تطبيقات الخرسانة المسلحة /4/

(قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة)

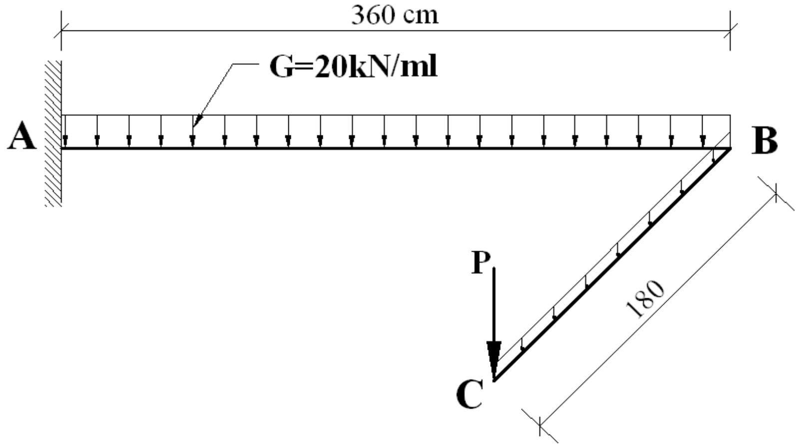
إعداد

أ.د. بسام حويجة

تصميم جائز ظفري (انعطاف + قص مع فتل)

التطبيق /1/ :

لدينا المنشأة المبينة جانباً، الموثوقة في النقطة A.



يتعرض هذا الجائز الظفري المنكسر إلى قوة مركزة P عند النقطة /C/ مؤلفة من :

- حمولة دائمة مقدارها: $P_G = 26kN$
- حمولة إضافية مقدارها: $P_P = 22kN$

وأيضاً لحمولة دائمة موزعة بانتظام شدتها بالمتر الطولي $(20kN/ml)$ مطبقة على العنصر AB فقط.

إذا علمت أن $f'_c = 25\,MPa$ ، $f_y = 400\,MPa$ ، $\Delta_{Concrete} = 25kN/m^3$

يطلب تصميم هذه المنشأة ورسم المخططات التنفيذية اللازمة كافة، على الحالات الحدية التالية:

- حالة الحد من السهم المعيب.
- الحالة الحدية القصوى

مع ضرورة الالتزام الكامل باشتراطات وقواعد الكود السوري، مع العلم أن التنفيذ سيتم بصورة مثالية. يمكن اعتماد الأبعاد الأولية التالية في الدراسة:

الجائز AB : $b \times h = 40 \times 80\,cm$

الجائز BC: $b \times h = 40 \times 40\,cm$

الحل:

أولاً- دراسة أولية:

نتحقق من شرط السهم من حيث الأبعاد المفروضة في هذه المرحلة، وسنعمل على التحقق من شرط نسبة التسليح الخاصة بالسهم المعيب بعد حساب التسليح المقاوم.

$$\mu_S \le 0.18\frac{f_c'}{f_y} = 0.18\frac{25}{400} = 0.0113$$

الجائز الحامل AB: $h \ge \frac{L}{6} = \frac{360}{6} = 60cm < 80cm \quad O.K.$

الجائز المحمول BC: $h \ge \frac{L}{6} = \frac{180}{6} = 30cm < 40cm \quad O.K.$

بالتالي نتابع الحل ونحسب الحمولات كاملة مع الوزن الذاتي.

ثانياً- تحديد الحمولات الحدية:

1- الجائز المحمول BC: يتعرض هذا العنصر لما يلي:

الوزن الذاتي المصعد: $G_{u0} = 1.4(0.4\times0.4\times25) = 5.6kN/ml$

الحمولة المركزة الدائمة المصعدة: $P_{uG} = 1.4\times26 = 36.4kN$

الحمولة المركزة الإضافية المصعدة: $P_{uP} = 1.7\times22 = 37.4kN$

تكون الحمولة المركزة الكلية المصعدة:

$$P_u = P_{uG} + P_{uP} = 36.4 + 37.4 = 73.8kN$$

2- الجائز الحامل AB والموثوق عند A:

الوزن الذاتي المصعد: $G_{u0} = 1.4(0.4\times0.8\times25) = 11.2kN/ml$

الحمولة الدائمة المصعدة: $G_{u1} = 1.4\times20 = 28kN/ml$

تكون الحمولة الدائمة الكلية المصعدة:

$$G_u = G_{u0} + G_{u1} = 11.2 + 28 = 39.2kN/ml$$

إضافة لردود أفعال العنصر BC عند B وهي:

$$R_{uB} = V_{uB} = 5.6\times1.8 + 73.8 = 83.88kN$$

$$T_u = M^-_{uB} = 5.6\times\frac{1.8^2}{2} + (73.6)\times1.8 = -141.6kN.m$$

إن عزم الانعطاف المتشكل عند النقطة B والناجم عن تحميل العنصر BC ، هو عزم فتل على الجائز الحامل AB.

ثالثاً- رسم مخططات القوى الداخلية:

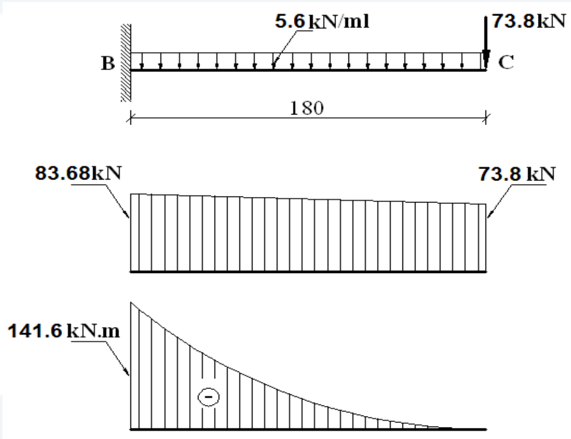
1- العنصر المحمول BC:

- الجهد القاطع الحدي V_u:

$$V_{uC} = 36.4 + 37.4 = 73.8kN$$

$$V_{uB} = 5.6\times1.8 + 73.8 = 83.68kN$$

- الانعطاف الحدي M_u: $M^-_{uB} = -141.6kN.m$



مخططات القوى الداخلية للعنصر المحمول BC

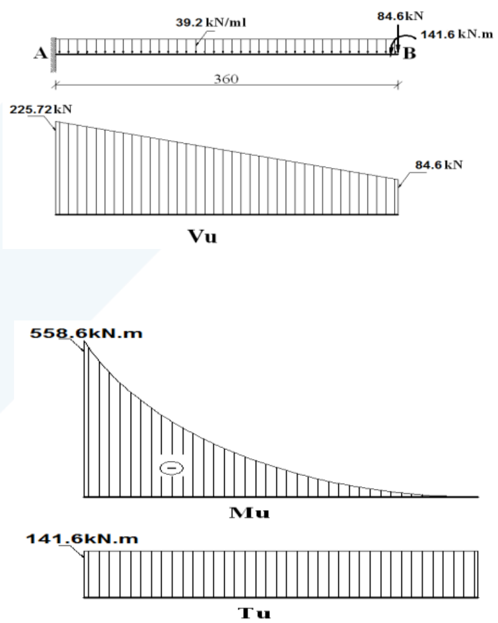
2- العنصر الحامل AB:

$$V_{uB} = 84.6\,kN$$

$$V_{uA} = 84.6 + (39.2) \times 3.6 = 225.72\,kN$$

$$M^{-}{}_{uA} = 84.6 \times 3.6 + (39.2) \times \frac{3.6^2}{2} = -558.6\,kN.m$$

$$T_u = M^{-}{}_{uB} = 141.6\,kN.m$$



مخططات القوى الداخلية للعنصر الحامل AB

رابعاً- دراسة الانعطاف:

1- العنصر المحمول BC: $b \times h = 40 \times 40\ cm$

$f_c' = 25\ MPa$ ، $f_y = 400\ MPa$.

العزم الحدي عند المقطع B:

$$M^-_{UB} = 141.6\ kN.m$$

$$A_0 = \frac{M_u}{\Omega \times 0.85 \times f_c' \times b \times d^2} = \frac{141.6 \times 10^6}{0.9 \times 0.85 \times 25 \times 400 \times 365^2}$$

$$A_0 = 0.1389 \Rightarrow \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A_0} = 0.1502$$

$$\gamma = \frac{A_0}{\alpha} = 0.9248$$

$$A_s = \frac{M_u}{\Omega \gamma d\ f_y} = \frac{141.6 \times 10^6}{0.9 \times 0.9248 \times 365 \times 400}$$

$$A_s = 11.66\ cm^2 \quad \Rightarrow \mu_s = \frac{11.66}{40 \times 36.5} = 0.8\%$$

$$\mu_{s\min} = \frac{0.9}{f_y} = \frac{0.9}{400} = 0.225\ \%$$

$$\mu_{s\max} = 0.5\mu_{sb} = 0.5\left(\frac{455}{630 + f_y} \times \frac{f_c'}{f_y}\right) = 0.5(0.0276)$$

$$\mu_{s\max} = 1.38\%$$

ولكننا سنحدد نسبة التسليح الأعظمية المحققة لشرط السهم المعيب وهي:

$$\mu_s = 0.18\frac{f_c'}{f_y} = 0.18\frac{25}{400} = 1.125\,\% > 0.86\% \quad O.K.$$

$$\therefore \quad USE \quad 5\,T18\,(12.72\,cm^2)$$

$$or \quad 4T\,20(12.56\,cm^2)$$

2- العنصر الحامل AB: $b \times h = 40 \times 80\ cm$

$$M_{uA} = 558.6\ kN \qquad d = 80 - 8 = 72\ cm$$

$$A_0 = 0.1409 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \alpha = 0.1525 \\ \gamma = 0.9239 \end{cases}$$

$$\Rightarrow A_s = 23.33 cm^2 \Rightarrow \quad \mu_s = 0.81\% < 1.125\% \quad O.K.$$

سيتم تحديد التسليح النهائي (اختيار القضبان) بعد حساب التسليح الطولي اللازم لمقاومة الفتل.

خامساً- دراسة القص والفتل:

1- العنصر المحمول BC: يخضع لجهد قاطع حدي مقداره $83.68 kN$ ولا يخضع لفتل.

بما أن المقطع خاضع لقص ولعزم انعطاف فقط يكون لدينا:

- المقاومة على القص للبيتون:

$$\tau_{cu} = 0.23\sqrt{f_c'} = 0.23\sqrt{25} = 1.15MPa$$

- مساهمة البيتون لمقاومة القص حيث التنفيذ مثالي:

$$\tau_{0u} = 0.7\,\tau_{cu} = 0.7\times1.15 = 0.81MPa$$

- إجهادات القص الأعظمية المسموحة في المقطع:

$$\tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f_c'} = 0.65\sqrt{25} = 3.25\,MPa$$

- إجهادات القص الحدية في المقطع الحرج:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75\cdot b\cdot d} = \frac{83.68\times10^3}{0.75\times400\times365} = 0.76\,MPa < \tau_{0u} = 0.81MPa$$

بالتالي يلزم تسليح أصغري:

$$A_{st\min} = \frac{0.35}{f_y}\cdot b\cdot S$$

$$S = \min\begin{cases}300mm\\ \dfrac{365}{2} = 180mm\end{cases}$$

باستخدام إطار بقطر $8mm$ يكون التباعد:

$$S \le \frac{A_{st}}{0.35}\times\frac{f_y}{b} = \frac{2\times50\times400}{0.35\times400} = 285mm$$

بالتالي: $T8/18mm$ إطار USE

2- العنصر الحامل AB: يخضع هذا العنصر لقص ولفتل ولانعطاف.

$$T_U = 141.6kN.m \text{ و } V_U = 225.72kN$$

- إجهادات القص الحدية الناجمة عن الفتل المطبق:

$$\tau_{tu} = \frac{3T_U}{\sum x^2\cdot y} = \frac{3\times141.6\times10^6}{400^2\times800} = 3.32MPa$$

- إجهادات القص الحدية الناجمة عن الجهد القاطع الحدي المطبق:

$$\tau_u = \frac{225.72\times10^3}{0.75\times400\times720} = 1.045MPa$$

- إجهادات القص الحدية الأعظمية الناجمة عن الفتل بوجود قص:

$$\tau_{tu\max} = \frac{0.8\sqrt{f_c^{'}}}{\sqrt{1+(\frac{1.2\times\tau_u}{\tau_{tu}})^2}} = \frac{0.8\sqrt{25}}{\sqrt{1+(\frac{1.2\times1.045}{3.32})^2}} = 3.742MPa$$

$$\tau_{tu\max} = 3.742MPa > 3.32MPa \quad O.K.$$

- إجهادات القص الحدية الأعظمية الناجمة عن الجهد القاطع المطبق (تسليح قائم):

$$\tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f_c^{'}} = 0.65\sqrt{25} = 3.25\ MPa > 1.045MPa \quad O.K.$$

- مساهمة البيتون لمقاومة القص الناجم عن الجهد القاطع بوجود فتل (تنفيذ مثالي):

$$\tau_{0u} = 0.7\times\tau_{cu}$$

$$= 0.7\left[\frac{0.16\sqrt{f_c^{'}}}{\sqrt{1+(\frac{\tau_{tu}}{1.2\times\tau_u})^2}}\right] = 0.7[0.283] = 0.2\ MPa$$

- مقاومة البيتون للقص الناجم عن الفتل بوجود الجهد القاطع:

$$\tau_{tc} = \frac{0.16\sqrt{f_c^{'}}}{\sqrt{1+(\frac{1.2\times\tau_u}{\tau_{tu}})^2}} = 0.748MPa$$

- التسليح العرضي القائم اللازم لمقاومة الجهد القاطع :

$$\frac{A_{tv}}{S} \geq \frac{\tau_u - \tau_{0u}}{f_y}\cdot b = \frac{(1.045-0.2)}{400}\times400 = 0.845$$

- التسليح العرضي القائم اللازم لمقاومة الفتل :

$$\frac{A_{tt}}{S} \geq \frac{(\tau_{tu}-\tau_{tc})}{\alpha_t\times x_1\times y_1\times f_y}\cdot\frac{\sum x^2\cdot y}{3}$$

$$\alpha_t = \left[0.66+0.33\frac{y_1}{x_1}\right] \leq 1.5$$

$$\alpha_t = \left[0.66+0.33\times\frac{740}{340}\right] = 1.38$$

$$\frac{A_{tt}}{S} \geq \frac{(3.32-0.748)}{1.38\times340\times740\times400}\times\frac{400^2\times800}{3} = 0.79$$

- يكون التسليح العرضي القائم الإجمالي لمقاومة الفتل والقص:

$$\frac{A_{tv}}{S} + \frac{2A_{tt}}{S} = 0.845 + 2\times0.79 = 2.425$$

نقارن هذه النسبة مع النسبة الأصغرية للتسليح العرضاني المحدد في الكود:

$$\frac{A_t}{S} = \frac{A_{tv} + 2A_{tt}}{S} \geq \frac{0.35}{f_y} \cdot b = \frac{0.35}{400} \times 400 = 0.35 << 2.425 \quad O.K.$$

نختار قيمة لـ S محققة لاشتراطات الكود:

$$S \leq \begin{cases} 300mm \\ \frac{d}{2} = \frac{720}{2} = 360mm \\ \frac{x_1 + y_1}{4} = \frac{340+740}{4} = 270mm \end{cases}$$

$$\frac{A_t}{S} \geq 2.425$$

باستخدام ثلاثة إطارات بقطر $10mm$ بمعنى ستة فروع $10mm$ يكون:

$$A_t = 6 \times 0.785 = 4.71cm^2 \Rightarrow S \leq \frac{471}{2.425} = 194mm$$

بالتالي: ثلاثة إطارين واترية $\quad USE \quad 6T10/18cm$

- التسليح الطولي اللازم لمقاومة الفتل:

$$A_{stl} = \max \begin{cases} * \; 2A_{tt} \frac{(x_1 + y_1)}{S} \\ * \left[\frac{2.8 \times x \times S}{f_y} \left(\frac{\tau_{tu}}{\tau_{tu} + \tau_u} \right) - 2 \times A_t \right] \left[\frac{x_1 + y_1}{S} \right] \end{cases}$$

$$A_{stl} = \max \begin{cases} * = 2 \times 0.79 \times (340+740) = 1706.4\,mm^2 \\ * = \left[\frac{2.8 \times 400 \times 180}{400} \left(\frac{3.32}{3.32 + 1.045} \right) - 2 \times 471 \right] \left[\frac{340+740}{180} \right] \\ \quad = -(\ldots) \\ \therefore \quad A_{stl} = 1706.4\,mm^2 = 17.06cm^2 \end{cases}$$

يتم توزيع هذا التسليح على أربعة أو خمسة مستويات (على محيط الجائز):

$$\frac{17.06}{5} = 3.412cm^2$$

في كل طبقة وسطية $\quad USE \quad 2\,T16mm$.

وبخصوص التسليح العلوي والسفلي يكون لدينا:

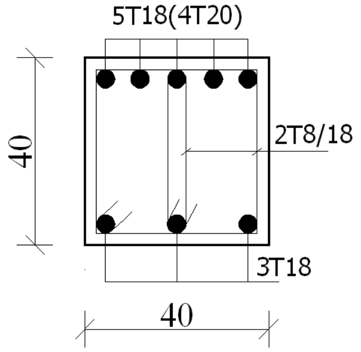
1- التسليح العلوي:

$$A_s = 3.412 + 23.33 = 28.36 cm^2$$
$$\Rightarrow \quad USE \quad 10T20mm$$
$$\Rightarrow \quad \mu_s \approx 1\% < 1.125\% \quad O.K.$$

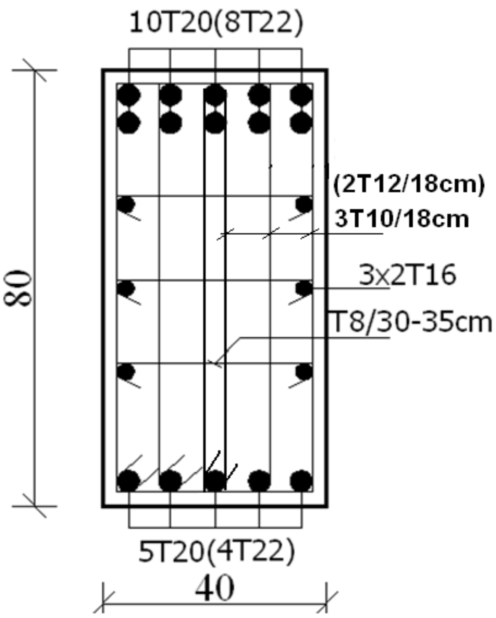
2- التسليح السفلي:

$$A_s / 2$$
$$\Rightarrow \quad USE \quad 5T20mm$$

وتبين الأشكال التالية تسليح وأبعاد المقاطع العرضية لكل من الجائزين المدروسين، عند الوثاقات.



مقطع في الجائز BC (عند اتصاله بالجائز AB)



مقطع في الجائز AB (عند الوثاقة)

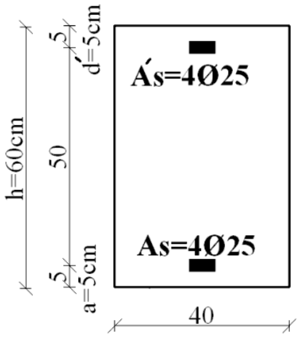
مخططات الترابط

التطبيق /2/ :

لدينا عنصر بيتوني مسلح، مقطعه مستطيل: $b \times h = 40 \times 60cm$ ، ومسلح بشكل متناظر كما هو مبين في الشكل المرفق:

$$A_s = A'_s = 4\phi 25mm = 4 \times 491 = 1964mm^2$$

باعتبار أن مقاومات المواد: $f_y = 240MPa\,;\ f'_c = 20MPa$ ، يطلب تحديد النقاط الثلاثة التالية العائدة لمخطط الترابط الخاص بهذا المقطع.

