تصميم الأساسات المنفردة المحملة بقوة شاقولية محورية

مقدمة

يصمم الأساس السطحي من أجل نقل حمولات المنشأ إلى تربة التأسيس بأمان ودون أن تتجاوز الاجهادات المنقولة إلى التربة قدرة تحمل التربة المسموحة.

2. 1- معنى تصميم الأساسات

تصميم الأساس يعني إيجاد المعلومات التالية :

أ- نوع الأساس

ب- عمق منسوب التأسيس

ت- أبعاد الأساس وارتفاعه

ث- حديد التسليح وتوزيعه

ج- نوعية ومواصفات الاسمنت ومقاومة البيتون وحديد التسليح

ح- عزل الأساسات

خ- احتياطات الحفر واحتياطات حماية أساسات المباني المجاورة

د- تحسين التربة تحت الأساسات عند الضرورة وشروط تربة التحسين وكيفية التنفيذ

ذ- نوعية ومواصفات تربة الردم حول الأساسات وطريقة التنفيذ

ر- طريقة ضخ المياه من الموقع

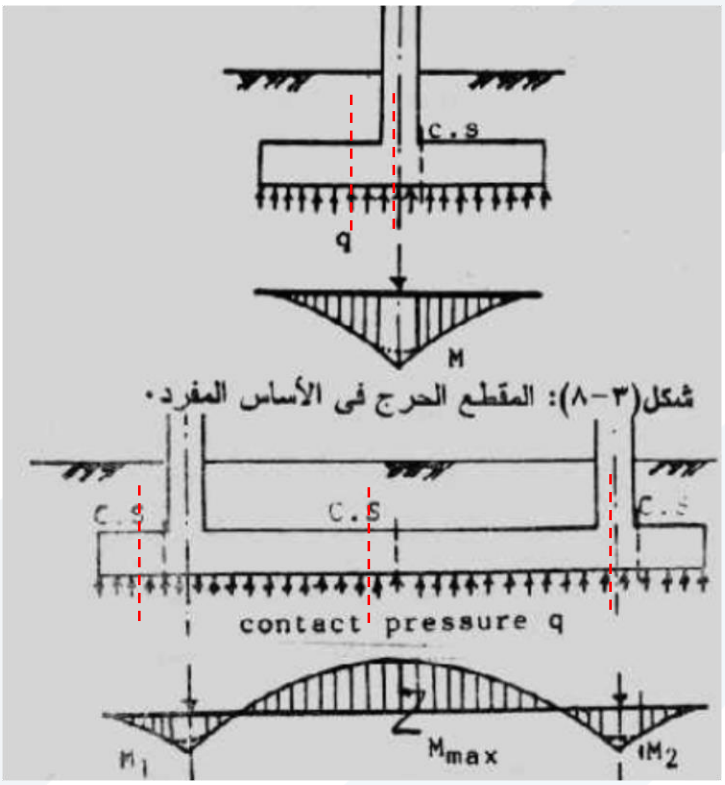
2. 2- المقاطع الحرجة لتصميم الأساسات

أ-المقطع الحرج للعزم

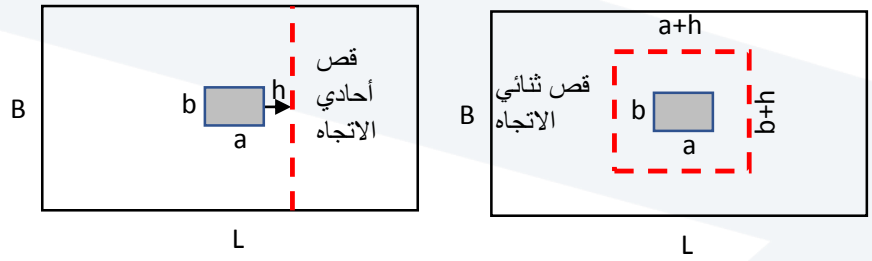
يقع المقطع الحرج للعزم للأساس المنفرد حول العمود، أما بالنسبة لبقية أنواع الأساسات فيتم رسم مخطط العزم للأساس وتحديد موقع القيمة العظمى للعزم من المخطط (الشكل 2. 1).

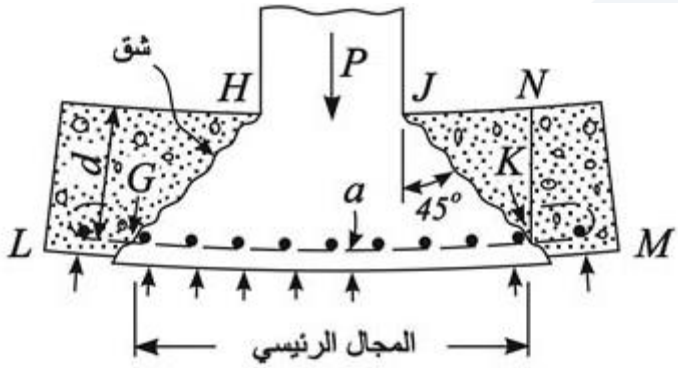
ب-المقطع الحرج للقص

يؤخذ المقطع الحرج للقص أحادي الاتجاه (Shear or wide beam) على بعد يساوي الارتفاع الفعال h للمقطع من وجه العمود (الشكل 2. 2)، أما المقطع الحرج على ثنائي الاتجاه أو الثقب ((Two-way shear stress or Punshing فيؤخذ على بعد h/2 من أوجه العمود، ويكون المقطع الحرج للثقب بالنسبة للعمود الركني من اتجاهين فقط، أما بالنسبة للعمود الطرفي فيكون من ثلاثة اتجاهات، وللعمود الوسطي يكون من أربعة اتجاهات.



الشكل 2. 1 : المقاطع الحرجة للأساسات على العزم





الشكل 2. 2 : المقاطع الحرجة للأساسات على القص

2. 2- حالات استخدام الأساس المنفرد

يستعمل الأساس المنفرد في الحالات التالية :

أ- الحمل المطبق على العمود صغير أو معتدل القيمة

ب- لا تشغل مساحات الأساسات المنفردة في المسقط أكثر من ثلثي مساحة رقعة البناء

ت- لا يوجد تداخل بين الأساسات المتجاورة

ث- منسوب المياه في الموقع أخفض من منسوب التأسيس للأساسات المنفردة

2. 4 تصميم الأساسات المنفردة المحملة بقوة محورية بطريقة المرونة (اجهاد التشغيل)

تتلخص مراحل تصميم الأساس المنفرد المعرض لقوة محورية بطريقة المرونة (اجهاد التشغيل) بالتالي :

1-حساب أقصى حمولة متوقعة للعمود من الأحمال الحية والدائمة

2- حساب مساحة الأساس الأصغرية اللازمة وتحديد أبعاده :

بفرض الحمولة التشغيلية المنقولة بواسطة الأساس P, وقدرة تحمل التربة المسموحة الصافية $q_{a\text{-}net}$ فإن مساحة الأساس تحسب من العلاقة :

$$A = \frac{P}{q_{a-net}} \qquad (1.2)$$

يتم تحديد أبعاد الأساس (L و B للأساس المستطيل و D للأساس الدائري, حيث D قطر الأساس) بالتقريب لأقرب 5cm زيادة, ويفضل أن تكون البروزات متساوية بالاتجاهين. تحدد بروزات الأساس بالاتجاهين بالعلاقات التالية:

- أساس مستطيل : $C_2 = \frac{B-b}{2}$ $C_1 = \frac{L-a}{2}$

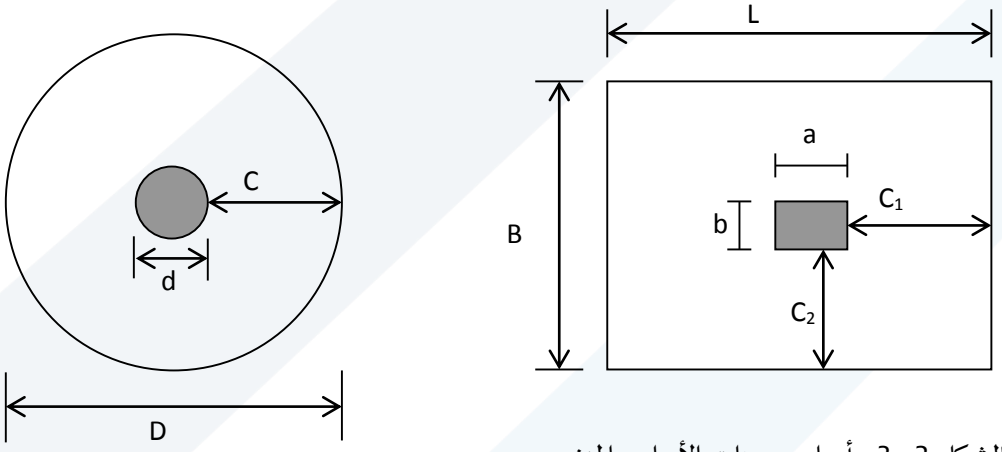
- أساس دائري : $C = \frac{D-d}{2}$

جيث : a و b أبعاد العمود المستطيل المقطع, d قطر العمود الدائري (الشكل 2. 3).

