

107 年土木工程高考試試題

類科：土木工程

科目：鋼筋混凝土學與設計

※依據與作答規範：內政部營建署「混凝土結構設計規範」(內政部 100.6.9 台內營字第 1000801914 號令；中國土木水利學會「混凝土工程設計規範」(土木 401-100)。

未依上述規範作答，不予計分。

D10, $d_b = 0.96\text{cm}$, $A_b = 0.71\text{cm}^2$; D13, $d_b = 1.27\text{cm}$, $A_b = 1.27\text{cm}^2$;

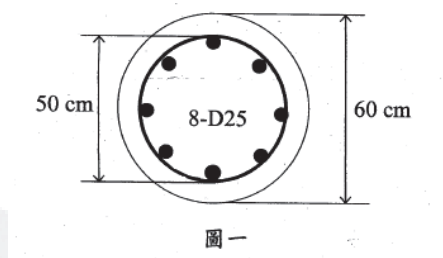
D25, $d_b = 2.54\text{cm}$, $A_b = 5.07\text{cm}^2$; D29, $d_b = 2.87\text{cm}$, $A_b = 6.47\text{cm}^2$;

D32, $d_b = 3.22\text{cm}$, $A_b = 8.14\text{cm}^2$; D36, $d_b = 3.58\text{cm}$, $A_b = 10.07\text{cm}^2$;

混凝土強度 $f'_c = 280\text{kgf/cm}^2$,

D10 與 D13 之 $f_y = 2800\text{kgf/cm}^2$; D25、D29 與 D32 之 $f_y = 4200\text{kgf/cm}^2$

一、鋼筋混凝土圓形螺旋箍筋柱(如圖一)，配置 8 支 D25 主筋，螺旋筋使用 D13，間距 5cm。試檢核此柱之主鋼筋比及螺旋箍筋比是否符合規範？此柱外圍混凝土剝落前與剝落後之最大設計軸力分別為何？(25 分)



擬答：

(一)主鋼筋比與螺旋箍筋比檢核：

配筋的規定

1. 縱向鋼筋比： $\rho = \frac{A_{ST}}{A_g}$ $0.01 \leq \rho \leq 0.08$ (耐震設計需小於 0.06)

$$\rho = \frac{A_{ST}}{A_g} = \frac{8 \times 5.07}{\frac{\pi}{4}(60)^2} = \frac{40.56}{2827.43} = 0.0143 < 0.08 \text{ 且 } > 0.01$$

所以主鋼筋比符合規定

2. 橫向鋼筋最少鋼筋：

$$\text{螺箍筋體積比 } \rho_s = \frac{4A_b}{D_c S} \geq 0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$\rho_s = \frac{4A_b}{D_c S} = \frac{4 \times 1.27}{50 \times 5} = 0.0203$$

$$0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_y} = 0.45 \left(\frac{2827.43}{\frac{\pi}{4}(50)^2} - 1 \right) \times \frac{280}{2800} = 0.0198$$

$\rho_s = 0.0203 > 0.0198$ 所以螺旋箍筋比符合規定

(二) 柱外圍混凝土剝落前與剝落後之最大設計軸力：

1. 柱外圍混凝土剝落前之最大設計軸力：

$$\rho_{n0} = 0.85 f'_c A_g + A_{st} (f_y - 0.85 f'_c)$$

$$= 0.85 \times 280 \times 2827.43 + 40.56 \times (4200 - 0.85 \times 280) = 833627 \text{ kgf}$$

螺箍筋強度折減係數 $\phi = 0.7$

$$\text{最大設計軸力 } P_{d,max} = a\phi P_{n0} = 0.85 \times 0.7 \times 833627 \times 10^{-3} = 496 \text{ tf}$$

2. 柱外圍混凝土剝落後之最大設計軸力：

$$P'_{n0} = P_{n0} + 4 \frac{2A_b f_{yt}}{D_c S} \times A_c = 833627 + 4 \times \frac{2 \times 1.27 \times 2800}{50 \times 5} \times \frac{\pi}{4} (50)^2 = 1057057 \text{ kgf}$$

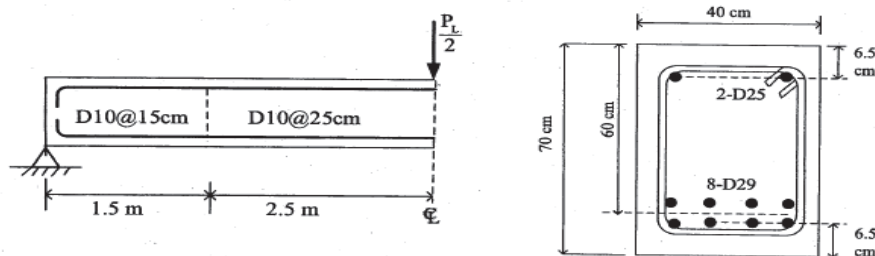
螺箍筋強度折減係數 $\phi = 0.7$ ，螺箍筋 $a = 0.85$

$$\text{最大設計軸力 } P_{d,max} = a\phi P'_{n0} = 0.85 \times 0.7 \times 1057057 \times 10^{-3} = 629 \text{ tf}$$