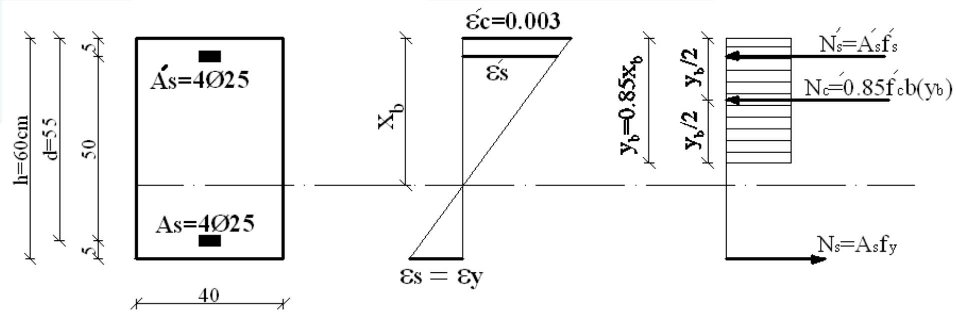


- $\left(\dfrac{N'_{ub}}{\Omega}, \dfrac{M_{ub}}{\Omega}\right)$ - الحالة التوازنية
- $\left(\dfrac{N'_{u}}{\Omega}, \dfrac{M_{u\max}}{\Omega}\right)$ - حالة العزم الأعظمي
- $\left(\dfrac{N'_{u}}{\Omega}, \dfrac{M_{u}}{\Omega}\right)$ - الموافقة للامركزية تساوي $e = \dfrac{M_u}{N'_u} = 0.6m$

الحل:

أولاً – دراسة الحالة التوازنية

1- تحديد موقع المحور المحايد للحالة التوازنية x_b :



$$\frac{x_b}{d} = \frac{\varepsilon'_c}{\varepsilon_y + \varepsilon'_c}$$

$$E_s = 210000MPa \Rightarrow$$

$$\frac{x_b}{d} = \frac{0.003}{f_y / E_s + 0.003} = \frac{630}{f_y + 630}$$

$$\Rightarrow x_b = \frac{630}{f_y + 630} d = \frac{630 \times 550}{240 + 630} = 398.3mm$$

$$\therefore\ y_b = 0.85x_b = 0.85 \times 398.3 = 338.6mm$$

2- تحديد قيمة الاجهادات في التسليح المضغوط:

$$f'_s = 630\left(\frac{y_b - 0.85d'}{y_b}\right) \le f_y$$

$$f'_s = 630\left(\frac{338.6 - 0.85\times 50}{338.6}\right) = 551MPa > f_y = 240MPa$$

$$\therefore\ f_s = f'_s = f_y = 240MPa$$

3- تحديد $\left(\frac{N'_{ub}}{\Omega}, \frac{M_{ub}}{\Omega}\right)$:

- من معادلة توازن القوى:

$$\frac{N'_{ub}}{\Omega} = N'_c + N'_s - N_s$$

$$\frac{N'_{ub}}{\Omega} = 0.85 f'_c\, b\, y_b + A'_s\, f'_s - A_s\, f_y$$

$$\frac{N'_{ub}}{\Omega} = 0.85\times 20\times 400\times 338.6 + 1964\times 240 - 1964\times 240 = 2302.5\,kN$$

- من معادلة العزوم بالنسبة لمركز ثقل المقطع:

$$\frac{M_{ub}}{\Omega} = 0.85 f'_c\, b\, y_b\left(\frac{h}{2} - \frac{y_b}{2}\right) + A'_s\, f'_s\left(\frac{h}{2} - d'\right) + A_s\, f_y\left(\frac{h}{2} - a\right)$$

$$= 0.85\times 20\times 400\times 338.6\left(\frac{600}{2} - \frac{338.6}{2}\right) + 2\times 1964\times 240\left(\frac{600}{2} - 50\right)$$

$$= 536.61 kN.m$$

بالتالي: $\left(\frac{N'_{ub}}{\Omega}, \frac{M_{ub}}{\Omega}\right) : \left(\frac{2302.5}{\Omega} kN\ ,\ \frac{536.61}{\Omega} kN.m\right)$

4- حساب اللامركزية التوازنية :

$$e_b = \frac{M_{ub}}{N'_{ub}} = \frac{536.61}{2302.5}\times 10^3 = 233.1mm$$

ثانياً – دراسة حالة العزم الأعظمي

1- تحديد ارتفاع مستطيل الضغط الموافق للعزم الأعظمي y :

$$\frac{M_u}{\Omega}=0.85f_c'\,b\,y\left(\frac{h}{2}-\frac{y}{2}\right)+A_s'\,f_s'\left(\frac{h}{2}-d'\right)+A_s\,f_y\left(\frac{h}{2}-a\right)$$

$$=0.85f_c'\,b\,y\left(\frac{h}{2}-\frac{y}{2}\right)+2A_s\,f_y\left(\frac{h}{2}-a\right)$$

$$\frac{\partial M_u}{\partial y}=0.85f_c'\,b\left(\frac{h}{2}-\frac{y}{2}\right)-\frac{1}{2}(0.85f_c'b\,y)=0$$

$$\Rightarrow 0.85f_c'\,b\left(\frac{h}{2}-\frac{y}{2}-\frac{y}{2}\right)=0\Rightarrow y=\frac{h}{2}$$

$$\therefore y=\frac{h}{2}\Leftrightarrow\frac{M_u}{\Omega}=\left(\frac{M_{u\max}}{\Omega}\right)$$

2- تحديد العزم الأعظمي $\frac{M_{u\max}}{\Omega}$:

$$y=\frac{h}{2}\Leftrightarrow\frac{M_u}{\Omega}=\left(\frac{M_{u\max}}{\Omega}\right)$$

$$\frac{M_{u\max}}{\Omega}=0.85f_c'\,b\frac{h}{2}\left(\frac{h}{2}-\frac{h}{4}\right)+2A_s\,f_y\left(\frac{h}{2}-a\right)$$

$$=0.85\times20\times400\times300(300-150)+2\times1964\times240(300-50)$$

$$=541.68\,kN.m$$

3- تحديد $\frac{N_u'}{\Omega}$ الموافقة للعزم الأعظمي $\frac{M_{u\max}}{\Omega}$:

$$\frac{N_u'}{\Omega}=0.85f_c'\,b\frac{h}{2}$$

$$=0.85\times20\times400\times300=2040\,kN$$

4- التحقق من وصول الاجهادات إلى حد السيلان:

$$f_s'=630\left(\frac{y-0.85d'}{y}\right)=630\times\left(\frac{300-0.85\times50}{300}\right)$$

$$=540.75\,MPa>f_y=240\,MPa$$

$$f_s=630\left(\frac{0.85d-y}{y}\right)=630\times\left(\frac{0.85\times550-300}{300}\right)$$

$$=351.75\,MPa>f_y=240\,MPa$$

$$\therefore f_s=f_s'=f_y=240\,MPa\quad O.K.$$

بالتالي: $\left(\frac{N_u'}{\Omega},\frac{M_{u\max}}{\Omega}\right):\left(\frac{2040}{\Omega}kN,\frac{541.68}{\Omega}kN.m\right)$

5- حساب اللامركزية : $e=\frac{M_{u\max}}{N'_u}=\frac{541.68}{2040}\times 10^3=265.53mm$

ثالثاً – دراسة الحالة الموافقة لـ: $e=\frac{M_u}{N'_u}=0.6m$

1- تحديد ارتفاع مستطيل الضغط y:

يمكن تحديد نوع اللامركزية عن طريق معرفة موقع محصلة الضغط بالنسبة لمركز الثقل:

$$e-\frac{h}{2}=600-\frac{600}{2}=300mm$$

بالتالي تمر محصلة الضغط خارج المقطع، ويمكن القول بأن اللامركزية كبيرة والشد هو المسيطر.

وفي البداية، نفرض أن: $f_s=f'_s=f_y$

- معادلة القوى:

$$\frac{N'_u}{\Omega}=0.85f'_c b\frac{h}{2}+0$$
$$=0.85\times 20\times 400y=6800y$$

- معادلة العزوم بالنسبة لمركز الثقل:

$$\frac{M_u}{\Omega}=0.85f'_c b\,y\left(\frac{h}{2}-\frac{y}{2}\right)+2A_s\,f_y\left(\frac{h}{2}-a\right)$$
$$=0.85\times 20\times 400y\left(300-\frac{y}{2}\right)+2\times 1964\times 240(300-50)$$
$$\therefore\ \frac{M_u}{\Omega}=6800y\left(300-\frac{y}{2}\right)+235680000$$

من المعادلتين السابقتين نحصل على معادلة من الدرجة الثانية بالنسبة لـ y:

$$\frac{N'_u e}{\Omega}=\frac{M_u}{\Omega}$$

$$6800y\times 600=6800y\left(300-\frac{y}{2}\right)+235680000\Rightarrow y=99.1mm$$

2- التحقق من وصول الاجهادات إلى حد السيلان:

$$f_s' = 630\left(\frac{y - 0.85d'}{y}\right) = 630\times\left(\frac{99.1 - 0.85\times 50}{99.1}\right)$$
$$= 360MPa > f_y = 240MPa$$
$$f_s = 630\left(\frac{0.85d - y}{y}\right) = 630\times\left(\frac{0.85\times 550 - 99.1}{99.1}\right)$$
$$= 2342MPa >> f_y = 240MPa$$
$$\therefore\ f_s = f_s' = f_y = 240MPa \quad O.K.$$
$$\frac{N_u'}{\Omega} = 6800y = 6800\times 99.1 = 673880N$$
$$\frac{M_u}{\Omega} = 673880\times 600 = 404328000N.m$$
$$\left(\frac{N_u'}{\Omega}, \frac{M_u}{\Omega}\right) : \left(\frac{673.88}{\Omega}kN\,,\ \frac{404.33}{\Omega}kN.m\right)$$

التطبيق /3/ :

لدينا عنصر بيتوني مسلح، مقطعه مستطيل: $b\times h = 30\times 50cm$ ، ومسلح بشكل متناظر كما هو مبين في الشكل المرفق:

$$A_s = A_s' = 3\phi 25mm = 3\times 491 = 1473mm^2$$

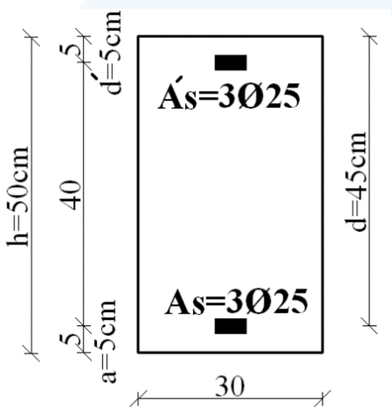
باعتبار أن مقاومات المواد: $f_y = 240MPa\ ;\ f_c' = 20MPa$

يطلب رسم مخطط الترابط الخاص بهذا المقطع، والتحقق من تحمل المقطع للحالات التالية:

1- $\left(\frac{N_u'}{\Omega} = 3000kN\,,\ \frac{M_u}{\Omega} = 200kN.m\right)$

2- $\left(\frac{N_u'}{\Omega} = 1500kN\,,\ \frac{M_u}{\Omega} = 200kN.m\right)$

3- $\left(\frac{N_u'}{\Omega} = 500kN\,,\ \frac{M_u}{\Omega} = 200kN.m\right)$



الحل:

مخطط الترابط هو المنحني الذي يمثل العلاقة بين القوة الناظمية الحدية والعزم الحدي، ويمكن رسمه بعد تحديد عدة نقاط مميزة، تمثل حالات متباينة.

1- حالة الضغط البسيط: $e=0 \Rightarrow \frac{M_u}{\Omega}=0$

$$\frac{N'_u}{\Omega}=0.85 f'_c b h + A'_s f_y + A_s f_y$$
$$=0.85\times 20\times 300\times 500+2\times 1473\times 240=3257kN$$

2- حالة الانعطاف البسيط: $e=\infty \Rightarrow \frac{N'_u}{\Omega}=0$

لتسهيل المسألة، نفترض أن قوة الضغط في البيتون منطبقة على قوة الضغط في فولاذ التسليح المضغوط، ومن ثم نحسب العزم بالنسبة للمحور المار من مركز ثقل التسليح المضغوط، وهذا التقريب مقبول.

$$\frac{M_u}{\Omega}=N_s\, z=A_s\, f_y(d-d')=1473\times 240\times(450-50)=141.41kN.m$$

3- الحالة التوازنية:

$$\frac{x_b}{d}=\frac{\varepsilon'_c}{\varepsilon_y+\varepsilon'_c}$$
$$E_s=210000MPa \Rightarrow$$
$$\frac{x_b}{d}=\frac{0.003}{f_y/E_s+0.003}=\frac{630}{f_y+630}$$
$$\Rightarrow x_b=\frac{630}{f_y+630}d=\frac{630\times 450}{240+630}=325.9mm$$
$$\therefore y_b=0.85x_b=0.85\times 325.9=277mm$$

- التحقق من الاجهادات في التسليح المضغوط:

$$f'_s=630\left(\frac{y_b-0.85d'}{y_b}\right)\le f_y$$
$$f'_s=630\left(\frac{277-0.85\times 50}{277}\right)=533.3MPa> f_y=240MPa$$
$$\therefore f_s=f'_s=f_y=240MPa$$

- تحديد $\left(\frac{N'_{ub}}{\Omega},\frac{M_{ub}}{\Omega}\right)$:

- من معادلة توازن القوى:

$$\frac{N'_{ub}}{\Omega} = N'_c + N'_s - N_s$$

$$\frac{N'_{ub}}{\Omega} = 0.85 f'_c b\, y_b + A'_s\, f'_s - A_s\, f_y$$

$$= 0.85 \times 20 \times 300 \times 277 + 0 = 1412.7\, kN$$

- من معادلة العزوم بالنسبة لمركز ثقل المقطع:

$$\frac{M_{ub}}{\Omega} = 0.85 f'_c b\, y_b \left(\frac{h}{2} - \frac{y_b}{2}\right) + A'_s\, f'_s \left(\frac{h}{2} - d'\right) + A_s\, f_y \left(\frac{h}{2} - a\right)$$

$$= 0.85 \times 20 \times 300 \times 277 \left(\frac{500}{2} - \frac{277}{2}\right) + 2 \times 1473 \times 240 \left(\frac{500}{2} - 50\right)$$

$$= 298.9\, kN.m$$

بالتالي:

$$\left(\frac{N'_{ub}}{\Omega}, \frac{M_{ub}}{\Omega}\right) : \left(\frac{1412.7}{\Omega} kN, \frac{298.9}{\Omega} kN.m\right)$$

$$e_b = \frac{M_{ub}}{N'_{ub}} = \frac{298.9}{1412.7} \times 10^3 = 211.6\, mm$$

4- حالة الضغط هو المسيطر (لامركزية صغيرة):

$$e \le e_b = 211.6\, mm$$

نختار لامركزية معينة، أصغر من اللامركزية التوازنية، ومن ثم نحسب كل من العزم والقوة الموافقين، ولتكن $e = 100 mm \le e_b = 211.6 mm$.

$$f'_s = f_y = 240 MPa$$

$$f_s = 630 \left(\frac{0.85 d - y}{y}\right) = 630 \times \left(\frac{0.85 \times 450 - y}{y}\right) = 630 \times \left(\frac{382.5 - y}{y}\right)$$

- نعوض قيم الاجهادات في معادلة توازن القوى:

$$\frac{N'_u}{\Omega} = 0.85 f'_c b\, y + A'_s\, f'_s - A_s\, f_s$$

$$= 0.85 \times 20 \times 300 \times y + 1473 \times 240 - 1473 \times 630 \left(\frac{382.5 - y}{y}\right)$$

$$\frac{N'_u}{\Omega} = 5100 y + 353520 - 927990 \left(\frac{382.5 - y}{y}\right)$$

- وأيضاً في معادلة العزوم بالنسبة لمركز ثقل المقطع:

$$\frac{M_u}{\Omega}=0.85 f_c' b\, y\left(\frac{h}{2}-\frac{y}{2}\right)+A_s' f_s'\left(\frac{h}{2}-d'\right)+A_s f_s\left(\frac{h}{2}-a\right)$$
$$=0.85\times 20\times 300\times y\left(\frac{500}{2}-\frac{y}{2}\right)+1473\times 240\left(\frac{500}{2}-50\right)$$
$$+1473\times 630\left(\frac{382.5-y}{y}\right)\left(\frac{500}{2}-50\right)$$

- ومن ثم نكتب المعادلة:

$$\frac{N_u'}{\Omega}e=\frac{M_u}{\Omega}$$

حيث $e=100mm$ ، لنحصل على معادلة من الدرجة الثالثة بالنسبة لـ y ، وبحل هذه المعادلة نحصل على:

$$y\approx 358.5\,mm$$

$$f_s=630\left(\frac{0.85d-y}{y}\right)=630\times\left(\frac{382.5-358.5}{358.5}\right)=42.2\,MPa$$

وبعد التعويض، نحصل:

$$\frac{N_u'}{\Omega}=5100y+353520-927990\left(\frac{382.5-y}{y}\right)=2119.7\,kN$$
$$\frac{M_u}{\Omega}=\frac{N_u'}{\Omega}e=2119.7\times 0.1=211.97\,kN.m$$

بالتالي: $\left(\frac{N_u'}{\Omega},\frac{M_u}{\Omega}\right):\left(\frac{2119.7}{\Omega}kN,\frac{211.97}{\Omega}kN.m\right)$

$$e=\frac{M_u}{N_u'}=100mm$$

5- حالة الشد هو المسيطر (لامركزية كبيرة):

$$e>e_b=211.6mm$$

نختار لامركزية معينة، أكبر من اللامركزية التوازنية، ونحسب كل من العزم والقوة الموافقين، ولتكن $e=300mm>e_b=211.6mm$.

- بافتراض: $f_s=f_s'=f_y=240\,MPa$
- نعوض قيم الاجهادات في معادلة توازن القوى:

$$\frac{N_u'}{\Omega}=0.85 f_c' b\, y+A_s' f_s'-A_s f_s$$
$$=0.85\times 20\times 300\times y+1473\times 240-1473\times 240=5100y$$

- وأيضاً في معادلة العزوم بالنسبة لمركز ثقل المقطع:

$$\frac{M_u}{\Omega} = 0.85 f_c' b\, y\left(\frac{h}{2} - \frac{y}{2}\right) + 2A_s\, f_y\left(\frac{h}{2} - a\right)$$

$$= 0.85 \times 20 \times 300 \times y\left(\frac{500}{2} - \frac{y}{2}\right) + 2 \times 1473 \times 240\left(\frac{500}{2} - 50\right)$$

$$= 5100y(250 - y/2) + 141408000$$

- ومن ثم نكتب المعادلة: $\frac{N_u'}{\Omega} e = \frac{M_u}{\Omega}$

حيث $e = 300mm$ ، لنحصل على معادلة من الدرجة الثانية بالنسبة لـ y ، وبحل هذه المعادلة نحصل على:

$$y \approx 190.7\, mm$$

$$f_s' = 630\left(\frac{y - 0.85d'}{y}\right) = 630 \times \left(\frac{190.7 - 0.85 \times 50}{190.7}\right)$$

$$= 489.6 > 240 MPa \quad O.K.$$

وبعد التعويض، نحصل:

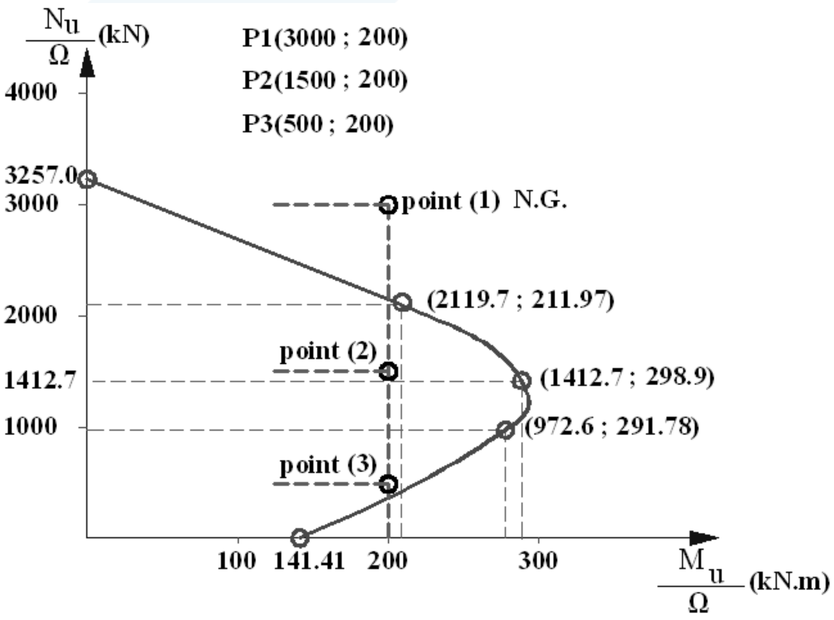
$$\frac{N_u'}{\Omega} = 5100y = 5100 \times 190.7 = 972.6 kN$$

$$\frac{M_u}{\Omega} = \frac{N_u'}{\Omega} e = 972.6 \times 0.3 = 291.78 kN.m$$

بالتالي: $\left(\frac{N_u'}{\Omega}, \frac{M_u}{\Omega}\right) : \left(\frac{972.6}{\Omega} kN, \frac{291.78}{\Omega} kN.m\right) \Rightarrow e = \frac{M_u}{N_u'} = 300mm$

6- رسم مخطط الترابط وإجراء التحقيق (التقويم) للحالات المفروضة في المسألة:

نستنتج أن المقطع قادر لتحمل الحالتين الثانية والثالثة، وغير محقق للحالة الأولى.

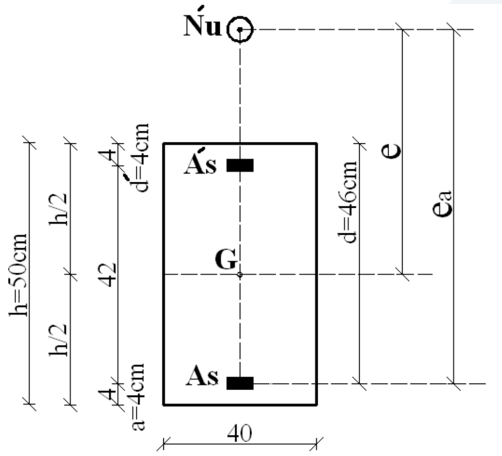


مخطط الترابط الخاص بالمقطع المدروس

$$f_y = 240MPa \; - \; f'_c = 20MPa \; - \; A_s = A'_s = 3\phi 25mm \; - \; b \times h = 30 \times 50cm$$

التطبيق /4/ :

لدينا مقطع بيتوني $b \times h = 40 \times 50cm$، خاضع لحمولات ناظمية إضافية (استثمارية) تساوي $P = 150kN$ ، وأخرى دائمة مقدارها $G = 200kN$، وأيضاً لعزوم انعطاف استثمارية ناجمة عن هذه الحمولات: $M_G = 80kN.m$ و $M_P = 50kN.m$.



بفرض أن المقطع مسلح بشكل متناظر

$A_s = A'_s$ ،

كما هو مبين في الشكل المرفق،

وإن مقاومات المواد:

$$f_y = 400MPa \,;\, f'_c = 20MPa$$

يطلب حساب تسليحه.

الحل:

1- تحديد القوى الداخلية الحدية وحساب اللامركزية:

$$N'_u = 1.4 \times 200 + 1.7 \times 150 = 535kN$$

$$M_u = 1.4 \times 80 + 1.7 \times 50 = 197kN.m$$

$$e = \frac{M_u}{N'_u} = \frac{197}{535} = 368.42 \approx 370mm$$

يلاحظ أن $\frac{h}{2} = \frac{500}{2} = 250mm < e = 370mm$، بالتالي تكون اللامركزية كبيرة وأن الشد هو المسيطر.

