

فونڈیشن ڈیزائن

11

الاسادات

4th Year Civil - Structures Foundation Design

(1)

Design of Shallow Foundations (1)
(Isolated footing)

Design of Shallow Foundations

تصميم الأساسات السطحية

- الهدف الرئيسى من تصميم الأساسات هو نقل أحمال الأعمدة إلى التربة بطريقة آمنة وذلك عن طريق توزيع الحمل على مساحة كافية بحيث:-

١- يجب ألا تزيد قيمة الإجهادات المؤثرة على التربة عن قدرة تحملها (Bearing capacity).

٢- يجب ألا تزيد قيمة الهبوط (settlement) المتوقع عن المسموح به.

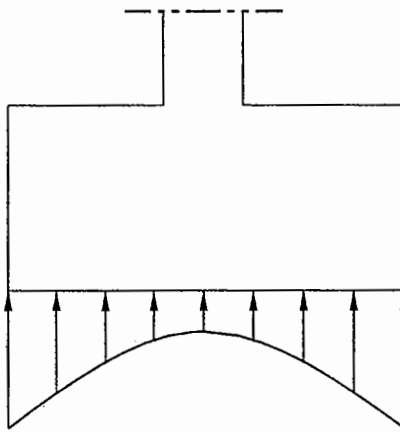
- يقصد بالأساسات السطحية الأساسات التى لا يزيد عمقها (منسوب التأسيس) عن عرض القاعدة.

- For shallow foundations:-

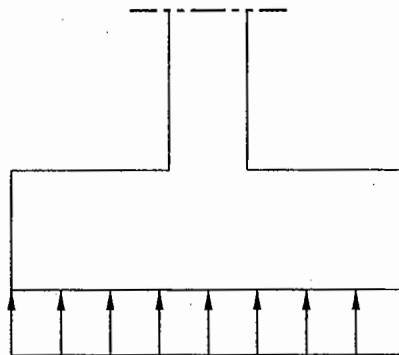
$$B \geq D_f$$

- يمكن استخدام الأساسات السطحية عند وجود طبقة من التربة ذات قدرة تحمل مناسبة قريبة من سطح الأرض مع عدم وجود طبقات عالية الانضغاط على أعماق قريبة من منسوب التأسيس حتى يكون الهبوط المحسوب فى حدود المسموح به.

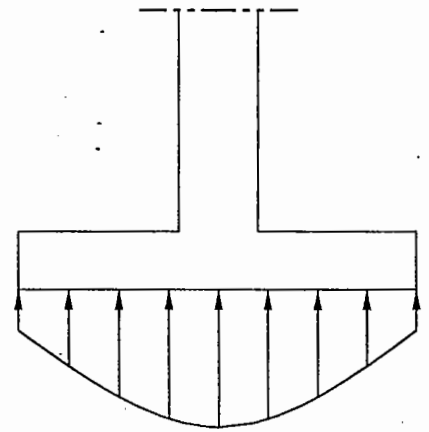
- المبدأ الأساسى فى تصميم الأساسات السطحية أن يكون توزيع الإجهادات على التربة أسفل الأساسات توزيع منتظم ولتحقيق ذلك يجب أن تكون الأساسات semi-rigid footing.



Rigid footing



Simi-Rigid footing

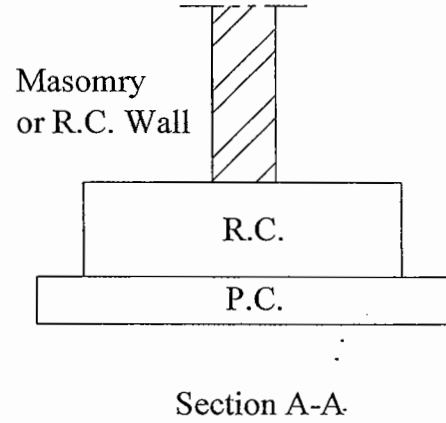
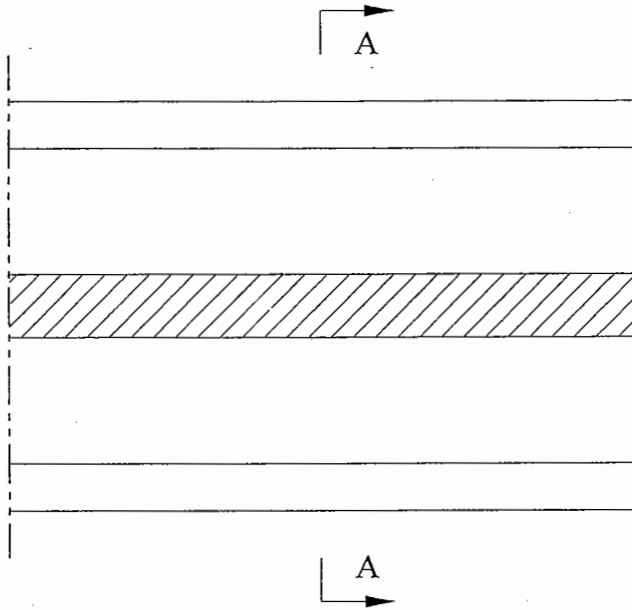


Flexible footing

- Types of Shallow foundations:-

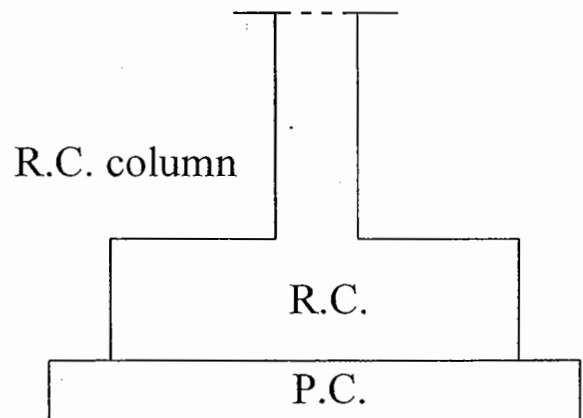
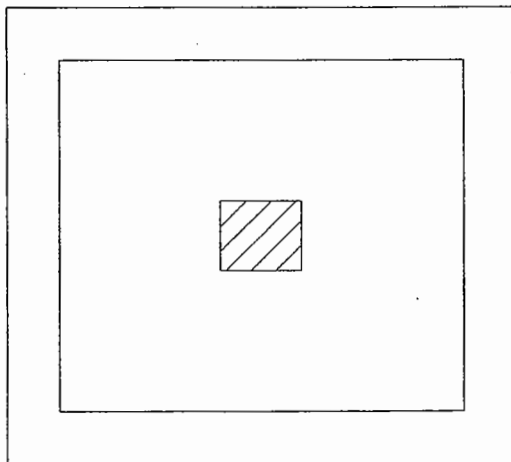
1-Strip footings:- قواعد شريطية

- وهى قواعد مستمرة وتستخدم فى حالة الحوائط والأسوار سواء كانت هذه الحوائط خرسانية أو مبانى طوب.



2-Isolated footings:- قواعد منفصلة

- وهى قواعد ذات أبعاد محددة (مربعة أو مستطيلة) وتحمل عمود واحد فقط.

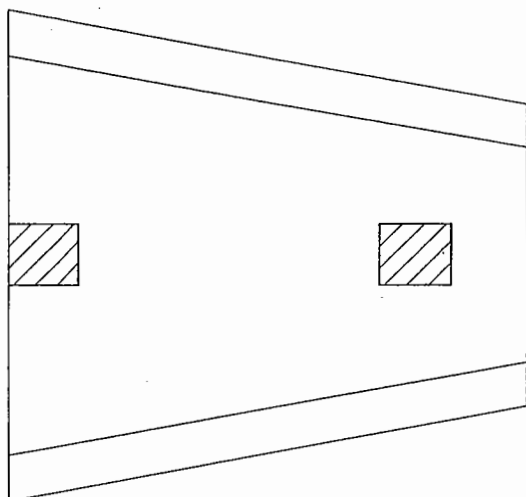


3-Combined footings:- قواعد مشتركة

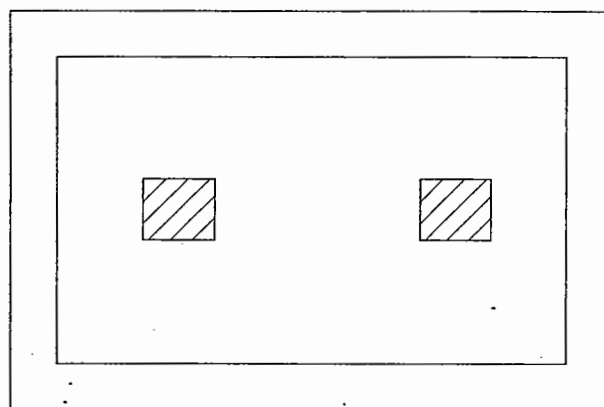
- وهى قواعد تحمل عمودين وتستخدم فى حالة تداخل القواعد المنفصلة أو عند حد الجار ويوجد منها نوعان:-

1- Rectangular combined footing.

2- Trapezoidal combined footing.



