الفصل الثالث : الأساسات المعرضة لقوة لا محورية

3. 1 مقدمة

يمكن للأساسات أن تنقل إلى التربة أحمالاً محورية بالإضافة إلى عزوم انعطاف حول محور أو محورين, كما هي الحال بالنسبة لأساسات الجسور وقواعد الجدران الاستنادية والإطارات. تكون الاجهادات تحت هذه الأساسات غير منتظمة ويجب ألا يزيد الاجهاد الأعظمي عن قدرة تحمل التربة المسموحة الصافية.

تؤثر على القواعد أنواع مختلفة من العزوم، منها :

أ-العزوم الدائمة

هي العزوم الناتجة عن الأحمال الدائمة مثل الأحمال الشاقولية الميتة، وتكون هذه العزوم ثابتة بالقيمة والاتجاه، ويمكن الغاءها عن طريق زيادة بروز الأساس بمقدار اللامركزية e في جهة اللامركزية (تطابق مركز ثقل الأساس مع نقطة تطبيق القوة).

ب- العزوم المتغيرة أو غير الدائمة

هي العزوم الناتجة عن الأحمال غير الدائمة مثل أحمال الرياح والزلازل والأحمال الحية، وهذه العزوم متغيرة الاتجاه ولا يمكن الغاءها.

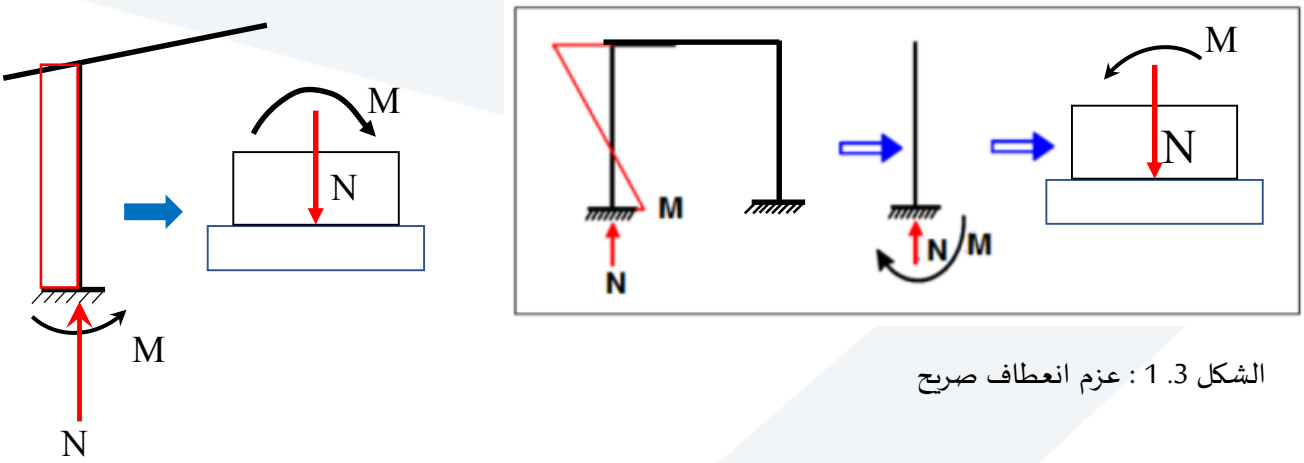
3. 2 أسباب تولد العزوم

تتولد العزوم على القواعد لأسباب عديدة، أهمها :

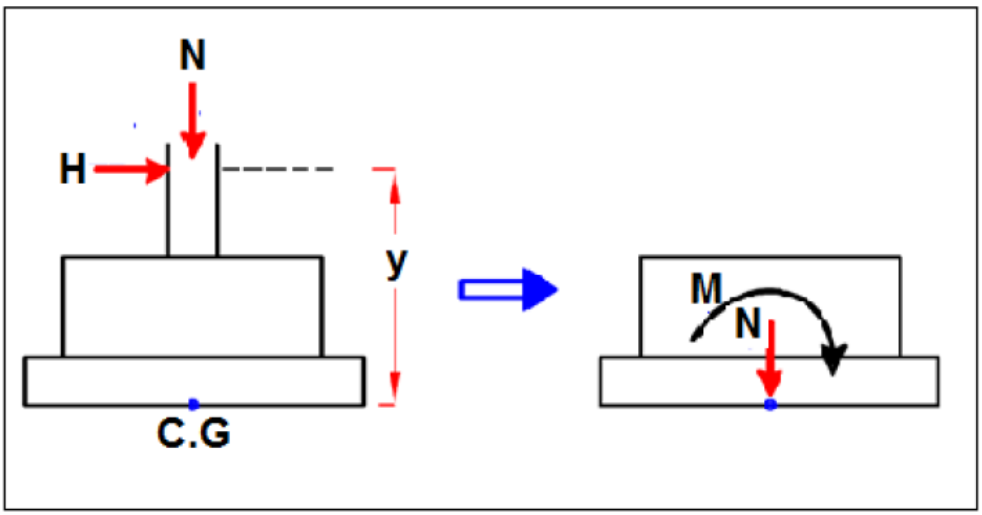
1-وجود عزم انعطاف صريح كقوة داخلية في نقطة التقاء العمود بالقاعدة، كحالة الإطارات الموثوقة بالقاعدة وحالة المظلات المستندة على عمود واحد وغير متساوية الأظفار (الشكل 3. 1).

2- حالة وجود قوة أفقية على مسافة من القاعدة (الشكل 3. 2).

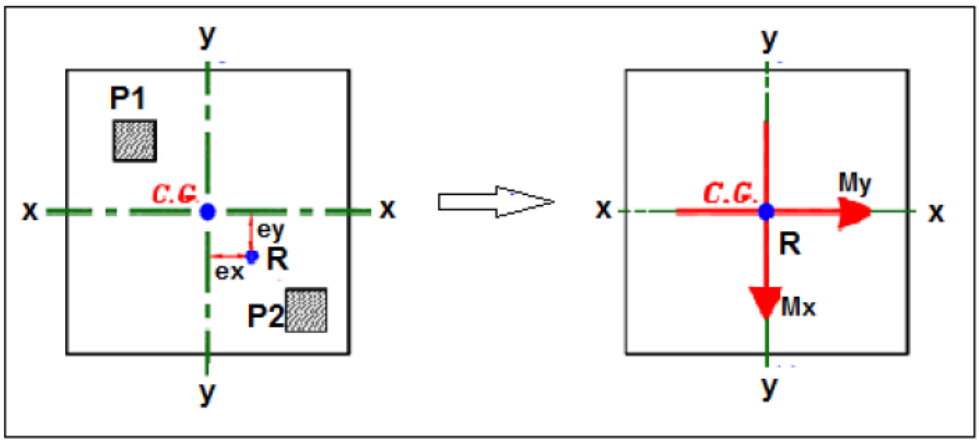
3- حالة عدم انطباق محصلة القوى الشاقولية على مركز ثقل القاعدة (الشكل 3. 3).