2- حساب عامل تخفيض المقاومة Ω:

$$0,9 \geq \Omega = 0.9 - 0.5\left(\frac{N_u}{N_c}\right) \geq 0,65$$

$$N'_u = 535000N$$

$$N_c = 0.85 f'_c A'_c = 0.85 \times 20 \times 400 \times 500 = 3400000$$

$$\Rightarrow \Omega = 0.9 - 0.5\left(\frac{535000}{3400000}\right) = 0.821$$

3- الحالة التوازنية:

$$\frac{x_b}{d} = \frac{\varepsilon'_c}{\varepsilon_y + \varepsilon'_c}$$

$$E_s = 210000MPa \Rightarrow$$

$$\frac{x_b}{d}=\frac{0.003}{f_y/E_s+0.003}=\frac{630}{f_y+630}$$

$$\Rightarrow x_b=\frac{630}{f_y+630}d=\frac{630\times 450}{400+630}=275.24mm$$

$$\therefore y_b=0.85x_b=0.85\times 275.24\approx 234mm$$

$$f_s'=630\left(\frac{y-0.85d'}{y}\right)=630\times\left(\frac{234-0.85\times 40}{234}\right)=538.5>400MPa \quad O.K.$$

4- حساب التسليح:

- بافتراض: $f_s=f_s'=f_y=400MPa$
- من معادلة توازن القوى:

$$\frac{N_u'}{\Omega}=0.85f_c'b\,y+A_s'\,f_s'-A_s\,f_s=0.85f_c'b\,y\Rightarrow$$

$$\frac{535000}{0.821}=0.85\times 20\times 400\times y\Rightarrow y=95.8mm<y_b=234mm$$

نتحقق من الإجهادات f_s' :

$$f_s'=630\left(\frac{y-0.85d'}{y}\right)=630\times\left(\frac{95.8-0.85\times 40}{95.8}\right)\approx 406>400MPa \quad O.K.$$

- لحساب التسليح، نأخذ معادلة العزوم بالنسبة لمركز ثقل التسليح المشدود:

$$\frac{N_u'e_a}{\Omega}=0.85f_c'b\,y\left(d-\frac{y}{2}\right)+A_s'\,f_y(d-d')$$

$$e_a=e+\frac{h}{2}-a=370+\frac{500}{2}-40=580mm$$

$$\frac{535000\times 580}{0.821}=0.85\times 20\times 400\times 95.8\left(460-\frac{95.8}{2}\right)+A_s'\times 400(460-40)$$

$$\Rightarrow A_s'=652mm^2$$

بالتالي، يكون التسليح المقاوم: $A_s=A_s'=652\,mm^2$

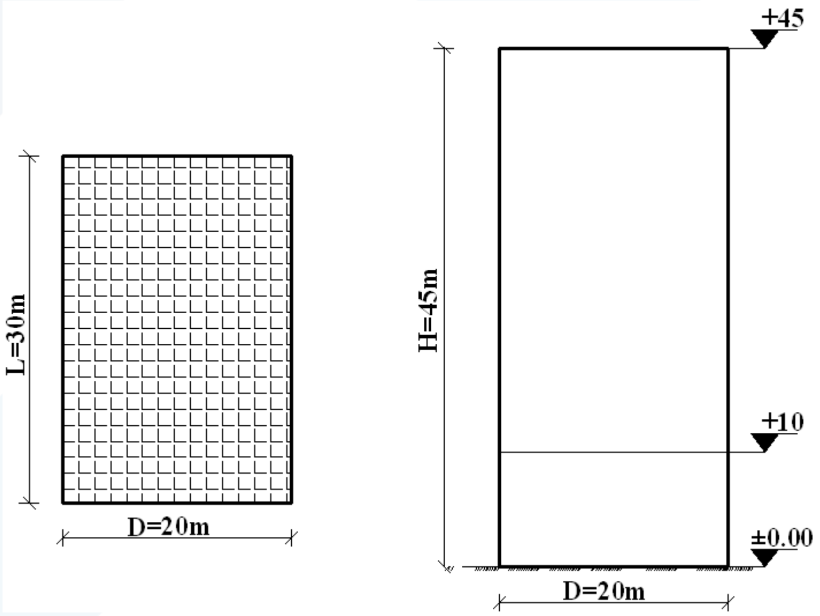
التطبيق /5/ :

لدينا بناء من البيتون المسلح (الشكل المرفق)، مسقطه مستطيل الشكل $(20\times30m)$، واقع على شاطئ البحر (معرض لعواصف)، هذا البناء مؤلف من خمسة عشر طابقاً، بارتفاع $(H = nh = 15\times3 = 45m)$، هيكله الحامل عبارة عن جملة من الإطارات والجدران القصية الموثوقة جيداً عند مستوى القاعدة. إذا علمت أن:

- الحمولات الدائمة على المتر المربع من البلاطة (وزن ذاتي، جوائز، أعمدة، جدران...): $G = DL = 8kN/m^2$
- الحمولات الإضافية على المتر المربع من البلاطة : $P = LL = 3kN/m^2$
- السرعة التصميمية للرياح (الطريقة الأولى) : $V = f(V_k) = 40.37m/\sec$
- القوة الناجمة عن الزلزال عبارة عن محصلة مثلث مقلوب، قاعدته عند قمة المبنى، وتساوي هذه المحصلة بالاتجاهين الطولي والعرضي:

$$V_T \approx V_L = V = \alpha W = \alpha\sum(G+0.25P) = 0.10\sum(G+0.25P)$$

يطلب دراسة المبنى على الانقلاب عند مستوى القاعدة تحت تأثير الزلازل والرياح (الكود السوري).



الحل:

أولاً - تحديد ضغط الريح المكافئ (W_e) :

من معطيات المسألة يمكننا تحديد قيم العوامل المؤثرة على قيمة هذا الضغط، استناداً للجداول والعلاقات المقترحة في الطريقة الأولى، والموجودة في الكود السوري الأساس لعام 2004م:

$$W_e = \alpha_O . K_h . K_s . W_d$$

$$W_d = \frac{V^2}{1630} = \frac{40.3\overline{7}^2}{1630} = 1 kN/m^2$$

$$\alpha_O = 1.30 \quad , \quad K_s = 1.3$$

$$K_h = 2.5\left(1 - \frac{42}{h+60}\right)$$

$$h \le 10m \Rightarrow K_h = 1 \Rightarrow W_e = 1.3 \times 1 \times 1.3 \times 1 = 1.69 kN/m^2$$

$$h = 45m \Rightarrow K_h = 1.5 \Rightarrow W_e = 1.3 \times 1.5 \times 1.3 \times 1 = 2.535 kN/m^2$$

ثانياً – التوزيع الرأسي لضغط الريح المكافئ (W_e):

- بالاتجاه القصير للمبنى (العرضي):

$$W_{eT(h \le 10m)} = 1.69 \times 30 = 50.70 kN/m$$

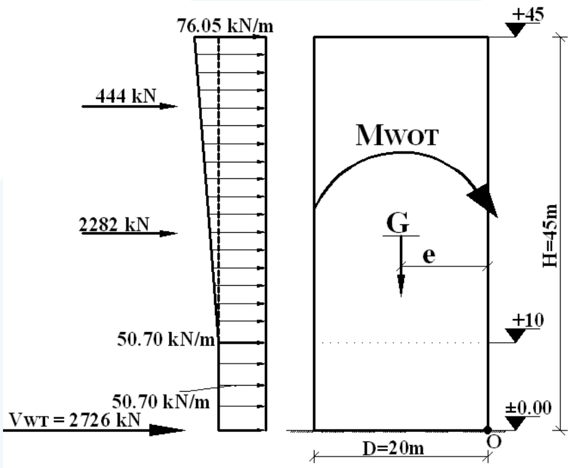
$$W_{eT(h=45m)} = 2.535 \times 30 = 76.05 kN/m$$

- بالاتجاه الطويل للمبنى (الطولي):

$$W_{eL(h \le 10m)} = 1.69 \times 20 = 33.80 kN/m$$

$$W_{eL(h=45m)} = 2.535 \times 20 = 50.70 kN/m$$

ويبين الشكل التالي توزيع ضغط الرياح بالاتجاه العرضي:



ثالثاً – عزوم الانقلاب والتثبيت بالاتجاه العرضي (حول النقطة O) (رياح):

- عزم الانقلاب الناجم عن الرياح (M_{WOT}):

$$M_{WOT} = \frac{50.7 \times 45^2}{2} + \frac{1}{2}(76.05 - 50.7)(45 - 10)\left[\left(\frac{2}{3}\right)(45 - 10) + 10\right]$$

$$M_{WOT} = 66121 kNm$$

- عزم التثبيت (M_{RT}):

$$M_{RT}=G.e=\sum G_i\left(\frac{D}{2}\right)=8\times 20\times 30\times 15\left(\frac{20}{2}\right)=720000kNm$$

- عامل الأمان ضد الانقلاب بالاتجاه العرضي $(S.F.O)$:

$$S.F.O.=\frac{M_{RT}}{M_{WOT}}=\frac{720000}{66121}=10>>1.5$$

وتكون قيمة هذا العامل أكبر بالتأكيد بالاتجاه الطولي.

رابعاً – عزوم الانقلاب والتثبيت بالاتجاه العرضي (حول النقطة O) (زلازل):

- حساب محصلة القوى الزلزالية (قوة القص القاعدي) بالاتجاه العرضي:

$$V_T\approx V_L=V=\alpha W=\alpha\sum(G)=0.10[(8)\times 20\times 30\times 15]$$
$$V_T=0.1\times 72000=7200kN$$

- عزم الانقلاب الناجم عن الزلازل (M_{SOT}):

$$M_{SOT}=V_T\left(\frac{2}{3}H\right)=7200\times\frac{2}{3}\times 45=216000kNm>>M_{WOT}=66121kNm$$

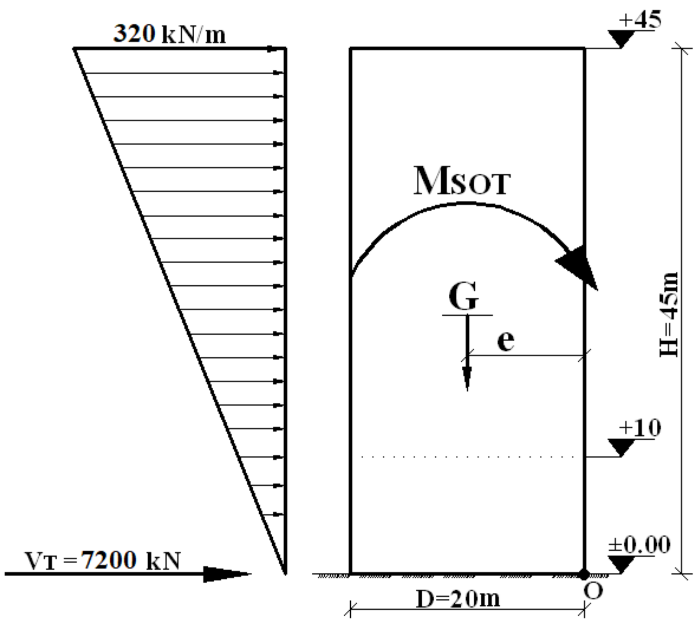
بالتالي الزلزال هو الأخطر.

- ويكون عامل الأمان ضد الانقلاب بالاتجاه العرضي في حالة الزلازل $(S.F.O)$:

$$S.F.O.=\frac{M_{RT}}{M_{SOT}}=\frac{720000}{216000}=3.33>1.5\quad O.K.$$

ويبين الشكل التالي توزيع قوة القص القاعدية الناجمة عن الزلازل بالاتجاه العرضي، بافتراض أن المبنى منتظم ومتناظر (التوزيع مثلثي).

$$V_T=\frac{1}{2}Hq\Rightarrow q=\frac{2V_T}{H}=\frac{2\times 7200}{45}=320kN/m$$


320 kN/m
+45
Msot
G
e
H=45m
+10
±0.00
Vт =7200 kN
O
D=20m

التطبيق /6/ :

العمود القوي مع جائز ضعيف – مثال حالة الطابق الأخير:

لدينا عقدة طرفية في إطار مقاوم للزلازل كما هو مبين في الشكل المرفق، والمطلوب التحقق من فرضية العمود القوي والجائز الضعيف وفق الكود السوري.

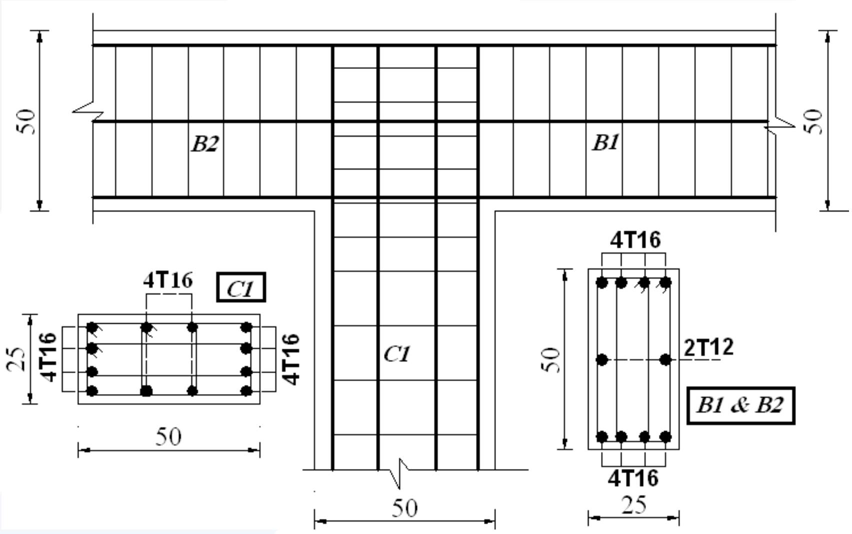
علماً أن :

$f'_c = 20MPa$: المقاومة المميزة للبيتون.

$f_y = 400MPa$: المقاومة المميزة للفولاذ.

$C = 3cm$: سماكة الغطاء البيتوني.

$$R = \frac{\sum M_C}{\sum M_b} = \frac{M_{C1}}{M_{b1} + M_{b2}} \geq 1.2$$



بما أن جوائز العقدة متماثلة $B1 \equiv B2 : b \times h : 25 \times 50cm$ والتسليح متناظر (السفلي والعلوي) $\left(A_s = 4T16mm = 800mm^2\right)$، يكون العزم المقاوم السالب مساوي للعزم المقاوم الموجب:

$$M_{b1} = M_{b2} = A_s f_y \left(d - \frac{y}{2}\right)$$

$$y = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{800 \times 400}{0.85 \times 20 \times 250} = 75.3mm$$

$$\Rightarrow M_{b1} = M_{b2} = 800 \times 400 \left(460 - \frac{75.3}{2}\right) = 135152N.m$$

ويكون العزم المقاوم للعمود باستعمال $\left(A_s = 4T16mm = 800mm^2\right)$ مساوياً للعزم المقاوم السابق:

$$M_{c1} = M_{b1} = M_{b2} = 135152N.m$$

ومنه نحسب نسبة مجموع العزوم المقاومة في العقدة:

$$R = \frac{\sum M_C}{\sum M_b} = \frac{135152}{2\times135152} = 0.5 \quad (N.G.)$$

بالتالي يجب تغيير أبعاد مقطع العمود أو التسليح المقاوم. نلاحظ من التسليح الموجود أن نسبته عالية، بالتالي مصلحتنا في تغيير الأبعاد والتسليح: نختار أبعاد جديدة للعمود بحيث يصبح: $C1: a\times b: 35\times75cm$، مع استبدال التسليح الطرفي ليصبح $\left(A_s = 4T20mm = 1256mm^2\right)$ والحفاظ على تسليحه الوسطي.

$$M_{c1} = A_s f_y \left(d - \frac{y}{2}\right)$$

$$y = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b} = \frac{1256\times400}{0.85\times20\times350} = 84.4mm$$

$$\Rightarrow M_{c1} = 1256\times400\left(710 - \frac{84.4}{2}\right) = 335503N.m$$

ويكون:

$$R = \frac{\sum M_C}{\sum M_b} = \frac{335503}{2\times135152} = 1.24 \quad (O.K.)$$

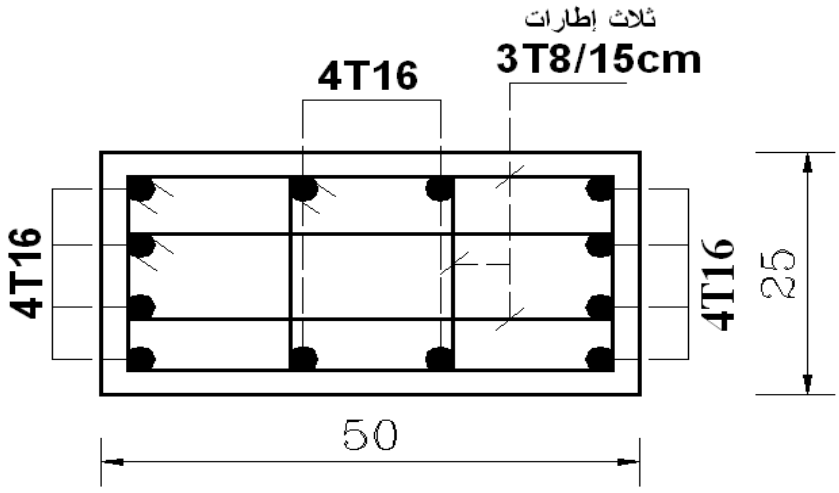
التطبيق /7/ :

العمود القصير (الرقبات) Short Column :

يجب دراسة ومعالجة هذه العناصر على أساس أنها عناصر حرجة ، إذ أن تقصير أطوال الأعمدة يزيد من عزوم الانعطاف و القص .

حساب التسليح العرضي لرقبة عمود معرض للزلازل:

تم تصميم عمود لمقاومة الزلازل، وتسليح المقطع العرضي مبين أدناه (الشكل المرفق)، والمطلوب تحقيق هذا المقطع على القص عندما يعمل كعمود قصير (رقبة) بطول $h = 1m$.



علماً أن :

المقاومة المميزة للبيتون : $f'_c = 25MPa$ ،

المقاومة المميزة للفولاذ : $f_y = 400\,MPa$ ،

سماكة الغطاء البيتوني : $C = 3cm$.

الحل :

- نحدد نسبة التسليح في هذا العمود:

$$\mu_s = \frac{A_s}{A'_c} = \frac{12\times 200}{250\times 500} = 1.92\% \geq 1.2\% \quad (O.K.)$$

- نحدد العزم المقاوم الحدي:

يكون العزم المقاوم للعمود باستعمال $\left(A_s = 4T16mm = 800mm^2\right)$ بالاتجاه الطويل:

$$M_{c1} = A_s f_y\left(d - \frac{y}{2}\right)$$

$$y = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{800\times 400}{0.85\times 25\times 250} = 60.2mm$$

$$\Rightarrow M_{c1} = 800\times 400\left(460 - \frac{60.2}{2}\right) = 137568N.m$$

والعزم المقاوم للعمود باستعمال $\left(A_s = 4T16mm = 800mm^2\right)$ بالاتجاه القصير:

$$M_{c2} = A_s f_y \left(d - \frac{y}{2} \right)$$

$$y = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b} = \frac{800 \times 400}{0.85 \times 25 \times 500} = 30.1mm$$

$$\Rightarrow M_{c2} = 800 \times 400 \left(210 - \frac{30.1}{2} \right) = 62384N.m$$

- نحسب القص الحدي في الرقبة:

سوف ندرس القص بالاتجاه الطويل:

$$V_u = \frac{2M_u}{h} = \frac{2 \times 137568}{1} = 275136N$$

- نتحقق من الاجهادات:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75bd} = \frac{275136}{0.75 \times 250 \times 460} = 3.2MPa$$

$$\tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f_c'} = 0.65\sqrt{25} = 3.25MPa > 3.2MPa \ (O.K.)$$

- ونحسب التسليح مع إهمال مساهمة البيتون:

$$A_{st} \geq \frac{\tau_u}{f_y} bs$$

$$b = 250mm \ , \ \ s = 150mm$$

$$\Rightarrow A_{st} \geq \frac{3.2}{400} \times 250 \times 150 = 300mm^2$$

لدينا تسليح عرضاني: $\left(A_{st} = 4T8mm/150mm = 200mm^2 < 300mm^2 \right)$،

بالتالي نختار:

$$A_{st} = 4T10mm/150mm = 314mm^2 > 300mm^2 \quad (O.K.)$$

التطبيق /8/ :

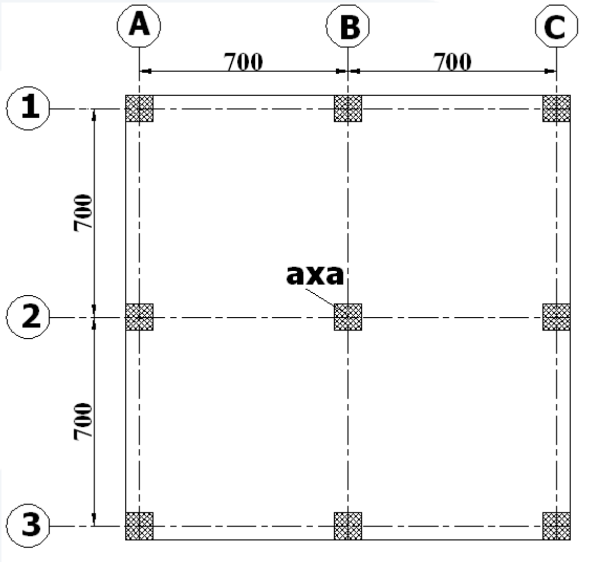
عامل الوثوقية ودرجة عدم التقرير (ρ):

يحدد من العلاقة التالية (بالوحدات SI)، وتؤخذ قيمته مساوية للواحد في حال حساب الإزاحة، وكذلك عندما تقع المنشأة في المناطق الزلزالية (2, 1, 0).

$$1 \leq \rho = 2 - \frac{6.1}{r_{\max}\sqrt{A_B}} \leq 1.5$$

أولاً- حالة إطارات مقاومة للعزوم:

لدينا مبنى متعدد الطوابق، مسقطه الأفقي مربع الشكل، واقع في المنطقة الزلزالية (3).



ارتفاع الطابق الواحد $(h_n = 4.7\,m)$، هيكله الحامل عبارة عن جملة من الإطارات البيتونية المسلحة المقاومة للعزوم بالاتجاهين بتباعد ثابت مقداره $(7\,m)$، أعمدة هذه الإطارات موثوقة جيداً عند القاعدة، ومقاطعها ثابتة في كافة الطوابق $a \times a = 70 \times 70\,cm$.

يطلب تحديد قيمة عامل الوثوقية ودرجة عدم التقرير (ρ) الواجب اعتمادها عند تحديد قوة القص القاعدية الناجمة عن الزلازل، إذا علمت أن دور نمط الاهتزاز الذاتي يعادل $T = 0.78\sec$.

باعتبار إن الأعمدة الداخلية تتحمل قصاً متساوياً، والأعمدة الخارجية تتحمل نصف ذلك، يتم تحديد قيمة (ρ) الواجب اعتمادها، باستخدام العلاقة التالية:

$$\rho = 2 - \frac{6.1}{r_{\max}\sqrt{A_B}} \le 1.25$$

$$r_{\max} = 0.7\left(\frac{V}{12} + \frac{V}{6}\right)/V = 0.175$$

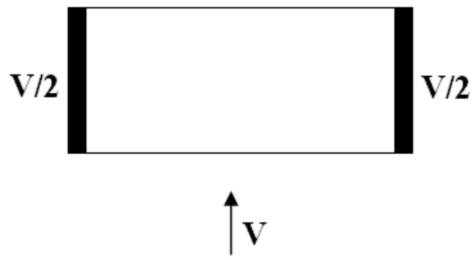
$$\Rightarrow \rho = 2 - \frac{6.1}{0.175\sqrt{14.7 \times 14.7}} = -0.37$$

$$\therefore \quad \rho = \rho_{\min} = 1$$

ثانياً - حالة جدران قص:

لدينا مبنى متعدد الطوابق، واقع في المنطقة الزلزالية (3)، جملته الإنشائية المقاومة للزلازل بالاتجاه العرضي هي جملة جدران قص.

طول الجدار الواحد: $(L_W = 6m)$ والسماكة ثابتة للجدارين.



نحدد قيمة عامل الوثوقية ودرجة عدم التقرير (ρ) الواجب اعتمادها عند تحديد قوة القص القاعدية بالاتجاه العرضي كما يلي:

- المبنى مسقطه الأفقي $(A\times B=6\times 12m)$:

$$\rho=2-\frac{6.1}{r_{\max}\sqrt{A_B}}\le 1.5$$

$$r_{\max}=\left(\frac{V}{2}\right)\times\left(\frac{3}{L_W}\right)/V=\left(\frac{V}{2}\right)\times\left(\frac{3}{6}\right)/V=0.25$$

$$\Rightarrow \rho=2-\frac{6.1}{0.25\sqrt{6\times 12}}=-0.88$$

$$\therefore\quad \rho=\rho_{\min}=1$$

- المبنى مسقطه الأفقي $(A\times B=20\times 40m)$:

$$\rho=2-\frac{6.1}{r_{\max}\sqrt{A_B}}\le 1.5$$

$$r_{\max}=\left(\frac{V}{2}\right)\times\left(\frac{3}{L_W}\right)/V=\left(\frac{V}{2}\right)\times\left(\frac{3}{6}\right)/V=0.25$$

$$\Rightarrow \rho=2-\frac{6.1}{0.25\sqrt{20\times 40}}=1.14$$

الإزاحة الطابقية

التطبيق /9/ :

عند حساب الانتقالات يجب أخذ النقاط التالية بالحسبان:

- يؤخذ عامل الوثوقية وعدم التقرير مساوياً الواحد.
- يهمل الحد الأدنى المفروض على القص القاعدي.
- يستعمل الدور الناتج عن تحليل المنشأ حتى لو تجاوز السقف المفروض سابقاً، وذلك بإهمال النسب (30- 40 %) المحددة.

