

合格対策

令和 6 年版

# 一級建築士 受験講座

学科 **IV** 構造

一般社団法人 全日本建築士会 編

理工図書

合格対策

# 一級建築士 受験講座

学科 **IV** [構造]

令和 **6** 年版

一般社団法人 全日本建築士会 編



## 「一級建築士受験講座」 発刊にあたって

建築士の資格は昭和25年に制定された永い歴史と伝統をもつ国家資格の一つである。この間、科学技術は驚異的な進歩を遂げ、技術革新、巨大科学の時代を迎えた。建築学の分野においても、新工法・新材料の開発は目覚ましく、施工の高度機械化、材料の工場生産化等に伴い、設計施工の手法はますます先端技術化しつつある。

この開発、研究、施工などは、各分野における建築技術者の高い技術水準により支えられている。建築技術者について、必要な技術水準を示す資格として建築士法に基づく「建築士」があり、特に設計、施工監理に従事する人にとっては、不可欠のものとなっていることは言うまでもない。

このような中で、一級建築士の試験は年々難しさを増してきているが、あくまでも資格試験である以上、偏りのない広範な知識と応用力を持っていれば十分合格し得るはずである。

受験者は、おおむね社会に出て第一線で活躍し始めたばかりの中堅技術者であり、勉強の時間も比較的少ないことを思い、真に役立つ知識、応用力が、短時間で身につくよう編集に気を配った。

今回の改訂にあたっては、特に建築士試験制度の改正にも対応し、一方、最近の出題内容の高度化の傾向に対して、既出の問題を徹底的に分析の上に必要な事項を増補し、また、その解説を通じて応用的な知識を得られるように問題を特に精選し、基礎・基本から応用まで確実にマスターできる内容のものとした。本文下欄の重要語句は期せずして合格のために最低限必要な単語集となり、本書一冊で総合解説書・精選問題集・用語集の三冊分の価値があるものとなっていると考えている。なお、掲載した過去の試験問題は、実際の試験では出題年度の1月1日に施行されている法令で解答するものであるが、本書では原則、最新の法令で解説をしている。

編集委員、執筆者は、いずれも豊富な学識、実務経験を有し、全日本建築士会中央建築技術研修所における一級建築士受験講座の講師・模擬試験問題作成等の経験を基に、そのノウハウを本書に凝縮させたものであるから、本書の熟読によって、必ずや合格の栄光は手中になるものと信ずる次第である。

2023年10月

一般社団法人 全日本建築士会  
建築士受験講座編集委員会

## 学科Ⅳ（構造）を受験される方へ

建築構造における内容を大別すると、構造力学、構造設計、一般構造、建築材料に分けることができる。

近年の各部門における出題量をみると、毎年多少の変化はあるものの、構造力学、構造設計、一般構造で約9割程度、建築材料で1割程度となっている。

それらの内容を分析してみると、構造力学では静定構造物の応力、静定トラス、断面の性質、応力度、変形、座屈、不静定構造物の応力など、構造設計では荷重、外力、設計用地震力、固有周期、振動、全塑性モーメント、崩壊荷重、耐震設計、構造計画など、一般構造では地盤、基礎構造、鉄骨構造、鉄筋コンクリート構造、鉄骨鉄筋コンクリート構造、壁構造、木質構造などが毎年出題されている。

建築材料では範囲が広いわりには出題数は少なく、セメント、コンクリート、鋼、アルミニウム、木材等がよく出題されている。

以上のように構造は内容が広く、広範囲から出題され、また、近年の傾向として、高度の知識、応用力を要する問題も出題されるようになってきた。

よく「私はどうも構造が苦手である」と言われるのを聞くが、ほとんどの受験生が構造力学に原因があるように見える、これは、構造力学は暗記だけでは問題を解くことは難しく、基本的事項についての理解の積み重ねが必要なことによると考えられる。一見複雑な問題に思えるものでも、確実な基本事項についての理解と応用力が身につけていけば、必ず解法のポイントがつかめるはずである。本書では今回の改訂で、これらのことに特に配慮して、解説・練習問題を通じて基本的な内容から高度な内容まで着実に学習できるような内容となっており、近年の新傾向の問題にも適切に対応できる内容のものとなっている。

なお、今回より新たに理工図書（株）からの刊行となったが、新たな装いの本書を読者諸氏が十二分に活用されて合格されんことを切望する。

まず基本的な事項から着実に学習され、応用へと積み重ねて行くことにより、目的が必ず達成されるものと信ずる。

# 目 次

- 1 構造計算 …… 1
  - 1.1 材料力学 …… 1
    - 1.1.1 断面の性質 …… 1
    - 1.1.2 応力とひずみ …… 5
    - 1.1.3 座 屈 …… 8
    - 1.1.4 振 動 …… 10
    - 1.1.5 地震応答スペクトル …… 11
      - 例 題（解答と解説） …… 13
  - 1.2 構造力学 …… 25
    - 1.2.1 力のつりあい …… 25
    - 1.2.2 骨 組 …… 27
    - 1.2.3 静定構造物の応力 …… 30
    - 1.2.4 静定トラス …… 34
    - 1.2.5 不静定構造物と変形 …… 37
      - 例 題（解答と解説） …… 45
    - 1.2.6 荷重と外力 …… 77
    - 1.2.7 構造設計 …… 81
      - 例題（解答と解説） …… 89
  - 1.3 地盤と基礎構造 …… 119
    - 1.3.1 地 盤 …… 119
    - 1.3.2 基礎の設計 …… 121
    - 1.3.3 基礎スラブの設計 …… 128
    - 1.3.4 擁 壁 …… 130
    - 1.3.5 地盤改良工法 …… 132
      - 例 題（解答と解説） …… 133
- 2 一般構造 …… 147
  - 2.1 木構造 …… 147
    - 2.1.1 各部構造 …… 147
    - 2.1.2 部材の算定 …… 149
    - 2.1.3 接 合 …… 153
    - 2.1.4 木造建築物の軸組みの設置基準 …… 156
    - 2.1.5 枠組壁工法 …… 157
    - 2.1.6 防腐・防蟻 …… 160
      - 例 題（解答と解説） …… 161
  - 2.2 鋼構造 …… 169
    - 2.2.1 鋼構造の特性 …… 169
    - 2.2.2 許容応力度 …… 169
    - 2.2.3 接 合 …… 170
    - 2.2.4 部材の設計 …… 175
    - 2.2.5 柱 脚 …… 178

2.2.6	継手・仕口	179
2.2.7	鉄骨造の耐震計算	181
	例題（解答と解説）	189
2.3	鉄筋コンクリート構造	198
2.3.1	特性	198
2.3.2	材料の性質と許容応力度	198
2.3.3	部材の算定	202
2.3.4	鉄筋コンクリート造の耐震計算	216
	例題（解答と解説）	223
2.4	鉄骨鉄筋コンクリート構造	237
2.4.1	構造の細則	237
2.4.2	応力算定の基本仮定	238
2.4.3	部材の算定	238
	例題（解答と解説）	241
2.5	その他の構造等	244
2.5.1	組積造	244
2.5.2	補強コンクリートブロック造	246
2.5.3	壁式鉄筋コンクリート造	251
2.5.4	プレストレストコンクリート造	253
2.5.5	制振構造・免震構造	255
	例題（解答と解説）	260
2.6	日本住宅性能表示基準	270
3	材料	273
3.1	木材	273
3.1.1	分類	273
3.1.2	用語	273
3.1.3	性質	274
3.1.4	木材の加工品	276
	例題（解答と解説）	277
3.2	コンクリート	280
3.2.1	材料	280
3.2.2	コンクリートの調合	282
3.2.3	コンクリートの性質	282
3.2.4	各種コンクリート	284
	例題（解答と解説）	286
3.3	金属材料	292
3.3.1	鉄鋼材料	292
3.3.2	非鉄金属材料	294
3.3.3	金属の腐食	295
	例題（解答と解説）	297
3.4	石材	301

3.4.1	石材の性質	……	301
3.4.2	石材の分類	……	301
3.4.3	主要石材	……	302
3.4.4	テラゾー	……	303
	例題（解答と解説）	……	304
3.5	ガラス	……	306
3.5.1	成分・主原料	……	306
3.5.2	組成別分類	……	306
3.5.3	形状別分類	……	307
	例題（解答と解説）	……	308
3.6	プラスチック	……	309
3.6.1	熱硬化性樹脂，熱可塑性樹脂	……	309
3.6.2	平板，波板	……	309
3.6.3	押出成形品	……	310
3.6.4	化粧板	……	310
3.6.5	光天井，トップライト，フレームレス・ドア	……	310
3.6.6	プラスチック・タイル	……	311
3.6.7	その他	……	311
	例題（解答と解説）	……	312
3.7	アスファルトおよびコールタール類	……	313
3.7.1	アスファルト	……	313
3.7.2	アスファルト系防水材料	……	313
3.7.3	コールタールとピッチ	……	314
	例題（解答と解説）	……	315
	重要語句	……	316





# 1 構造計算

## 1.1 材料力学

### 1.1.1 断面の性質

#### (A) 断面諸係数

(a) 断面1次モーメント (S) 断面1次モーメントは断面図形の図心の位置を求める場合に利用することが多い。図1.1.1による断面1次モーメントは、断面積に図心から任意に定めた軸までの距離をかけて求めることができる。

$$S_X = A \times y_0 \dots\dots\dots(1)$$

$$S_Y = A \times x_0 \dots\dots\dots(2)$$

$S_X$  : X軸に関する断面1次モーメント (mm<sup>3</sup>)

$S_Y$  : Y軸に関する断面1次モーメント (mm<sup>3</sup>)

A : 断面積 (cm<sup>2</sup>)

$x_0$  : Y軸から図心までの距離 (mm)

$y_0$  : X軸から図心までの距離 (mm)

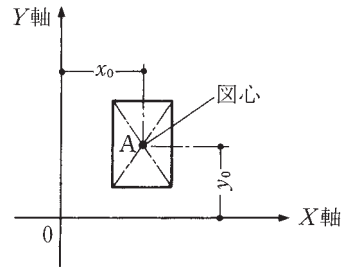


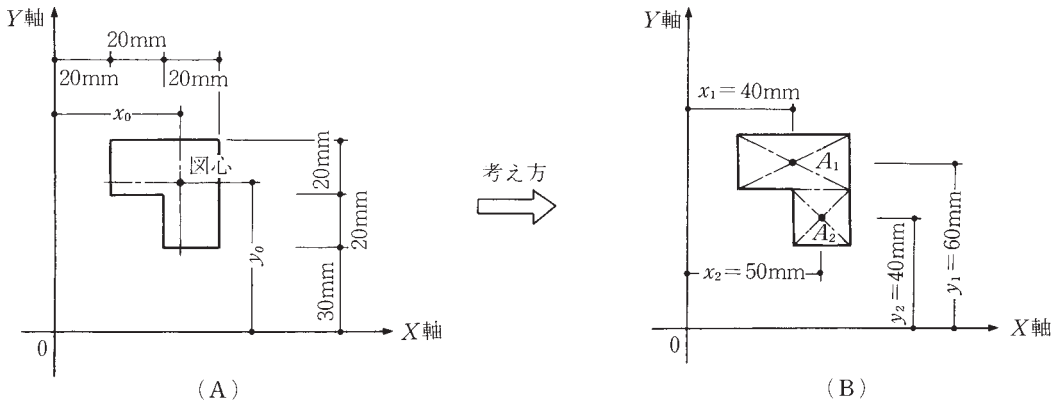
図 1.1.1

(i) 図心の求め方 断面図形の図心の位置を求める場合は、(1)、(2)式より求めることができる。

$$y_0 = \frac{S_X}{A} \text{ (mm)}$$

$$x_0 = \frac{S_Y}{A} \text{ (mm)}$$

図1.1.2 (A) による断面図形の図心の位置  $x_0$ ,  $y_0$  は次のようにして求める。



考え方  
➡

図 1.1.2

考え方として、図 1.1.2 (B) のように図心のわかる図形に分割し、断面 1 次モーメントを求めから図心までの距離  $x_0, y_0$  を求める。

$$S_X = S_{X1} + S_{X2} = 48000 \text{ mm}^3 + 16000 \text{ mm}^3 = 64000 \text{ mm}^3$$

$$\left[ \begin{array}{l} S_{X1} = A_1 \times y_1 = 40 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} = 48000 \text{ mm}^3 \\ S_{X2} = A_2 \times y_2 = 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} = 16000 \text{ mm}^3 \end{array} \right]$$

$$y_0 = \frac{S_X}{A} = \frac{64000 \text{ mm}^3}{1200 \text{ mm}^2} \approx 53.3 \text{ mm}$$

$$[A = A_1 + A_2 = 40 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} + 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}^2]$$

$$S_Y = S_{Y1} + S_{Y2} = 32000 \text{ mm}^3 + 20000 \text{ mm}^3 = 52000 \text{ mm}^3$$

$$\left[ \begin{array}{l} S_{Y1} = A_1 \times x_1 = 20 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} = 32000 \text{ mm}^3 \\ S_{Y2} = A_2 \times x_2 = 20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} = 20000 \text{ mm}^3 \end{array} \right]$$

$$x_0 = \frac{S_Y}{A} = \frac{52000 \text{ mm}^3}{1200 \text{ mm}^2} \approx 43.3 \text{ mm}$$

(b) 断面 2 次モーメント ( $I$ )

断面 2 次モーメントは部材の変形しにくさを表わし、部材のたわみなどに関係する。

断面 2 次モーメントが大きくなると部材はたわみにくくなる。

断面 2 次モーメントには、図心軸に関する断面 2 次モーメントと図心軸以外の軸に関する断面 2 次モーメントがある。

(i) 図心軸に関する断面 2 次モーメントの求め方 図 1.1.3 における長方形断面の断面 2 次モーメントは、次の式で求める。

$$I_x = \frac{\text{幅} \times (\text{せい})^3}{12} = \frac{b \times h^3}{12} \text{ (mm}^4\text{)}$$

$$I_y = \frac{\text{幅} \times (\text{せい})^3}{12} = \frac{h \times b^3}{12} \text{ (mm}^4\text{)}$$

$I_x$ :  $x$  軸に関する断面 2 次モーメント (mm<sup>4</sup>)

$I_y$ :  $y$  軸に関する断面 2 次モーメント (mm<sup>4</sup>)

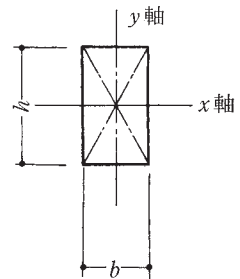
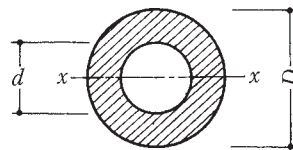
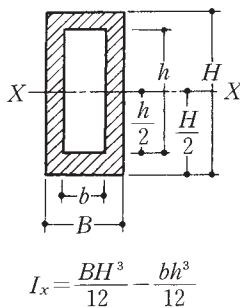


図 1.1.3

図 1.1.4 のような中空断面の断面 2 次モーメントを求める場合には、断面 2 次モーメントの差をとるとよい。



$$I_x = \frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi d^4}{64}$$

$$= \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$$

図 1.1.4

(ii) 図心軸以外の軸に関する断面2次モーメント 図 1.1.5 のように図心軸 ( $x$ ) 以外の軸に関する断面2次モーメントは次の式で求められる。

$$I_X = I_x + A \cdot y_0^2 \quad (\text{mm}^4)$$

$I_X$ :  $X$  軸に関する断面2次モーメント ( $\text{mm}^4$ )

$I_x$ :  $x$  軸に関する断面2次モーメント ( $\text{mm}^4$ )

$A$ : 断面積 ( $\text{mm}^2$ )

$X$ : 図心軸  $x$  に平行な軸

$y_0$ :  $X \sim x$  間の距離 ( $\text{mm}$ )

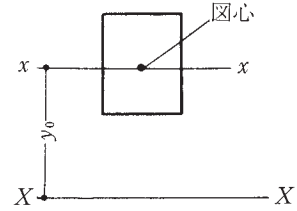


図 1.1.5

(c) 断面係数 ( $Z$ ) 断面係数は部材の曲げ強さを示す係数で、その値が大きいほど曲げ強さは強くなる。図 1.1.6 のように、断面係数は図心を通る軸についての断面2次モーメントの値を図心軸から縁までの距離で除して求める。

$$Z_{x1} = \frac{I_x}{h_1}$$

$$Z_{x2} = \frac{I_x}{h_2}$$

$Z_{x1}, Z_{x2}$ :  $x$  軸に関する断面係数 ( $\text{mm}^3$ )

$I_x$ :  $x$  軸に関する断面2次モーメント ( $\text{mm}^4$ )

$h_1, h_2$ :  $x$  軸から断面の最も遠い縁までの距離 ( $\text{mm}$ )

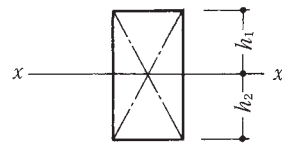


図 1.1.6

$h_1 = h_2$  の場合は、 $Z_{x1} = Z_{x2}$  となる。

いま、図 1.1.7 のような長方形の断面係数を求めてみる。

$$Z_x = \frac{\frac{bh^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{bh^3}{12} \times \frac{2}{h} = \frac{bh^2}{6}$$

