

## 12年度前期：総合演習ゼミ（1） 構造／設計

### 問題1

鉄筋とコンクリートの材料力学に関する次の記述のうち、正しいものの組合せ①～⑤の中から選択せよ。

- a. 一般に、材料の応力～ひずみ関係は、「応力  $\sigma$  = 弾性係数  $E$  \* ひずみ  $\epsilon$ 」で表される。また、これらの単位は、SI 単位系の一例として、 $\sigma[\text{N/mm}^2] = E[\text{N/mm}^2] * \epsilon$  のように表される。
- b. ポアソン効果とは、ある方向に例えば圧縮ひずみを与えると、その直交方向に異符号のひずみ（伸びひずみ）を生じる現象である。ポアソン比の例として、コンクリートの場合  $\mu=0.2$ 、鋼材で  $\mu=0.3$  程度である。
- c. コンクリートは高圧縮強度低引張強度の材料で、引張強度の圧縮強度に対する比は  $1/10 \sim 1/15$  程度である。例えば、コンクリート標準示方書の算定式を用いると、圧縮強度が  $30 \text{ N/mm}^2$  ( $300 \text{ kgf/cm}^2$ ) のコンクリートは、引張強度  $2.2 \text{ N/mm}^2$  ( $22.4 \text{ kgf/cm}^2$ ) と算定される。一方、曲げ強度は、この引張強度より  $10\%$  程度小さい。
- d. 異形鉄筋は、代表的なひずみ硬化型弾塑性材料である。鉄筋規格 **SD30** と **SD35** とを比べると、降伏強度は **SD35** の方が大きい、降伏ひずみは **SD30** の方が大きい。また、弾性係数は **SD30** と **SD35** と同じ値で、通例設計では  $200 \text{ kN/mm}^2$  を用いる。
- e. 鉄筋コンクリート部材では、コンクリートが乾燥収縮を受けると、一般に、コンクリートには引張応力、埋設されている鉄筋には圧縮応力が作用する。このため、乾燥収縮が大きいと、コンクリートのひび割れに至ることがあり、初期ひび割れの代表的な要因である。このような拘束応力は、鉄筋量が多いほど大きくなる。

解答群：

- ① a. c. e.
- ② a. c. d.
- ③ d. b.
- ④ b. e.
- ⑤ c. d.

解答：④

解説)

a. SI 単位の表示が間違っている。

誤り :  $\sigma[\text{N/mm}^2] = E[\text{N/mm}^3] * \epsilon[\text{mm}]$  のように表される。

正しくは :  $\sigma[\text{N/mm}^2] = E[\text{N/mm}^2] * \epsilon[\text{無次元}]$  のように表される。

正解のポイント：

変形，（変位，）ひずみ，応力，荷重，弾性係数の関係および単位は材料力学の必修事項。

**b. 正答**

ポアソン効果の定義およびポアソン比の例（コンクリートと鉄筋）ともに正しい。

正解のポイント：

ポアソン効果の定義と意味は，固体の力学の必修事項。また，代表的な材料のポアソン比も覚えてもらいたい。ちなみに，ポアソン比は弾性理論では，**0.0～0.5**の値をとる。

**c. 曲げ強度の引張強度の関係が間違っている。**

圧縮強度  $f'_c$ ，引張強度  $f_t$ ，曲げ強度  $f_b$  とすると，土木学会標準示方書の算定式は，SI 単位系で表すと次式で与えられている

$$\cdot \text{引張強度} : f_t = 0.23 (f'_c)^{2/3}$$

$$\cdot \text{曲げ強度} : f_b = 0.42 (f'_c)^{2/3}$$

これに従うと，圧縮強度が  $30 \text{ N/mm}^2$  ( $300 \text{ kgf/cm}^2$ ) のとき，両強度は次のように算出される。

$$\cdot \text{引張強度} : f_t = 0.23 (f'_c)^{2/3} = 2.22 \text{ N/mm}^2 \quad (f_t / f'_c = 2.22 / 30 = 1/13.5)$$

$$\cdot \text{曲げ強度} : f_b = 0.42 (f'_c)^{2/3} = 4.06 \text{ N/mm}^2 \quad (f_b / f'_c = 4.06 / 30 = 1/7)$$

