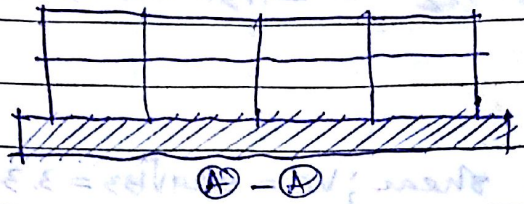
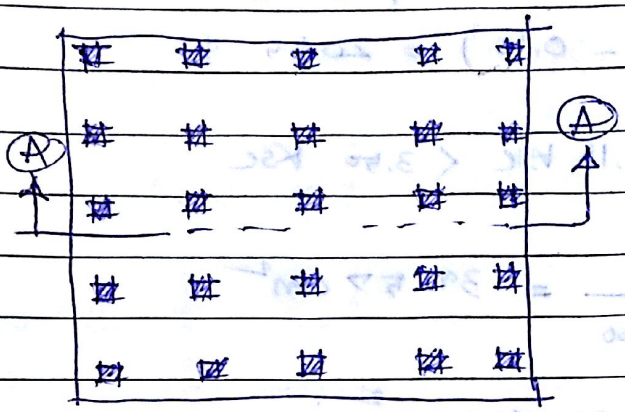
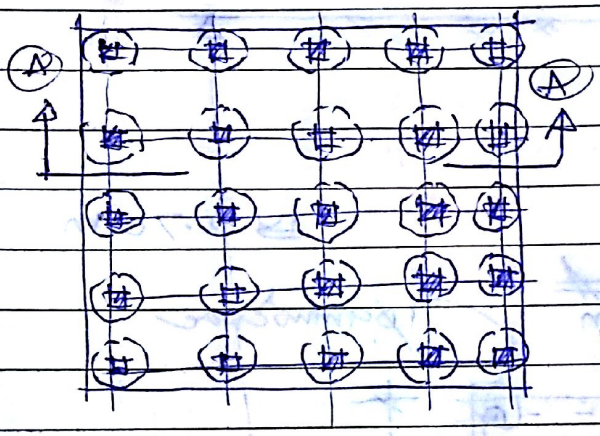
Mat หรือ Raft Foundation (ฐานรากแผ่แผ่นหนา)

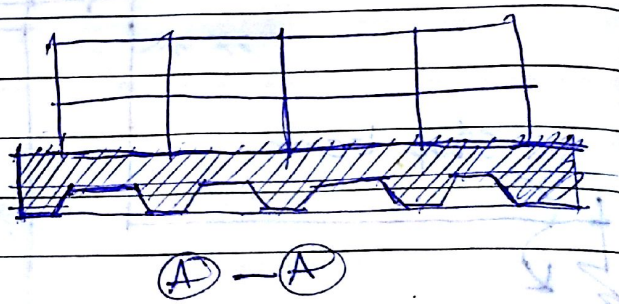
ประเภท Mat foundation ที่ใช้กันโดยทั่วไป



