

2005 年版「鉄筋コンクリート構造」試験問題の解答

問題 1 : RC はりの曲げ【50 点】

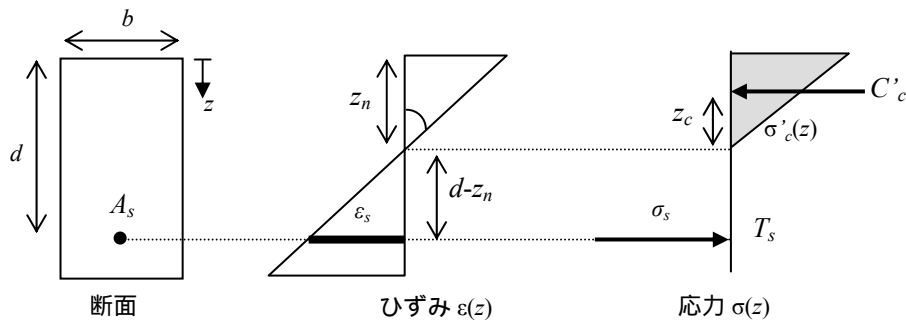
(1) 曲げひび割れ発生モーメント

$$M_{cr} = \frac{f_b I}{h/2} = \dots = 62.5 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

62.5kN・m 答 (配点 10 点)

(2) 曲げひび割れ幅

曲げひび割れ発生後～鉄筋降伏前の状態を仮定し、断面のひずみ、応力の状態は以下のように表す。

中立軸の位置 z_n をまず求める。

$$z_n = \frac{A_s E_s}{b E_c} \left(-1 + \sqrt{1 + 2 \frac{b d E_c}{A_s E_s}} \right) = p d n \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n p}} \right) = \dots = 180 \text{ mm}$$

作用モーメントが 150kN・m であるときの鉄筋応力は、

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s (d - z_n/3)} = \dots = 256.4 \text{ N/mm}^2 \quad (< f_y \text{ なので降伏していないとする仮定は正しい})$$

曲げひび割れ幅は、

$$w = 1.1 k_1 k_2 k_3 \{4c + 0.7(c_s - \phi)\} \left\{ \frac{\sigma_s}{E_s} + \varepsilon'_{csd} \right\}$$

$$= 1.1 \times 1.0 \times \left(\frac{15}{f'_c + 20} + 0.7 \right) \times 1.0 \times 200 \times \left(\frac{\sigma_s}{2.0 \times 10^5} + 150 \times 10^{-6} \right) = \dots = 0.299$$

0.30mm 答 (配点 10 点)

(3) 鉄筋降伏モーメント

(2) と同じ断面の状態を仮定する。

$$M_y = C'_c \cdot z_c + T_s \cdot (d - z_n) = T_s \cdot (d - z_n + z_c) = A_s f_y \cdot \left(d - \frac{z_n}{3} \right) = 234 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

234kN・m 答 (配点 10 点)

(4) 曲げ耐力

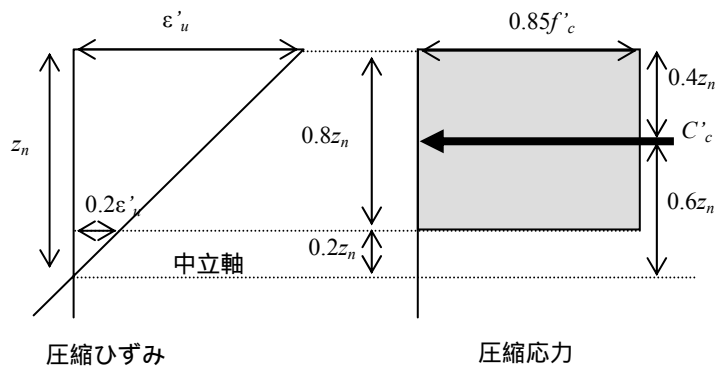
中立軸の位置 z_n をまず求める。

$$z_n = \frac{A_s f_y}{0.85 \times 0.8 \times f'_c b} = 88.24 \text{ mm}$$

曲げ耐力は、

$$M_u = A_s f_y (d - 0.4 z_n) = 248.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