يطلب حساب قيم الإزاحات الطابقية: الأعظمي اللامرن والتصميمي المرن، للمبنى الذي تم تحديد قيمة عامل الوثوقية ودرجة عدم التقرير في الفقرة السابقة " حالة المبنى الحاوي على إطارات مقاومة للعزوم".

الحل :

يتم حساب الانزياح الطابقي الأعظمي اللامرن (Δ_m) وفق الكود السوري كما يلي:

$$T < 0.7\sec \Rightarrow \Delta_{\max} = 0.025h$$
$$T \geq 0.7\sec \Rightarrow \Delta_{\max} = 0.020h$$
$$T = 0.78\sec \Rightarrow \Delta_{\max} = 0.020 \times 470 = 9.4\,cm$$

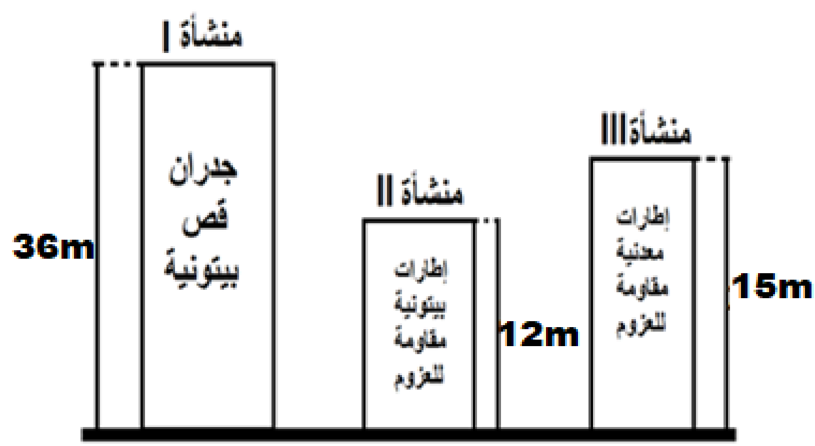
بالتالي نحسب الانزياح الطابقي التصميمي المرن (Δ_S) من العلاقة:

$$\Delta_{\max} = 0.7R\Delta_S \Rightarrow \Delta_S = \frac{9.4}{0.7 \times 8} \approx 1.68\,cm$$

التطبيق /10/ :

أولاً: لدينا المنشآت الثلاثة المبنة جانباً، واقعة في منطقة زلزالية ما، و مشادة على تربة تأسيس بمقطع واحد. و المطلوب المنشأة الأكثر احتمالية لحدوث ظاهرة الطنين مع زلزال ما، قيمة الدور المسيطر للزلزال تساوي $(T_s = 0.72\sec)$.

ثانياً : باعتبار أن المنشأة المعدنية III قائمة، و نريد إنشاء المنشأة I بجوارها، يطلب تحديد التباعد الأصغري بين الكتلتين بحيث يمكن تجنب ظاهرة الطرق بينهما (اشتراطات الكود السوري) . (الارتفاع الطابقي واحد و توزع الكتل منتظم لكل مبنى) .



الحل :

أولاً : يحصل الطنين عندما يتوافق دور المنشأة مع الدور المسيطر للزلزال. و يمكن تحديد قيمة الدور الأساسي كتابع للارتفاع و نوع الجملة الإنشائية وفقاً للعلاقة التالية :

$$T = C_t (h_n)^{3/4}$$

المنشأة (I) : جملة جدران قص، حيث : $C_t = 0.0488$ بالتالي :

$$T = C_t (h_n)^{3/4} = 0.0488(36)^{3/4} = 0.72\sec$$

المنشأة (II) : جملة إطارات بيتونية مقاومة للعزوم، حيث : $C_t = 0.0731$ بالتالي :

$$T = C_t (h_n)^{3/4} = 0.0731(12)^{3/4} = 0.47\sec$$

المنشأة (III) : جملة إطارات معدنية مقاومة للعزوم، حيث : $C_t = 0.0853$ بالتالي :

$$T = C_t (h_n)^{3/4} = 0.0853(15)^{3/4} = 0.65\sec$$

نلاحظ أن المنشأة (I) (جملة جدران قص) لها دور مماثل لدور الزلزال المسيطر و بالتالي يمكن القول بأن حدوث ظاهرة الطنين وارد لهذه المنشأة $(T_s = T_1 = 0.72\sec)$.

ثانياً : تحدد القيمة العظمى للانزياح الجانبي بإحدى العلاقتين التاليتين :

$$T < 0.7\sec \Rightarrow \Delta_{\max} = 0.025h$$
$$T \geq 0.7\sec \Rightarrow \Delta_{\max} = 0.020h$$

حيث : h ارتفاع الطابق

يجب أن تتباعد الكتل المجاورة و الواقعة ضمن ملكية واحدة بالمسافة Δ_{MT} كحد أدنى و بحيث لا تقل عن 3 سم حيث أن :

$$\Delta_{MT} = \sqrt{(\Delta_{M1})^2 + (\Delta_{M2})^2}$$

Δ_{M1} ، Δ_{M2} هي انتقالات البنائين المتجاورين (أو قسمي بناء واحد بينهما فاصل زلزالي) و عندما تكون المنشأة محاذية لخط ملكية غير مشترك مع الطريق العام، يجب تنفيذ هذه المنشأة أيضاً عن خط الملكية على الأقل بالمقدار Δ_{MT} لهذه المنشأة.

و بالتالي :

دراسة حالة المبنى القائم رقم 1 (المنشأة III) جملة إطارات معدنية مقاومة للعزوم

$$T_1 = 0.65\sec < 0.7\sec \Rightarrow \Delta_{1\max} = 0.025 \times 1500 = 37.5cm$$

دراسة حالة المبنى الجديد رقم 2 (المنشأة I) جملة جدران قص

$$T_2 = 0.72\sec > 0.7\sec \Rightarrow \Delta_{1\max} = 0.020 \times 3600 = 72cm$$

و في حالتنا هذه يتم التصادم بين الكتلتين عند المنسوب $h = 15m$ و بالتالي تكون الانتقالات كما يلي :

$$\Delta_{M1} = \Delta_{1\max} = 37.5cm$$

$$\Delta_{M1} = 72 \times \frac{15}{36} = 30cm$$

$$\Delta_{MT} = \sqrt{(\Delta_{M1})^2 + (\Delta_{M2})^2} = \sqrt{(37.5)^2 + (30)^2} = 48cm$$

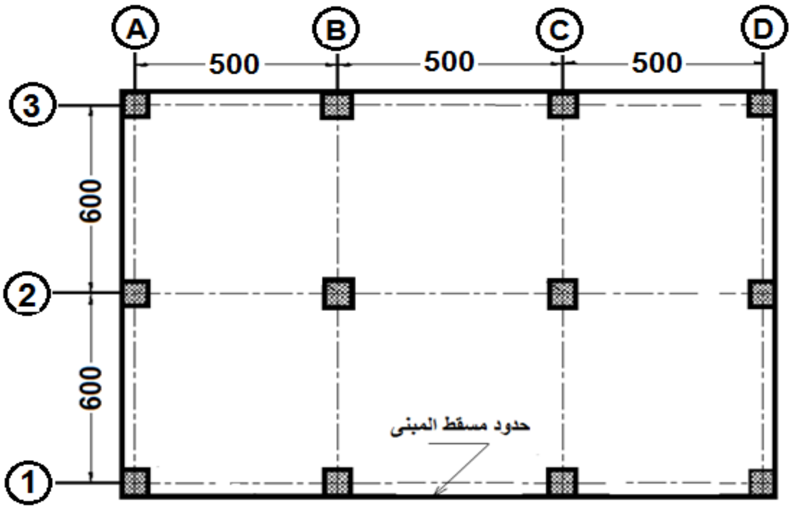
$$USE \rightarrow \Delta_{MT} = 50cm$$

التطبيق /11/ : حساب الإزاحة وعامل الوثوقية ودرجة عدم التقرير:

مبنى مؤلف من أربعة طوابق متكررة، ارتفاع الطابق الواحد $(h = 3.75m)$، (الشكل المرفق)، جملته الإنشائية عبارة عن مجموعة من الإطارات البيتونية المسلحة المقاومة للعزوم بالاتجاهين، والأعمدة موثوقة جيداً عند القاعدة، ومقاطعها ثابتة على كامل الارتفاع $a \times a = 60 \times 60cm$ ، بلاطات الأسقف من البيتون المسلح (صلاباتها كبيرة). يقع هذا المبنى في المنطقة الزلزالية الثالثة، ومطلوب استمرار دوره الوظيفي عند حدوث الزلزال، والمطلوب:

1- تحديد قيمة عامل الوثوقية و درجة عدم التقرير (ρ) الواجب اعتماده عند تحديد قوة القص القاعدية الناجمة عن الزلازل .

2- حساب قيم الانزياحات الطابقية لهذا المبنى: الأعظمي اللامرن والتصميمي المرن إذا علمت أن $T = 0.7\sec$.



الحل :

الطلب الأول :

باعتبار إن الأعمدة الداخلية تتحمل قصاً متساوياً، والأعمدة الخارجية تتحمل نصف ذلك، يتم تحديد قيمة (ρ) الواجب اعتمادها، باستخدام العلاقة التالية:

$$\rho = 2 - \frac{6.1}{r_{\max}\sqrt{A_B}} \le 1.25$$

تحديد قيمة (ρ) في الاتجاه الأفقي :

حصة الإطار الواحد $x + 2x + 2x + x = v/3 \rightarrow x = v/18 \rightarrow 2x = v/9$

$$r_{\max} = 0.7\left(\frac{V}{9} + \frac{V}{9}\right)/V = 0.156$$

$$\Rightarrow \rho = 2 - \frac{6.1}{0.156\sqrt{12.6 \times 15.6}} = -0.79$$

$$\therefore \quad \rho = \rho_{\min} = 1$$

تحديد قيمة (ρ) في الاتجاه الآخر (الشاقولي) :

حصة الإطار الواحد $x+2x+x=v/4 \rightarrow x=v/16 \rightarrow 2x=v/8$

$$r_{\max}=0.7\left(\frac{V}{16}+\frac{V}{8}\right)/V=0.131$$

$$\Rightarrow \rho=2-\frac{6.1}{0.131\sqrt{12.6\times 15.6}}=-1.32$$

$$\therefore \quad \rho=\rho_{\min}=1$$

الطلب الثاني :

حساب قيم الانزياحات الطابقية لهذا المبنى: الأعظمي اللامرن والتصميمي المرن

- يتم حساب الانزياح الطابقي الأعظمي اللامرن (Δ_m) وفق الكود السوري كما يلي:

$$T<0.7\sec \Rightarrow \Delta_{\max}=0.025h$$
$$T\geq 0.7\sec \Rightarrow \Delta_{\max}=0.020h$$
$$T=0.7\sec \Rightarrow \Delta_{\max}=0.020\times 375=7.5cm$$

بالتالي نحسب الانزياح الطابقي التصميمي المرن (Δ_S) من العلاقة:

$$\Delta_{\max}=0.7R\Delta_S \Rightarrow \Delta_S=\frac{7.5}{0.7\times 8}=1.34cm$$

التطبيق /12/ :

دراسة وتصميم جدار قص وأساسه لمقاومة الزلازل

لدينا مبنى إداري من البيتون المسلح (الشكل المرفق)، واقع في المنطقة الزلزالية $(2C)$، بالتالي تعتمد $\rho = 1$، والمبنى مهم بحيث يطلب استمرار دوره الوظيفي عند حدوث الزلزال. تربة التأسيس عبارة عن تربة صخرية ، نموذج S_B، قدرة تحملها $\overline{\sigma}_{Sall} = 3.5\ kg/cm^2$. هذا المبنى مؤلف من خمسة طوابق متكررة، بارتفاع كلي مقداره $H = nh = 5\times3.75 = 18.75m$، هيكله الحامل عبارة عن جملة من الأعمدة وجدران القص الموثوقة جيداً عند مستوى الأرض (السطح العلوي للأساس يقع على عمق يساوي $0.5m$ من أرضية الطابق الأرضي). يفترض أن الأعمدة تأخذ حمولات شاقولية فقط (تصمم على الضغط البسيط مع الالتزام الكامل بترتيبات التسليح في المناطق الحرجة الواردة في الكود السوري وملحقه الثاني)، بالتالي تعمل جدران القص على مقاومة الأفعال الأفقية الناجمة عن الزلازل، بشكل كامل.

الأعمدة والجدران تملك أبعاداً ثابتة على كامل ارتفاع المبنى:

- أبعاد مقطع الأعمدة (نموذج واحد): $C: a\times a = 70\times70\,cm$
- أبعاد مقطع الجدران:
  - الجدار نموذج : $W1\&W3: t\times L = 20\times700cm$
  - الجدار نموذج : $W2: t\times L = 20\times1400cm$
  - الجدار نموذج : $W4: t\times L = 20\times1200cm$
  - الجدار نموذج : $W5: t\times L = 25\times1200cm$

بلاطات الأسقف من البيتون المسلح، صلابتها كبيرة ولا تتشوه في مستواها الأفقي.

وكافة الإطارات العرضانية متماثلة.

- الحمولات الاستثمارية الدائمة على المتر المربع من البلاطة (وزن ذاتي للبلاطة، قواطع ، جدران بلوك...):
  $G = DL = 10\,kN/m^2$
- الحمولات الاستثمارية الإضافية على المتر المربع من البلاطة : $P1 = LL = 4\,kN/m^2$

خواص المواد: $f_y = 400MPa\ ;\ f_c' = 20MPa$

الوزن الحجمي للبيتون المسلح: $\gamma_c = 25\,kN/m^3$

الوزن الحجمي لتربة الردم فوق الأساس: $\gamma_s = 19\,kN/m^3$

ملاحظة هامة: في هذا المثال التوضيحي، لم يتم مراعاة اشتراط الكود الذي ينص على وجوب ألاّ يزيد التباعد بين جدران القص المتجاورة في الاتجاه الواحد على $15m$ (سوف نستدرك هذا الأمر عند تعديل الجملة الإنشائية).

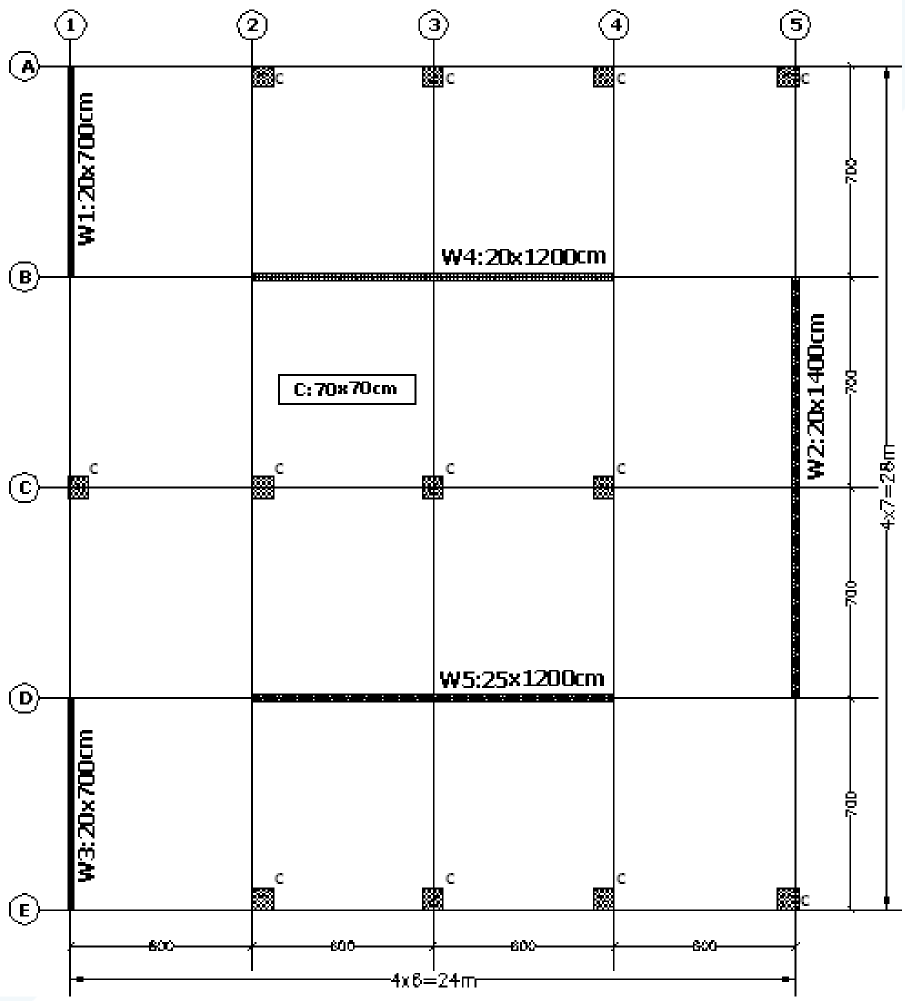
والمطلوب :

1- حســـاب قوة القص القاعدي للمبنى وفقاً للطريقة الســـتاتيكية الثانية (إهمال مســـاهمة الأعمدة)، وذلك بالاتجاه الموازي للجدار $W3$ (شمال - جنوب).

2- حســـاب الحمولات الأفقية المؤثرة على جدار القص $W3$، والناجمة عن قوة القص القاعدي المحســـوبة في الطلب الأول (حصة الجدار).

3- حســـاب القوى والعزوم وفق التراكبات المنصـــوص عنها بالكود الســـوري، وتصـــميم هذا الجدار $W3$ عند مســـتوى القاعدة (الطابق الأرضي).

4- تصميم أساس هذا الجدار.



الحل:

أولاً – حساب قوة القص القاعدي بالاتجاه المطلوب وتوزيعها على كامل الارتفاع:

$$V_{\min} = 0.11\, C_a\; I\, W \le V = \frac{C_v\; I}{R\, T} W \le V_{\max} = \frac{2.5\, C_a\; I}{R} W$$

$W = \sum_{i=1}^{5} w_i$: الوزن الكلي المسبب للفعل الزلزالي

w_i وزن الطابق المسبب لفعل زلزالي.

- نحسب وزن جدران القص والأعمدة لطابق واحد بارتفاع يساوي $(2\times(h/2)=3.75m)$:

$$25\times3.75\times[2(0.2\times7)+0.2\times14+0.2\times12+0.25\times12+12\times0.7\times0.7]$$
$$=1583kN$$

- ونحسب الوزن الناجم عن الحمولات الاستثمارية الدائمة:

$$28\times24.2(G)=28\times24.2\times10=6776kN$$

$$w_i=1583+6776=8359kN$$

بالتالي: $W=5\times8359=41795kN$

بما أن البناء واقع في المنطقة $(2C\Rightarrow Z=0.25)$ ومقطع التربة من النموذج S_B، يكون:

$$C_v=0.25 \quad , \quad C_a=0.25$$

الجملة جدران قص $R=4.5$ ، عامل أهمية المنشأ $I=1.25$

$$T=C_t(h_n)^{3/4}=0.0488(18.75)^{3/4}=0.44\sec$$

وبغياب التحليل الديناميكي الدقيق، فإننا سنعتمد القص القاعدي باعتبار قيمة الدور المحسوب بالطريقة التجريبية.

$$V=\frac{C_v\ I}{R\ T}W=\frac{0.25\times1.25}{4.5\times0.44}\times41795=6596kN$$

عامل القص القاعدي: $\alpha=\frac{V}{W}=\frac{6596}{41795}\cong16\%$

$$V_{\max}=\frac{2.5\,C_a\ I}{R}W=\frac{2.5\times0.25\times1.25}{4.5}\times41795=7256kN$$

$$V_{\min}=0.11\,C_a\ I\ W=0.11\times0.25\times1.25\times41795=1437kN$$

$$V_{\min}<V=6596kN<V_{\max}$$

يوزع القص القاعدي بالاتجاه المدروس على ارتفاع المبنى كقوة مركزه عند كل منسوب (F_i) إضافة إلى قوة مركزه (F_t) في الأعلى، علماً أن: $\rho=1 \Leftrightarrow 2C$.

$$V=F_t+\sum_{i=1}^{n}F_i$$

$$T=0.44\sec\le0.7\sec\Rightarrow F_t=0$$

بالتالي، يتم التوزيع على كامل الارتفاع وفقا للعلاقة التالية:

$$F_x = (V - F_t)\frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^{n} w_i h_i} = (6596 - 0)\frac{w_x h_x}{\sum_{i=1}^{5} w_i h_i} = 6596\frac{w_x (nh)}{w_x (h)\sum_{i=1}^{5} i}$$

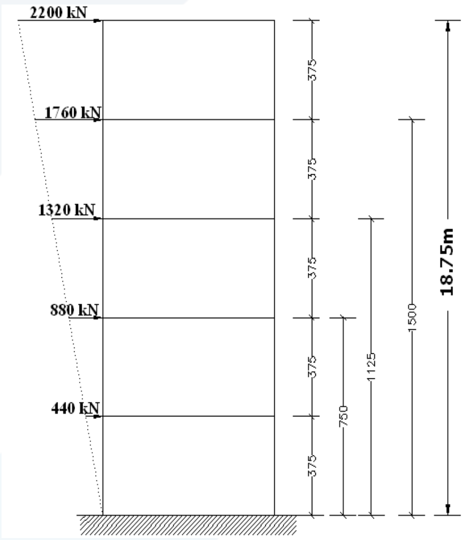
$$= 6596\frac{n}{\sum_{i=1}^{5} i} = 6596 \times \frac{n}{(1+2+3+4+5)} = 439.73n$$

$$\Rightarrow F_1 = 439.73 \times 1 = 439.73kN$$

$$F_2 = 879.46kN,\ F_3 = 1319.19kN,\ F_4 = 1758.92kN,\ F_5 = 2198.65kN,$$

$$\Rightarrow V = \sum_{i=1}^{5} F_i \approx 6596kN\ O.K.$$

وسوف نعتمد التوزيع التالي :



ثانياً – تحديد حصة الجدار $W3$ من القص القاعدي وتوزيعها على كامل الارتفاع:

- حساب الصلابات الجانبية للجدران:

$$k = \frac{V}{\Delta} = \frac{3EI}{h^3\left[1 + 0.6(1+\nu)\left(\frac{L}{h}\right)^2\right]}$$

حيث: E : عامل مرونة البيتون ، $I = \frac{t\,L^3}{12}$: عزم عطالة المقطع بالاتجاه المدروس.

L : طول الجدار ، h : ارتفاع الطابق، t : سماكة الجدار ، ν : عامل بواسون.