الشكل 3. 1 : عزم انعطاف صريح



الشكل 3. 2 : حالة وجود قوة أفقية على مسافة من القاعدة



الشكل 3. 3 : حالة عدم انطباق محصلة القوى الشاقولية على مركز ثقل القاعدة

3. 3 خطوات تصميم الأساس المحمل بحولة لا محورية بطريقة المرونة

تتلخص مراحل تصميم الأساس المنفرد المعرض لقوة لا محورية بالطريقة المرنة بالتالي :

1- حساب مساحة الأساس وتحديد أبعاده :

بفرض أساس أبعاده L x B , ينقل قوة محورية P وعزم انعطاف M_Y حول المحور العمودي على اتجاه طول الأساس L (اللامركزية باتجاه L) (الشكل 3. 4).

يحسب الاجهاد تحت الأساس بالعلاقة

$$q = \frac{P}{A} \pm \frac{M_y}{Iy} x \qquad (1.3)$$

حيث :

$$M_y = P.e \qquad I_y = B\frac{L^3}{12} \qquad A = B.L$$

بالتبديل في العلاقة السابقة نحصل على :

$$q = \frac{P}{B.L}\left(1 \pm \frac{12e_x}{L^2} x\right) = \frac{P}{B.L}\left(1 \pm \frac{12e}{L^2} x\right) \qquad (2.3)$$

بتبديل $x = \pm\frac{L}{2}$ نحصل على الاجهاد الأعظمي والاجهاد الأصغري تحت الأساس :

$$q_{\max,\min} = \frac{P}{B*L}(1 \pm 6\frac{e}{L}) \qquad (3.3)$$

نلاحظ من العلاقة السابقة أن الاجهاد الأصغري يكون مساوياً للصفر عندما تكون $|e| = \frac{L}{6}$, ويصبح شاداً عندما تكون $|e| > \frac{L}{6}$ (أي $L < 6|e|$). أي أن الاجهادات تحت الأساس تكون ضاغطة عندما تقع القوة P ضمن الثلث الوسطي من الأساس, وشادة عندما تقع خارجه.

يتم اختيار B و L بحيث يكون $q_{\max} \le q_{a-net}$ و $q_{\min \ge 0}$

بفرض $q_{\max} = q_{a-net}$, يكون لدينا :

$$B = \frac{P}{q_{a-net} * L}(1 + 6\frac{e}{L}) \qquad (4.3)$$

يتم فرض قيمة لـ L بحيث يكون $q_{min\geq 0}$ ، ثم يتم تحديد قيمة B من العلاقة السابقة, ويفضل أن يكون L > B.

2- حساب الاجهادات تحت الأساس :

عندما تكون الاجهادات ضاغطة تحت الأساس بالكامل ($e \leq L/6$) فإن الاجهادات الأعظمية والأصغرية تحت الأساس تحسب بالعلاقة (3.3)، أما عندما يسمح بظهور إجهادات شادة تحت الأساس فإن هذه الاجهادات الشادة لا تؤخذ بالحسبان وتصبح العلاقة (3.3) غير صالحة لحساب توزع الاجهادات تحت الأساس, ويتم في هذه الحالة حساب الاجهادات الضاغطة تحت الأساس كما يلي :

بفرض L' طول قسم الأساس الخاضع للاجهادات الضاغطة, يكون لدينا :

$$L' = 3\left(\frac{L}{2} - e\right) = \frac{3}{2}(L - 2e) \qquad (5.3)$$

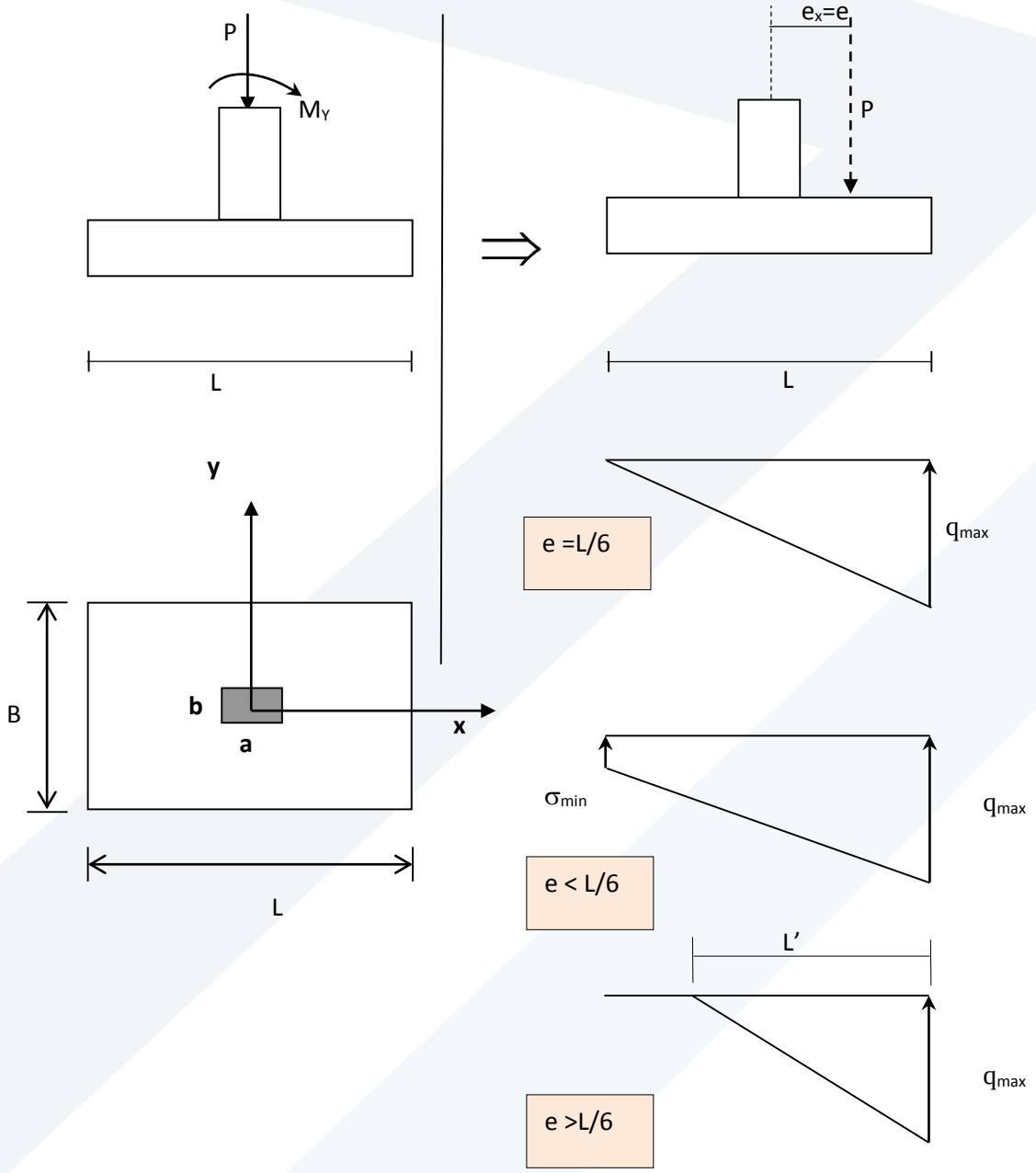
$$P = B * L' \frac{q_{max}}{2} = \frac{3}{4} B(L - 2e) q_{max}$$

