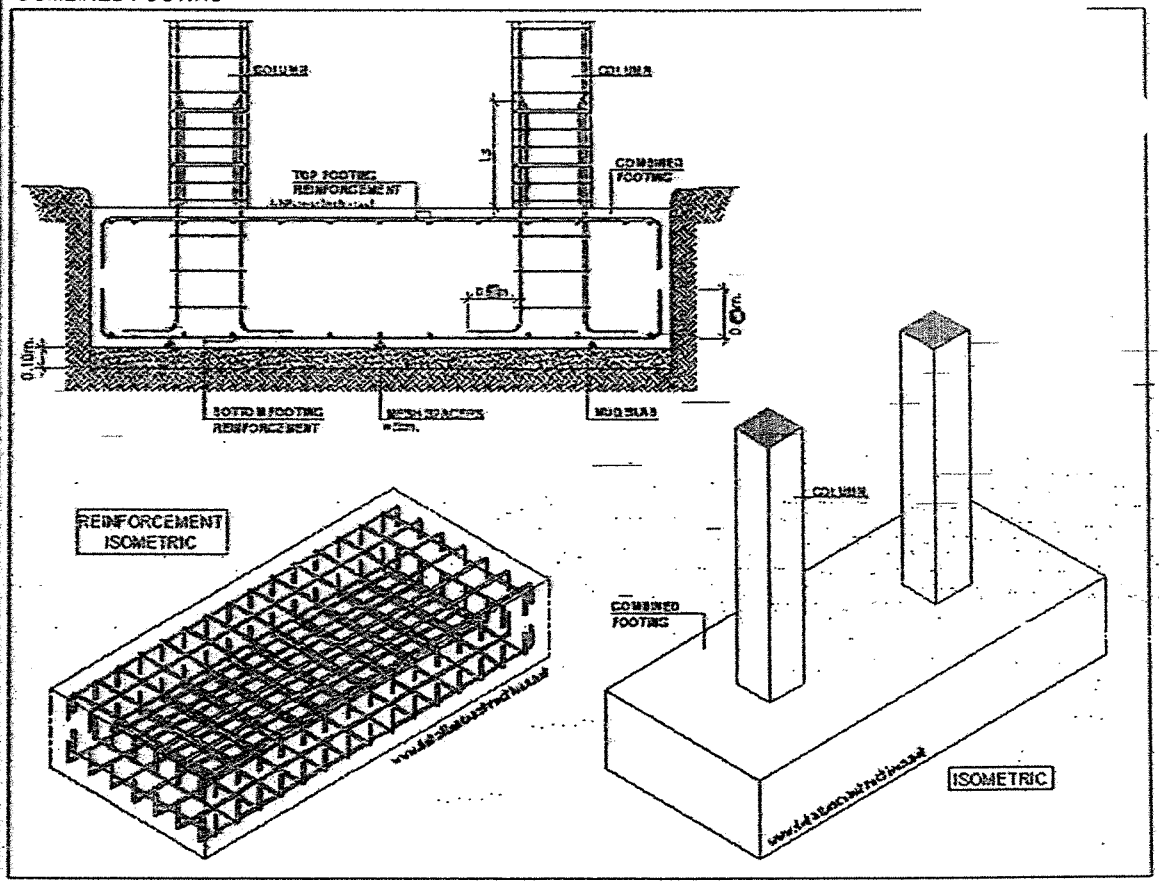
HM Engineer
engineer22.com

Foundations Engineering

COMBINED FOOTING



Combined Footing

Design of Combined footing

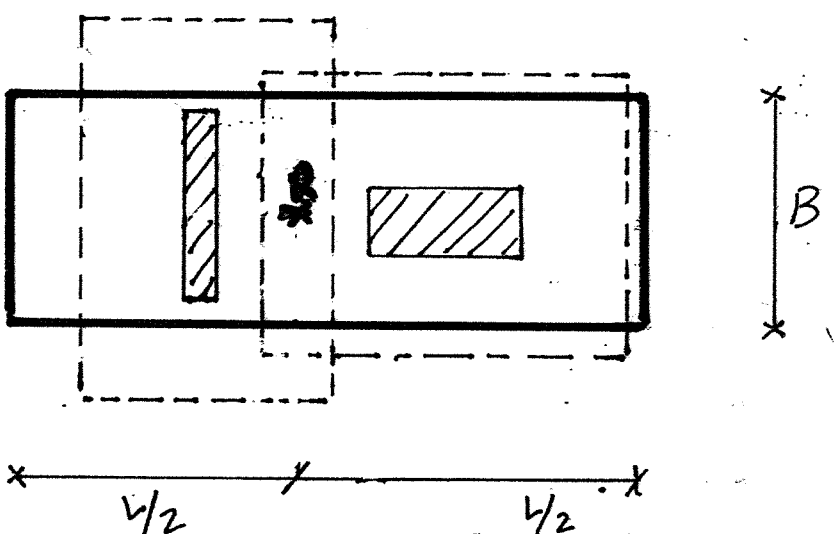
. هى القاعدة المشتركة - والتى تضم عمودين داخل قاعدة واحدة
وفى بعض الحالات التى عمودين
ولكنه يجب ان يكون كل هذه الاعمدة على خط واحد .

يمكن عمل القاعده المشتركه فى الحالات الاتيه :-

الحالة الاولى :-

•• فى حالة وجود عمودين لصاقة ببعضها صغيرة وكيث تداخل كبير فى القواعد المنفصلة كل عمود .

•• لابد ان تكون المحصلة فى منتصف القاعدة

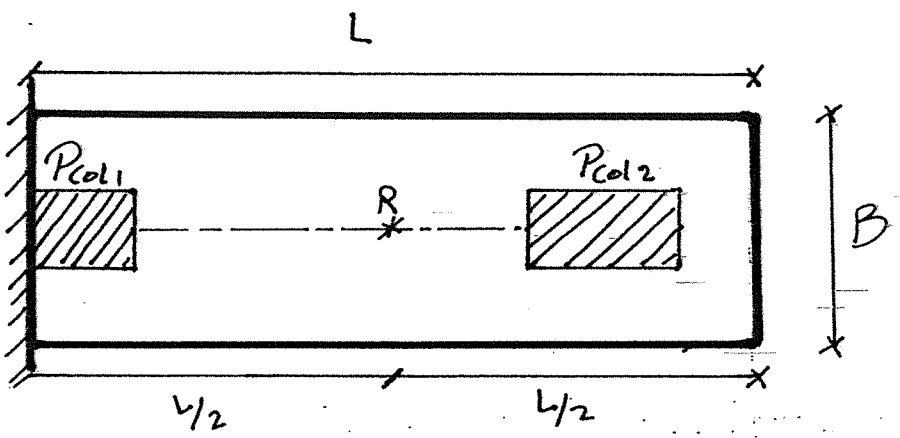


الحالة الثانية :-

.. حالة عمود الجار وذلك في الحالات الآتية :-

① المسافة بين العمودين اقل من 4m

② حمل العمود الداخلي (internal) أكبر من حمل العمود الخارجي (external) "الجار"



$$P_{col_2} > P_{col_1}$$

Note

•• لابد من تكوين محصلة الاحمال في منتصف القاعدة

تصميم القاعدة المركبة (Combined)

في حالة عدم وجود عمود جار

Givens :-

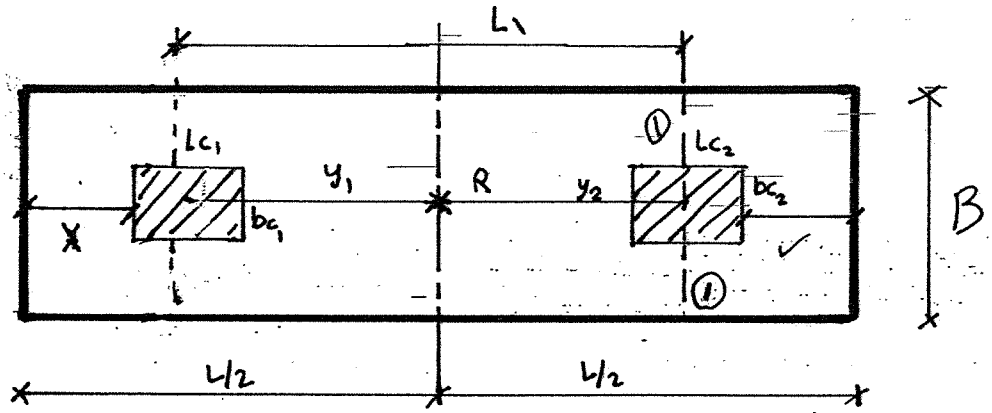
$P_{col1} = \checkmark$ $P_{col2} = \checkmark$ qallowed

$b_{c_1} = \checkmark$ $L_{c_1} = \checkmark$ $b_{c_2} = \checkmark$ $L_{c_2} = \checkmark$

L = المسافة بين المحورين

Geometric design:

حالة $P_{col2} > P_{col1}$



1 إيجاد قيمة ومكان المحصلة

$R = P_{col1} + P_{col2} = \checkmark t$

عزم المحصلة = عزوم القوى حول محور (1-1)

$P_{c1} * L' = R * y_2$. $y_2 = \checkmark m$

$y_1 = L - y_2 = \checkmark m$.