يجب ألا يقل البعد الأصغري للأساس عن البعد الأصغري المسموح, المحدد بالكود العربي السوري بالتالي :

أ- 100 cm للترب القوية, التي لا تقل قدرة تحملها المسموحة عن $300\ kN/m^2$.

ب- 120 cm للترب الضعيفة, التي لا تزيد قدرة تحملها المسموحة عن $100\ kN/m^2$.



الشكل 2. 3 : أبعاد وبروزات الأساس المنفرد

3- حساب الاجهادات الفعلية تحت الأساس :

تحسب الاجهادات الفعلية تحت الأساس بالعلاقة :

$$q = \frac{P}{B*L} \le q_{a-net} \qquad (2.2)$$

4- تحديد ارتفاع الأساس :

يتم اختيار ارتفاع الأساس بحيث يحقق الشروط التالية :

أ- شرط البروز

لكي يكون الأساس صلباً يشترط ألا يقل ارتفاع الأساس عن القيم التالية :

1- الأساسات من البيتون المسلح : نصف طول البروز الأعظمي للأساس, أو 25cm (أيهما أكبر).

2- الأساسات من البيتون العادي (الكتلية) : 1.5 طول البروز الأعظمي

ب- **شرط القص ثنائي الاتجاه (الثقب) (Two-way shear stress or Punshing)**

يمكن أن يحدث الثقب نتيجة لقوى القص على بعد h/2 من أوجه العمود (الشكل 2. 4) و تعطى الاجهادات القاصة بالعلاقة :

$$\tau = \frac{Q}{0.85 P_c h} \le 5.5\sqrt{f_c'} \qquad (3.2)$$

Q تمثل قوة القص المسببة للثقب غير المباشر, وتحسب بالعلاقة :

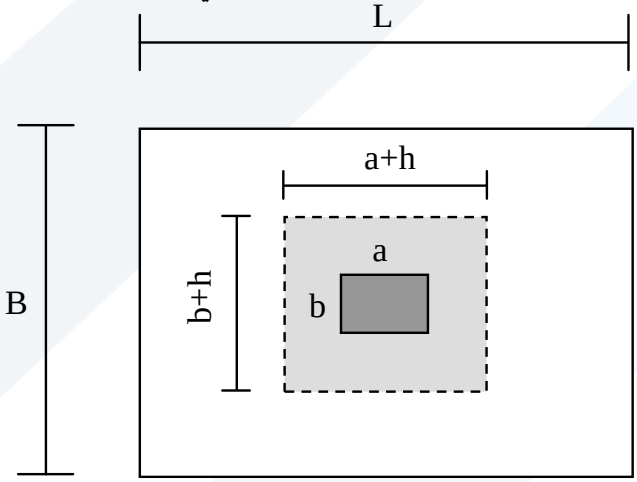
$$Q = P - q\,(a+h)(b+h) \qquad (4.2)$$

Pc محيط الثقب (الشكل 6.2), ويحسب بالعلاقة :

$$P_c = 2\left[(a+h)+(b+h)\right] \qquad (5.2)$$

f_c' المقاومة المميزة للبيتون (kN/m^2)

h الارتفاع الفعال للأساس h=H-t , حيث t سماكة بيتون التغطية ويجب ألا تقل عن 7cm .



الشكل 2. 4 : القص ثنائي الاتجاه (الثقب)

ت- **شرط القص باتجاه واحد (One-way shear stress or Wide beam)**

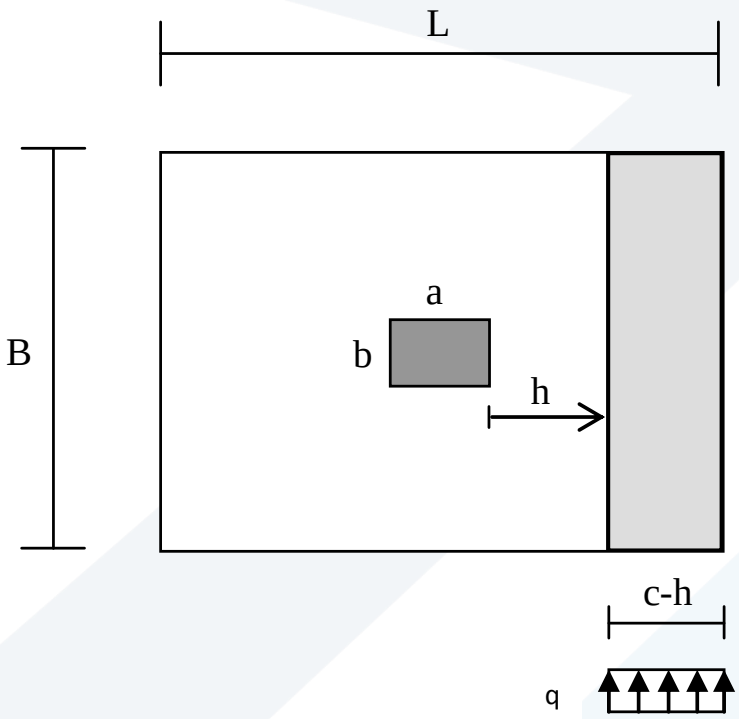
يمكن أن يحدث االقص أحادي الاتجاه على بعد h من وجه العمود (الشكل 2. 5). تعطى الاجهادات القاصة على المتر الطولي بالعلاقة :

$$\tau = \frac{Q_{max}}{0.85 B h} \le 4.4\sqrt{f_c'} \qquad (6.2)$$

حيث,

Q تمثل قوة القص, وتحسب بالعلاقة : $Q_{max} = q\,(C_{max} - h)\,B$

C_{max} البروز الأعظمي.



الشكل 5 .2 : القص باتجاه واحد

ث- شرط العزم :

يعطى العزم الأعظمي بالمتر الطولي عند وجه العمود (الشكل 6 .2) بالعلاقة :

$$M_{max} = q\frac{C_{max}^2}{2}B \qquad (7.2)$$

الارتفاع الأصغري اللازم لتحقيق شرط العزم :

$$h \geq \gamma_h \sqrt{\frac{M_{max}}{\overline{\sigma}_c^{'}\,B}} \qquad (8.2)$$

حيث :

$\overline{\sigma}_C^{'}$ الاجهاد المسموح للبيتون على الضغط بالانعطاف

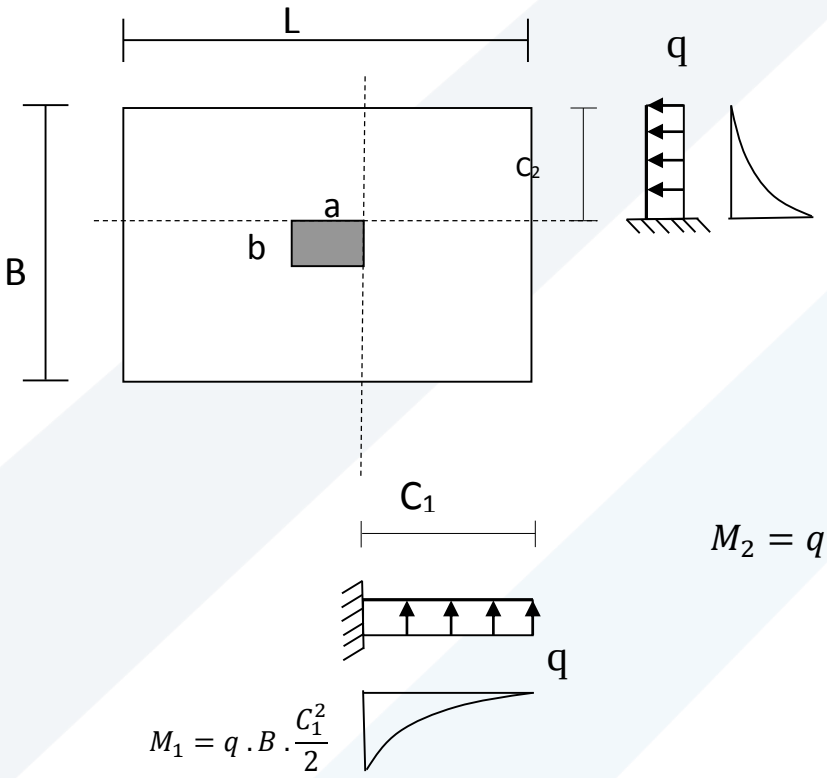
γ_h عامل لا بعدي يعطى بالعلاقة :

$$\gamma_h = \sqrt{\frac{2}{\gamma_x\,\gamma_z}}$$

$$\gamma_x = \frac{\gamma_0}{1+\gamma_0}, \quad \gamma_z = 1 - \frac{\gamma_x}{3}, \quad \gamma_0 = n\frac{\bar{\sigma}_c'}{\bar{\sigma}_s}$$