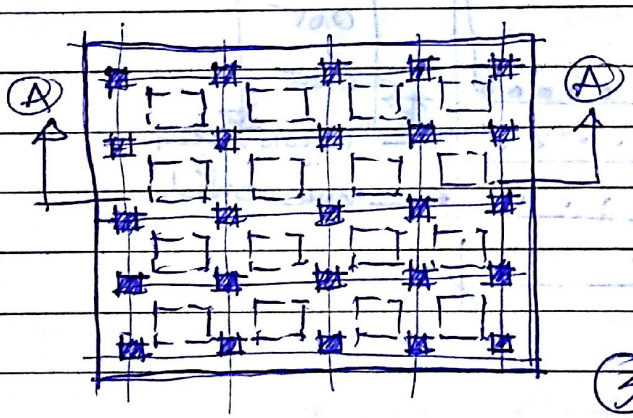
(1) flat plate

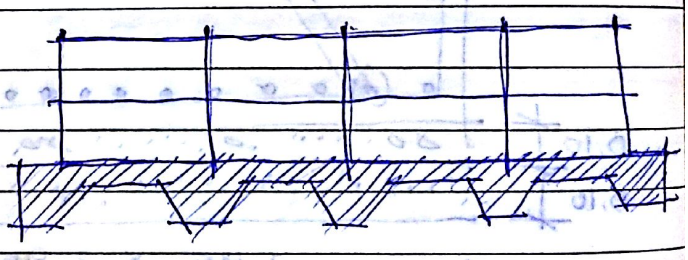




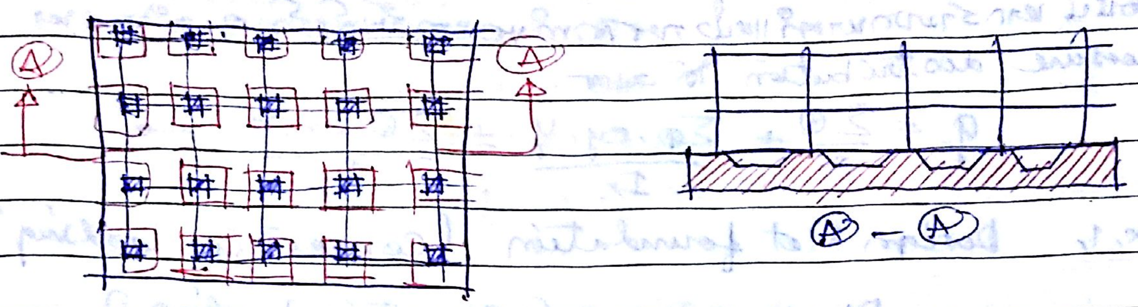


(2) plate thickened under column

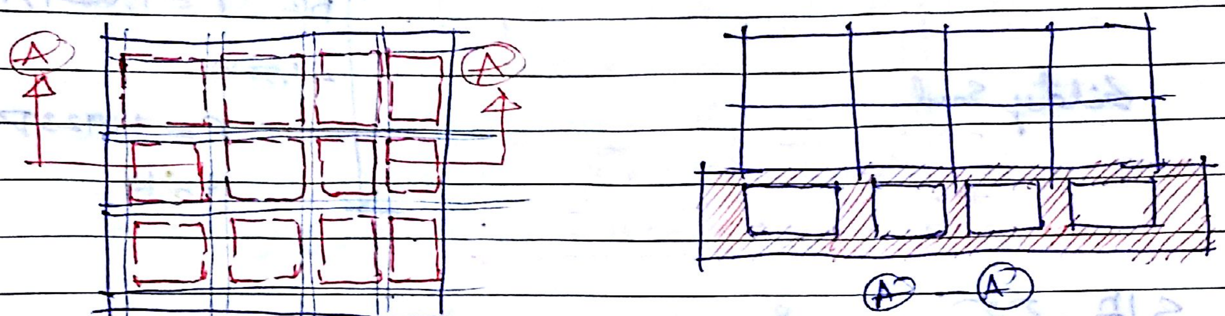




(3) Waffle - Slab.



④ Plate with pedestals.



⑤ basement walls as part of mat.

การออกแบบ mat หรือ Raft foundation นั้นมีอยู่ 3 วิธีด้วยกันคือ

1. Conventional rigid Method
2. Approximate flexible Method
3. Discrete element method แยกออกเป็น
   - Finite difference method
   - Finite Element method (FEM)
   - Finite grid Method (FGM)

โดยคิดทางวิเคราะห์พร้อมข้อมูลที่ละเอียด Subgrade reaction ของดิน และ deformation ของฐานราก ภายใต้การกระจายน้ำหนักตามหลักการ ซึ่งอาศัยหลักการของ Beam on elastic foundation แต่ในที่นี้ จะกล่าวถึง การออกแบบโดยใช้ Conventional rigid method เท่านั้น ซึ่งมีสมมุติฐานที่สำคัญดังนี้ (TENG 1962)

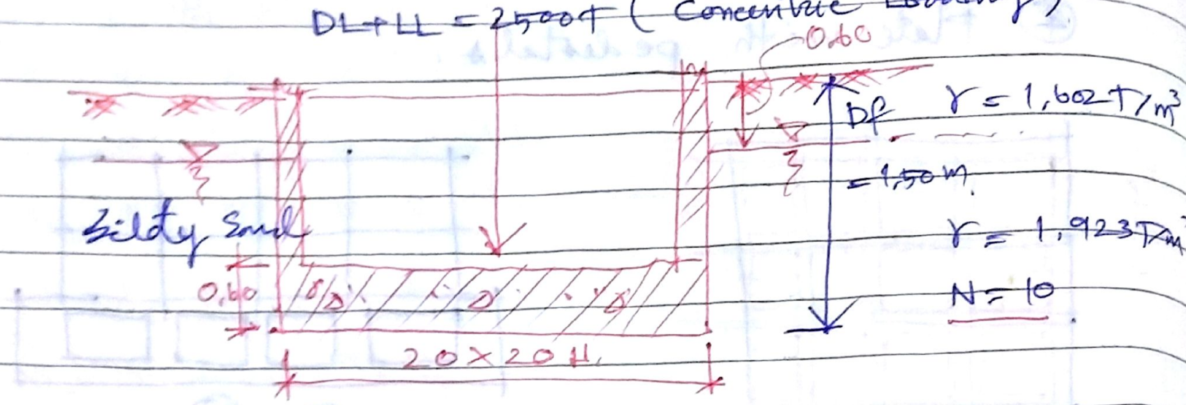
(1) ฐานของ raft นั้นถือว่าเป็น Infinitely rigid ดังนั้น raft deflection จึงไม่มีผลต่อการกระจายของแรงดันดินนั้น (pressure distribution on soil)

(2). Bearing Pressure ที่กระทำที่ใต้ raft นั้นเป็น plane distribution โดยศูนย์ถ่วงของ pressure จะทับกับแนวแรงลัพธ์ของแรงที่เกิดจากน้ำหนักที่ลงฐานราก.

