\begin{aligned} \text{したがって、} 300\text{mm}^4 &= 300 \times 10^{-4}\text{cm}^4 = 3 \times 10^2 \times 10^{-4}\text{cm}^4 \\ &= \underline{3 \times 10^{-2}\text{cm}^4} (=0.03\text{cm}^4) \end{aligned}$$



例題

200,000N・mmをkN・mで表しなさい。

解答

まずは1Nが何kNで、1mmが何mかを考える。

1kN=1,000Nなので、両辺に 10^{-3} ($=\frac{1}{1,000}$) をかけ、
右边と左边を逆にして $1\text{N}=10^{-3}\text{kN}$

1m=1,000mmなので、両辺に 10^{-3} ($=\frac{1}{1,000}$) をかけ、
右边と左边を逆にして $1\text{mm}=10^{-3}\text{m}$

$$\begin{aligned} \text{したがって、} 200,000\text{N} \cdot \text{mm} &= 2 \times 10^5 \text{N} \cdot \text{mm} \\ &= 2 \times 10^5 \times 10^{-3}\text{kN} \times 10^{-3}\text{m} \\ &= \underline{2 \times 10^{-1}\text{kN} \cdot \text{m}} (=0.2\text{kN} \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

第1章 建築物に働く力

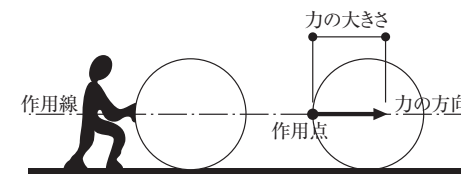
建築物に加わる力を荷重、建築物が地面と接する部分を支点といいます。また支点には、荷重によって建築物が動かないように、地面が押し返す力である反力が生じています。ここではまず、この反力を計算してみましょう。

第1節 力のつり合い

1 力及びモーメント

1 力の3要素

物体を押したり、引いたりすると物体には力が作用して移動します。その力を表すものに、力の大きさ、力の方向、力の作用点（力が作用する点）があり、これらを力の3要素と呼びます。



力の3要素

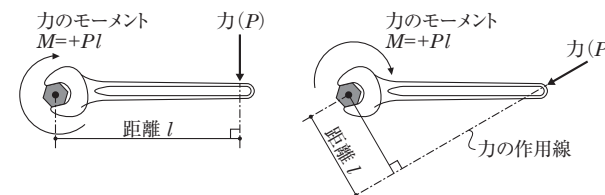
力の単位として、N（ニュートン）、kN（キロニュートン）が使われます。

2 モーメント

モーメントとは、ある点を中心として力が回転を起こす働きのことをいい、記号Mで表します。**モーメントは、力に距離を乗じて求めますが**、距離の取り方は図のように力の作用線に垂線を下ろした最短距離とします。

$$\text{モーメント} M = \text{力} \times \text{距離 (力の作用線に下ろした垂線の長さ)}$$

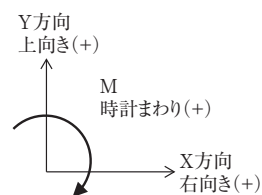
モーメントの単位として、N・mm、kN・mなどが使われます。



3 力及びモーメントの符号

本書では、後述する力のつり合い条件式を用いて反力や応力を計算するときに、力及びモーメントの正の方向を右図のように仮定します。

すなわち、水平方向（X方向）は右向き、鉛直方向（Y方向）は上向き、モーメントは時計回りを、それぞれ正（+）の方向とします。



2 力のつり合い

1 力のつり合い条件式

物体にいくつかの力が作用しているとき、その物体が移動も回転もしないで静止状態であれば、これらの力は「つり合っている」といいます。

力がつり合って物体が静止しているとき、X方向の力をすべて足したときに0となり、Y方向の力をすべて足したときに0となり、回転させようとするモーメントをすべて足したときに0になります。

例えば、地面に置かれた物体に右向きの力P（+の向き）が作用し、地面から同じ大きさPで左向き（-の向き）の力を受けたときに、X方向の力の合計は、 $+P - P = 0$ となり、つり合っています。

力がつり合っているときに、次の3つの力のつり合い条件式が成り立ちます。

- $\Sigma X = 0$ X方向の力の総和が0
- $\Sigma Y = 0$ Y方向の力の総和が0
- $\Sigma M = 0$ 任意の点で、モーメントの総和が0