$\bar{\sigma}_s$ الاجهاد المسموح لحديد التسليح على الشد

n عامل تؤخذ قيمته مساوية عادة لـ 15



$$M_2 = q \,.\, L \,.\, \frac{C_2^2}{2}$$

$$M_1 = q \,.\, B \,.\, \frac{C_1^2}{2}$$

الشكل 2. 6 : شرط العزم

ملاحظة :

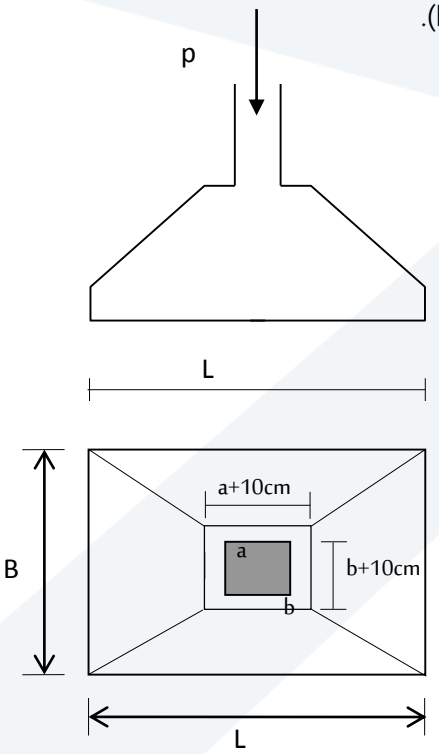
عندما يكون ارتفاع الأساس اللازم كبيراً (H > 40 cm) فإنه يفضل استخدام أساس متغير الارتفاع (الشكل 2. 7). في هذه الحالة :

أ- يجب ألا يزيد ميل سطح البيتون عن :

- 1 شاقولي : 1.25 أفقي للأساسات من البيتون المسلح
- 1 شاقولي : 1.4 أفقي للأساسات الكتلية

ب- يجب ألا يقل ارتفاع الأساس عند الطرف عن ½ الارتفاع الأعظمي للأساس (عند وجه العمود).

ت- من أجل تحقيق شروط القص يتم حساب ارتفاع الأساس عند موقع المقطع المطلوب. أما بالنسبة لشرط العزم فتؤخذ h الأعظمية, أما عرض الأساس B فيستبدل بالعرض عند وجه العمود ذي الارتفاع الأعظمي, ويكون عادة مساوياً لـ (b+10)cm.



الشكل 2. 7 : أساس متغير الارتفاع

4- حساب تسليح الأساس :

يتم حساب تسليح الأساس بالعلاقة :

$$A_s = \frac{M}{\gamma_z \bar{\sigma}_s h} \qquad (9.2)$$

يجب ألا يقل عدد قضبان التسليح للأساس في كل اتجاه عن :

أ- 5T10 mm/m للفولاذ عالي المقاومة

ب- 5ϕ12 mm/m للفولاذ المطاوع

كما يجب ألا تقل مساحة حديد التسليح الأصغرية عن 0.002 A'c, حيث A'_c مقطع البيتون الفعال العمودي على الفولاذ.

5- التحقق من التلاحم (التماسك) :

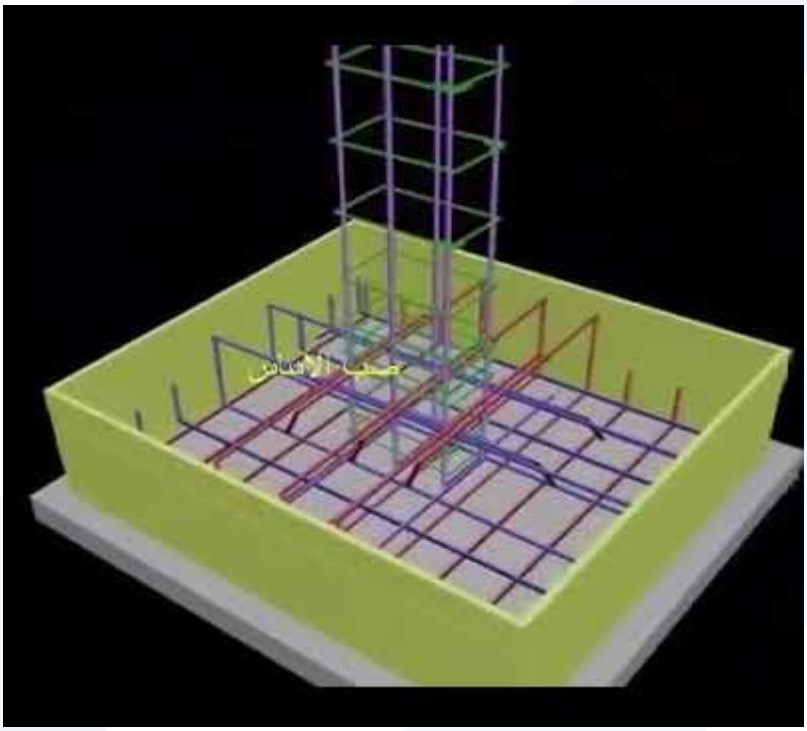
$$\tau = \frac{Q}{0.85h\sum\phi} \le \bar{\tau}_s \qquad (10.2)$$

$\bar{\tau}_S$ اجهاد التماسك المسموح, وتتراوح قيمته kN/m^2 (800-1000) للحديد العادي و kN/m^2(1200-1500) للحديد عالي المقاومة.

Q اجهاد القص عند وجه العمود $Q = q \cdot C \cdot B$

$\Sigma\phi$ مجموع محيط قضبان التسليح عند وجه العمود

يبين الشكل 2. 8 تسليح الأساس المنفرد



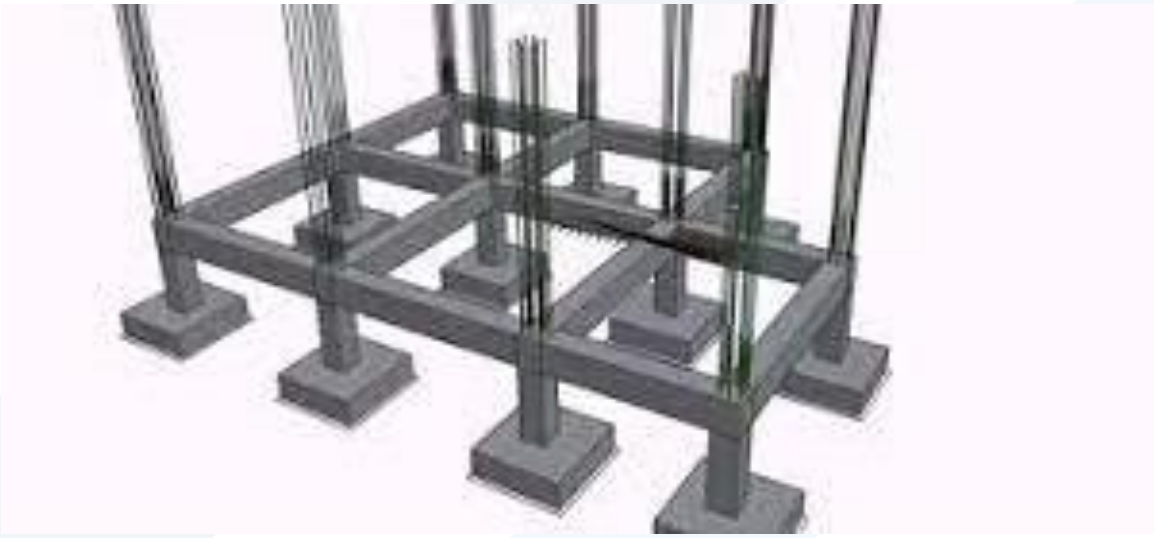
الشكل 2. 8 : تسليح الأساس المنفرد

2. 5 الشيناجات

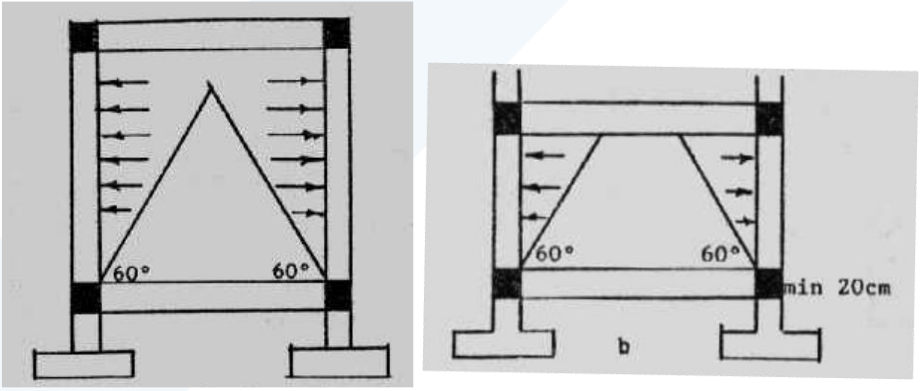
هي عناصر انشائية (جوائز أرضية) تصل بين الأعمدة وتستخدم قرب منسوب سطح الأرض (تحت سطح الأرض بعمق صغير)، عرضها لا يقل عن عرض الجدار الذي تحمله، ومهمتها نقل حمولات الجدران إلى الأعمدة والقواعد (الشكل 2. 9).

