

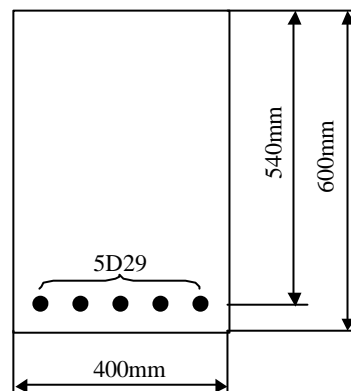
問題 4 - 1 曲げ部材の解析と設計

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。)

- a. $M=180\text{kN}\cdot\text{m}$ 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。
- b. 次に、 $s_s < 90\text{N}/\text{mm}^2$ 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。
- c. 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)
- d. 最大曲げ耐力を $M_u=750\text{kN}\cdot\text{m}$ 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：D29 を 5 本配置。
 降伏強度 $f_y=295\text{N}/\text{mm}^2$ (SD295)
 弾性係数 $E_s=200\text{kN}/\text{mm}^2$

コンクリート
 圧縮強度 $f_c=24\text{N}/\text{mm}^2$
 弾性係数 $E_c=25\text{kN}/\text{mm}^2$



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。

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

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

$$\text{鉄筋応力 (引張)} \sigma_s = \frac{1-k}{k} n s_u$$

【 解答 】

問 a

$$n = E_s/E_c = 200/25 = 8, \quad p = 5D29/bd = 32.1 \times 100/400 \cdot 540 = 0.01486$$

$$np = 0.01486 \times 8 = 0.1189 \quad k = -0.1189 + \sqrt{0.1189^2 + 2 \cdot 0.1189} = 0.3830$$

$$M/bd^2 = 180 \times 10^6 / (400 \cdot 540^2) = 1.54 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\sigma'_c = 1.54 / (1/2) \cdot 0.383 (1 - 0.383/3) = \underline{9.22 \text{ (N/mm}^2\text{)}}$$

$$\sigma_s = \frac{1-0.383}{0.383} \times 8 \times 9.22 = \underline{118.8 \text{ (N/mm}^2\text{)}}$$

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	σ'_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
1.5	0.12	0.3844	9.19	117.7
2.0	0.16	0.4279	8.40	89.8
2.5	0.20	0.4633	7.86	72.8

上記より、 $\sigma_s < 90 \text{ N/mm}^2$ 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 ²), p (%)	np	k	σ'_c (N/mm ²)	σ_s (N/mm ²)
6D32 47.7, 2.21	0.1768	0.4436	8.15	81.8
3D29+3D32 43.1, 2.00	0.1600	0.4279	8.40	89.8

4D38 45.6 , 2.11	0.1688	0.4363	8.26	85.38
---------------------	--------	--------	------	-------

【 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

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

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

問c

$$p_b = 0.85 \times 0.8 \times \frac{0.0035}{0.0035 + 295 / 200 \times 10^3} \times 24 / 295 = 0.0389$$

$$p_b = 3.89\% \quad p = 1.49\% < p_b = 3.89\% \quad \text{破壊形式} : \underline{\text{鉄筋降伏先行型}}$$

$$\text{力学的鉄筋比} : y = p f_y / f_c' = 0.01486 \cdot 295 / 24 = 0.1827$$

$$M_u / b d^2 f_c' = 0.1827 (1 - 0.1827 / 1.7) = 0.1631$$

$$M_u = 0.1631 \cdot 400 \cdot 540^2 \cdot 24 = \underline{457 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

問d

$$M_u / b d^2 f_c' = 750 \times 10^6 / 400 \cdot 540^2 \cdot 24 = 0.2679$$

$$y - y^2 / 1.7 = 0.2679 \quad y^2 - 1.7y + 0.4554 = 0$$

$$y = \frac{1}{2} \left(+1.7 \pm \sqrt{1.7^2 - 4 \cdot 0.4554} \right) = 1.3667 \text{ or } \underline{0.3332}$$

$$p = y \cdot f_c' / f_y = 0.3332 \times 24 / 295 = 0.0271 \quad A_s = 58.54 \text{ (cm}^2\text{)}$$

$$[\text{check}] \quad p = 0.0271 \quad y = 0.3331, \quad M_u / b d^2 f_c' = 0.2678 \quad \underline{M_u = 750 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

以上の結果から、 $M_u > 750 \text{ kN} \cdot \text{m}$ とするためには $p > 0.0271$ 、 $A_s > 58.54 \text{ (cm}^2\text{)}$ とする必要があり、

以下に配筋例と終局耐力を示す。

[ex.1] 6D38 $A_s = 68.1 \text{ cm}^2$ $p = 0.0315$

$\gamma = 0.3872$, $M_u / b d^2 f_c' = 0.2990$

$M_u = 837 \text{ kN} \cdot \text{m} > 750 \text{ kN} \cdot \text{m} \dots\dots \text{O.K.}$

[ex.2] 7D35 $A_s = 67.0 \text{ cm}^2$ $p = 0.0310$

$\gamma = 0.3810$, $M_u / b d^2 f_c' = 0.2956$

$M_u = 827 \text{ kN} \cdot \text{m} > 750 \text{ kN} \cdot \text{m} \dots\dots \text{O.K.}$

[ex.3] 8D32 $A_s = 63.5 \text{ cm}^2$ $p = 0.0294$

$\gamma = 0.3614$, $M_u / b d^2 f_c' = 0.2846$

$M_u = 797 \text{ kN} \cdot \text{m} > 750 \text{ kN} \cdot \text{m} \dots\dots \text{O.K.}$

[ex.4] 10D29 $A_s = 64.2 \text{ cm}^2$ $p = 0.0297$

$\gamma = 0.3651$, $M_u / b d^2 f_c' = 0.2867$

$M_u = 803 \text{ kN} \cdot \text{m} > 750 \text{ kN} \cdot \text{m} \dots\dots \text{O.K.}$