つり合い条件式のうち、 $\Sigma M = 0$ は、回転の中心をどの点に選んでも必ず成り立ちます。「 Σ 」は、すべての数を足すという記号で、シグマと読みます。

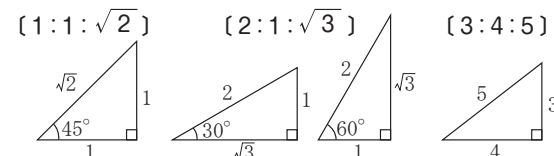


2 力の分解

力のつり合い条件式 $\Sigma X = 0$ 、 $\Sigma Y = 0$ を使用するとき、例えば、力が斜め方向に作用している場合や、部材が斜めになっている場合には、力の向きや部

材に生じる力を計算するとき、XY方向に分解してから力のつり合い条件式 $\Sigma X = 0$ 、 $\Sigma Y = 0$ を用います。

試験では、以下に示す直角三角形が出題されます。

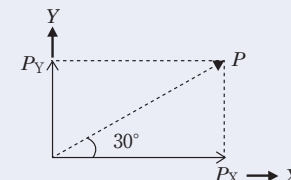


図に示す、直角三角形の3辺の比は絶対に覚えましょう。 $\sqrt{2} \approx 1.41$ 、 $\sqrt{3} \approx 1.73$ で、斜辺が一番長くなります。



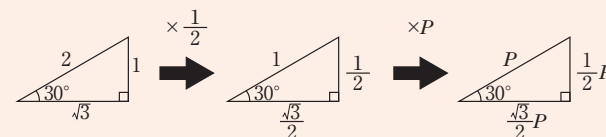
例題

X軸に対して 30° の角度で力Pが作用するとき、Pを X_Y 方向に分解した力 P_X 、 P_Y を求めなさい。



解答

30° を含む直角三角形の比は、図に示すとおり $1 : 2 : \sqrt{3}$ になる。すべての辺の長さを $\frac{1}{2}$ 倍して、力Pの辺の比2を1にする。次にすべての辺の長さをP倍すると、 P_X 、 P_Y を求めることができる。



$$P_X = \frac{\sqrt{3}}{2}P$$

$$P_Y = \frac{1}{2}P$$

第2節 静定構造物

1 支点と反力

1 支点

支点とは構造物を支えている点をいい、その点において、構造物を支えている力を反力と呼びます。支点は、次の3種類に分けることができます。

- 移動支点（ピンローラー）は、鉛直反力 V のみ生じます。
- 回転支点（ピン）は、鉛直反力 V と水平反力 H の2つの反力が生じます。
- 固定端（フィックス）は、鉛直反力 V 、水平反力 H 、モーメント反力 M の3つの反力が生じます。

【支点の種類と反力】

	移動支点 (ピンローラー)	回転支点 (ピン又はヒンジ)	固定端 (フィックス)
支 点			
記 号			
反力の種類	V : 鉛直反力	V : 鉛直反力 H : 水平反力	V : 鉛直反力 H : 水平反力 M : モーメント (回転) 反力

鉛直反力は、 V の他に R が使われることもあります。



2 節点

節点とは、柱と梁など部材と部材を接合している点で、次の2つがあります。滑節点（ピン又はヒンジ）は自由に回転する節点で、鉛直方向、水平方向の力を伝達します。剛節点は回転が拘束されている節点で、鉛直方向、水平方向の力、モーメントを伝達します。

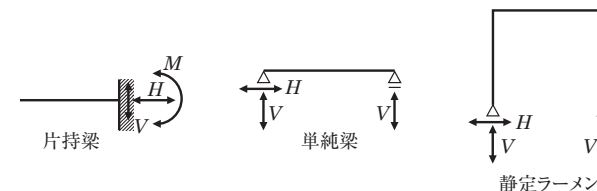
	滑節点 (ピン節点又はピン複合)	剛節点 (剛接合)
節 点		
記 号		
力の伝達	鉛直方向、水平方向の2つ	鉛直方向、水平方向、モーメントの3つ