تصمم الشيناجات كالجوائز العادية تحت أحمال الجدران التي تحملها والتربة إن وجدت، حيث يؤخذ مثلث يميل بزاوية 60 درجة إذا كان ارتفاع الجدار كبيراً (الشكل 2. 9)، أو شبه منحرف (الشكل 2.10)، وفي حال عدم التأكد من التصاق الجدار بشكل جيد بالعمود أو في حال وجود باب أو نافذة في الجدار فتؤخذ حمولة الجدار بالكامل، وإذا كان فوق الشيناج ردم فإنه تؤخذ حمولة موشور التربة فوق الشيناج بميل 1 أفقي إلى 2 شاقولي (الشكل 2. 11).

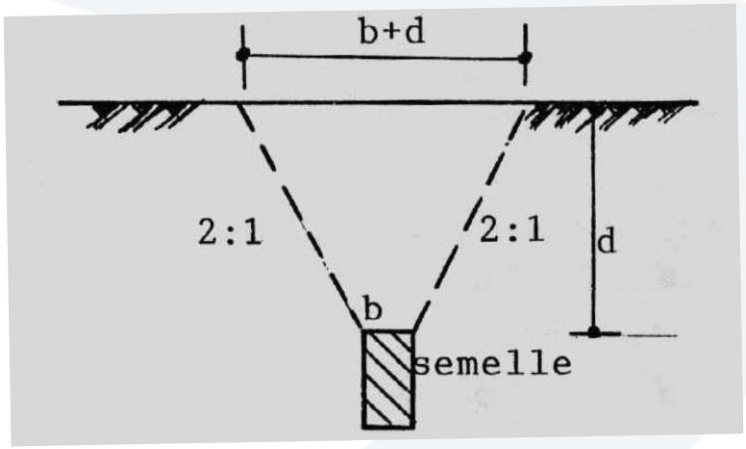
في حالة التصميم على الزلازل، يتم وصل الأساسات المنفردة ببعضها بجوائز أرضية (شيناجات ربط) (الشكل 2. 12) قريبة بقدر الإمكان من منسوب ظهر الأساسات وتحت منسوب سطح الأرض .ويتم افتراض أن الشيناج يتعرض لقوى شد ولقوى ضغط محورية، لا تقل عن 10 % من الحمل الرأسي للعمود ذي الحمل الأكبر والمرتبط بالشيناج .ويصمم الأساس المرتبط بالشيناج بحيث لا تزيد مساحة منطقة الشد تحت كل أساس على 50 % من مساحته، على أن تكون الإجهادات العظمى على التربة مقبولة .ويصمم الشيناج بافتراض أن هذه القوة المحورية(نسبة 10 % من حمل العمود)تطبق مرة كقوة ضغط ومرة كقوة شد، ويتم تصميم الشيناج لمقاومة الحالتين، إضافة إلى ما ينقل له من عزم ناتج عن أحمال الزلازل وإضافة لوزنه الذاتي طبعًا. وإذا جرى تحميل الشيناج بجدار غير حامل (قاطع من البلوك أو غيره)، فيلزم أخذ وزن القاطع أيضًا بالحسبان عند تصميم الشيناج.



الشكل 2. 9 : الشيناجات الأرضية الحاملة للجدران من البلوك



الشكل 2. 10 : حمولة جدران البلوك المنقولة إلى الشيناجات الأرضية



الشكل 2. 11 : حمولة الشيناجات الأرضية من تربة الردم فوق الشيناجات

الشكل 2. 12 : الشيناجات الزلزالية

مثال 1

يطلب تصميم أساس مربع، ينقل حمولة شاقولية محورية مقدارها 800kN بواسطة عمود مربع أبعاده 0.4m*0.4m. قدرة تحمل التربة المسموحة الصافية =125kN/m^2 .

افترض في الحل أن $f_c' = 21\,MPa, \quad f_y = 400\,MPa$

الحل

$$A = \frac{800}{125} = 6.4\ m^2$$
$$B = L = \sqrt{A} = \sqrt{6.4} = 2.53\ m$$
$$Take\ L = B = 2.6\ m$$
$$C_1 = C_2 = \frac{L-a}{2} = \frac{2.6-0.4}{2} = 1.1\ m$$
$$q = \frac{P}{B*L} = \frac{800}{2.6^2} = 118.3\ kN/m^2$$

من شرط البروز نفرض ارتفاع الأساس

$$H \geq \frac{C}{2} = \frac{1.1}{2} = 0.55m$$
$$h = H - 0.07 = 0.48m$$

التحقق من القص باتجاهين (الثقب)

$$Q = P - q\ (a+h)(b+h) = 800 - 118.3*(0.4+0.48)^2 = 708.4\ kN$$
$$P_c = 4(a+h) = 4*(0.4+0.48) = 3.52\ m$$
$$\tau = \frac{Q}{0.85P_c\ h} = \frac{708.4}{0.85*3.52*0.48} = 493.3\ kN/m^2 < 5.5\sqrt{f_c'} = 5.5*\sqrt{21000} = 797\ kN/m^2$$

التحقق من القص باتجاه واحد

$$Q = q\ (C-h)\ B = 118.3*(1.1-0.48)*B = 190.7\ kN/m$$
$$\tau = \frac{Q}{0.85\ Bh} = \frac{190.7}{0.85*2.6*0.48} = 179.7\ kN/m^2 << 4.4\sqrt{f_c'} = 4.4*\sqrt{21000} = 637.6\ kN/m^2$$

التحقق من العزم وحساب التسليح

$$M = q\frac{C^2}{2}B = 118.3*\frac{1.1^2}{2}*2.6 = 186.1\ kN.m/m$$
$$\bar{\sigma}_c' = 0.55\ f_c' = 0.55*21000 = 11550\ kN/m^2$$
$$\bar{\sigma}_s = 0.55\ f_y = 0.55*400000 = 220000\ kN/m^2$$
$$\gamma_0 = n\frac{\bar{\sigma}_c'}{\bar{\sigma}_s} = 15*\frac{11550}{220000} = 0.788$$
$$\gamma_x = \frac{\gamma_0}{1+\gamma_0} = \frac{0.788}{1+0.788} = 0.441$$
$$\gamma_z = 1 - \frac{\gamma_x}{3} = 1 - \frac{0.441}{3} = 0.853$$

$$\gamma_h = \sqrt{\frac{2}{\gamma_x \gamma_z}} = \sqrt{\frac{2}{0.441*0.853}} = 2.31$$

$$h \geq \gamma_h \sqrt{\frac{M_{max}}{\bar{\sigma}_c^{'} B}} = 2.31* \sqrt{\frac{186.1}{11550*2.6}} = 0.182m < h = 0.48m$$

$$A_s = \frac{M}{\gamma_z . h . \bar{\sigma}_s} = \frac{186.1}{0.85*0.48*220000} = 0.00208m^2 = 20.8cm^2/2.6m$$

$$A_{s,min} = 0.002*B*h = 0.002*260*48 = 25cm^2 > A_s \Rightarrow A_s = 25cm^2/2.6m$$

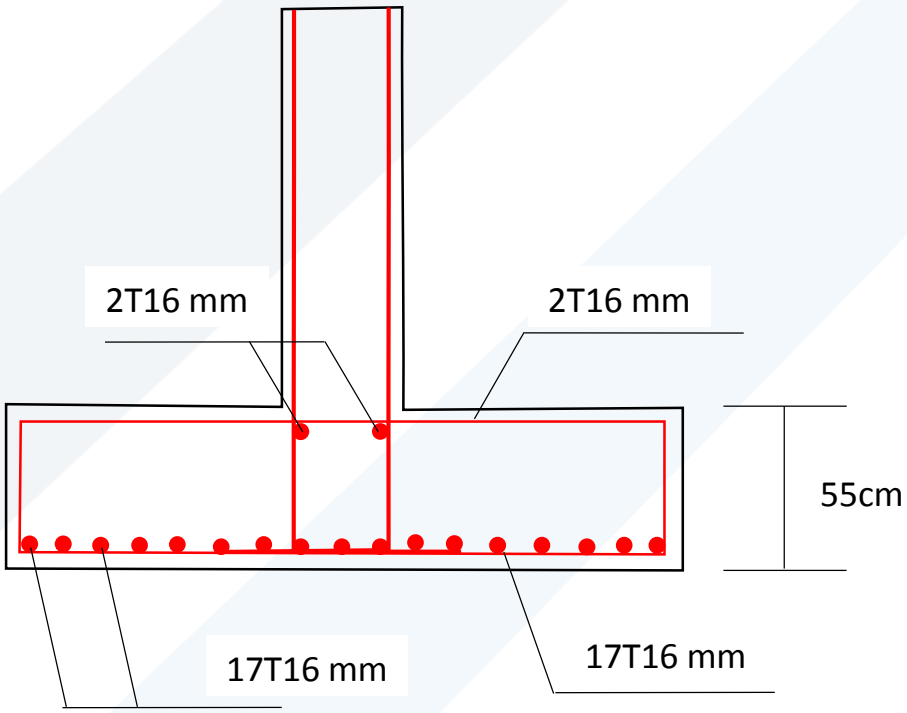
$$Use 17T14mm/2.6m \quad in\ each\ side$$

