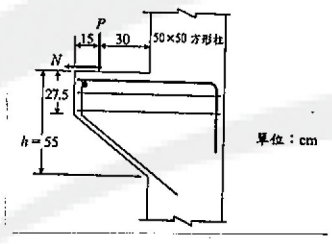
105年專門職業及技術人員高等考試建築師、
技師、第二次食品技師考試暨普通 代號：00110
考試不動產經紀人、記帳士考試試題

等　別：高等考試
類　科：土木工程技師
科　目：結構設計（包括鋼筋混凝土設計與鋼結構設計）
考試時間：2小時　　座號：＿＿＿＿＿＿

※注意：㈠可以使用電子計算器。
㈡不必抄題，作答時請將試題題號及答案依照順序寫在試卷上，於本試題上作答者，不予計分。
㈢下列問題之相關公式、物理常數及設計參數未提及時，請依我國頒布之最新規範自行做合理推斷或假設。

一、有一鋼筋混凝土托架如下圖所示，在工作載重下承受垂直靜載重$P_D=20.0$ tf，垂直活載重$P_L=15.0$ tf及水平活載重$N_L=3.0$ tf，集中載重之中心距柱表面為30 cm，柱為50 cm × 50 cm之方形柱。混凝土$f'_c=210$ kgf/cm²、鋼筋$f_y=4200$ kgf/cm²，鋼筋中心保護層厚$d'=6.5$ cm。試設計此托架所需之鋼筋。（混凝土為整體澆置$\mu=1.4$，使用#8主筋及#4閉合箍筋）（25分）



一、(1) $V_u=P_u=1.2P_D+1.6P_L$
$=1.2(20)+1.6(15)=48$ tf

(2) $d'=6.5$ cm　$\therefore d=h-d'=55-6.5=48.5$ cm

$\max \phi V_n=0.2f'_c bd \le 56bd$

$0.2f'_c bd=0.2(210)50(48.5)/1000=101.85$ tf

$56bd=56(50)48.5/1000=135.8$ tf

$V_n=\frac{V_u}{\phi}=\frac{48}{0.75}=64$ tf <101.85 tf (OK)

(3) 需求摩擦筋 A_{vf}　(use $\mu=1.4$)

$A_{vf}=\frac{V_u}{\phi f_y \mu}=\frac{48\times1000}{0.75(4200)1.4}=10.88$ cm²

(4) 張力筋 A_s

$a=30$ cm，$N_{uc}=1.6N_L=1.6(3.0)=4.8$ tf

$M_u=V_u a+N_{uc}(h-d)$
$=48(30)+4.8(55-48.5)=1471.2$ tf-cm

$R_n=\frac{M_u}{\phi bd^2}=\frac{1471.2\times1000}{0.75(50)48.5^2}=16.68$ kgf/cm²

(托架各項計算均用$\phi=0.75$)

$\rho=\frac{1}{m}\left[1-\sqrt{1-\frac{2mR_n}{f_y}}\right]$，$m=\frac{f_y}{0.85f'_c}=\frac{4200}{210}=23.53$

$=\frac{1}{23.53}\left[1-\sqrt{1-\frac{2(23.53)16.68}{4200}}\right]$

$=0.0042$

$\min \rho=0.004\frac{f'_c}{f_y}=0.004\frac{210}{4200}=0.002<\rho$ (OK)

$\therefore A_f=\rho bd=0.0042(50)48.5=10.19$ cm²

$A_n=\frac{N_{uc}}{\phi f_y}=\frac{4.8(1000)}{0.75(4200)}=1.52$ cm²

$A_s=\max\begin{cases}\frac{2}{3}A_{vf}+A_n=\frac{2}{3}(10.88)+1.52=8.77\ \text{cm}^2\\ A_f+A_n=10.19+1.52=11.71\ \text{cm}^2\end{cases}$