2 静定構造物と不静定構造物

1 静定構造物

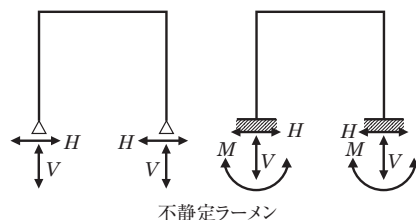
静定構造物とは、3つの力のつり合い条件式 $\sum X = 0$ 、 $\sum Y = 0$ 及び $\sum M = 0$ のみで反力を求めることができる構造物です。

静定構造物の主な種類には、片持梁、単純梁、静定ラーメンがあります。



2 不静定構造物

不静定構造物とは、図に示すように、4つ以上の反力が生じ、つり合い条件式のみでは反力を求めることができない構造物です。力のつり合い条件式のみでは反力を求めることができないので、変形も考慮して、反力を求める必要があります。



二級建築士の問題では、過去に不静定構造物は出題されていませんので、解説は省略します。



第3節 静定構造物の反力

1 静定構造物の反力計算

1 荷重の種類

代表的な荷重は次のようになります。

反力計算を行うときには、分布荷重は**集中荷重に置き換えて**、分布荷重の重心位置に集中荷重が作用すると考えます。

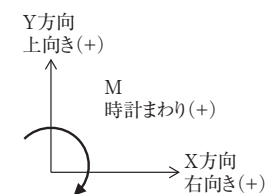
荷重の状態		表 示	反力計算時の取り扱い
集中荷重	一点に集中して作用する荷重		そのまま力のつり合いを考える
等分布荷重	同じ大きさで、一様に分布する荷重		重心に作用する集中荷重に置き換える
等変分布荷重	一定の割合で、増加又は減少する分布荷重		重心に作用する集中荷重に置き換える

2 反力計算の手順

反力は、次の手順で求めます。

① 支点に反力を仮定する

反力の向きは、一般に右図の**プラス側に仮定**します(問題文に反力のプラスの向きが指定されている場合は、それに従います)。



② 力のつり合い条件式により反力を求める

- $\sum X = 0$
- $\sum Y = 0$
- $\sum M = 0$ (任意の点において)

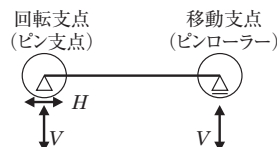
力のつり合い条件式を用いて反力を計算します。それぞれの方向ですべての力を足したものが0となる式を立てることで、不明な力である反力を求めます。

3 反力の向きを判断する

計算した結果の反力の値が+なら仮定どおりの向きであり、-なら仮定と反対の向きです。

3 単純梁の反力計算

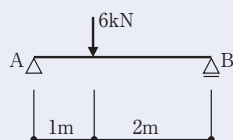
単純梁とは、回転支点（鉛直反力 V と水平反力 H ）と移動支点（鉛直反力 V ）で支持される梁で、反力の合計は3つになります。



例題

【集中荷重が作用する場合の反力計算】

図のような荷重を受ける単純梁の、支点A、Bに生じる鉛直反力 V_A 、 V_B の値を求めなさい。



解答

- 支点到反力を仮定する
- H_A を求める
X方向の荷重がないため、 $H_A = 0$

- V_A を求める
 V_A はY方向の力であるが、 $\Sigma Y = 0$ のつり合い式を立てると、式中に V_A 、 V_B の2つの反力が入ってしまい、これだけでは反力が求まらない。そこで、 V_A 以外の反力である H_A と V_B の作用線の交点であるB点で $\Sigma M_B = 0$ を計算すると、反力 V_A を簡単に求めることができる。

$\Sigma M_B = 0$ より

$$(V_A \times 3\text{m}) - (6\text{kN} \times 2\text{m}) = 0$$

$$\therefore V_A = +4\text{ kN} \text{ (結果が+なので仮定どおり上向き)}$$

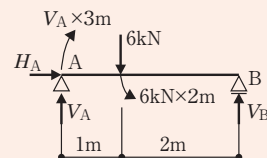
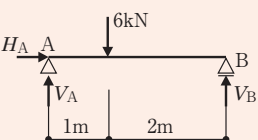
- $\Sigma Y = 0$ より、 V_B を求める

$$V_A - 6\text{ kN} + V_B = 0$$

$$4\text{ kN} - 6\text{ kN} + V_B = 0$$

$$\therefore V_B = +2\text{ kN}$$

(結果が+なので仮定どおり上向き)