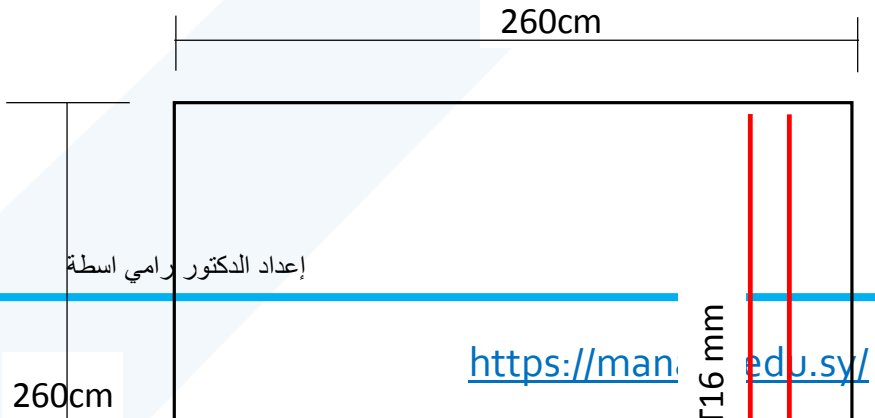
التحقق من التلاحم (التماسك) :

$$Q = q . C . B = 118.3*1.1*2.6 = 338.3\ kN$$

$$\sum \phi = 17*\pi*14 = 748mm = 0.748m$$

$$\tau = \frac{Q}{0.85h\sum\phi} = \frac{338.3}{0.85*0.48*0.748} = 1109\ kN/m^2 < \bar{\tau}_s = (1200-1500)\ kN/m^2$$





مثال 2

يطلب تصـــميم أســـاس مربع، ينقل حمولة شـــاقولية محورية مقدارها 800kN بواســـطة عمود مربع أبعاده 0.5m*0.5m. قدرة تحمل التربة المسموحة الصافية =125kN/m^2 .

افترض في الحل أن $f_c' = 22.5MPa, \quad f_y = 240\ MPa$

الحل

$$A = \frac{800}{125} = 6.4\ m^2$$
$$B = L = \sqrt{A} = \sqrt{6.4} = 2.53\ m$$
$$Take\ L = B = 2.6\ m$$
$$C_1 = C_2 = \frac{L-a}{2} = \frac{2.6-0.4}{2} = 1.1\ m$$
$$q = \frac{P}{B*L} = \frac{800}{2.6^2} = 118.3\ kN/m^2$$

من شرط البروز نفرض ارتفاع الأساس

$$H \geq \frac{C}{2} = \frac{1.1}{2} = 0.55m$$
$$h = H - 0.07 = 0.48m$$

التحقق من القص باتجاهين (الثقب)

$$Q = P - q\,(a+h)(b+h) = 800 - 118.3*(0.4+0.48)^2 = 708.4\ kN$$
$$P_c = 4(a+h) = 4*(0.4+0.48) = 3.52\ m$$
$$\tau = \frac{Q}{0.85 P_c\, h} = \frac{708.4}{0.85*3.52*0.48} = 493.3\ kN/m^2 < 5.5\sqrt{f'_c} = 5.5*\sqrt{22500} = 825\ kN/m^2$$

التحقق من القص باتجاه واحد

$$Q = q\,(C-h)\,B = 118.3*(1.1-0.48)*2.6 = 190.7\ kN/m$$
$$\tau = \frac{Q}{0.85 B\, h} = \frac{190.7}{0.85*2.6*0.48} = 179.7\ kN/m^2 << 4.4\sqrt{f'_c} = 4.4*\sqrt{22500} = 660 kN/m^2$$

التحقق من العزم وحساب التسليح

$$M = q\frac{C^2}{2}B = 118.3*\frac{1.1^2}{2}*2.6 = 186.1\ kN.m/m$$
$$\bar{\sigma}'_c = 0.55\, f'_c = 0.55*22500 = 12375\ kN/m^2$$
$$\bar{\sigma}_s = 0.55\, f_y = 0.55*240000 = 132000\ kN/m^2$$

$$\gamma_0 = n\frac{\bar{\sigma}'_c}{\bar{\sigma}_s} = 15*\frac{12375}{132000} = 1.41$$
$$\gamma_x = \frac{\gamma_0}{1+\gamma_0} = \frac{1.41}{1+1.41} = 0.585$$
$$\gamma_z = 1 - \frac{\gamma_x}{3} = 1 - \frac{0.585}{3} = 0.81$$

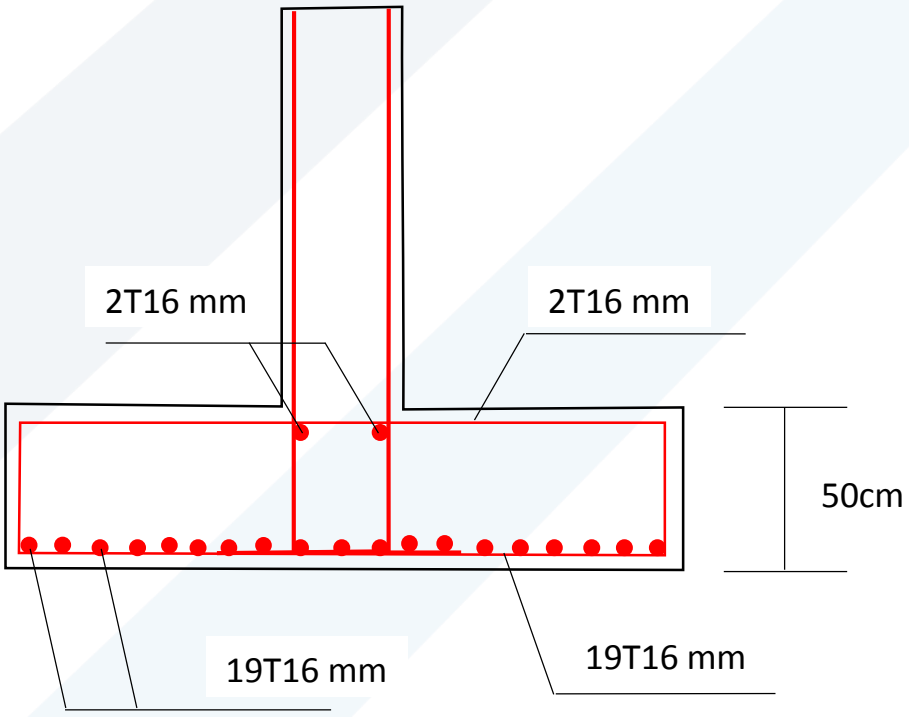
$$\gamma_h = \sqrt{\frac{2}{\gamma_x \gamma_z}} = \sqrt{\frac{2}{0.585*0.81}} = 2.05$$
$$h \geq \gamma_h \sqrt{\frac{M_{max}}{\bar{\sigma}'_c\, B}} = 2.05*\sqrt{\frac{186.1}{12375*2.6}} = 0.156m < h = 0.48m$$
$$A_s = \frac{M}{\gamma_z\,.\,h\,.\,\bar{\sigma}_s} = \frac{186.1}{0.81*0.48*132000} = 0.00364\,m^2 = 36.4cm^2/2.6m$$
$$A_{s,min} = 0.002*B*h = 0.002*260*48 = 25cm^2 < A_s \Rightarrow A_s = 36.4cm^2/2.6m$$
$$Use\, 19T16mm/2.6m \quad in\ each\ side$$

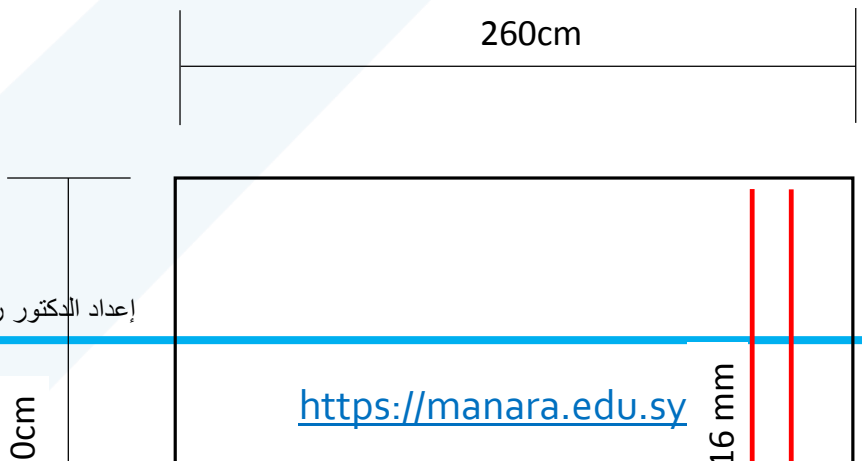
التحقق من التلاحم (التماسك) :

$$Q = q \,.\, C \,.\, B = 118.3 * 1.1 * 2.6 = 338.3\ kN$$

$$\sum \phi = 19 * \pi * 16 = 955 mm = 0.96 m$$

$$\tau = \frac{Q}{0.85 h \sum \phi} = \frac{338.3}{0.85 * 0.48 * 0.96} = 864\ kN/m^2 < \bar{\tau}_s = (1200 - 1500)\ \ kN/m^2$$