[2] ايجاد المساحة الكلية المطلوبة للقاعدة

$$- q_{allnet} = \frac{R}{Area\ required}$$

$$\therefore A_{req} = \frac{R}{q_{allnet}} = \checkmark \ m^2$$

---

[3] يتم فرض قيمة (X) الرمزة ناحية العمود الصغير كما هو موضح بالشكل

assume X from (0.5 ~ 1.5)

$$\therefore L/2 = y_1 + \frac{L_{c1}}{2} + X$$

$$\therefore L = 2\left(y_1 + \frac{L_{c1}}{2} + X\right) = \checkmark \ m$$

$$\therefore B = \frac{Area}{L} = \checkmark \ m$$

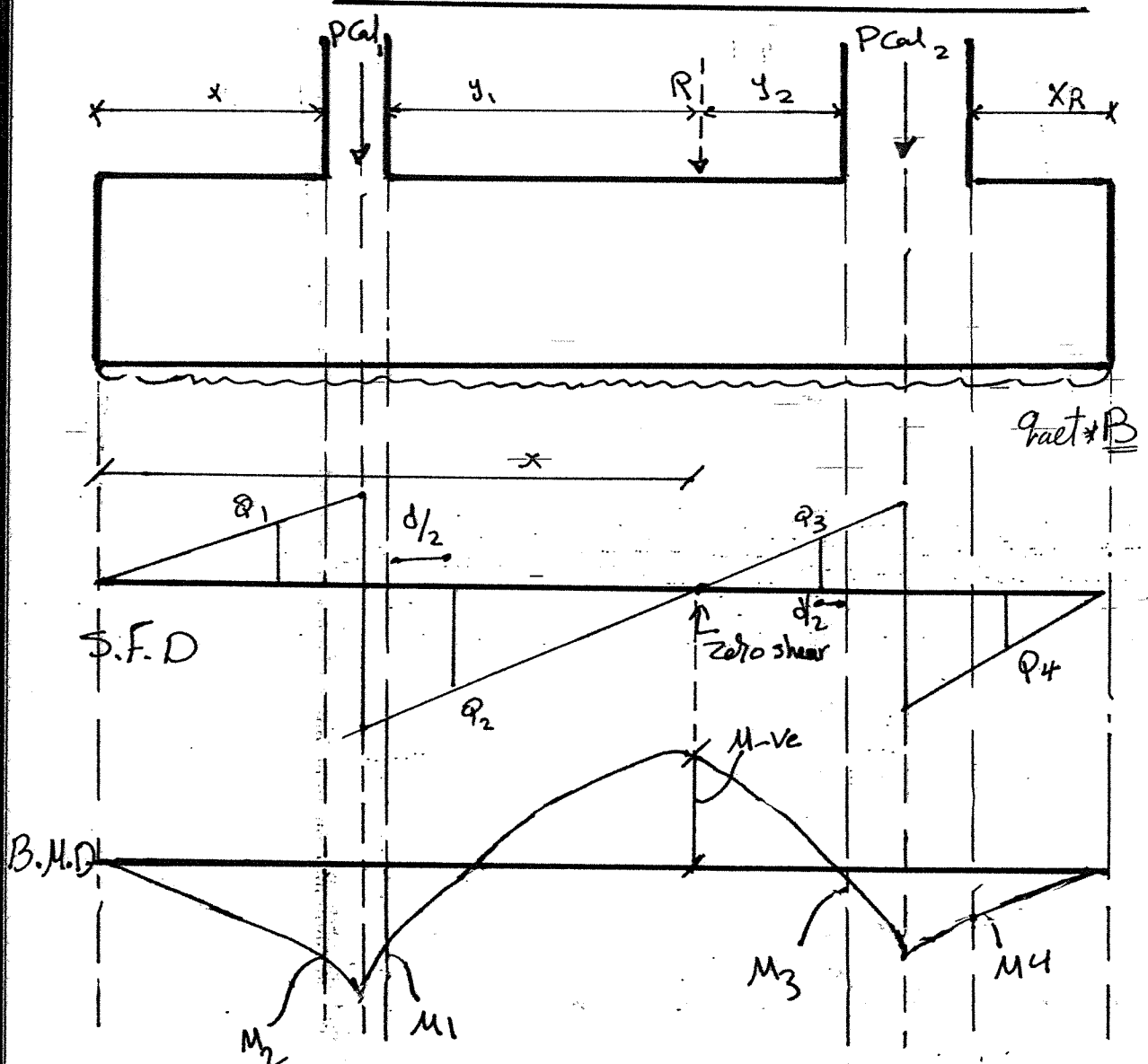
* لاحظ انه (B , L) يتم تقريبهم لاقرب (5cm)

Structural design :-

$$q_{act} = \frac{R}{B * L} = \checkmark \ t/m^2 \ \not< \ q_{all}$$

→ عرض القدم

رسم شكل Moment & shear تخطيطي :-



.. Zero shear مكان $x = \frac{P_{col}}{q_{act} * B}$

.يتم حساب قيمة العزوم M_4 ، M_3 ، M_2 / M_1 ، M_{1-ve}
ونختار الاكبر منهم (M_{max})

$$d = K_1 \sqrt{\frac{M_{max} * 10^5}{B}} = \checkmark\ cm \qquad d_{min} = 30\ cm$$

B ← العرض بالكامل cm

II check of shear:-

.. يتم حساب قيمة الـ shear الموضح في شكل الـ (S.F.D) وهي (Q_1 ، Q_2 ، Q_3 ، Q_4)
ونختار الاكبر منهم .. $Q_1 = \checkmark\ t$ ، $Q_2 = \checkmark\ t$ ، $Q_3 = \checkmark\ t$ ، $Q_4 = \checkmark\ t$
نختار الاكبر Q_{max}

.. قيمة shear ← هي محصلة الاحمال من بدايته أو
نهايته الشاملة حتى النقطة المطلوب حسابها

$$q_s = \frac{Q_{max}\ (t)}{b * d} = \checkmark\ t/m^2 \qquad \ngtr q_{all} = 35\ t/m^2$$

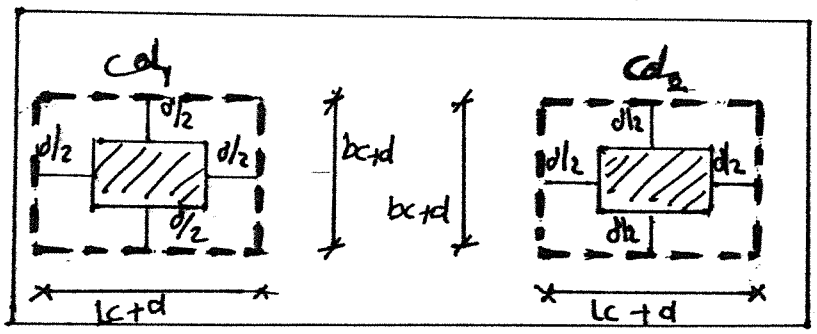
b ← m العرض الكلي بالمتر (B) ، d ← m

Notes:

.. كل قيم الـ (shear) تكون على بعد
$d/2$ من بداية ونهاية قطاع العمود

.. اذا كانت قيمة $q_{all} < q_s$ يتم فرض d اكبر وعمل الـ check مرة أخرى

III check of punshing :



يتم عمل check punshing لكل عمود على حدة ..

