

「コンクリート構造の力学」試験問題の解答

- 有効数字は通常2桁か3桁である。答えを3桁で求めるためには、途中の計算は4桁以上で行わなければならない。

問題1：RCはりの曲げ【50点】

(1) 鉄筋の鉄筋比

$$p = \frac{A_s}{bd} = \dots = 0.015$$

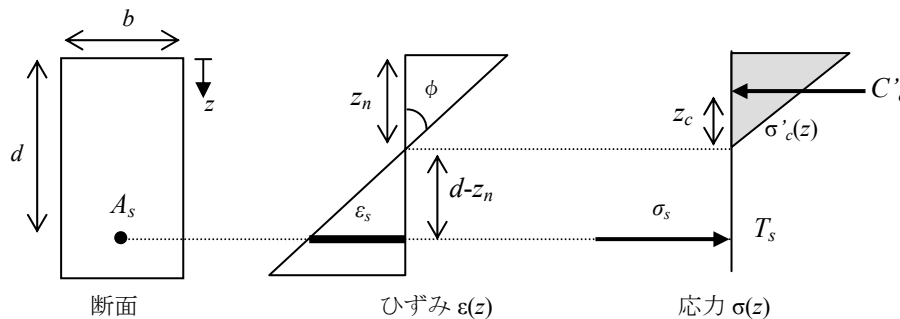
1.5%**答** (配点5点)

(2) 曲げひび割れ発生モーメント

$$M_{cr} = \frac{f_b I}{h/2} = \dots = 20.41 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

20.4kN・m**答** (配点5点)

(3) 曲げひび割れ発生後～鉄筋降伏前の、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  $z_n$  は

$$z_n = \frac{A_s E_s}{b E_c} \left( -1 + \sqrt{1 + 2 \frac{b d E_c}{A_s E_s}} \right) = p d n \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2}{np}} \right) = \dots = 115.3 \text{ mm}$$

この状態で作用曲げモーメントが(2)で求めた  $M_{cr}$  であるときの鉄筋応力は

$$\sigma_s = \frac{M_{cr}}{A_s (d - z_n/3)} = \dots = 86.69 \text{ N/mm}^2$$

86.7N/mm<sup>2</sup>**答** (配点5点)

(4) 鉄筋の応力が与えられた時のモーメント

$$M = A_s \sigma_s \left( d - \frac{z_n}{3} \right) = 35.31 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

35.3kN・m**答** (配点5点)

(5) 曲げひび割れ幅照査

鉄筋応力

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s (d - z_n/3)} = \dots = 212.4 \text{ N/mm}^2$$

曲げひび割れ幅

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

$$= 1.1 \times 1.0 \times \left( \frac{15}{35 + 20} + 0.7 \right) \times 1.0 \times 200 \times \left( \frac{212.4}{2.0 \times 10^5} + 150 \times 10^{-6} \right) = 0.26 \text{ mm}$$

ひび割れ幅の限界値

$$w_a = 0.005c = 0.2 \text{ mm}$$

よって、 $w > w_a$  なので ひび割れ幅の限界値を満足しない。**答** (配点5点)

(6) 鉄筋降伏モーメント

$$M_y = A_s f_y \cdot \left( d - \frac{z_n}{3} \right) = 94.16 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

94.2kN・m **答** (配点 5 点)

(7) 曲げ耐力 (応力-ひずみ関係が (i))

$$z_n = \frac{A_s f_y}{0.688 f'_c b} = 74.75 \text{ mm}$$

$$M_u = 0.688 f'_c b z_n \cdot 0.584 z_n + A_s f_y \cdot (d - z_n) = 96.81 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

96.8kN・m **答** (配点 5 点)

(8) 曲げ耐力 (応力-ひずみ関係が (ii))

コンクリートの応力ひずみ関係が (ii) であることを考慮して、中立軸の位置  $z_n$  は

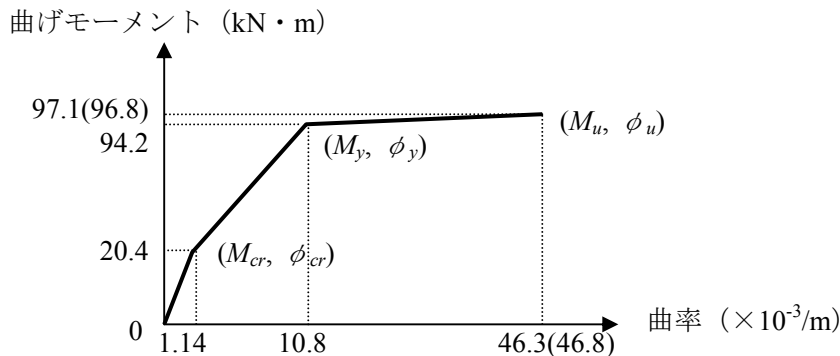
$$z_n = \frac{A_s f_y}{0.68 f'_c b} = 75.63 \text{ mm}$$

曲げ耐力は、

$$M_u = A_s f_y (d - 0.4 z_n) = 97.11 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

97.1kN・m **答** (配点 5 点)

(9) 曲げモーメント-曲率関係 (配点 5 点)



破壊時の曲率とモーメントのグラフの中のはコンクリートの応力ひずみ関係に(i)を用いた場合の値

(10) 破壊モードと鉄筋比 (配点 5 点)

下限値は曲げひび割れ発生後鉄筋が直ちに降伏しない条件より

$$\frac{M_{cr}}{A_s (d - z_n / 3)} < f_y \quad \text{すなわち} \quad \frac{M_{cr}}{p b d \left( d - \frac{1}{3} p d n \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n p}} \right) \right)} < f_y$$