وبالتالي :

$$q_{max} = \frac{4P}{3B(L - 2e)} \qquad (6.3)$$

بفرض $q_{max} = q_{a-net}$ ، يكون :

$$B = \frac{4P}{3q_{a-net}(L - 2e)} \qquad (7.3)$$



الشكل 3. 4 : أساس معرض لقوة محورية وعزم انعطاف

مثال 1

أساس منفرد يخضع لقوة محورية P=500 kN وعزم انعطاف M=375 kN.m (الشكل 3. 5). بفرض طول الأساس L = 3m , وقدرة تحمل التربة المسموحة الصافية $q_{a\text{-}net} = 200\ kN/m^2$, يطلب حساب عرض الأساس وتوزع الاجهادات تحت الأساس.

الحل:

اللامركزية :

$$e = \frac{M}{P} = \frac{375}{500} = 0.75\ m > \frac{L}{6} = 0.5$$

أي أن جزء من الأساس يتعرض لإجهادات شادة.

حساب طول جزء الأساس L' المعرض لاجهادات ضاغطة

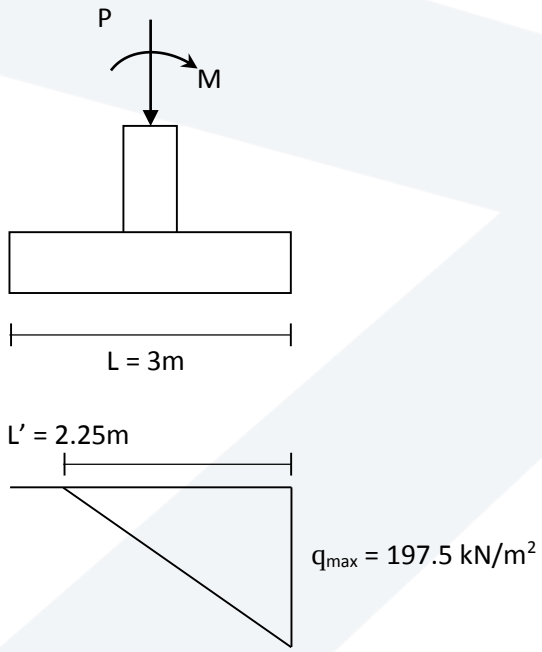
$$L' = 3\left(\frac{L}{2} - e\right) = 3*(1.5 - 0.75) = 2.25m$$

حساب عرض الأساس

$$B = \frac{2P}{q_{a-net}.L'} = \frac{2*500}{200*2.25} = 2.22\ m$$

بفرض B=2.25m، تكون الاجهادات تحت الأساس :

$$q_{\max} = \frac{2P}{B.L'} = \frac{2*500}{2.25*2.25} = 197.5\ kN/m^2$$



الشكل 3. 5 : مثال (1) أبعاد وتفاصيل

3- تحديد ارتفاع الأساس :

يجب أن يحقق ارتفاع الأساس شرط البروز وشرط القص باتجاهين (الثقب) وشرط القص باتجاه واحد وشرط العزم:

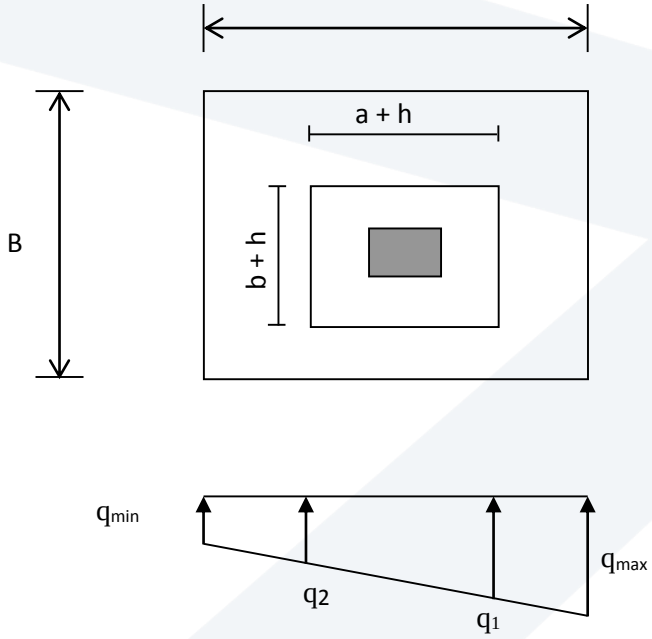
3. 1 شرط القص باتجاهين (الثقب)