以上の計算から，誤りの個所は次のよう訂正される。

誤りの記述：「曲げ強度は，この引張強度より **10%**程度小さい」

正しい記述：「曲げ強度は，この引張強度より **80%**程度大きい」となる。

正解のポイント：

圧縮強度  $f'_c$ ，引張強度  $f_t$ ，曲げ強度  $f_b$  との関係については，大略以下のような関係にある。

$$f_t = (1/10 \sim 1/15) f'_c, \quad f_b = (1/5 \sim 1/8) f'_c, \quad f_b \approx 0.6f_t$$

本例に示した土木学会標準示方書の算定式を知らなくても，上記の関係から正解を判断することができ，少なくとも  $f_b > f_t$  を知っていれば，問題文の誤りの個所は推察できる。

**d. 降伏ひずみの大小が異なる**

誤りの記述：「降伏強度は **SD35** の方が大きい，降伏ひずみは **SD30** の方が大きい」

正しい記述：「降伏強度，降伏ひずみともに **SD35** の方が大きい」

$$\text{SD35} : \text{降伏強度 } f_y = 345 \text{ N/mm}^2, \quad \text{降伏ひずみ } \epsilon_y = 345 \text{ N/mm}^2 / 200 \text{ kN/mm}^2 = 1.73 \times 10^{-3}$$

$$\text{SD30} : \text{降伏強度 } f_y = 295 \text{ N/mm}^2, \quad \text{降伏ひずみ } \epsilon_y = 295 \text{ N/mm}^2 / 200 \text{ kN/mm}^2 = 1.43 \times 10^{-3}$$

正解のポイント：

弾性係数は鉄筋規格に関わらず，同じ値（設計では  $200 \text{ kN/mm}^2$ ）を用いる。従って，降伏強度が大きくなると，そのまま降伏ひずみも大きくなる。

**e. 正答**

正解のポイント：

鉄筋コンクリート部材のうちコンクリートのみが，乾燥収縮（非弾性ひずみの代表例）を受けると，一般に，コンクリートには引張応力，埋設されている鉄筋には圧縮応力が作用する。このため，乾燥収縮が大きいと，鉄筋量が多いほど，拘束応力は大きくなり，コンクリートのひび割れが発生しやすくなる。

## 12年度前期：総合演習ゼミ（1） 構造／設計

### 問題2

曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリートの力学に関する次の記述のうち、正しいものの組合せを解答覧の①～⑤の中から選択せよ。

- a. 曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート（単鉄筋長方形断面）の中立軸比  $k$  は、 $k = -np + \sqrt{2np + (np)^2}$  で表される。一般に、 $n$  は弾性係数比で  $1$  より大きく、 $p$  は鉄筋比で  $1$  より小さく、算出される中立軸比  $k$  は  $0.5$  より小さい正の値となる。この算定式は、終局状態における曲げ耐力の算定に用いられる。
- b. 曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート部材では、ひび割れの発生を許容するが、鉄筋量を増加することによりひび割れ幅を制御することができる。例えば、活荷重作用時では、ひび割れ発生を前提とし引張側コンクリートの応力を考えない。一方、ひび割れ幅の開口量（ひび割れ幅）は、使用限界状態として照査する必要があり、このときの許容ひび割れ幅は、 $0.01 \sim 0.03 \text{ mm}$  程度である。
- c. 梁部材に配置される鉄筋は、主鉄筋（軸方向鉄筋）と腹鉄筋（スターラップ、折曲げ鉄筋）に分類され、前者は曲げモーメント、後者はせん断力に抵抗するもので、両鉄筋とも予想されるひび割れの直交方向に配置することが原則である。  
また、曲げ終局耐力の算定に際しては、主鉄筋の配筋量を増加すると耐力を増加させることができるが、過大に配筋するとコンクリート圧壊が先行することになり（圧壊先行型）、靱性が損なわれ設計上好ましくない。
- d. 曲げ部材の断面耐力（曲げ終局耐力）を算定する場合、等価応力ブロック法が多く用いられる。これは、ひずみ分布は終局時であっても直線分布（平面保持の仮定）とし、応力分布については、引張鉄筋は降伏状態とし、コンクリートについては、圧縮側を等価な矩形ブロックに置換し、引張側は無視するものである。設計に際しては、通例、**under-reinforcement** を確認する必要があり、**over-reinforcement**（過鉄筋）は認めない。
- e. 限界態設計法（終局限界状態）を用いる場合、設計断面力（設計曲げモーメント）および設計断面耐力（設計曲げ耐力）を算定する必要がある。両者は似通った名前で紛らわしいが、断面力は外からの荷重による断面力であり、後者の断面耐力は、断面の保有する終局耐荷力を表す。  
一般に、設計断面力は、荷重係数などにより実際の断面力を割引き（低減させ）、設計断面耐力は材料係数や部材係数により、実際の耐力より増加させ、最終的に設計断面力 < 設計断面耐力により、安全性が照査される。