答：柱外圍混凝土剝落前之最大設計軸力 $P_{d,max} = 496 \text{ tf}$

柱外圍混凝土剝落後之最大設計軸力 $P_{d,max} = 629 \text{ tf}$

二、一跨度為 $8m$ 之簡支鋼筋混凝土矩形梁，斷面寬 $b = 40cm$ ，梁深 $h = 70cm$ ，有效深度 $d = 60cm$ ，鋼筋配置如圖二所示。若僅檢核剪力鋼筋，試依規範之規定，求此梁中央跨度可承受之集中活載重 P_L 最大值。(25 分)



圖二

擬答：

$$b = 40cm, h = 70cm, d = 60cm$$

$$\text{梁自重 } w_d = 2.4 \times 0.4 \times 0.7 = 0.672 \text{ tf/m} = 672 \text{ kgf/m}$$

$$\text{支承反力 } R_u = 1.2 \times w_d \times 4 + 1.6 \times \frac{P_L}{2} = 3225.6 + 0.8P_L$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 0.53 \sqrt{f'_c} b d = 0.75 \times 0.53 \times \sqrt{280} \times 40 \times 60 = 15964 \text{ kgf}$$

(-) 距支承 $1.5m$ 內

$$\text{剪力鋼筋間距 } s = 15cm$$

$$\text{鋼筋剪力強度 } \phi V_s = \phi \frac{A_v f_y d}{s} = 0.75 \times \frac{2 \times 0.71 \times 2800 \times 60}{15} = 11928 \text{ kgf}$$

$$\text{梁斷面剪力強度 } V_u = \phi V_n = \phi (V_s + V_c) = 15964 + 11928 = 27892 \text{ kgf}$$

$$\text{臨界斷面處(距支承 } d \text{ 處)} V_u = R_u - 1.2 \times w_d \times 0.6 = 2741.6 + 0.8P_L \text{ kgf}$$

$$2741.6 + 0.8P_L \leq 27892 \Rightarrow P_L \leq 31438 \text{ kgf}$$

$$\phi V_c < V_u = 27892 \text{ kgf} < 3\phi V_c$$

$$S_{max} = \min\left(\frac{d}{2}, 60, \frac{A_v f_y}{3.5b_w}, \frac{A_v f_y}{0.2\sqrt{f'_c}b_w}\right) = \min(30, 60, 28.4, 29.7) = 28.4cm$$

$$s = 15cm < S_{max} = 28.4cm \text{ (OK)}$$

(二)距支承1.5m到4m 段

剪力鋼筋間距 $s = 25\text{cm}$

$$\text{鋼筋剪力強度 } \phi V_s = \phi \frac{A_v f_y d}{s} = 0.75 \times \frac{2 \times 0.71 \times 2800 \times 60}{25} = 7157 \text{ kgf}$$

$$\text{梁斷面剪力強度 } V_u = \phi V_n = \phi (V_s + V_c) = 15964 + 7157 = 23121 \text{ kgf}$$

$$\text{距支承 } 1.5\text{m} \text{ 處 } V_u = R_u - 1.2 \times w_d \times 1.5 = 2016 + 0.8 P_L \text{ kgf}$$

$$2016 + 0.8 P_L \leq 23121 \Rightarrow P_L \leq 26381 \text{ kgf}$$

$$\phi V_c < V_u = 23121 \text{ kgf} < 3\phi V_c$$

$$S_{\max} = \min\left(\frac{d}{2}, 60, \frac{A_v f_y}{3.5 b_w}, \frac{A_v f_y}{0.2 \sqrt{f'_c} b_w}\right) = \min(30, 60, 28.4, 29.7) = 28.4\text{cm}$$

$$s = 25\text{cm} < S_{\max} = 28.4\text{cm} \text{ (OK)}$$

$$\therefore P_L \leq 26381 \text{ kgf}$$

答：梁中央跨度可承受之集中活載重 $P_L = 26381 \text{ kgf}$

三一鋼筋混凝土單向版，淨跨度均為 $4.5m$ ，版厚 $h = 20cm$ ，有效深度 $d = 17cm$ ，此版承受彎矩 $M_u = 2.7tf - m$ 。試設計此版兩方向符合規範之每公尺寬所需鋼筋量與其間距。(25 分)