يمكن أن يحدث الثقب غير المباشر نتيجة لقوى القص على بعد h/2 من أوجه العمود (الشكل 3. 6) وتعطى الاجهادات القاصة بالعلاقة :

$$\tau = \frac{Q}{0.85 P_c h} \le 5.5\sqrt{f_c'} \qquad (8.3)$$

$$Q = P - (a+h)(b+h)\frac{q_1 + q_2}{2} \qquad (9.3)$$

$$P_c = 2[(a+h)+(b+h)] \qquad (10.3)$$



الشكل 3. 6 : القص باتجاهين

3. 2 شرط القص باتجاه واحد

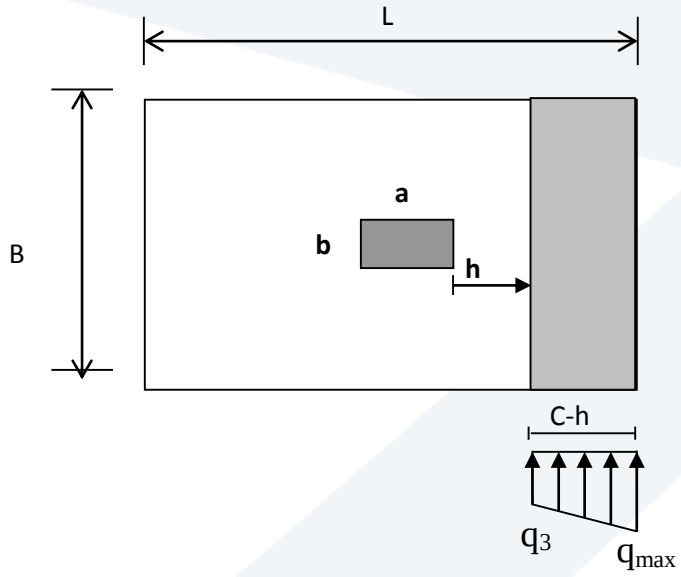
يكفي التحقق من القص لشريحة واحدة تقع على بعد h من وجه العمود, في جهة الاجهاد الأعظمي تحت الأساس (الشكل 3. 7).

تعطى الاجهادات القاصة بالمتر الطولي بالعلاقة :

$$\tau = \frac{Q}{0.85\ h} \le 4.4\sqrt{f_c'} \qquad (11.3)$$

حيث :

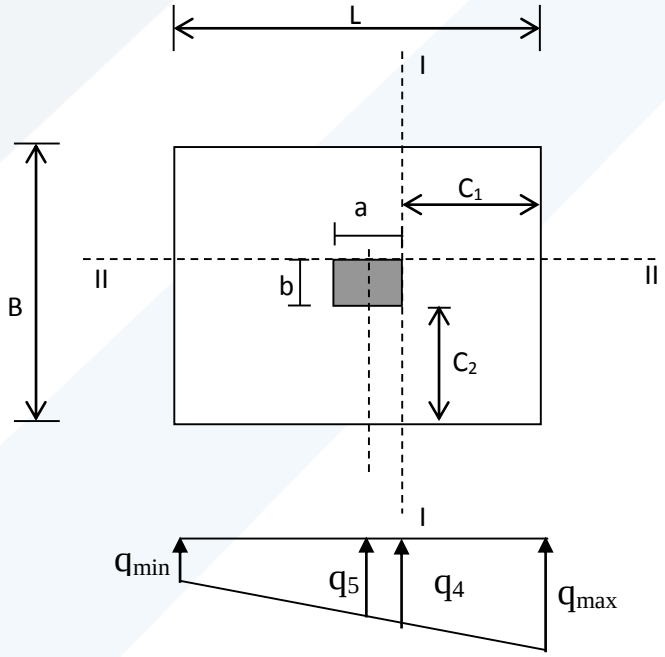
$$Q = \frac{q_3 + q_{max}}{2}(C - h) \qquad (12.3)$$



الشكل 3. 7 : القص باتجاه واحد

3. 3 شرط العزم :

يكفي التحقق من القص لشريحة واحدة تقع عند وجه العمود, في جهة الاجهاد الأعظمي تحت الأساس (الشكل 3. 8).



الشكل 3. 8 : شرط العزم

تعطى عزوم الانعطاف بالمتر الطولي بالعلاقات التالية :

$$M_{I-I} = \frac{2q_{\max} + q_4}{6} C_1^2 \qquad (13.3)$$

$$M_{II-II} = \frac{q_{\max} + q_5}{2} \frac{C_2^2}{2} \qquad (14.3)$$

الارتفاع الأصغري اللازم لتحقيق شرط العزم :

$$h \geq \gamma_h \sqrt{\frac{M_{\max}}{\bar{\sigma}_c'}} \qquad (15.3)$$

حيث:

$$M_{\max} = \max\left(M_{I-I}\ , M_{II-II}\right) \qquad (16.3)$$

$\bar{\sigma}_c'$ الاجهاد المسموح للبيتون على الضغط بالانعطاف

4- حساب تسليح الأساس :

يحسب تسليح الأساس بالاتجاهين, ويجب ألا يقل التسليح عن التسليح الأصغري الذي تم توضيحه في حالة الأساس المعرض لقوة محورية.

5- التحقق من التماسك :

يتم التحقق من التماسك باستخدام نفس قوانين الأساس المنفرد الخاضع لقوة محورية مع الأخذ بعين الاعتبار تغير الاجهادات تحت الأساس.

3. 4 خطوات تصميم الأساس رجل البطة بطريقة المرونة

يصادف الأساس رجل البطة عند الحدود مع الجوار حيث يمتد الأساس من جهة واحدة فقط, ولا يفضل استخدام هذه الأساسات حيث أنها غير اقتصادية من جهة ويحصل فيها دوران كبير من جهة أخرى بسبب لا مركزيتها الكبيرة.

من الشكل 3. 9 يمكن أن تعطى لا مركزية القوة بالعلاقة : $e = \frac{L - a}{2}$

لكي لا تظهر إجهادات شادة تحت الأساس يجب أن يكون $|e| \leq \frac{L}{6}$, أي يجب أن يكون $L \leq 1.5a$.

إن هذا الطول صغير جداً وخاصة إذا كان البعد الكبير للعمود a في الاتجاه العمودي على اتجاه اللامركزية (لا ينصح بهذه الحالة), وغالباً ما يستخدم طول للأساس أكبر من ذلك ولكن لا يتم أخذ القسم المعرض للاجهادات الشادة بالحسبان, **ويشترط البعض ألا يتجاوز طول القسم المشدود من الأساس ثلث طول الأساس.**

من الشكل السابق :