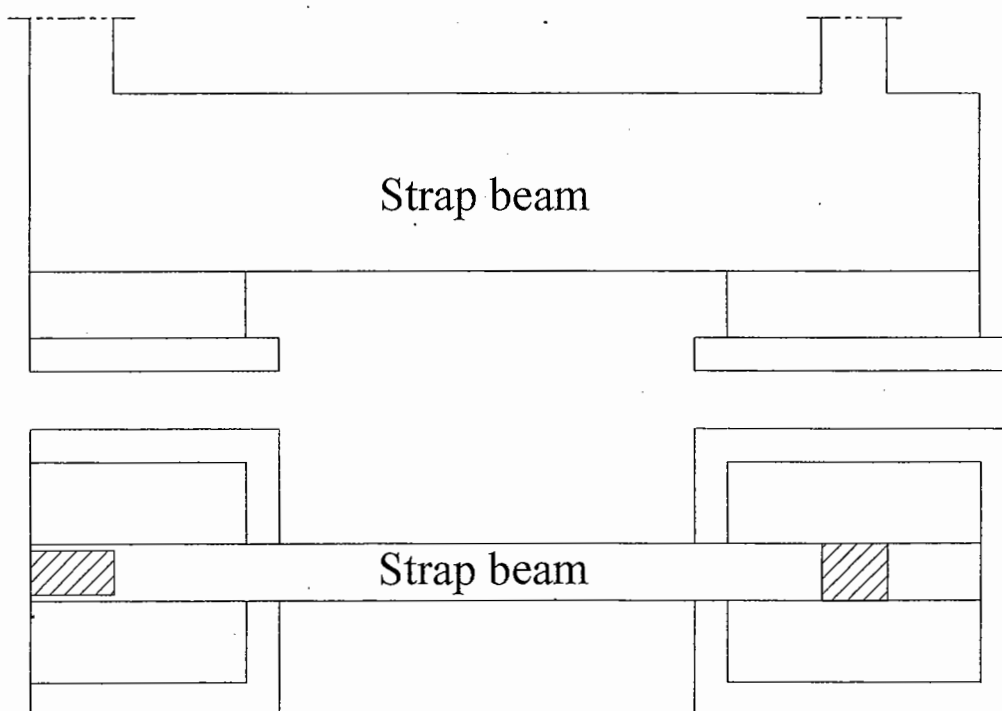
Trapezoidal footing



Rectangular footing

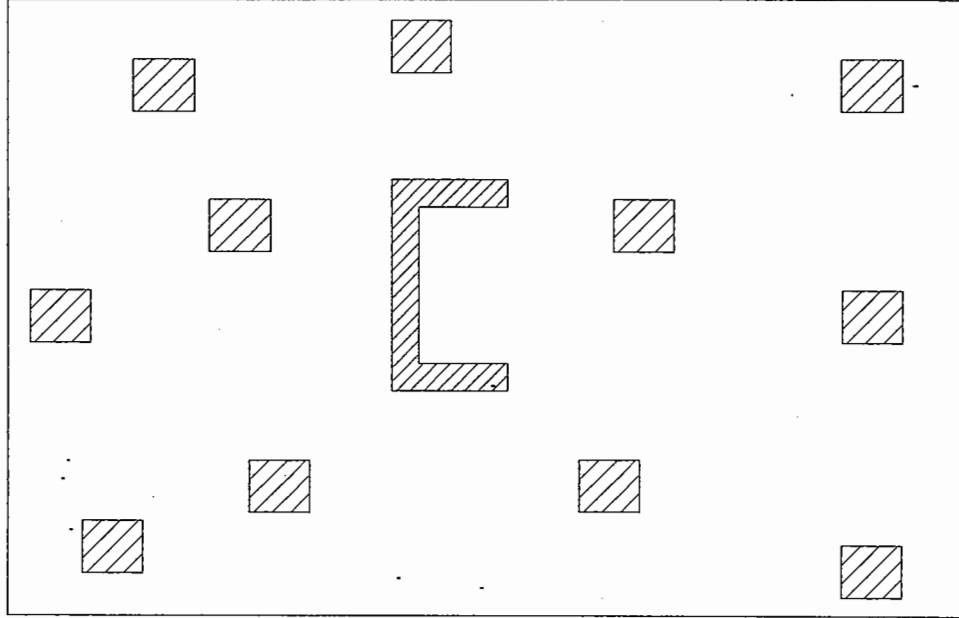
4-Strap Beam:- شداد

- وهى كمره عميقة تحمل عمودين وترتكز على قاعدتين منفصلتين وتستخدم فى حالة أعمدة حد الجار.



لبشة مسلحة :- 5-Raft Foundation

- وهى قاعدة كبيرة تحمل أكثر من عمودين ويمكن عمل لبشة بمساحة المبنى لتحمل جميع الأعمدة وتستخدم فى حالة زيادة مساحة القواعد المنفصلة عن ٧٥ % من المساحة الكلية للمنشأ ويحدث ذلك فى حالة الأحمال الكبيرة أو فى حالة التربة ذات قدرة التحمل الضعيفة.

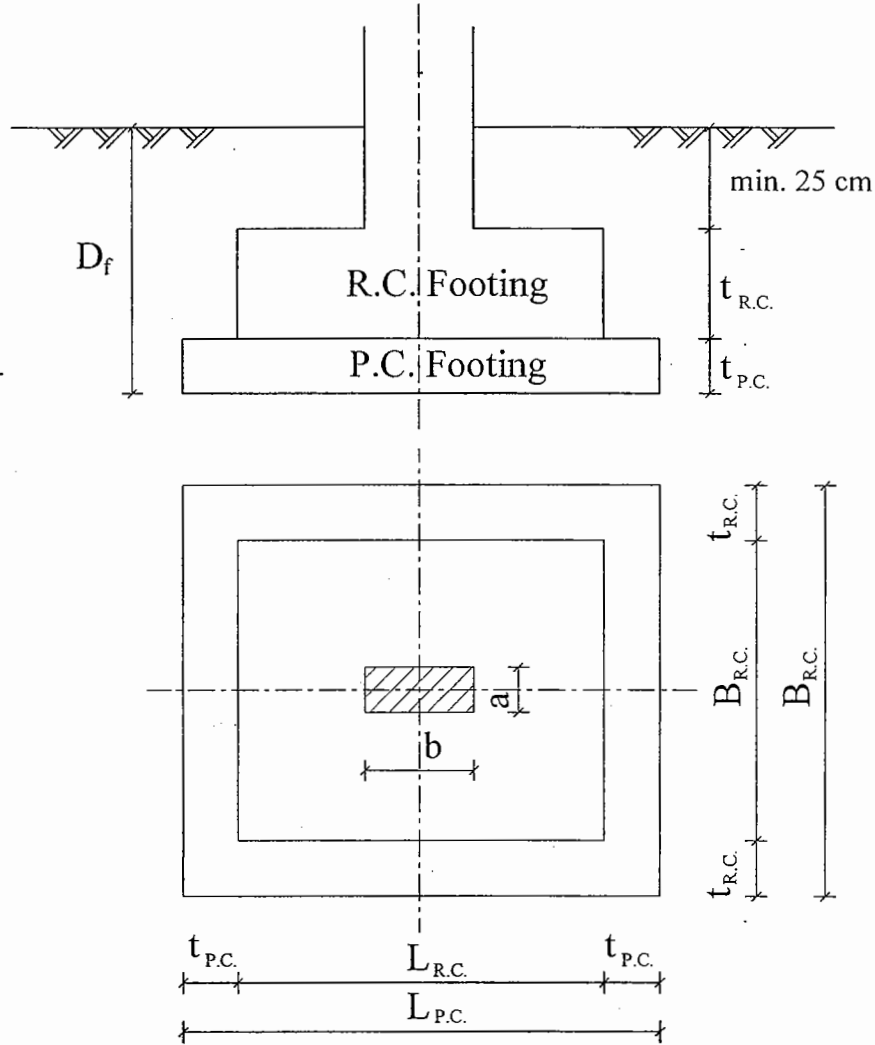


Raft foundation

- Main components of shallow foundations:-

- تتكون أى قاعدة من جزئين:-

- 1- Plain concrete footing. قاعدة من الخرسانة العادية.
- 2- Reinforced concrete footing. قاعدة من الخرسانة المسلحة.



- الهدف من الخرسانة العادية:-

- ١- تسوية سطح الأرض أسفل القاعدة المسلحة.
- ٢- إبعاد حديد التسليح عن التربة لتجنب وصول المياه الجوفية إليه مما يؤدي لحدوث صدأ لحديد التسليح.
- ٣- إعادة توزيع حمل العمود على مساحة القاعدة العادية (فقط عندما يكون سمك القاعدة العادية أكبر من أو يساوى 20 cm).

- ملاحظات هامة:-

١- دائما تكون أبعاد القاعدة العادية ($B_{P.C.}, L_{P.C.}$) أكبر من أبعاد القاعدة المسلحة ($B_{R.C.}, L_{R.C.}$) بمسافة تتراوح بين ($t_{P.C.} - 0.5 t_{P.C.}$) وتسمى هذه المسافة رفرقة القاعدة العادية وعادة تكون $t_{P.C.}$.

٢- إذا كان سمك الخرسانة العادية $t_{P.C.}$ أقل من أو يساوى 20 cm فإننا نعتبر أن حمل العمود تم توزيعه من القاعدة المسلحة إلى التربة مباشرة حيث:-

- For $t_{P.C.} < 20$ cm:-

$$A_{R.C.} = \frac{P_{col}}{q_{all}} = B_{R.C.} \times L_{R.C.}$$

$$\Rightarrow B_{P.C.} = B_{R.C.} + 2 t_{P.C.}$$

$$\& L_{P.C.} = L_{R.C.} + 2 t_{P.C.}$$

٣- إذا كان سمك الخرسانة العادية $t_{P.C.}$ أكبر من 20 cm فإننا نعتبر أن حمل العمود تم توزيعه من القاعدة المسلحة إلى القاعدة العادية ثم إلى التربة مما يؤدي إلى تقليل أبعاد القاعدة المسلحة حيث:-

- For $t_{P.C.} \geq 20$ cm:-

$$A_{P.C.} = \frac{P_{col}}{q_{all}} = B_{P.C.} \times L_{P.C.}$$

$$\Rightarrow B_{R.C.} = B_{P.C.} - 2 t_{P.C.}$$

$$\& L_{R.C.} = L_{P.C.} - 2 t_{P.C.}$$

- Design considerations of R.C. footing:-

- يجب مراعاة الإعتبارات الآتية فى تصميم القواعد المسلحة:-

1- Ultimate loads:-

- يجب قبل البدء فى التصميم تحويل الأحمال إلى ultimate loads لأن الأحمال المعطاه تكون دائماً working loads حيث:-

- $P_u = 1.5 P_w = 1.5 (P_{D.L.} + P_{L.L.})$ For $P_{L.L.} < 75\% P_{D.L.}$
- $P_u = 1.4 P_{D.L.} + 1.6 P_{L.L.}$ For $P_{L.L.} > 75\% P_{D.L.}$

2- Design of critical section in Bending Moment:-

- يتم تعيين سمك القاعدة المسلحة $t_{p.c.}$ عن طريق أكبر B.M. يؤثر على القاعدة حيث:-

$$d = C_1 \cdot \sqrt{\frac{M_u \times 10^6}{f_{cu} \times B}}$$

- ملاحظات هامة جداً:-

- نظراً لخطورة المياه الجوفية على حديد التسليح يتم زيادة سمك الـ cover إلى 7 cm بدلاً من 5 cm كما فى البلاطات والكمرات والأعمدة.

- لمراعاة سمك الغطاء الخرساني فى التصميم يتم تقريب الـ d إلى أقرب 3 cm أو 8cm بالزيادة.

Examples:-

$$\text{If } d = 81.3 \text{ cm} \Rightarrow \text{take } d = 83 \text{ cm} \Rightarrow t = 83 + 7 = 90 \text{ cm}$$

$$\text{If } d = 54.8 \text{ cm} \Rightarrow \text{take } d = 58 \text{ cm} \Rightarrow t = 58 + 7 = 65 \text{ cm}$$

3- Allowable stresses of Reinforced Concrete in Shear:-

-For R.C. footings:-

$$q_{scu} = 0.16 \sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_c}}$$

- ملاحظة هامة:-

- قيمة q_{scu} فى القواعد أقل من نظيرتها فى الكمرات نظرا لعدم وجود كانات لتحمل إجهادات القص.