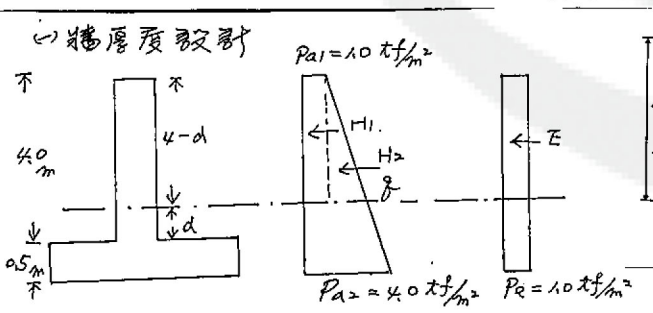
$\therefore A_s=11.71$ cm²　use 3-#8 ($A_s=15.21$ cm²)

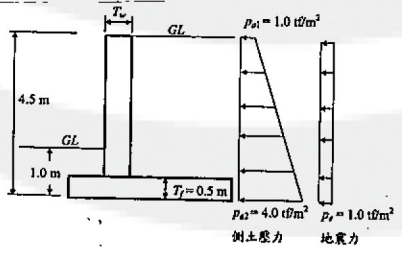
(5) 閉合箍筋 A_h

$A_h=\frac{1}{2}(A_s-A_n)=\frac{1}{2}(11.71-1.52)=5.10$ cm²

use 2-#4 ($A_h=2(2\times1.27)=5.08$ cm² ≈ 5.10 cm²)

二、有一懸臂式擋土牆，其完成後之地面線如下圖所示。牆後之主動側土壓力及地震作用下之側土壓力增量如圖所示（其值為未係數化土壓力值）。試設計此擋土牆垂直牆版所需之無剪力筋最小厚度（T_w）及所需配筋（包括所需溫度鋼筋，鋼筋中心保護層厚一律使用10 cm），並繪製此垂直牆版之配筋草圖。材料之$f'_c=210$ kgf/cm²、$f_y=2800$ kgf/cm²。（主筋使用#8筋，溫度鋼筋使用#4筋，牆厚為5 cm倍數）（25分）





(一) 牆厚度設計

取單位寬設計，視同一整臂單向版，
動力區界面位於距剖視表面 d（單位：m）處
線性內插得 $g=\frac{4-1}{4.5}(4-d)=\frac{2}{3}(4-d)$

$H_1=1.0(4-d)\times1.0=(4-d)$

$H_2=\frac{1}{2}g(4-d)\times1.0=\frac{1}{2}(\frac{2}{3})(4-d)^2\times1.0$
$=\frac{1}{3}(4-d)^2$

土壓力 $H=H_1+H_2=(4-d)+\frac{1}{3}(4-d)^2$

地震力 $E=1.0(4-d)\times1.0=(4-d)$

採用 $U=0.9D+1.0E+1.6H$

$\therefore V_u=1.0(4-d)+1.6\left[(4-d)+\frac{1}{3}(4-d)^2\right]$
$=2.6(4-d)+\frac{1.6}{3}(4-d)^2$

$\phi V_c=\phi 0.53\sqrt{f'_c}\,bd$　[d單位為m]
$=0.75(0.53\sqrt{210})100\,d(100)/1000$
$=57.6d$

V_u 需小於 ϕV_c

try $d=0.25$ m
$V_u=17.25 > \phi V_c=14.4$ (N.G.)