For col2 :→

$$Qp = P_{col_2} - q_{act}\,(lc_2+d)(bc_2+d) = \text{؟ t}$$

$$Ap = [2(lc_2+d) + 2(bc+d)] * d = \text{؟ } m^2$$

$$qp = \frac{Qp}{Ap} = \text{؟ } t/m^2 \quad \not< 90 \ t/m^2$$

For col1 :→

$$Qp = P_{col_1} - q_{act} * (lc_1+d) * (bc_1+d) = \text{؟ } t$$

$$Ap = (2(lc+d) + 2(bc+d)) * d = \text{؟ } m^2$$

$$qp = \frac{Qp}{Ap} = \text{؟} \quad \not< 90 \quad t/m^2$$

Reinforcement :-

.. long direction :→

Note → .. يتم قسمة قيمة التسليح الناتجة من معادلة التصميم على (B) للحصول على قيمة التسليح الطولي لأن هذا العزم محسوب للمقطع بالكامل ..

$$A_{s\,-ve} = \frac{M_{max\text{-}ve} * 10^5}{K_2 * d} = \checkmark \ cm^2/B$$

$$= \frac{\checkmark * 100}{B_{cm}} = \checkmark \ mm^2/m'$$

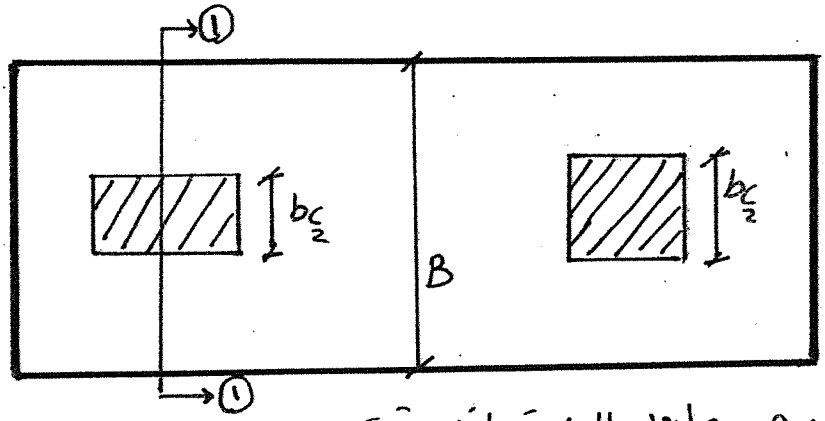
$$A_{s\,+ve} = \frac{(M_1 \text{ or } M_2) * 10^5}{K_2 * d} = \checkmark \ cm^2/B$$

$$= \frac{\checkmark * 100}{B_{cm}} = \checkmark \ mm^2/m'$$

$$** \ A_{s\,min} = d * t * \frac{0.15}{100}$$

short direction :

... لحساب قيمة التسليح فى الاتجاه القصير (short direction) يتم اخذ قطاع فى القاعدة خلف العمود ذو العزم الاصغر ←



هذا القطاع يختلف حسب ابعاد الاعمدة واتجاهاتها

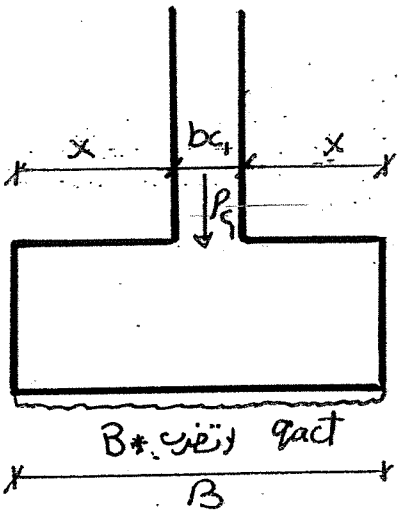
$$X = \frac{B - b_c}{2} = \_ m$$

$$M_{short} = q_{act} * \frac{X^2}{2} = \_ t.m$$

$$A_{s_{short}} = \frac{M_{short} * 10^5}{k_2 * d} = \_ cm^2/m'$$

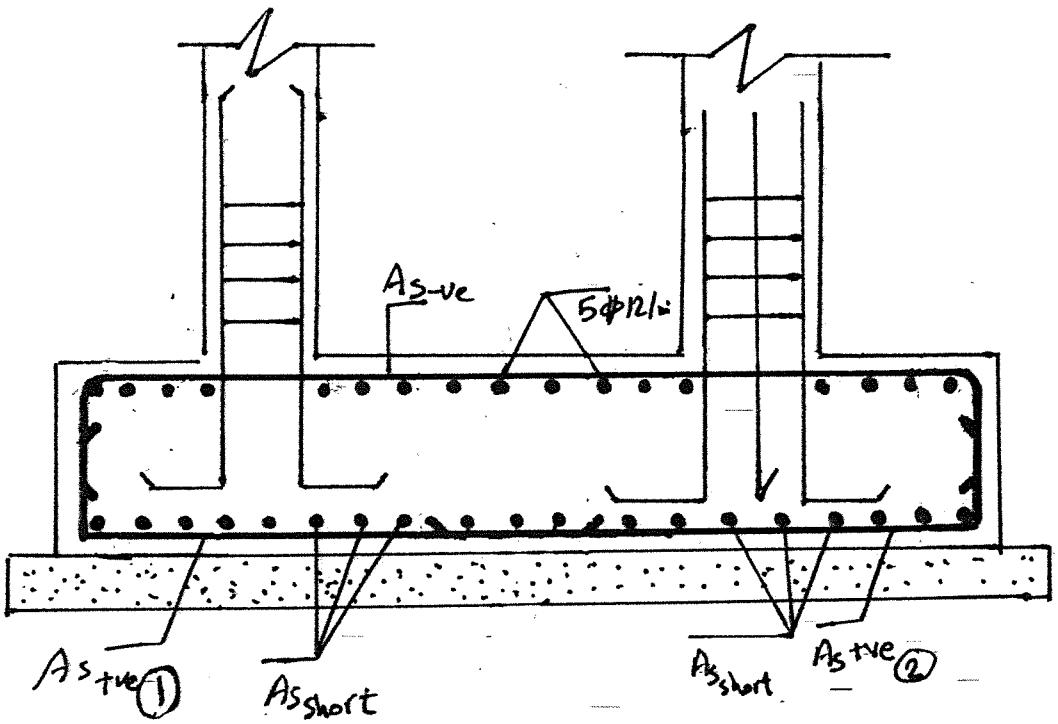
$$A_{s_{min}} = \frac{0.15}{100} * A_c = \_ cm^2/m'$$

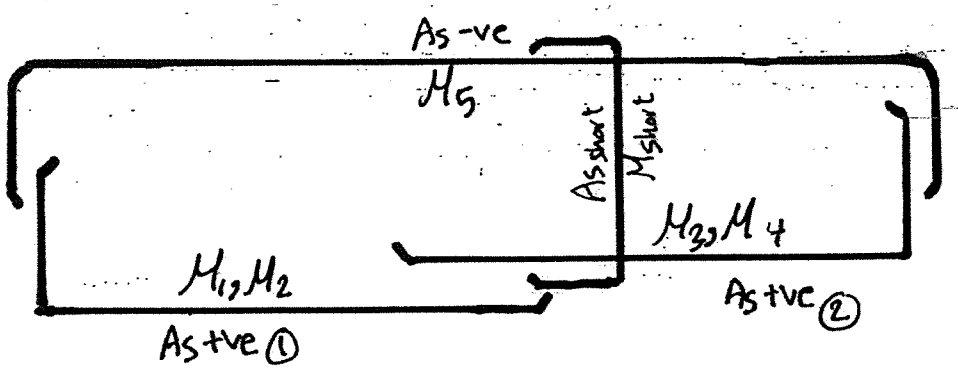
الاكبر



Note :- ... يجب ايضاً عمل check of shear فى هذا الاتجاه والتاكد من ان $q_s \leq 35 t/m^2$

Drawing :-





$t = d + 7cm + \phi \quad = \checkmark cm$

تقريب لفوق ↳

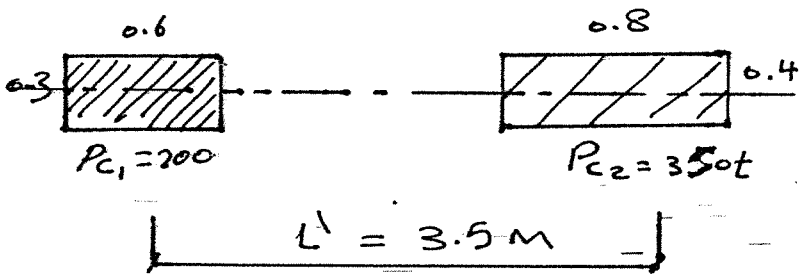
5 cm

Example :-

A R.C rectangular footing is proposed to support a column (40*80cm) and another column (30*60 cm) of a building. The total DL and LL at thGL is 350 t and 200 t respectively, considering the safe bearing capacity of the supporting soil stratum as 2.5 Kg/cm². , the width of footing is 3.3m Design the combined footing and draw it in full detail showing its reinforcement.