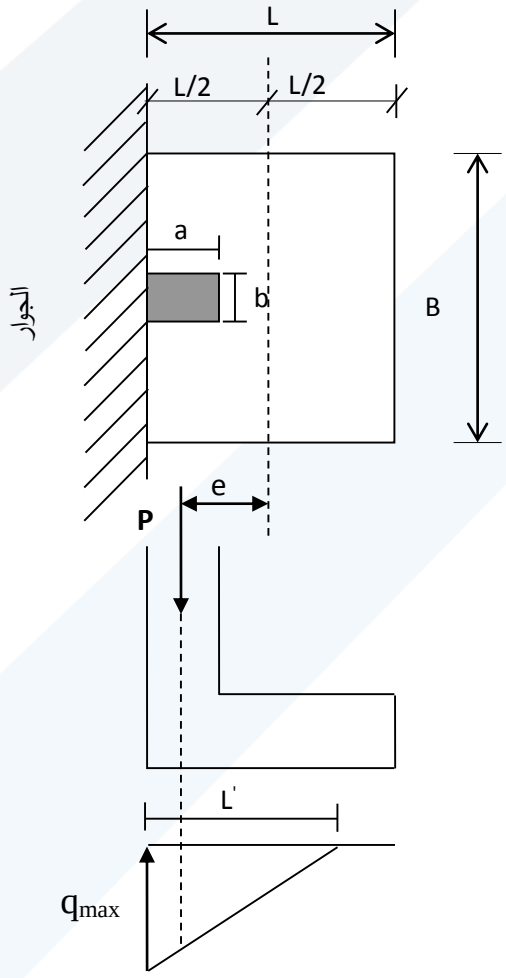
$$P = \frac{q_{max}\ L'\ B}{2} \Rightarrow q_{max} = \frac{2P}{B\ L'} \qquad (17.3)$$

بتعويض L' بـ $1.5a$ في العلاقة السابقة, نحصل على :

$$q_{max} = \frac{4P}{3a\ B} \qquad (18.3)$$

بفرض $q_{max} = q_{a\text{-}net}$, نحصل على :

$$B = \frac{4P}{3a\ q_{a-net}} \qquad (19.3)$$



الشكل 3. 9 : أساس رجل بطة

مثال 2

يطلب تصميم أساس مناسب لعمود مستطيل مقطعه 40cm*60cm ، ينقل حمولة P=900 kN وعزم دائم M=270kN.m , في المستوي الموازي للاتجاه الطويل للعمود ، علماً بأن :

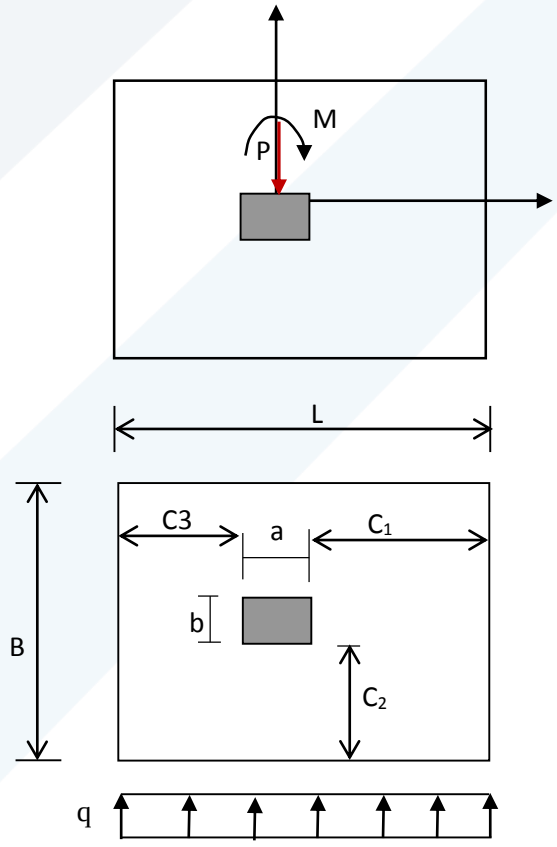
- قدرة تحمل التربة المسموحة الصافية $q_{a\text{-}net}=150kN/m^2$
- المقاومة المميزة للبيتون $f'_c=25MN/m^2$
- المقاومة المميزة للفولاذ $f_y=400MN/m^2$

الحل

$$e=\frac{M}{P}=\frac{270}{900}=0.3m$$

الحل الأول : إلغاء اللامركزية

يمكن إلغاء اللامركزية عن طريق استخدام بروزين غير متساويين في اتجاه العزم ($C_1=C_3+e=C_3+0.3m$) ، أما في الاتجاه الآخر فنستخدم بروزين متساويين (C_2)



$$A = \frac{P}{q_{a-net}} = \frac{900}{150} = 6m^2$$

نختار L=2.8m و B=2.2m (C_1=1.25m, C_2=0.9m, C_3=0.95m)

$$q = \frac{P}{A} = \frac{900}{2.2*2.8} = 146.1 kN/m^2$$

من شرط البروز نفرض ارتفاع الأساس

$$H \geq \frac{C_{\max}}{2} = \frac{1.25}{2} = 0.625m$$
$$H = 0.65m \Rightarrow h = H - 0.07 = 0.58m$$

التحقق من القص باتجاهين (الثقب)

$$Q = P - q\,(a+h)(b+h) = 900 - 146.1*(0.4+0.58)(0.6+0.58) = 731.04\ kN$$
$$P_c = 2\left[(a+h)+(b+h)\right] = 2*\left[(0.4+0.58)+(0.6+0.58)\right] = 4.32\ m$$
$$\tau = \frac{Q}{0.85 P_c\, h} = \frac{731.04}{0.85*4.32*0.58} = 343.25\ kN/m^2 < 5.5\sqrt{f_c'} = 5.5*\sqrt{25000} = 869.6\ kN/m^2$$

التحقق من القص باتجاه واحد

$$Q = q\,(C_{\max} - h) = 146.1*(1.25-0.58) = 97.9\ kN/m$$
$$\tau = \frac{Q}{0.85\,h} = \frac{97.9}{0.85*0.58} = 198.6\ kN/m^2 << 4.4\sqrt{f_c'} = 4.4*\sqrt{25000} = 695.7\ kN/m^2$$

التحقق من كفاية الارتفاع على العزم وحساب التسليح :

$$M_{\max} = q\frac{C_{\max}^{\ 2}}{2} = 146.1*\frac{1.25^2}{2} = 114.1\ kN.m/m$$
$$\overline{\sigma}_c' = 0.55\, f_c' = 0.55*25000 = 13750\ kN/m^2$$
$$\overline{\sigma}_s = 0.55\, f_y = 0.55*400000 = 220000\ kN/m^2$$
$$\gamma_0 = n\frac{\overline{\sigma}_c'}{\overline{\sigma}_s} = 15*\frac{13750}{220000} = 0.94$$
$$\gamma_x = \frac{\gamma_0}{1+\gamma_0} = \frac{0.94}{1+0.94} = 0.485$$
$$\gamma_z = 1 - \frac{\gamma_x}{3} = 1 - \frac{0.485}{3} = 0.84$$

$$\gamma_h = \sqrt{\frac{2}{\gamma_x \gamma_z}} = \sqrt{\frac{2}{0.485*0.84}} = 2.22$$

$$h \geq \gamma_h \sqrt{\frac{M_{\max}}{\bar{\sigma}_c'}} = 2.22 * \sqrt{\frac{114.1}{13750}} = 0.2m < h = 0.58m$$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_z . h . \bar{\sigma}_s} = \frac{114.1}{0.84*0.58*220000} = 0.0011m^2/m = 11cm^2/m$$

$$A_{s,\min} = 0.002*h = 0.002*100*58 = 11.6cm^2/m > A_s \Rightarrow A_s = 11.6cm^2/m$$

$$Use\ 7.5T14mm/m \Leftrightarrow 17T14mm\ (in\ side\ L) \quad and \quad 21T14mm\ (in\ side\ B)$$

$$M_2 = q\frac{C_2^{\,2}}{2} = 146.1*\frac{0.9^2}{2} = 59.2\ kN.m/m$$

$$M_3 = q\frac{C_3^{\,2}}{2} = 146.1*\frac{0.95^2}{2} = 66.1\ kN.m/m$$

التسليح أصغر من التسليح الأصغري ولذلك نعمم التسليح $7.5T14mm/m$ في كل اتجاه.