try $d=0.3$ m
$V_u=16.92 < \phi V_c=17.28$ (OK)

use $d=0.3$ m $=30$ cm

牆厚度 $T_w=d+10$（鋼筋中心到混凝土厚度）
$=30+10=40$ cm

須用 $T_w=40$ cm

check 撓度控制最小牆厚度

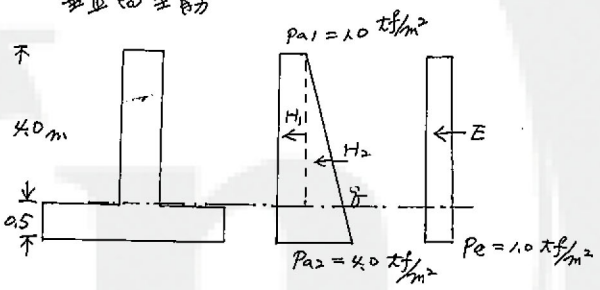
垂牆高 $L=4.5-0.5=4.0$ m

依撓度控制，懸臂單面版最小厚度

$\min T_w=\frac{L}{10}*(0.4+\frac{f_y}{7000})$
$=\frac{400}{10}(0.4+\frac{2800}{7000})$
$=32$ cm $< T_w$ (OK)

(二) 牆鋼筋設計

1. 垂直面主筋



最大彎矩位於底版表面

$g=\frac{4-1}{4.5}(4.0)=\frac{8}{3}$ tf/m²

$H_1=1.0\times4.0\times1.0=4.0$ tf/m

$H_2=\frac{1}{2}g(4.0)\times1.0=\frac{1}{2}(\frac{8}{3})4.0=\frac{16}{3}$ tf/m

$E=1.0(4.0)\times1.0=4.0$ tf/m

$M_H=H_1\times\frac{4}{2}+H_2(\frac{4}{3})$
$=4.0\times2+\frac{16}{3}(\frac{4}{3})=15.11$ tf-m/m

$M_E=E\times\frac{4}{2}=4.0\times2=8.0$ tf-m/m

$U=0.9D+1.0E+1.6H$

$M_u=1.0(8.0)+1.6(15.11)=32.18$ tf-m/m

設$\phi=0.9$（即$\epsilon_t\ge0.005$）

$m=\frac{f_y}{0.85f'_c}=\frac{2800}{0.85(210)}=15.69$

$R_n=\frac{M_u}{\phi bd^2}=\frac{32.18\times10^5}{0.9(100)30^2}=3973$ kgf/cm²

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

$=\frac{1}{15.69}\left[1-\sqrt{1-\frac{2(15.69)3973}{2800}}\right]=0.0163$

$A_s=\rho bd=0.0163(100)30=48.9$ cm²/m

垂直溫度筋最小量

$A_{sv,min}=0.0015bh=0.0015(100)40=6.0$ cm²/m

$\therefore A_s > A_{sv,min}$ (OK)

check ϵ_t

$x=\frac{A_s f_y}{0.85f'_c b\beta_1}=\frac{48.9\times2800}{0.85(210)100(0.85)}=9.0$ cm

$\epsilon_t=\frac{0.003}{x}(d_t-x)$
$=\frac{0.003}{9.0}(30-9.0)=0.007>0.005$ (OK)

須#8主筋

$s=\frac{5.07}{48.9}\times100=10.4$ cm

use #8@10 cm

2. 水平箍度筋

$A_{sh,min} = 0.0025\,bh = 0.0025(100)40 = 10.0\ cm^2/m$

前側用 $\frac{2}{3}A_{sh} = \frac{2}{3}(10) = 6.67\ cm^2/m$

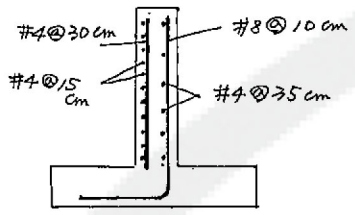
後側用 $\frac{1}{3}A_{sh} = \frac{1}{3}(10) = 3.33\ cm^2/m$