- صلابة الجدران $W1\&W3$:

$$L = 7\,m\,,\ h = 3.75m\,,\ t = 20cm\,,\ \ \upsilon = 0.3\,,\ I = 5.7167m^4$$

$$k_{1\&3}=k=\frac{3EI}{h^3\left[1+0.6(1+0.3)\left(\frac{7}{3.75}\right)^2\right]}=4.613\left[\frac{E}{h^3}\right]$$

- صلابة الجدار $W2$:

$$L=14m\,,\,h=3.75m\,,\,t=20cm\,,\;\upsilon=0.3\,,\,I=45.7333m^4$$

$$k_2=11.56\left[\frac{E}{h^3}\right]$$

- صلابة الجدار $W4$:

$$L=12m\,,\,h=3.75m\,,\,t=20cm\,,\;\upsilon=0.3\,,\,I=28.8m^4$$

$$k_4=9.61\left[\frac{E}{h^3}\right]$$

- صلابة الجدار $W5$:

$$L=12m\,,\,h=3.75m\,,\,t=25cm\,,\;\upsilon=0.3\,,\,I=36m^4$$

$$k_5=12.017\left[\frac{E}{h^3}\right]$$

بالتالي، يمكن كتابة الصلابات بالنسبة لصلابة الجدار الأول، لتصبح كما يلي:

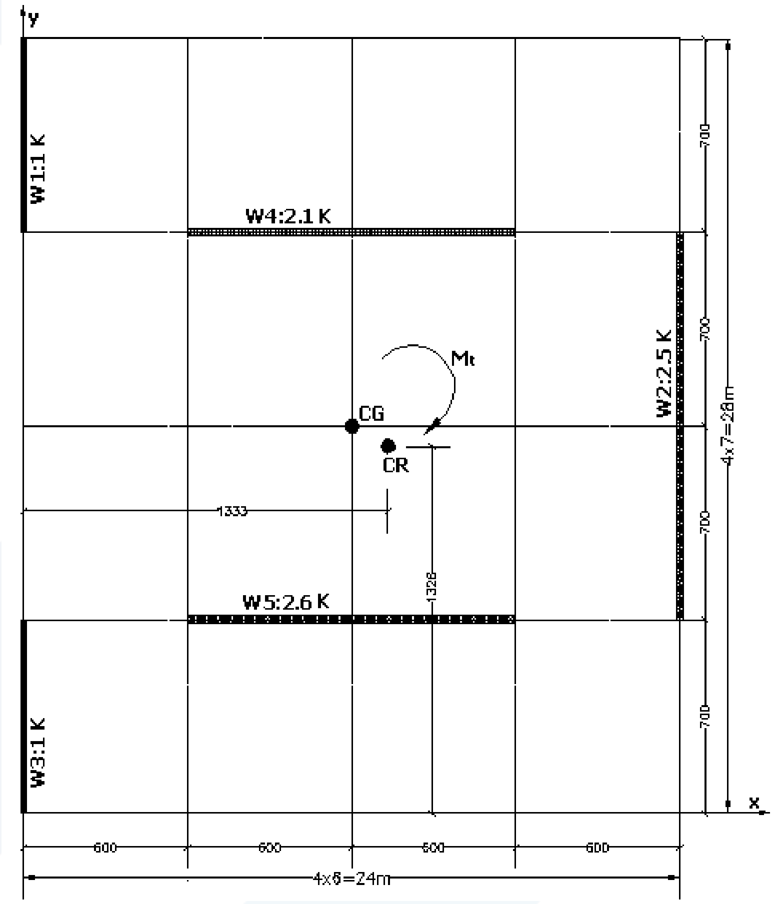
$$k_1=k_3=k\,,\,k_2=2.5k\,,\,k_4=2.1k\,,\,k_5=2.6k$$

- تحديد مركز صلابة الطابق (إحداثيات هذا المركز تعتبر ثابتة للطوابق كافة):

لتحديد هذا المركز، نعتمد مركز إحداثيات عام، كما هو مبين في الشكل التالي (الزاوية اليسارية السفلية)، وهذا الشكل يوضح أيضاً صلابات الجدران.

$$x_{CR}=\frac{\sum_{j=1}^{m}x_jK_{yj}}{\sum_{j=1}^{m}K_{yj}}=\frac{0\times1+24\times2.5+0\times1+0+0}{1+2.5+1}=13.33m$$

$$y_{CR}=\frac{\sum_{j=1}^{m}y_jK_{xj}}{\sum_{j=1}^{m}K_{xj}}=\frac{7\times2.6+21\times2.1}{2.6+2.1}=13.26m$$



وتكون اللامركزية:

$$e_x = x_{CR} - x_{CG} = 13.33 - 24/2 = 1.33m$$
$$e_y = y_{CR} - y_{CG} = 13.26 - 28/2 = -0.74m$$

بالتالي، يمكن تحديد عزم الفتل الناجم عن القوة الزلزالية بالاتجاه y ، بعد اعتماد لامركزية طارئة مقدارها 0.05 من بعد المسقط في الاتجاه x (حتى لو كانت المنشأة متناظرة).

$$M_t = V_y \bar{e}_x - V_x \bar{e}_y$$
$$V_x = 0$$
$$\Rightarrow M_t = V_y \bar{e}_x = F_{yi} \bar{e}_x$$
$$\bar{e}_x = e_x + 0.05 \times L_x = 1.33 + 0.05 \times 24 = 2.53m$$
$$\bar{e}_y = e_y + 0.05 \times L_y = -0.74 - 0.05 \times 28 = -2.14m$$

ملاحظة: نعتمد الإشارة الموجبة أو السالبة للامركزية الطارئة بحيث تعطي أكبر عزم فتل.

بالتالي، يكون الفتل المؤثر في كل طابق: $M_{ti} = V_y \bar{e}_x = 2.53 V_y = 2.53 F_{yi}$

- حصة الجدار من القص القاعدي:

تحسب حصة الجدار المدروس $W3$ ، من القص القاعدي عند كل طابق بالعلاقات التالية:

- بالاتجاه x :

$$F_{xj}=\frac{K_{xj}}{\sum K_{xj}}V_x+\frac{K_{xj}\,\bar{y}_j}{\sum\left(K_{yj}\,\bar{x}_j^{\,2}+K_{xj}\,\bar{y}_j^{\,2}\right)}M_t$$

$$V_x=0 \quad , \quad K_{xW3}=0$$

$$\Rightarrow F_{xW3}=0$$

- بالاتجاه y :

$$F_{yj}=\frac{K_{yj}}{\sum K_{yj}}V_y+\frac{K_{yj}\,\bar{x}_j}{\sum\left(K_{yj}\,\bar{x}_j^{\,2}+K_{xj}\,\bar{y}_j^{\,2}\right)}M_t$$

$\sum\left(K_{yj}\,\bar{x}_j^{\,2}+K_{xj}\,\bar{y}_j^{\,2}\right)$: عزم الصلابة القطبية حول مركز الصلابة.

$$\sum\left(K_{yj}\,\bar{x}_j^{\,2}+K_{xj}\,\bar{y}_j^{\,2}\right)=1\times 13.3\bar{3}^2+2.5\times 10.6\bar{7}^2+1\times 13.3\bar{3}^2+2.1\times 7.7\bar{4}^2$$
$$+2.6\times 6.2\bar{6}^2=868kN.m$$

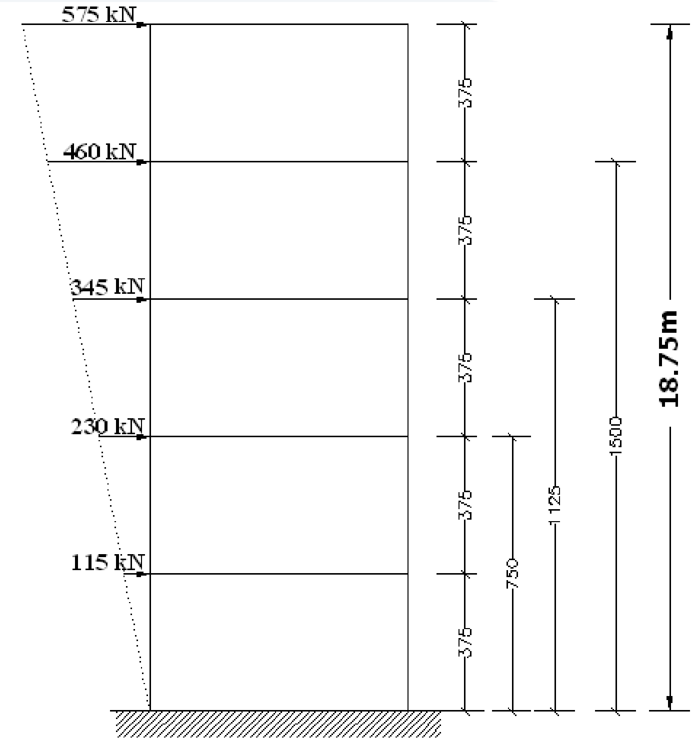
بالتالي، تحدد قيمة F_{yW3} في كل طابق بالعلاقة:

$$F_{yW3}=\frac{1}{1+2.5+1}F_{yi}+\frac{1\times 13.33}{868}M_{ti}=\frac{F_{yi}}{4.5}+\frac{M_{ti}}{65.11}$$

وينظم جدول يحوي كلاً من القوى المؤثرة السابقة، وذلك على النحو التالي:

رقم الطابق	1	2	3	4	5
$F_{yi}=V_{yi}(kN)$	440	880	1320	1760	2200
$M_{ti}=2.53F_{yi}(kN.m)$	1113.2	2226.4	3339.6	4452.8	5566
$F_{yW3}(kN)$	115	230	345	460	575

ويبين الشكل التالي القوى الأفقية المؤثرة على الجدار عند الطوابق المختلفة.



ثالثاً - حساب القوى والعزوم – تصميم الجدار $W3 : t \times L : 20 \times 700cm$ عند القاعدة:

- تراكبات الأحمال وفق الكود السوري:

أ- حمولات استثمارية فقط، دون زلازل: COMB 1

$$COMB1 = 1.4G(DL) + 1,7P(LL)$$
$$N_u = 1.4N_G + 1,7N_P$$
$$N = N_G + N_P$$
$$N_G = n[10(A_{W3}) + 0.2 \times 7 \times 25 \times 3.75]$$
$$N_G = 5 \times [10(3 \times 10.5) \times 1.1 + 0.2 \times 7 \times 25 \times 3.75] = 2389kN$$
$$N_P = 5 \times 4 \times 3 \times 10.5 \times 1.1 = 693kN$$
$$N = 3082kN$$
$$N_u = 4522.7\,kN$$
$$N_u / N = 1.47$$
$$M_u = 0 \quad , \quad V_u = 0$$

ب- حمولات استثمارية و زلزالية: COMB 2

$$COMB\,2 = 1.1[1.2\,DL + 0.50\,LL + 0.5C_a\,I\,DL + E]$$
$$= 1.1[1.2\,DL + 0.50\,LL + 0.5 \times 0.25 \times 1.25\,DL + E]$$
$$= 1.1[1.356\,DL + 0.50\,LL + E]$$
$$= 1.4916\,DL + 0.55\,LL + 1.1E$$

$$N_u = 1.4916 \times 5 \times (10 \times 3 \times 10.5 + 0.2 \times 7 \times 25 \times 3.75)$$
$$+ 0.55 \times (5 \times 4 \times 3 \times 10.5) + 1.1 \times 0 = 3675\,kN$$

$$M_u = 1.4916 \times 0 + 0.55 \times 0 + 1.1\left(\sum F_x h_x\right)$$
$$= 1.1(575 \times 18.75 + 460 \times 15 + 345 \times 11.25 + 230 \times 7.5 + 115 \times 3.75)$$
$$= 26091\,kNm$$

$$V_u = 1.4916 \times 0 + 0.55 \times 0 + 1.1\left(\sum F_x\right)$$
$$= 1.1(575 + 460 + 345 + 230 + 115) = 1898\,kN$$

- حساب عامل تخفيض المقاومة (Ω) - (ضغط لامركزي):

$$0.9 \ge \Omega = 0.9 - 0.5\left(\frac{N_u}{N_c}\right) \ge 0.65$$
$$N_u = 3675\,kN$$
$$N_c = 0.85 f_c' A_c' = 0.85 \times 20 \times 200 \times 7000 = 23800\,kN$$
$$\Rightarrow \Omega = 0.9 - 0.5\left(\frac{3675}{23800}\right) = 0.823$$

- تصميم جدار القص عند منسوب القاعدة (الطابق الأرضي):

أ- حالة الحمولات الاستثمارية (التراكب الأول من دون زلازل: COMB 1)

$$N_u = 4522.7\,kN$$

نحسب قدرة تحمل الجدار N_{uR} ، باعتبار نسبة تسليح أصغرية تساوي $\mu'_{s\min} = 0.002$:

$$N_{uR} = 0.8\Omega[0.85 f_c' A_c' + f_y' A_s']$$
$$\Omega = 0.65 \quad , \quad A_s' = 0.002 \times 200 \times 7000 = 2800\,mm^2$$
$$= 0.8 \times 0.65[0.85 \times 20 \times 200 \times 7000 + 400 \times 2800] = 12958.4\,kN$$

ويحسب التسليح استناداً لقيم كل من N_{uR} و N_u .

$$N_u = 4522.7 \le \frac{12958.4}{2} = 6479.2\,kN$$

بالتالي يكون التسليح الشاقولي والأفقي وفق النسبة الدنيا، على أن نحقق الاشتراطات الخاصة بتباعد القضبان $(20cm)$ وأقطارها.

$$A_s = 0.002 \times 200 \times 1000 = 400\,mm^2$$

وفي هذه الحالة، يكون تسليح الجدار مكوناً من شبكتي تسليح (شاقولي من الداخل وأفقي من الخارج) عند وجهي الجدار، بمعدل:

التسليح الشاقولي: $2\times 5T10(12)mm/m$

التسليح الأفقي: $2\times 5T8(10)mm/m$

ويتم ربط التسليح الأفقي للشبكتين بشناكل تربيط، بقطر $\phi 6(or\ \phi 8)mm$.

ب- حالة الحمولات الاستثمارية والزلزالية (التراكب الثاني: COMB 2)

في هذه الحالة، يجب دراسة الجدار على القص لتحديد التسليح الأفقي، وكذلك دراسته على الضغط اللامركزي بهدف حساب التسليح الشاقولي.

<u>حساب التسليح الشاقولي:</u>

لدينا:

$$N_u = 3675kN$$
$$M_u = 26091kNm$$
$$V_u = 1898kN$$
$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{26091}{3675} \approx 7.1m > \frac{L}{2} = \frac{7}{2} = 3.5m$$

بالتالي تكون اللامركزية كبيرة والشد هو المسيطر، وسيركز التسليح في أعمدة مخفية عند أطراف مقطع الجدار، بأبعاد يحددها الكود $[A'_c = t\times 2t \to t\times 3t \to t\times 0.2L]$ ، على أن يتم التحقق مما يلي:

- نسبة تسليح العمود المخفي $1\% \le \mu'_s = \dfrac{A'_s}{A'_c} \le 2.5\%$
- عندما تكون الامركزية كبيرة (الحالة المدروسة)، يجب أن نحقق اشتراطات نسب التسليح الخاصة بالانعطاف البسيط:

$$\frac{0.9}{f_y} \le \mu_s = \frac{A_s}{bd} \le 0.5\mu_{sb} = 0.5\left[\frac{455}{630+f_y}\frac{f'_c}{f_y}\right]$$

وفي حالتنا هذه:

$$\frac{0.9}{400} \le \mu_s = \frac{A_s}{bd} \le 0.5\left[\frac{455}{630+400}\frac{20}{400}\right]$$
$$0.00225 \le \mu_s = \frac{A_s}{bd} \le 0.011$$

عندما تكون اللامركزية كبيرة، من المفضل تقوية أطراف مقطع الجدار بجناح عرضه $3t$ ، حيث نتمكن من احتواء التسليح بشكل مناسب بحيث تحقق نسبة التسليح الأعظمية، ويفيد هذا الأمر في زيادة زراع الرافعة بالتالي رفع العزم المقاوم.

وفي مثالنا هذا، سنتابع الحل مع عمود مخفي بأبعاد $\left[A'_c = t\times 0.2L = 20\times 140cm\right]$ عند كل طرف، وبحسب المقطع المعرض لضغط لامركزي مع اعتبار تسليح متناظر، حيث تبين أننا نحتاج لتسليح مقداره $A_s = A'_s = 22T20mm\left(6908mm^2\right)$، يصل إلى الحد الأعظمي المسموح به: $\mu'_s = \dfrac{A'_s}{A'_c} = \dfrac{69.08}{20\times 140} \approx 2.5\%$.

وفيما يخص التسليح الشاقولي في المنطقة الوسطية $\left(700-2\times 140=420cm\right)$، يسلح وفقاً للنسبة الدنيا، وليكن: $2\times 5T12mm/m$.

نؤكد هنا على ضرورة ربط التسليح الأفقي، الذي سنحسبه في الخطوة التالية، للشبكتين بشناكل تربيط بقطر $\phi 6(8)mm$، على كامل ارتفاع المنطقة الحرجة والتي تساوي ارتفاع الطابق الأرضي.

<u>حساب التسليح الأفقي:</u>

يتم حساب هذا التسليح استناداً للجهد القاطع، بحيث نحقق شرطي المقاومة والمطاوعة، ويتم تحقيق شرط المطاوعة من خلال تأمين تسليح قص قادر على مقاومة قدرة تحمل المقطع الحرج مصعداً بعامل مقداره (1.25)، وهذا الشرط مهم جداً حيث يمنع الانهيار الهش للمقطع الناجم عن القص.

أعطى التحليل قيمة قص حدية عند القاعدة، مقدارها $V_u = 1898kN$.

من جهة ثانية نحسب القص الحدي المحقق لشرط المطاوعة باعتبار أن الحمولة الزلزالية تتوزع بشكل مثلثي:

$$V_u\left(\frac{2}{3}H\right) = 1.25M_u \Rightarrow V_u = \frac{3\times 1.25}{2H}M_u$$

$$M_u = A_s f_y\left(d-\frac{y}{2}\right)$$

$$y = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c t} = \frac{6908\times 400}{0.85\times 20\times 200} = 812.7\,mm$$

$$d = 7000-\frac{1400}{2} = 6300mm$$

$$M_u = 6908\times 400\times\left(6300-\frac{812.7}{2}\right) = 16285kNm$$

$$V_u = \frac{3\times 1.25}{2\times 18.75}\times 16285 = 1629kN < 1898kN$$

$$\therefore V_u = 1898kN$$

من شرط الكود، نعتمد ارتفاعاً فعالاً مقداره: $Z \le 0.3 \Rightarrow d = 0.8d$

ونحدد اجهادات القص الحدية:

$$\tau_u = \frac{V_u}{\Omega b(0.8d)} = \frac{1898\times 10^3}{0.75\times 200\times 0.8\times 6300} = 2.51MPa$$

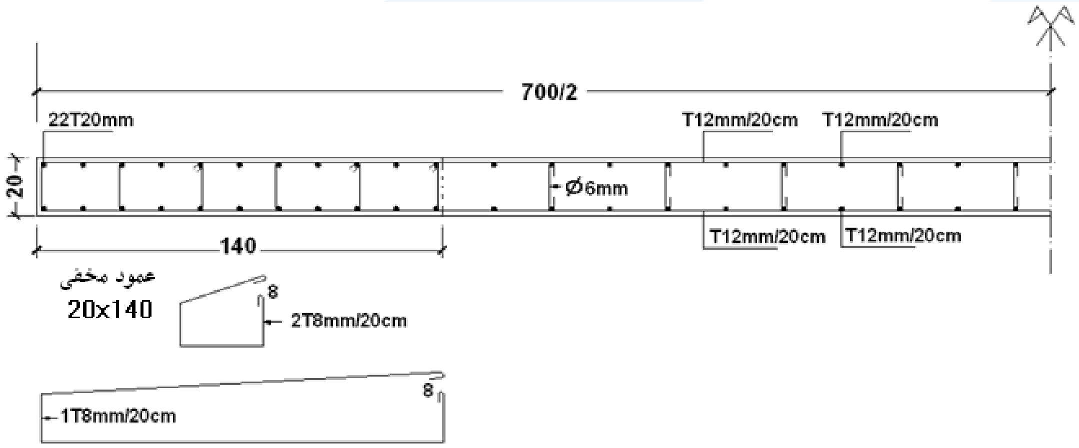
$$\tau_{u\max} = 0.65\sqrt{f'_c} = 0.65\sqrt{20} = 2.90MPa > 2.51MPa \quad O.K.$$

نحسب تسليح القص بإهمال مساهمة البيتون:

$$A_{st} = \frac{\tau_u}{f_y} b\, s = \frac{2.51}{400} \times 200 \times 200 = 251 mm^2$$

$$USE\ 2T14\left(308mm^2\right) \Rightarrow USE\ \ 2 \times 5T14mm/m$$

أخيراً، نرسم المقطع العرضي الذي يبين التسليح بأنواعه.



رابعاً – تصميم أساس الجدار $W3$:

بافتراض أن سماكة الأساس $h = 1.2m$ (على أن يتم التحقق من شرطي الثقب والصلابة لاحقاً)، وسماكة تربة الردم فوق سطح الأساس هي $0.5m$ ، يكون لدينا:

- القوى المؤثرة على الأساس (دون زلازل):

$$N_u = 4522.7\,kN + \Delta N_u$$
$$N = 3082 + \Delta N$$

- القوى المؤثرة على الأساس (استثمارية + زلازل):

$$V_u = 1898kN$$
$$N_u = 3675kN + \Delta N_u$$
$$M_u = 26091 + V_u y = 26091 + 1898 \times (1.2 + 0.5) = 29318kNm$$

- تحدد مساحة مسقط الأساس بالعلاقة التالية:

$$A \times B \geq \frac{N}{\sigma_{sn}}$$

حيث σ_{sn} : ضغط التربة الصافي، ويحسب كما يلي:

$$\sigma_{sn} = \overline{\sigma}_s - (1.2\times\gamma_c + 0.5\times\gamma_s) = 350 - (1.2\times 25 + 0.5\times 19) = 310.5\,kN/m^2$$

$$\therefore A\times B \geq \frac{3082}{310.5} = 9.93\,m^2$$

ونزيد المساحة لنأخذ بالحسبان الزلازل، لنحصل على أبعاد الأساس كما يلي:

$$A\times B\times h = 11\times 2.2\times 1.2\,m$$

ويكون شرط الصلابة: البروز لا يزيد ضعف سماكة الأساس:

$$\frac{B-t}{4} = \frac{2.2-0.2}{4} = 0.5\,m \leq d = 1.2 - 0.07 = 1.13\,m\ O.K.$$

$$\frac{11-7}{4} = 1\,m < 1.13\,m\ O.K.$$

نتحقق من ضغط التربة الحدي في حالة الحمولات الاستثمارية:

$$N_u = 4522.7\,kN + \Delta N_u$$
$$= 4522.7 + 1.4(11\times 2.2\times 1.2\times 25 + 11\times 2.2\times 0.5\times 19) = 5861\,kN$$

$$\sigma_{su} = \frac{N_u}{A\times B} = \frac{5861}{11\times 2.2} = 242.2\,kN/m^2$$
$$<< 1.6\overline{\sigma}_s = 1.6\times 350 = 560\,kN/m^2\ O.K.$$

ونتحقق من ضغط التربة الحدي في حالة الزلازل:

$$N_u = 3675\,kN + \Delta N_u$$
$$= 3675 + 1.4916(11\times 2.2\times 1.2\times 25 + 11\times 2.2\times 0.5\times 19) = 5100\,kN$$
$$M_u = 29318\,kNm$$

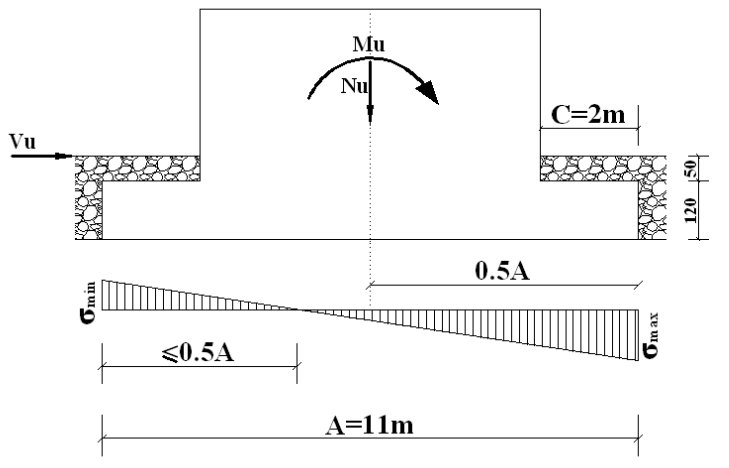
$$\sigma_u = \frac{N_u}{A\times B} \pm \frac{M_u}{I}y$$

$$A\times B = 11\times 2.2 = 24.2\,m^2\ ,\ y = \frac{A}{2} = \frac{11}{2} = 5.5\,m$$

$$I = \frac{B\,A^3}{12} = \frac{2.2\times 11^3}{12} = 244.02\,m^4$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{5100}{24.2} \pm \frac{29318}{244.02}\times 5.5 = 210.75 \pm 660.80$$

$$\therefore \sigma_{u\max} = 871\,kN/m^2 >> \overline{\sigma}_{su} = 2\overline{\sigma}_s = 2\times 350 = 700\,kN/m^2\ N.G.$$
$$\sigma_{u\min} = -450\,kN/m^2$$



الاجهادات أكبر من الحدية المسموحة، ونحتاج إلى تكبير أبعاد الأساس أو إعادة النظر في حل المسألة من الأساس، بحيث نعمل على اختيار جملة إنشائية مناسبة أو زيادة عدد الجدران مع التوزيع المناسب لها، بهدف تخفيض قوى القص والعزوم الناجمة عن الزلازل.