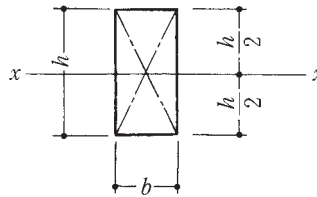


図 1.1.7

この式は記憶しておくとう便利である。

(d) 断面2次半径 ( $i$ ) 断面2次半径は圧縮材などの座屈しにくさを示す係数で、断面2次半径が大きいほど座屈しにくい。

図 1.1.8 のような断面2次半径は次式より求まる。

(i) x 軸に関する断面 2 次半径

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{bh^3}{12}}{b \times h}} = \frac{h}{2\sqrt{3}} \approx 0.29 h$$

(ii) y 軸に関する断面 2 次半径

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{\frac{hb^3}{12}}{b \times h}} = \frac{b}{2\sqrt{3}} \approx 0.29 b$$

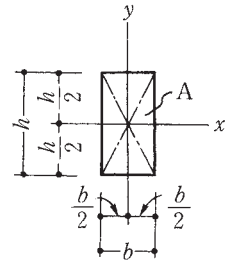


図 1.1.8

$i_x$  : x 軸に関する断面 2 次半径 (mm)

$i_y$  : y 軸に関する断面 2 次半径 (mm)

$I_x$  : x 軸に関する断面 2 次モーメント (mm<sup>4</sup>)

$I_y$  : y 軸に関する断面 2 次モーメント (mm<sup>4</sup>)

A : 断面積 (cm<sup>2</sup>)

(e) 断面極 2 次モーメント ( $I_p$ ) 断面極 2 次モーメントは断面のねじれに関する係数で、円形、円筒形断面は、断面極 2 次モーメントは大きいほどねじれにくい。

図 1.1.9 のように、断面極 2 次モーメントは点についての断面 2 次モーメントで、点を原点 (O) として直交する x 軸と y 軸についての断面 2 次モーメントの和で求める。

$$I_p = I_x + I_y = \frac{bh^3}{12} + \frac{hb^3}{12} = \frac{bh(h^2 + b^2)}{12}$$

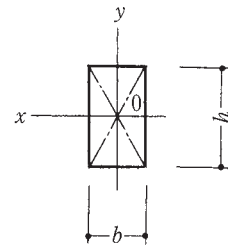


図 1.1.9

(f) 断面相乗モーメント ( $I_{xy}$ ) 断面相乗モーメントは断面主軸の算定に関する係数で、図 1.1.10 のような断面は次式で求める。

図心を通る軸に関する断面相乗モーメントが 0 になるような一組の直交する軸を、断面の主軸という。

$$I_{xy} = A \cdot x_0 \cdot y_0 \text{ (mm}^4\text{)}$$

$I_{xy}$  : 断面相乗モーメント (mm<sup>4</sup>)

$x_0$  : 図心軸から y 軸までの距離 (mm)

$y_0$  : 図心軸から x 軸までの距離 (mm)

A : 断面積 (mm<sup>2</sup>)

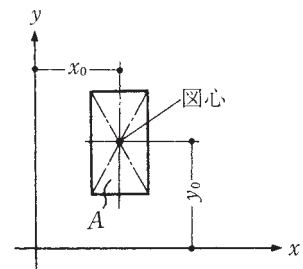
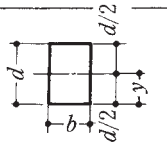
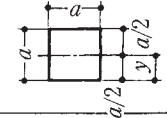
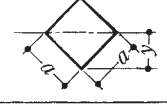
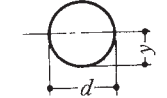
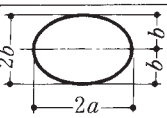
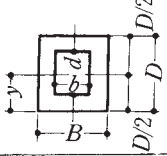
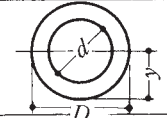
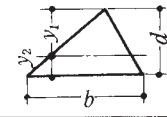


図 1.1.10

断面の係数について整理すると表 1.1.1 のようになる。

表 1.1.1

断面の形状	断面積	図心の位置	図心に関する断面2次モーメント ( $x$ 軸)	断面係数 ( $x$ 軸)	断面2次半径 ( $x$ 軸)
	$A$	$y$	$I$	$Z$	$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$
	$bd$	$\frac{d}{2}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{bd^2}{6}$	$\frac{d}{\sqrt{12}} = 0.289d$
	$a^2$	$\frac{a}{2}$	$\frac{a^4}{12}$	$\frac{a^3}{6}$	$\frac{a}{\sqrt{12}} = 0.289a$
	$a^2$	$\frac{\sqrt{2}a}{2}$	$\frac{a^4}{12}$	$\frac{\sqrt{2}a^3}{12}$	$\frac{a}{\sqrt{12}} = 0.289a$
	$\frac{\pi d^2}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi d^3}{32}$	$\frac{d}{4}$
	$\pi ab$	$b$	$\frac{\pi ab^3}{4}$	$\frac{\pi ab^2}{4}$	$\frac{b}{2}$
	$BD - bd$	$\frac{D}{2}$	$\frac{BD^3 - bd^3}{12}$	$\frac{BD^3 - bd^3}{6D}$	$\sqrt{\frac{BD^3 - bd^3}{12(BD - bd)}}$
	$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$	$\frac{D}{2}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D}$	$\frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4}$
	$\frac{bd}{2}$	$y_1 = \frac{2}{3}d$ $y_2 = \frac{1}{3}d$	$\frac{bd^3}{36}$	$Z_1 = \frac{bd^2}{24}$ $Z_2 = \frac{bd^2}{12}$	$\frac{\sqrt{2}}{6}d$

1.1.2 応力とひずみ

(A) 応力度

材の単位断面積あたりの応力の大きさを応力度という。

(a) 垂直応力度 図 1.1.11 のように断面がそれに垂直な軸方向力を受けるときその応力度を垂直応力度といい、引張応力度を正 (+)、圧縮応力度を負 (-) で示す。大きさは軸方向力をその断面積で除した値で  $\sigma = \pm \frac{P}{A}$  となる。

$P$ : 軸方向力 (N),  $A$ : 断面積 ( $\text{mm}^2$ )

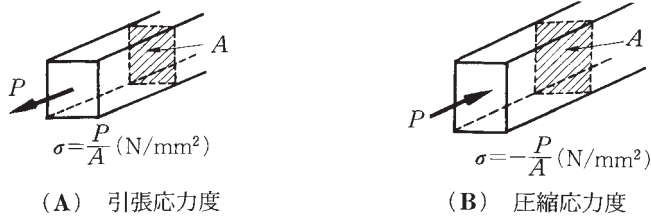


図 1.1.11

(b) 曲げ応力度 図 1.1.12 のように部材断面に曲げモーメントが生じると、部材断面の一方は引張られて伸び、一方は、圧縮されて縮み部材はわん曲になる。境目は引張も圧縮もない部分でその部分を中立面といい、中立面と断面の交わる線を中立軸という。このような場合にその断面に生じる応力度を曲げ応力度  $\sigma$  といい、曲げモーメント  $M$  をその断面係数  $Z$  で除して求める。

$$\sigma = \pm \frac{M}{I} y = \pm \frac{M}{Z}$$

$I$ : 断面 2 次モーメント,  $Z$ : 断面係数 (長方形断面の場合  $Z = \frac{bh^2}{6}$ )

曲げ応力度の分布は図 1.1.12 (B) のように三角形状になり、中立軸から離れるに従って大きくなり縁で最大になる。これを縁応力度という。

曲げ応力度は図 1.1.13 からわかるように引張側 ( $\sigma_t$ ) と圧縮側 ( $\sigma_c$ ) に生じるが、部材が中立軸に対して対称形の場合は、 $y_t = y_c$  となり  $\sigma_t$  と  $\sigma_c$  の値は等しくなる。

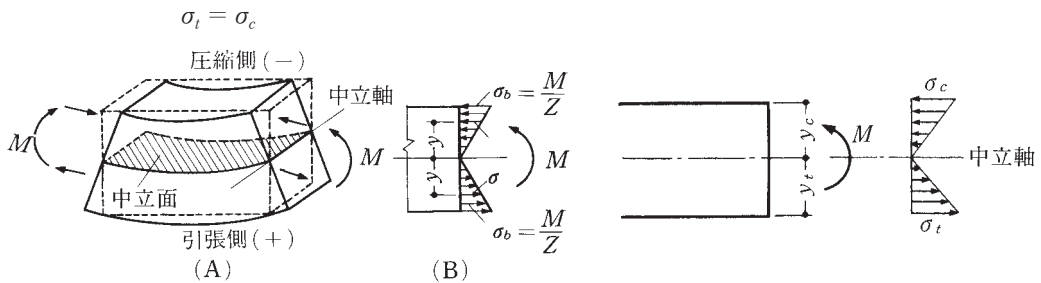


図 1.1.12

図 1.1.13

(c) せん断応力度 材の軸に直角に作用する力は、材をせん断しようとする。この応力度をせん断応力度といい、断面積  $A$ 、せん断応力  $Q$  のとき、せん断応力度は、 $\tau = \frac{Q}{A}$  で表わす。

垂直せん断力は必ず大きさの等しい水平せん断力をとまなう。

はりのように曲げを伴うせん断応力度は断面の中央で最大となり、

表 1.1.2

	$\tau_{\max} = \frac{3Q}{2bh}, \quad \kappa = \frac{3}{2}$ $\tau = \frac{6Q}{bh^3} \left( \left( \frac{h}{2} \right)^2 - y^2 \right)$
	$\tau_{\max} = \frac{16Q}{3\pi D^2}, \quad \kappa = \frac{4}{3}$ $\tau = \frac{4Q}{3\pi r^2} \left( 1 - \left( \frac{y}{r} \right)^2 \right)$

$$\tau_{\max} = \kappa \frac{Q}{A}$$

で示される。κ は断面の形状による係数で表 1.1.2 による。

(d) **主応力度** 応力が生じている部材においてせん断応力度が 0 となる断面が存在し、その面に作用する垂直応力度を主応力度という。互いに直角をなす二つの主応力度面が存在する。

(e) **モールの円** 材の任意断面について、垂直応力度とせん断応力度との関係は一つの円で示され、この円をモールの応力円という。

x 軸, y 軸にそれぞれ σ, τ をとり、主応力 σ<sub>x</sub> = OA, σ<sub>y</sub> = OB として AB を直径とする円を描く。AB の中心 M より OA と 2α の角度をなす半径をひき円との交点を P とすれば、P より x 軸におろした垂直 PC は、主応力面と ∠α をなす面のせん断応力度を表わし、OC はその面の垂直応力度を表わす (図 1.1.14)。

ある断面の垂直応力度 σ<sub>x</sub>, σ<sub>y</sub> とせん断応力度 τ があたえられているとき、主応力度 σ<sub>x</sub>, σ<sub>y</sub> の大きさと方向を求めることができる。OA, OB を σ<sub>x</sub>, σ<sub>y</sub> にとり AB の中点を M とする。A より OC に垂線を立てそのうえに AP = τ をとり MP を半径として円を描く。σ 軸 (x 軸) との交点を C, D とすれば OC = σ<sub>x</sub>, OD = σ<sub>y</sub> となり、∠CMP = 2α とすれば、α は主応力面の角を示す (図 1.1.15)。

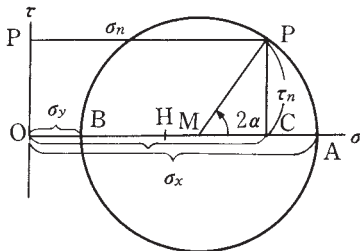


図 1.1.14

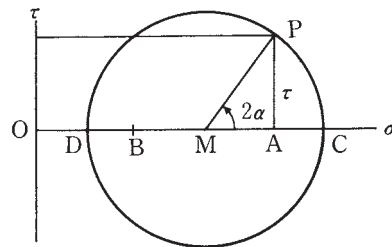


図 1.1.15

(f) **断面の核** 曲げモーメント M と軸方向力 N を受ける材の応力度は  $\sigma = \pm \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z}$  で表わされる。

材が長方形断面で図 1.1.16 のように材軸より e だけ偏心した軸力 P を受けるときは、 $N = P$ ,  $M = P \cdot e$  として、

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{Pe}{Z} \text{ で表わされる。}$$

偏心した圧縮力 P を受ける場合、断面には全断面が圧縮を生ずるときと、断面の一部に引張りを生ずるときがある。

断面内に生ずる応力度が、圧縮になる P の作用点の軸跡の囲む部分を断面の核といい、長方形断面、円形断面の場合は図 1.1.17 のようになる。



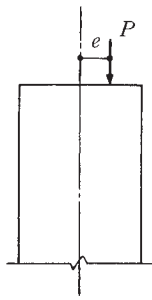


図 1.1.16

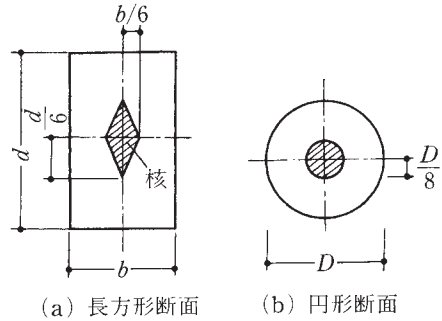


図 1.1.17

表 1.1.3

断面形	断面極 2次モーメント ( $I_p$ )
	$I_p = A_0 \frac{D^2}{8}$
	$I_p = A_0 \frac{dm^2}{4}$ ( $D = d \doteq dm$ のとき)

$A_0$ : 断面積

(g) ねじり材の応力度

材にねじりモーメント  $M_t$  を与えると、断面の中心からの距離に比例してせん断応力度 ( $\tau$ ) が分布し、

$$\tau = \frac{M_t}{I_p} y$$

$I_p$ : 断面極 2次モーメント

$y$ : 中心からの距離

表 1.1.3 のように、円形、円筒形断面は、断面極 2次モーメントが大きくなればねじり変形は小さくなる。

(B) ひずみ

ひずみには縦ひずみと横ひずみがある。力の方向の変形 (伸びまたは縮み) を  $\Delta l$  とし、その方向のもとの長さを  $l$  とすれば  $\frac{\Delta l}{l}$  が縦ひずみ度になる。

力と直角の方向の長さを変形をそれぞれ  $d$ ,  $\Delta d$  とすれば横ひずみ度  $\Delta d/d$  で表される。

(a) ポアソン比

$$\text{横ひずみ} / \text{縦ひずみ} = \frac{\Delta d/d}{\Delta l/l}$$

縦ひずみと横ひずみの比をポアソン比という。

(b) せん断ひずみ

図 1.1.18 のようにせん断力を受けると部材の横方向にずれを生じ、そのずれの量  $\Delta S$  をせん断ひずみ、 $\Delta S$  と  $l$  との比をせん断ひずみ度という。

$$\gamma = \frac{\Delta S}{l} \quad (\text{無名数})$$

$\Delta S$ : せん断ひずみ  
 $\gamma$ : せん断ひずみ度

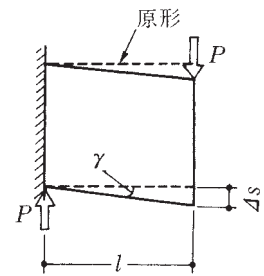


図 1.1.18

(C) ヤング係数 垂直応力度  $\sigma$  と縦ひずみ度, または横ひずみ度  $\varepsilon$  との比をヤング係数という。

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (\text{N/mm}^2)$$

1.1.3 座屈

まっすぐな細長い材 (長柱) に圧縮力が作用すると、圧縮力が小さいうちはまっすぐな状態で縮むが、さらに圧縮の大きさを増していくと、あるとき急に曲がる。この現象を「座屈」という。

(A) 弾性座屈荷重

圧縮力を生じる単一の長柱（比較的細長い部材で、弾性範囲内の応力で座屈してしまう圧縮材を長柱という）が、座屈して曲がりだし、それ以上の荷重増加に耐えられなくなるときの限界荷重を  $N_k$  で表わし、弾性座屈荷重という。

$$N_k = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2} \quad \dots\dots(1)$$

$E$ ：ヤング係数       $\pi$ ：円周率  
 $I$ ：座屈軸についての断面2次モーメント  
 $l_k$ ：座屈長さ

したがって、 $N_k$  は材料の強さに無関係であって、曲げ剛性  $EI$  に比例し、座屈長さの2乗  $l_k^2$  に反比例している。単一の棒状部材が座屈するときの変形は、弱軸（断面2次モーメントの最小な軸）まわりに曲がりだそうとするので、上記の式の断面2次モーメントは弱軸について考える。

(B) 弾性座屈応力度

座屈時の断面に生じている応力度を弾性座屈応力度という。これを  $\sigma_k$  で表わすと、式(1)から次のようになる。

$$\sigma_k = \frac{N_k}{A} = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2 A} = \frac{\pi^2 E}{l_k^2} \left( \sqrt{\frac{I}{A}} \right)^2 = \frac{\pi^2 E i^2}{l_k^2} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{l_k}{i} \right)^2} \quad \dots\dots(2)$$

$A$ ：部材断面積  
 $i$ ：弱軸のまわりの断面2次半径（このときの弱軸を座屈軸という）






上式の  $\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$       ただし、 $\lambda = \frac{l_k}{i}$        $\dots\dots(3)$