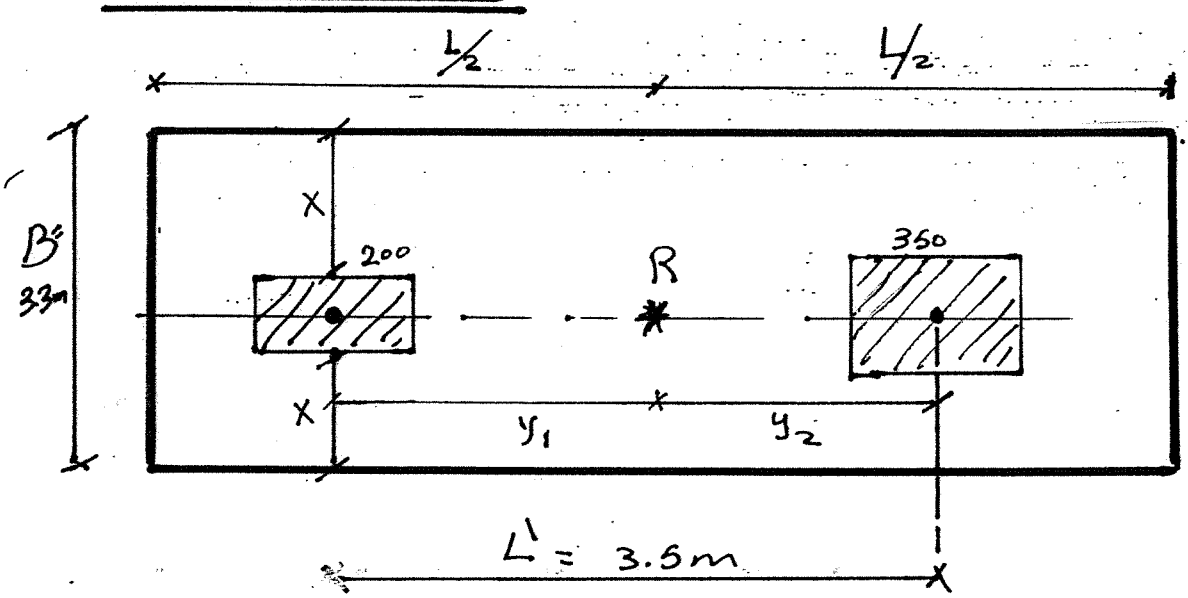
Given:

$$q_{all.net} = 2.5\ kg/cm^2 \quad = 25\ t/m^2$$



1- Geometric design

B = 3.3 m ⇒ Given



1 مجموع عزوم القوى حول محور (X-X) من منتصف العمود الاول = عزم محصلة

[1] $\Sigma M_{a/x-x} = 0 \quad 350(3.5) = R * y_1 = 550 * y_1$

$$\therefore y_1 = \underline{2.227\ m}$$

$$\therefore y_2 = L' - y_1 = 3.5 - 2.227 = \underline{1.273\ m}$$

[2] $$Area_{req} = \frac{R}{q_{allnet}} = \frac{550}{25} = 22\ m^2$$

[3] $$A = B * L = 22 = 3.3 * L$$

(B = 3.3m) على الأقل متين

$$\therefore L = 6.667 \simeq \underline{6.7\ m}$$

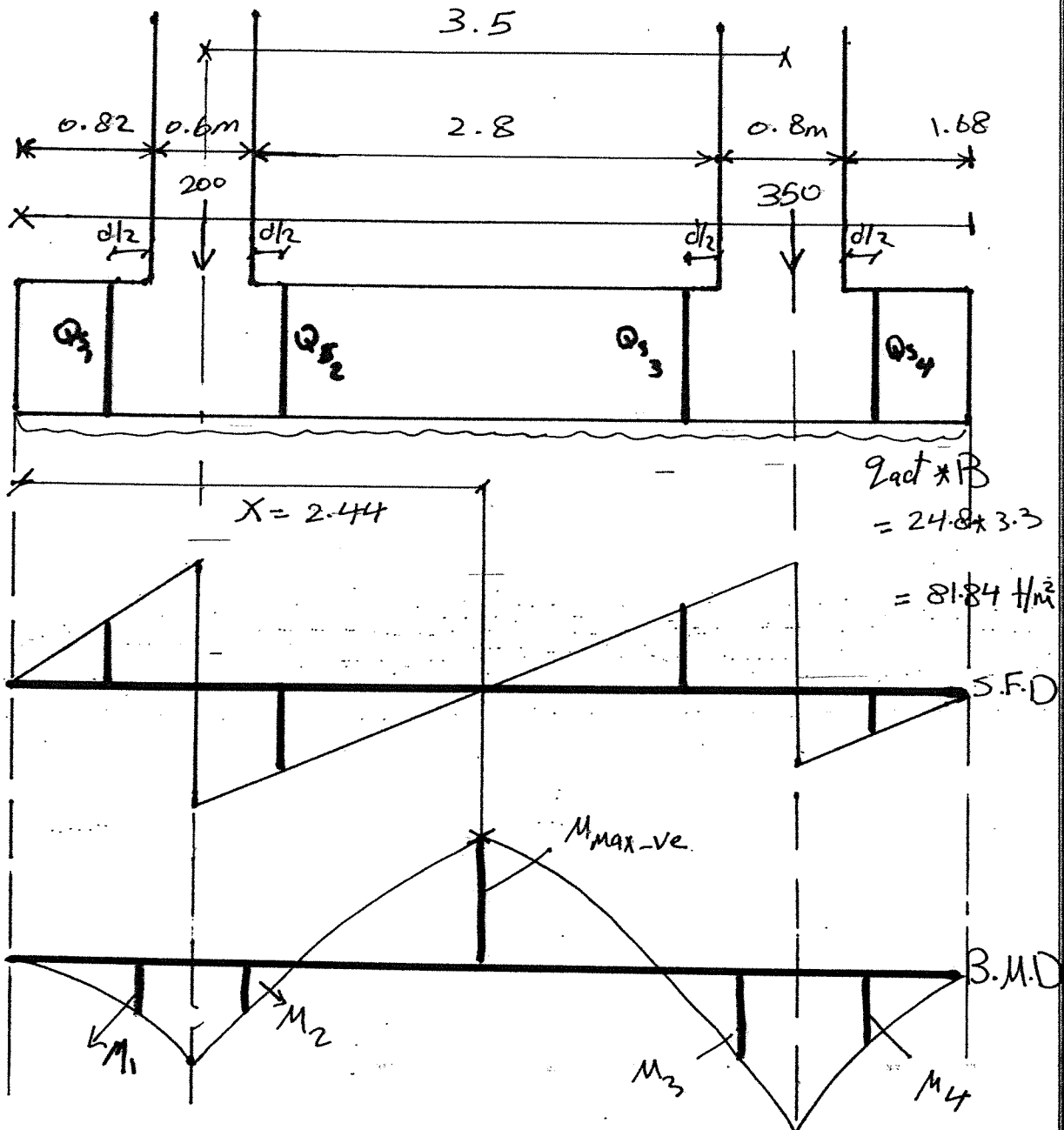
$$\rightarrow X_R = L/2 - y_2 - Lc_2/2 = 3.35 - 1.27 - \frac{0.8}{2} = \underline{1.68\ m}$$

$$\rightarrow X_L = L/2 - y_1 - Lc_1/2 = 3.35 - 2.23 - \frac{0.6}{2} = \underline{0.82m}$$

2- structural design :

$$q_{act} = \frac{R}{B * L} = \frac{550}{3.3 * 6.7} = 24.8 \quad t/m^2$$

$< 25 q_{all.net}$: ok



$$X = \frac{200}{81.8} = 2.44 \ m.$$

a) Moment :-

$$\cdot M_{max\_ve} = 200 * (2.44 - 0.82 - 0.3) - 81.8 * \frac{2.44^2}{2} = 20.5 \text{ t/m}$$

$$\cdot M_1 = 81.84 * \frac{0.82^2}{2} = 27.5 \text{ t.m}$$

$$\cdot M_2 = 81.84 * \frac{(0.6+0.8_2)^2}{2} - 200 * 0.3 = 22.5 \text{ t.m}$$

} Col 1

$$\cdot M_3 = 81.84 * \frac{(1.68+0.8)^2}{2} - 350 * 0.4 = 111.67 \text{ t.m}$$

$$\cdot M_4 = 81.84 * \frac{1.68^2}{2} = 115.49 \text{ t.m}$$

} Col 2

$$d = k_1 \sqrt{\frac{M}{b}} = 0.276 \sqrt{\frac{115.49 * 10^5}{330}} = 44.16 \text{ cm}$$

$d_{min} = 30 cm$ choose $d = 44.16 cm$.