前側 $S = \frac{1.27}{0.67}\times 100 = 19.0\ cm$ use #4@15cm

後側 $S = \frac{1.27}{3.33}\times 100 = 38.0\ cm$ use #4@35cm

前側垂直筋只拍支撐水平箍度筋用，約使用前側水平筋之半數即可，即 #4@30cm

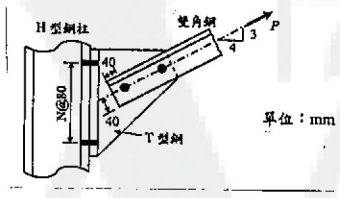
垂直牆配筋草圖



三、有一等邊雙角鋼（2L100×100×13）張力斜拉桿如下圖所示。T型鋼與雙角鋼是以4-D25 單排螺栓接合。T型鋼與柱翼鈑是以兩排螺栓固定在柱翼鈑上，所有螺栓皆為D25 A325-N 高強度螺栓，螺栓孔中心間距為 $S=8$ cm，螺栓孔中心邊距皆為 $S/2=4$ cm。如果本接合所有螺栓孔皆為標準孔，T型鋼鋼鈑有足夠厚度不會控制設計，雙角鋼鋼料為 SN400B，且係數化之設計作用力 $P_u=102$ tf，請依我國鋼構極限設計規範求：

(一)雙角鋼與 T 型鋼之接合是否符合規範之規定？（10 分）

(二)在係數化設計作用力 $P_u=102$ tf 作用下，T 型鋼與柱翼鈑接合處所需螺栓數為何？（15 分）



(一) 1. 雙角鋼之張力強度

$A_g = 24.31\times 2 = 48.62\ cm^2$

$A_n = [24.31 - 1(2.5+0.3)\times 1.3]\times 2 = 41.34\ cm^2$

$U = 0.85$ (每排至少3顆)

$A_e = UA_n = 0.85(41.34) = 35.14\ cm^2$

$\phi_t P_n = \begin{cases} 0.9F_yA_g = 0.9(2.4)48.62 = 105.0\ tf \leftarrow \\ 0.75F_uA_e = 0.75(4.1)35.14 = 108.1\ tf \end{cases}$

$\therefore \phi_t P_n = 105\ tf > P_u = 102\ tf$ (OK)

2. 螺栓剪力強度 A325-N (螺紋通過剪力面)

$\phi R_n = \phi F_{nv}A_b\cdot N_b\cdot N_s$

$= 0.75(3.36)5.07\times 4\times 2 = 102.2\ tf > P_u$ (OK)

3. 承載力強度

螺栓直徑 $d=2.5$cm

釘孔直徑 $h = d+0.15 = 2.65$cm

(靠近) $L_c = L_e - \frac{h}{2} = 4 - \frac{2.65}{2} = 2.675$ cm

$r_n = 1.5L_ct\,F_u$

$= 1.5(2.675)(1.3\times 2)4.1 = 42.8\ tf$

↳雙角鋼

(遠地) $L_c = S - h = 8 - 2.65 = 5.35\ cm > 2d = 5.0\ cm$

$\therefore r_n = 3.0\,dt\,F_u$

$= 3.0(2.5)(1.3\times 2)4.1 = 80\ tf$

$R_n = 42.8 + 80\times 3 = 282.8\ tf$

$\phi R_n = 0.75(282.8) = 212.1\ tf > P_u$ (OK)

故接合符合規範規定。

(二)

$V_u = \frac{3}{5}P_u = \frac{3}{5}(102) = 61.2\ tf$

$T_u = \frac{4}{5}P_u = \frac{4}{5}(102) = 81.6\ tf$

$f_{nv} = \frac{V_u}{nA_b} = \frac{61.2}{n(5.07)} = \frac{12.07}{n}$

$F_{nt}' = 8.1f - 2.5f_{nv} \leq 6.3$

$= 8.1f - 2.5\left(\frac{12.07}{n}\right)$

$\phi R_n = \phi F_{nt}'A_b\cdot N_b$

$= 0.75\left[8.1f - 2.5\left(\frac{12.07}{n}\right)\right]5.07\cdot n \geq 102\ tf$