التحقق من التلاحم (التماسك) :

$$Q_{\max} = q . C_{\max} . b = 146.1*1.25*1 = 182.6\ kN$$

$$\sum\phi = 7.5*\pi*14 = 330mm = 0.33m$$

$$\tau = \frac{Q}{0.85h\sum\phi} = \frac{182.6}{0.85*0.58*0.33} = 1122\ kN/m^2 < \bar{\tau}_s = (1200-1500)\ kN/m^2$$

الحل الثاني : المحافظة على اللامركزية

$$q_{\max,\min} = \frac{P}{B*L}(1 \pm 6\frac{e}{L})$$

بفرض L=2.8m وبالتعويض بالعلاقة السابقة :

$$150 = \frac{900}{B*2.8}(1+6\frac{0.3}{2.8}) \Rightarrow B \geq \frac{528.06}{150} = 3.5m > L \quad Not \quad OK$$

بفرض L=3.2m وبالتعويض بالعلاقة السابقة :

$$150 = \frac{900}{B*3}(1+6\frac{0.3}{3}) \Rightarrow B \geq \frac{439.45}{150} = 2.93m$$

$$Take\ L = 3.2m, \quad B = 3m$$

$$C_1 = \frac{3.2-0.6}{2} = 1.3m$$

$$C_2 = \frac{3-0.4}{2} = 1.3m$$

$$q_{\max,\min} = \frac{900}{3*3.2}(1 \pm 6\frac{0.3}{3.2}) = 93.75 \pm 52.73$$

$$\Rightarrow q_{\max} = 146.48\,kN/m^2 \quad q_{\min} = 41.02\,kN/m^2 > 0$$

شرط القص باتجاهين (الثقب)

من شرط البروز نفرض H=0.65m

$$\tau = \frac{Q}{0.85 P_c\, h} \le 5.5\sqrt{f_c'}$$

$$Q = P - (a+h)(b+h)\frac{q_1+q_2}{2}$$

$$P_c = 2\left[(a+h)+(b+h)\right]$$

$$q = q_{\min} + (\frac{q_{\max} - q_{\min}}{L})\ X$$

$$q = 41.02 + \frac{146.48 - 41.02}{3.2}\ X = 41.02 + 32.96 * X$$

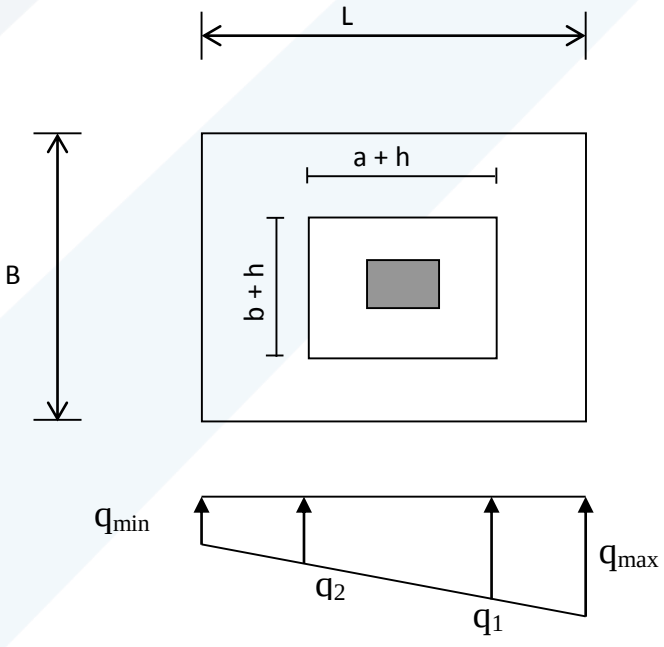
$$X = C - h/2 = 1.01m \Rightarrow q_2 = 41.02 + 32.96 * 1.01 = 74.31\,kN/m^2$$

$$X = C + a + h/2 = 2.19m \Rightarrow q_1 = 41.02 + 32.96 * 2.19 = 113.2\,kN/m^2$$

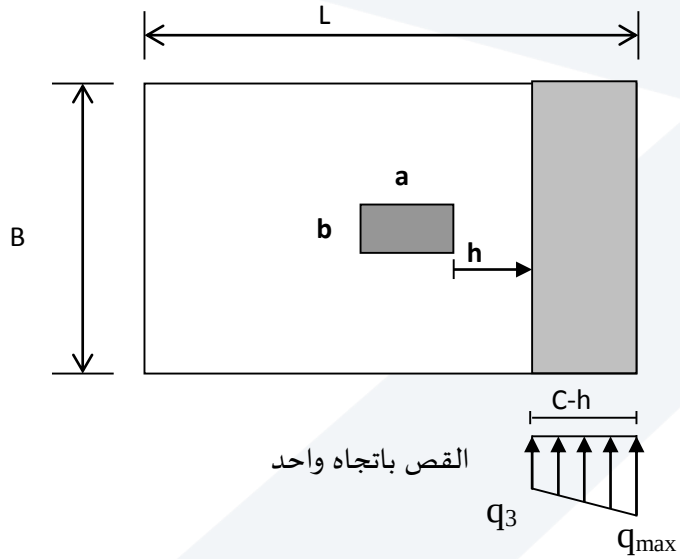
$$Q = P - (a+h)(b+h)\frac{q_1+q_2}{2} = 900 - (0.6+0.58)(0.4+0.58) * \frac{113.2+74.31}{2} = 791.6\,kN$$

$$P_c = 2\left[(0.6+0.58)+(0.4+0.58)\right] = 4.32m$$

$$\tau = \frac{791.6}{0.85 * 4.32 * 0.58} = 371.7\ kN/m^2 < 5.5\sqrt{f_c'} = 5.5 * \sqrt{25000} = 869.6\ kN/m^2$$