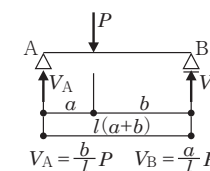


$\Sigma M_B = 0$ はB点を回転の中心としたときの、曲げモーメントの総和が0を表します。このように、最初に、求める反力の反対側の支点で $\Sigma M = 0$ のつり合い式を計算すると、効率よく反力が求められます。

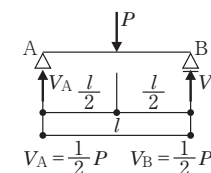


【覚えておくと便利な公式】

右図のような荷重が作用するとき、A、B両支点の鉛直反力は、長さの比で求めることができます。

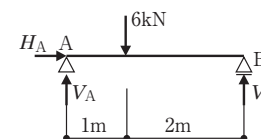


また、荷重が支点に対して左右対称に作用している場合は、全荷重の $\frac{1}{2}$ の大きさの反力が両支点到生じます。



この公式を使って、例題の反力 V_A を求めると以下となります。

$$\begin{aligned} V_A &= \frac{2\text{ m}}{1\text{ m} + 2\text{ m}} \times 6\text{ kN} \\ &= \frac{2\text{ m}}{3\text{ m}} \times 6\text{ kN} \\ &= +4\text{ kN} \text{ (上向き)} \end{aligned}$$

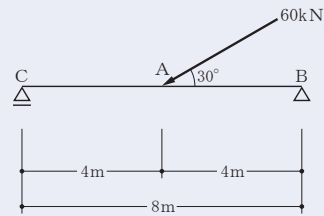




例題

【傾斜集中荷重が作用する場合の反力計算】

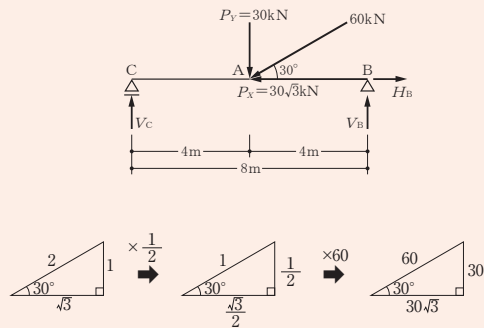
図のような荷重を受ける単純梁の、支点B、Cに生じる鉛直反力 V_B 、 V_C 及び支点Bに生じる水平反力 H_B の値を求めなさい。



解答

- 支点到反力を仮定する
- 傾斜集中荷重をX、Y方向に分解する

X、Y方向に分解した力を P_X 、 P_Y とする。30° (60°) の直角三角形の辺の比 (1 : 2 : $\sqrt{3}$) を利用して、 P_X 、 P_Y の大きさを求める。



$$P_X = 30\sqrt{3} \text{ kN (左向き)}$$

$$P_Y = 30 \text{ kN (下向き)}$$

X、Y方向に分解した力 P_X 、 P_Y は、A点に働くものとする。

- V_B 、 V_C を求める

鉛直反力 V_B 、 V_C は、分解した鉛直方向の力 $P_Y = 30 \text{ kN}$ によって生じ、 P_Y はスパンの中央に作用しているので、 V_B 、 V_C は、 P_Y の $\frac{1}{2}$ の値になる。

$$\therefore V_B = V_C = \frac{P_Y}{2} = \frac{30 \text{ kN}}{2} = +15 \text{ kN (上向き)}$$

- $\Sigma X = 0$ より、 H_B を求める

$$H_B - 30\sqrt{3} \text{ kN} = 0$$

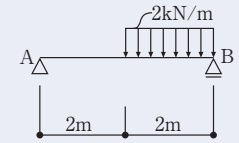
$$\therefore H_B = +30\sqrt{3} \text{ kN (右向き)}$$



例題

【等分布荷重が作用する場合の反力計算】

図のような荷重を受ける単純梁の、支点A、Bに生じる鉛直反力 V_A 、 V_B の値を求めなさい。



解答

- 等分布荷重を集中荷重に置き換える
集中荷重 = $2 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} = 4 \text{ kN}$
- 支点到反力を仮定する
以降は、単純梁に集中荷重が作用した場合と同様である。

- $\Sigma M_B = 0$ より、 V_A を求める

$$(V_A \times 4 \text{ m}) - (4 \text{ kN} \times 1 \text{ m}) = 0$$

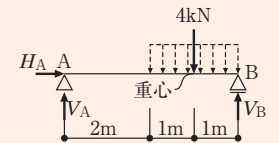
$$\therefore V_A = +1 \text{ kN (上向き)}$$