-For R.C. beams:-

$$q_{scu} = 0.24 \sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_c}}$$

4- Allowable stresses of Reinforced Concrete in Punching:-

$$q_{pcu} = 0.316 \left(0.5 + \frac{a}{b}\right) \sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_c}} \quad \text{for } \frac{a}{b} \leq 0.5$$

$$q_{pcu} = 0.316 \sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_c}} \quad \text{for } \frac{a}{b} > 0.5$$

-Where:-

- a = عرض العمود - b = طول العمود

- Data required for design of shallow foundations:-

- لتصميم أى قاعدة يجب أن تتوفر المعلومات الآتية:-

- 1- Column load (P_{col}).
- 2- Column dimensions ($a \times b$).
- 3- Allowable Bearing Capacity (q_{all}).
- 4- f_{cu} and f_y .
- 5- $t_{P.C.}$.

- ملاحظات هامة:-

١- إذا لم يعطى أبعاد العمود ($a \times b$) فى المسائل يمكن حسابها كما يلى:-

$$A_{col} = a_{(mm)} \times b_{(mm)} = \frac{P_{col(kN)} \times 10^3}{f_{co}}$$

Where:-

- f_{co} = allowable compressive strength in concrete = 6 - 7 N/mm².

- $a_{min.} = 250$ mm. - $b_{max.} = 5 a$

i.e.

- Assume $a=250$ mm and find b (If $b > 5a$ increase a).

٢- إذا لم يعطى f_{cu} and f_y فى المسائل يمكن فرضها كما يلى:-

$$-f_{cu} = 25 \text{ N/mm}^2 \quad \& \quad f_y = 360 \text{ N/mm}^2$$

٣- إذا لم يعطى $t_{P.C.}$ فى المسائل يتم فرضها 15 cm.

- Minimum requirements for shallow foundations:-

1- Minimum concrete dimensions:-

- $B_{R.C.min.} = 80 \text{ cm}$

- $t_{R.C.min.} = 40 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad - d_{R.C.min.} = 33 \text{ cm}$

2- Minimum reinforcement:-

- $A_{s \text{ min.}} = 1.5 \times d_{(mm)} \quad \text{mm}^2/\text{m}^1$

- Minimum No. of steel bars = 5 bars/m¹

- Maximum No. of steel bars = 10 bars/m¹

- Minimum steel bar diameter = 12 mm

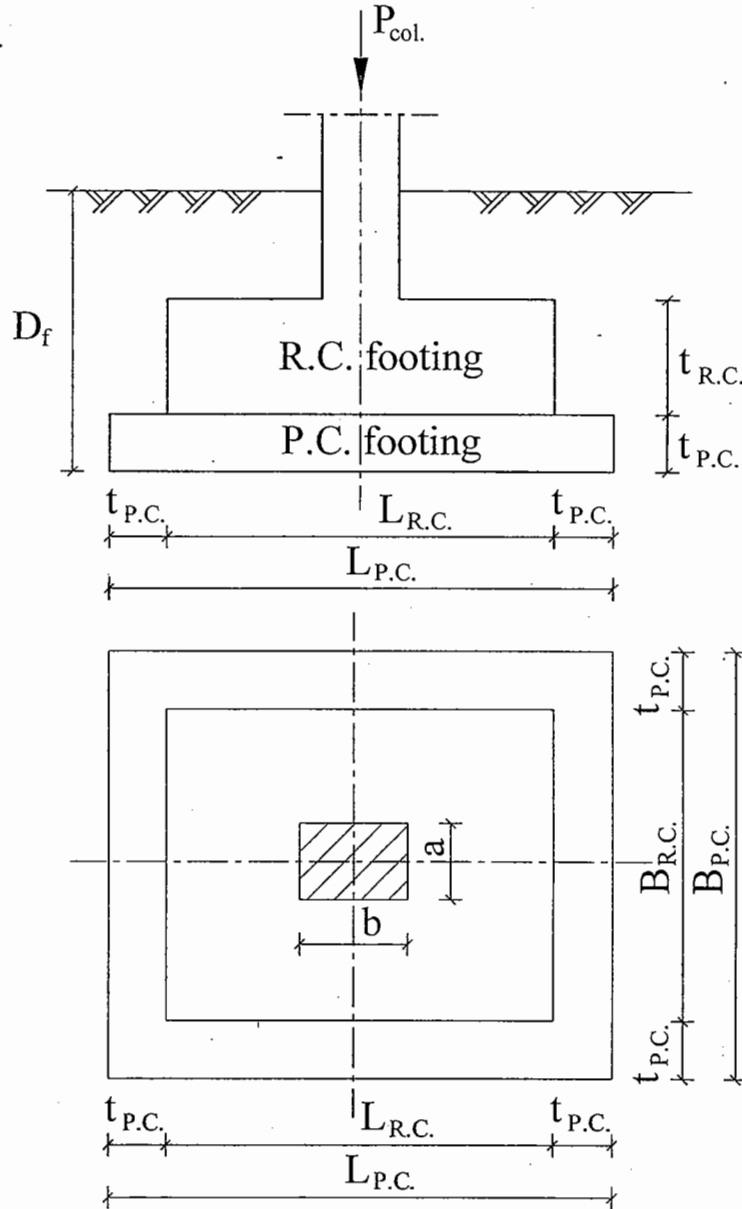
← أصغر قاعدة خرسانية مسلحة هي:-

(80 x 80 x 40 cm) with $A_s = 5 \text{ } \varnothing 12 / \text{m}^1$ in both directions

Design of Isolated footing

تصميم القاعدة المنفصلة

- القاعدة المنفصلة هي قاعدة ذات أبعاد محددة (مربعة أو مستطيلة) وتحمل عمود واحد فقط.



- Given:-

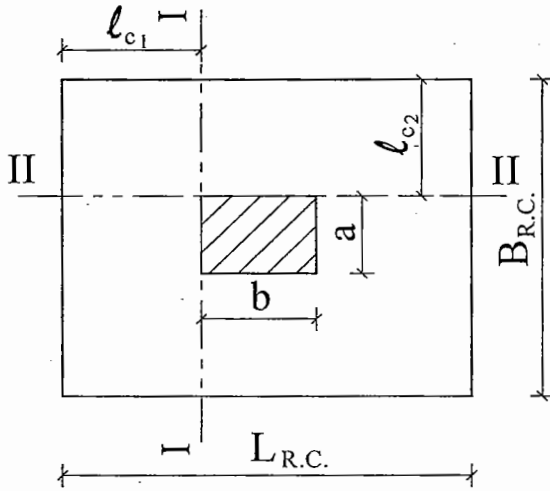
- P_{col} = column load (kN)
- q_{all} = allowable B.C. (kN/m^2)
- a, b = column dimensions
- $t_{P.C.}$ = plain concrete thickness

- Steps of design:-

1- Calculate the area of footing:-

i- for $t_{p.c.} < 20$ cm:-

$$A_{R.C.} = \frac{P_{col}}{q_{all}} = B_{R.C.} \times L_{R.C.}$$



- لتعيين أبعاد القاعدة نحتاج معادلة أخرى في (B,L).
 - تعتبر أفضل علاقة بين أبعاد القاعدة هي التي تحقق أن طول الكابولي l_c متساوى في الاتجاهين
 أى أن:-

$$L_{R.C.} - b = B_{R.C.} - a$$

$$\Rightarrow L_{R.C.} - B_{R.C.} = b - a$$

- من المعادلتين السابقتين نعين أبعاد القاعدة (B,L).

$$\Rightarrow B_{R.C.} = \sqrt{\quad} \text{ \& } L_{R.C.} = \sqrt{\quad} \text{ (تقربان لأقرب 5 cm بالزيادة)}$$

$$\Rightarrow B_{p.c.} = B_{R.C.} + 2 t_{p.c.} \text{ \& } L_{p.c.} = L_{R.C.} + 2 t_{p.c.}$$

ii- for $t_{p.c.} \geq 20$ cm:-

$$A_{p.c.} = \frac{P_{col}}{q_{all}} = B_{p.c.} \times L_{p.c.}$$

$$\text{\& } L_{p.c.} - B_{p.c.} = b - a$$

$$\Rightarrow B_{p.c.} = \sqrt{\quad} \text{ \& } L_{p.c.} = \sqrt{\quad} \text{ (تقربان لأقرب 5 cm بالزيادة)}$$

$$\Rightarrow B_{R.C.} = B_{p.c.} - 2 t_{p.c.} \text{ \& } L_{R.C.} = L_{p.c.} - 2 t_{p.c.}$$

2- Design of critical section for Bending Moment:-

- القطاع الحرج فى العزوم يكون على وش العمود الخرسانى من الناحيتين.

$$P_u = P_{col} \times 1.5$$

$$- q_u = \frac{P_u}{B_{R.C.} \times L_{R.C.}}$$

$$- \ell_{c1} = \frac{L_{R.C.} - b}{2}$$

$$- \ell_{c2} = \frac{B_{R.C.} - a}{2}$$

$$- M_{uI} = q_u \times \frac{(\ell_{c1})^2}{2} \times B_{R.C.}$$

$$- M_{uII} = q_u \times \frac{(\ell_{c2})^2}{2} \times L_{R.C.}$$

$$- d_I = C_1 \cdot \sqrt{\frac{M_{uI} \times 10^6}{f_{cu} \times B/2}}$$

$$- d_{II} = C_1 \cdot \sqrt{\frac{M_{uII} \times 10^6}{f_{cu} \times L/2}}$$

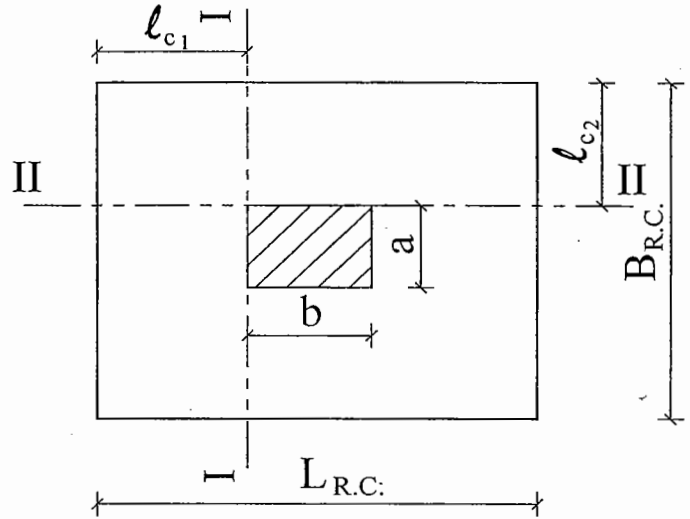
$$- \text{Assume } C_1 = 3.5$$

$$\Rightarrow d_I = \sqrt{\text{mm}} \quad \& \quad d_{II} = \sqrt{\text{mm}} \quad (\text{تقرب لأقرب 3 سم أو أقرب 8 سم بالزيادة})$$