したがって、細長比 ( $\lambda$ ) が大きいほど  $\sigma_k$  は小さくなり、座屈しやすい。

(C) 座屈長さ

(a) 単純な支持条件を持つ材の座屈長さ

表 1.1.4

移動に対する条件		拘束			自由	
		両端自由	両端固定	1端ピン他端固定	両端固定	1端ピン他端固定
回転に対する条件		両端自由	両端固定	1端ピン他端固定	両端固定	1端ピン他端固定
座屈形						
$l_k$ (座屈長さ)	理論値	$l$	$0.5l$	$0.7l$	$l$	$2l$

(b) ラーメンの柱材の座屈長さ

- (i) 横移動が拘束されているラーメンの柱材の座屈長さは、精算を行わない場合、座屈長さを節点間距離に等しくとることができる。
- (ii) 図 1.1.19 のように、横移動が拘束されていないラーメンの柱材の座屈長さは、一般に節点距離より長くなる。

(D) 細長比の制限

細長比とは座屈軸についての断面二次半径と座屈長さとの比  $(\lambda = \frac{l_k}{i})$  をいう。細長比が大きいほど座屈しやすいので、建築基準法でその値が次のように規定されている。

- (i) 木材の場合、 $\lambda \leq 150$  とする。
- (ii) 鋼材の場合  $\left\{ \begin{array}{l} \text{圧縮材} \cdots \cdots \lambda \leq 250 \\ \text{柱材} \cdots \cdots \lambda \leq 200 \end{array} \right\}$  とする。

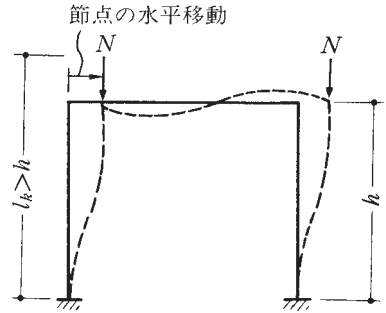


図 1.1.19 節点の横移動のあるラーメン

1.1.4 振動

(A) 固有周期

(a) 一質点振動系の固有周期 図 1.1.20 (A) の建築物を (B) のようにラーメンと同じ弾力のある重さのない棒で支えられた状態を考える。これに水平力を加えて  $\delta$  だけたわませ、急に力を除くと、質点は棒の弾力によって A 点から C 点に戻り、さらに C 点を通り過ぎて B 点に至り、再び戻る往復運動を起こす。このような振動を「自由振動」という。AC を「振幅」、AB 間往復するのに要する時間を「周期」という。建築物の振動周期は建築物ごとにそれぞれ固有の値を持っているので、「固有周期」と呼んでいる。

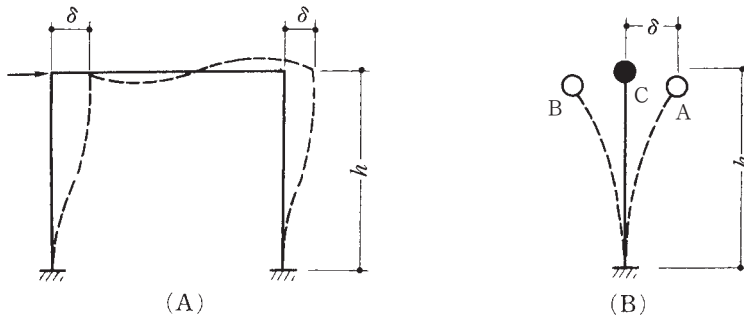


図 1.1.20

(B) 図のような一質点振動系の固有周期を理論的に求めると下式となる

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} \quad \cdots \cdots (4)$$

T: 固有周期 (秒), m: 質量 (kg), K: バネ定数 (単位の水平変位を起こすのに必要な力 kN/mm)

上式で  $m = \frac{W}{g}$  ( $W$ : 重量 (kN),  $g$ : 重力の加速度 (980 cm/sec<sup>2</sup>)) であるから, 次の式が得られる.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{W}{g \cdot K}} = 2\pi\sqrt{\frac{\delta}{g}} = 0.2\sqrt{\delta} \text{ (秒)} \quad \dots\dots(5)$$

$\delta$ : 振動方向に建築物の自重に等しい力  $W$  を加えたときのたわみ

(b) 多層建築物の固有周期 多層の建築物

の固有周期は, その層の数に相当するだけある. たとえば, 2階建なら二つ, 3階建なら三つある.

図 1.1.21 において, 振幅が零になっている箇所を節という. 数字は節を示している. 不動点である根本には必ず節が一つある. 節の数が一つある振動形を 1次振動モードという.  $n$ 節あれば  $n$ 次振動モードという. 一般に, 1次振動モードの固有周期 (1次固有周期) が一番長く, 次数が増加するにつれて固有周期は短くなる.

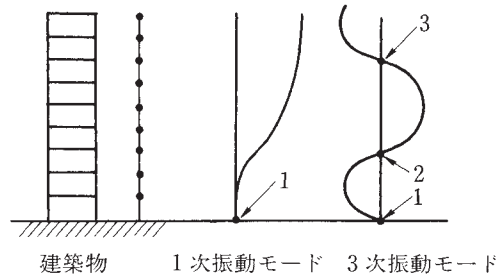


図 1.1.21

多層建築物の 1次固有周期は下式から求める

$$\left. \begin{array}{l} \bullet \text{鉄筋コンクリート} \dots\dots T = 0.02 h \text{ (秒)} \\ \bullet \text{鉄骨造} \dots\dots\dots T = 0.03 h \text{ (秒)} \end{array} \right\} \dots\dots(6)$$

$h$ : 地盤面からの高さ (m)

なお, 建築物に作用する地震力を求めるときは, 固有周期の最も長い一次振動を対象にしている. 地震や建物の中で機械を運転する場合のように, 外から力を受けながらゆれているものを「強制振動」という. このときの外力の周期と建築物の固有周期が同じ場合は, いわゆる共振現象を起こし, わずかな力でも大きくゆれるので, 一致ないように設計することが必要である.

(c) 強制振動

地震などで地動が加わった場合の振動のように外力を受けながら振動することを強制振動という. 建築物の固有周期が地盤の固有周期と一致すると共振現象を起こし, わずかな地動でも大きくゆれる. とくに風による振動は地震に比べて長周期であるので, 共振現象を防止するには, 水平剛性を高くし, 建築物の固有周期を短くする必要がある.

1.1.5 地震応答スペクトル

振動には, 変位, 加速度 (力), 速度があり, これらは固有周期 ( $T$ ) によって変化する. さまざまな周期における変位, 加速度, 速度の最大値を, 横軸に周期をとってならべたものを応答スペクトルという.

応答スペクトルは図 1.1.22 のように振動の減衰により変化し, 減衰が大きいとその値は小さくなる.

鉄筋コンクリート造と鉄骨造を比べると鉄筋コンクリート造の方が減衰は大きくなる.

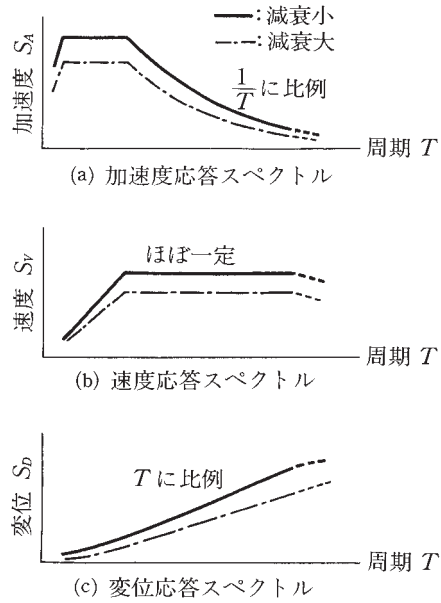


図 1.1.22 応答スペクトルの基本的な性質

- 加速度応答スペクトルは周期 ( $T$ ) が長くなると小さくなる.
- 速度応答スペクトルは長周期成分ではほぼ一定.
- 変位応答スペクトルは周期 ( $T$ ) が長くなると大きくなる.

# 例題

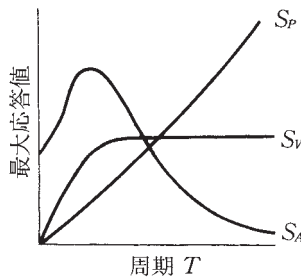
## 解答と解説

### 【No. 1】

地震時における建築物の振動に関する次の記述のうち、最も不適当なものはどれか。

1. 地震動の変位応答スペクトルは、一般に、周期が長くなるほど小さくなる。
  2. 建築物の固有周期は、質量が同じ場合、水平剛性が大きいものほど短くなる。
  3. 建築物の一次固有周期は、一般に、二次固有周期に比べて長い。
  4. 鉄筋コンクリート造建築物の内部粘性減衰の減衰定数は、一般に、鉄骨造の建築物に比べて大きい。
- (R3 No.7)

【対策】 1. 地震動の変位応答スペクトルは、周期  $T$  が長くなると大きくなる。また加速度応答スペクトルは小さくなり、速度応答スペクトルはあまり変化はしない傾向にある。



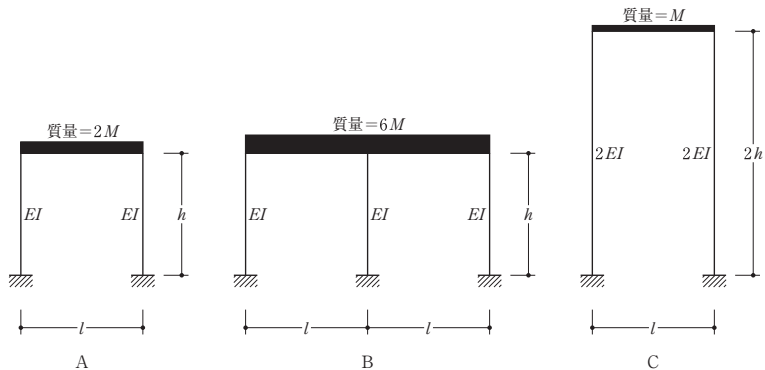
$S_p$  : 変位応答スペクトル  
 $S_v$  : 速度応答スペクトル  
 $S_a$  : 加速度応答スペクトル

解答 1

### 【No. 2】

図のようなラーメン架構 A, B及びCの水平方向の固有周期をそれぞれ  $T_A$ ,  $T_B$  及び  $T_C$  としたとき、それらの大小関係として、正しいものは、次のうちどれか。ただし、柱の曲げ剛性は図中に示す  $EI$  あるいは  $2EI$  とし、梁は剛体とする。また、柱の質量は考慮しないものとする。

1.  $T_A < T_B = T_C$
2.  $T_B < T_A < T_C$
3.  $T_B = T_C < T_A$
4.  $T_C < T_A < T_B$



(R4 No.7)

【対策】 固有周期  $T$  は、次式より求める。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$m$  : 質量     $k$  : ばね定数. 建築物については層の水平剛性をいう。

両端固定の柱の水平剛性  $K$  は、次式になる。

$$K = \frac{12EI}{h^3} \quad EI : \text{柱の曲げ剛性} \quad h : \text{柱の長さ}$$

② 各ラーメンの水平剛性を求める。

$$K_A = \frac{12EI}{h^3} \times 2 \text{ (同じ柱 2 本分)} = 4K_C$$

$$K_B = \frac{12EI}{h^3} \times 3 \text{ (同じ柱 3 本分)} = 6K_C$$

$$K_C = 12 \times \frac{2EI}{(2h)^3} \times 2 \text{ (同じ柱 2 本分)} = \frac{1}{4} \times \frac{12EI}{h^3} \times 2$$

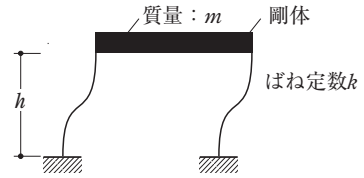
③ 固有周期の大小関係を求める。

$$T_A = 2\pi \sqrt{\frac{2M}{4K_C}} = 2\pi \sqrt{\frac{0.5M}{K_C}}$$

$$T_B = 2\pi \sqrt{\frac{6M}{6K_C}} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_C}}$$

$$T_C = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_C}}$$

ゆえに  $T_A < T_B = T_C$



解答 1

【No. 3】

図-1 のような頂部に質量  $m$  又は  $2m$  をもち、剛性が  $K$  又は  $2K$  の棒 A, B, C における固有周期はそれぞれ  $T_A, T_B, T_C$  である。それぞれの棒の脚部に図-2 に示す加速度応答スペクトルをもつ地震動が入力されたとき、棒に生じる最大応答せん断力が  $Q_A, Q_B, Q_C$  となった。  $Q_A, Q_B, Q_C$  の大小関係として、正しいものは、次のうちどれか。ただし、  $T_A, T_B, T_C$  は図-2 の  $T_1, T_2, T_3$  のいずれかに対応し、応答は水平方向であり、弾性範囲内とする。

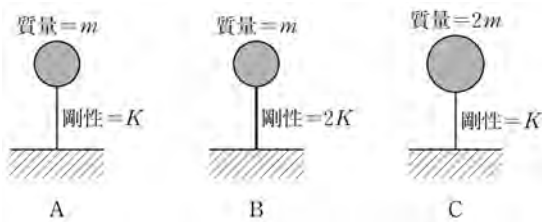


図-1

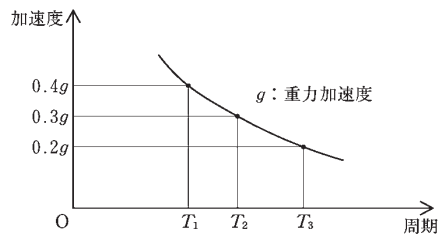


図-2

1.  $Q_A < Q_B = Q_C$
2.  $Q_B < Q_A = Q_C$
3.  $Q_B < Q_C < Q_A$
4.  $Q_C < Q_B < Q_A$

【対策】

棒に生ずる応答せん断力  $Q$  は、次式から求める。

$$Q = m \times \alpha \cdots \cdots \cdots \text{①}$$

$m$  : 集中質量     $\alpha$  : 棒の脚部の応答加速度

1) 棒 A, B, C の応答加速度  $\alpha$  を求める (図-2)。

各棒の固有周期  $T$  の大小関係から、応答加速度を決定する。

棒の固有周期  $T$  は、次式から求める (図-1)。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} \cdots \cdots \cdots \text{②}$$

$\pi \approx 3.14$      $m$  : 集中質量     $K$  : 水平剛性

$$\bullet T_A = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}$$

$$\bullet T_B = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2K}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} \times \sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\bullet T_C = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{K}}$$

$$= 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}} \times \sqrt{2}$$

$$T_A : T_B : T_C = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \sqrt{2}$$

$$= \sqrt{2} : 1 : 2$$

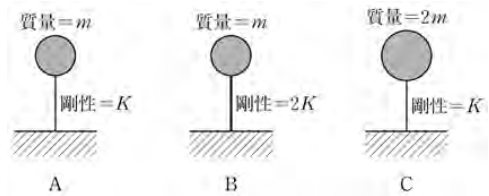


図-1

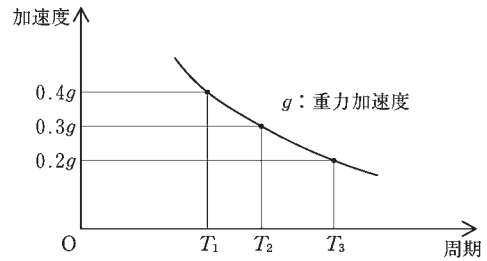


図-2

したがって、 $T_C > T_A > T_B$  となる。

求めた棒の固有周期の大小関係と図-2における周期の大小関係を結び付ける。

$T_1$  は棒 B の固有周期、 $T_2$  は棒 A の固有周期、 $T_3$  は棒 C の固有周期となる。

各棒の応答加速度  $\alpha$  は、次のように求められる。

$$\text{棒 A の応答加速度 } \alpha_A = 0.3g$$

$$\text{棒 B の応答加速度 } \alpha_B = 0.4g$$

$$\text{棒 C の応答加速度 } \alpha_C = 0.2g$$

2) 棒 A, B, C の応答せん断力  $Q$  を求める。

$$Q_A = m_A \times \alpha_A = m \times 0.3g = 0.3mg$$

$$Q_B = m_B \times \alpha_B = m \times 0.4g = 0.4mg$$

$$Q_C = m_C \times \alpha_C = 2m \times 0.2g = 0.4mg$$

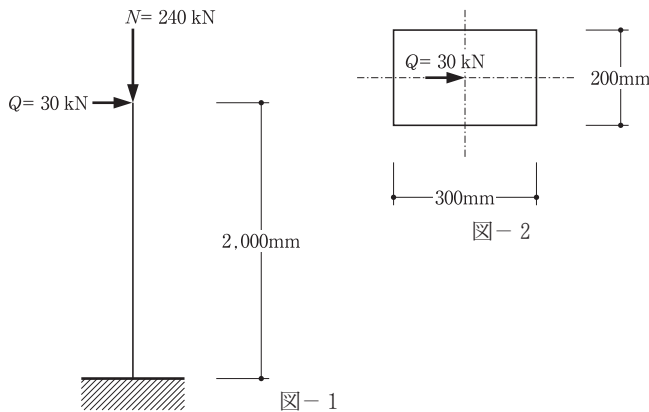
ゆえに  $Q_A < Q_B = Q_C$



【No. 4】

図-1のように、脚部で固定された柱の頂部に、鉛直荷重  $N$  及び水平荷重  $Q$  が作用している。柱の断面形状は図-2に示すような長方形断面であり、 $N$  及び  $Q$  は断面の図心に作用しているものとする。柱脚部断面における引張縁応力度、圧縮縁応力度及び最大せん断応力度の組合せとして、正しいものは、次のうちどれか。ただし、柱は全長にわたって等質等断面の弾性部材とし、自重は無視する。また、引張応力度を「+」、圧縮応力度を「-」とする。