- $\Sigma Y = 0$ より、 V_B を求める

$$V_A - 4 \text{ kN} + V_B = 0$$

$$1 \text{ kN} - 4 \text{ kN} + V_B = 0$$

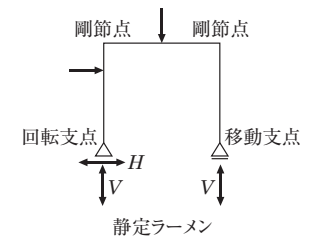
$$\therefore V_B = +3 \text{ kN (上向き)}$$



4 静定ラーメンの反力計算

柱と梁などの部材が剛接合された骨組をラーメンといい、単純梁同様に、一端が回転支点（鉛直反力 V と水平反力 H ）、他端が移動支点（鉛直反力 V ）で支持されたものを、静定ラーメンといいます。

反力計算の手順は、単純梁と同様です。

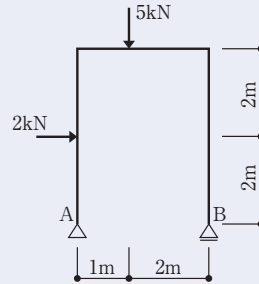




例題

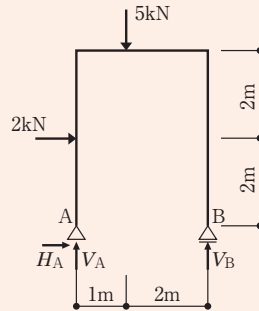
【集中荷重が作用する場合の反力計算】

図のような荷重を受ける静定ラーメンの、支点A、Bに生じる鉛直反力 V_A 、 V_B 及び支点Aに生じる水平反力 H_A の値を求めなさい。



解答

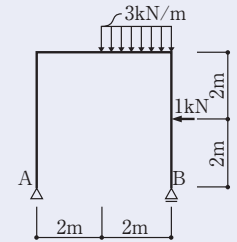
- 支点に反力を仮定する
- $\Sigma X = 0$ より、 H_A を求める
 $H_A + 2\text{kN} = 0$
 $\therefore H_A = -2\text{kN}$ (左向き)
 次に鉛直反力を求める。回転支点 (A点) で $\Sigma M_A = 0$ を計算することで、 V_B を求めることができる。
- $\Sigma M_A = 0$ より、 V_B を求める
 $(2\text{kN} \times 2\text{m}) + (5\text{kN} \times 1\text{m}) - (V_B \times 3\text{m}) = 0$
 $4 + 5 - 3V_B = 0$
 $\therefore V_B = +3\text{kN}$ (上向き)
- $\Sigma Y = 0$ より、 V_A を求める
 $V_A - 5\text{kN} + V_B = 0$
 $V_A - 5\text{kN} + 3\text{kN} = 0$
 $\therefore V_A = +2\text{kN}$ (上向き)



例題

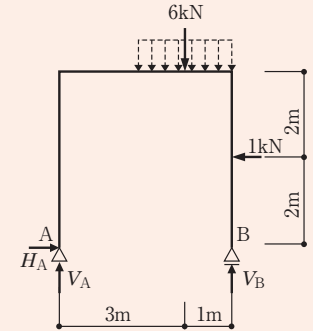
【等分布荷重が作用する場合の反力計算】

図のような荷重を受ける静定ラーメンの、支点A、Bに生じる鉛直反力 V_A 、 V_B 及び支点Aに生じる水平反力 H_A の値を求めなさい。



解答

- 等分布荷重を集中荷重に置き換える
 集中荷重 = $3\text{kN/m} \times 2\text{m} = 6\text{kN}$
- 支点に反力を仮定する
 以降は、静定ラーメンに集中荷重が作用した場合と同様である。
- $\Sigma X = 0$ より、 H_A を求める
 $H_A - 1\text{kN} = 0$
 $\therefore H_A = +1\text{kN}$ (右向き)
 次に鉛直反力を求める。回転支点 (A点) で $\Sigma M_A = 0$ を計算することで、 V_B を求めることができる。
- $\Sigma M_A = 0$ より、 V_B を求める
 $(6\text{kN} \times 3\text{m}) - (1\text{kN} \times 2\text{m}) - (V_B \times 4\text{m}) = 0$
 $18 - 2 - 4V_B = 0$
 $\therefore V_B = +4\text{kN}$ (上向き)
- $\Sigma Y = 0$ より、 V_A を求める
 $V_A - 6\text{kN} + V_B = 0$
 $V_A - 6\text{kN} + 4\text{kN} = 0$
 $\therefore V_A = +2\text{kN}$ (上向き)