解答群：

- ① a. b. c.    ② b. c.    ③ d.    ④ c. d.    ⑤ c. e.

解答：④

解説)

a. 間違っている。曲げ耐力の算定には使われない：

正しくは：終局状態における曲げ耐力の算定に用いられず，許容応力度設計法または限界状態設計法のうち使用限界状態と疲労限界状態の照査に用いられる。

正解のポイント：教科書4章を参照すること。特に，p.71の表4-1が参考になる。

b. 許容ひび割れ幅はもっと大きくてよい。：

一般に，許容ひび割れ幅は，0.01～0.03mm程度ではなく，0.1～0.3mm程度である。

正解のポイント：教科書10章のうち，10-3-1許容ひび割れおよび例題10-3を参照すること。

c. 全記述とも正しい：

正解のポイント：教科書4章（曲げ部材）の関連箇所を参照すること。また，6章のうち，「6-2-2，梁部材の応力分布とひび割れ」および「6-2-3 曲げ補強とせん断補強」も参考になる。

d. 全記述とも正しい：

正解のポイント：教科書4章（曲げ部材）の関連箇所を参照すること。特に，(2) 釣合い鉄筋比 (p.82～87) を参考にするとよい。

e. 間違っている：

正しい記述は，

・設計断面力 (**member force, sectional force**) は，荷重係数や構造解析係数により実際の断面力を増加させる。(過大な荷重を想定して，設計断面力として‘大きめ’に算定する)

・設計断面耐力(**ultimate capacity of section**)は，材料係数や部材係数により，実際の耐力より減少させる。(材料のバラツキを想定して，設計断面耐力として‘小さめ，控えめ’に算定する)

・最終的に，設計断面力  $S_d <$  設計断面耐力  $R_d$  により安全性が照査される。(コンクリート標準示方書に従えば， $\gamma_i \frac{S_d}{R}$  により，設計照査される。)

正解のポイント：教科書3章：限界状態設計法 (p.44～53) を参照すること。

## 12年度前期：総合演習ゼミ（1） 構造／設計

### 問題3

せん断力を受ける鉄筋コンクリートの力学に関する次の5つの記述のうち、正しい正誤の組合せを解答覧①～⑤の中から選択せよ。

- a. 通例、梁部材は、その断面に曲げモーメントとせん断力が作用するが、せん断スパン  $a$  の大きさによって、この両断面力の比率が異なる。せん断スパン  $a$  が小さいほど、せん断力の比率が大きくなり、せん断破壊の可能性が大きくなる。
- b. 単柱形式の鉄筋コンクリート橋脚は、構造的に片持ち梁と考えてよい。このような部材には、自重（これは中心軸圧縮力となる）、上載荷重（偏心軸圧縮力）、地震荷重（柱頭部に作用する水平力）が主たる設計荷重となる。自重と上載荷重により、橋脚基部には、軸力と曲げモーメントが作用し、自重と地震荷重の組み合わせを考えると、橋脚には曲げモーメントとせん断力が作用する。
- c. せん断力を受ける鉄筋コンクリート梁の耐荷力（せん断耐力）は、トラス理論によって明快に算定することができる。トラス理論を用いる場合、軸方向鉄筋（圧縮鉄筋と引張鉄筋）が上下弦材、斜めひび割れの生じている腹部コンクリートが斜め圧縮材、スターラップ（せん断補強筋）が引張斜材として置き換えられる。このうち、スターラップの引張降伏もしくはコンクリート斜め圧縮材の圧縮破壊により、終局状態となると考える。通例、前者のスターラップの引張降伏を想定する。
- d. 土木学会コンクリート標準示方書のせん断設計では、設計せん断耐力を修正トラス理論で算定する。修正トラス理論は、せん断耐力  $V_{yd}$  を

$$\text{せん断耐力 } V_{yd} = \text{コンクリートの寄与分 } V_{cd} + \text{せん断補強筋による成分 } V_{sd}$$