	引張縁応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	圧縮縁応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	最大せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
1.	+ 16	- 24	0.50
2.	+ 16	- 24	0.75
3.	+ 26	- 34	0.50
4.	+ 26	- 34	0.75



(R3 No.1)

【対策】

① A 点の応力を求める。

$$N_A = -240 \text{ kN} = 240000 \text{ N}$$

$$= -24 \times 10^4 \text{ N (圧縮力)}$$

$$M_A = 30 \text{ kN} \times 2000 \text{ mm} = 60000 \text{ kNmm}$$

$$= 6 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$Q_A = 30 \text{ kN} = 30000 \text{ N}$$

② 断面積、Y 軸に関する断面係数 ( $Z_Y$ ) を求める。

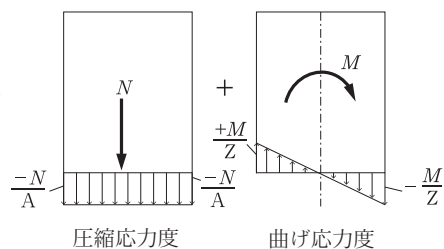
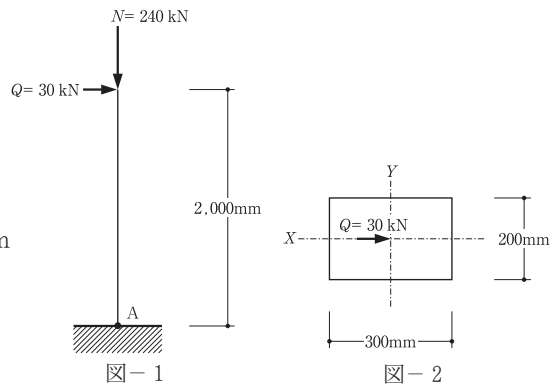
$$\text{断面積} = 200 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} = 60000 \text{ mm}^2$$

$$Z_Y = 200 \text{ mm} \times (300 \text{ mm})^2 / 6 = 3 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

③ A 点の応力度を求める。

・ 圧縮応力度 = - 圧縮力 / 断面積

$$= -240000 \text{ N} / 60000 \text{ mm}^2 = -4 \text{ N}/\text{mm}^2$$



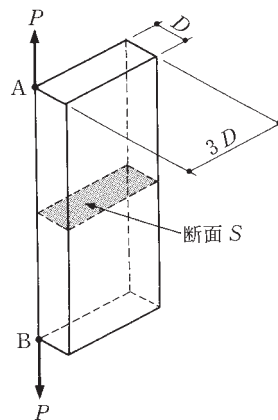
- 曲げ応力度 = 曲げモーメント / 断面係数 =  $6 \times 10^7 \text{ Nmm} / 3 \times 10^6 \text{ mm}^3 = \pm 20 \text{ N/mm}^2$ 
  - \* 圧縮縁応力度 = 圧縮応力度 + 圧縮側曲げ応力度 =  $-4 \text{ N/mm}^2 + (-20 \text{ N/mm}^2) = -24 \text{ N/mm}^2$
  - \* 引張縁応力度 = 圧縮応力度 + 引張側曲げ応力度 =  $-4 \text{ N/mm}^2 + (+20 \text{ N/mm}^2) = +16 \text{ N/mm}^2$
- 最大せん断応力度 = せん断力 / 断面積 =  $1.5 \times 30000 \text{ N} / 60000 \text{ mm}^2 = 0.75 \text{ N/mm}^2$

解答 2

【No. 5】

図のような長方形断面材の A 点及び B 点に荷重  $P$  が作用している場合、線分 AB に垂直な断面 S に生じる「引張応力度の最大値」と「圧縮応力度の最大値」との組合せとして、正しいものは、次のうちどれか。ただし、長方形断面材は等質等断面であり、線分 AB は断面寸法に比べて十分に長いものとする。

	引張応力度の最大値	圧縮応力度の最大値
1.	$\frac{5P}{3D^2}$	$\frac{P}{D^2}$
2.	$\frac{2P}{D^2}$	$\frac{2P}{D^2}$
3.	$\frac{7P}{3D^2}$	$\frac{5P}{3D^2}$
4.	$\frac{3P}{D^2}$	$\frac{7P}{3D^2}$
5.	$\frac{13P}{3D^2}$	$\frac{11P}{3D^2}$



(H14)

【対策】 ① 中心荷重  $P$  による引張応力度

$$\frac{P}{\text{断面積}} = \frac{+P}{3D^2}$$

②  $M_x$  による曲げ応力度

$$\frac{M_x}{x \text{ 軸に関する断面係数}} = \frac{P \times \frac{3}{2}D}{\frac{D \times (3D)^2}{6}} = \pm \frac{P}{D^2}$$

③  $M_y$  による曲げ応力度

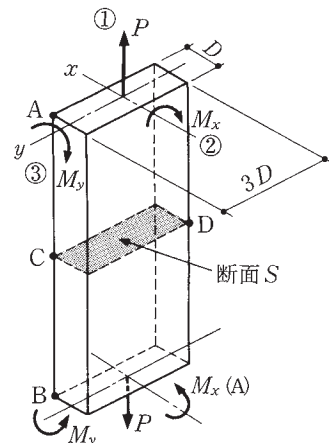
$$\frac{M_y}{y \text{ 軸に関する断面係数}} = \frac{P \times \frac{D}{2}}{\frac{3D \times D^2}{6}} = \pm \frac{P}{D^2}$$

• 引張応力度の最大値 (C 点の応力度)

$$\frac{P}{3D^2} + \frac{P}{D^2} + \frac{P}{D^2} = \frac{7P}{3D^2}$$

• 圧縮応力度の最大値 (D 点の応力度)

$$\frac{P}{3D^2} - \frac{P}{D^2} - \frac{P}{D^2} = \frac{-5P}{3D^2}$$

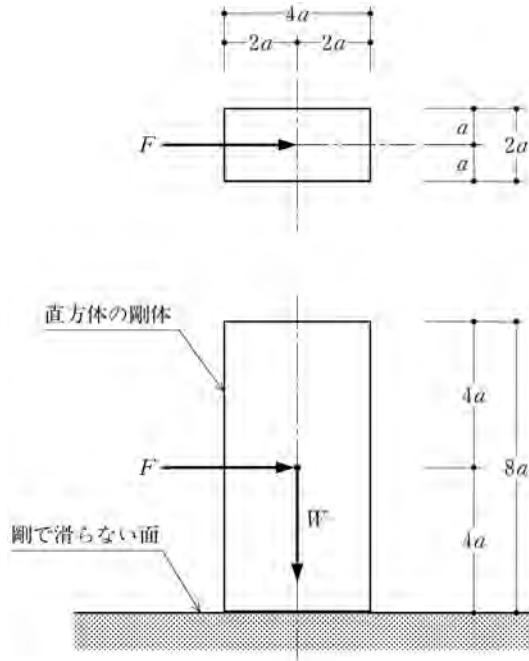


解答 3

【No. 6】

図のような剛で滑らない面の上に置いてある剛体の重心に漸増する水平力が作用する場合、剛体が浮き上がり始めるときの水平力  $F$  の重力  $W$  に対する比  $\alpha = \left(\frac{F}{W}\right)$  の値として、正しいものは、次のうちどれか。ただし、剛体の質量分布は一様とする。

1. 0.25
2. 0.50
3. 0.75
4. 1.00



(H27 No.6)

【対策】

\* 転倒に対する安全の検討

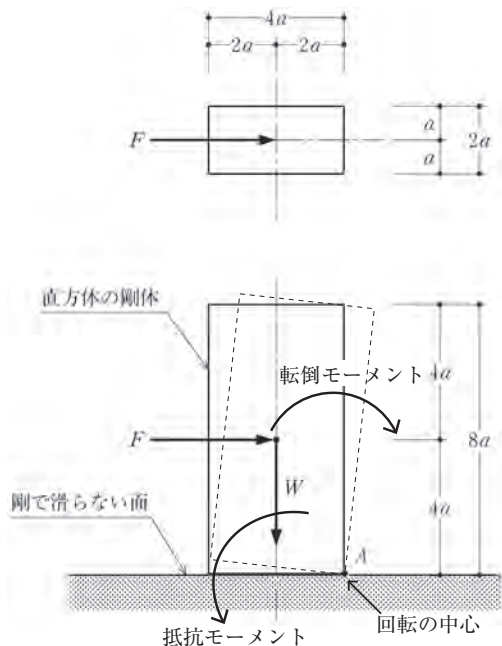
A点において、 $W$  によるモーメントが  $P$  によるモーメントより大きいと転倒においては安全であるが、逆に小さくなると転倒が生じる。

A点において

- $F$  による転倒モーメント  $= 4a \times F$
- $W$  による抵抗モーメント  $= 2a \times W$

$$4aF = 2aW \quad 2F = W$$

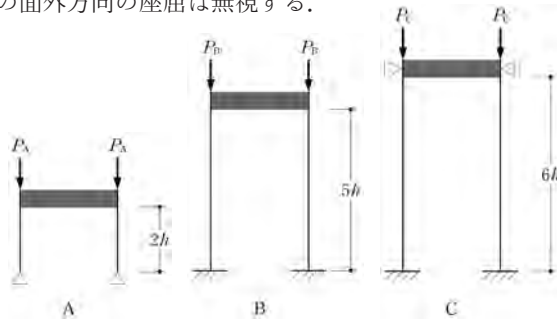
$$\therefore \frac{F}{W} = \frac{1}{2} = 0.5$$



【No. 7】

図のような構造物 A, B, C の柱の弾性座屈荷重をそれぞれ  $P_A, P_B, P_C$  としたとき、それらの大小関係として正しいものは、次のうちどれか。ただし、全ての柱は等質等断面で、梁は剛体であり、柱及び梁の自重、柱の面外方向の座屈は無視する。

1.  $P_A > P_C > P_B$
2.  $P_B > P_A > P_C$
3.  $P_C > P_A > P_B$
4.  $P_C > P_B > P_A$



(H29 No.6)

【対策】

- 支持条件を持つ材の座屈長さは下の表のようになる。

移動に対する条件		拘束			自由	
回転に対する条件		両端自由	両端拘束	1端自由他端拘束	両端拘束	1端自由他端拘束
座屈形						
$l_k$ (座屈長さ)	理論値	$l$	$0.5l$	$0.7l$	$l$	$2l$

- A の座屈長さは  $l_{kA} = 2h \times 2l = 4h$
- B の座屈長さは  $l_{kB} = 5h \times l = 5h$
- C の座屈長さは  $l_{kC} = 6h \times 0.5l = 3h$

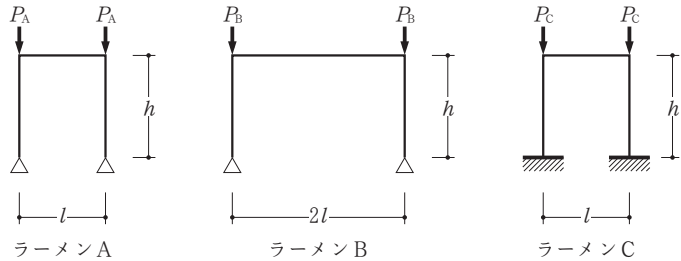
\* 座屈長さが短いほど、座屈をおこし難いので座屈荷重は大きくなる。

∴ 座屈荷重の大小関係は  $P_C > P_A > P_B$

## 【No. 8】

図のようなラーメン A, ラーメン B 及びラーメン C の柱の弾性座屈荷重をそれぞれ  $P_A$ ,  $P_B$  及び  $P_C$  としたとき, これらの大小関係として, 正しいものは, 次のうちどれか. ただし, 全ての柱及び梁は等質等断面の弾性部材であり, 「柱及び梁の重量」及び「柱の面外方向の座屈及び梁の座屈」については無視するものとする.

1.  $P_A = P_C > P_B$
2.  $P_B > P_A > P_C$
3.  $P_C > P_A = P_B$
4.  $P_C > P_A > P_B$



(R2 No.6)

## 【対策】

①弾性座屈荷重  $P_K$  を求める.

$$P_K = \frac{\pi^2 EI}{l_K^2}$$

題意により,  $\pi$ ,  $E$ ,  $I$  は一定なので  $P_K$  の大小関係は座屈長さ  $l_K$  により決まり, 座屈長さ  $l_K$  が小さいほど, 弾性座屈荷重  $P_K$  は大きくなる.

②座屈長さ  $l_K$  を求める.

ラーメン A, B                      一端 (柱脚) ピン他端固定 (移動自由)

$$l_{KA} = l_{KB} = 2 \times h = 2h$$

ラーメン C                          両端固定 (移動自由)

$$l_{KC} = h$$

ラーメン A, B の梁が完全な剛体であれば  $l_{KA}$ ,  $l_{KB}$  が等しく, 弾性座屈荷重  $P_K$  も理論的には等しくなるが, 梁は剛体ではないので, 固定度を比較する.

③ラーメン A, B の剛節点の固定度を比較する.

ラーメン A 梁の剛度は  $\frac{I}{l}$

ラーメン B 梁の剛度は  $\frac{I}{2l}$

ラーメン B 梁の剛度が小さいので固定度も小さくなり, 座屈長さ ( $l_{KB}$ ) は理論値より長くなる.

ゆえに, 弾性座屈荷重も  $P_A$  より  $P_B$  のほうが小さくなる.

$$\therefore P_C > P_A > P_B$$

## 【No. 9】

中心圧縮力を受ける正方形断面の長柱の弾性座屈荷重  $P_e$  に関する次の記述のうち、**最も不適当なものはどれか**。ただし、柱は全長にわたって等質等断面とする。

1.  $P_e$  は、正方形断面を保ちながら柱断面積が2倍になると4倍になる。
2.  $P_e$  は、柱材のヤング係数が2倍になると2倍になる。
3.  $P_e$  は、柱の材端条件が「両端ピンの場合」に比べて「一端自由他端固定の場合」のほうが大きくなる。
4.  $P_e$  は、柱の材端条件が「一端ピン他端固定の場合」に比べて「両端ピンの場合」のほうが小さくなる。

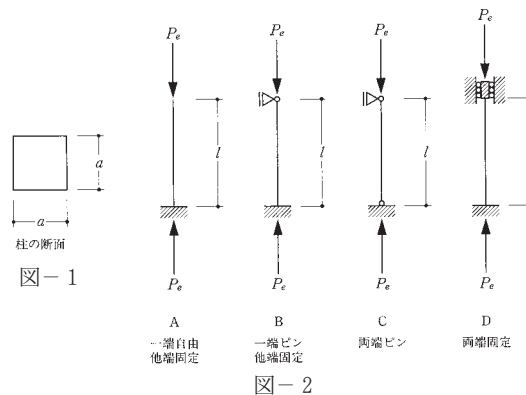
(R3 No.6)

【対策】 3. 柱の材端条件が「両端ピンの場合」に比べて「一端自由他端固定の場合」のほうが座屈長さが長くなるので、弾性座屈荷重  $P_e$  は小さくなる。

解答 3

## 【No. 10】

中心圧縮力が作用する図-1のような正方形断面の長柱の弾性座屈荷重  $P_e$  に関する次の記述のうち、**最も不適当なものはどれか**。ただし、柱は全長にわたって等質等断面とし、柱の長さ及び材端条件は図-2のAからDとする。



1.  $P_e$  は、柱の材端条件が、Aの場合よりBの場合のほうが大きい。
2.  $P_e$  は、柱の材端条件が、Cの場合よりDの場合のほうが大きい。
3.  $P_e$  は、柱の材端条件が、Cの場合よりAの場合のほうが大きい。
4.  $P_e$  は、柱の幅  $a$  の四乗に比例する。

(H24)

【対策】  $P_e = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2}$   $P_e$  の大小は  $\frac{1}{l_k^2}$  を比較すればよい.

- $l_{KA} = 2l$
- $l_{KB} = 0.7l$
- $l_{KC} = l$
- $l_{KD} = 0.5l$

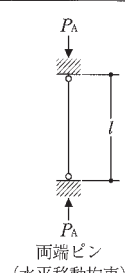
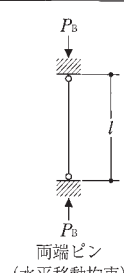
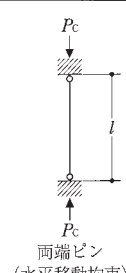
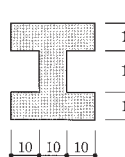
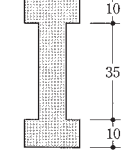
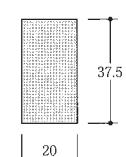
(3)  $P_e$  は、柱の材端条件が、Cの場合よりAの場合のほうが小さい. p.9表1.1.4.