شرط القص باتجاه واحد

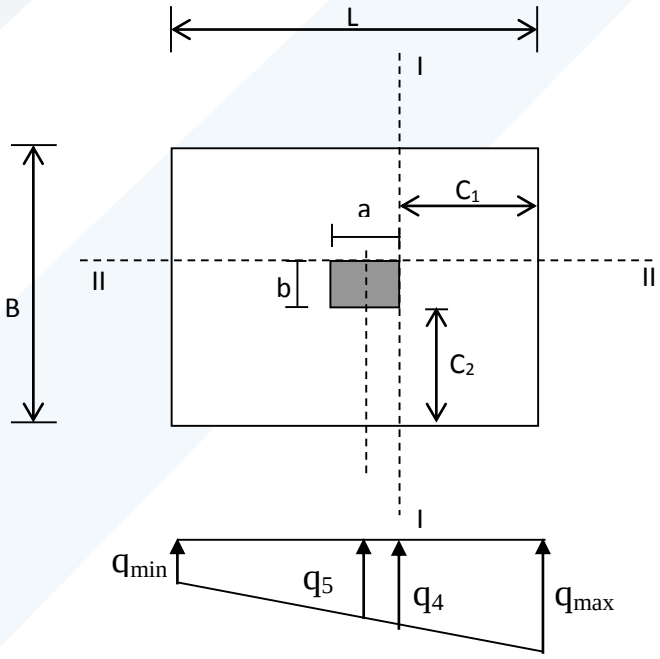


$$X = C + a + h = 2.48m \Rightarrow q_3 = 41.02 + 32.96 * 2.48 = 122.8\ kN/m^2$$

$$Q = \frac{q_3 + q_{max}}{2}(C - h) = \frac{122.8 + 146.48}{2}(1.3 - 0.58) = 96.9\ kN/m$$

$$\tau = \frac{Q}{0.85\ h} = \frac{96.9}{0.85 * 0.58} = 196.6\ kN/m^2 \le 4.4\sqrt{f_c'} = 4.4 * \sqrt{25000} = 695.7\ kN/m^2$$

التحقق من كفاية الارتفاع على العزم وحساب التسليح :



$$X = C + a/2 = 1.6m \Rightarrow q_5 = 41.02 + 32.96*1.6 = 93.76\ kN/m^2/m$$
$$X = C + a = 1.9m \Rightarrow q_4 = 41.02 + 32.96*1.9 = 103.64\ kN/m^2/m$$

تعطى عزوم الانعطاف بالمتر الطولي بالعلاقات التالية :

$$M_{I-I} = \frac{2q_{\max} + q_4}{6} C_1^2 = \frac{2*146.48 + 103.64}{6} * (1.3)^2 = 111.7\ kN.m/m$$

$$M_{II-II} = \frac{q_{\max} + q_5}{2} \frac{C_2^2}{2} = \frac{146.48 + 93.76}{2} * \frac{(1.3)^2}{2} = 101.5\ kN.m/m$$

الارتفاع الأصغري اللازم لتحقيق شرط العزم :

$$h \geq \gamma_h \sqrt{\frac{M_{\max}}{\bar{\sigma}_c'}} = 2.22 * \sqrt{\frac{111.7}{13750}} = 0.2m < h = 0.58m$$

حساب التسليح

$$A_s = \frac{M}{\gamma_z . h . \bar{\sigma}_s} = \frac{111.7}{0.84*0.58*220000} = 0.00104m^2/m = 10.4cm^2/m$$
$$A_{s,\min} = 0.002*h = 0.002*100*58 = 11.6cm^2/m > A_s \Rightarrow A_s = 11.6cm^2/m$$
$$Use\ 7.5T14mm/m \Leftrightarrow 23T14mm\ (in\ side\ L) \quad and \quad 24T14mm\ (in\ side\ B)$$

التسليح الأصغري هو المسيطر ولذلك نعمم التسليح الأصغري $7.5T14mm/m$ في كل الاتجاهات

التحقق من التلاحم (التماسك) :

$$Q_{\max} = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_4}{2} . C . 1 = \frac{146.48 + 103.64}{2} * 1.3 * 1 = 162.6kN$$
$$\sum \phi = 7.5 * \pi * 14 = 330mm = 0.33m$$
$$\tau = \frac{Q}{0.85h \sum \phi} = \frac{162.6}{0.85*0.58*0.33} = 999.4kN/m^2 < \bar{\tau}_s = (1200 - 1500)\ kN/m^2$$

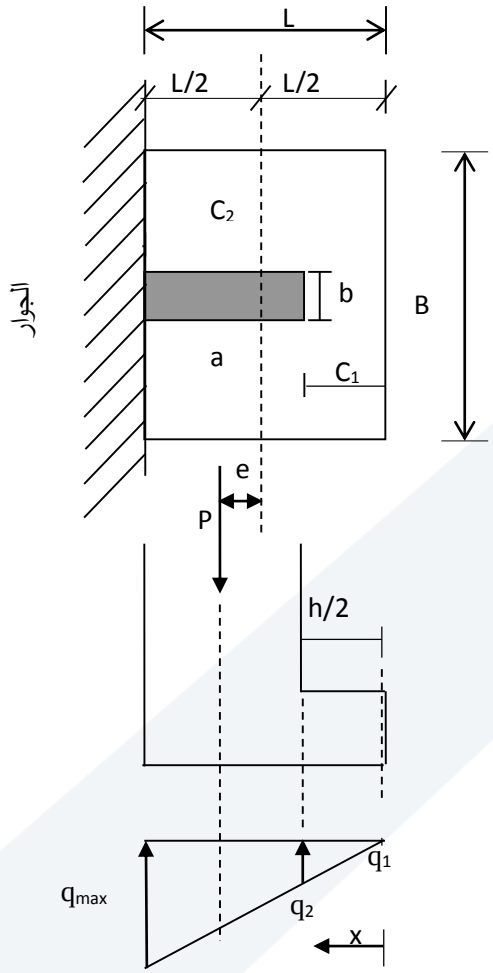
نلاحظ أن حل إلغاء اللامركزية أكثر اقتصادية من الحل الثاني من حيث الأبعاد والتسليح