ดังนั้น หากรวมขอบหาค่าแต่ละจุดใต้ฐานรากของแรงลัพธ์แล้ว จะได้ค่าหน่วยแรง pressure distribution ได้ ดังนี้

$$q = \frac{\Sigma Q}{A} \pm \frac{\Sigma Q \cdot e_y \cdot y}{I_x} \pm \frac{\Sigma Q \cdot e_x \cdot x}{I_y} \quad \text{—a}$$

Ex. 1. Design Mat foundation (Concentric loading)



Sol'n น้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักบรรทุกต่อพื้นที่ (DL+LL) $= \frac{2500}{20\times20} = 6.25$ T/m²

น้ำหนักฐานราก $= 0.60\times2.4 = 1.44$ T/m²

∴ Foundation pressure $= 6.25+1.44 = 7.690$ T/m²

น้ำหนักดินที่ขุดออก 10: แรงดันน้ำของดิน ($\gamma_{sat}-\gamma_w$) $= 1.923-1.00$

ดินที่ขุดออก $= (1.602\times0.60)+(0.923\times0.90) = 1.792$ T/m²

แรงดันน้ำ $= (1\times0.90) = 0.900$ T/m²

∴ ความดันรวม $= 1.792+0.900 = 2.692$ T/m²

net foundation pressure $= 7.690-2.692 = 4.988$ T/m²

q_n เมื่อไม่พิจารณาความดันของน้ำ $= 7.690-1.792 = 5.898$ T/m²

น้ำหนักฐานราก − แรงดันของน้ำ $= 1.440-0.900 = 0.540$ ตัน/ม² >0 ไม่ลอย

Bearing capacity

$$q_{a1} = \frac{4}{3}N^2BW + 4(100+N^2)D_fW \quad \text{—}$$

$$q_{a2} = 360(N-3)W' \quad \text{—}$$

$\frac{a}{D_f} = \frac{0.90}{1.50} = 0.60 \Rightarrow W = 0.70$

$\frac{d}{B} = 0 \Rightarrow W' = 0.50$ } ดูจากกราฟ ร.อ. เล่มที่ได้รับ

$B = 20$ ม. $= 65.6$ ฟุต $D_f = 1.50$ ม. $= 4.92$ ฟุต

∴ $q_{a1} = \frac{4}{3}(10)^2(65.5)(0.5)+4(100+10^2)(4.92)(0.70) = 7129$ lb/ft²

$q_{a2} = 360(10-3)(0.5) = 1260$ lb/ft².

$q_a = q_2 = 1260 \ lb/ft^2$

$= 1260 \times 0.00488 \ T/m^2$

$= 6.15 \ T/m^2 > 5.9 \ T/m^2$

- หมายเหตุ ตรวจสอบ floating เพื่อระงับการทรุดตัว ขึ้นกับระดับน้ำสูงสุด เพราะพื้นที่ใช้งาน
- หลักการของแพ ... ระดับน้ำ ... จะมีน้ำหนักเท่ากับ ... น้ำหนักของฐานรากมีน้ำหนักเท่ากัน