التطبيق /13/ :

المطلوب إعادة حل المسألة السابقة بعد إضافة جدارين $(W6\&W7)$ باتجاه y (شمال - جنوب)، كما هو مبين في الأشكال المرفقة، بمقطع أبعاده $t\times L=20\times1200cm$ ، والتي يمكن اعتبار صلابتها:

$$k_1=k_3=k\ ,\ k_2=2.5k\ ,\ k_4=k_6=k_7=2.1k\ ,\ k_5=2.6k$$

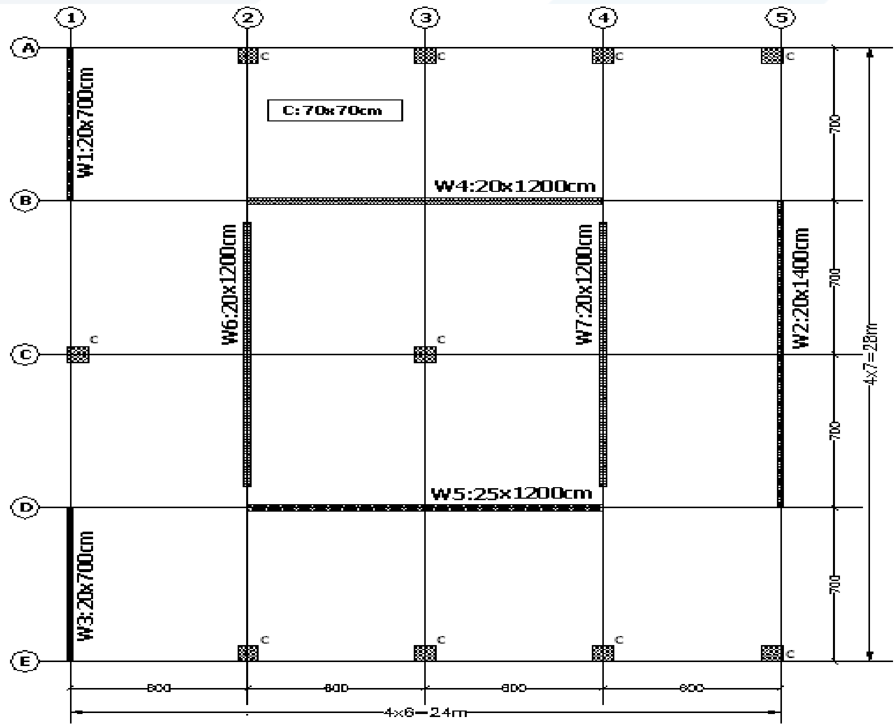
الحل:

أولاً – حساب قوة القص القاعدي بالاتجاه المطلوب وتوزيعها على كامل الارتفاع:

$$V_{\min}=0.11\,C_a\,I\,W\le V=\frac{C_v\,I}{R\,T}W\le V_{\max}=\frac{2.5\,C_a\,I}{R}W$$

الوزن الكلي المسبب للفعل الزلزالي: $W=\sum_{i=1}^{5}w_i=43583kN$

$$V=\frac{C_v\,I}{R\,T}W=\frac{0.25\times1.25}{4.5\times0.44}\times43583=6879kN$$



$$V_{\min}=1498kN<V=6879kN<V_{\max}=7566kN$$

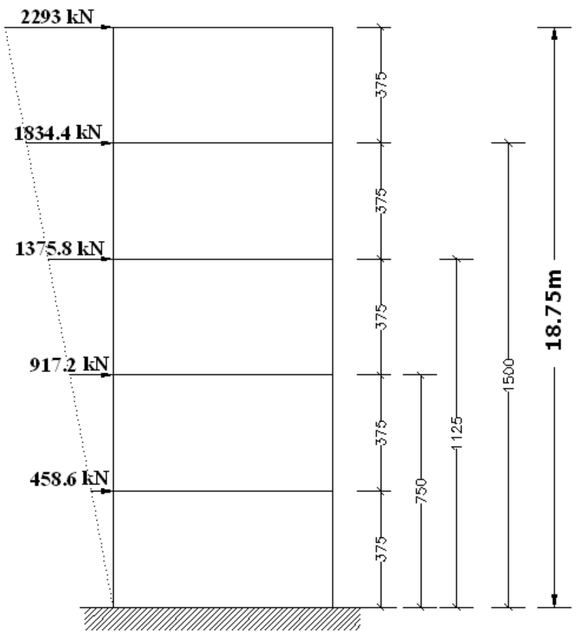
$$T=0.44\sec\le0.7\sec\Rightarrow F_t=0$$

$$F_x=(V-F_t)\frac{w_xh_x}{\sum_{i=1}^{n}w_ih_i}$$

وبعد الحساب، توزع قوة القص القاعدي كما يلي:

$$F_1 = 458.6kN, F_2 = 917.2kN, F_3 = 1375.8kN, F_4 = 1834.4kN$$

$$F_5 = 2293kN \Rightarrow V = \sum_{i=1}^{5} F_i \approx 6879 O.K.$$



ثانياً – تحديد حصة الجدار $W3$ من القص القاعدي وتوزيعها على كامل الارتفاع:

- تحديد مركز صلابة الطابق (إحداثيات هذا المركز تعتبر ثابتة للطوابق كافة):

لتحديد هذا المركز، نعتمد مركز إحداثيات عام، كما هو مبين في الشكل التالي (الزاوية اليسارية السفلية)، وهذا الشكل يوضح أيضاً صلابات الجدران.

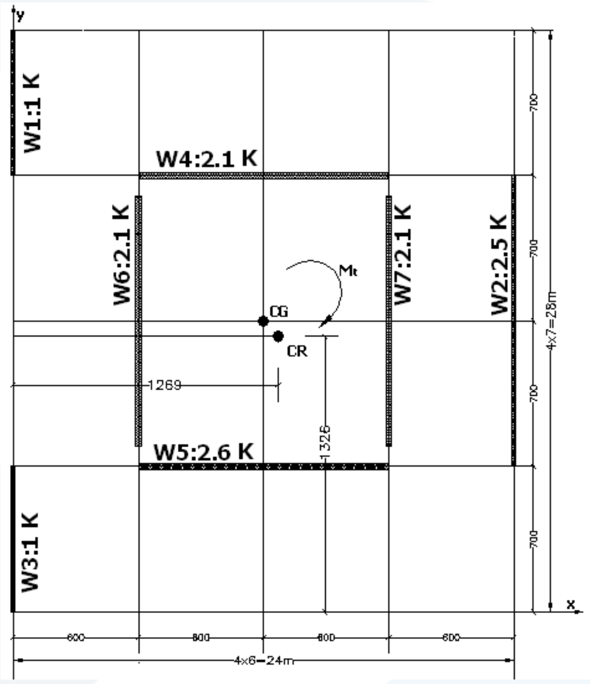
$$x_{CR} = \frac{\sum_{j=1}^{m} x_j K_{yj}}{\sum_{j=1}^{m} K_{yj}} = \frac{0\times1 + 24\times2.5 + 0\times1 + 6\times2.1 + 18\times2.1 + 0 + 0}{1 + 2.5 + 1 + 2.1 + 2.1} = 12.69m$$

$$y_{CR} = \frac{\sum_{j=1}^{m} y_j K_{xj}}{\sum_{j=1}^{m} K_{xj}} = \frac{7\times2.6 + 21\times2.1}{2.6 + 2.1} = 13.26m$$

وتكون اللامركزية:

$$e_x = x_{CR} - x_{CG} = 12.69 - 12 = 0.69m$$

$$e_y = y_{CR} - y_{CG} = 13.26 - 14 = -0.74m$$



بالتالي، يمكن تحديد عزم الفتل الناجم عن القوة الزلزالية بالاتجاه y ، بعد اعتماد لامركزية طارئة مقدارها 0.05 من بعد المسقط في الاتجاه x (حتى لو كانت المنشأة متناظرة).

$$M_t = V_y \bar{e}_x - V_x \bar{e}_y$$
$$V_x = 0$$
$$\Rightarrow M_t = V_y \bar{e}_x = F_{yi} \bar{e}_x$$
$$\bar{e}_x = e_x + 0.05 \times L_x = 0.69 + 0.05 \times 24 = 1.89m$$
$$\bar{e}_y = e_y + 0.05 \times L_y = -0.74 - 0.05 \times 28 = -2.14m$$

بالتالي، يكون الفتل المؤثر في كل طابق: $M_{ti} = V_y \bar{e}_x = 1.89 V_y = 1.89 F_{yi}$

- حصة الجدار من القص القاعدي:

تحسب حصة الجدار المدروس $W3$ ، من القص القاعدي عند كل طابق بالعلاقات التالية:

- بالاتجاه x : $V_x = 0 \quad , \quad K_{xW3} = 0 \Rightarrow F_{xW3} = 0$
- بالاتجاه y :

$$F_{yj} = \frac{K_{yj}}{\sum K_{yj}} V_y + \frac{K_{yj}\, \bar{x}_j}{\sum \left(K_{yj}\, \bar{x}_j^{\,2} + K_{xj}\, \bar{y}_j^{\,2} \right)} M_t$$

$\sum \left(K_{yj}\, \bar{x}_j^{\,2} + K_{xj}\, \bar{y}_j^{\,2} \right)$: عزم الصلابة القطبية حول مركز الصلابة.

$$\sum \left(K_{yj}\, \bar{x}_j^{\,2} + K_{xj}\, \bar{y}_j^{\,2} \right) = 1 \times 12.6\bar{9}^2 + 2.5 \times 11.3\bar{1}^2 + 1 \times 12.6\bar{9}^2 + 2.1 \times 6.6\bar{9}^2$$
$$+ 2.6 \times 6.2\bar{6}^2 + 2.1 \times 5.3\bar{1}^2 + 2.1 \times 7.7\bar{4}^2 = 1023 kN.m$$

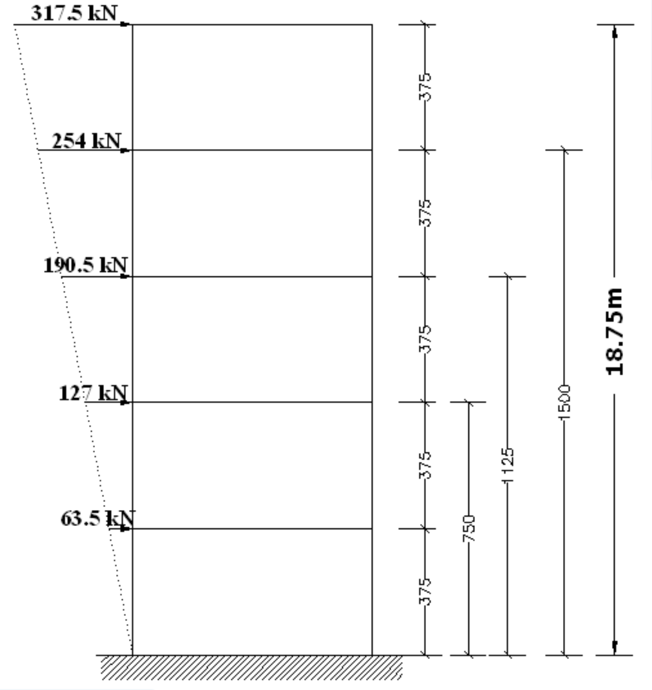
بالتالي، تحدد قيمة F_{yW3} في كل طابق بالعلاقة:

$$F_{yW3}=\frac{1}{1+2.5+1+2.2+2.1}F_{yi}+\frac{1\times12.69}{1023}M_{ti}=\frac{F_{yi}}{8.7}+\frac{M_{ti}}{80.61}$$

ويبين الجدول التالي القوى المؤثرة المحسوبة:

رقم الطابق	1	2	3	4	5
$F_{yi}=V_{yi}(kN)$	458.6	917.2	1375.8	1834.4	2293
$M_{ti}=1.89F_{yi}(kN.m)$	866.8	1733.6	2600.4	3467.2	4334
$F_{yW3}(kN)$	63.5	127	190.5	254	317.5

ويبين الشكل التالي القوى الأفقية المؤثرة على الجدار عند الطوابق المختلفة.



ثالثاً- حساب القوى والعزوم – تصميم الجدار $W3:t\times L:20\times700cm$ عند القاعدة:

- تراكيب الأحمال وفق الكود السوري:

أ- حمولات استثمارية فقط، دون زلازل: COMB 1

$N=3082kN$

$N_u=4522.7kN$

$N_u/N=1.47$

$M_u=0 \quad , \quad V_u=0$

ب- حمولات استثمارية و زلزالية: COMB 2

$$COMB2 = 1.4916DL + 0.55LL + 1.1E$$

$$N_u = 3675kN$$

$$M_u = 1.4916\times 0 + 0.55\times 0 + 1.1\left(\sum F_x h_x\right)$$
$$= 1.1(317.5\times 18.75 + 254\times 15 + 190.5\times 11.25 + 127\times 7.5 + 63.5\times 3.75)$$
$$= 14407kNm$$

$$V_u = 1.4916\times 0 + 0.55\times 0 + 1.1\left(\sum F_x\right)$$
$$= 1.1(317.5 + 254 + 190.5 + 127 + 63.5) = 1048kN$$

نلاحظ بأن العزم والقص انخفضا بمقدار (55%) عن الحالة السابقة.

- حساب عامل تخفيض المقاومة (Ω) - (ضغط لامركزي):

$$0.9 \geq \Omega = 0.823 \geq 0.65$$

- تصميم جدار القص عند منسوب القاعدة (الطابق الأرضي):

بالنسبة للتراكب الأول (COMB1)، يعالج كما ورد في التطبيق السابق، ونتابع التصميم وفقاً للتراكب الثاني المسيطر(COMB2) .

حساب التسليح الشاقولي:

لدينا:

$$N_u = 3675kN$$
$$M_u = 14407kNm$$
$$V_u = 1048kN$$
$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{14407}{3675} = 3.92m > \frac{L}{2} = \frac{7}{2} = 3.5m$$

اللامركزية كبيرة والشد هو المسيطر أيضاً.

ندرس المقطع على الضغط اللامركزي بعد اختيار عمود مخفي بأبعاد $\left[A_c' = 20\times 80cm\right]$ عند كل طرف، ومسلح بنسبة تحقق اشتراطات نسب التسليح التي ذكرناها سابقاً، وليكن $\left(A_s = A_s' = 10T20mm(3140mm^2\right)$.

$$\mu_s' = \frac{A_s'}{A_c'} = \frac{31.40}{20\times 80} = 1.96\% < 2.5\% \quad O.K.$$

وفي حالتنا هذه (اللامركزية كبيرة)، وباعتبار أن $d = 700 - 80/2 = 660cm$ ، يكون:

$$\frac{0.9}{f_y} \leq \mu_s = \frac{A_s}{bd} \leq 0.5\mu_{sb} = 0.5\left[\frac{455}{630 + f_y}\frac{f_c'}{f_y}\right]$$

$$\frac{0.9}{400} \leq \mu_s = \frac{A_s}{bd} = \frac{31.40}{20\times 660} = 0.0024 \leq 0.5\left[\frac{455}{630 + 400}\frac{20}{400}\right]$$

$$0.00225 \leq \mu_s = \frac{A_s}{bd} \leq 0.011 \quad O.K.$$

وفيما يخص التسليح الشاقولي في المنطقة الوسطية $(700-2\times80=540cm)$، يسلح وفقاً للنسبة الدنيا، وليكن: $2\times5T12mm/m$.

حساب التسليح الأفقي:

أعطى التحليل قيمة قص حدية عند القاعدة مقدارها $V_u=1048kN$.

من جهة ثانية نحسب القص الحدي المحقق لشرط المطاوعة باعتبار أن الحمولة الزلزالية تتوزع بشكل مثلثي:

$$V_u\left(\frac{2}{3}H\right)=1.25M_u \Rightarrow V_u=\frac{3\times1.25}{2H}M_u$$

$$M_u=A_s f_y\left(d-\frac{y}{2}\right)$$

$$y=\frac{A_s f_y}{0.85f_c't}=\frac{3140\times400}{0.85\times20\times200}=369mm$$

$$M_u=3140\times400\times\left(6600-\frac{369}{2}\right)=8058kNm$$

$$\Rightarrow V_u=\frac{3\times1.25}{2\times18.75}\times8058=806kN<1048kN$$

$$\therefore V_u=1048kN$$

نحدد اجهادات القص الحدية:

$$\tau_u=\frac{V_u}{\Omega b(0.8d)}=\frac{1048\times10^3}{0.75\times200\times0.8\times6600}=1.323MPa$$

$$\tau_{u\max}=0.65\sqrt{f_c'}=0.65\sqrt{20}=2.90MPa>1.323MPa \quad O.K.$$

نحسب تسليح القص بإهمال مساهمة البيتون:

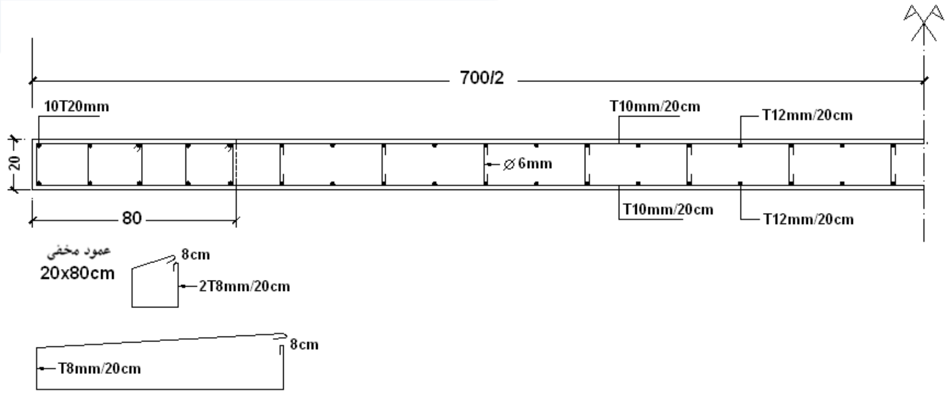
$$A_{st}=\frac{\tau_u}{f_y}bs=\frac{1.323}{400}\times200\times200=132mm^2$$

$$USE\ 2T10mm\left(A_s=157mm^2\right)$$

$$\therefore 2\times5T10mm/m$$

نشير إلى ضرورة المحافظة على هذا التسليح على كامل ارتفاع الطابق الأرضي كونه منطقة حرجة يتشكل فيها المفصل اللدن.

نرسم المقطع العرضي الذي يبين التسليح بأنواعه: تسليح الأعمدة المخفية (طولي وعرضي)، شبكتي التسليح (أفقي وشاقولي)، وشناكل التربيط.