解答 3

【No. 11】

図のような支持条件及び断面で同一材質からなる柱 A, B, C において、中心圧縮の弾性座屈荷重の理論値  $P_A, P_B, P_C$  の大小関係として、正しいものは、次のうちどれか。ただし、図中における寸法の単位は cm とする。

1.  $P_A > P_C > P_B$
2.  $P_B > P_A > P_C$
3.  $P_B > P_C > P_A$
4.  $P_C > P_A > P_B$

柱	A	B	C
支持条件	 <p>両端ピン (水平移動拘束)</p>	 <p>両端ピン (水平移動拘束)</p>	 <p>両端ピン (水平移動拘束)</p>
断面			

(H21)

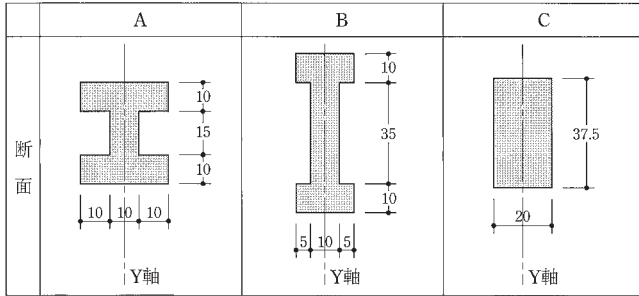
【対策】 長柱の弾性座屈荷重  $P_e$  は、下式より求める。

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2}$$

$E$  : ヤング係数       $I$  : 弱軸に関する断面 2 次モーメント       $l_k$  : 座屈長さ

題意により、 $l_k$ 、 $E$  は一定なので、 $P_e$  は  $I$  に比例する。

$I$  は  $Y$  軸 (弱軸) に関する値をとる。



$$I_A = \frac{10 \times (30)^3}{12} \times 2 + \frac{15 \times (10)^3}{12} = \frac{555,000}{12} \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$I_B = \frac{10 \times (20)^3}{12} \times 2 + \frac{35 \times (10)^3}{12} = \frac{195,000}{12} \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$I_C = \frac{37.5 \times (20)^3}{12} = \frac{300,000}{12} \text{ (cm}^4\text{)}$$

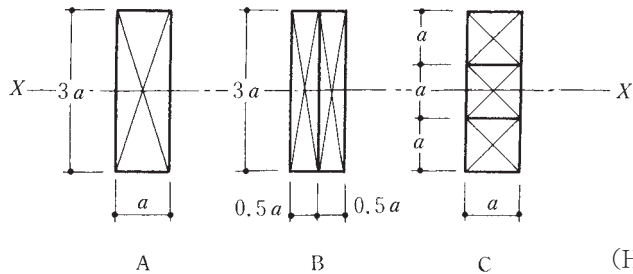
ゆえに、 $P_A > P_C > P_B$

解答 1

【No. 12】

図のような断面をもつ製材 (木材) の梁 A, B, C の  $X$  軸まわりの曲げ強さの大小関係として、正しいものは、次のうちどれか。ただし、すべての梁の材質、支持条件及びスパンは同一とし、梁 B 及び C を構成する部材は、それぞれ相互に接合されていないものとする。

1.  $A = B = C$
2.  $A = B > C$
3.  $A > B = C$
4.  $A = C > B$
5.  $C > A > B$



(H18)

【対策】 曲げ強さの大小関係は部材の断面係数を比較するとよい。

$$Z_A = \frac{a \times (3a)^2}{6} = \frac{9a^3}{6} \quad Z_B = \frac{0.5a \times (3a)^2}{6} \times 2 = \frac{9a^3}{6} \quad Z_C = \frac{a \times (a)^2}{6} \times 3 = \frac{3a^3}{6}$$

$$Z_A = Z_B > Z_C$$

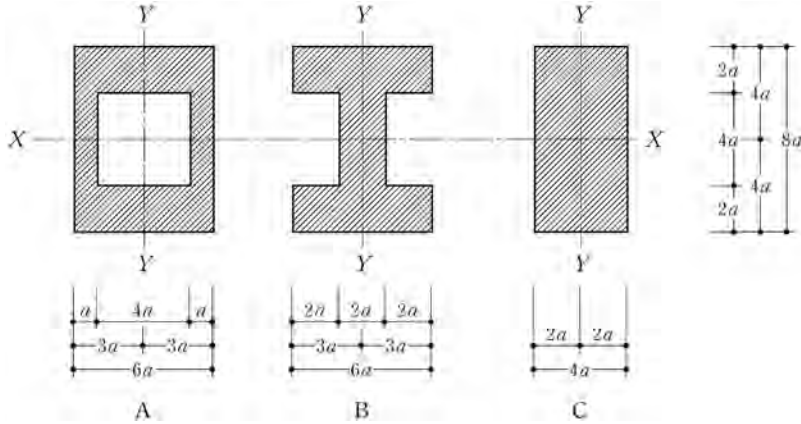
ゆえに、曲げ強さの大小関係は  $A = B > C$

解答 2



【No. 13】

図のような面積が等しい断面A, B及びCのX軸まわりの断面二次モーメントをそれぞれ  $I_{xA}$ ,  $I_{xB}$  及び  $I_{xC}$  とし, Y軸まわりの断面二次モーメントをそれぞれ  $I_{yA}$ ,  $I_{yB}$  及び  $I_{yC}$  としたときの大小関係の組合せとして, 正しいものは, 次のうちどれか.



	X軸まわり	Y軸まわり
1.	$I_{xA} = I_{xB} = I_{xC}$	$I_{yA} > I_{yB} > I_{yC}$
2.	$I_{xA} = I_{xB} = I_{xC}$	$I_{yA} > I_{yC} > I_{yB}$
3.	$I_{xA} = I_{xB} > I_{xC}$	$I_{yA} > I_{yB} > I_{yC}$
4.	$I_{xA} = I_{xB} > I_{xC}$	$I_{yA} > I_{yC} > I_{yB}$

(H27 No.1)

【対策】

$$I_{xA} = \frac{6a \times (8a)^3}{12} - \frac{4a \times (4a)^3}{12} = \frac{2816a^4}{12}$$

$$I_{xB} = \frac{6a \times (8a)^3}{12} - \frac{4a \times (4a)^3}{12} = \frac{2816a^4}{12}$$

$$I_{xC} = \frac{4a \times (8a)^3}{12} = \frac{2048a^4}{12}$$

$$\therefore I_{xA} = I_{xB} > I_{xC}$$

$$I_{yA} = \frac{8a \times (6a)^3}{12} - \frac{4a \times (4a)^3}{12} = \frac{1472a^4}{12}$$

$$I_{yB} = \frac{4a \times (6a)^3}{12} + \frac{4a \times (2a)^3}{12} = \frac{896a^4}{12}$$

$$I_{yC} = \frac{8a \times (4a)^3}{12} = \frac{512a^4}{12}$$

$$\therefore I_{yA} > I_{yB} > I_{yC}$$

## 1.2 構造力学

### 1.2.1 力のつりあい

#### (A) 力, 偶力, モーメント

(a) 力 静止している物体を運動させたり, 運動中の物体の方向, 速さを変える作用を力という.

- 1) 力は, 図 1.2.1 に示すように大きさ, 方向, 作用点の 3 要素からなる.
- 2) 剛体に作用する力は, 作用線上を移動しても効果は変わらない.
- 3) 剛体に作用する同一線上の二つの力が, 向きが反対で同じ大きさをもつとき, 力はつりあっていて, 何らの影響を及ぼさない.

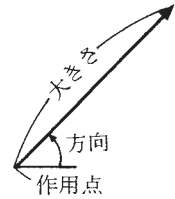


図 1.2.1

(b) モーメント 図 1.2.2 に示すように力が A 点に対して回転の効力をもっているとき, その効力をモーメントという.

$$M = p \cdot e$$

$p$ : 力の大きさ,  $e$ : A 点から  $P$  の作用線までの垂直距離で表わす.

(c) 偶力 図 1.2.3 のように方向が反対で大きさが等しく平行な二つの力を偶力といい, 偶力が任意点に及ぼすモーメントは,

$$M = p \cdot e \text{ で表わされる.}$$

$p$ : 偶力の大きさ,  $e$ : 偶力間の距離

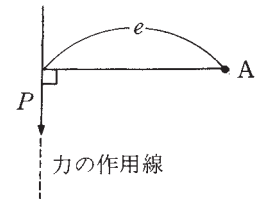


図 1.2.2

#### (B) 力の分解・合成

力を分解したり合成したりするには, 平行四辺形と対角線の関係を利用する.

(a) 力の分解 図 1.2.4 において OA を OB, OC の方向に分解するには, 任意の点 o より OA に平行線 oa を引き  $oa = OA$  にとる.

次に  $oc \parallel OC$ ,  $ca \parallel CA$  になるように c をきめれば  $oc$ ,  $ca$  は OA の  $OC$  方向分力,  $CA$  方向分力である.

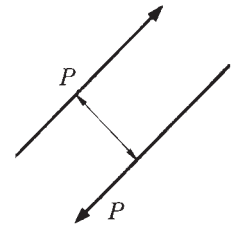


図 1.2.3

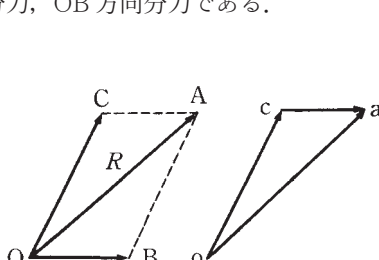


図 1.2.4

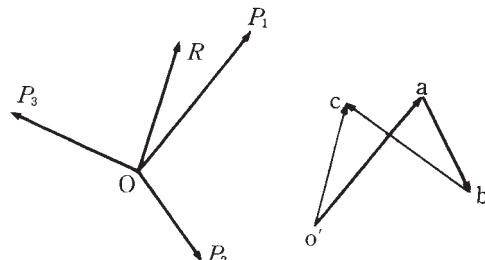


図 1.2.5

#### (b) 力の合成

(i) 図式による方法

- 1) 図 1.2.5 に示すように共通の作用点をもつ場合  $o'$  より  $o'a \parallel OP_1$ ,  $o'a = OP_1$  になるように  $a$  をとる.  $a$  より  $ab \parallel OP_2$ ,  $ab = OP_2$  になるように  $b$  をとる.  $b$  より  $bc \parallel OP_3$ ,  $bc = OP_3$  に

なるように  $c$  をとる.  $OR \parallel o'c$ ,  $OR = o'c$  になるように  $R$  をとれば  $OR$  が合力の大きさを表わす.  $o'abco'$  の示す多角形を示力図という.

2) 作用点が一致しない場合  $P_1, P_2, P_3, P_4$  の合力  $R$  を求めるには, まず図 1.2.6 (B) に示すように示力図  $abcde$  を描く. 次に任意の  $o$  点から極線 I II III IV V をひく.  $P_1$  上の任意の点  $A$  から始めて極線 I, II に平行線をひく.  $A$  点を通り極線 II に平行な線と  $P_2$  との交点を  $B$  とし,  $B$  から極線 III に平行な線をひいて  $P_3$  との交点を  $C$  とする. 以下同じことを繰り返し, 最後の力  $P_n$  と  $n-1$  番目の極線の平行線との交点から最後の極線の平行線をひく. この線と  $A$  点を通り極線の平行線との交点を  $s$  とすれば, 合力は  $s$  を通り,  $ae$  が大きさを表わす.

$mABCDn \dots$  を連力図という.

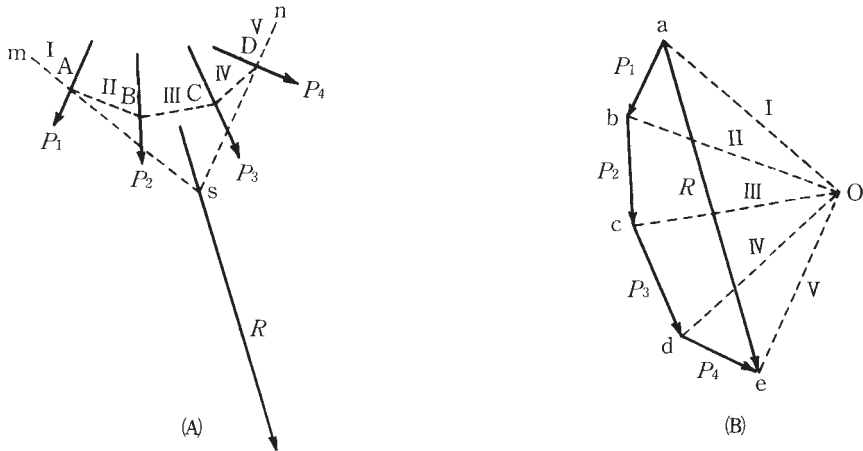


図 1.2.6

(ii) 代数解法

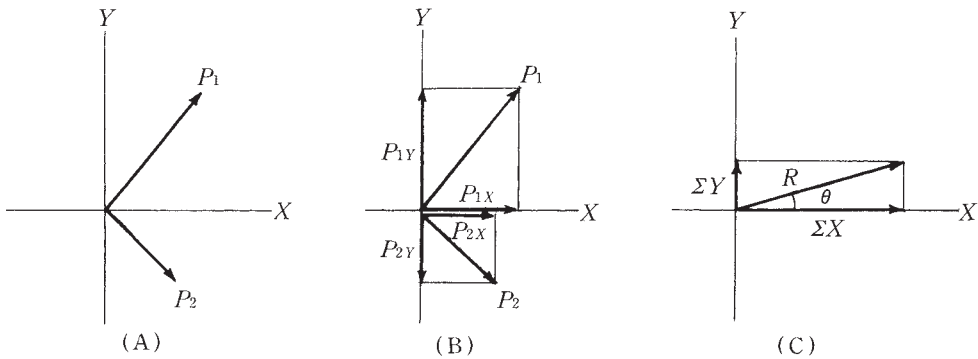


図 1.2.7

図 1.2.7 (A) による  $P_1, P_2$  の合力を求めるにはまず図 (B) のように分解して  $X$  軸方向の合力の合計  $\Sigma X$  と  $Y$  軸方向の合計  $\Sigma Y$  を求める.

$$\Sigma X = P_{1X} + P_{2X}, \quad \Sigma Y = P_{1Y} - P_{2Y}$$

次に図 (C) のように  $\Sigma X, \Sigma Y$  の三平方の定理を用いて合力し, 合力  $R$  を求める.

$$R = \sqrt{(\Sigma X)^2 + (\Sigma Y)^2}$$

また、合力  $R$  の角度  $\theta$  は次の式で与えられる。

$$\tan \theta = \frac{\Sigma Y}{\Sigma X}$$

(C) 力のつりあい

- 1) 図式条件：示力図，連力図による力の矢印が閉合する場合，力はつりあう。
- 2) 算式条件：合力が 0 になり，任意の点に対する力のモーメントの総和が 0 になる場合力はつりあう。

$$\left. \begin{aligned} \Sigma X &= 0 \\ \Sigma Y &= 0 \end{aligned} \right\} R = 0 \text{ になる}$$

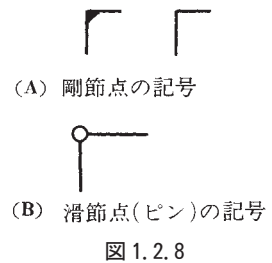
$$\Sigma M = 0$$

1.2.2 骨組

(A) 骨組

剛節点：材端に  $M$  (曲げモーメント)， $Q$  (せん断力)， $N$  (軸方向力) を生ずる節点を剛節点という (図 1.2.8 (A))。

滑節点 (ピン)：材端に  $Q$  (せん断力)， $N$  (軸方向力) を生じ， $M$  (曲げモーメント) を生じない節点を滑節点という (図 1.2.8 (B))。



(a) 節点による分類

表 1.2.1

骨組	節点
トラス	節点が全部ピンの直線部材よりなる骨組をトラスという
ラーメン	節点が全部剛節点の直線部材よりなる骨組をラーメンという
合成ラーメン	節点にピンと剛節点を混用する，直線部材からなる骨組を合成ラーメンという

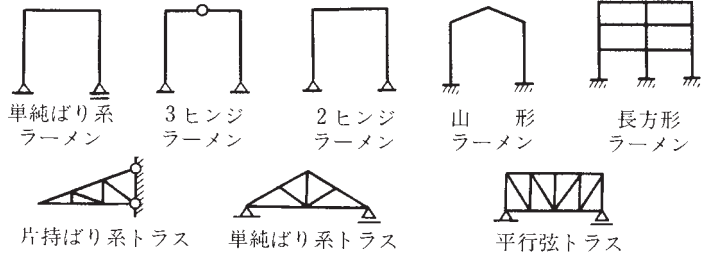
(b) 形状による分類

表 1.2.2

骨組	部材
はり	片持ばり，単純ばり，固定ばり，連続ばりなど支点にのった直線横架材をはりという 
アーチ	曲線部材で構成される骨組をアーチという 

(表1.2.2つづき)  
トラス、ラーメン

直線部材で構成される骨組をトラスまたはラーメンという



(c) 応力による分類

表 1.2.3

骨 組	応 力
ラ ー メ ン	曲げモーメント, せん断力, 軸方向力
ト ラ ス	軸方向力
ア ー チ	軸方向圧縮力

(B) 支 点

反力：外力に対して支点到生ずる支持力を反力といい、 $H$  (水平反力),  $V$  (垂直反力),  $M$  (支持モーメント) の3種類の反力がある。

表 1.2.4

支点的種類	記 号	反 力
移動端 (ローラ)		$V$ (垂直)
回転端 (ピン)		$H$ (水平), $V$ (垂直)
固 定 端		$H$ , $V$ , $M$ (水平) (垂直) (回転)

(C) 安定, 静定

(a) 安定, 不安定

表 1.2.5

安定構造物	応力支持力が力のつりあいを満足する骨組を安定な骨組という
不安定構造物	応力支持力が力のつりあいを満足しない骨組を不安定な骨組という

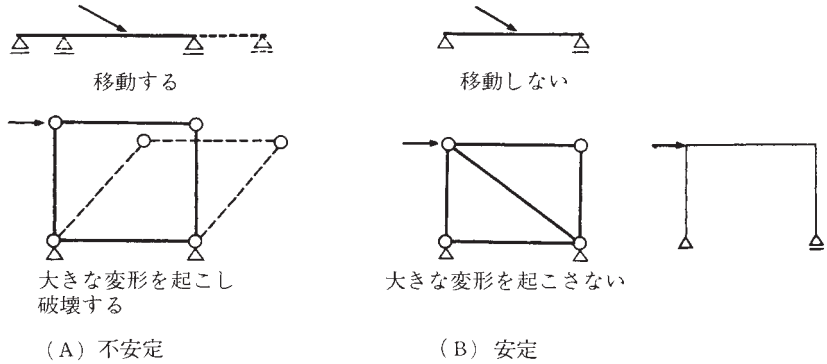


図 1.2.9

(b) 静定, 不静定 安定構造物を静定構造物と不静定構造物に分ける.