b) check of shear

$$Qs_1 = 81.84 * \left(0.82 - \frac{0.4416}{2}\right) = 50 \quad t$$

$$Qs_2 = 200 - 81.84\left(0.82 + 0.6 + \frac{0.4416}{2}\right) = 65.7\,t$$

$$Qs_3 = 350 - 81.84 * \left(1.68 + 0.8 + \frac{0.4416}{2}\right) = 128.96\,t$$

$$Qs_4 = 81.84 * \left(1.68 - \frac{0.4416}{2}\right) = 120 \quad t$$

$$q_s = \frac{Qs}{b * d} = \frac{128.96}{3.3 * 0.4416} = 88.5\ t/m^2 > 35$$

B

Not Safe

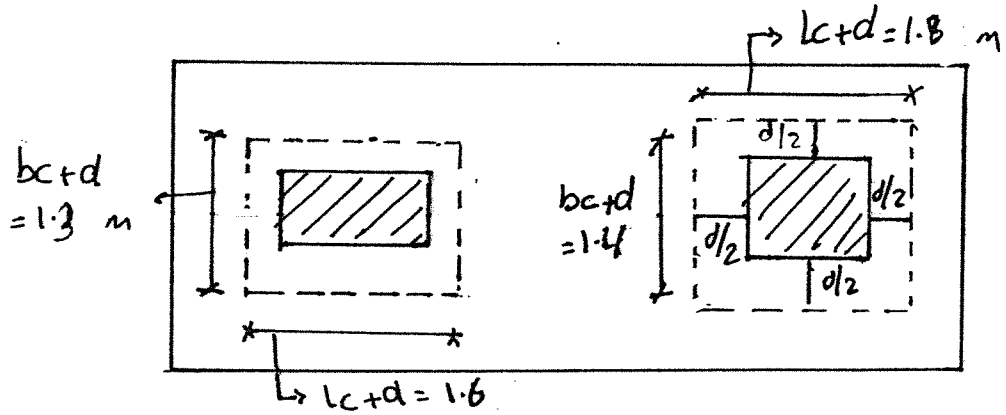
assume $d = 1.0\ m$

$$\therefore Qs_3 = 350 - 81.84 * (1.68 + 0.8 + 0.5) = 106.11\ t$$

$$q_s = \frac{106.11}{3.3 * 1} = 32.16\ t/m^2 < 35$$

ok safe

c) check of punching:



For Col 1 :-

$$\therefore Qp = 200 - 24.8\,(1.3 * 1.6) = 148.42\ t$$

(q_{net}, (l_c+d), (b_c+d))

$$\therefore Ap = [2(1.3) + 2(1.6)] * 1 = 5.8\ m^2$$

((l_c+d), (b_c+d))

$$\therefore q_p = \frac{Qp}{Ap} = \frac{148.42}{5.8} = 25.6\ t/m^2 < 90 \text{ ok}$$

For Col 2 :-

$$\rightarrow Qp = 350 - 24.8\,(1.4 * 1.6) = 294.5\ t$$

$$\rightarrow Ap = (2*1.6 + 2*1.4) * 1 = 6\ m^2$$

$$\rightarrow q_p = \frac{Qp}{Ap} = \frac{294.5}{6} = 49.1\ t/m^2 < 90$$

$\therefore$ ok sol.

Reinforcement :-

$$A_s^{-ve} = \frac{M^{-ve}}{k_2 * d} = \frac{20.5 * 10^5}{1535 * 100} = 13.355 \text{ cm}^2/\text{B}$$

$$= 4 \text{ cm}^2/\text{m}' = 5 \# 12/\text{m}'$$

$$A_{s_1}^{+ve} = \frac{27.5 * 10^5}{1535 * 100} = 17.9 \text{ cm}^2/\text{m}'$$ (الأكبر من M_1 و M_2)

$$= 5.43 \text{ cm}^2/\text{m}' = 5 \# 12/\text{m}'$$

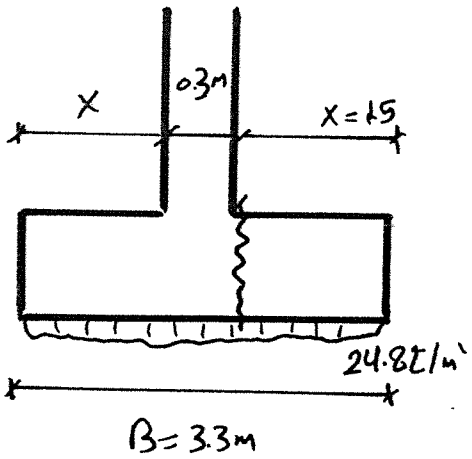
$$A_{s_2}^{+ve} = \frac{115 * 10^5}{1535 * 100} = 74.9 \text{ cm}^2/\text{B}$$ (M_3 و M_4 الأكبر من)

$$= 22.7 \text{ cm}^2/\text{m}' = 6 \# 22/\text{m}'$$

$$A_{s_{min}} = \frac{0.15}{100} * 100 * 110 = 16.5 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$= 7 \# 18/\text{m}'$$

Short. Direction :-



$$- X = \frac{B-0.3}{2} = \frac{3.3-0.3}{2}$$

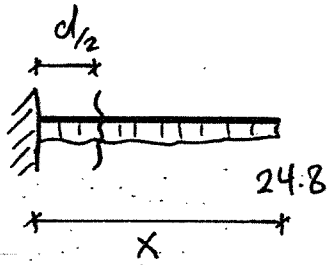
$$= 1.5 \text{ m}$$

$$- M_{sh} = \frac{24.8 * 1.5^2}{2} = 27.9 \text{ tm/m'}$$

$$- A_{s\,sh} = \frac{M_{sh}}{K_2\, d} = \frac{27.9 * 10^5}{1535 * 100}$$

$$= 18.17 \text{ cm}^2/\text{m} \implies 8\phi 18/\text{m'}$$

Check of Shear :-



$$- Q_{sh} = 24.8(X - d/2)$$

$$= 24.8(1.5 - 1/2)$$

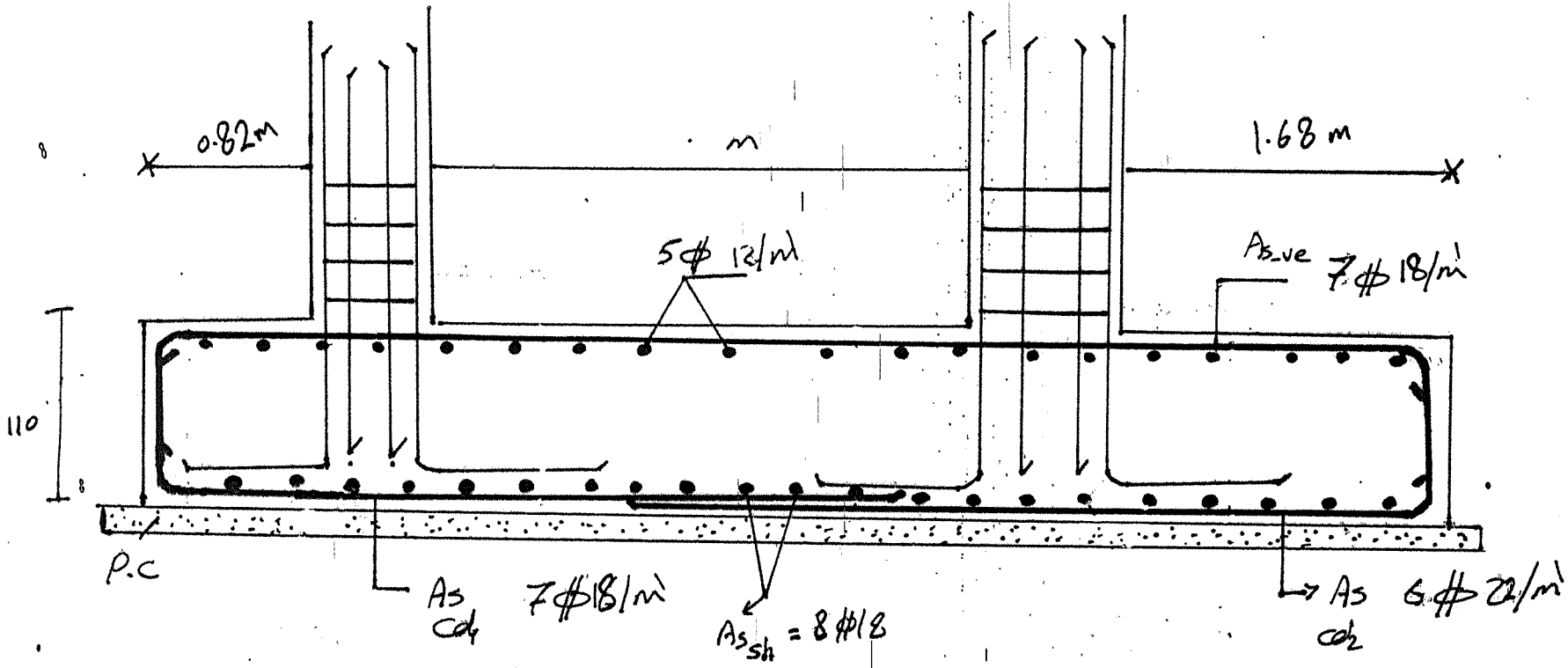
$$= 24.8 \text{ t}$$

$$- q_s = \frac{Q_{sh}}{b \cdot d} = \frac{24.8}{1 * 1} = 24.8 \text{ t/m}^2 < 35 \text{ t/m}^2$$

ok safe

Drawing:

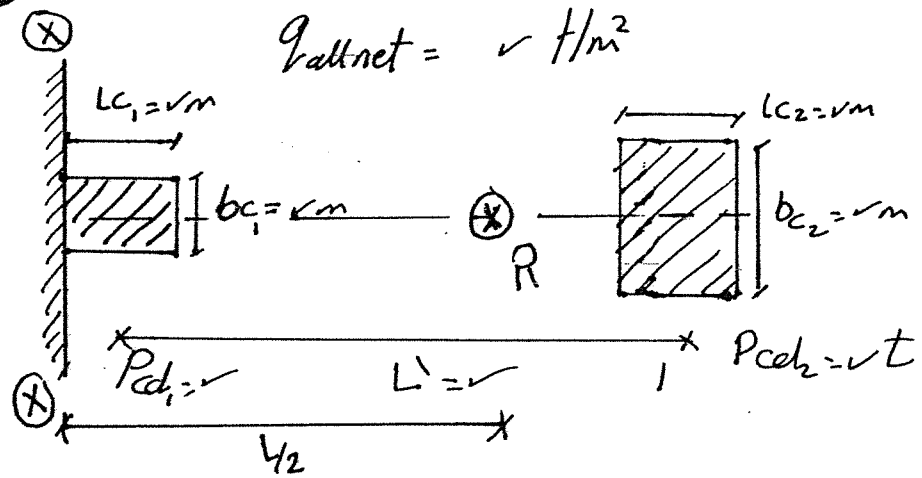
$$t = d + 10cm = 100 + 10 = 110 \text{ cm}$$



خطوات التصميم في حالة وجود الجار:

Given

$q_{all\,net} = \_\ t/m^2$



Req → Design combined footing:

Geometric design:

(1) يتم تحديد وتأثير قيمة الحملة (R)

$R = P_1 + P_2 = \_\ t$

حول محور (X-X)

مجموع عزوم القوى $(P_1 < P_2) = R * (\frac{L_2}{2})$

$L = \_m$ (0.05) 5cm بالزيادة m تقريبا لأقرب

- $q_{all.net} = q_{act} \longrightarrow \quad q_{all.net} = \frac{R}{B * L}$

$B = \_m$

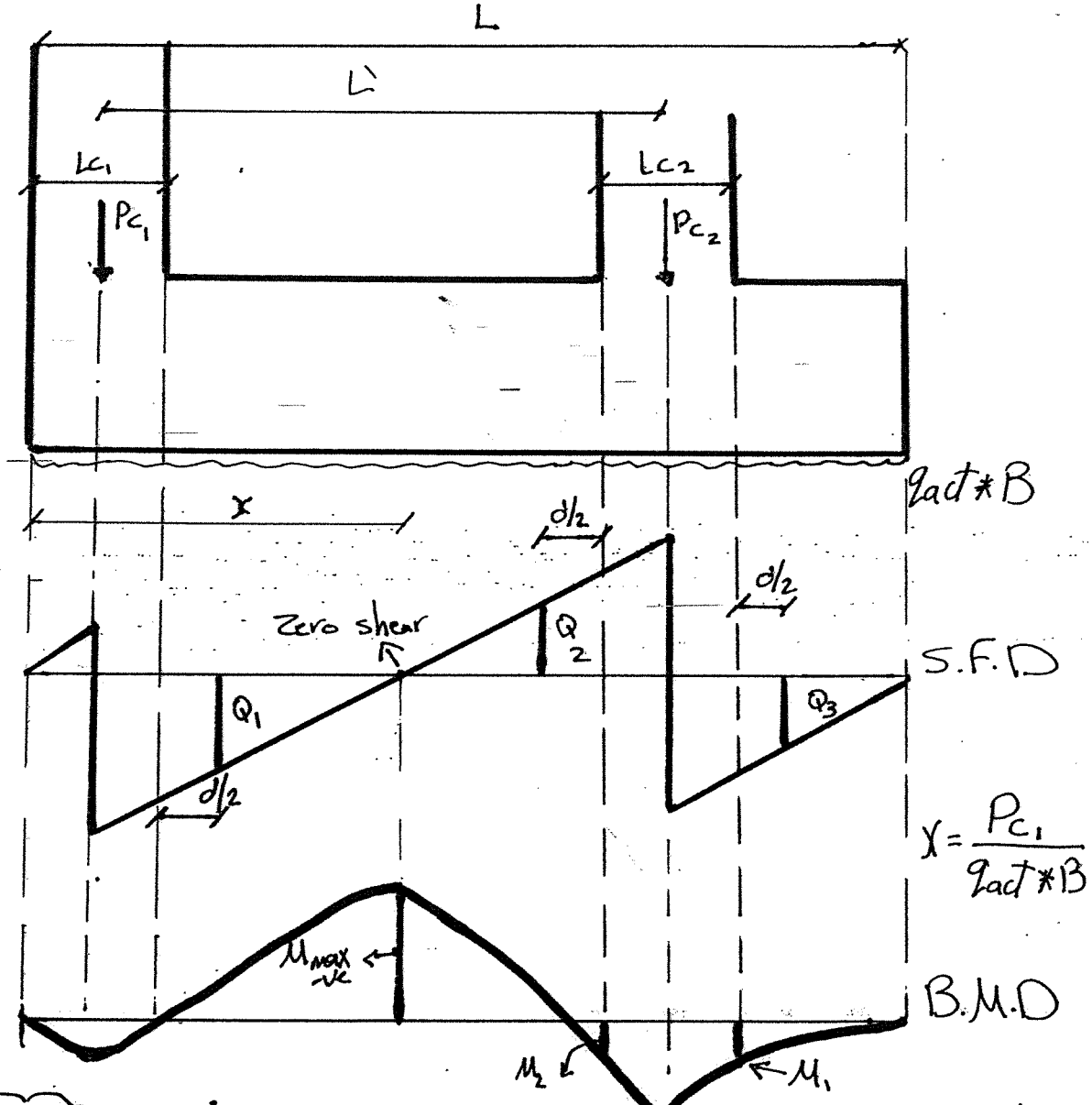
↳ بالزيادة (0.5m) or 5m تقريبا لأقرب

② structural design:

$$q_{act} = \frac{R}{B*L} = \nu \ t/m^2 \leq q_{all}$$

تحسب بالتقريب

بعد حساب قيمة q_{act} يتم حساب حمل الـ Moment والـ shear الخاص



Note حمل الـ shear والـ Moment ثابت ولكن القيم تختلف بالتغيير ..

a Moment

• يتم حساب قيمة كل من M_1 ، M_2 ، $M_{max\ -ve}$

• كل قيم العزم عبارة عن = حمل ميت * معامل + حمل متوزع + معامل / c

$$d = K_1 \sqrt{\frac{M_{max} * 10^5}{b}} = \checkmark\ cm \quad , \quad d_{min} = 30\ cm$$

b ← العرض B = ✓ cm

b check of shear:

•• يتم حساب قيمة الـ shear الموجودة في الـ S.F.D وهي (Q_1 ، Q_2 ، Q_3) وتختار الأكبر منهم.

$Q_1 = \checkmark t$ ، $Q_2 = \checkmark t$ ، $Q_3 = \checkmark t$

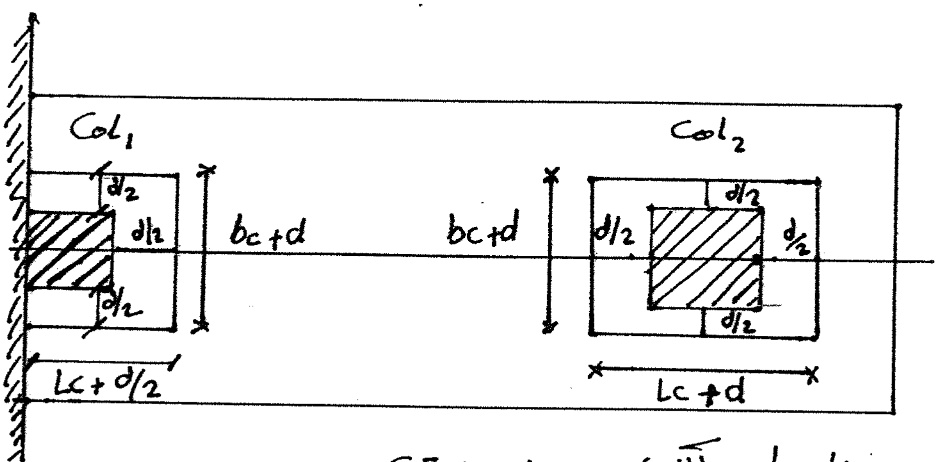
Q_{max} ← تختار الأكبر

t ←

$$q_s = \frac{Q_{max}}{b * d} = \checkmark\ t/m^2 \quad \not\vdash \quad q_{sall} = 3.5\ t/m^2$$

b بـ m ← d بـ m ← العزم الأكبر بالعتبة

C check punshing:



• يتم عمل check punshing لكل عمود على حدى ..