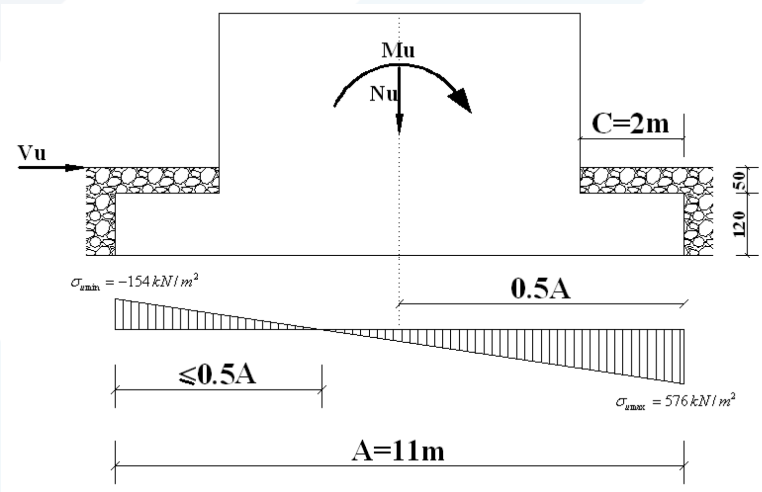
رابعاً – تصميم أساس الجدار $W3$:

استناداً لما هو وارد في التطبيق السابق، فإننا نختار الأبعاد التالية للأساس:

$$A \times B \times h = 11 \times 2.2 \times 1.2\,m$$

ونتحقق من ضغط التربة الحدي في حالة الزلازل، بعد تحديد القوى المؤثرة على الأساس:

$$V_u = 1048kN$$
$$N_u = 5100kN$$
$$M_u = 14407 + V_u y = 14407 + 1048 \times (1.2 + 0.5) = 16189kNm$$



$$\sigma_u = \frac{N_u}{A \times B} \pm \frac{M_u}{I} y$$
$$A \times B = 24.2\,m^2\ ,\ \ y = 5.5\,m\ ,\ I = 244.02\,m^4$$
$$\Rightarrow \sigma = \frac{5100}{24.2} \pm \frac{16189}{244.02} \times 5.5 = 210.75 \pm 364.89$$
$$\therefore \sigma_{u\max} = 576kN/m^2 < \bar{\sigma}_{su} = 2\bar{\sigma}_s = 2 \times 350 = 700kN/m^2\ O.K.$$
$$\sigma_{u\min} = -154kN/m^2$$

نحسب اللامركزية:

$$e=\frac{M_u}{N_u}=\frac{16189}{5100}=3.17m$$

ويحدد a ثلث طول قاعدة مثلث الضغط من العلاقة التالية:

$$a=\frac{A}{2}-e=\frac{11}{2}-3.17=2.33m$$

ويتحقق التوازن من العلاقة التالية:

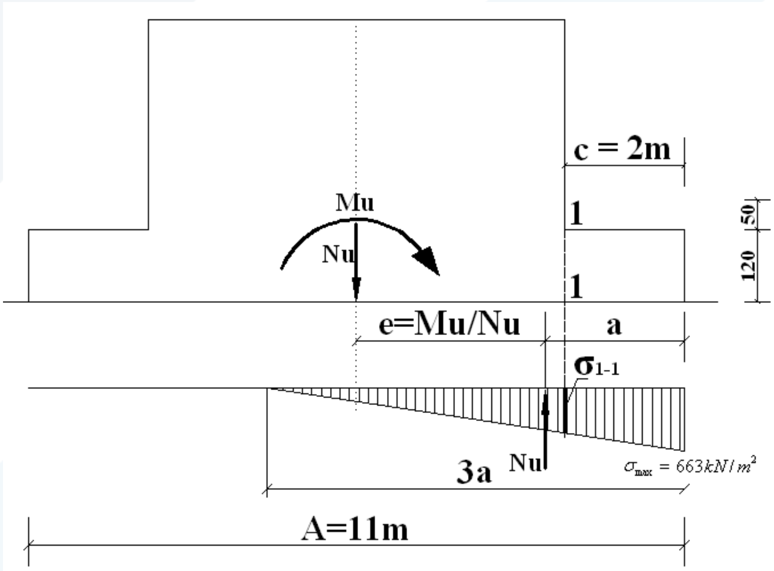
$$N_u=\frac{1}{2}\sigma_{\max}(3a)B$$

$$\Rightarrow \sigma_{\max}=\frac{2N_u}{3aB}=\frac{2\times 5100}{3\times 2.33\times 2.2}=663kN/m^2<700kN/m^2\ O.K.$$

يشترط الكود السوري على ألا يزيد طول المنطقة المعرضة لقوى نزع (منطقة الاجهادات الشادة) عن $0.5A$:

$$3a=3\times 2.33=6.99m>0.5\times 11=5.5m \quad O.K.$$

يقع المقطع الحرج للانعطاف عند وجه الجدار(sec 1-1)، وأما المقطع الحرج للقص فيقع على بعد مقداره $0.5d$ من هذا الوجه.



نحسب الاجهادات عند هذه المقاطع:

$$\frac{\sigma_{1-1}}{\sigma_{\max}}=\frac{3a-c}{3a}=\frac{6.99-2}{6.99}=0.714$$

$$\Rightarrow \sigma_{1-1}=0.714\sigma_{\max}=0714\times 663=473kN/m^2$$

الجهد القاطع الحدي عند المقطع الحرج:

$$V_{u1-1}=473\times 2+0.5(663-473)\times 2=947+190=1136kN/ml$$

العزم الحدي عند المقطع الحرج:

$$M_{u1-1}=946\times\frac{2}{2}+190\times\frac{2}{3}\times 2=1200kNm/ml$$

- تحقيق الثقب:

سوف نهمل رد فعل التربة المعاكس للقوة الناظمية (تبسيط كبير لصالح الأمان)، ونحدد اجهادات القص الناجمة عن الثقب بالعلاقة التالية:

$$\tau_u = \frac{N_u - 0}{0.75 b_0 \, d}$$

$$d = 1.2 - 0.1 = 1.1m \, , \, b_0 = 2(a + b + 2d) = 2(0.2 + 7 + 2\times 1.1) = 18.8m$$

$$\Rightarrow \tau_u = \frac{3675000}{0.75\times 18800\times 1100} = 0.237 MPa \le \tau_{up}$$

حيث τ_{up} : مقاومة البيتون للثقب.

$$\tau_{up} = 0.32\left(0.5 + \frac{a}{3b}\right)\sqrt{f_c'} = 0.32\times\left(0.5 + \frac{200}{3\times 7000}\right)\sqrt{f_c'} \approx 0.16\sqrt{f_c'}$$

$$\therefore \tau_u = 0.237 MPa \le \tau_{up} = 0.16\sqrt{20} = 0.72 MPa \quad O.K.$$

- تحقيق القص:

$$\tau_u = \frac{V_u}{0.75 b\, d} = \frac{1136000}{0.75\times 1000\times 1100} = 1.377 MPa \le \tau_{cu}$$

حيث τ_{cu} : مقاومة البيتون للقص.

$$\tau_{cu} = \left(0.16 + \frac{a}{3b}\right)\sqrt{f_c'} \le 0.31\sqrt{f_c'} \approx 0.16\sqrt{f_c'}$$

$$\tau_{cu} = \left(0.16 + \frac{200}{3\times 7000}\right)\sqrt{f_c'} \approx 0.16\sqrt{f_c'} = 0.16\sqrt{20} = 0.72 MPa$$

$$\therefore \tau_u = 1.377 MPa > \tau_{cu} = 0.72 MPa \quad N.G.$$

وقبل تغيير سماكة الأساس، نحسب القص عند المقطع الحرج المنصوص عنه في الكود، أي على بعد $(0.5d = 0.5\times 1.1 = 0.55m)$ من وجه الجدار:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{\max}} = \frac{3a - (2 - 0.55)}{3a} = \frac{6.99 - 1.45}{6.99} = 0.792$$

$$\Rightarrow \sigma = 0.792\sigma_{\max} = 0792\times 663 = 525 kN/m^2$$

$$V_{u(d/2)} = 525\times 1.45 + 0.5(663 - 525)\times 1.45 = 861.3 kN/ml$$

$$\tau_u = \frac{861300}{0.75\times 1000\times 1100} = 1.044 MPa > 0.72 MPa$$

بالتالي، نعمل على زيادة سماكة الأساس لتصبح: $h = 150cm \Rightarrow d = 140cm$

- حساب التسليح المقاوم للانعطاف:

$$M_u = 1200 kN.m/m.l$$

$$A_0=\frac{M_u}{\Omega 0.85 f'_c b d^2}=\frac{1200\times10^6}{0.9\times0.85\times20\times1000\times1400^2}=0.04$$
$$\Rightarrow \gamma=0.98$$
$$\therefore \quad A_s=\frac{M_u}{\Omega.\gamma.d.f_y}=\frac{1200\times10^6}{0.9\times0.98\times1400\times400}=2430mm^2$$
$$\mu_s=\frac{A_s}{b.d}=\frac{2430}{1000\times1400}=0.0017<\mu_{s\max}=0.011 \quad O.K.$$
$$\mu_s=0.0017>\mu_{s\min}=0.001 \quad O.K.$$
$$\Rightarrow USE \quad 8T20mm/ml$$

وفيما يخص التسليح السفلي بالاتجاه العرضي، يتم حسابه استناداً لقيمة العزم عند المقطع الحرج في هذا الاتجاه:

$$\sigma_{1-1}=473kN/m^2$$
$$M_{u1-1}=\frac{\sigma_{1-1}l^2}{2}=\frac{473\times1^2}{2}=236.5kNm/ml$$

بالتالي، يكون التسليح السفلي بالاتجاه العرضي:

$$A_s=\frac{236.5\times10^6}{0.9\times0.98\times1400\times400}=479mm^2$$
$$\mu_s=\frac{479}{1000\times1400}=0.0003<\mu_{s\min}=0.001 \quad N.G.$$
$$\therefore A_s=0.001\times1000\times1400=1400mm^2$$
$$\Rightarrow USE \quad 8T16mm/ml$$

وبالنسبة للتسليح العلوي، يوصي الكود باعتماد 50% من التسليح السفلي بالاتجاهين الطولي والعرضي:

- التسليح العلوي بالاتجاه الطولي :

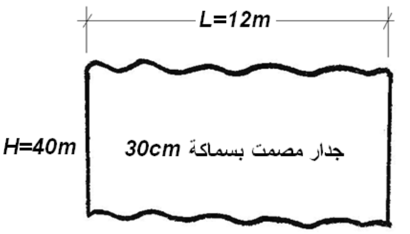
$$A_s=\frac{A_s(8T20mm)}{2}=1256mm^2 \Rightarrow USE\ 8T14mm/ml$$

- التسليح العلوي بالاتجاه العرضي:

$$A_s=\frac{A_s(8T16mm)}{2}=800mm^2 \Rightarrow USE\ 8T12mm/ml$$

تطبيقات حول جدران القص (حالات خاصة)

التطبيق /14/ : أمثلة ومسائل حول العطالة المكافئة



1- لدينا جدار قص مصمت، ارتفاعه: $H = 40m$

سماكته: $e = 30cm$، وطوله: $L = 12m$

عامل مرونة البيتون: $E = 2\times10^7 kN/m^2$

يخضع إلى قوة أفقية تساوي: $V = 3000kN$

- عطالة الجدار (كونه مصمت):

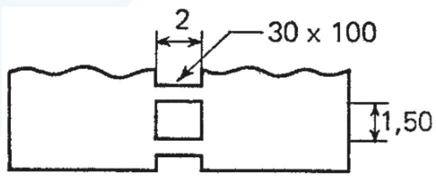
$$I = I_e = \frac{eL^3}{12} = \frac{0.3\times12^3}{12} = 43.2m^4$$

- بافتراض أن قيمة السهم الأفقي عند القمة تحدد من العلاقة التالية، يكون لدينا:

$$f = \frac{VH^3}{8EI_e} = \frac{3000\times40^3}{8\times2\times10^7\times43.2} = 0.028m$$

2- نأخذ نفس الجدار السابق، مع وجود صف واحد من الفتحات، تتوضع في مركز الجدار، وبأبعاد $2\times1.5m$، واللمعة لها الأبعاد $30\times100cm$، و إن $E = E'$.

نعمل على حساب العوامل والبارامترات المفيدة في تحديد العطالة المكافئة.



نحسب $2c$:

$$2c = \left[\left(\frac{12-2}{2}\right)/2\right]\times2+2 = 7m \Rightarrow c = 3.5m$$

ويكون ارتفاع الطابق: $h = 1.5+0.5+0.5 = 2.5m$

$$\Omega_1 = \Omega_2 = 0.3\times5 = 1.5m^2$$

$$I_1 = I_2 = \frac{0.3\times5^3}{12} = 3.125m^4 \quad ; \quad i = \frac{0.3\times1^3}{12} = 0.025m^4$$

وللتبسيط سوف نعتبر أن: $2a = 2m \Rightarrow a = 1m$

$$m = \frac{2c}{\frac{1}{\Omega_1}+\frac{1}{\Omega_2}} = \frac{7}{\frac{1}{1.5}+\frac{1}{1.5}} = 5.25m^3$$

$$\Rightarrow I = I_1 + I_2 + 2mc = 3.125 + 3.125 + 7\times 5.25 = 43m^4$$

نحسب البارامتر ω ، ومن ثم α:

$$\omega^2 = \frac{3}{2}\frac{E'}{E}\frac{i}{a^3}\frac{2c}{I_1+I_2}\frac{I}{mh} = \frac{3}{2}\cdot\frac{0.025}{1^3}\cdot\frac{7}{2\times 3.125}\cdot\frac{43}{5.25\times 2.5} = 0.1376$$

$$\Rightarrow \omega = 0.3709$$

$$\therefore\ \alpha = \omega H = 0.3709\times 40 = 14.84$$

باعتبار أن القوة الأفقية $V = 3000kN$، هي محصلة الحمولة موزعة بانتظام، يمكننا أن نحدد قيمة ψ بدلالة $(\xi\ \&\ \alpha)$ من الجداول أو الآباكات.

$$\begin{cases} \xi = \frac{x}{H} = \frac{0}{H} = 0 \\ \alpha = 14.84 \end{cases} \Rightarrow \psi = \psi_0 = 0.44$$

وبالتالي نحسب العطالة المكافئة للجدار الوهمي المصمت من العلاقة التالية:

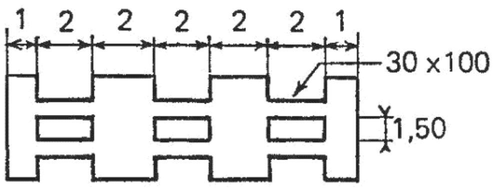
$$I_e = \frac{I}{\frac{16mc}{(I_1+I_2)}\frac{\psi_0}{\alpha^2}+1} = \frac{43}{\frac{16\times 5.25\times 3.5}{2\times 3.125}\cdot\frac{0.44}{14.84^2}+1} = 39.30m^4$$

نحسب قيمة السهم الأفقي عند القمة لهذا الجدار الحاوي على فتحات:

$$f = \frac{VH^3}{8EI_e} = \frac{3000\times 40^3}{8\times 2\times 10^7\times 39.30} = 0.031m$$

نلاحظ جيداً تأثير الفتحات على قيمة السهم، بالتالي تخفيض قدرة تحمله.

3- نأخذ نفس الجدار السابق، مع وجود ثلاثة صفوف من الفتحات، أبعادها مبينة في الشكل التالي:



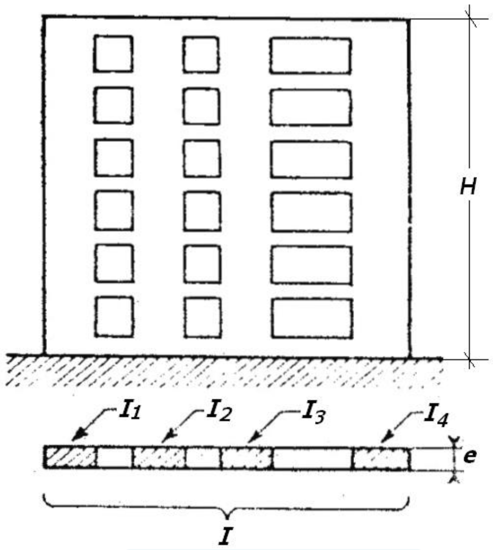
يمكن البرهان بأن قيمة عزم العطالة المكافئة لمثل هذه الجدران سواء كانت صفوف الفتحات متناظرة أم غير متناظرة (الشكل المرفق)، تعطى بالعلاقة التالية:

$$I_e = \frac{I}{\frac{8I}{(I_1 + I_2 + \cdots)} \frac{\psi_0}{\alpha^2} + 1}$$

حيث:

$I_{1,2,3...}$: عزوم عطالات العناصر 1 و 2 و 3 ...

I: عزم عطالة الجدار كاملاً آخذين بالحسبان وجود الفتحات.



هذا ويحدد البارامتر ω من العلاقة التالية:

$$\omega^2 = \frac{6E'}{Eh\sum I_i} \sum \left(\frac{i_i c_i^2}{a_i^3} \right)$$

لدينا:

$$2a_1 = 2a_2 = 2a_3 = 2\,m$$

$$2c_1 = 3.5m\,;\, 2c_3 = 3.5m\,;\, 2c_2 = 4m$$

$$I_1 = I_4 = 0.3\frac{1^3}{12} = 0.025m^4$$

$$I_2 = I_3 = 0.3\frac{2^3}{12} = 0.20m^4$$

$$i_1 = i_2 = i_3 = i = 0.3\frac{1^3}{12} = 0.025m^4$$

نحسب I:

$$I = 0.3\frac{12^3}{12} - \left[2 \times \left(\frac{0.3 \times 2^3}{12} + 0.3 \times 2 \times 4^2 \right) + \frac{0.3 \times 2^2}{12} \right] = 23.40m^4$$

ومن ثم ω و α و ψ_0 :

$$\omega^2 = \frac{6\times0.025}{2.5(2\times0.025+2\times0.20)}\times\left(2\times\frac{1.75^2}{1^3}+\frac{2^2}{1^3}\right)=1.35$$

$$\Rightarrow \quad \omega = 1.162$$

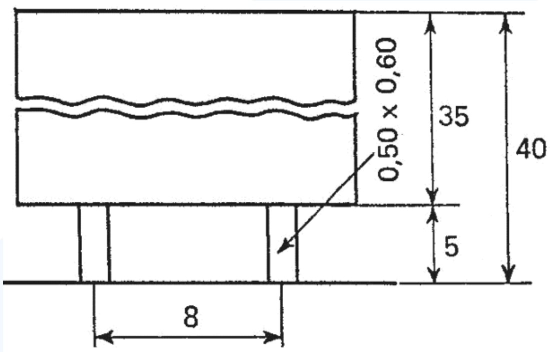
$$\therefore \quad \alpha = 1.162\times40 = 46.48$$

$$\begin{cases}\xi = \dfrac{x}{H} = \dfrac{0}{H} = 0 \\ \alpha = 46.48\end{cases} \Rightarrow \psi = \psi_0 \approx 0.50$$

بالنتيجة تكون العطالة المكافئة للجدار الوهمي المصمت:

$$I_e = \frac{23.4}{\dfrac{8\times23.4}{2\times(0.025+0.2)}\times\dfrac{0.5}{46.48^2}+1} = 21.34m^4$$

4- نأخذ نفس الجدار السابق، ولكنه محمول على عمودين بطول $H'=5m$، وبتباعد يساوي $L=8m$، مقطعهما $B=50\times60cm$، وذلك كما هو مبين في الشكل التالي:



نصادف هذه الحالة في الأبنية حيث لا تستمر جدران القص في الطوابق الأرضية، ويتم حملها على أعمدة عطالتها صغيرة مقارنة بعطالة الجدران، وتعمل الأعمدة على موازنة الجهود الناظمية الناجمة عن القوى الأفقية، ولكن هي غير قادرة على مقاومة الجهود القاطعة بسبب صغر عطالتها، وفي هذه الحالة يتم نقلها إلى نظام تقوية بالاتجاه الآخر (جدران أخرى).

وقبل أن نحدد العلاقة التي تعطي قيمة العطالة المكافئة لجدار وهمي مصمت (حيث يتم إهمال تأثير الجهود الناجمة عن الحمولات الشاقولية الدائمة والإضافية)، نشير إلى أنه في حال احتواء جدار القص المحمول على فتحات فإن عزم العطالة I للجدار يبدل بقيمة عزم العطالة المكافئ (جدار مع فتحات)، كما مر سابقاً وبدون الأخذ بالحسبان لوجود الأعمدة.

يبين الشكل التالي الجدار المدروس، ويكون سهمه الكلي الأفقي (f)، مكون من مجموع السهم الناجم عن الدوران بفعل φ القوى الأفقية (f_1)، والسهم الناجم عن تشوهه (f_2).

ينجم عن القوى الأفقية (رياح أو زلازل) المطبقة على الجدار عزم انعطاف (انقلاب) M ، تسبب جهود ناظمية في الأعمدة N (شد وضغط)، تعادل:

$$N = \frac{M}{L}$$

باعتبار أن L التباعد بين الأعمدة.

يولد الجهد الناظمي N تقاصراً في العمود المضغوط وتطاول في العمود المشدود بمقدار ΔL:

$$\Delta L = \frac{NH'}{BE}$$

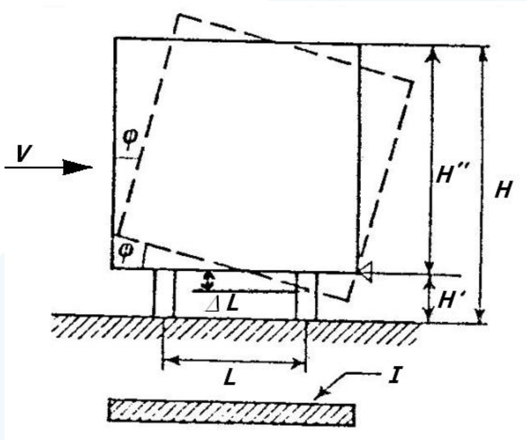
حيث E يمثل عامل المرونة الطولاني للبيتون.

وبالتالي نستطيع حساب الدوران الناجم:

$$\varphi \approx tg\varphi = \frac{\Delta L}{L/2} = \frac{2\Delta L}{L}$$

وباعتبار H'' ارتفاع الجدار فوق الطابق الأرضي، فإنه بالامكان حساب (f_1):

$$f_1 = H''\varphi$$



والسهم الثاني (f_2) ، فيتم حسابه وفق العلاقة التالية:

$$f_2 = \frac{VH''^3}{8EI}$$

حيث I يمثل عزم عطالة الجدار فوق الطابق الأرضي.

عندما تكون الحمولة الأفقية موزعة بانتظام (رياح)، نكتب ما يلي:

$$M = V\frac{H}{2}$$

$$N = \frac{M}{L} = \frac{VH}{2L} \Rightarrow \Delta L = \frac{VHH'}{2LBE}$$

$$\varphi = \frac{2\Delta L}{L} = V\frac{HH'}{L^2 BE}$$

ومن أجل تحديد العطالة المكافئة للجدار الوهمي، نعمل على تحقيق العلاقة التالية:

$$f = f_1 + f_2 = \frac{VH^3}{8EI_e}$$

$$H''\varphi + \frac{VH''^3}{8EI} = \frac{VH^3}{8EI_e}$$

وبالتبديل، نحصل على العلاقة التي تعطي قيمة العطالة للجدار الوهمي:

$$I_e = \frac{BIL^2 H^3}{8IHH'(H-H') + BL^2(H-H')^3}$$

لدينا:

$$B = 0.5 \times 0.6 = 0.30m^2$$

$$I = 0.3 \times \frac{12^3}{12} = 43.20m^4$$

فيكون:

$$I_e = \frac{0.30 \times 43.20 \times 8^2 \times 40^3}{8 \times 43.20 \times 40 \times 5 \times 35 + 0.30 \times 8^2 \times 35^3} = 16.37m^4$$

التطبيق /15/ : - مسألة حول حالة جداريستند على أعمدة

لدينا مبنى مسقطه الأفقي $12 \times 35m$، يحوي ثلاثة جدران قص (جدارين طرفيين 1&3 وجدار وسطي 2)، مكونة جملته الإنشائية المقاومة للقوى الأفقية بالاتجاه القصير (رياح). يتحول الجدار الوسطي (2) إلى عمودين في الطابق الأرضي (انظر الشكل المرفق).

إذا علمت أن الجدار الوسطي يخضع للجهود التالية:

$V = 600kN$ محصلة القوى الأفقية المطبقة عند المستوى 1 (بلاطة سقف الطابق الأرضي).