$$\Rightarrow t_{R.C.} = d_{\max} + 7 \text{ cm}$$

Where:-

$$- d_{\max} = \text{The max. of } d_I \& d_{II}$$



- ملاحظة هامة جداً:-

- فى حالة استخدام العلاقة $(L - B = b - a)$ يكون طول الكابولى فى الاتجاهين

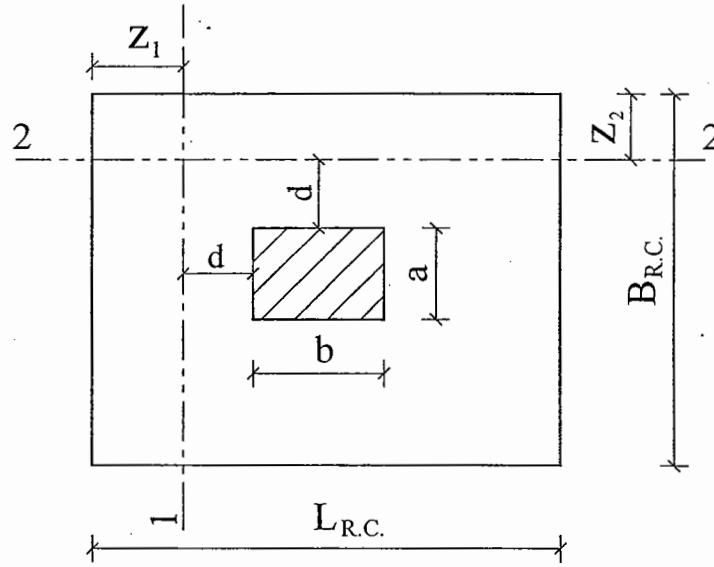
متساوى أى أن:-

$$- \ell_{c1} = \ell_{c2} \quad \& \quad M_{uI} = M_{uII}$$

- وفى هذه الحالة يتم حساب العزوم مرة واحدة فقط.

3- Check shear:-

- القطاع الحرج فى ال shear يكون على بعد d من وش العمود الخرسانى من الناحيتين.



$$- q_{scu} = 0.16 \times \sqrt{\frac{f_{cu}}{1.5}}$$

$$- z_1 = l_{c_1} - d \quad \& \quad - z_2 = l_{c_2} - d$$

$$- Q_{su_1} = q_u \times z_1 \quad \& \quad - Q_{su_2} = q_u \times z_2$$

$$- q_{su} = \frac{Q_{su_{max}} \times 10^3}{d_{(mm)} \times 1000} = \sqrt{\quad} \quad (N / mm^2)$$

$$- \text{if } q_{su} \leq q_{scu} \Rightarrow \text{safe}$$

$$- \text{if } q_{su} > q_{scu} \Rightarrow \text{unsafe (increase } d \text{ and recheck)}$$

- ملاحظة هامة جداً:-

- فى حالة استخدام العلاقة $(L - B = b - a)$ يكون طول الكابولى فى الاتجاهين

متساوى أى أن:-

$$- l_{c_1} = l_{c_2} \Rightarrow z_1 = z_2$$

- وفى هذه الحالة يتم حساب اجهادات القص Q_{su} مرة واحدة فقط.

4- Check punching shear:-

- القطاع الحرج في ال punching يكون على بعد $(d/2)$ من وش العمود الخرساني من كل ناحية.

$$- q_{pcu} = 0.316 \left(0.5 + \frac{a}{b}\right) \sqrt{\frac{f_{cu}}{1.5}} \quad (\text{For } \frac{a}{b} < 0.5)$$

- OR:-

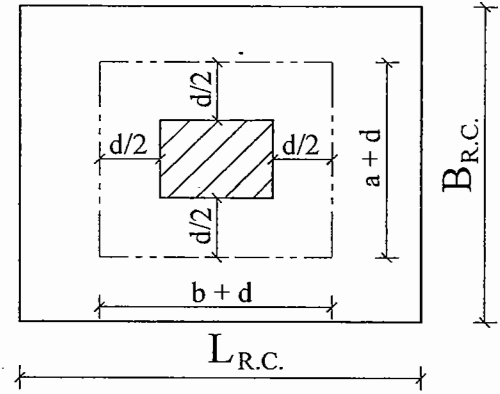
$$- q_{pcu} = 0.316 \times \sqrt{\frac{f_{cu}}{1.5}} \quad (\text{For } \frac{a}{b} \geq 0.5)$$

$$- Q_{pu} = P_u - q_u [(b + d) \cdot (a + d)]$$

$$- q_{pu} = \frac{Q_{pu} \times 10^3}{d \cdot [(b + d) + (a + d)] \times 2} = \sqrt{\quad}$$

- if $q_{pu} \leq q_{pcu} \Rightarrow \text{safe}$

- if $q_{pu} > q_{pcu} \Rightarrow \text{unsafe (increase } d \text{ and recheck)}$



5- RFT:-

$$- A_{s_{min}} = 1.5 \times d_{(mm)} = \sqrt{\quad} \text{ mm}^2 / m'$$

$$- A_{s_I} = \frac{M_{u_I} \times 10^6}{f_y \times J \times d_{mm}} = \sqrt{\quad} \text{ mm}^2 / B$$

$$- A_{s_{II}} = \frac{M_{u_{II}} \times 10^6}{f_y \times J \times d_{mm}} = \sqrt{\quad} \text{ mm}^2 / L$$

- If $A_s < A_{s_{min}} \Rightarrow \text{use } A_{s_{min}}$

- use $A_{s_I} = ? \text{ } \phi \text{ } ? \text{ } \backslash m'$

- use $A_{s_{II}} = ? \text{ } \phi \text{ } ? \text{ } \backslash m'$

- ملاحظة هامة جداً:-

- في حالة استخدام العلاقة $(L - B = b - a)$ يكون التسليح في الاتجاهين متساوي وفي هذه الحالة يتم حساب التسليح مرة واحدة فقط.

6- Details of RFT:-

- See next examples

- Example 1:-

Design an isolated footing to carry a column load of 2500 kN. The column dimensions are 0.90 x 0.40 m. Draw a sectional elevation and a plan with scale 1: 50. Thickness of P.C. is 40 cm, and $q_{all} = 150 \text{ kN/m}^2$. ($f_{cu} = 25 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 360 \text{ N/mm}^2$).

- Solution:-

1- Area of footing:-

$$- A_{P.C.} = \frac{P_{col}}{q_{all}} = \frac{2500}{150} = 16.67 \text{ m}^2 = B_{P.C.} \times L_{P.C.}$$

$$- L_{P.C.} - B_{P.C.} = b - a = 0.9 - 0.4 = 0.5 \text{ m}$$

$$\Rightarrow L_{P.C.} = B_{P.C.} + 0.5 \quad \text{But } B_{P.C.} \times L_{P.C.} = 16.67 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow B_{P.C.} (B_{P.C.} + 0.5) = 16.67 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow (B_{P.C.})^2 + 0.5 (B_{P.C.}) - 16.67 = 0$$

$$\Rightarrow B_{P.C.} = 3.84 \text{ m} \Rightarrow \text{use } B_{P.C.} = 3.85 \text{ m}$$

$$\Rightarrow L_{P.C.} = 3.85 + 0.5 = 4.35 \text{ m}$$

$$\Rightarrow B_{R.C.} = B_{P.C.} - 2 t_{P.C.} = 3.85 - 2 \times 0.4 = 3.05 \text{ m}$$

$$\Rightarrow L_{R.C.} = L_{P.C.} - 2 t_{P.C.} = 4.35 - 2 \times 0.4 = 3.55 \text{ m}$$

2- Design of critical section for Bending Moment:-

$$- P_u = 2500 \times 1.5 = 3750 \text{ kN}$$

$$- q_u = \frac{3750}{3.05 \times 3.55} = 346.3 \text{ kN/m}^2$$

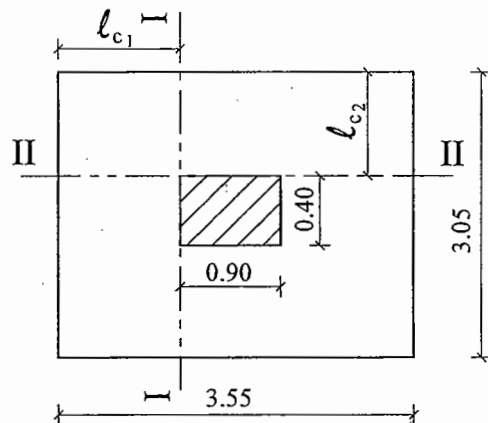
$$- \ell_{c_1} = \ell_{c_2} = \frac{3.55 - 0.90}{2} = 1.325 \text{ m}$$

$$- M_{u_I} = M_{u_{II}} = q_u \times \frac{(\ell_{c_1})^2}{2} \times B$$

$$= 346.3 \times \frac{(1.325)^2}{2} \times 3.05 = 927.2 \text{ kN.m}$$

$$- d_I = d_{II} = C_1 \cdot \sqrt{\frac{M_{u_I} \times 10^6}{f_{cu} \times (B/2)}} = 3.5 \times \sqrt{\frac{927.2 \times 10^6}{25 \times (3050/2)}} = 545.8 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{take } d = 580 \text{ mm} \quad \Rightarrow t = 650 \text{ mm}$$



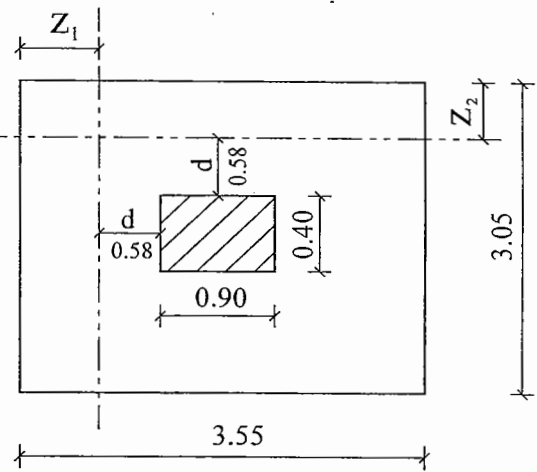
3- Check shear:-

$$- q_{scu} = 0.16 \times \sqrt{\frac{25}{1.5}} = 0.653 \text{ N/mm}^2$$

$$- z_1 = z_2 = \ell_{c1} - d = 1.325 - 0.58 = 0.745 \text{ m}$$

$$- Q_{su1} = Q_{su2} = q_u \times z_1 = 346.3 \times 0.745 = 258 \text{ kN}$$

$$- q_u = \frac{Q_{su_{\max}} \times 10^3}{d \times 1000} = \frac{258 \times 10^3}{580 \times 1000} = 0.445 \text{ N/mm}^2 < q_{scu} \Rightarrow \text{safe}$$