مثال 3

يطلب تصميم أساس لعمود طرفي مجاور لخط الملكية، مقطع العمود 35cm*70cm, ومحمل بحمولة محورية شاقولية كلية P=420kN ، علماً بأن قدرة تحمل التربة المسموحة الصافية $q_{a\text{-}net}=240kN/m^2$ وأن

$$f_y = 360MN/m^2,\ f_c^{'} = 25MN/m^2$$

ملاحظة : استخدم الطريقة المرنة في الحل



الحل

تحديد أبعاد الأساس

$$q_{\max,\min} = \frac{P}{B*L}(1 \pm 6\frac{e}{L})$$

حتى لا تظهر اجهادات شادة يجب أن يكون : $L \le 1.5a = 1.05m$

وتكون اللامركزية $e = \frac{L-a}{2} = \frac{1.05-0.7}{2} = 0.175m$

بالتعويض في العلاقة السابقة :

$$q_{\max} = 240 = \frac{420}{B*1.05}(1+6\frac{0.175}{1.05}) \Rightarrow B = \frac{800}{240} = 3.33m$$

نفرض L=1.05m, B=3.35m

$$\Rightarrow C_1 = 0.35m,\quad C_2 = 1.5m$$

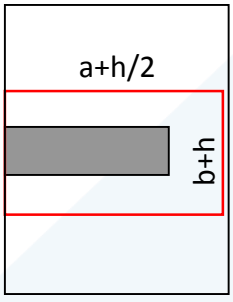
حساب الاجهادات تحت الأساس :

$$q_{\max,\min} = \frac{420}{3.35*1.05}(1 \pm 6\frac{0.175}{1.05}) = 119.4 \pm 119.4$$
$$\Rightarrow q_{\max} = 238.8\ kN/m^2,\quad q_{\min} = 0$$

تحديد ارتفاع الأساس

من شرط البروز $(H \ge \frac{C_{\max}}{2})$، نفرض $H = 0.75m\ and\ h = 0.68m$

شرط القص باتجاهين (الثقب)



إعداد الدكتور رامي اسطة

$$q = (\frac{q_{max}}{L})\ X$$

$$q = \frac{238.8}{1.05}\ X = 227.43 * X$$

$$X = C_1 - h/2 = 0.01m \Rightarrow q_1 = 227.43 * 0.01 = 2.3\ kN/m^2$$

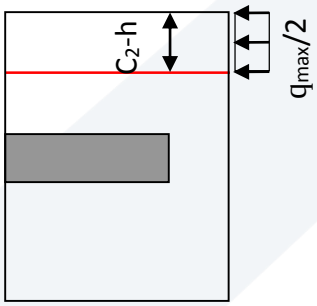
$$X = C_1 = 0.35m \Rightarrow q_2 = 227.43 * 0.35 = 79.6\ kN/m^2$$

$$Q = P - (a + \frac{h}{2})(b + h)\frac{q_1 + q_{max}}{2} = 420 - (0.7 + 0.34)(0.35 + 0.68) * \frac{2.3 + 238.8}{2} = 418.4\ kN$$

$$P_c = 2(a + \frac{h}{2}) + (b + h) = 2 * (0.7 + 0.34) + (0.35 + 0.68) = 3.11m$$

$$\tau = \frac{418.4}{0.85 * 3.11 * 0.68} = 232.8\ kN/m^2 < 5.5\sqrt{f'_c} = 5.5 * \sqrt{25000} = 869.6\ kN/m^2$$

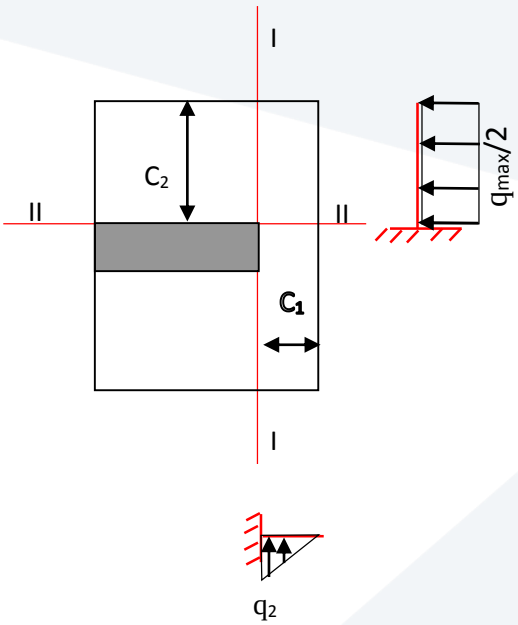
شرط القص باتجاه واحد



$$Q = \frac{q_{max}}{2}(C_2 - h) = \frac{238.8}{2}(1.5 - 0.68) = 97.9\ kN/m^2/m$$

$$\tau = \frac{Q}{0.85\ h} = \frac{97.9}{0.85 * 0.68} = 169.4\ kN/m^2 \le 4.4\sqrt{f'_c} = 4.4 * \sqrt{25000} = 695.7\ kN/m^2$$

2. 3 شرط العزم :



تعطى عزوم الانعطاف بالمتر الطولي بالعلاقات التالية :

$$M_{I-I} = \frac{q_2}{6} C_1^2 = \frac{79.6}{6} * (0.35)^2 = 1.6 kN.m/m$$

$$M_{II-II} = \frac{q_{max}}{2} \frac{C_2^2}{2} = \frac{238.8}{2} * \frac{(1.5)^2}{2} = 134.3\ kN.m/m$$

الارتفاع الأصغري اللازم لتحقيق شرط العزم :

$$h \geq \gamma_h \sqrt{\frac{M_{max}}{\bar{\sigma}_c'}} = 2.22 * \sqrt{\frac{134.3}{13750}} = 0.22m < h = 0.68m$$

حساب التسليح

$$A_s = \frac{M}{\gamma_z . h . \bar{\sigma}_s} = \frac{134.3}{0.84 * 0.68 * 220000} = 0.0011 m^2/m = 11 cm^2/m$$

$$A_{s,min} = 0.002 * h = 0.002 * 68 = 13.6 cm^2/m > A_s \Rightarrow A_{s\,min} = 13.6 cm^2/m$$

$$\Leftrightarrow 45.6 cm^2/B \ and \ 14.3 cm^2/L$$

$$Use\ 23T16mm/B \quad and \quad 7T16mm/L$$

التحقق من التلاحم (التماسك) :

$$Q_{max} = \frac{q_{max}}{2} . C_2 . L = \frac{238.8}{2} * 1.5 * 1.05 = 188.1 kN$$

$$\sum \phi = 7 * \pi * 16 = 352mm = 0.352m$$

$$\tau = \frac{Q}{0.85 h \sum \phi} = \frac{188.1}{0.85 * 0.68 * 0.352} = 925 kN/m^2 < \bar{\tau}_s = (1200 - 1500)\ kN/m^2$$