

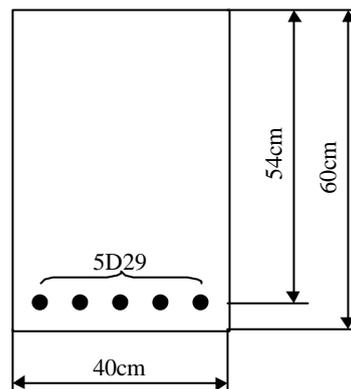
問題4-1 曲げ部材の解析と設計

図のような曲げモーメントを受ける単鉄筋長方形断面について a~d の各設問に答えよ。(諸条件は、図中の数値を参考にせよ。)

- $M=18\text{tf}\cdot\text{m}$  が作用したときの鉄筋応力  $s_s$  とコンクリート応力  $s_c'$  を求めよ。
- 次に、 $s_s < 900\text{kgf}/\text{cm}^2$  となるように鉄筋量を増加し、そのときの配筋量を設計せよ。また、このときのコンクリート応力  $s_c'$  を求めよ。
- この部材の最大曲げ耐力  $M_u$  を求めよ。(土木学会の等価応力ブロックを用いるとよい)
- 最大曲げ耐力を  $M_u=75\text{tf}\cdot\text{m}$  にするための鉄筋比を求め、このときの破壊モードを考察せよ。さらに、このときの配筋例を示せ。

鉄筋: SD30, D29 を 5 本配置。  
 降伏強度  $f_y=3500\text{kg}/\text{cm}^2$   
 弾性係数  $E_s=2.1 \times 10^6\text{kg}/\text{cm}^2$

コンクリート  
 引張強度  $f_t=18\text{kg}/\text{cm}^2$   
 圧縮強度  $f_c=240\text{kg}/\text{cm}^2$   
 弾性係数  $E_c=3 \times 10^5\text{kg}/\text{cm}^2$



問題4-1 曲げ部材の解析と設計

【問a, bのヒント】

使用状態の材料応力を求めるもので、弾性解析(RC断面)を用いる。

$$\text{中立軸比: } k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np}$$

$$\text{コンクリート応力(圧縮): } \sigma_{cu}' = \frac{M}{bd^2} / \frac{1}{2}k(1-k/3)$$

$$\text{鉄筋応力(引張): } \sigma_s = \frac{1-k}{k} n \sigma_{cu}'$$

【解答】

問a

$$n = E_s/E_c = 2.1 \times 10^6 / 0.3 \times 10^6 = 7, \quad p = 5D29/bd = 32.1/40 \cdot 54 = 0.01486$$

$$np = 0.1040 \quad k = -0.1040 + \sqrt{(0.1040)^2 + 2 \cdot 0.1040} = 0.3638$$

$$M/bd^2 = 18 \times 10^5 / (40 \cdot 54^2) = 15.43 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\sigma'_{cu} = 15.43 / (1/2)0.3638(1 - 0.3638/3) = \underline{96.5 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}}$$

$$\sigma_s = \frac{1 - 0.3638}{0.3638} \times 7 \times 96.5 = \underline{1182 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}}$$

問b

まず、前述の断面より大きい鉄筋比( $p > 0.01486$ )にて試算を行う。

$p$ (%)	$np$	$k$	$\sigma'_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
1.5	0.105	0.3651	89.76	1093
2.0	0.140	0.4074	87.66	892
2.5	0.175	0.4419	81.90	724

上記より、 $\sigma_s < 900 \text{ kgf/cm}^2$  となるには  $p = 2.0$  (%) 以上、 $A_s = 43.2 \text{ cm}^2$  以上の鉄筋量が必要となる。

$A_s$ (cm <sup>2</sup> ), $p$ (%)	$np$	$k$	$\sigma'_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
6D32 47.7, 2.21	0.1546	0.4225	85.00	813
3D29+3D32 43.1, 2.00	0.1937	0.4070	87.72	895
4D38 43.1, 2.11	0.1478	0.4156	86.20	848

【問c, dのヒント】

断面の終局耐力を求めるもので、等価矩形応力ブロック法を用いて算定することができる。

$$\text{釣合い鉄筋比: } p_b = \frac{b k_3 f_c'}{f_y} \cdot \frac{e_{cu}}{e_{cu} + f_y / E_s} = \frac{0.68 f_c'}{f_y} \cdot \frac{7350}{7350 + f_y}$$