4- Check punching shear:-

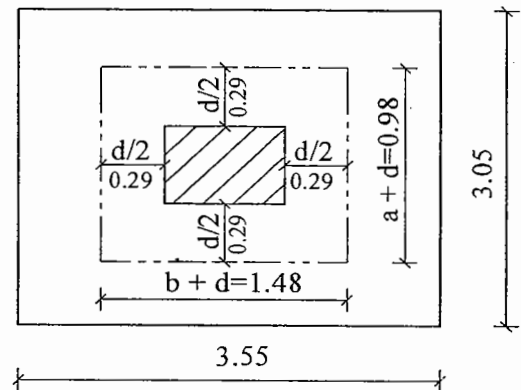
$$- \frac{a}{b} = \frac{0.4}{0.9} = 0.44 < 0.5$$

$$\Rightarrow q_{pcu} = 0.316 \times \left(0.5 + \frac{0.4}{0.9}\right) \sqrt{\frac{25}{1.5}} = 1.218 \text{ N/mm}^2$$

$$- Q_{pu} = P_u - q_u [(b+d)(a+d)] = 3750 - 346.3 \times [(1.48)(0.98)] = 3247.7 \text{ kN}$$

$$- q_{pu} = \frac{Q_{pu} \times 10^3}{d [(b+d) + (a+d)] \times 2}$$

$$- q_{pu} = \frac{3247.7 \times 10^3}{580 [1480 + 980] \times 2} = 1.138 \text{ N/mm}^2 < q_{pcu} \Rightarrow \text{safe}$$



5- RFT:-

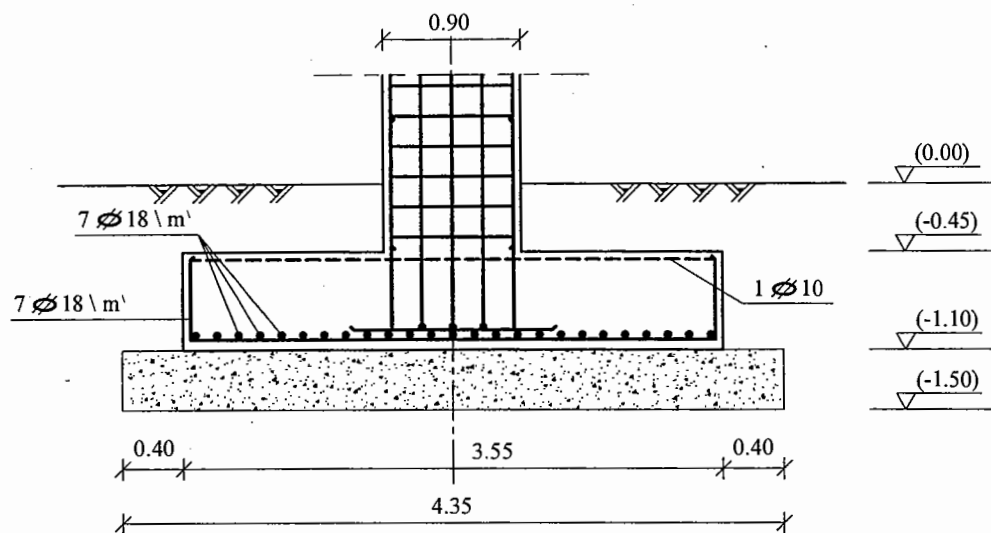
$$- A_{s_{\min}} = 1.5 \times d = 1.5 \times 580 = 870 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$- A_{sI} = A_{sII} = \frac{M_{uI} \times 10^6}{f_y \times J \times d} = \frac{927.2 \times 10^6}{360 \times 0.826 \times 580}$$

$$= 5376 \text{ mm}^2 / 3.05\text{m} = 1763 \text{ mm}^2 / \text{m} > A_{s_{\min}}$$

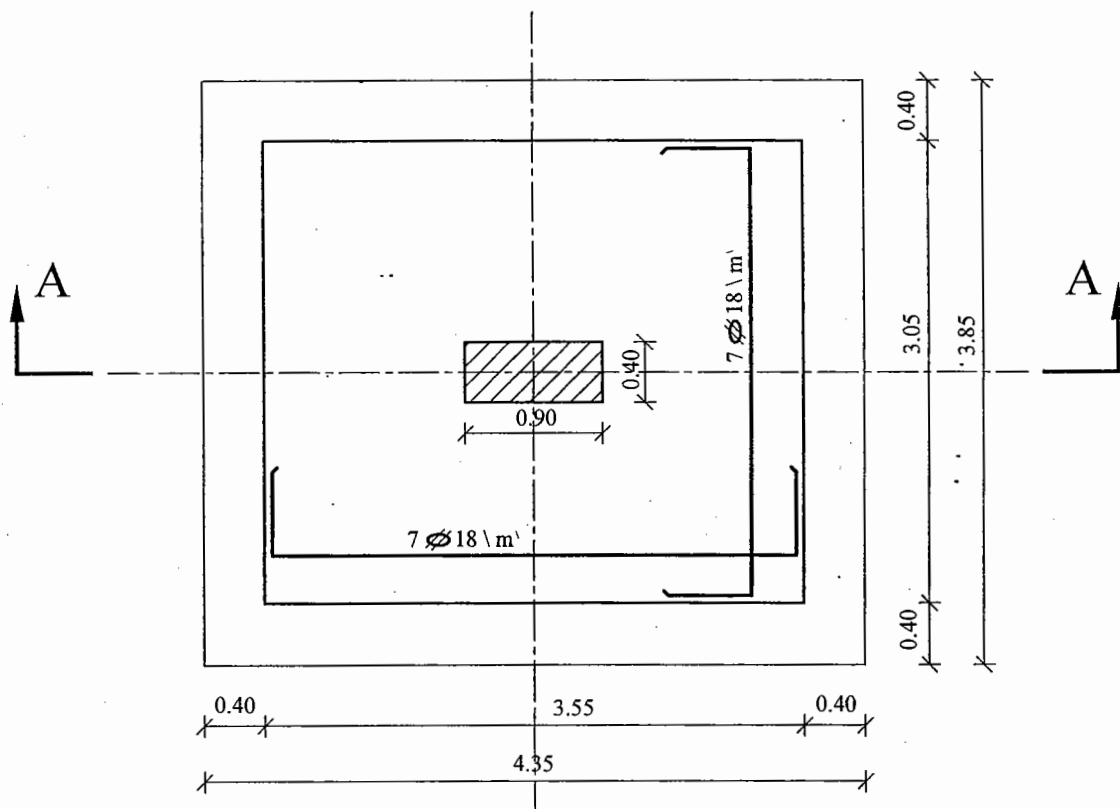
$$- \text{use } A_{sI} = A_{sII} = 7 \text{ } \phi 18 \text{ / m}$$

- Details of RFT:-



Section A-A

scale 1:50



Plan

scale 1:50

- Example 2:-

Redesign the previous isolated footing (example 1) assuming the thickness of the plain concrete footing is 10 cm.

- Solution:-

1- Area of footing:-

$$- A_{R.C.} = \frac{P_{col}}{q_{all}} = \frac{2500}{150} = 16.67 \text{ m}^2 = B_{R.C.} \times L_{R.C.}$$

$$- L_{R.C.} - B_{R.C.} = b - a = 0.9 - 0.4 = 0.5 \text{ m}$$

$$\Rightarrow L_{R.C.} = B_{R.C.} + 0.5 \quad \text{But } B_{R.C.} \times L_{R.C.} = 16.67 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow B_{R.C.} (B_{R.C.} + 0.5) = 16.67 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow (B_{R.C.})^2 + 0.5 (B_{R.C.}) - 16.67 = 0$$

$$\Rightarrow B_{R.C.} = 3.84 \text{ m} \Rightarrow \text{use } B_{R.C.} = 3.85 \text{ m}$$

$$\Rightarrow L_{R.C.} = 3.85 + 0.5 = 4.35 \text{ m}$$

$$\Rightarrow B_{P.C.} = B_{R.C.} + 2 t_{P.C.} = 3.85 + 2 \times 0.1 = 4.05 \text{ m}$$

$$\Rightarrow L_{P.C.} = L_{R.C.} + 2 t_{P.C.} = 4.35 + 2 \times 0.1 = 4.55 \text{ m}$$

2- Design of critical section for Bending Moment:-

$$- P_u = 2500 \times 1.5 = 3750 \text{ kN}$$

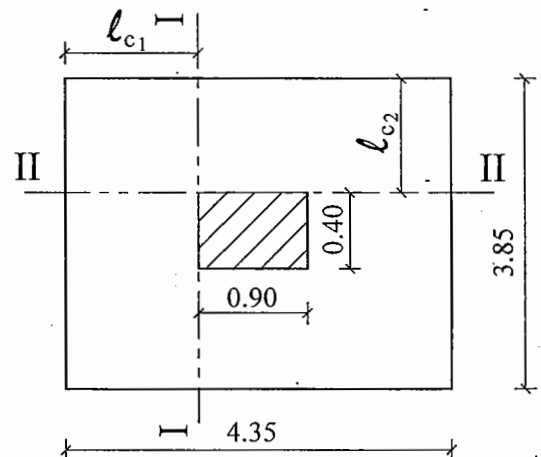
$$- q_u = \frac{3750}{3.85 \times 4.35} = 223.9 \text{ kN/m}^2$$

$$- \ell_{c1} = \ell_{c2} = \frac{3.85 - 0.40}{2} = 1.725 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} - M_{u1} = M_{u2} &= q_u \times \frac{(\ell_{c1})^2}{2} \times B \\ &= 223.9 \times \frac{(1.725)^2}{2} \times 3.85 = 1282.5 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$- d_I = d_{II} = C_1 \cdot \sqrt{\frac{M_{u1} \times 10^6}{f_{cu} \times (B/2)}} = 3.5 \times \sqrt{\frac{1282.5 \times 10^6}{25 \times (3850/2)}} = 571 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{take } d = 580 \text{ mm} \quad \Rightarrow t = 650 \text{ mm}$$