2. 6 تصميم الأساسات المنفردة المحملة بقوة محورية بالطريقة الحدية

يمكن تلخيص خطوات تصميم القواعد المربعة بالطريقة الحدية بالتالي :

1- حساب مساحة الأساس الأصغرية اللازمة وتحديد أبعاده اعتماداً على الحمولة التشغيلية

$$A_{\min} = \frac{P}{q_{a-net}} \qquad (11.2)$$

يتم تحديد أبعاد الأساس (L و B للأساس المستطيل و D للأساس الدائري, حيث D قطر الأساس) بالتقريب لأقرب 5cm زيادة, ويفضل أن تكون البروزات متساوية بالاتجاهين. تحدد بروزات الأساس بالاتجاهين بالعلاقات التالية :

- أساس مستطيل : $C_2 = \frac{B-b}{2}$ $C_1 = \frac{L-a}{2}$

- أساس دائري : $C = \frac{D-d}{2}$

2-تحديد إجهاد التربة التصميمي q باستخدام الأحمال القصوى وهو الذي سيستخدم لاحقاً في الحسابات:

$$q = \frac{P_u}{A} \qquad (12.2)$$

حيث،

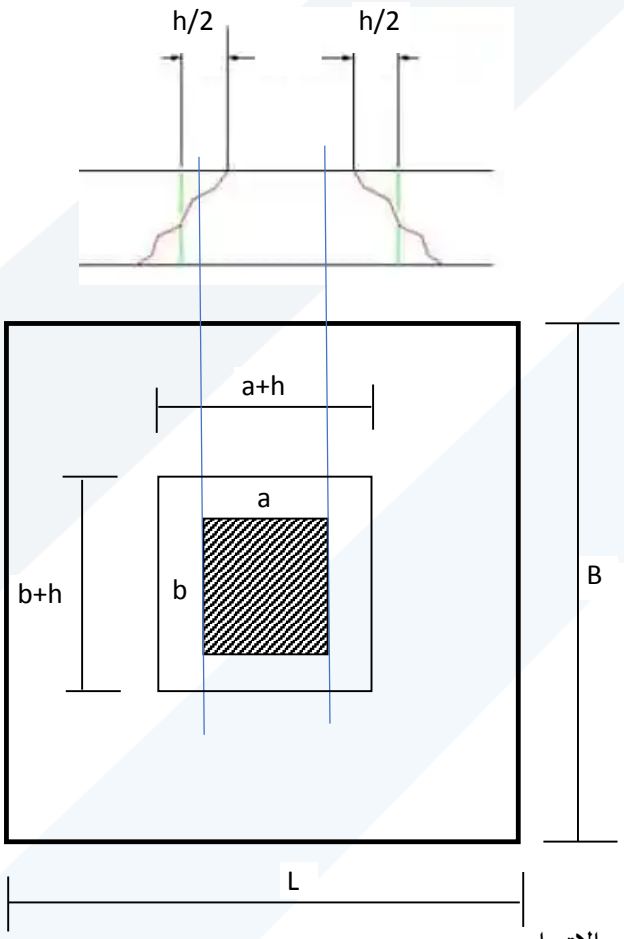
Pu الحمولة القصوى، وتحسب عن طريق تصعيد الحمولات التشغيلية بعوامل تصعيد الحمولات التي تحدد وفق الكود المستخدم في التصميم. وفقاً للكود العربي السوري، تحسب الحمولة القصوى بالعلاقة التالية :

$$P_u = 1.4D + 1.7L \qquad (13.2)$$

D الحمولة الميتة و L الحمولة الحية

3- التحقق من القص ثنائي الاتجاه (two-way shear stress)

يمكن أن يحصل ثقب الأساس على بعد h/2 من أوجه العمود نتيجة لإجهادات القص ثنائي الاتجاه المتشكلة في مقطع البيتون في مكان سطح الثقب المحتمل (الشكل 2. 13).



الشكل 2. 13 : القص ثنائي الاتجاه

تعطى قوة القص المتشكلة بالعلاقة التالية :

$$T_u = P_u - q.(a+h)(b+h) \qquad (14.2)$$

وتعطى قوة القص المقاومة للثقب على كامل سطح الثقب المحتمل بالعلاقة :

$$T_c = 2[(a+h)+(b+h)].h.\tau_c \qquad (15.2)$$

حيث،

τ_c مقاومة القص المسموحة للبيتون على القص الثنائي وتعطى بالعلاقة التالية :

$$\tau_c = 0.34.\phi.\sqrt{f'_c} = 0.289\sqrt{f'_c} \qquad \left[MN/m^2,\ f'_c(MN/m^2)\right] \qquad (16.2)$$
$$OR \quad \tau_c = 9.14\sqrt{f'_c} \qquad \left[kN/m^2,\ f'_c(KN/m^2)\right]$$

f_c المقاومة المميزة للبيتون (MN/m^2)

ϕ عامل تخفيض وتساوي قيمته 0.85

يمكن التأكد من مقاومة القص ثنائي الاتجاه بإحدى الطريقتين التاليتين :

1- فرض ارتفاع الأساس (يحقق شرط البروز) والتأكد من أن اجهادات القص في البيتون في مكان سطح الثقب المحتمل أصغر من مقاومة البيتون على القص ثنائي الاتجاه τ_c
2- إيجاد ارتفاع الأساس الأصغري اللازم لمقاومة اجهاد القص ثنائي الاتجاه، ثم فرض ارتفاع للأساس أكبر من الارتفاع الأصغري (بحيث يحقق شرط البروز)، ويتم الحصول على ارتفاع الأساس الأصغري عن طريق مساواة اجهاد القص المتشكل τ_u بمقاومة البيتون على القص τ_c

<u>الطريقة الأولى</u>

يتم في هذه الطريقة التحقق من أن إجهاد القص ثنائي الاتجاه τ_u أصغر من مقاومة القص المسموحة للبيتون τ_c ، أي :

$$\tau_u = \frac{P_u - q.A_c}{P_c.h} \qquad (17.2)$$

h الارتفاع الفعال للأساس h=H-t , حيث t سماكة بيتون التغطية ويجب ألا تقل عن 7cm .

Ac مساحة منطقة القص باتجاهين $A_c = (a+h)(b+h)$

Pc محيط منطقة القص باتجاهين :

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

بالتعويض بالعلاقة السابقة، نحصل على :

$$\tau_u = \frac{P_u - q.A_c}{P_c.h} = \frac{P_u - q(a+h)(b+h)}{2[(a+h)+(b+h)]h} < \tau_c \qquad (18.2)$$

الطريقة الثانية

يتم في هذه الطريقة حساب ارتفاع الأساس الأصغري اللازم لمقاومة قوى القص الناجمة عن القص ثنائي الاتجاه، ثم فرض ارتفاع للأساس أكبر من الارتفاع الأصغري.

حساب ارتفاع المقطع الأصغري من مقاومة القص الثنائية (Two-way shear stress)

بمساواة قوة القص Tu بالقوة المقاومة للقص ثنائي الاتجاه Tc نحصل على :

$$T_u = T_c \Rightarrow P_u - q.(a+h)(b+h) = 2[(a+h)+(b+h)].h.\tau_c \qquad (19.2)$$

بالتعويض عن P_u بـ P_u=q.B.L تصبح العلاقة السابقة :

$$q.B.L - q(a+h)(b+h) = 2h[(a+h)+(b+h)]\tau_c$$
$$q(ab+ah+bh+h^2) + 2h(a+b)\tau_c + 4h^2\tau_c - q.B.L = 0$$
$$h^2(4\tau_c + q) + h(a+b)(q+2.\tau_c) - q(B.L - a.b) = 0$$

من هذه العلاقة يتم حساب الارتفاع الفعال الأصغري h_{min} اللازم لمقاومة القص ثنائي الاتجاه.

في حالة أساس مربع طول ضلعه L وعمود مربع طول ضلعه a تصبح العلاقة السابقة :

$$h^2(4\tau_c + q) + 2a.h(q+2\tau_c) - q(a^2 - L^2) = 0$$
$$h^2 + \frac{2a(q+2\tau_c)}{(4\tau_c+q)}h - q\frac{(a^2-L^2)}{(4\tau_c+q)} = 0 \qquad (20.2)$$

بحل هذه المعادلة (العلاقة 20.2) نحصل على الارتفاع الأصغري للأساس h_{min}

4-التحقق من القص أحادي الاتجاه (Wide-beam)

يمكن أن يحصل انهيار الأساس على بعد h من أوجه العمود، نتيجة لإجهادات القص أحادي الاتجاه (الشكل 2. 14).