破壊モードの判別: 断面の鉄筋比  $p$  と釣合い鉄筋比  $p_b$  との大小関係

$$\text{終局耐力(算定式1): } M_u = b d^2 p f_y \left( 1 - \frac{k_2}{b_1 k_1} \frac{p f_y}{f_c'} \right)$$

$$\text{終局耐力(算定式2): } \frac{M_u}{b d^2 f_c'} = \mathbf{y} \left( 1 - \frac{\mathbf{y}}{1.7} \right), \quad \text{ただし } \mathbf{y} = \frac{p f_y}{f_c'}$$

問c

$$p_b = 0.85 \times 0.8 \times \frac{0.0035}{0.0035 + 3500 / 2.1 \times 10^6} \times 240 / 3500 = 0.68 \times 0.6774 \times 0.0686 = 0.0316$$

$$p_b = 3.16\% \quad p = 1.49\% < p_b = 3.16\% \quad \text{破壊形式: } \underline{\text{鉄筋降伏先行型}}$$

$$\text{力学的鉄筋比: } \mathbf{y} = p f_y / f_c' = 0.01486 \cdot 3500 / 240 = 0.2167$$

$$M_u / b d^2 f_c' = 0.2167 (1 - 0.2167 / 1.7) = 0.1891$$

$$M_u = 0.1891 \cdot 40 \cdot 54^2 \cdot 240 = 52.93 \times 10^5 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = \underline{52.9 \text{ tf} \cdot \text{m}}$$

問d

$$M_u / b d^2 f_c' = 75 \times 10^5 / 40 \cdot 54^2 \cdot 240 = 0.2679$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{y}^2 / 1.7 = 0.2679 \quad \mathbf{y}^2 - 1.7 \mathbf{y} + 0.4555 = 0$$

$$\mathbf{y} = \frac{1}{2} (+1.7 \pm \sqrt{1.7^2 - 4 \cdot 0.4555}) = 1.3667 \text{ or } 0.3333$$

$$p = \mathbf{y} \cdot f_y / f_c' = 0.0229 \quad A_s = 49.46 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$[\text{check}] \quad p = 0.0229 \quad \mathbf{y} = 0.3340, \quad M_u / b d^2 f_c' = 0.2684 \quad \underline{M_u = 75.14 \text{ tf} \cdot \text{m}}$$

以上の結果から,  $M_u > 75$  とするためには  $p > 0.0229$ ,  $A_s > 49.46 \text{ (cm}^2\text{)}$  とする必要があり,

以下に配筋例と終局耐力を示す。

[ex.1] 5D38  $A_s = 57.0 \text{ cm}^2$   $p = 0.0264$

$$y = 0.3848, \quad M_u/bd^2 f_c' = 0.2977$$

$$\underline{M_u = 83.30 \text{ tf} \cdot \text{m} > 75 \text{ tf} \cdot \text{m} \dots\dots \text{O.K.}}$$

[ex.2] 7D32  $A_s = 55.6 \text{ cm}^2$   $p = 0.0257$

$$y = 0.3754, \quad M_u/bd^2 f_c' = 0.2925$$

$$\underline{M_u = 81.90 \text{ tf} \cdot \text{m} > 75 \text{ tf} \cdot \text{m} \dots\dots \text{O.K.}}$$

[ex.3] 8D29  $A_s = 51.4 \text{ cm}^2$   $p = 0.0238$

$$y = 0.3470, \quad M_u/bd^2 f_c' = 0.2762$$

$$\underline{M_u = 77.30 \text{ tf} \cdot \text{m} > 75 \text{ tf} \cdot \text{m} \dots\dots \text{O.K.}}$$

[ex.4] 4D22 + 6D29  $A_s = 54 \text{ cm}^2$   $p = 0.025$

$$y = 0.3646, \quad M_u/bd^2 f_c' = 0.2864$$

$$\underline{M_u = 80.20 \text{ tf} \cdot \text{m} > 75 \text{ tf} \cdot \text{m} \dots\dots \text{O.K.}}$$