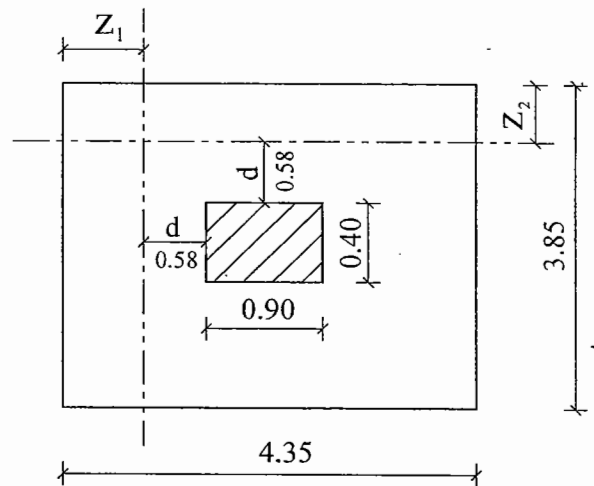
3- Check shear:-

$$- q_{scu} = 0.16 \times \sqrt{\frac{25}{1.5}} = 0.653 \text{ N/mm}^2$$

$$- z_1 = z_2 = \ell_{c1} - d = 1.725 - 0.58 = 1.145 \text{ m}$$

$$- Q_{su1} = Q_{su2} = q_u \times z_1 = 223.9 \times 1.145 = 256.4 \text{ kN}$$

$$- q_u = \frac{Q_{su_{\max}} \times 10^3}{d \times 1000} = \frac{256.4 \times 10^3}{580 \times 1000} = 0.442 \text{ N/mm}^2 < q_{scu} \Rightarrow \text{safe}$$



4- Check punching shear:-

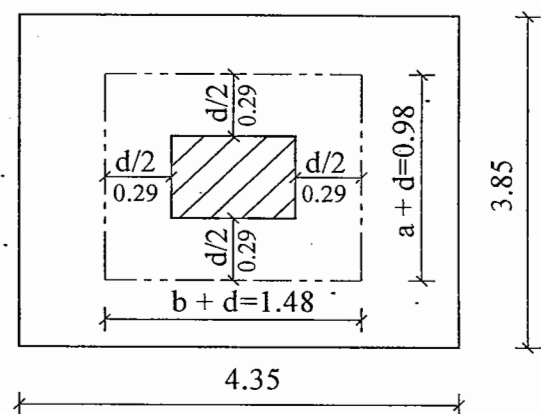
$$- \frac{a}{b} = \frac{0.4}{0.9} = 0.44 < 0.5$$

$$\Rightarrow q_{pcu} = 0.316 \times \left(0.5 + \frac{0.4}{0.9}\right) \sqrt{\frac{25}{1.5}} = 1.218 \text{ N/mm}^2$$

$$- Q_{pu} = P_u - q_u [(b+d)(a+d)] = 3750 - 223.9 \times [(1.48)(0.98)] = 3425.3 \text{ kN}$$

$$- q_{pu} = \frac{Q_{pu} \times 10^3}{d [(b+d) + (a+d)] \times 2}$$

$$- q_{pu} = \frac{3425.3 \times 10^3}{580 [1480 + 980] \times 2} = 1.2 \text{ N/mm}^2 < q_{pcu} \Rightarrow \text{safe}$$



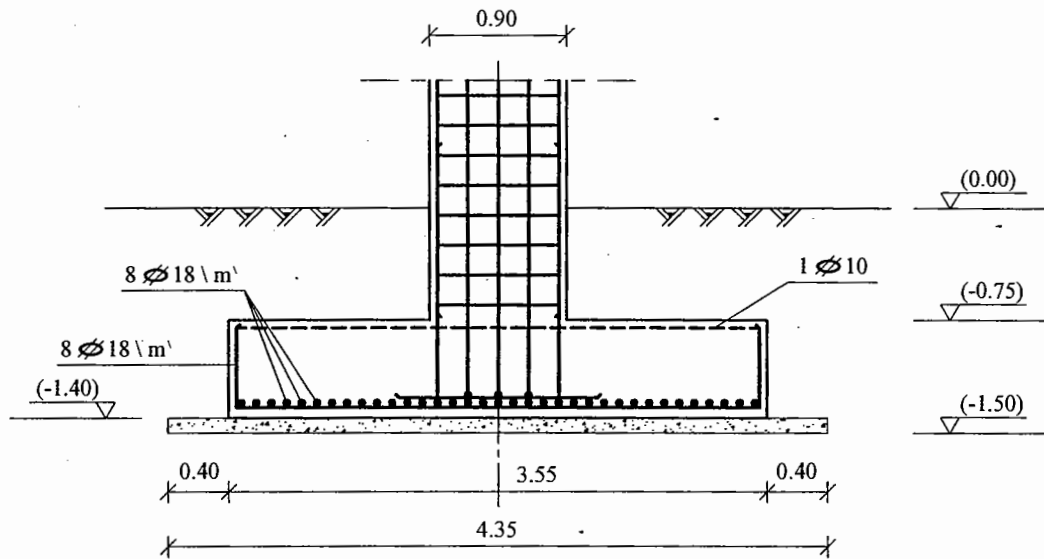
5- RFT:-

$$- A_{s_{\min}} = 1.5 \times d = 1.5 \times 580 = 870 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$- A_{s_I} = A_{s_{II}} = \frac{M_{u_I} \times 10^6}{f_y \times J \times d} = \frac{1282.5 \times 10^6}{360 \times 0.826 \times 580} = 7436 \text{ mm}^2 / 3.85 \text{ m} = 1931 \text{ mm}^2 / \text{m} > A_{s_{\min}}$$

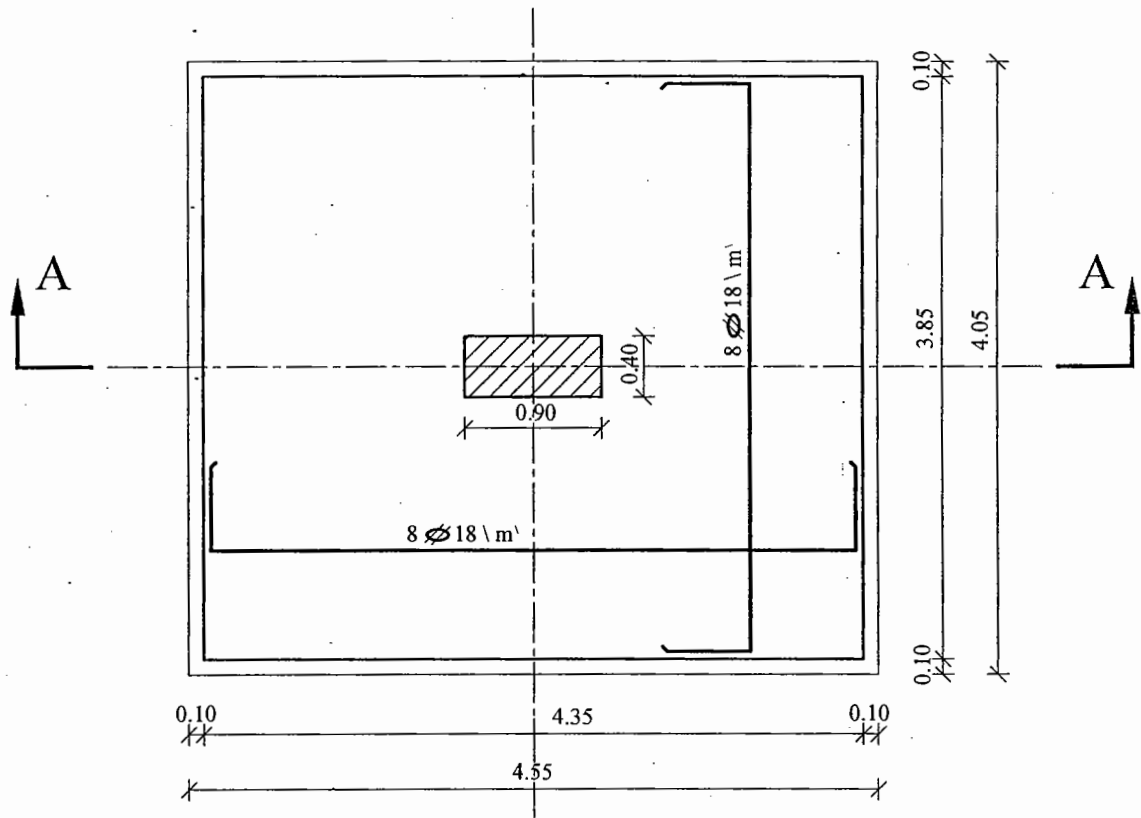
$$- \text{use } A_{s_I} = A_{s_{II}} = 8 \phi 18 \text{ m}$$

- Details of RFT:-



Section A-A

scale 1:50



Plan

scale 1:50

- Example 3:-

Compare between the designed isolated footings in (example 1) and (example 2), with respect to the volume of the plain concrete footings; the volume of the reinforced concrete footings; and the amount of the reinforcements.

- Solution:-

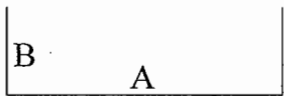
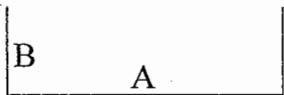
1- P. C. Bill of Quantities (BOQ):-



$t_{P.C.}$	$t_{P.C.} = 40 \text{ cm}$			$t_{P.C.} = 10 \text{ cm}$		
Dimension	L (m)	B (m)	t (m)	L (m)	B (m)	t (m)
	4.35	3.85	0.40	4.55	4.05	0.10
Total volume (m ³)/footing	<u>6.70</u>			<u>1.84</u>		

2- R. C. Bill of Quantities (BOQ):-

$t_{P.C.}$	$t_{P.C.} = 40 \text{ cm}$			$t_{P.C.} = 10 \text{ cm}$		
Dimension	L (m)	B (m)	t (m)	L (m)	B (m)	t (m)
	3.55	3.05	0.65	4.35	3.85	0.65
Total volume (m ³)/footing	<u>7.04</u>			<u>10.89</u>		

3- RFT Bill of Quantities (BOQ):-

$t_{P.C.} = 40 \text{ cm}$							
Model		A (mm)	B (mm)	No./m'	Diameter (mm)	Length (m)	Weight (kG)
1		3450	550	7	18	3.05	194
2		2950	550	7	18	3.55	201
Total RFT amount (kG)							395

$t_{P.C.} = 10 \text{ cm}$							
Model		A (mm)	B (mm)	No./m'	Diameter (mm)	Length (m)	Weight (kG)
1		4250	550	8	18	3.85	329
2		3750	550	8	18	4.35	337
Total RFT amount (kG)							666

- Example 4:-

Design an isolated footing to support a square column which carries an axial load of 100 kN. The suggested thickness of the plain concrete footing is 10 cm. The allowable net bearing capacity of the subsoil is 200 KPa. The allowed minimum width of the R.C. footings in that project is 0.8 m. ($f_{cu} = 22.5 \text{ N/mm}^2$, Steel 36/52). Draw details for the designed footing in both plan and cross sectional elevation using scale 1:25.