الطريقة الأولى

يتم في هذه الطريقة التحقق من أن إجهاد القص أحادي الاتجاه τ_u أصغر من اجهاد القص المسموح τ_c ، أي :

$$\tau_u = \frac{q.(C-h).B}{B.h} = \frac{q.(C-h)}{h} \qquad (25.2)$$

$$\tau_c = 0.17.\phi.\sqrt{f'_c} = 0.17*0.85*\sqrt{f'_c} = 0.145*\sqrt{f'_c}\ (MN/m^2) \qquad (26.2)$$
$$OR \quad \tau_c = 4.6\sqrt{f'_c} \qquad [kN/m^2, \quad f'_c(KN/m^2)]$$

إعداد الدكتور رامي اسطة

الطريقة لثانية

يتم في هذه الطريقة حساب ارتفاع الأساس الأصغري اللازم لمقاومة قوى القص الناجمة عن القص أحادي الاتجاه، ثم مقارنة هذا الارتفاع مع الارتفاع الذي تم فرضه انطلاقاً من شرط القص باتجاهين. إذا كان الارتفاع المفروض أكبر من الارتفاع الأصغري اللازم، يعتبر شرط القص باتجاه واحد محقق. أما إذا كان الارتفاع الأصغري اللازم أكبر من الارتفاع المفروض، يتم في هذه الحالة فرض ارتفاع للأساس يحقق شرط القص باتجاه واحد ويتابع الحل.

تحسب المقاومة المسموح بها τ_C على القص الأحادي

من الشكل 2. 14

في اتجاه L

$$\tau_c * h * B = q * (c-h) * B = q * \left(\frac{L-a}{2} - h\right) * B$$

$$h * (\tau_c + q) = q * (\frac{L-a}{2})$$

$$h = \frac{q * (\frac{L-a}{2})}{\tau_c + q} \qquad (27.2)$$

في اتجاه B

$$\tau_c * h * L = q * (c-h) * L = q * \left(\frac{B-b}{2} - h\right) * L$$

$$h * (\tau_c + q) = q * (\frac{B-b}{2})$$

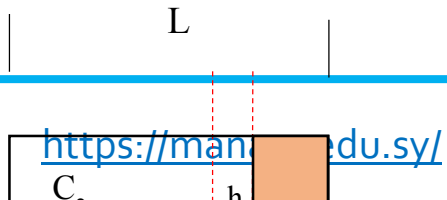
$$h = \frac{q * (\frac{B-b}{2})}{\tau_c + q} \qquad (28.2)$$

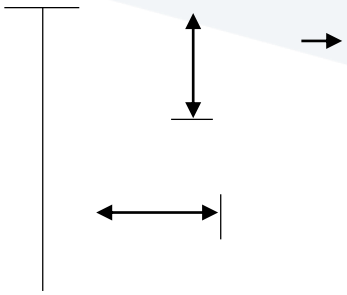
في حالة أساس مربع طول ضلعه B وطول ضلع العمود a يصبح شرط القص أحادي الاتجاه على الشكل التالي :

$$h = \frac{q * (\frac{B-a}{2})}{\tau_c + q} \qquad (29.2)$$

$$\tau_c = 0.17.\phi.\sqrt{f'_c} = 0.17 * 0.85 * \sqrt{f'_c} = 0.145 * \sqrt{f'_c}\ (MN/m^2)$$

$$OR \quad \tau_c = 4.6\sqrt{f'_c} \qquad \left[kN/m^2,\quad f'_c(KN/m^2)\right]$$





الشكل 2. 14 : القص أحادي الاتجاه

5-تسليح الأساس

من الشكل 2. 15، تحسب عزوم الانعطاف عند أوجه العمود بالعلاقات التالية :

$$M_{u,L} = q * B * \frac{C_1^2}{2} \qquad (31.2)$$

$$M_{u,B} = q * L * \frac{C_2^2}{2} \qquad (32.2)$$

من الشكل 2. 16 ، لدينا :

محصلة قوى الضغط في البيتون :

$$N_c = 0.85.f'_c.a.b \qquad (33.2)$$

محصلة قوى الشد في فولاذ التسليح :

$$T = A_s.f_y \qquad (34.2)$$

حيث fy اجهاد الخضوع للفولاذ

عزم الانعطاف المقاوم للمقطع :

$$M_u = \phi\, A_s.f_y.(h-\frac{a}{2}) = 0.85.f'_c.a.b.(h-\frac{a}{2}) \qquad (35.2)$$

مراحل حساب تسليح الأساس :

1- **حساب عزوم الانعطاف عند أوجه العمود بالاتجاهين (Mu,L و Mu,B)**

2- **حساب ارتفاع البيتون المضغوط المكافئ a بدلالة مقطع التسليح As من العلاقة :**

$$A_s = \frac{0.85\, f'_c\, a\, .\, b}{f_y} \qquad (36.2)$$

3- حساب التسليح

يحسب التسليح من العلاقة $M_u = \phi . A_s . f_y . (h - \frac{a}{2})$ بعد التبديل عن a بقيمتها بدلالة As (العلاقة 31.2 وعن Mu بـ $M_{u,L}$ و $M_{u,B}$)

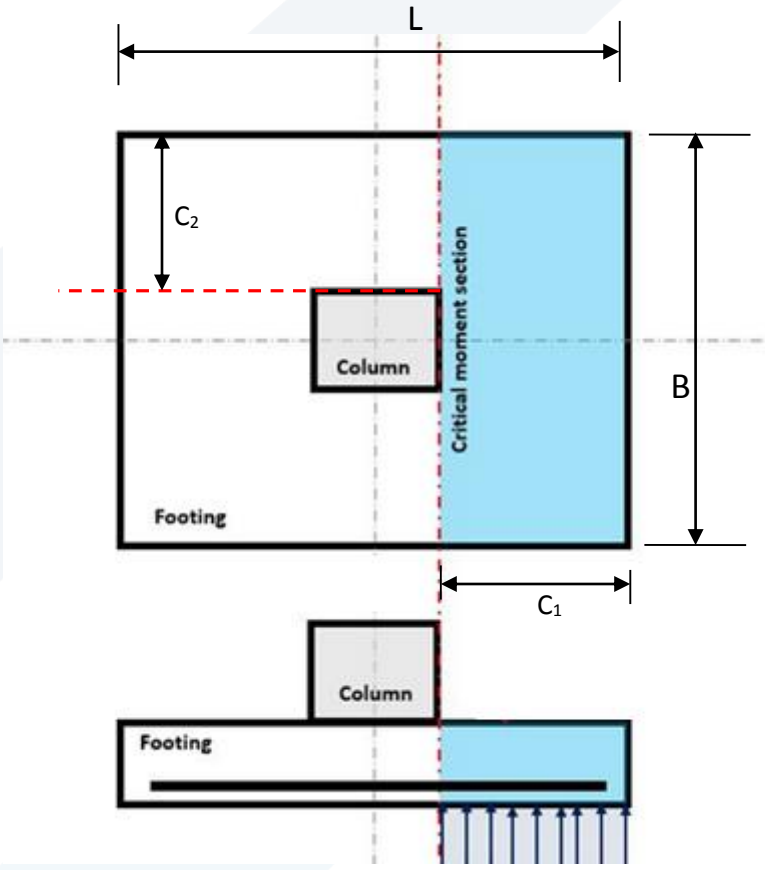
4- التأكد من نسبة التسليح

ولتجنب الانهيار المفاجئ يجب أن لا تزيد نسبة التسليح عن احد الأقصى المسموح ويجب التأكد من أن نسبة التسليح ضمن الحدود المسموحة الدنيا والعظمى : $\mu_{min} \leq \mu \leq \mu_{max}$ علماً بأن نسبة التسليح الدنيا μ_{min}=0.002 و نسبة التسليح القصوى تتعلق بالمقاومة المميزة للبيتون f'c وباجهاد الخضوع لفولاذ التسليح، وتعطى بالجدول التالي :

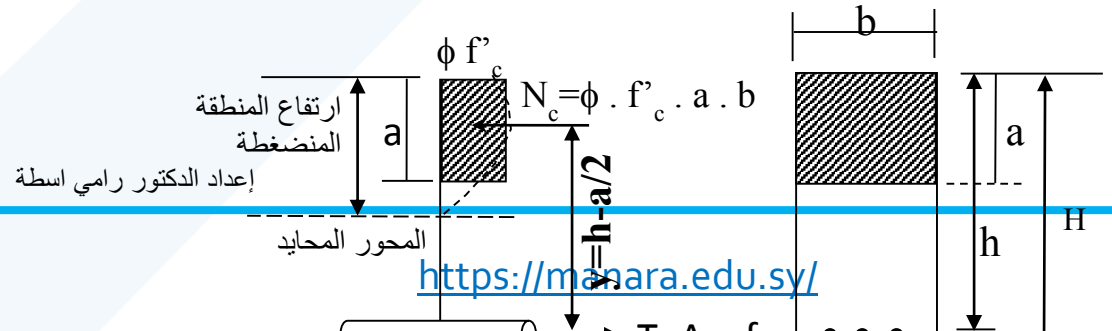
	Fy(MPa)		
f'c(MPa)	275	345	400
21	0.028	0.021	0.016
24	0.032	0.024	0.019
28	0.037	0.028	0.021
35	0.044	0.032	0.025

الجدول 2. 1 : نسبة التسليح القصوى المسموحة

في حال كانت $\mu < \mu_{min}$ يتم اعتماد μ_{min} ويحسب التسليح As، أما إذا كانت نسبة التسليح أعلى من النسبة القصوى المسموحة فيتم زيادة ارتفاع الأساس.