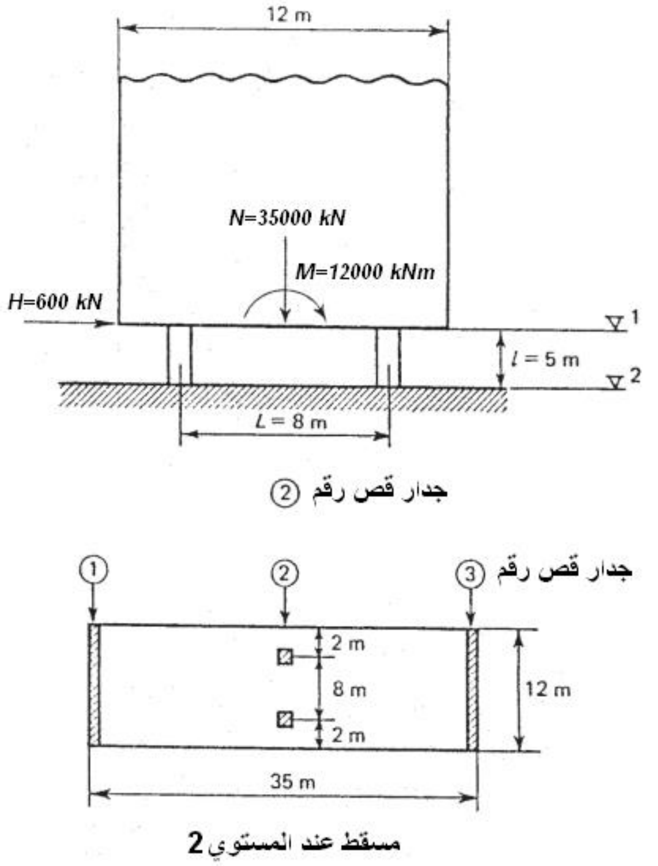
$N = 35000kN$ الجهد الناظمي، و $M = 12000kNm$ عزم الانعطاف.

والمطلوب:

1- حساب القوة الناظمية في العمودين.

2- حساب بلاطة سقف الطابق الأرضي التي ستنقل القص الأفقي $V = 600kN$، إلى الجدارين الآخرين (1&3).

-3 ما هي قيمة العزم الإضافي لكل من الجدارين (1&3)، الناجم عن القص الأفقي V .



الحل:

الطلب الأول:

بما أن مقاطع الأعمدة متساوية، تكتب علاقة الاجهادات الناظمية عند المستوي (2)، كما يلي:

$$\sigma_2 = \frac{1}{B}\left(\frac{N_2}{n} \pm \frac{(M_2 + N_2 e)v}{\sum d_i^2}\right)$$

حيث:

n : عدد الأعمدة. d_i : المسافة بين العمود (i) ومركز ثقل المجموعة.

B : مقطع العمود.

وتكون القوة الناظمية في العمود الواحد:

$$N' = B\sigma = \frac{N}{n} \pm \frac{(M + Ne)v}{\sum d_i^2}$$

$$e = 0 \quad , \quad n = 2 \quad , \quad L = 8m$$

$$v = \frac{L}{2} \quad , \quad d_1 = d_2 = \frac{L}{2}$$

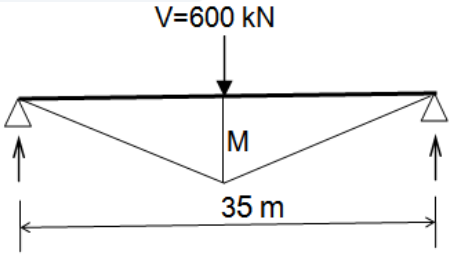
بالتالي:

$$\Rightarrow N' = \frac{N}{n} \pm \frac{M \times \frac{L}{2}}{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2} = \frac{N}{n} \pm \frac{M}{L}$$

$$\therefore N'_{1,2} = \frac{35000}{2} \pm \frac{12000}{8} = \begin{cases} 19000kN \\ 16000kN \end{cases}$$

الطلب الثاني:

إن القوة الأفقية $V = 600kN$ سوف تنتقل عبر بلاطة سقف الطابق الأرضي إلى الجدارين (1&3)، بمعدل $300kN$ لكل منها، وبالتالي سوف نحسب البلاطة على أساس أنها جائز أفقي خاضع لعزم انعطاف.



$$M_u = 1.6 \times \frac{600 \times 35}{4} = 8400kNm$$

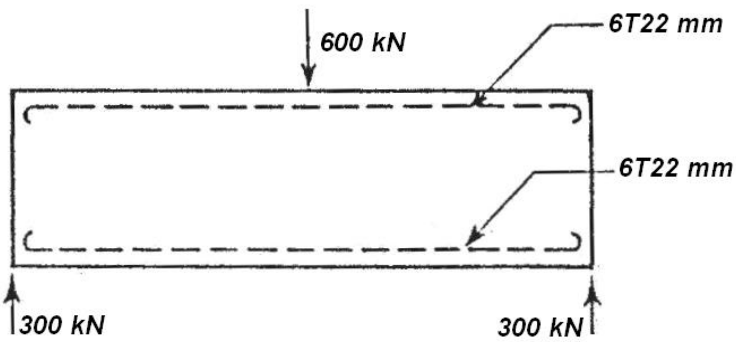
$$A_s = \frac{M_u}{0.9 \times 0.9 \times d \times f_y} \quad , \quad d = 12000 - 200 = 11800mm$$

$$f_y = 400N/mm^2$$

$$A_s = \frac{8400 \times 10^6}{0.9 \times 0.9 \times 11800 \times 400} = 2197mm^2$$

$$use \quad 6T22mm$$

يوضع هذا التسليح في طرف البلاطة على شكل شيناج عند كل جهة، كما هو مبين في الشكل التالي.



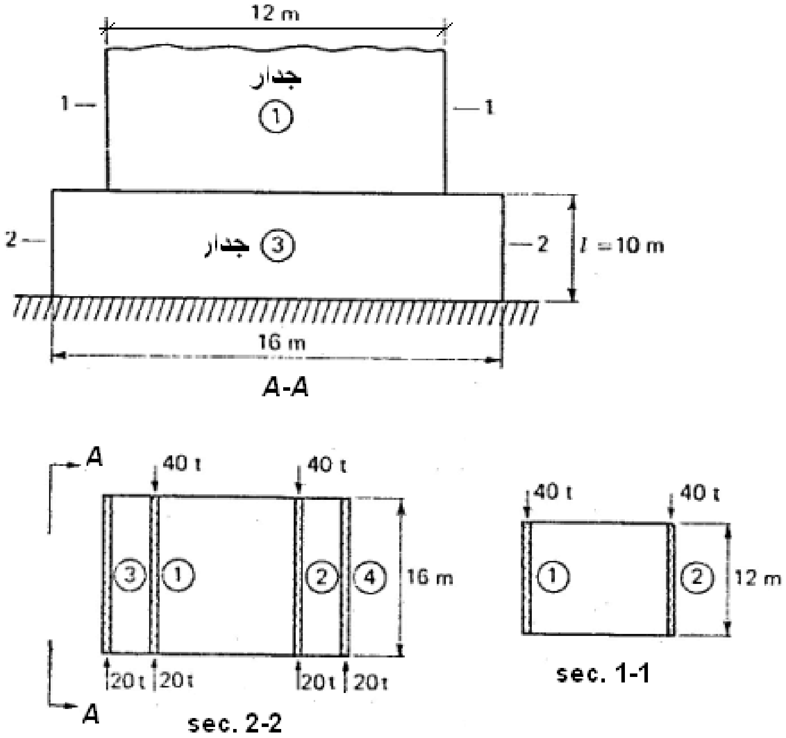
الطلب الثالث:

بما أننا افترضنا إن القوة الأفقية $V = 600kN$ سوف تنتقل عبر بلاطة سقف الطابق الأرضي إلى الجدارين (1&3)، فسوف يتولد عزم إضافي يجب إضافته لحصة كل جدار عند التصميم:

$$\Delta M = \frac{VL}{2} = \frac{600 \times 5}{2} = 1500 kNm$$

التطبيق /16/ : مسألة حول حالة جدران قص إضافية في المنشأة التحتية

كما ذكرنا سابقاً، فغالباً ما تحوي المنشأة التحتية على كاراجات وأقبية، ويكون محيطها أكبر من محيط المنشأة العلوية. في الواقع، إن الجدران الإضافية تشوش آلية النقل المباشر للحمولات من الجدران العلوية إلى الأساسات (الشكل المرفق)، ففي مثل هذه الحالة يمكن قبول أن البلاطة أرضية الطابق الأرضي المحسوبة على أنها جائز أفقي تعمل على توزيع الجهد القاطع على كافة جدران المنشأة التحتية وفقاً لعطالاتها.



فعلى سبيل المثال، يحوي المبنى أعلاه على جدارين (1,2)، يمتدان على كامل ارتفاع المنشأة العلوية، ويضاف في المنشأة التحتية (القبو) جداران آخران.

بفرض أن الجدارين (1,2) يخضعان عند مستوى الطابق الأرضي لعزم يساوي $M = 10000kNm$ ، ولجهد قاطع مقداره $V = 400kN$ ، وإن الجدران الأربعة في القبو تملك نفس العطالة. إن عملية إعادة توزيع الجهود القاطعة عن طريق بلاطة أرضية الطابق الأرضي تقودنا للأفعال التالية عند مستوى الأساسات:

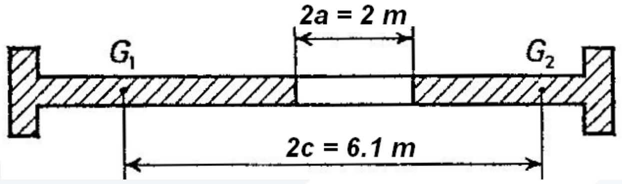
- الجداران (1,2): $M_{1,2} = 10000 + \left(\frac{400}{2}\right) \times 10 = 12000kNm$
- الجداران (3,4): $M_{3,4} = \left(\frac{400}{2}\right) \times 10 = 2000kNm$

تدرس البلاطة بين الجدران المركزية والمحيطية على أساس بروز صغير، من أجل حساب تسليح الشيناج المحيط.

التطبيق /17/ : مسائل خاصة على جدران قص حاوية على فتحات

1- حساب الجهود في عناصر جدار حاوي على صف واحد من الفتحات:

يبين الشكل التالي مقطعاً عرضياً في جدار قص يحوي صف واحد من الفتحات، ويملك الميزات التالية:



- المقاطع العرضية لعناصر الجدار وعطالاتها، وعطالة اللمعة:

$$\Omega_1 = 2m^2 \quad , \quad \Omega_2 = 1.m^2$$
$$I_1 = 4m^4 \quad , \quad I_2 = 2m^4 \quad , \quad i = 0.006m^4$$

- العزم الستاتيكي لكل من عنصري الجدار بالنسبة لمركز ثقل المجموعة:

$$m = \frac{2c}{\frac{1}{\Omega_1} + \frac{1}{\Omega_2}} = 5.42m^3$$

- عزم عطالة الجدار في مستوى الفتحات:

$$I = I_1 + I_2 + 2mc = 4 + 2 + 6.1 \times 5.42 = 39m^4$$

- عامل مرونة بيتون الجدار: $E = 1 \times 10^7 \, kN/m^2$

- عامل مرونة بيتون اللمعات: $E' = 2 \times 10^7 \, kN/m^2$

- ارتفاع الطابق: $h = 2.75m$

- ارتفاع المبنى المدروس (عشرة طوابق): $H = 27.5m$

- قوة القص عند القاعدة (محصلة الحمولات الأفقية الموزعة بانتظام): $V = 354kN$

$$\frac{E'}{E} = \frac{2}{1}$$

$$\omega^2 = \frac{3}{2}\frac{E'}{E}\frac{i}{a^3}\frac{2c}{I_1 + I_2}\frac{I}{mh} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2}{1} \cdot \frac{0.006}{1^3} \cdot \frac{6.1}{4+2} \cdot \frac{39}{5.42 \times 2.75} = 0.0479$$

$$\Rightarrow \omega = 0.219$$

$$\therefore \; \alpha = \omega H = 0.219 \times 27.5 \approx 6$$

$$\pi_u=\frac{T_{0u}mh}{I}\Phi(\alpha,\xi)=\frac{Vmh}{I}\Phi(\alpha,\xi)=\frac{354}{39}\times 5.42\times 2.75\Phi(\alpha,\xi)$$
$$\Rightarrow \pi\approx 135\Phi(\alpha,\xi)$$

$$M_1=\frac{I_1}{I_1+I_2}VH\left[\frac{(1-\xi)^2}{2}-\frac{2cm}{I}\psi(\alpha,\xi)\right]$$

$$M_1=\frac{4}{4+2}\times 354\times 27.5\left[\frac{(1-\xi)^2}{2}-\frac{2cm}{I}\psi(\alpha,\xi)\right]$$

$$M_1=6490\left[\frac{(1-\xi)^2}{2}-\frac{2cm}{I}\psi(\alpha,\xi)\right]$$

$$\Rightarrow M_2=\frac{6490}{2}\left[\frac{(1-\xi)^2}{2}-\frac{2cm}{I}\psi(\alpha,\xi)\right]$$

$$\therefore M_1=2M_2$$

ننظم جدولاً يسهل عملية الحساب، حيث نعمل على تحديد قيم كل من ψ و Φ ، بدلالة $(\xi\,\&\,\alpha)$ من الجداول أو الآباكات، باعتبار أن الحمولة الأفقية منتظمة (رياح)، ومن ثم نحسب الجهود: القص في كل لمعة π ، و $N=\sum\pi$ و $M_1\,\&\,M_2$.

نتحقق من شرط التوازن للجدار عند القاعدة:

$$M=M_1+M_2+2Nc=1260+630+2\times 492.8\times\frac{6.1}{2}=4896kNm$$

$$M=V\frac{H}{2}=354\times\frac{27.5}{2}=4868kNm$$

وهو محقق (القيم متقاربة).

حيث M يمثل عزم الانعطاف المعتبر للجدار عند القاعدة.

ملاحظة هامة: يبين الجدول السابق اللمعة الأكثر تحميلاً، وهي تلك الواقعة في الطابق الثالث (انظر الجدول)، حيث تخضع (فقط) من الحمولات (الأفقية) لقص مقداره: $V=\pi=72.5kN$ ، ولعزم يساوي $M=Va=\pi a=72.5\times\frac{2}{2}=72.5kNm$.

وهكذا، تحدد قيم الجهود المميزة لعناصر الجدار (التصميمية بعد تراكب الجهود الناجمة عن الحمولات الشاقولية) .

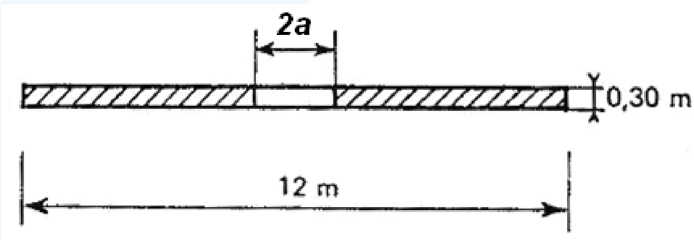
الطابق	ξ	Φ	$\pi = 135\Phi$	$\frac{(1-\xi)^2}{2}$	Ψ	$\frac{2cm}{I}\psi$	$\frac{(1-\xi)^2}{2}-\frac{2cm}{I}\psi$	M_1	M_2	N
10	1	0.162	21.9	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.0	0.0	21.9
9	0.9	0.186	25.1	0,005	0.017	0.0144	-0.0094	-61	-31	47.0
8	0.8	0.241	32.5	0.020	0.038	0.0322	-0.0122	-79	-40	79.5
7	0.7	0.312	42.1	0.045	0.066	0.0559	-0.0109	-71	-35	121.6
6	0.6	0.388	52.4	0.080	0.101	0.0856	-0.0056	-36	-18	174.0
5	0.5	0.458	61.9	0.125	0.143	0.1211	0.0039	25	13	235.9
4	0.4	0.514	69.4	0.180	0.192	0.1627	0.0173	112	56	305.3
3	0.3	0.537	**72.5**	0.245	0.245	0.2075	0.0375	244	122	377.8
2	0.2	0.500	67.5	0.320	0.297	0.252	0.068	442	221	445.3
1	0.1	0.352	47.5	0.405	0.341	0.289	0.116	753	376	492.8
أرضي	0.0	0.000	0.00	0.500	0.361	0.306	0.194	1260	630	492.8

2- دراسة تأثير نوع الفتحة على القص π عند مقطع وثاقة اللمعة:

ليكن لدينا الجدار المبين مقطعة على الشكل التالي، إذا علمت أن:

- سماكة الجدار: $30cm$، وطوله يساوي $12m$.
- ارتفاع الطابق الواحد $h = 2.75m$.
- $E = E'$
- محصلة الحمولات الأفقية المنتظمة تساوي $V = 300kN$.

يطلب دراسة تأثير الفتحات على قيمة الجهد القاطع π عند طرف اللمعة التي تملك عطالة ثابتة مقدارها $i = 0.006m^4$، وذلك في الحالات التالية: $2a = 2m, 1m \& 6m$.



الحل:

أ- حالة $2a = 2m$

$$2c = 2\times 3.5 = 7m \quad , \quad \Omega_1 = \Omega_2 = 5\times 0.3 = 1.5m^2$$

$$m = \frac{2c}{\frac{1}{\Omega_1} + \frac{1}{\Omega_2}} = 5.25m^3$$

$$I_1 = I_2 = \frac{0.3 \times 5^3}{12} = 3.125m^4 \;,\; I = I_1 + I_2 + 2mc = 43m^4$$

$$\omega^2 = \frac{3}{2}\frac{E'}{E}\frac{i}{a^3}\frac{2c}{I_1 + I_2}\frac{I}{mh} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0.006}{1^3} \cdot \frac{7}{2 \times 3.125} \cdot \frac{43}{5.25 \times 2.75} = 0.030$$

$$\Rightarrow \omega = 0.1732$$

$$\therefore \;\; \alpha = \omega H = 0.1732 \times 40 \approx 7 \Leftrightarrow 1 \le \alpha \le 10$$

بالتالي، نحسب القص بالعلاقة:

$$\pi = \frac{Vmh}{I}\Phi(\alpha, \xi) = \frac{300}{43} \times 5.25 \times 2.75\Phi(\alpha, \xi)$$

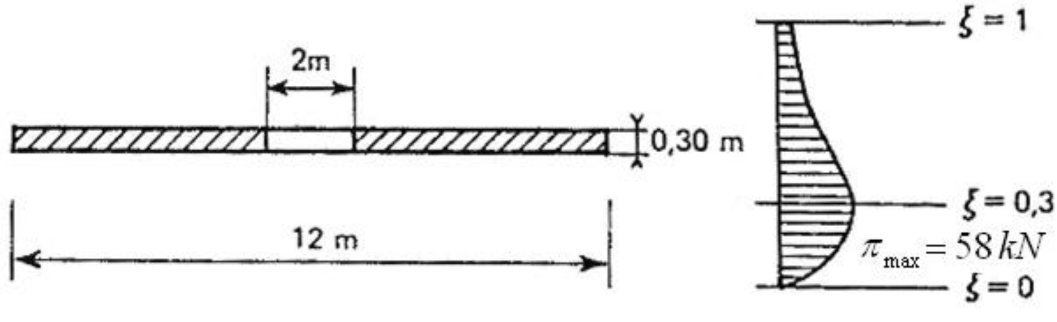
$$\Rightarrow \pi \approx 100\Phi(\alpha, \xi)$$

بعد أن نجري الحساب لكافة الطوابق، نلاحظ بأن الجهد القاطع الأعظمي يقع في الطابق الثالث، ويكون لدينا:

$$\begin{cases} \alpha = 7 \\ \xi = \dfrac{x}{H} = 0.3 \end{cases} \Rightarrow \Phi \approx 0.58$$

$$\therefore \pi_{\max} = 100 \times 0.58 = 58kN$$

ويبين الشكل التالي تغير قيمة الجهد القاطع في اللمعات على كامل ارتفاع المبنى.



ب- حالة $2a = 1m$

$$2c = 6.5m \quad , \quad \Omega_1 = \Omega_2 = 5.5 \times 0.3 = 1.65m^2$$

$$m = \frac{6.5}{\frac{1}{1.65} + \frac{1}{1.65}} = 5.36m^3$$

$$I_1 = I_2 = \frac{0.3 \times 5.5^3}{12} = 4.16m^4 \;,\; I = I_1 + I_2 + 2mc = 43.16m^4$$

$$\omega^2 = \frac{3}{2}\frac{E'}{E}\frac{i}{a^3}\frac{2c}{I_1+I_2}\frac{I}{mh} = 0.164$$

$$\Rightarrow \omega = 0.406$$

$$\therefore\ \alpha = \omega H = 0.406 \times 40 \approx 16 \Leftrightarrow \alpha > 10$$

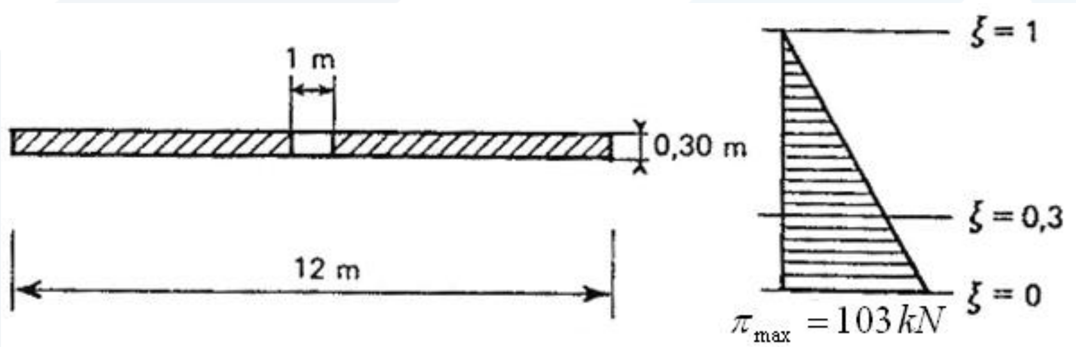
بالتالي، الفتحة صغيرة ويتم حساب القص في اللمعات وفقاً للعلاقة التالية:

$$\pi = \frac{Vmh}{I}(1-\xi) = \frac{300}{43.16} \times 5.36 \times 2.75(1-\xi)$$

$$\Rightarrow \pi \approx 103(1-\xi)$$

$$\begin{cases} \xi = 0 \Rightarrow \pi_{\max} = 103kN \\ \xi = 0.3 \Rightarrow \pi = 72.1kN \end{cases}$$

ويبين الشكل التالي تغير قيمة الجهد القاطع في اللمعات على كامل ارتفاع المبنى (توزيع خطي).



ج- حالة $2a = 6m$

$$2c = 9m$$

$$m = 4.05m^3$$

$$I = 37.80m^4$$

$$\omega^2 = 0.007$$

$$\therefore\ \alpha = \omega H = \sqrt{0.007} \times 40 = 3.35 > 1$$

بالتالي، تعتبر الفتحة متوسطة أيضاً حيث لم نستطع الحصول على فتحة كبيرة، وهذا يعود إلى أنه تم تثبيت عطالة اللمعة والتي هي كبيرة نسبياً. ويمكن الحصول على فتحة كبيرة عندما نخفض من عطالة اللمعة، فعلى سبيل المثال سنعتمد القيمة $i = 2 \times 10^{-4} m^4$، ونحصل في هذه الحالة:

$$i = 2\times10^{-4}\,m^4 \Rightarrow \omega = 0.0153$$

$$\therefore\ \alpha = \omega H = 0.0153\times 40 = 0.612 < 1$$

بما أن قيمة $\alpha < 1$ ، فإنه بالإمكان اعتبار القص في اللمعات يساوي الصفر على كامل الارتفاع $(\pi = 0)$.