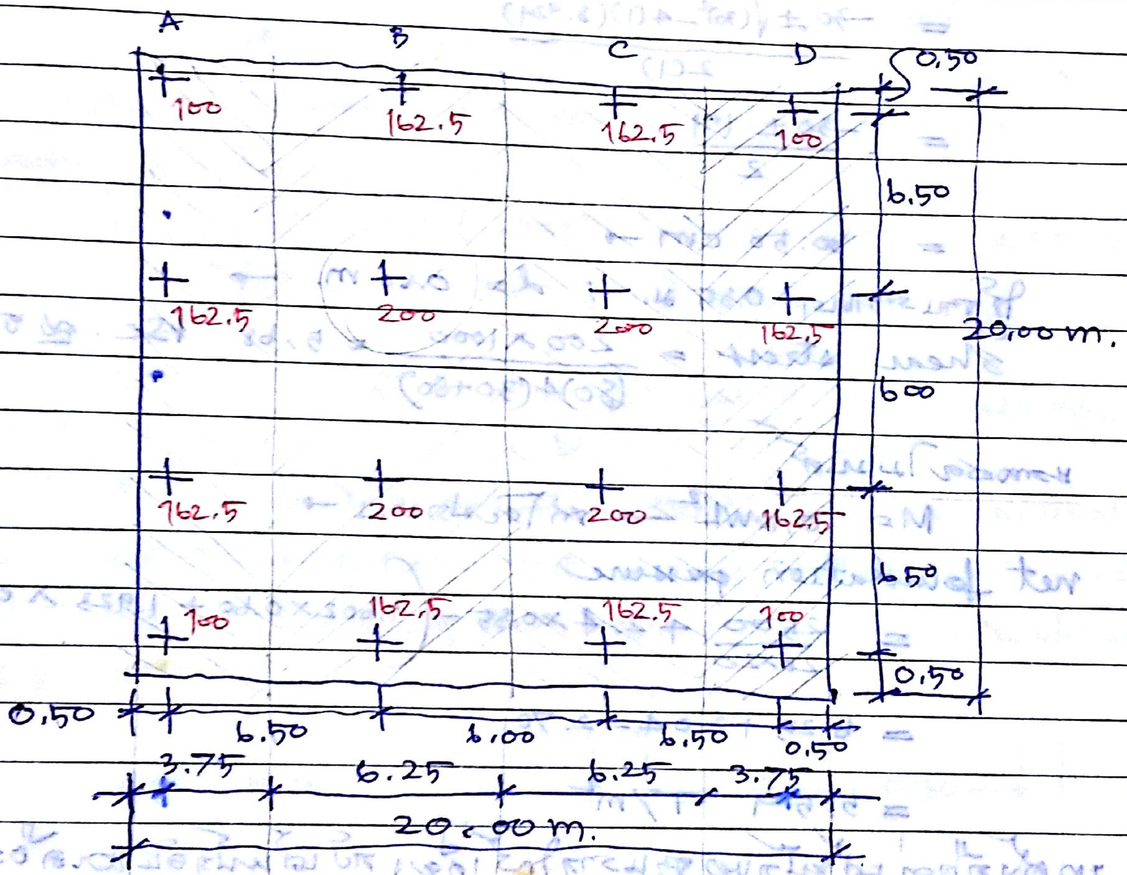
<u>let</u> $f_s = 1200$ ksc, $f_c' = 111$ ksc, $f_c = 50$ ksc, $n = 13$

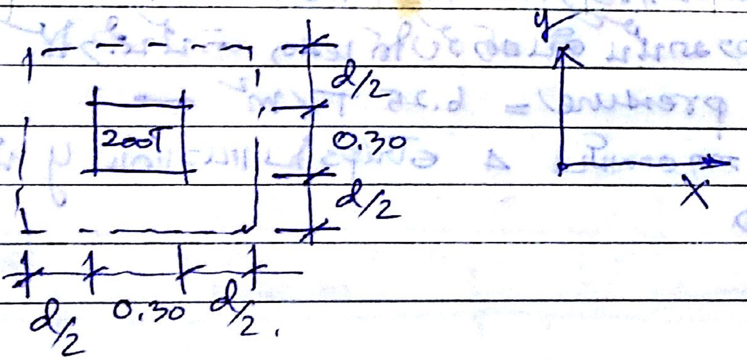
$K = 0.397$, $j = 0.883$, $R = 7.75$

ขนาดของเสา $= 0.30 \times 0.30$ ขนาดของฐานราก $= 20 \times 20$ ม.

$\sum Q = 4(100) + 8(162.5) + 4(200) = 2500$ T concentric loading

สมมุติให้ฐานรากมีความหนา $= 0.60$ ม. $\therefore d = 0.55$ ม.





หลาวตะวันแวดเดือน

punching shear

$a + 2(d/2) = 0.30 + 0.55 = 0.85$

เวั้นรอบรูป $= 4(0.85) = 3.40$ m.

Shear stress $= \dfrac{200 \times 1000}{55 \times 340} = 10.70$ kg/cm² $> 0.53\sqrt{f_c'}$

$= 5.583$ ksc

จึงไม่ปลอดภัย

$4(a+d)(5.6) = 200 \times 1000$

$4(30+d)(d)(5.6) = 200\,000$

$d^2 + 30d - 8929 = 0$ $a = 1,\ b = +30,\ c = 8929$

$d = \dfrac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

$= \dfrac{-30 \pm \sqrt{(30)^2 - 4(1)(8.929)}}{2(1)}$

$= \dfrac{-30 \pm 191}{2}$

$= 80.50$ cm

ใช้ฐานรากหนา 0.85 ม. ; $d = 0.80$ m.

Shear stress $= \dfrac{200 \times 1000}{(80)4(30+80)} = 5.68$ ksc. ≈ 5.6 kg.