For Col2:

$$Q_P = P_{col_2} - q_{act}\,(L_{c_2} + d)\,(b_{c_2} + d) = \checkmark t$$

$$A_P = \left[2(L_{c_2} + d) + 2(b_c + d)\right] * d = \checkmark m^2$$

$$\longrightarrow q_p = \frac{QP}{AP} = \checkmark\ t/m^2 \ngtr 90\ t/m^2$$

For Col2:

$$Q_P = P_{col_1} - q_{act} * (L_{c_1} + d/2) * (b_{c_1} + d) = \checkmark t$$

$$A_P = \left[2(L_c + d/2) + (b_c + d)\right] * d = \checkmark m^2$$

مرة واحدة فقط

$$\longrightarrow q_p = \frac{QP}{AP} = \checkmark \ngtr 90\ t/m^2$$

3 Reinforcement:

"long direction"

- $As_{-ve\ max} = \frac{M_{max\_ve} * 10^5}{K_2 * d}$ ← t.m = ✓ cm^2/B
  - ↳ $\frac{✓ * 100}{B}$ = ✓ mm^2/m'

Note

- يتم قسمة قيمة التسليح الناتجة من معادلة التصميم على (B) للحصول على قيمة التسليح للمتر الطولي.
- لأنه هذا العزم محسوب للقطاع بالكامل ...

- $As_{+ve\ max} = \frac{(M_1 \text{ or } M_2) * 10^5}{K_2 * d}$ = ✓ cm^2/B
  - $= \frac{✓ * 100}{B\ (m)}$ = ✓ mm^2/m'

- يتم مقارنة كل من $As_{-ve\ max}$ و $As_{+ve\ max}$ مع قيمة As_{min}

- $As_{min} = \frac{0.15}{100} * AC$ = ✓ cm^2/m'

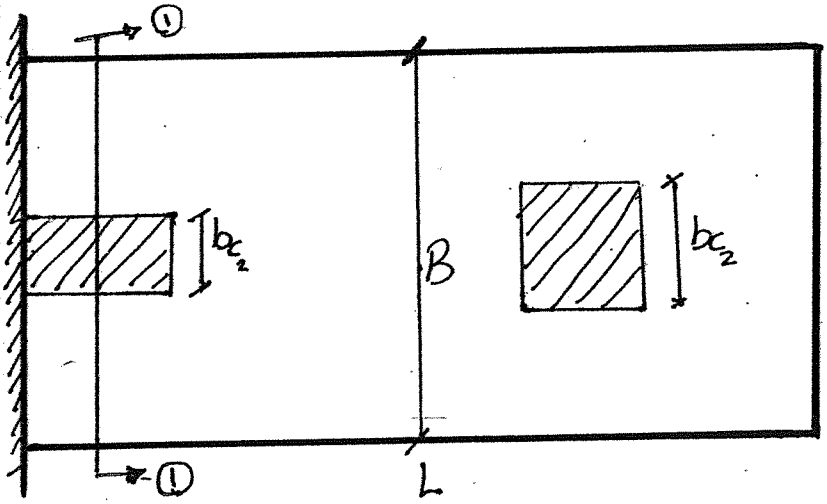
Note:

- بالنسبة للاتجاه القصير (short direction) يتم دراسته كما سبق بدون اى تغيير

Note

.. لحساب قيمة التسليح فى الاتجاه القصير (short direction)
يتم اخذ قطاع فى القاعدة عند العمود ذو البعد الاصغر

لاحظ الرسم ←

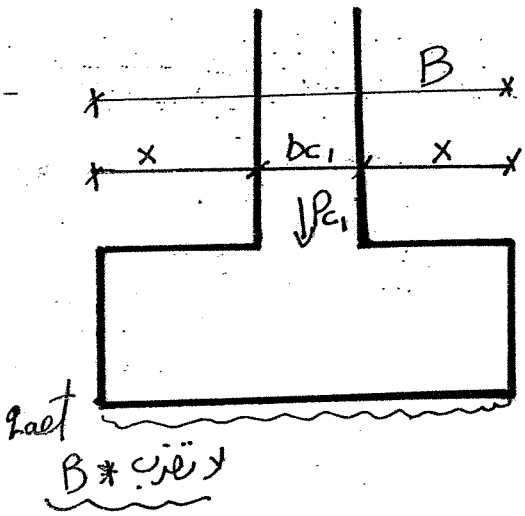


.. هذا القطاع يختلف حسب ابعاد الاعمدة واتجاهها ..

.. لاحظ $bc_1 < bc_2$

ولذلك يتم اخذ القطاع عند العمود الاول (Col_1) ..

Sec(1-1)



B * لا تقرب

$$X = \frac{B - bc}{2} = \checkmark m$$

$$M_{short} = q_{act} * \frac{X^2}{2} = \checkmark t.m$$

$$Q_{short} = q_{act}\,(X - d/2) = \checkmark t$$

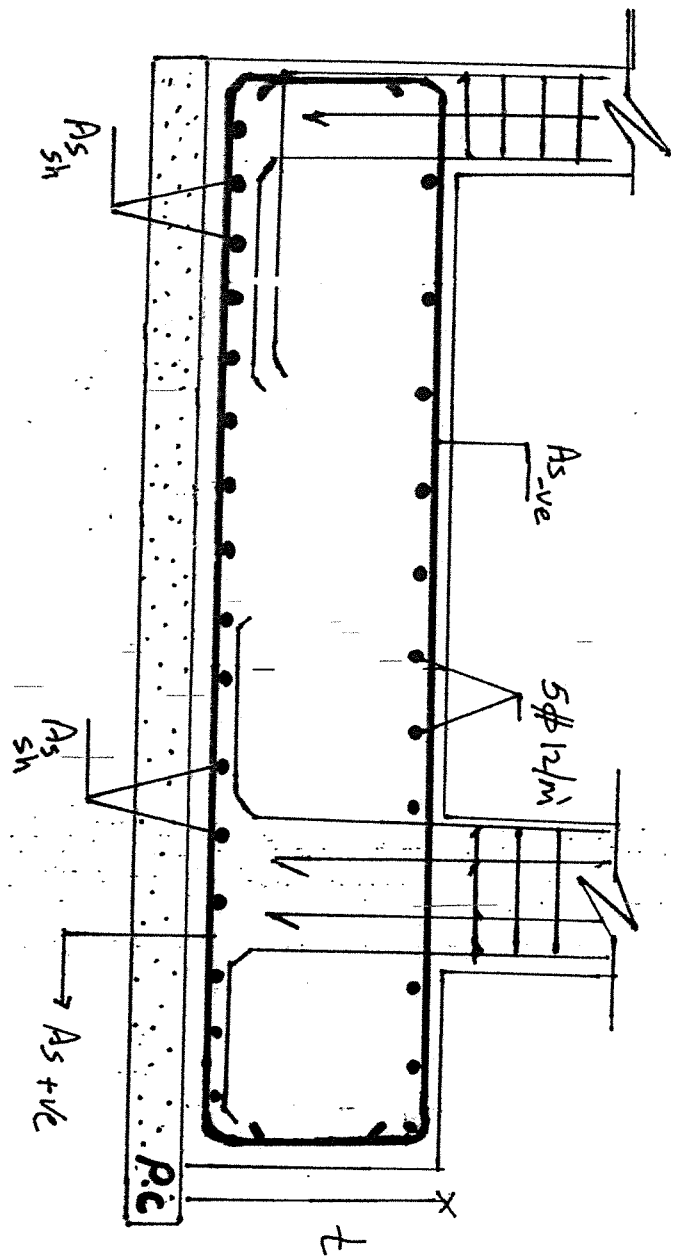
$$q_s = \frac{Q_{short}}{b * d} \leq 35\ t/m^2$$

$$A_{s_{short}} = \frac{M_{s\,short} * 10^5}{K_2 * d} = \checkmark\ cm^2/m'$$

$$A_{s\,min} = \frac{0.15}{100} * A_c = \checkmark\ cm^2/m'$$

} الاكبر

Drawing:-



$t = d + 10\,cm = cm$

تقريب لفوق 5

Example

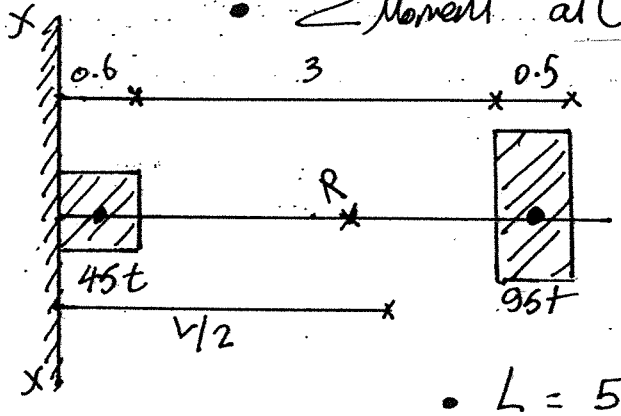
A R.C. rectangular footing is proposed to support an interior column (50 X 50 cm) and another exterior column (30X60 cm) of a building. The total DL and LL at the GL is 950 KN and 450 KN respectively, considering the safe bearing capacity of the supporting soil stratum as 200 KN/m^2.
Design the combined footing and draw it in full detail showing its reinforcement.