$p$  を変えて左辺の値をいくつか計算すると、不等号が成立する条件は  $p > 0.003$  であることがわかる。

上限値は終局 (コンクリート圧縮破壊) 時に鉄筋が降伏している条件より

$\varepsilon'_u \frac{d - z_n}{z_n} > \varepsilon_y$  コンクリートの応力ひずみ関係に(ii)を用いてこの不等式を満足する鉄筋比を求める

$$\text{と、} \quad p < \frac{0.68 \frac{f'_c}{f_y}}{\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon'_u} + 1} \quad \text{すなわち} \quad p < 0.38$$

したがって、曲げ引張破壊モードとなる鉄筋比の範囲は 0.3%~3.8% **答** (配点 5 点)

問題 2 : RC 単純梁の曲げ降伏荷重とせん断耐力 【20 点】

(1) 曲げ降伏荷重

圧縮縁 (下縁) から中立軸までの距離  $z_n$  は、

$$z_n = \frac{A_s E_s}{b E_c} \left( -1 + \sqrt{1 + 2 \frac{b d E_c}{A_s E_s}} \right) = p d n \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n p}} \right) = \dots = 1026.0 \text{ mm}$$

鉄筋降伏モーメントは、

$$M_y = C'_c \cdot z_c + T_s \cdot (d - z_n) = T_s \cdot (d - z_n + z_c) = A_s f_y \cdot \left( d - \frac{z_n}{3} \right) = 9.30 \times 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm} = 93,000 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

降伏は曲げモーメントが最大である支間中央で生じるから、降伏荷重は、

$$P_y = 2 \times \frac{M_y}{a} = 2.07 \times 10^7 \text{ N} = 20,700 \text{ kN}$$

$$\underline{2.07 \times 10^4 \text{ kN}} \text{ 答 (配点 8 点)}$$

( $1.03 \times 10^7 \text{ N}$  (10,300kN)は△とする. 5 点)

(2) せん断耐力

コンクリートが受け持つせん断耐力：

$$V_c = \beta_d \beta_p \beta_n \beta_{vc} f_{vc} b d = 0.760 \times 1.036 \times 1.0 \times 0.621 \times 3000 \times 3000 = 4.40 \times 10^6 \text{ N} = 4,400 \text{ kN}$$

せん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力：

$$V_s = A_w f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) \frac{z}{s} = 500 \times 350 \times (1 + 0) \frac{3000/1.15}{200} = 2.28 \times 10^6 \text{ kN} = 2,280 \text{ kN}$$

$$\text{せん断耐力} : V_u = V_c + V_s = 6,680 \text{ kN}$$

$$P_{vu} = 2 \times (V_c + V_s) = 1.34 \times 10^7 \text{ N} = 13,400 \text{ kN}$$

$$\underline{1.34 \times 10^4 \text{ kN}} \text{ 答 (配点 8 点)}$$

( $6.68 \times 10^6 \text{ N}$  (6,680kN)は△とする. 5 点)

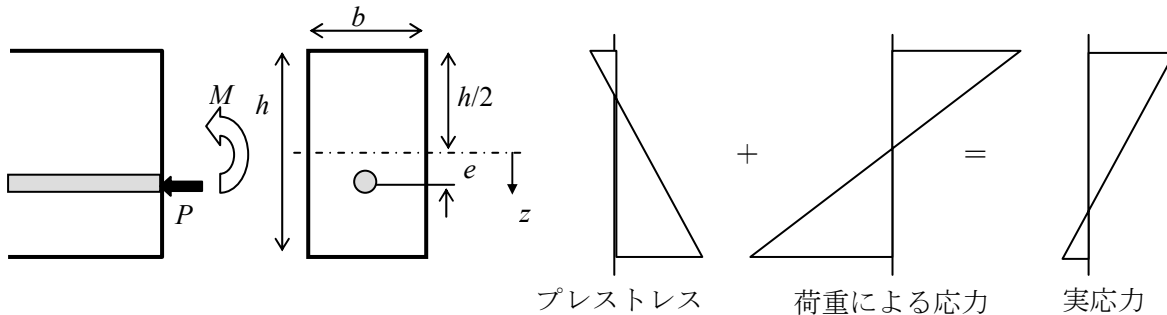
(3) 破壊モードの判定

「せん断破壊荷重」 < 「曲げ降伏荷重」であるので、曲げ降伏が生じる前に、せん断ひび割れが発生し、その後、せん断破壊に至る。

ゆえに、破壊モードは「せん断破壊」となる。

(配点 4 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) 下縁 ( $z=h/2$ ) において  $\sigma'(z)=0$  となる作用モーメント  $M$  を求めればよい。

$$\sigma' \left( \frac{h}{2} \right) = \frac{P}{bh} + \frac{Pe}{I} \frac{h}{2} - \frac{M}{I} \frac{h}{2} = 0 \quad \text{より } M = 16.67 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\underline{1.67 \times 10 \text{ kN} \cdot \text{m}} \text{ 答 (配点 5 点)}$$

(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

$$\sigma' \left( \frac{h}{2} \right) = \left( \frac{P}{bh} + \frac{Pe}{I} \frac{h}{2} \right) - \frac{M}{I} \frac{h}{2} = -f_b \quad \text{より } M = 48.67 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\underline{4.87 \times 10 \text{ kN} \cdot \text{m}} \text{ 答 (配点 5 点)}$$

問題4：記述問題【20点】（各4点）部分点あり

以下は略解

- (1) 計算が簡単かつ安全側（鉄筋応力を大きく算定する）の評価となる。
- (2) 頻出
- (3) 鋼材を腐食から保護する。コンクリートと鋼材の付着の確保
- (4) 崩壊に至る危険がある。復旧も大規模となる。
- (5) 鋼板巻立て、RC巻立て、連続繊維シート巻立て、落橋防止などがある