หลาวตงโมเมนต์

$M = 0.10WL^2$ → ค่าโดยประมาณ →

net foundation pressure

$= \dfrac{2500}{20 \times 20} + 2.4 \times 0.85 - (1.602 \times 0.60 + 1.923 \times 0.90)$

$= 6.25 + 2.04 - 2.70$

$= 5.59$ T/m²

นาครั้งที่อาจเล่นน้ำหนักของฐานรากให้เกี่ยงกับเล่นน้ำหนักดินแบะที่อาจเล่นน้ำหนักที่ทดลองมานั้นดินคงรับไม่ได้เลยอาจรับบได้ net foundation pressure $= 6.25$ T/m² →

— เมื่อแบ่งฐานรากออกเป็น 4 strips ในแนวแกน y ทั้งนี้ A, B, C, D

แนว	ความยาว (ม)	แผ่นพื้นรับแรงดัน (ตัน)	แรงหนักบรรทุกจากผนัง	โมเมนต์ (กก.-ม/ม)
A	3.75	6.250×20×3.75 = 469	2(100+162.5) = 525	0.10×6250 (6.50)^2 = 26406
B	6.25	6.250×20×6.25 = 781	2(200+162.5) = 725	0.10×6250 (6.5)^2 = 26406
C	6.25	6.250×20×6.25 = 781	2(200+162.5) = 725	0.10×6250 (6.5)^2 = 26406
D	3.75	6.250×20×3.75 = 469	2(100+162.5) = 525	0.10×6250 (6.50)^2 = 26406
		Σ = 2500		Σ = 2500

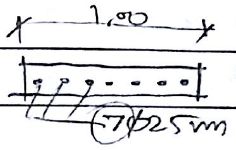
$$Rbd^2 = (7.75)(1.00)(80)^2 = 49600 > 26406 \text{ Kg-m/m.}$$

$$As = \frac{M}{f_s j d} = \frac{26406}{1200 \times 0.88 \times 0.80} = 31.26 \text{ cm}^2/\text{m.}$$

Use ϕ 25 mm @ 0.15 m (AS = 32.70 cm^2/m)

หน่วยแรงยึดเหนี่ยว.

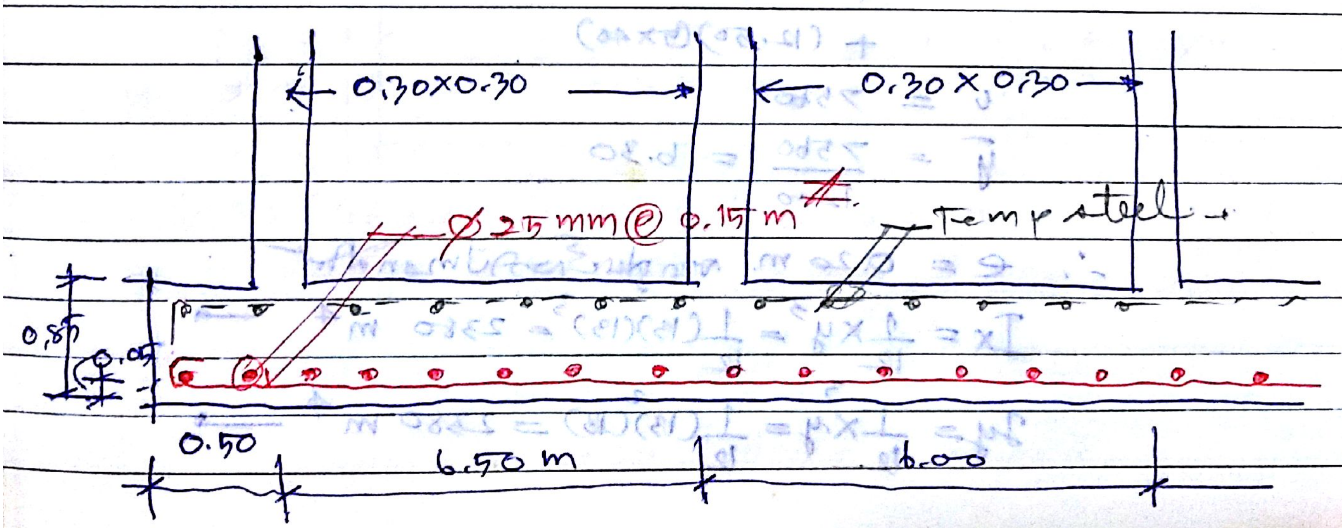
$$u = \frac{V}{\Sigma_o j d} = \frac{(6250)(1.00)(3.25-0.15)}{(7 \times 7.850)(0.880)(80)} = 4.99 \text{ KSC}$$