Given :-

- P_{Col_1} = 45t < (0.3 * 0.6) m
- P_{Col_2} = 95t < (0.5 * 0.5) m

$q_{all.net}$ = 20 t/m^2

1 Geometric design:



- Σ Moment at (X-X) R = 95 + 45 = 140t
- 45 * 0.3 + 95 * 3.85 = R * L/2 (140 ↑)
- L = 5.42m ≅ 5.45 m

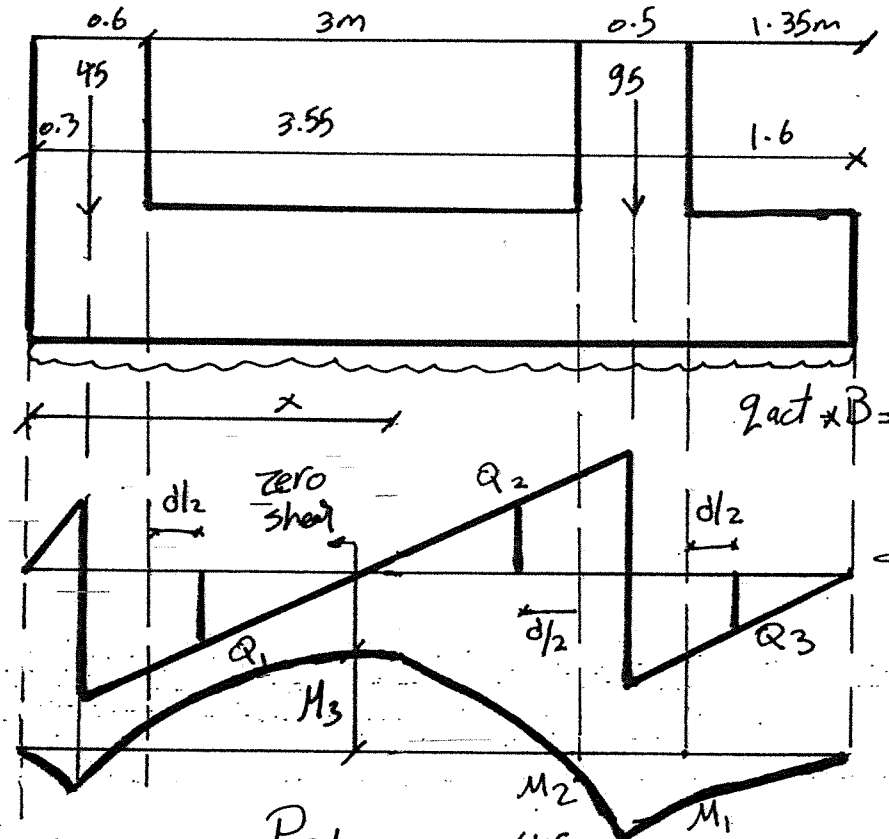
$$\therefore q_{all} = q_{net} = 20 = \frac{140}{5.45 * B}$$

- B = 1.28m ≅ 1.3m

Depth :-

$$q_{act} = \frac{R}{B*L} = \frac{140}{1.3*5.45}$$

$$= 19.76\ t/m^2 \quad < 20\ t/m^2 \rightarrow ok$$



Zero shear $\nu\acute{o}$ x $= \frac{P_{cd_1}}{q_{act}*B} = \frac{45}{25.69} = 1.75m$

- $M_{-ve\ left} = 45(1.75-0.3) - 25.69*\frac{1.75^2}{2} = 25.9\ t.m$

- $M_{Right}' = 25.96*\frac{1.35^2}{2} = 23.41\ t.m$

- $M_{2\,Right} = -95*0.25 + 25.69*\frac{(1.6)+0.25)^2}{2} = 20.21\ t.m$

$$d = K_1 \sqrt{\frac{M_{max}}{B}} = 0.22 \sqrt{\frac{25.9 * 10^5}{130}} = 31.05 \text{ cm}$$

take $d = 40$ cm

Check shear

- $Q_{1\,left} = 45 - 25.69\left(0.6 + \frac{0.4}{2}\right) = 24.45$ t
- $Q_{2\,Right} = 95 - 25.69\left(1.35 + 0.5\frac{0.4}{2}\right) = 42.33$ t
- $Q_{3\,Right} = 25.69\left(1.35 - \frac{0.4}{2}\right) = 29.5$ t

$Q_{smax} = 42.33$ t

$q_s = \frac{42.33}{b * d} = \frac{42.33}{1.3 * 0.4} = 81.4$ t/m² > 35

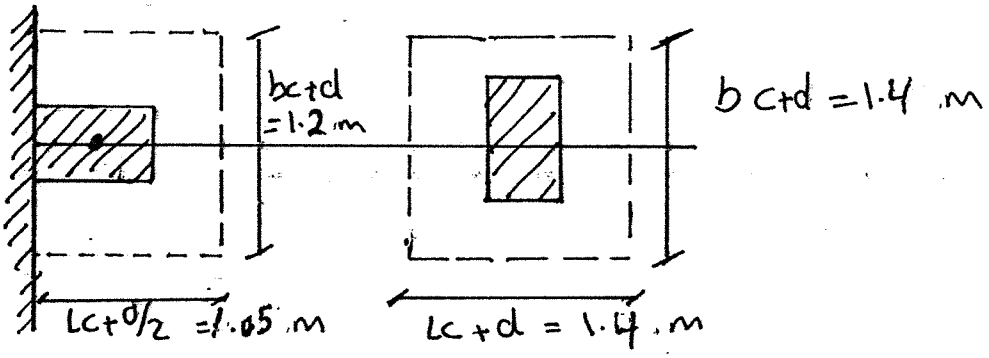
∴ Not safe.

assume $d = 90$ cm

$\therefore Q_{2\,Right} = 95 - 25.69(1.35 + 0.5 + \frac{0.9}{2}) = 35.9$ t

Check punching

$q_s = \frac{35.9}{1.3 * 0.9} = 30.7$ t/m² < 35



.. For cd_1 →

$$Qp = P_{cd_1} - q_{act}(Lc + d/2)(bc + d)$$

$$= 45 - 19.76(1.2 * 1.05) \quad = 20.1 \text{ t}$$

$$Ap = 2[(Lc + d/2) + (bc + d)] * d$$

$$= 2 * (1.2 + 1.05) * 0.9 \quad = 4.05 \text{ m}^2$$

$$q_p = \frac{Qp}{Ap} = \frac{20.1}{4.05} = 4.96 \text{ t/m}^2$$

$< 90 \text{ t/m}^2$ ∴ ok safe

.. For cd_2 →

$$Qp = P_{cd_2} - q_{act}(Lc + d) * (bc + d)$$

$$= 95 - 19.76(1.4 * 1.4) \quad = 56.27 \text{ t}$$

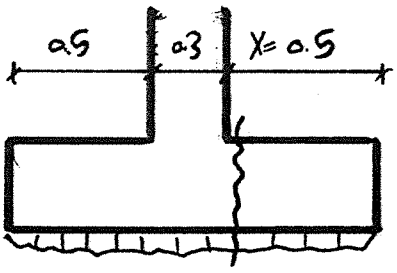
$$Ap = [2(Lc + d) + 2(bc + d)] * d \quad = 5.04 \text{ m}^2$$

$$q_p = \frac{Qp}{Ap} = \frac{56.27}{5.04} = 11.16 \text{ t/m}^2$$

$< 90 \text{ t/m}^2$

∴ ok safe.

Short Direction :-



- $X = \frac{1.3 - 0.3}{2} = 0.5\ m$

- $M_{sh} = 19.76 * \frac{0.5^2}{2}$

$= 2.47\ t.m/m'$

- Check of shear :-

- $Q_{sh} = 19.76(0.5 - \frac{0.9}{2}) = 0.988$

- $q_{sh} = \frac{0.988}{1 * 0.9} = 1.097\ t/m^2 \quad < 35\ t/m^2 \rightarrow$ Safe

---

Reinforcement :-

- $A_s^{-ve} = \frac{M^{-ve}}{K_2\, d} = \frac{25.9 * 10^5}{1535 * 90} = 18.79\ cm^2/B$

$= 14.42\ cm^2/m' = 6\ \phi 18/m'$

- $A_s^{+ve} = \frac{M^{+ve}}{K_2\, d} = \frac{23.4 * 10^5}{1535 * 90} = 16.94\ cm^2/B$

$= 13\ cm^2/m' = 6\ \phi 18/m'$

- $A_{s_{sh}} = \frac{M_{sh}}{K_2\, d} = \frac{2.47 * 10^5}{1535 * 90} = 1.79\ cm^2/m' \ll$ min

- $A_{s_{min}} = \frac{0.15}{100} * b * t = 13.5\ cm^2/m' = 6\ \phi 18/m'$

$t = d + \phi + 5\,cm = 90 + 1.8 + 7 = 98.7\,cm \simeq 100\,cm$

scale 1: 25