表 1.2.6

静定構造物	力のつりあい条件式だけで反力が求められる構造物を静定構造物という
不静定構造物	力のつりあい条件式だけでは反力が求められない構造物を不静定構造物という

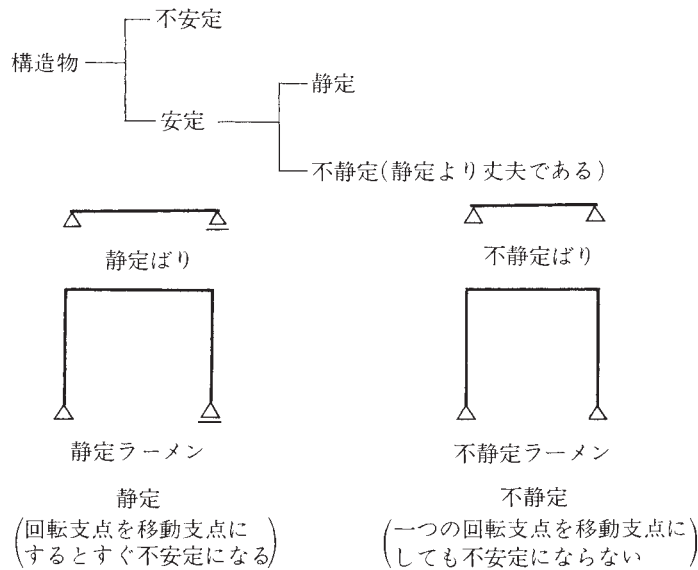


図 1.2.10

(c) 判別 安定, 不安定, 静定, 不静定の判別は下式による.

$$m = n + r + s - 2k < 0 \text{ 不安定}$$

$$\left. \begin{array}{l} = 0 \text{ 静定} \\ > 0 \text{ 不静定} \end{array} \right\} \text{安定}$$

$m > 0$  の場合  $m$  は不静定次数を表わす.

$n$  : 反力の総数,  $s$  : 部材の数,  $r$  : 剛節点において一つの部材と剛節接合している部材数,  
 $k$  : 節点と支点の和 (自由端も数える)

### 1.2.3 静定構造物の応力

#### (A) 応力の種類

構造物に荷重が作用すると、それらとつりあうように支点には反力が生じる。これらの荷重および反力を外力という。外力によって骨組の各部材は、伸び・縮み、ずれ、曲げなどの変形作用を受ける。このとき、部材の各部分において図 1.2.11 のように、大きさが等しく、向きが相反する一対の力または力のモーメントが生じている。この一対の力または力のモーメントを応力 (内力) という。

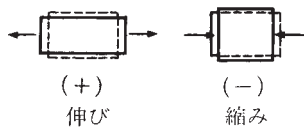
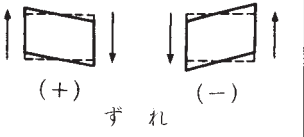
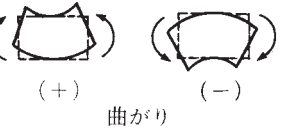
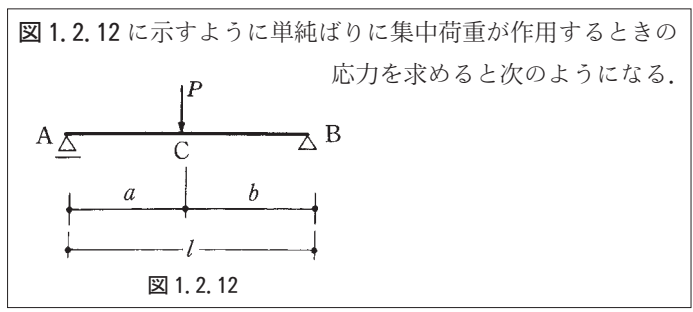
変形と応力			
	引張力 (+) (圧縮力 (-))	せん断力	曲げモーメント
記号	$N$ (単位 $N \cdot kN$ )	$Q$ (単位 $N \cdot kN$ )	$M$ (単位 $N \cdot m$ $kN \cdot m$ )

図 1.2.11

#### (B) 静定ばりの応力

静定ばりには、移動端と回転端の 2 点によって支持される単純ばりと、一つの固定端によって支持される片持ばりとがある。

片持ばりの応力は、自由端側から順次求めることができる。しかし、単純ばりの場合には応力を求めるため 2 分したいずれの側にも支点が含まれるため、先に反力を求め、それも荷重と同様に外力として扱い、これらとつりあうように応力を求める。



単純ばりの応力を求める場合、まず反力  $V_A$ ,  $V_B$  を求め、それから応力を求める。

#### 反力計算

$$\begin{aligned} \Sigma M_B = 0 & \quad \therefore V_A \times l - P \times b = 0 & \quad \therefore V_A = P \cdot b / l \\ \Sigma Y = 0 & \quad V_A + V_B - P = 0 & \quad \therefore V_B = P - V_A = P \cdot a / l \\ \Sigma X = 0 & \quad H_B = 0 \end{aligned}$$

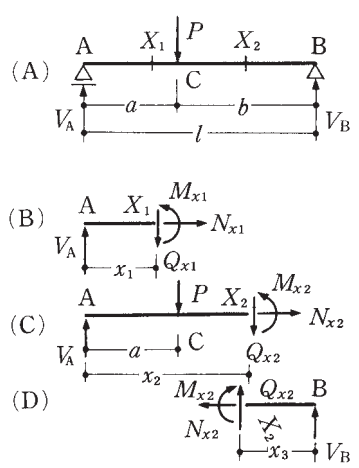


図 1.2.13

応力計算〔図 1.2.13 (B), (C), (D)〕

軸方向力  $N_{x1} = N_{x2} = 0$

せん断力

$$Q_{x1} = V_A = P \cdot b / l \quad (\uparrow \downarrow)$$

$$Q_{x2} = V_A - P = -P \cdot a / l \quad (\downarrow \uparrow)$$

曲げモーメント

$$M_{x1} = V_A \times x_1 = \frac{P \cdot b}{l} \cdot x_1 \quad (\curvearrowright \cdot \curvearrowleft), \quad M_{x2} = V_A \times x_2 - P(x_2 - a) \quad (\curvearrowright \cdot \curvearrowleft)$$

ところで、図 1.2.13 (C) のように CB 間 ( $X_2$  点) での応力を求める際、(D) 図のように  $X_2$  点で 2 分した右側から求めた方が早い。ただし、この場合は仮定する応力の向きが (C) 図とは逆になるようにする。

$$\Sigma Y = 0 \text{ より } Q_{x2} + V_B = 0 \quad \therefore Q_{x2} = -V_B = -\frac{P \cdot a}{l} \quad (\downarrow \cdot \uparrow)$$

$$\Sigma M_{x2} = 0 \text{ より } M_{x2} - V_B \times x_3 = 0 \quad \therefore M_{x2} = \frac{P \cdot a}{l} \cdot x_3 \quad (\curvearrowright \cdot \curvearrowleft)$$

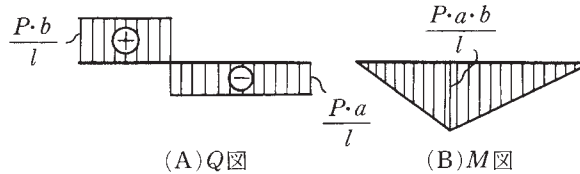


図 1.2.14

図 1.2.15 に示すように単純ばりに等分布荷重が作用する場合の応力を求めると次のようになる。

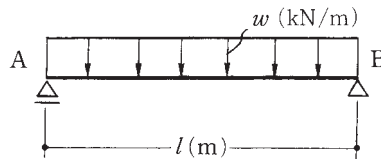


図 1.2.15

応力の求め方の基本は、前述の集中荷重の場合と同様である。ただし、留意すべき点としては、図 1.2.16 (B) のように  $X$  点での応力計算の際、長さ  $x$  の部分に作用している等分布荷重の合力 ( $w \cdot x$ ) を含めたつりあいから求めなければならない。

① 反力計算

$$V_A = V_B = \frac{wl}{2}$$

② 応力計算

$$\Sigma X = 0 \text{ より } N_X = 0$$

$$\Sigma Y = 0 \text{ より } V_A - wx - Q_x = 0$$

$$Q_x = \frac{wl}{2} - wx$$

したがって  $x = 0$  である A 点において  $Q_A = +wl/2$

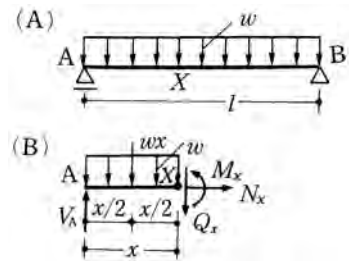


図 1.2.16



$x = l/2$ である中央 (C点) において  $Q_C = 0$

$x = l$ である B点において  $Q_B = -wl/2$

$$\Sigma M_X = 0 \text{ より } V_A \times x - w \cdot x \times \frac{x}{2} - M_X = 0$$

$$\therefore M_X = \frac{wl}{2}x - \frac{wx^2}{2} = \frac{wx}{2}(l-x)$$

したがって  $M_A = M_B = 0$

$$M_C = \frac{wl^2}{8} \text{ (} \curvearrowright \cdot \curvearrowleft \text{)}$$

となる。

(C) 静定ラーメンの応力

静定ラーメンには、片持ちり系ラーメン、単純ばり系ラーメンおよび3ヒンジ系ラーメンがある。それぞれ形は違って、解き方は先の片持ちりや単純ばりと同様である。ただし、3ヒンジ系ラーメンにおいては、中間にあるヒンジ (ピン) の点での曲げモーメントが0となることを用いて反力計算を行った後、単純ばりと同様に解く。

(a) 片持ちり系ラーメン

(i) 集中荷重が作用する場合

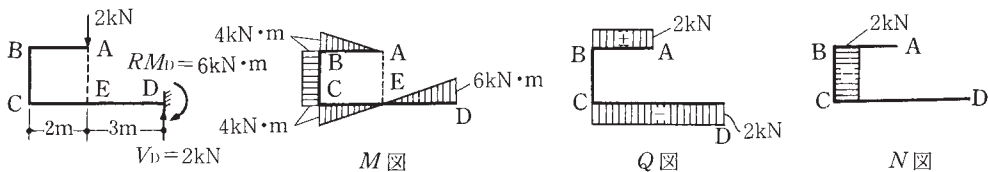


図 1.2.18

(ii) 等分布荷重が作用する場合

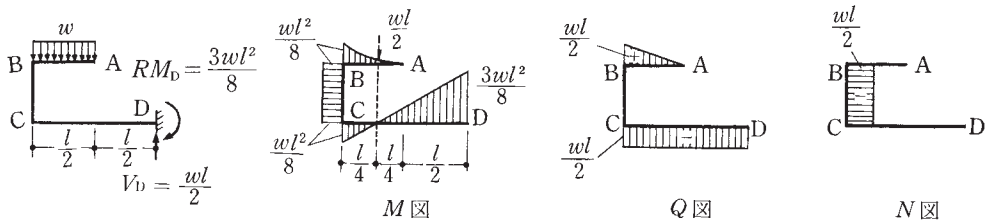


図 1.2.19

(b) 単純ばり系ラーメン

(i) 集中荷重が作用する場合

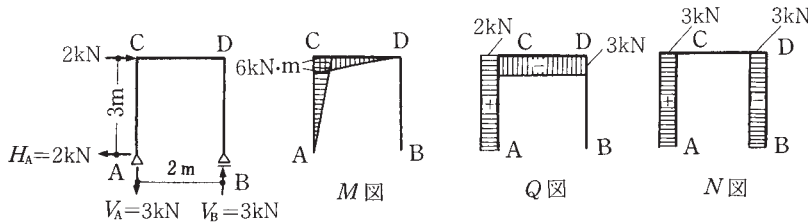
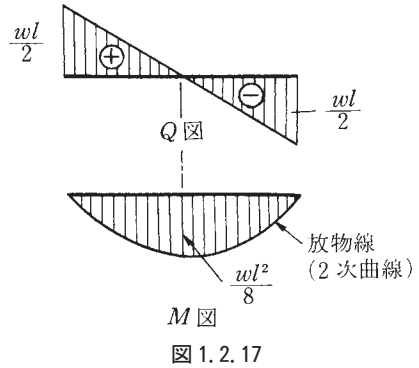


図 1.2.20



(ii) 等分布荷重が作用する場合

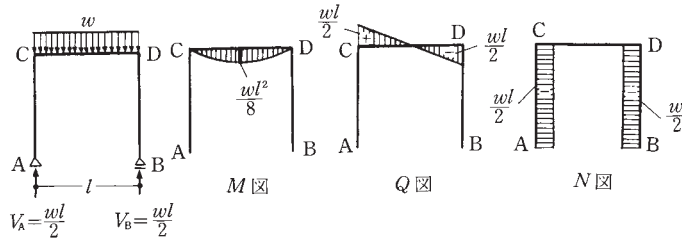


図 1.2.21

(iii) モーメント荷重が作用する場合

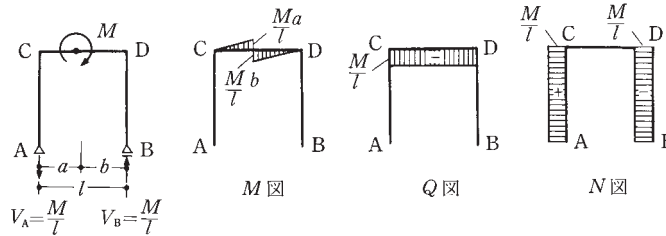


図 1.2.22

(D) 3 ヒンジラーメン

3 ヒンジラーメンは単純ばりと同じように反力計算を行って求める。図 1.2.23 における場合は次のようになる。

**反力計算** C 点の曲げモーメント  $M_C = 0$  より、C 点で 2 分した右側部分に作用する力の C 点に対するモーメントの合計が 0 となることから、

$$\sum_{\text{右}} M_C = 0 \quad \therefore H_B \times 3 - V_B \times 4 = 0 \quad \dots\dots ①$$

A 点に対するモーメントのつりあいから

$$\sum M_A = 0 \quad \therefore 6 \times 2 - H_B \times 3 - V_B \times 8 = 0 \quad \dots\dots ②$$

①, ②式から  $V_B, H_B$  を求めると、

$$V_B = 1\text{kN}, H_B = \frac{4}{3}\text{kN} \text{ となる。}$$

$$\sum X = 0 \text{ より } H_A - H_B = 0 \quad \therefore H_A = \frac{4}{3}\text{kN}$$

$$\sum Y = 0 \text{ より } V_A + V_B - 6\text{kN} = 0 \quad \therefore V_A = 5\text{kN}$$

これらの反力と荷重とによる応力は、図 1.2.24 となる。

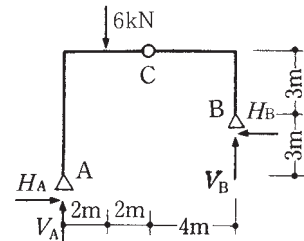


図 1.2.23

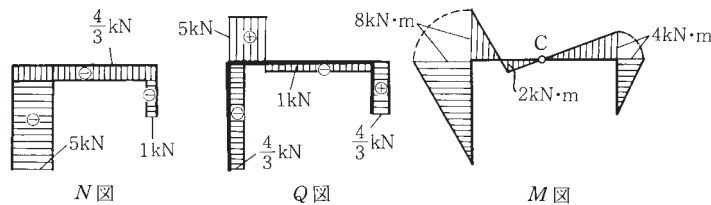


図 1.2.24

### 1.2.4 静定トラス

トラスとは三角形に組み込まれた骨組で、外力に対しての抵抗は引張力と圧縮力のみである。

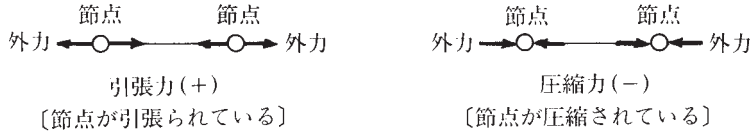


図 1.2.25

#### (A) トラスの応力についての原則

- 1) A 節点が 2 部材だけからなり、外力が作用しないときは、 $N_1, N_2$  の応力は 0 である (図 1.2.26).