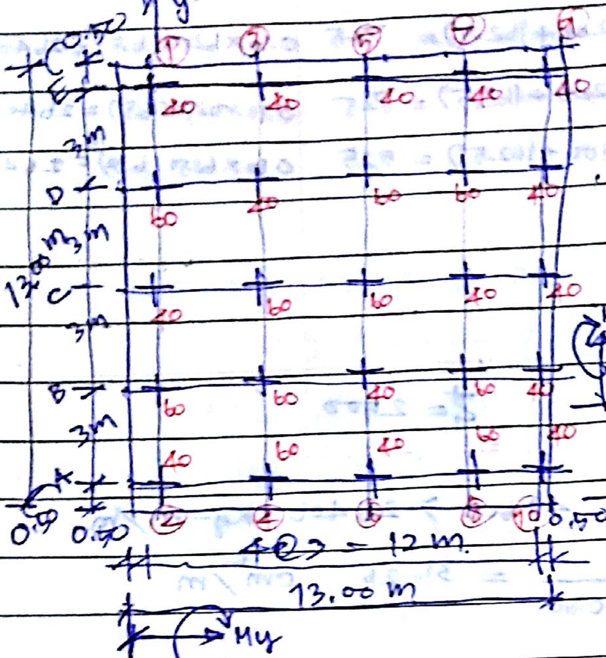
(ϕ25mm@0.15)

$$\cong 1.145\frac{\sqrt{fc'}}{D} = \left(\frac{1.145\sqrt{111}}{2.5}\right) = 4.825 \text{ KSC}$$

– ในฐานรากเดี่ยวกันการใส่เหล็กในแนวแกน X จะเท่ากับในแกน Y แต่ในกรณีนี้เป็น Concentrate loading และน้ำหนักที่ลงมาที่หัวเสาเท่ากันทั้งในแนวแกน X และแกน y จึงสามารถใส่เหล็กขนาดเดียวกันและปริมาณเท่ากันทั้ง 2 แกนได้



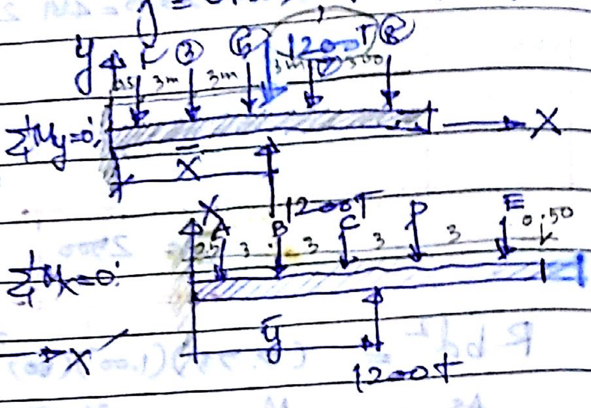
Ex.2. Eccentric loading ของ Mat foundation ดังรูป, ... ขนาด 0.25x0.25 m.
จงออกแบบ ... ระยะ ...



Let $f_s = 1200$ ksc, $f_c' = 111$ ksc

$f_c = 50$ ksc, $n = 13$, $k = 0.351$

$j = 0.883$, $R = 7.75$



Sol $\Sigma Q = 15 \times 40 + 10 \times 60 = 1200$ T

$\Sigma M_y = 0$; $1200\bar{x} = (0.50)(3\times40 + 2\times60) + (3.50)(2\times40 + 3\times60)$
$\quad + (6.50)(3\times40 + 2\times60) + (9.50)(2\times40 + 3\times60)$
$\quad + (12.50)(5\times40)$

$= 7560$

$\bar{x} = \dfrac{7560}{1200} = 6.30$ m.

$\therefore e_x = 0.20$ m จากศูนย์กลางไปทางด้านหลัง ...

$\Sigma M_y = 0$; $1200\bar{y} = 0.50(3\times40 + 2\times60) + (3.50)(2\times40 + 3\times60)$
$\quad + (6.50)(3\times40 + 2\times60) + (9.50)(2\times40 + 3\times60)$
$\quad + (12.50)(5\times40)$

$= 7560$

$\bar{y} = \dfrac{7560}{1200} = 6.30$

$\therefore e = 0.20$ m. จากศูนย์กลางไป ...

$I_x = \frac{1}{12} x y^3 = \frac{1}{12}(13)(13)^3 = 2380 \text{ m}^4$

$I_y = \frac{1}{12} x^3 y = \frac{1}{12}(13)^3(13) = 2380 \text{ m}^4$

$$q = \frac{\Sigma Q}{A} \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \longrightarrow$$

$$= \frac{\Sigma Q}{A} \pm \frac{\Sigma Q e_y \cdot y}{I_x} \pm \frac{\Sigma Q e_x \cdot x}{I_y} \longrightarrow$$