のような合算式によって考えるもので、前者の  $V_{sd}$  はトラス理論によって算定され、後者の  $V_{sd}$  は、せん断補強筋の寄与分に主鉄筋の効果が若干加算される。

- e. 上記のコンクリートの寄与分  $V_{cd}$  は、 $V_{cd} = \beta_d \beta_p \beta_n f_{vcd} b_w d / \gamma_b$  で表される。このうち、 $f_{vcd}$  はコンクリートのせん断強度を表し、普通コンクリートの場合、圧縮強度の  $1/3$  程度であり、 $\gamma_b$  は、部材係数で、せん断の場合、 $1.3$  程度である。また、3 係数  $\beta_d, \beta_p, \beta_n$  のうち、係数  $\beta_d$  は部材有効高さの影響、 $\beta_p$  はせん断補強筋の影響を表す。

解答群：

- ① a.○, b.×, c.○, d.×, e.×  
② a.×, b.×, c.○, d.○, e.○  
③ a.○, b.○, c.○, d.×, e.×  
④ a.×, b.○, c.×, d.○, e.○  
⑤ a.○, b.○, c.×, d.×, e.×

解答：①

解説)

**a. 正解：**

正解のポイント：せん断スパン  $a$  を有効高さ  $d$  で割ると、せん断スパン比  $a/d$  となり、せん断スパン比  $a/d$  の小さい梁部材：梁背の高い梁 (Deep Beam)  
せん断スパン比  $a/d$  大きい梁部材：細長い梁 (Slender Beam)  
のように、分類できる。

**b. 「自重+地震荷重」の記述が誤り：**

自重+上載荷重=橋脚基部には、軸力と曲げモーメントが作用する (問題文は正しい).  
自重+地震荷重=軸力, 曲げモーメント, せん断力が作用する (問題文を修正).

正解のポイント：片持ち梁を想定して、自由端に上記両ケースの荷重を負荷したときの断面力分布を考えよ.

**c. 全記述とも正しい：**

正解のポイント：せん断力耐力を算定するとき用いられるトラス理論の基本的な考え方の記述.

**d. 間違っている：**

誤り：前者の  $V_{cd}$  はトラス理論によって算定され、後者の  $V_{sd}$  は、せん断補強筋の寄与分に主鉄筋の効果が若干加算される.

正解：前者の  $V_{cd}$  はコンクリート強度の実験式によって算定され、後者の  $V_{sd}$  は、せん断補強筋の寄与分であり、トラス理論で算定される (主鉄筋の効果は全く関係しない).

正解のポイント：教科書5章 (せん断部材) の関連箇所を参照. 特に、6-4 (p.139~144) を参考にするとよい.

**e. 誤りが2箇所あり：**

正解のポイント：2箇所の誤りは、次のように訂正される (解説も加えている)：

・  $f_{vcd}$  はコンクリートのせん断強度を表し、 $f_{vcd} = 0.9\sqrt{f'_{cd}}$  で表され、設計圧縮強度  $f'_{cd}$  の 2% 程度 (約 1/50) とかなり小さい.

・ 係数  $\beta_p$  はせん断補強筋の影響を表すのではなく、主鉄筋の影響を表す.  $\beta_p$  は鉄筋比  $p=2\%$  の場合

$\beta_p=1.25$  となり、高々 1.5 である.

## 12 年度前期：総合演習ゼミ（1） 構造／設計

### 問題 4

鉄筋コンクリートの疲労限界と使用限界に関する次の記述のうち、正しい正誤の組合せを解答覧①～⑤の中から選択せよ。

a. 材料の疲労特性を表す **S-N** 線図は、縦軸に応力パラメータ  $S$ 、横軸に疲労寿命  $N$  をとり、右下がりの図となる。また、応力パラメータ  $S$  として、応力振幅または最大応力とすることが多く、横軸の  $N$  は通例 **log** スケールとなる。応力パラメータ  $S$  を応力振幅とした場合、同一の応力振幅に対して、下限応力が小さいほど  $N$  が大きくなる（長寿命となる）。

b. コンクリートの疲労強度（通例圧縮応力）の算定式に多用される **Goodman** 型の **S-N** 線図は、

$$\frac{\sigma_r}{f_k} = \left( 1 - \frac{\log N}{K} \right) \left( 1 - \frac{\sigma_{\min}}{f_k} \right)$$
 で表される。この場合、下限応力  $\sigma_{\min}$  を静的強度  $f_k$  の **20%**、応力振