- Solution:-

- Column dimensions:-

$$- A_{col} = \frac{P_{col}}{f_{co}} = \frac{100 \times 10^3}{6} = 16666.7 \text{ mm}^2 = (a)^2$$

$$\Rightarrow a = 129 \text{ mm} \Rightarrow \text{use } a_{min} = 250 \text{ mm}$$

1- Area of footing:-

$$- A_{R.C.} = \frac{P_{col}}{q_{all}} = \frac{100}{200} = 0.5 \text{ m}^2 = (B_{R.C.})^2$$

$$\Rightarrow B_{R.C.} = 0.71 \text{ m} \Rightarrow \text{use } B_{R.C.min} = 0.8 \text{ m}$$

$$\Rightarrow B_{P.C.} = B_{R.C.} + 2 t_{P.C.} = 0.8 + 2 \times 0.1 = 1.0 \text{ m}$$

2- Design of critical section for Bending Moment:-

$$- P_u = 100 \times 1.5 = 150 \text{ kN}$$

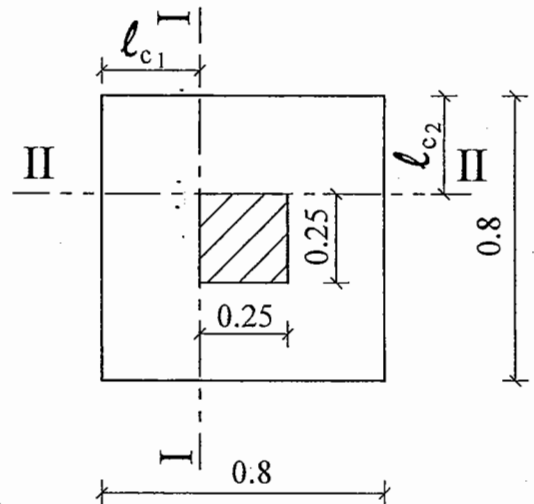
$$- q_u = \frac{150}{0.8 \times 0.8} = 234.4 \text{ kN/m}^2$$

$$- \ell_{c_1} = \ell_{c_2} = \frac{0.80 - 0.25}{2} = 0.275 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} - M_{u_I} = M_{u_{II}} &= q_u \times \frac{(\ell_{c_1})^2}{2} \times B \\ &= 234.4 \times \frac{(0.275)^2}{2} \times 0.8 = 7.1 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$- d_I = d_{II} = C_1 \cdot \sqrt{\frac{M_I \times 10^6}{f_{cu} \times (B/2)}} = 3.5 \times \sqrt{\frac{7.1 \times 10^6}{22.5 \times (800/2)}} = 98 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{use } d_{min} = 330 \text{ mm} \Rightarrow t = 400 \text{ mm}$$



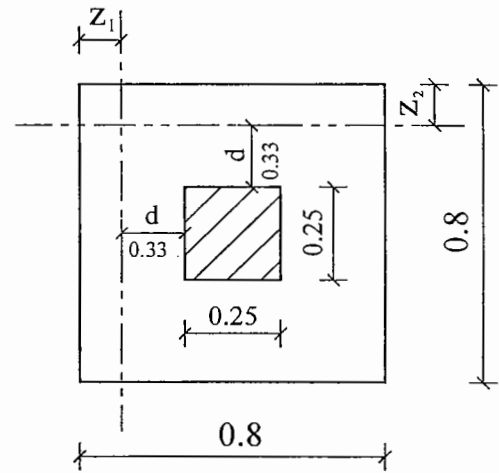
3- Check shear:-

$$- q_{scu} = 0.16 \times \sqrt{\frac{22.5}{1.5}} = 0.62 \text{ N/mm}^2$$

$$- z_1 = z_2 = \ell_{c1} - d$$

$$= 0.275 - 0.33 = -ve$$

\Rightarrow no need to check shear



4- Check punching shear:-

$$- \frac{a}{b} = 1 > 0.5$$

$$\Rightarrow q_{pcu} = 0.316 \times \sqrt{\frac{22.5}{1.5}}$$

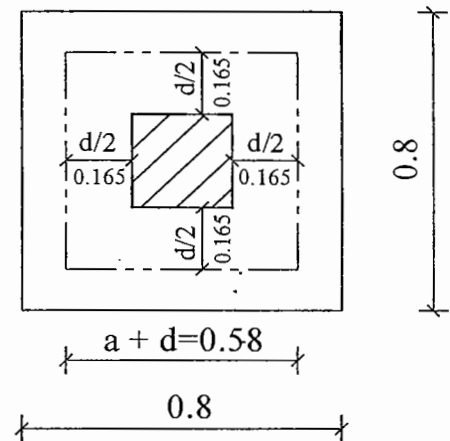
$$= 1.224 \text{ N/mm}^2$$

$$- Q_{pu} = P_u - q_u [(b+d)(a+d)]$$

$$= 150 - 234.4 \times (0.58)^2 = 71.15 \text{ kN}$$

$$- q_{pu} = \frac{Q_{pu} \times 10^3}{d[(b+d) + (a+d)] \times 2}$$

$$- q_{pu} = \frac{71.15 \times 10^3}{330(580) \times 4} = 0.093 \text{ N/mm}^2 < q_{pcu} \Rightarrow \text{safe}$$



5- RFT:-

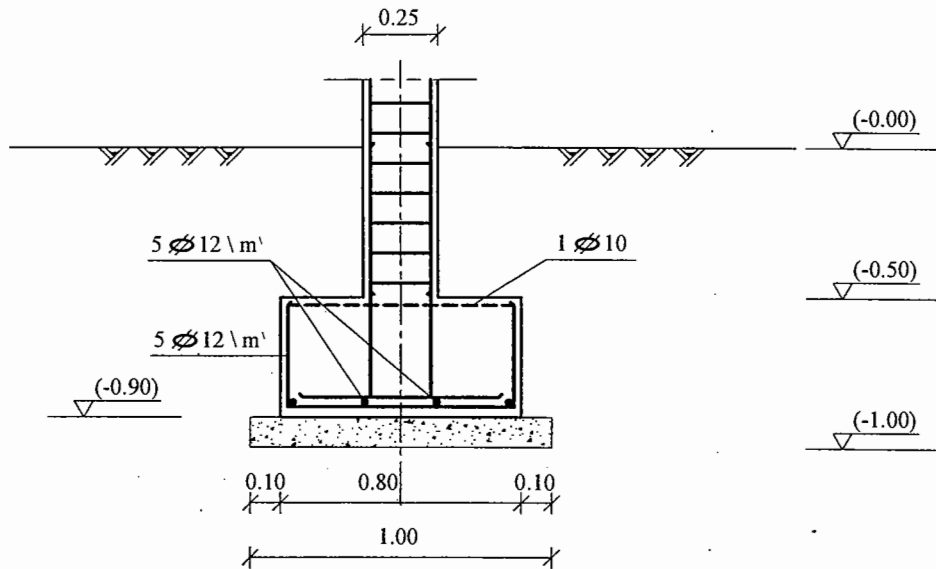
$$- A_{s_{min}} = 1.5 \times d = 1.5 \times 330 = 495 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$- A_{s_I} = A_{s_{II}} = \frac{M_{u_I} \times 10^6}{f_y \times J \times d} = \frac{7.1 \times 10^6}{360 \times 0.826 \times 330}$$

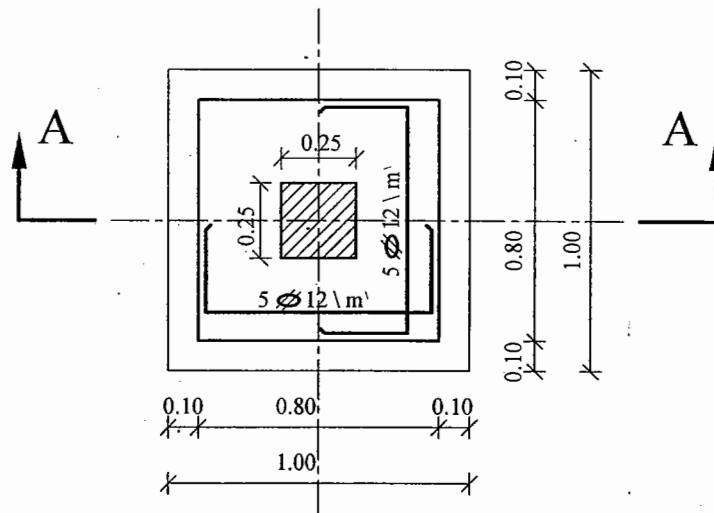
$$= 72.4 \text{ mm}^2 / 0.8 \text{ m} = 90.4 \text{ mm}^2 / \text{m} < A_{s_{min}}$$

$$- \text{use } A_{s_I} = A_{s_{II}} = A_{s_{min}} = 5 \phi 12 \text{ m}$$

- Details of RFT:-



Section A-A
scale 1:25



Plan
scale 1:25

- Example 5:-

Design an isolated footing to support a circular column. The diameter of the circular column is 0.8 m, and it carries an axial load of 3500 kN. The suggested thickness of the plain concrete footing is 30 cm. The allowable net bearing capacity of the subsoil is 150 kPa ($f_{cu} = 25 \text{ N/mm}^2$, Steel 36/52). Draw details for the designed footing in both plan and cross sectional elevation using scale 1:50.

- Solution:-

1- Area of footing:-

$$- A_{P.C.} = \frac{P_{col}}{q_{all}} = \frac{3500}{150} = 23.33 \text{ m}^2 = (B_{P.C.})^2$$

$$\Rightarrow B_{P.C.} = 4.83 \text{ m} \Rightarrow \text{use } B_{P.C.} = 4.85 \text{ m}$$

$$\Rightarrow B_{R.C.} = B_{P.C.} - 2 t_{P.C.} = 4.85 - 2 \times 0.3 = 4.25 \text{ m}$$

2- Design of critical section for Bending Moment:-

$$- P_u = 3500 \times 1.5 = 5250 \text{ kN}$$

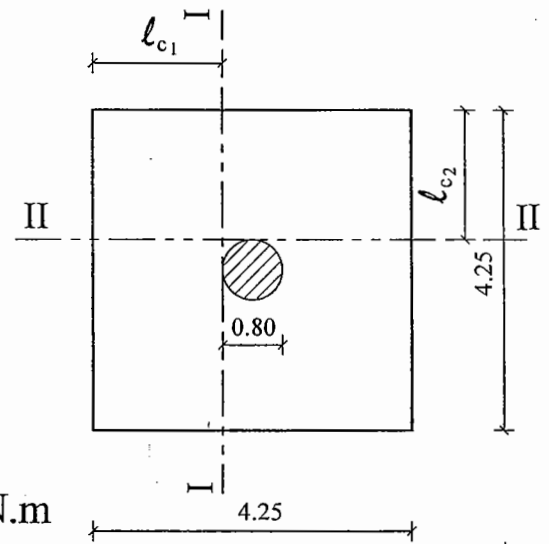
$$- q_u = \frac{5250}{4.25 \times 4.25} = 290.7 \text{ kN/m}^2$$

$$- \ell_{c_1} = \ell_{c_2} = \frac{4.25 - 0.8}{2} = 1.725 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} - M_{u_I} = M_{u_{II}} &= q_u \times \frac{(\ell_{c_1})^2}{2} \times B \\ &= 290.7 \times \frac{(1.725)^2}{2} \times 4.25 = 1838.2 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

$$- d_I = d_{II} = C_1 \cdot \sqrt{\frac{M_I \times 10^6}{f_{cu} \times (B/2)}} = 3.5 \times \sqrt{\frac{1838.2 \times 10^6}{25 \times (4250/2)}} = 651 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{use } d = 680 \text{ mm} \quad \Rightarrow t = 750 \text{ mm}$$