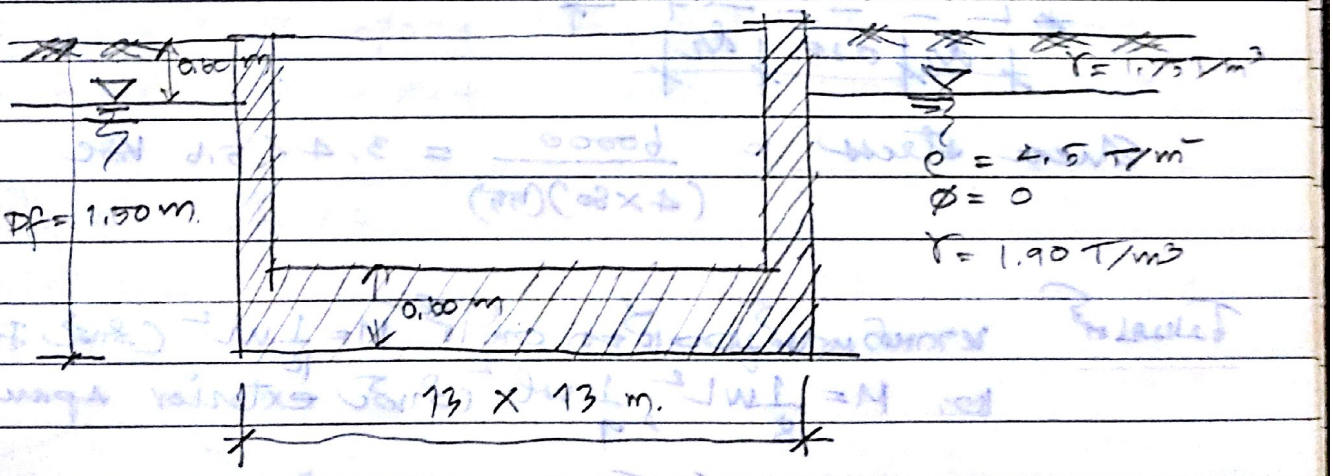
$$= \frac{1200}{13 \times 13} \pm \frac{(1200 \times 0.20) y}{2380} \pm \frac{(1200 \times 0.20) x}{2380}$$

$$= 7.101 \pm 0.1008y \pm 0.1008x \ T/m^2,$$

ตำแหน่งที่	y (ม.)	x (ม.)	0.1008y (T/m²)	0.1008x (T/m²)	ΣQ/A T/m²	q T/m²
1	−6.50	+6.50	−0.655	+0.655	7.101	7.101
2	+6.50	+6.50	+0.655	+0.655	7.101	8.411
3	−6.50	+3.00	−0.655	+0.302	7.101	6.748
4	+6.50	+3.00	+0.655	+0.302	7.101	8.058
5	−6.50	0	−0.655	0	7.101	6.446
6	+6.50	0	+0.655	0	7.101	7.756
7	−6.50	−3.00	−0.655	−0.302	7.101	6.144
8	+6.50	−3.00	+0.655	−0.302	7.101	7.454
9	−6.50	−6.50	−0.655	−0.655	7.101	5.791
10	+6.50	−6.50	+0.655	−0.655	7.101	7.101

ค่าแรงดันสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ขอบ

ค่าเฉลี่ย = 7.101 T/m²



Let $f_c' = 111$ ksc, $f_c = 50$ ksc, $f_s = 1200$ ksc

$n = 13$, $j = 0.883$, $k = 0.351$, $R = 7.75$

ตรวจหากำลังรับน้ำหนักของดิน

$$\text{net } q_{ult} = 5C\left(1 + 0.2\frac{B}{L}\right)\left(1 + 0.20\frac{D_f}{B}\right)$$

$$= 5 \times 4.50\left(1 + 0.20 \times \frac{13}{13}\right)\left(1 + 0.20 \times \frac{1.50}{13}\right)$$

$$= 27.623 \ T/m^2$$

$$q_a = q_{ns} = \frac{27.623}{3} = 9.12 \ T/m^2 > 8.411 \ T/m^2$$

(ถูกต้อง)

น้ำหนักที่ขุดออก และแรงดันน้ำขึ้นของน้ำ

ดินที่ขุดออก $= (1.75 \times 0.60) + (0.95 \times 0.90) = 1.905 \ T/m^2$

แรงดันน้ำขึ้นของน้ำ $= (1 \times 0.90) = 0.900 \ T/m^2$

รวม $= 2.805 \ T/m^2$

น้ำหนักฐานราก $= 0.60 \times 2.400 = 1.44 \ T/m^2 > 0.900 \ T/m^2$

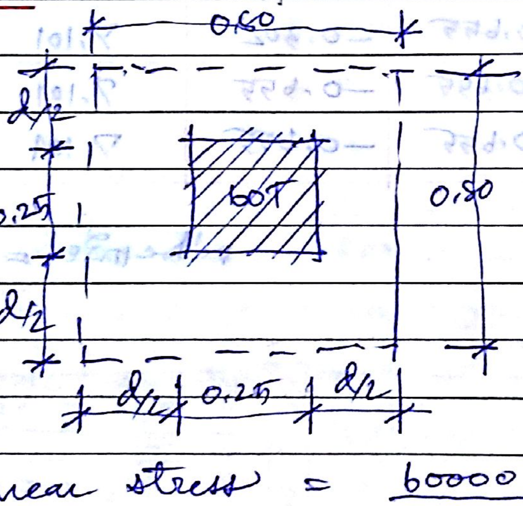
ค่าได้จากเสาเข็ม q $= 7.101 \ T/m^2$ (8.411 ถูกต้อง)