幅を  $\sigma_r$  を静的強度  $f_k$  の **50%** とすると、このときの疲労寿命  $N$  は、**2.37\*10<sup>6</sup>** 回である（ただし、定数  $K$  については、普通コンクリートを想定して、**K=17** とした）。

c. 曲げひび割れの発生によって部材の曲げ剛性は低下するが、一般に使用荷重状態であれば、全断面有効時の断面 2 次モーメントと RC 断面（引張コンクリートが全く寄与しない断面）の断面 2 次モーメントとの中間状態にあり、換算式による換算断面 2 次モーメントを用いることが多い。この換算断面 2 次モーメントは、主鉄筋量が多いほど大きいですが、作用荷重の増加により減少する。

d. 一般に、鉄筋コンクリート部材では、ひび割れの発生を許容するが、鉄筋量を増加することによりひび割れを閉合させることができる。ただし、乾燥収縮などの体積変化を拘束することによりひび割れが発生することもあり、拘束する鉄筋の量が多いほどひび割れは発生しやすくなる。このようにコンクリートに収縮ひずみが作用する場合は、コンクリートに圧縮応力、鉄筋に引張応力が作用することになる。

e. 終局限界状態にて設計照査された構造物は、使用限界状態に対しての設計照査を省略することができるが、疲労限界状態に対しては別途行う必要がある。これは、使用限界状態は、終局限界状態より低い荷重レベルにあるためであり、疲労限界状態とは多数回の繰返し荷重下（応力下）における照査作業であるためである。

解答群：

- ① a.○, b.×, c.○, d.×, e.×
- ② a.×, b.×, c.○, d.○, e.○
- ③ a.○, b.○, c.○, d.×, e.×
- ④ a.×, b.○, c.×, d.○, e.○
- ⑤ a.×, b.○, c.×, d.×, e.○

解答：③

解説)

**a. 正解：**

下記の文章はいずれも正しい記述であり、疲労問題に関する基本事項である。

- ・ S-N 線図は、縦軸に応力パラメータ S，横軸に疲労寿命 N をとり，右下がりの図となる。
- ・ 応力パラメータ S として応力振幅または最大応力とすることが多く，横軸の N は通例 log スケールとなる（コンクリート材料の場合：semi-log 関係，鉄筋棒鋼の場合：log-log 関係となる）。
- ・ 応力パラメータ S を応力振幅とした場合，同一の応力振幅に対して，下限応力が小さいほど N が大きくなる（長寿命となる）。

**b. 正解：**

正解のポイント：与えられた Goodman 型の S-N 線図に対して，下限応力  $f = 0.2$ ，応力振幅  $r = 0.50$  を代入すると，疲労寿命 N は， $2.37 \times 10^6$  回が得られる。

**c. 正解：**

ひび割れ断面の換算断面 2 次モーメントは，通例，Branson の実験式を用いることが多く，容易に算定することができる。

正解のポイント：換算断面 2 次モーメントは，

- ・ 主鉄筋量が多いほど， $I_{cr}$  が大きくなるため， $I_{eff}$  は大きくなる。
- ・ 作用荷重の増加により減少する。 $I_{cr}$  が小さくなるため， $I_{eff}$  は小さくなる。

**d. 2 箇所間違っている：**

- ・ 鉄筋量を増加することによりひび割れを閉合させることができる。  
→ ひび割れ幅を制御することはできるが，閉合させることができない。
- ・ コンクリートに収縮ひずみが作用する場合は，コンクリートに圧縮応力，鉄筋に引張応力が作用する。  
→ コンクリートに引張応力，鉄筋に圧縮応力が作用する。  
(それ故，コンクリートにはひび割れが発生するのである)

**e. 間違っている：**

終局限界状態に対して OK であっても，使用限界状態を省略することはできない。

正解のポイント：

限界状態設計法における設計照査は，終局限界状態，使用限界状態，疲労限界状態の 3 限界状態すべてに対して，個々に行う必要がある。