249kN・m 答 (配点 10 点)



(5) 過少鉄筋比の RC はりの挙動

引張鉄筋量 A_s が4分の1になった場合、
 曲げひび割れ発生モーメント M_{cr} には鉄筋の影響は小さいのでほぼ変わらない。 $M_{cr}=62.5\text{kN}\cdot\text{m}$
 鉄筋降伏モーメント M_y は(2)(3)と同じ方法で計算すると $M_y=62.4\text{kN}\cdot\text{m}$ となる。

したがって、曲げひび割れ発生後鉄筋が直ちに降伏することとなり、コンクリートのひび割れ発生後、鉄筋が引張力を受けもつ鉄筋コンクリートの基本的な抵抗メカニズムが発揮されない。ひび割れ発生直後に、鉄筋破断する可能性もある。

(配点 10 点)

問題 2 : RC はりの曲げ耐力とせん断耐力【30 点】

題意を正しく理解していない答案がほとんどであった。本来の出題の意図は以下である。

必要な安全性：

- 作用荷重のもとで曲げ破壊しない。
- 作用荷重のもとでせん断破壊しない。
- 計算上のせん断耐力が計算上の曲げ耐力の 2 倍以上ある。
- 過大な荷重が作用し破壊する際の破壊モードは、曲げ引張破壊モードとなる。

) 上記に規定された安全性を満足する引張主鉄筋の合計断面積 A_s と一組のせん断補強鉄筋の断面積 A_w の組み合わせを提案せよ。(証明なしでよい)

) 実際に満足していることを順次計算により証明せよ。

解答例 (A_s と A_w の組み合わせの正解は無限にある)

) 引張主鉄筋量 $A_s=1000\text{mm}^2$ 、せん断補強鉄筋量 $A_w=500\text{mm}^2$ とする。(正解範囲内の鉄筋量が提示されていれば 10 点)

) 最大作用曲げモーメント(はり中央)： $M = \frac{Pa}{2} = 75\text{kN}\cdot\text{m}$

$$\text{曲げ耐力} : M_u = pbd^2 f_y \left(1 - 0.6p \frac{f_y}{f'_c} \right) = 135\text{kN}\cdot\text{m}$$

$M_u > M$ であるので曲げ破壊しない。(配点 5 点)

$$\text{作用せん断力} : V = \frac{P}{2} = 50\text{kN}$$

$$\text{コンクリートが受け持つせん断耐力} : V_c = \beta_d \beta_p \beta_n f_{vc} bd = 105\text{kN}$$

せん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力： $V_s = A_w f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) \frac{z}{s} = 103 \text{ kN}$

せん断耐力： $V_u = V_c + V_s = 208 \text{ kN}$

$V_u > V$ であるのでせん断破壊しない。(配点5点)