擬答：

$$b = 100cm, h = 20cm, d = 17cm$$

單鋼筋設計，假設版為拉力控制斷面， $\phi = 0.9$

依矩形斷面設計，配置 D10 鋼筋 ($A_s = 0.71cm^2$)

$$M_n = 2.7 * \frac{10^5}{0.9} = 3 \times 10^5 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$m = 2800 / (0.85 * 280) = 11.765, R_u = 3 \times 10^5 / (100 \times 17^2) = 10.381 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_u}{f_y}} \right] = 0.00379$$

$$A_{s, req'd} = 0.00379 * 100 * 17 = 6.443 \text{ cm}^2$$

$$n = 6.443 / 0.71 = 9.07, \text{ 取 } n = 10 \rightarrow A_s = 10 \times 0.71 = 7.1 \text{ cm}^2$$

$$S = 100 / 10 = 10 \text{ cm}$$

檢核假設版為拉力控制斷面， $\phi = 0.9$ 是否成立

$$x = \frac{7.1 * 2800}{0.85 * 280 * 100 * 0.85} = 0.983 \text{ cm}$$

$$\epsilon_s = \frac{0.003(d-x)}{x} = \frac{0.003(17-0.983)}{0.983} = 0.049 > 0.005 \text{ 假設成立}$$

$$S_{max} = \min(3 * 20, 45) = 45 \text{ cm} > S = 10 \text{ cm} \text{ (OK)}$$

$$\text{溫度鋼筋} \because f_y = 2800 \text{ kgf} / \text{cm}^2 < 4200 \text{ kgf} / \text{cm}^2 \rightarrow \rho = 0.002$$

$$A_{temp} = 0.002 * 100 * 20 = 4 \text{ cm}^2 < A_s$$

$$n = 4 / 0.71 = 5.6, s = 100 / 6 = 16.7 \text{ cm} \text{ 取 } s = 16 \text{ cm}$$

答：長向：每公尺需 $A_{s, req'd} = 6.443 \text{ cm}^2$ 配置 D10@10cm

短向：每公尺需 $A_{s, req'd} = 4 \text{ cm}^2$ 配置 D10@16cm

四依據鋼筋混凝土結構耐震設計之特別規定，試說明混凝土強度之相關規定及其理由；鋼筋降伏強度不得超出規定降伏強度之理由；又為何常於發生塑性鉸的位置配置較多的圍束鋼筋？

(25 分)

擬答：

鋼筋混凝土結構耐震設計之特別規定

(一)抵抗地震力構材之混凝土規定：

(1)混凝土之規定抗壓強度 f'_c 不得低於 $210\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

(2)設計時輕質混凝土所採用之抗壓強度不得高於 $350\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。惟若經實驗證明使用輕質混凝土後所具之構材強度及韌性等於或超過使用同強度常重混凝土之構材強度及韌性者，則可採用較高之抗壓強度值。

規定理由：

就耐震設計而言，若能使用較高混凝土抗壓強度將有下列重要優點：

1. 減小混凝土建築物軸壓構材尺寸，增加室內使用空間；並可減少建築物重量，減小地震力。
2. 增加受撓構材之斷面韌性，提升耐震性能。

構材承受彎矩時，若混凝土抗壓強度較高時，其壓應力分布等值矩形之深度 a 將較小，即中性軸至最外受壓纖維之距離 c 變小，因此在同樣的外緣最大壓應變下其曲率變大，進而會增加最後塑鉸之轉角量，提升耐震性能。在抵抗地震力架構、桁架或結構牆設計時混凝土的品質要求。因強度高於 $350\text{kgf}/\text{cm}^2$ 的輕質混凝土構材承受非彈性反覆變形的相關試驗資料不多，因此做此限制。

(二)鋼筋降伏強度不得超出規定降伏強度之理由：

規定理由：

1. 鋼筋試驗之實際降伏強度不得超出規定降伏強度 f_y 太多之規定，主要係避免彎矩強度增加，致使剪力增加，可能產生剪力破壞。此外鋼筋降伏強度增加，亦可能導致握裹破壞。
2. 極限抗拉強度與降伏強度的比值，會影響塑性區的大小，其值越大，塑性區越長，極限塑鉸轉角越大。

(三)常於發生塑性的位置配置較多的圍束鋼筋之理由：

規定理由：

1. 在彎矩降伏會發生的範圍，鋼筋不允許搭接，乃因在承受非彈性反覆載重時搭接並不可靠。任一位置的搭接處，其混凝土保護層皆有可能剝落，因此需要配置閉合箍筋。
2. 配置閉合箍筋的目的在使用產生塑角處之混凝土有良好的圍束。塑鉸處鋼筋之應變已進入非彈性，應有足夠側向支撐以防止鋼筋產生屈曲。