3- Check shear:-

$$- q_{scu} = 0.16 \times \sqrt{\frac{25}{1.5}} = 0.653 \text{ N/mm}^2$$

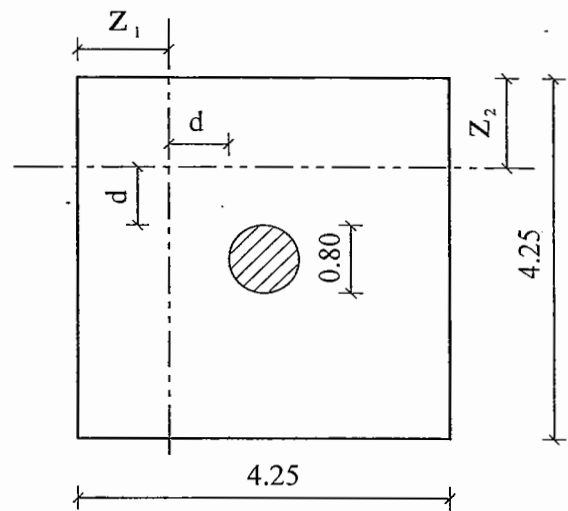
$$- z_1 = z_2 = \ell_{c1} - d$$

$$= 1.725 - 0.68 = 1.045 \text{ m}$$

$$- Q_{su1} = Q_{su2} = q_u \times z_1$$

$$= 290.7 \times 1.045 = 303.8 \text{ kN}$$

$$- q_u = \frac{Q_{su_{\max}} \times 10^3}{d \times 1000} = \frac{303.8 \times 10^3}{680 \times 1000} = 0.447 \text{ N/mm}^2 < q_{scu} \Rightarrow \text{safe}$$



4- Check punching shear:-

$$- \frac{a}{b} = 1 < 0.5$$

$$\Rightarrow q_{pcu} = 0.316 \times \sqrt{\frac{25}{1.5}}$$

$$= 1.29 \text{ N/mm}^2$$

$$- Q_{pu} = P_u - q_u \left[\pi \times \frac{(D+d)^2}{4} \right]$$

$$= 5250 - 290.7 \times \left[\pi \times \frac{(1.48)^2}{4} \right] = 4749.9 \text{ kN}$$

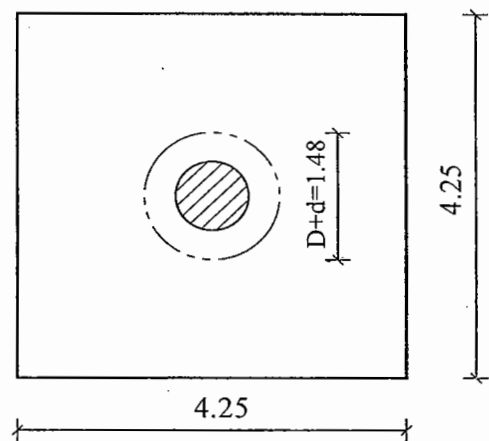
$$- q_{pu} = \frac{Q_{pu} \times 10^3}{d [\pi \times (D+d)]}$$

$$- q_{pu} = \frac{4749.9 \times 10^3}{680 (\pi \times 1480)} = 1.5 \text{ N/mm}^2 > q_{pcu} \Rightarrow \text{unsafe}$$

- Try $d = 730 \text{ mm}$

$$- Q_{pu} = 5250 - 290.7 \times \left[\pi \times \frac{(1.53)^2}{4} \right] = 4715.5 \text{ kN}$$

$$- q_{pu} = \frac{4715.5 \times 10^3}{730 (\pi \times 1530)} = 1.34 \text{ N/mm}^2 > q_{pcu} \Rightarrow \text{unsafe}$$



- Try $d = 780 \text{ mm}$

$$- Q_{pu} = 5250 - 290.7 \times \left[\pi \times \frac{(1.58)^2}{4} \right] = 4680 \text{ kN}$$

$$- q_{pu} = \frac{4680 \times 10^3}{780(\pi \times 1580)} = 1.209 \text{ N / mm}^2 < q_{pcu} \Rightarrow \text{safe}$$

\Rightarrow use $d = 780 \text{ mm}$ & $t = 850 \text{ mm}$

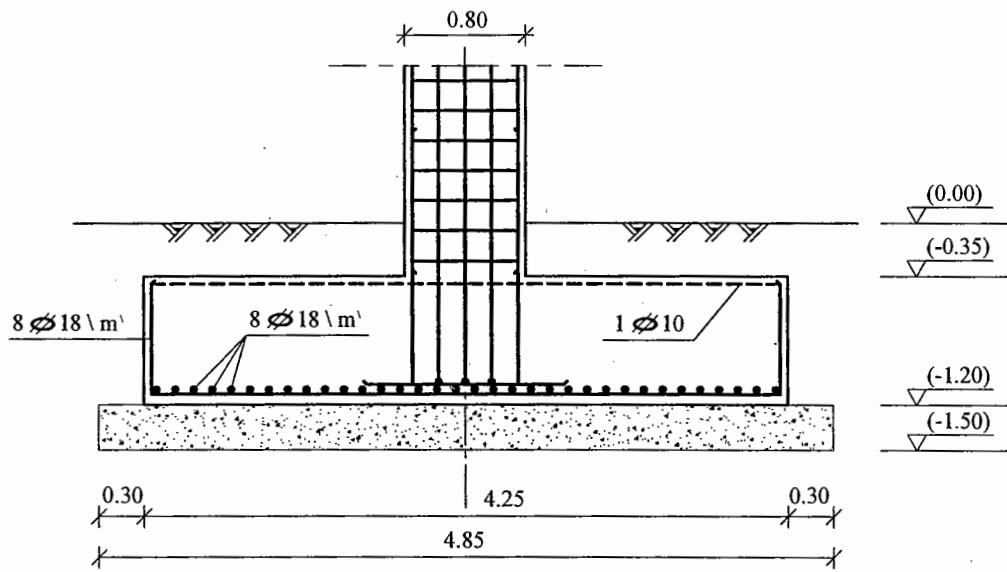
5- RFT:-

$$- A_{s_{min}} = 1.5 \times d = 1.5 \times 780 = 1170 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

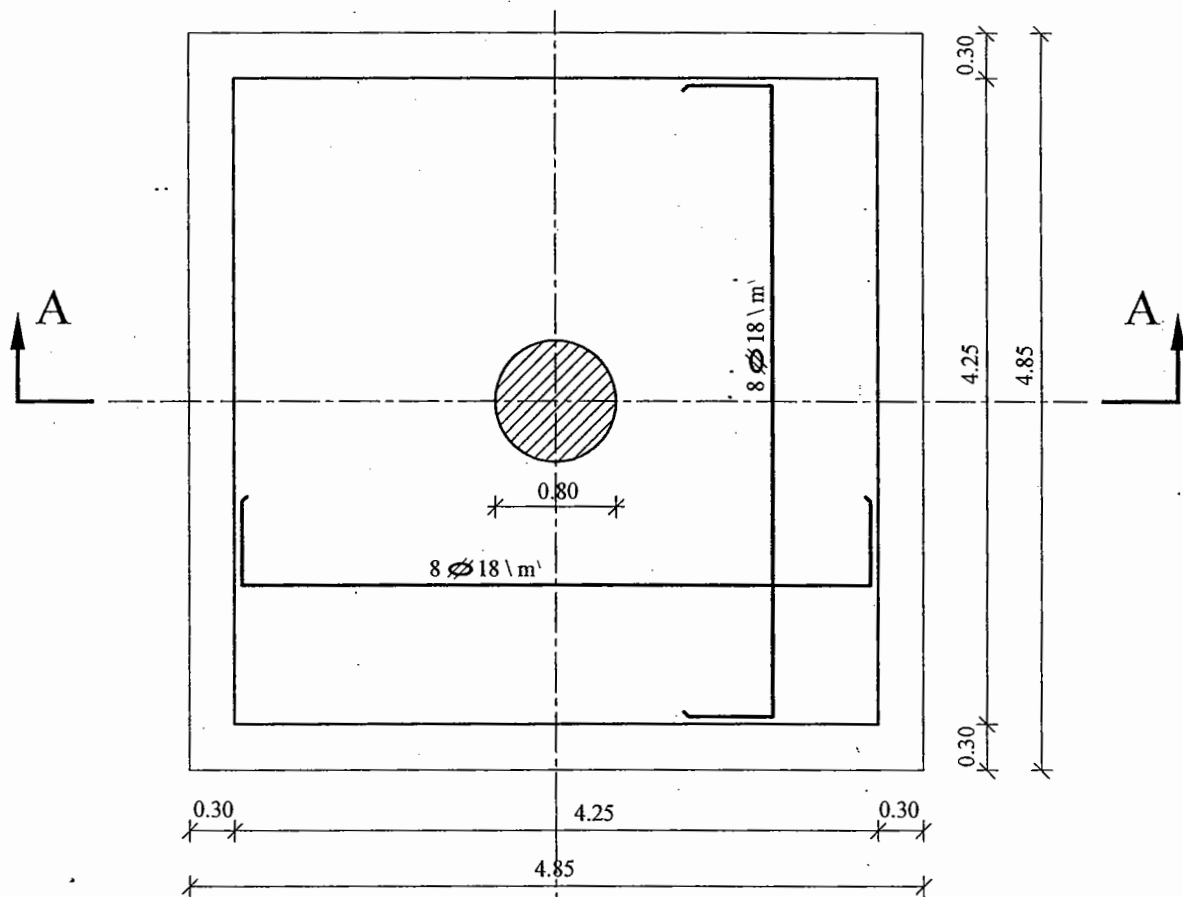
$$\begin{aligned} - A_{s_I} = A_{s_{II}} &= \frac{M_{u_I} \times 10^6}{f_y \times J \times d} = \frac{1838.2 \times 10^6}{360 \times 0.826 \times 780} \\ &= 7925.3 \text{ mm}^2 / 4.25 \text{ m} = 1865 \text{ mm}^2 / \text{m} < A_{s_{min}} \end{aligned}$$

$$- \text{use } A_{s_I} = A_{s_{II}} = 8 \text{ } \phi 18 \text{ \textbackslash m}$$

- Details of RFT:-



Section A-A
scale 1:50



Plan
scale 1:50