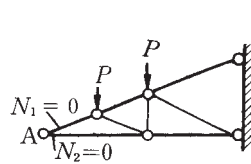


図 1.2.26

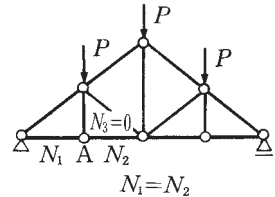


図 1.2.27

- 2) A 節点が 3 部材からなり、そのうち 2 部材 ( $N_1, N_2$ ) が一直線をなし、外力が作用しないときは一直線をなす 2 部材 ( $N_1, N_2$ ) の応力は相等しく、他の部材 ( $N_3$ ) の応力は 0 である (図 1.2.27).
- 3) A 節点に 4 部材が集まり、2 部材ずつ一直線をなすときは、直線をなす 2 部材の応力はそれぞれ相等しい (図 1.2.28).
- 4) A 節点に 3 部材が集まり、2 部材 ( $N_1, N_2$ ) が一直線をなし、外力 ( $P$ ) が他の 1 部材 ( $N_3$ ) と一直線をなすときは、一直線をなす 2 部材の応力は等しく、他の 1 部材の応力は外力とつりあう (図 1.2.29).

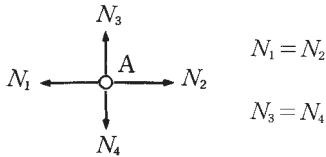


図 1.2.28

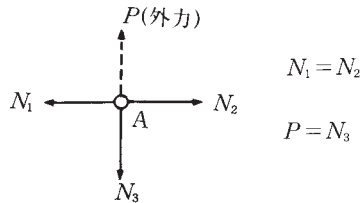


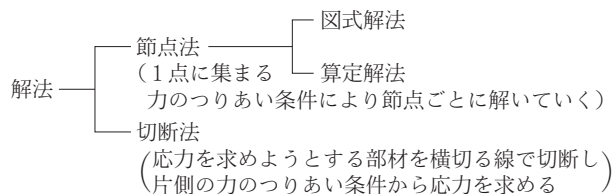
図 1.2.29

#### (B) トラスの応力を求めるときの仮定

- 1) 節点はすべてピン接合である。
- 2) 部材は直線状である。
- 3) 骨組はすべて三角形で構成される。
- 4) 部材の伸縮はきわめて小さく、応力算定に影響がない。
- 5) 外力は節点に作用する。

#### (C) トラスの解法

##### (a) 静定トラス



(b) 節点法

(図式解法)

- 1) 外力または部材によって囲まれた①～⑤の空間に記号をつける (図 1.2.30). (これを領域記号という)
- 2) 反力,  $V_A, V_B$  を求める.
- 3) 各節点における示力図をかくことによって部材の応力が求まる (図 1.2.31, 1.2.32).

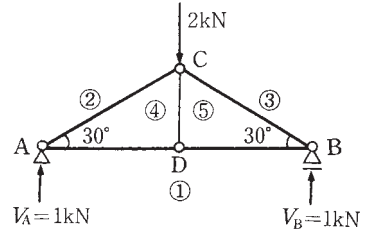


図 1.2.30

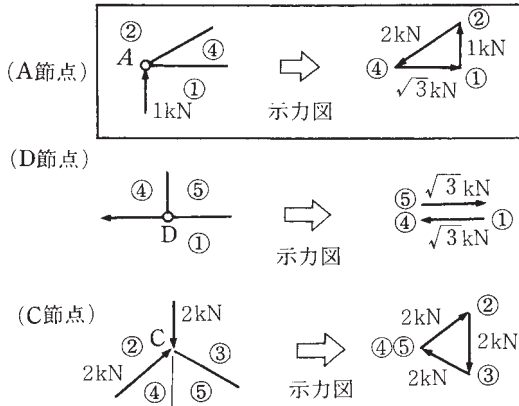


図 1.2.31

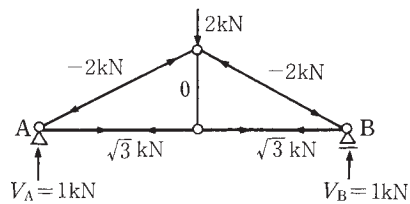


図 1.2.32

いま求めた各節点の示力図をまとめてかいた図形をクレモナ図といい,

図 1.2.33 で表わすことができる.

(算式解法)

- 1) 反力  $V_A, V_B$  を求める (図 1.2.34).
- 2) 各節点のつりあい条件より部材の応力を求める.

(A 節点)  $N_1, N_2$  を図 1.2.35 のように仮定する.

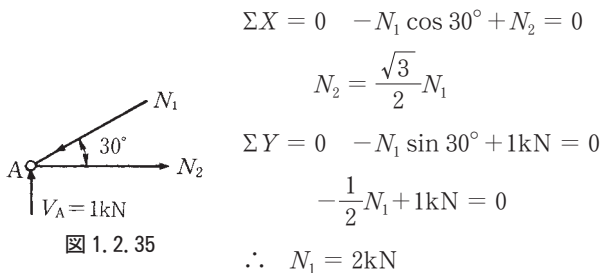


図 1.2.35

$$\Sigma X = 0 \quad -N_1 \cos 30^\circ + N_2 = 0$$

$$N_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} N_1$$

$$\Sigma Y = 0 \quad -N_1 \sin 30^\circ + 1\text{kN} = 0$$

$$-\frac{1}{2} N_1 + 1\text{kN} = 0$$

$$\therefore N_1 = 2\text{kN}$$

$$N_2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 2 = \sqrt{3}\text{kN}$$

(D 節点)  $N_1, N_2$  を図 1.2.36 のように仮定する.

$$\Sigma X = 0 \quad -\sqrt{3}\text{kN} + N_2 = 0$$

$$\therefore N_2 = \sqrt{3}\text{kN}$$

$$\Sigma Y = 0 \quad N_1 = 0$$

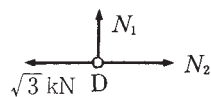


図 1.2.36

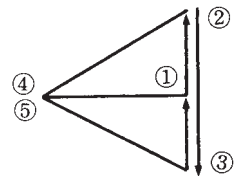


図 1.2.33 クレモナ図

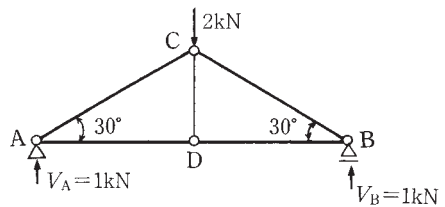


図 1.2.34

以上から部材の応力は図 1.2.37 のようになる。

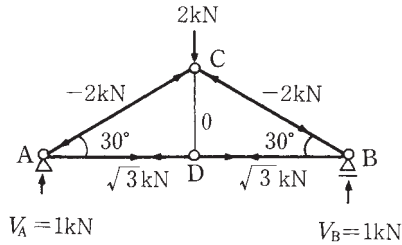


図 1.2.37

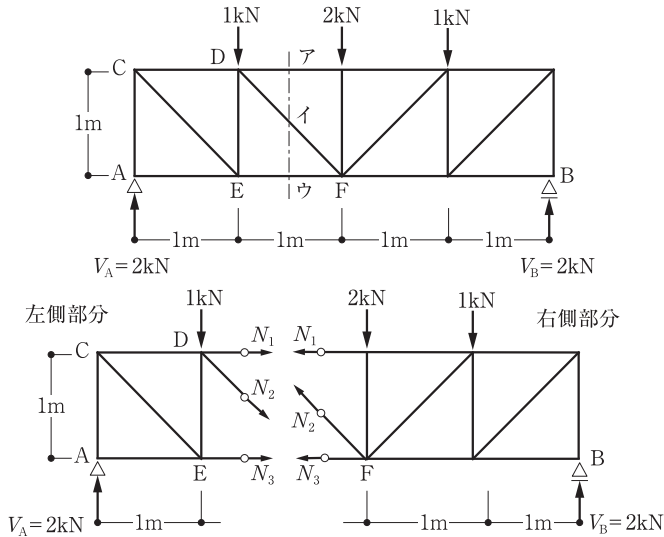
(c) 切断法

(解法手順)

- ① 反力を求める.
- ② 軸方向力を求めようとする部材 (3 本以下) を仮に切断しトラスを左右 2 つに分割し, 左右どちらかを考える (ここでは左側を考える).
- ③ 切断した部材に応力  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  を引張力と仮定し, 記入する. 左側において, 反力  $V_A$ , 外力,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  が作用し, つり合っている.
- ④ 反力, 外力と仮定した軸方向力 ( $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$ ) とのつり合い条件により軸方向力を求める.

つり合い条件は  $\Sigma X=0$  (横方向に移動しない)  
 $\Sigma Y=0$  (縦方向に移動しない)  
 $\Sigma M=0$  (任意の点において回転しない)

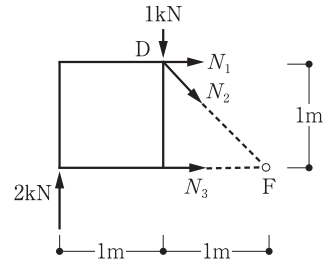
\* (例題) 図のようなトラスにおいて, ア, イ, ウ材の応力を求めてみる.



- 1) 反力を求める.  
左右対称のため, 反力  $V_A = V_B$  は 2 kN となる.
- 2) 軸方向力を求める.

[ $N_1$ ] を求める.

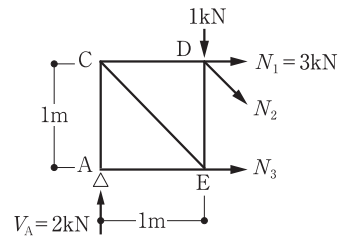
$$\begin{aligned} \Sigma M_F = 0 \quad (&N_2, N_3 \text{ によるモーメントが 0 になる F 点をとる}) \\ 2 \text{ kN} \times 2 \text{ m} - 1 \text{ kN} \times 1 \text{ m} + N_1 \times 1 \text{ m} = 0 \\ \therefore N_1 = -3 \text{ kN} \quad (&\text{仮定とは逆なので圧縮力}) \end{aligned}$$



[ $N_2$ ] を求める.

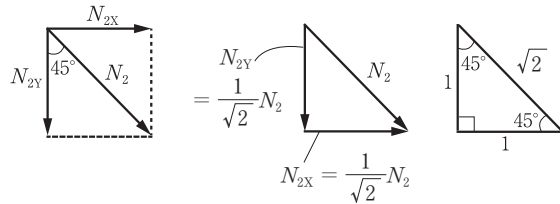
$$\begin{aligned} \Sigma Y = 0 \text{ より求める.} \\ N_2 \text{ を X 方向 } (N_{2X}), \text{ Y 方向 } (N_{2Y}), \text{ に分解する.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{2Y} &= \frac{N_2}{\sqrt{2}} \text{ kN} \\ 2 \text{ kN} - 1 \text{ kN} - \frac{N_2}{\sqrt{2}} \text{ kN} = 0 &\quad \therefore N_2 = \sqrt{2} \text{ kN} \quad (\text{引張力}) \end{aligned}$$



[ $N_3$ ] を求める.

$$\begin{aligned} \Sigma X = 0 \text{ より求める.} \\ -3 \text{ kN} + N_{2X} + N_3 = 0 \\ -3 \text{ kN} + 1 \text{ kN} + N_3 = 0 \\ \therefore N_3 = 2 \text{ kN} \quad (\text{引張力}) \end{aligned}$$



### 1.2.5 不静定構造物と変形

#### (A) はりの変形

不静定構造物は力のつりあい条件だけでは解くことができず、外力による変形条件をも加えて解く必要がある。ここでは、まずはりの変形について学ぶこととする。

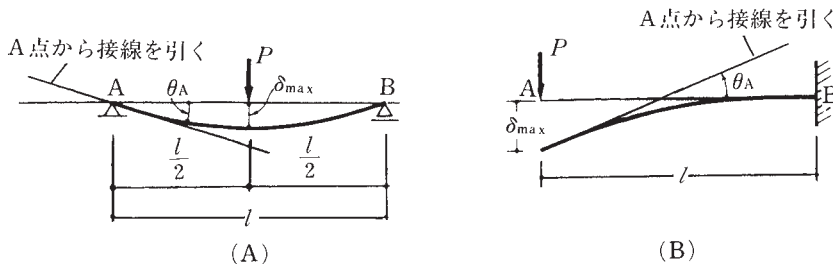


図 1.2.39

図 1.2.39 (A) は単純ばりにおけるたわみ曲線, (B) は片持ばりによるたわみ曲線であり,  $\delta_{\max}$  (最大たわみ),  $\theta_A$  (A 点のたわみ角) は下式により求まる.

$$\begin{aligned} \delta_{\max} &= C \frac{Pl^3}{EI} \\ \theta_A &= C' \frac{Pl^2}{EI} \end{aligned}$$

C, C' : 支点と荷重の状況によってきまる係数

P : 荷重

l : スパン

E : 部材のヤング係数

I : 部材の断面2次モーメント

たわみ ( $\delta$ ) やたわみ角 ( $\theta$ ) は、モールの定理より求めることができる。

モールの定理

- 定理 1 片持ばりの A 点のたわみ角は、片持ばりの曲げモーメントを  $EI$  で割った値を荷重と考えた (弾性荷重という) のときの A 点のせん断力に等しい (A).
- 定理 2 片持ばりの A 点のたわみ ( $\delta$ ) は、片持ばりに弾性荷重を作用させたときの A 点の曲げモーメントに等しい (B).
- 定理 3 単純ばりの A 点のたわみ角は、単純ばりに弾性荷重を作用させたときの A 点のせん断力に等しい (C).
- 定理 4 単純ばりの C 点のたわみ ( $\delta$ ) は、単純ばりに弾性荷重を作用させたときの C 点の曲げモーメントに等しい (D).

(図 1.2.40)

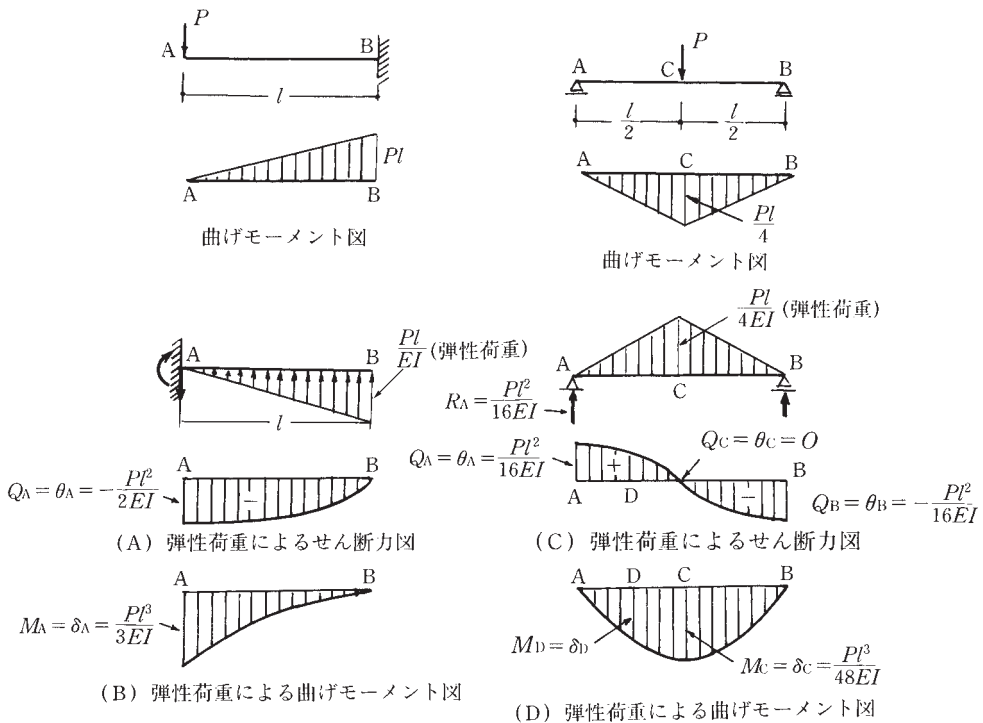


図 1.2.40

表 1.2.7

荷重状態	たわみ( $\delta$ )	たわみ角( $\theta$ )	荷重状態	たわみ( $\delta$ )	たわみ角( $\theta$ )
	$\delta_B = \frac{Pl^3}{3EI}$	$\theta_B = \frac{Pl^2}{2EI}$		$\delta_c = \frac{Pl^3}{48EI}$	$\theta_A = -\theta_B = \frac{Pl^2}{16EI}$
	$\delta_B = \frac{wl^4}{8EI}$	$\theta_B = \frac{wl^3}{6EI}$		$\delta_c = \frac{5wl^4}{384EI}$	$\theta_A = -\theta_B = \frac{wl^3}{24EI}$
	$\delta_B = \frac{Ml^2}{2EI}$	$\theta_B = \frac{Ml}{EI}$		$\delta_c = \frac{Ml^2}{16EI}$	$\theta_A = \frac{Ml}{3EI}$ $\theta_B = \frac{Ml}{6EI}$