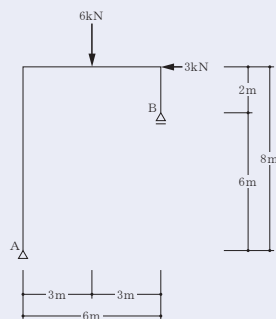


例題

【集中荷重が作用する場合の反力計算

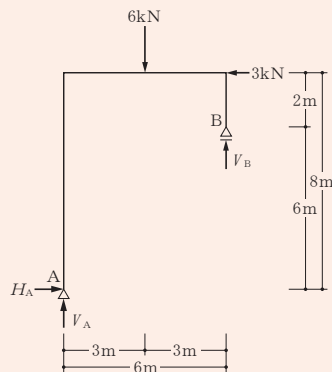
(支点の高さが異なる場合)】

図のような荷重を受ける静定ラーメンの、支点A、Bに生じる鉛直反力 V_A 、 V_B 及び支点Aに生じる水平反力 H_A の値を求めなさい。



解答

- 支点到反力を仮定する
- $\sum X = 0$ より、 H_A を求める
 $H_A - 3 \text{ kN} = 0$
 $\therefore H_A = +3 \text{ kN}$ (右向き)
 次に鉛直反力を求める。回転支点(A点)で $\sum M_A = 0$ を計算することで、 V_B を求めることができる。
- $\sum M_A = 0$ より、 V_B を求める
 $(6 \text{ kN} \times 3 \text{ m}) - (3 \text{ kN} \times 8 \text{ m}) - (V_B \times 6 \text{ m}) = 0$
 $18 - 24 - 6 V_B = 0$
 $\therefore V_B = -1 \text{ kN}$ (下向き)
- $\sum Y = 0$ より、 V_A を求める
 $V_A - 6 \text{ kN} + V_B = 0$
 $V_A - 6 \text{ kN} - 1 \text{ kN} = 0$
 $\therefore V_A = +7 \text{ kN}$ (上向き)



反力が2つある回転支点Aを回転の中心にして $\sum M_A = 0$ のつり合い式を計算すると、移動支点Bの鉛直反力 V_B が簡単に求められます。



第2章 静定構造物の応力

荷重と反力を合わせて外力といいます。建築物にこれら外力が作用した際、柱や梁などの部材内部に生じ、部材を変形させようとする力が応力です。ここでは反力に続いて、応力の計算をしてみましょう。

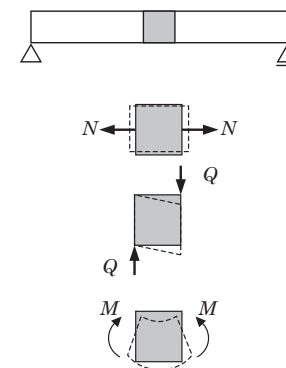
第1節 応力

1 応力の種類

第1章で学習したように、建築物に荷重が作用すると、荷重につり合うように反力が生じます。荷重と反力はともに部材の外部から加わる力であり、「外力」といいます。

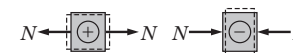
この外力によって、部材の内部には、引っ張られたり、圧縮されたり、ずらされたり、曲げられたりする力が生じます。この部材の内部に生じる力を「応力」といいます。応力は、右図のように、大きさが等しく、向きを反対とする「つり合う1対の力」です。

部材に生じる応力の種類は、軸方向力 N 、せん断力 Q 、曲げモーメント M の3種類です。



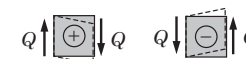
【1】軸方向力 N (kN)

部材の材軸方向に生じる応力で、引張力と圧縮力があり、引張力を(+)、圧縮力を(-)とします。



【2】せん断力 Q (kN)

部材の材軸と直交する方向に作用する応力です。長方形の部材にせん断力が作用すると、平



TAC