$\therefore n \geq 6.96$

use $n=8$ (每排各4顆)

check $F_{nt}' = 8.1f - 2.5\left(\frac{12.07}{8}\right) = 4.42\ tf/cm^2 < 6.3\ tf/cm^2$

check 螺栓剪力強度

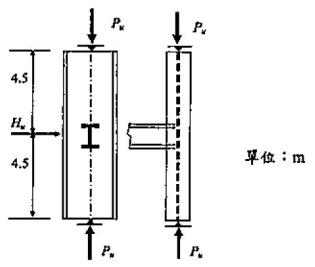
$\phi R_n = \phi F_{nv}A_b\cdot N_b$

$= 0.75(3.36)5.07\times 8 = 102.2\ tf > V_u = 61.2\ tf$ (OK)

承載力無法檢核(缺柱翼板厚度)

故須用 8 顆 D25 A325-N 接合。

四、如下圖之 H 熱軋型鋼柱（H400×400×13×21）為有側撐構架中之主結構體，柱高 9 m 承受係數化之設計軸力 $P_u=200$ tf。柱之兩端假設為鉸接，且在柱弱軸方向在柱中間有水平梁支撐。假設鋼料為 SN400B，彎矩放大係數 $B_1=B_2=1.0$。請依我國鋼構極限設計規範，求在柱高 4.5 m 處，柱強軸方向可承受之最大係數化水平作用力 H_u 為何？（25 分）



$M_{nt} = \frac{1}{4}H_u(9) = 2.25H_u$

$M_{et} = 0$

$B_1 = B_2 = 1.0$

$M_u = B_1M_{nt} + B_2M_{et}$

$= 1.0(2.25H_u) + 1.0(0) = 2.25H_u$

$P_u = 200\ tf$

求 ϕP_n：

$(\frac{KL}{r})_x = \frac{1.0(900)}{17.45} = 51.6 \leftarrow$

$(\frac{KL}{r})_y = \frac{1.0(450)}{10.42} = 43.2$

$\lambda_c = \frac{KL}{\pi r}\sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{51.6}{\pi}\sqrt{\frac{2.4}{2040}} = 0.563 < 1.5$

$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2})F_y$

$= (0.658^{0.563^2})2.4 = 2.1\ tf/cm^2$

$\phi P_n = \phi F_{cr}A_g = 0.85(2.1)(218.7) = 390.4\ tf$

求 ϕM_n

考慮 $\angle TB$

$L_b = 4.5\,m < L_p = 5.23\,m$ $\therefore \angle TB$ 不會發生

考慮 $F\angle B$

$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{40}{2(2.1)} = 9.5 < \lambda_p = \frac{17}{\sqrt{F_y}} = \frac{17}{\sqrt{2.4}} = 11.0$

$\therefore F\angle B$ 不會發生

考慮 $W\angle B$

$P_y = F_yA_g = 2.4(218.7) = 524.9\ tf$

$\frac{P_u}{\phi P_y} = \frac{200}{0.9(524.9)} = 0.423 > 0.125$

$\therefore \lambda_p = \frac{51}{\sqrt{F_y}}\left(2.33 - \frac{P_u}{\phi P_y}\right) \geq \frac{68}{\sqrt{F_y}}$

$= \frac{51}{\sqrt{2.4}}(2.33 - 0.423) = 62.8 > 43.9$

$\frac{h}{t_w} = \frac{40 - 2.1\times 2}{1.3} = 27.5 < \lambda_p$

$\therefore W\angle B$ 不會發生

故 M_n 由 Yielding 控制

即 $M_n = ZF_y = 3670(2.4)/100 = 88.1\ tf-m$

$\phi M_n = 0.9(88.1) = 79.3\ tf-m$

check：

$\because \frac{P_u}{\phi P_n} = \frac{200}{390.4} = 0.512 > 0.2$

由 $\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_u}{\phi M_n}\right) \leq 1.0$ 算得

即 $0.512 + \frac{8}{9}\left(\frac{2.25H_u}{79.3}\right) \leq 1.0$

得 $H_u \leq 19.35\ tf$