الشكل 15.2 : العزم والتسليح



https://manara.edu.sy/

الشكل 2. 16 : قوى الضغط في البيتون وقوى الشد في فولاذ التسليح

5-التحقق من مقاومة الارتكاز بين العمود والأساس وحساب الأشاير

قد تتدخل مقاومة الارتكاز بين العمود والأساس في تحديد ارتفاع الأساس وخاصة إذا كان بيتون الأعمدة أقوى من بيتون الأساسات.

من الضروري استخدام أشاير لربط العمود بالأساس ونقل اجهادات العمود للأساس ، مساحتها لا تقل 0.005Ac ولا تقل عن 4 قضبان ويفضل أخذ أقطار الأشاير من نفس أقطار العمود.

عندما تكون الاجهادات عند سطح الاتصال مع الأساس أصغر من قيمة $0.85.\phi.f'_c.A_1\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$ (حيث يجب $\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$ أن لا تزيد عن 2) فإنه يتم الاكتفاء بالتسليح الأصغري 0.005Ac وبحيث لا يقل عدد الأشاير عن 4 أشاير ولا يقل قطرها عن قطر تسليح العمود – 4مم، وعادة يتم استخدام نفس أقطار تسليح العمود.

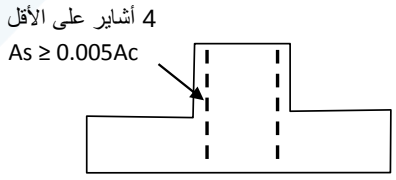
ϕ عامل تخفيض ϕ=0.65

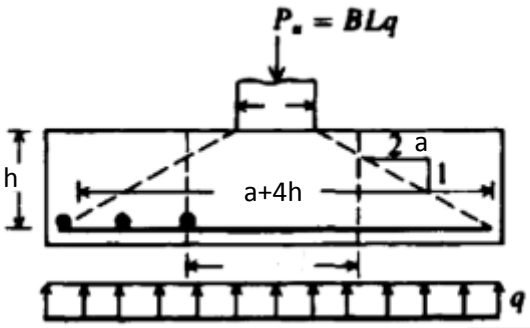
A1 تمثل مساحة مقطع العمود (A1=a*b)

A2 تمثل مساحة التحميل على عمق h من الأساس وذلك باعتبار أن حمولة العمود تنتقل ضمن الأساس بميل 2 أفقي إلى 1 شاقولي، أي أن A2=(a+4h)*(b+4h) (الشكل 2. 17)

أما إذا تجاوزت القوة عند سطح الاتصال مع الأساس قيمة $0.85.\phi.f'_c.A_1\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$ فإن مساحة الأشاير اللازمة تساوي :

$$A_s=\frac{1}{f_y}\left(\frac{P_u}{a.b}-0.85\,\phi.f'_c.\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}\right)$$





الشكل 17.2 : ارساء فولاذ تسليح العمود ضمن الأساس وحساب الأشاير

مثال

يبين الشكل التالي أساس لعمود مربع مع الشروط التالية :

- الحمولات: الحية L=450 kN والميتة D=350kN
- قدرة تحمل التربة المسموحة الصافية qa-net=125 kN/m2
- أبعاد العمود 0.4m*0.4m
- f'c=22.5 MN/m^2 fy=240 MN/m^2

صمم الأساس اعتماداً على الطريقة الحدية

الحل

تحديد أبعاد الأساس

$$A = B^2 = \frac{D+L}{q_{a-net}} = \frac{350+450}{125} = 6.4m^2 \Leftrightarrow B = 2.6m$$

بحسب الكود العربي السوري Pu=1.4D+1.7L=1.4*350+1.7*450=1255 kN

حساب الاجهادات الفعلية تحت الأساس

$$q = \frac{P_u}{A} = \frac{1255}{2.6*2.6} = 185.7\,kN/m$$

التحقق من القص ثنائي الاتجاه

الطريقة الأولى

من شرط البروز $H \approx \frac{C}{2} = \frac{0.5(L-a)}{2} = \frac{0.5(2.6-0.4)}{2} = 0.55m$

نفرض H=55cm ، وبفرض سماكة التغطية =7 سم ، يكون الارتفاع الفعال للأساس h=48cm

$$\tau_c = 0.289\sqrt{f'_c} = 0.289\sqrt{22.5} = 1.37\ MN/m^2 = 1370\ kN/m^2$$

$$\tau_u = \frac{P_u - q.A_c}{P_c} = \frac{P_u - q(a+h)(b+h)}{2[(a+h)+(b+h)]h}$$

$$\tau_u = \frac{1255 - 185.7*(0.4+0.48)^2}{4*(0.4+0.48)*0.48} = 657.7\ kN/m^2 << \tau_c$$

الطريقة الثانية

$$T_u = T_c \Rightarrow P_u - q.(a+h)(b+h) = 2[(a+h)+(b+h)].h.\tau_c$$

$$1255 - 185.7*(0.4+h)^2 = 4*(0.4+h)*h*1370$$

$$\Rightarrow 5665.7h^2 + 2340.6h - 1225.3 = 0$$

$$\Rightarrow h = h_{\min} = 0.303m$$

التحقق من القص أحادي الاتجاه

الطريقة الأولى

$$\tau_u = \frac{q.(C-h)}{h} = \frac{185.7*(1.1-0.48)}{0.48} = 239.9\ kN/m^2$$

$$\tau_c = 0.145\sqrt{f'_c} = 0.145*\sqrt{22.5} = 0.69\ MN/m^2 = 690\ kN/m^2 >> \tau_u$$

الطريقة الثانية

من أجل أساس مربع

$$\tau_c * h * B = q * \left(\frac{L-a}{2} - h \right) * B$$

$$h * (\tau_c + q) = q * (\frac{L-a}{2})$$

$$h = \frac{q * (\frac{L-a}{2})}{\tau_c + q}$$

$$\tau_c = 0.145\sqrt{f'_c} = 0.145\sqrt{22.5} = 0.688\ MN/m^2 = 688 kN/m^2$$

$$h = \frac{185.7 * \left(\frac{2.6-0.4}{2} \right)}{688 + 185.7} = 0.234m < 0.48m$$

حساب العزوم والتسليح

من أجل أساس مربع

$$M_u = q * B * \frac{C^2}{2} = 185.7 * 2.6 * \frac{1.1^2}{2} = 292.1 kN.m$$

$$A_s = \frac{0.85 * a * f'_c * B}{f_y} = \frac{0.85 * a * 22.5 * 2.6}{240} = 0.207a$$

حساب قيمة a (ارتفاع البيتون المضغوط المكافئ) والتسليح As

$$M_u = \phi . A_s . f_y . (h - \frac{a}{2})$$

$$292.1 = 0.85 * 0.207a * 240000 * (0.48 - \frac{a}{2})$$

$$20269.4a - 21114a^2 - 292.1 = 0$$

$$a^2 - 0.96a + 0.0138 = 0 \Rightarrow a = 0.014m$$

$$A_s = 0.207a = 0.207 * 0.014 = 0.0029m^2 = 29cm^2$$

التحقق من نسبة التسليح

$$\mu = \frac{A_s}{B . h} = \frac{29}{260 * 48} = 0.0023 > \mu_{\min} = 0.002$$

$$A_s = 29\ cm^2 \Rightarrow use \quad 15T16mm \Leftrightarrow 6T16mm/m$$

التحقق من مقاومة الارتكاز بين العمود والأساس وحساب الأشاير

$$A_2 = (a+4h)(b+4h) = (0.4+4*0.48)^2 = 5.38m^2$$

$$A_1 = 0.4*0.4 = 0.16m^2$$

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{5.38}{0.16}} = 5.8$$

$$use \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2 \quad and \quad \phi = 0.65$$

$$0.85.\phi.f'_c.A_1\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 0.85*0.65*22500*0.16*2 = 3978\ kN >> P_u = 1255\ kN$$

وبالتالي يكفي وضع أشاير تسليحها انشائي

$$A_s = 0.005*A_c(column) = 0.005*0.4*0.4 = 0.0008m^2 = 8cm^2 \Rightarrow use \quad 4T16mm$$