破壊モードが曲げ破壊と仮定した場合の終局荷重： $P_{mu} = 2 \frac{M_u}{a} = 180 \text{ kN}$

破壊モードがせん断破壊と仮定した場合の終局荷重： $P_{vu} = 2V_u = 415 \text{ kN}$

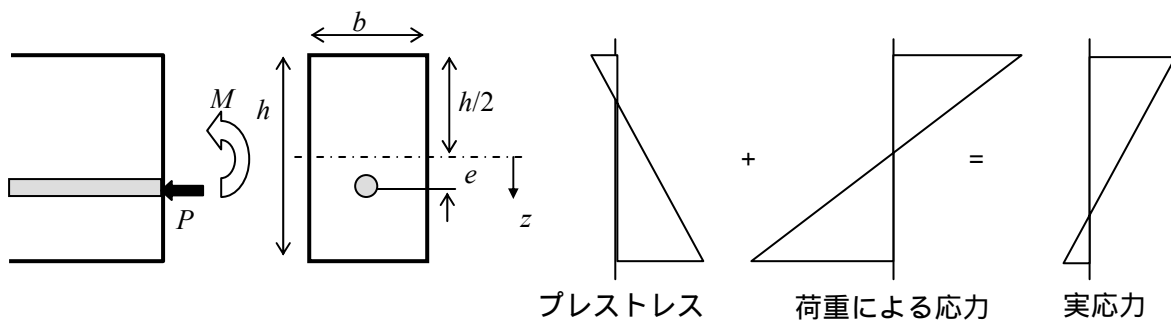
せん断余裕度： $\frac{P_{vu}}{P_{mu}} = 2.3$ であるので、せん断耐力は曲げ耐力の2倍以上ある。(配点5点)

鉄筋比： $p = \frac{A_s}{bd} = 0.00833$

つりあい鉄筋比： $p_b = 0.44 \frac{f'_c}{f_y} = 0.063$

$p < p_b$ であるので曲げ破壊モードは曲げ引張破壊となる。(配点5点)

問題3：プレストレストコンクリート【10点】



プレストレス (P) および荷重 (M) による曲げ応力を合わせた応力は、

$$\sigma'(z) = \left(\frac{P}{bh} + \frac{Pe}{I} z \right) - \frac{M}{I} z \quad (\text{圧縮を正とした})$$

(1) 作用モーメント (M) が 0 のときに、全断面において $\sigma'(z) > 0$ となるための e の条件を求めればよい。上縁 ($z = -h/2$) において考えればよい。

$$\sigma' \left(-\frac{h}{2} \right) = \frac{P}{bh} - \frac{Pe}{I} \frac{h}{2} > 0 \quad \text{より} \quad e < \frac{h}{6} = 66.7$$

67mm 答 (配点5点)

(2) 下縁の応力が $-f_b$ になるときの曲げモーメントを求める

$$\sigma' \left(\frac{h}{2} \right) = \left(\frac{P}{bh} + \frac{Pe}{I} \frac{h}{2} \right) - \frac{M_{cr}}{I} \frac{h}{2} = -f_b \quad \text{に} \quad e = h/6, P = 100 \text{ kN} \text{ を代入して } M_{cr} \text{ を求めると,}$$

$M_{cr} = 40 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 答 (配点5点)

問題4：記述問題【10点】

以下を含んで5行以内の文章で答える

(1) 鉄筋コンクリートの曲げひび割れが分散する理由 (配点5点)

- 異形鉄筋は表面にふし(凹凸)があるので、コンクリートとの間に付着がある。
- ひとつの曲げひび割れが発生した後も、ひび割れ部分以外では鉄筋とコンクリートの付着によりコンクリートに引張応力が伝達されている。
- 付着により導入されるコンクリートの引張応力はひび割れ位置から遠ざかるにつれて大きくなる。

- 引張応力がひび割れ強度に達したら，その位置で新たな曲げひび割れが形成される．
- このようにして，順次，曲げひび割れが発生する．
- ひび割れ間隔が数十センチ以下になると，そのひび割れ間で引張応力が引張強度に達しなくなり曲げひび割れはそれ以上形成されなくなる．

(2) 許容ひび割れ幅がかぶりの関数となっている理由 (配点 5 点)

- かぶりを大きくするとひび割れ幅は大きくなる．
- 一定値の許容ひび割れ幅を設定して，ひび割れ幅がこれ以下となることを目標に断面諸元を定めた場合，かぶりの小さい断面が選択されるおそれがある．
- しかし，外部から飛来した塩化物イオン等の鋼材腐食物質が鉄筋に到達しにくくするには，ひび割れ幅を小さくするとともに，かぶりを大きくすべきであることは明白である．
- したがって、鋼材腐食を防ぐ観点から望ましいと考えられる，ひび割れ幅が小さく，かぶり大きい構造物が結果的により選択されるように，許容ひび割れ幅をかぶりの関数としている．