曲げモーメント図が放物線形となるときの面積と図心の位置は図 1.2.41 を参照。

$$A_1 \text{ の面積} = \frac{2}{3}ab$$

$$A_2 \text{ の面積} = \frac{1}{3}ab$$

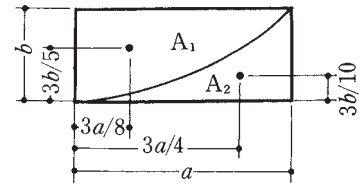


図 1.2.41

一般的な荷重が作用するときの静定ばりの最大たわみとたわみ角を表 1.2.7 に示した。

(B) 不静定ばり

(a) はりの変形条件による方法 力のつりあい条件だけでは反力を決定できない支持の不静定構造物（外的不静定構造物）の場合、たわみ角やたわみによる変形条件を加えることにより反力を求めることができる。

解法としては、支持を一つゆるめ（支持反力数が一つ少ない支持システムに置きかえる）、減らした支持反力を荷重として与えることにより、元の支持状態における変形と同じ変形が得られるよう、その反力を求める。

たとえば、図 1.2.42 (A) において、(B) 図または (C) 図のように考えることができる。

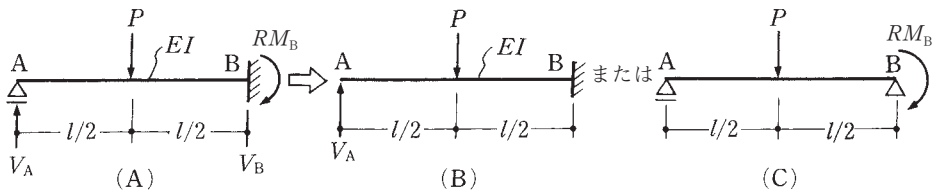


図 1.2.42



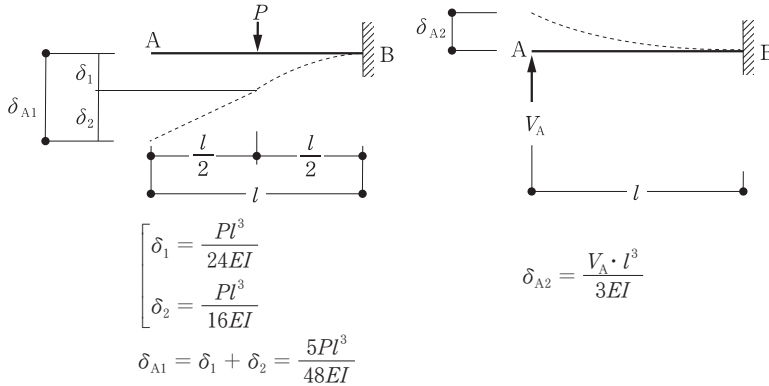
① (B) 図のように考える場合

(イ) 反力  $V_A$  を求める.

元の梁は A 点はピン支持であるので、A 点のたわみは 0 になる条件から反力  $V_A$  を求める.

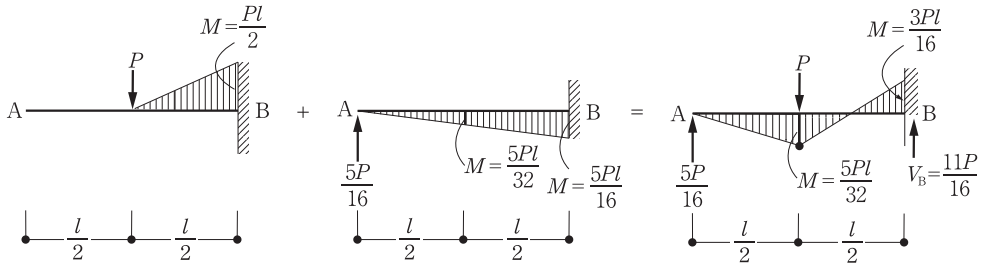
$$\delta_{A1} + \delta_{A2} = 0$$

$$\frac{5Pl^3}{48EI} + \left( \frac{-V_A l^3}{3EI} \right) = 0 \quad \therefore V_A = \frac{5P}{16}$$



(ロ) 梁の曲げモーメントを求める.

片持ち梁の中央に  $P$  が作用した曲げモーメントと、A 点に  $\frac{5P}{16}$  が作用したときの曲げモーメントを合計して求める.

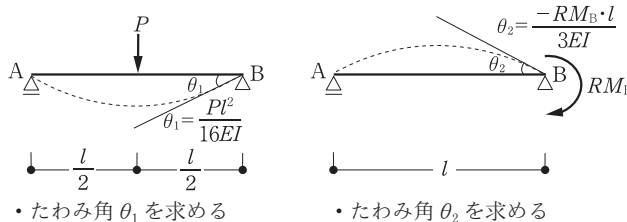


② (C) 図のように考える場合

(イ) モーメント荷重  $RM_B$  を求める.

元の梁は B 端が固定端であるので、梁 B 端は回転しない (たわみ角が 0 になる) 条件から  $RM_B$  を求める.

$$\theta_1 + \theta_2 = \frac{Pl^2}{16EI} + \left( \frac{-RM_B \cdot l}{3EI} \right) = 0 \quad \therefore RM_B = \frac{3Pl}{16}$$





## 重要語句

### 【あ 行】

アーチ 27  
 垂 鉛 295, 296  
 アスファルト 314  
 アスファルト・コンパウンド 313  
 アスファルト・タイル 311  
 圧縮材 150, 177  
 圧縮材の設計 175  
 圧密沈下 120  
 あばら筋比 238  
 網入り板ガラス 307  
 アルミニウム 294  
 アルミニウム合金 294  
 安山岩 302  
 安 定 28  
 イオン化傾向 295  
 1次固有周期 11  
 1次設計 80  
 一面せん断 153  
 裏はつり 171  
 AEコンクリート 284  
 液状化現象 120  
 応力の種類 30  
 押出成形品 310  
 帯筋比 237

### 【か 行】

解放モーメント 42  
 花こう岩 302  
 火成岩 301  
 型板ガラス 307  
 片持ばり系ラーメン 32  
 かぶり厚さ 249  
 壁厚と規模 244  
 壁式鉄筋コンクリート造の規模 251

カリ・ガラス 306  
 がりょう 245, 248, 250  
 含水率 274  
 既製コンクリート杭 127  
 基 礎 147  
 基礎ばり 245  
 凝灰岩 302  
 強化ガラス 307  
 許容応力度 121  
 許容曲げモーメント 202  
 杭間隔 127  
 くぎ接合 153  
 形状係数 86  
 軽量コンクリート 284  
 化粧板 310  
 結合水 273  
 限界耐力計算 88  
 鋼 292  
 鋼管杭 127  
 合金鋼 292  
 鋼構造の特性 169  
 鋼材の  $F$  値 169  
 鋼材の許容応力度 170  
 剛性率 84  
 洪積層 119  
 構造計画 79  
 構造設計 79  
 構造特性係数 85  
 剛 度 41  
 合 板 276  
 剛 比 41  
 降伏点 293  
 降伏ヒンジ 87  
 構面外の座屈 176  
 高力ボルト摩擦接合 170  
 固定荷重 75  
 固定モーメント 42

ゴム・タイル 311  
 小屋組 158  
 固有周期 10  
 コンクリートの許容応力度 199  
 コンクリートブロック帳壁 250  
 コンシステンシー 282

### 【さ 行】

細骨材 281  
 砂 岩 302  
 座屈長さ 9, 237  
 座屈長さのとりかた 176  
 算式解法 35  
 3ヒンジラーメン 33  
 三辺固定スラブの曲げモーメント 201  
 仕 口 179  
 軸方向力 ( $N$ ) 27  
 地震力 77  
 支 点 28  
 地盤改良工法 132  
 四辺固定スラブの曲げモーメント 201  
 自由水 273  
 集成材 276  
 充腹形のはり 177  
 主応力度 7  
 主働土圧 130  
 受働土圧 130  
 正味断面係数 151  
 心 材 273  
 水成岩 301  
 垂直応力度 6  
 筋かい 148  
 ストレート・アスファルト 313  
 すみ肉溶接 172  
 スラブ厚 204

スランブ 282  
 スロット溶接 173  
 静止土圧 130  
 静定 28, 29  
 静定トラス 34  
 静定ばり 30  
 静定ラーメン 32  
 青銅 294  
 石英ガラス 306  
 積載荷重 75  
 積雪荷重 76  
 設計用接地圧 128  
 接合部の終局耐力 240  
 切断法 36  
 接着接合 155  
 節点 27  
 節点法 35  
 セメントの種類 280  
 繊維板 276  
 繊維飽和点 273  
 全塑性モーメント 86  
 せん断応力度 6  
 せん断力 ( $Q$ ) 27  
 せん断力に対する算定 238  
 線膨張係数 198  
 層間変形角 80  
 ソーダ・ガラス 306  
 粗骨材 281  
  
**【た 行】**  
 耐久性 275  
 大理石 302  
 耐力壁 148, 158  
 耐力壁の厚さ 247  
 耐力壁の構造 247, 252  
 耐力壁の配筋 249  
 たわみ 37  
 たわみ角 37  
 たわみの限度 178  
 単純ばり系ラーメン 32  
 弾性限度 293  
 弾性座屈応力度 9  
 弾性座屈荷重 9  
 炭素鋼 292  
 断面1次モーメント 1

断面極2次モーメント ( $I_p$ ) 4  
 断面係数 ( $Z$ ) 3  
 断面相乗モーメント ( $I_{xy}$ ) 4  
 断面2次半径 ( $i$ ) 3  
 断面2次モーメント 2  
 地下部分の地震力 79  
 力の合成 25  
 力のつりあい 27  
 力の分解 25  
 地盤改良工法 132  
 着火温度 276  
 柱脚 178  
 沖積層 119  
 長方形ばり 202  
 突合せ溶接 171  
 継手 179  
 つりあい鉄筋比 203  
 T形ばり 203  
 鉄筋コンクリート構造の特性 198  
 鉄筋コンクリートの重量 200  
 鉄筋に対するかぶり厚さ 238  
 鉄筋のかぶり厚さ 215  
 鉄筋の許容応力度 199  
 鉄筋のコンクリートに対する許容付着応力度 200  
 鉄筋の定着 249  
 テラゾー 302  
 転倒モーメント 131  
 銅 291, 294, 295  
 銅合金 294  
 到達モーメント 42  
 土台 147  
 トラス 27  
 土粒子 119  
  
**【な 行】**  
 内部摩擦角 120  
 鉛 292, 295, 296  
 鉛ガラス 306  
 2次設計 80  
 二面せん断 153  
 布基礎 245  
 熱可塑性樹脂 309  
 熱硬化性樹脂 309

熱線吸収ガラス 307  
 熱膨張係数 283  
  
**【は 行】**  
 パーティクルボード 276  
 場所打ちコンクリート杭 127  
 柱 147  
 柱の軸方向力及び曲げモーメントに対する算定 239  
 柱のせん断力 43  
 柱のせん断力に対する算定 240  
 柱配筋について算定以外の規定 204  
 幅厚比 175  
 はり 147  
 はりの算定 177  
 はりのせん断力 44  
 はりの有効せい 202  
 はり配筋についての算定以外の規定 203  
 パンチング・シャー 129  
 反力 33  
 比重 273  
 非充腹形のはり 178  
 ひずみ 8  
 ピッチ 314  
 引張強度 293  
 引張材 149  
 必要保有水平耐力 85  
 ビニール・タイル 311  
 標準貫入試験 120  
 比例限度 293  
 不安定 28  
 風圧力 76  
 複層ガラス 307  
 腐食 295  
 不静定 29  
 不静定構造物 37  
 不静定ばり 39  
 不静定ラーメン 41  
 富調合 284  
 フック 212  
 部分溶け込み溶接 172  
 プラグ溶接 173  
 プリージング 283

プレストレス 255  
プレストレスコンクリート  
253, 284  
プレテンション方式 253  
ブロック帳壁の壁厚 251  
ブロック造の種別と規模 246  
ブロックの分類 246  
ブローン・アスファルト 313  
分割面積 244  
分割モーメント 42  
分配率 42  
平板載荷試験 119  
併用継手 174  
壁量 247  
辺材 273  
偏心荷重 128  
偏心率 84  
変成岩 301  
崩壊荷重 87  
防蟻処理 160  
砲金 294  
ホウケイガラス 306  
防腐処理 160

ポストテンション方式 254  
細長比 10, 175  
保有水平耐力 85  
保有水平耐力の算定 240  
ボルト接合 155, 170

#### 【ま行】

曲げ応力度 6  
曲げ材 150  
曲げ材のせん断補強 204  
曲げモーメント ( $M$ ) 27  
曲げモーメントに対する算定  
238  
磨き板ガラス 307  
水セメント比 282  
モーメント 25  
モールの定理 38  
木ねじ接合 154

#### 【や行】

屋根・床の構造 253  
ヤング係数 8, 198  
ヤング係数比 202

有効断面係数 151  
有効断面2次モーメント 152  
有効のど厚 171  
有孔ばりの穴の径 237  
床組 159  
洋小屋 149  
養生温度 283  
溶接継目の許容応力度 174  
溶接継目の耐力 173  
溶接の有効長さ 173

#### 【ら行】

ラーメン 27  
リノ・タイル 311  
リノリウム 311  
レディ・ミクスト・コンクリート  
284

#### 【わ行】

ワーカビリティ 282  
枠組壁工法 157  
和小屋 149

『合格対策一級建築士受験講座』

編集委員長 中村光彦（工学博士，一級建築士，全日本建築士会会長）

2024年版「構造」分科会編集長 佐藤 哲（一級建築士）

合格対策

一級建築士受験講座 学科IV(構造)

2023年11月30日 初版第1刷発行

編集 一般社団法人  
全日本建築士会  
発行者 柴山 斐呂子  
印刷所 モリモト印刷  
製本所 モリモト印刷

発行所 理工図書株式会社  
〒102-0082 東京都千代田区一番町 27-2  
電話 03(3230)0221(代表)  
FAX 03(3262)8247  
振替口座 00180-3-36087 番  
<http://www.rikohtosho.co.jp>  
お問合せ [info@rikohtosho.co.jp](mailto:info@rikohtosho.co.jp)

©2023

Printed in Japan

ISBN978-4-8446-0936-0 C3052

 <出版者著作権管理機構 委託出版物>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088，FAX 03-5244-5089，e-mail:info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

# 合格対策 一級建築士受験講座 令和6年版

一般社団法人 全日本建築士会編 B5判 / 全5冊 / 定価 各 4,235 円 (税込)

学科 **I 計画**

学科 **II 環境・設備**

学科 **III 法規**

学科 **IV 構造**

学科 **V 施工**

## 60年の実績を有する本講座の特色

本書一冊で、要点総まとめ・精選問題集・用語集の三冊以上の価値！

- ◆ 真に役立つ知識が短時間で身につくよう解説を最小限にまとめ、重要なデータをコンパクトに収めながら基本を確実にマスターできるように配置した。
- ◆ 既出の問題を徹底的に分析し、その解説を通じて応用的な知識を得られるように問題に工夫した。
- ◆ 必要最小限な用語集として重要語句を欄外に明示し、巻末に索引を収載した。

### 建築計画学 B5判/380頁 定価3,960円(税込)

著者：松本直司・瀬田恵之・高井宏之・建部謙治・谷田真中井孝幸・矢田努



生活空間を創造するための技術である建築計画を学問として体系化したものが建築計画学である。本書は、建築を初めて学ぶ学生を対象とし内容がわかりやすいことを心がけたが、特別な項目を深く掘り下げている箇所が散見される。それらについては、一通り学んだ後にも再読いただくと、その有用性が認識されるものと考えている。

### 建築施工を学ぶ B5判/296頁 定価3,960円(税込)

著者：谷川恭雄・池田宏之・宇野康則・坂本秀明・富田彰則・西之園一樹野中知秀・平岩隆・堀政広・宮部憲一・森堅太郎



大手建設会社で多くの施工経験を持つ第一線の技術者が、建築学科学生のための入門書として執筆した。工事種別ごとの基礎的事項をわかりやすく説明している。また、建築士試験問題および建築施工管理技士試験問題についても頻出する項目を本文中に明示した。

### 建築材料を学ぶ B5判/274頁 定価3,520円(税込)

著者：谷川恭雄・青木孝義・河辺伸二・黒川善幸・鈴木清孝・寺西浩司 畑中重光・濱崎仁・平岩陸・丸山一平・三島直生・山田和夫・山本貴正



建築学科学生のための建築材料の関する入門書。建築物に使用される材料を、安全性を支える「構造材料」と機能性や意匠性を持たせる「非構造材料」に大別して、各々の基礎的事項についてわかりやすく説明し、「材料の選択と施工の実例」も載せている。それにより建築設計製図や建築士試験についても活用できるようになっている。

### 建築生産(改訂版) B5判/272頁 定価3,520円(税込)

編著者：古阪秀三



紙面を刷新し全訂新版として発行。基本的には、初学者、実務者、教育者、研究者、理解者の人達に、少しでも建築生産の世界をより正確に理解していただくための教科書という当初の目的と、広義の建築生産を第I部で扱い、狭義の建築生産を第II部で扱っている。

理工図書

〒102-0082 東京都千代田区一番町 27-2 TEL: 03(3230)0221 FAX: 03(3262)8247  
<https://www.rikohtosho.co.jp/> お問い合わせ: info@rikohtosho.co.jp