Total $= 8.541 \ T/m^2$ (9.851 ถูกต้อง)

net foundation pressure $= 8.541 - 2.805 = 5.736 \ T/m^2$

อาจพิจารณาได้ว่าน้ำหนักของฐานรากไม่เกินน้ำหนักดินที่ขุดออก (7.046 T/m² ถูกต้อง)

แรงเฉือน (punching shear)



d = 0.55 m.

$$\text{Shear stress} = \frac{60000}{(4 \times 80)(55)} = 3.4 < 5.6 \text{ ksc}$$

$(0.53\sqrt{f_c'} = 0.53\sqrt{111} = 5.583 \text{ ksc})$

โน้ตเพิ่มเติม หาค่าโมเมนต์ของแต่ละช่วง อาจใช้ $M = \frac{1}{10}wL^2$ (สำหรับ interior และ $M = \frac{1}{8}wL^2$, $\frac{1}{9}wL^2$ (สำหรับ exterior span).

ส่วนตัวอย่างนี้จะใช้ค่าโดยประมาณคือ $M = \frac{1}{10}wL^2$ ซึ่งเป็นค่าประมาณและง่ายกว่า

สำหรับการออกแบบโดยวิธีคานใหญ่แล้ว ควรพิจารณาแผ่นพื้นโดยถือว่าพื้น
ต่อเนื่องโดยสมมุติให้เป็น Continuous Beam.

แนว	ความกว้าง	q (T/m²)	นน.ที่เสาเข็มรับ (T)	นน.บรรทุกสูงสุด (T)	โมเมนต์ (Kg-m/m)
1-2	2.00	0.5(7.101+8.411)=7.756	2×139=201.6	3(40)+2(60)=240	0.10×7765(3)² =6980
3-4	3.00	0.5(6.748+8.058)=7.403	3×139=288.70	2(40)+3(60)=260	(0.10)(7403)(3)²=6663
5-6	3.00	0.5(6.446+7.756)=7.101	3×139=276.90	3(40)+2(60)=240	(0.10)(7101)(3)²=6391
7-8	3.00	0.5(6.144+7.454)=6.799	3×139=265.20	2(40)+3(60)=260	(0.10)(6799)(3)²=6119
9-10	2.00	0.5(5.791+7.101)=6.446	2×139=167.6	5(40)=200	(0.10)(6446)(3)²=5801
			Σ=1200	Σ=1200	—

$R = 7.75(100)(55)^2 = 23444 > 6980$ Kg-m/m.

$$A_s = \frac{6980}{(1200)(0.883)(0.55)} = 11.98 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ใช้ DB20 @ 0.20 m (A_s = 15.70 cm²/m)

ตรวจสอบแรงกดที่กระทำที่หัวเสาเข็มที่มุมฐานรากเสาเข็ม

จุด	y (ม)	x (ม)	0.1008y (T/m²)	0.1008x (T/m²)	ΣQ/A (T/m²)	q (T/m²)
11	-3.00	+6.50	-0.3024	+0.6552	7.101	7.454
12	-3.00	-6.50	-0.3024	-0.6552	7.101	6.143
13	0	+6.50	0	+0.6552	7.101	7.756
14	0	-6.50	0	-0.6552	7.101	6.446
15	+3.00	+6.50	+0.3024	+0.6552	7.101	8.059
16	+3.00	-6.50	+0.3024	-0.6552	7.101	6.748

Span)

โมเมนต์

แถบ	ความกว้าง (ม.)	q (T/m²)	แนวเดียว ระยะ (m)	แนวขวาง ความยาว (m)	โมเมนต์ (kg-m/m)
1—9	2.00	0.5(7.101 + 5.791) = 6.446	2×13q = 167.6	5(40) = 200	(0.1)(6446)(3)² = 5801
11—12	3.00	0.5(7.454 + 6.143) = 6.798	3×13q = 265.10	3(60) + 2(40) = 260	(0.10)(6798)(3)² = 6118
13—14	3.00	0.5(7.756 + 6.446) = 7.101	3×13q = 276.90	2(60) + 3(40) = 240	(0.10)(7101)(3)² = 6391
15—16	3.00	0.5(8.059 + 6.748) = 7.404	3×13q = 288.8	3(60) + 2(40) = 260	(0.10)(7404)(3)² = 6664
2—10	2.00	0.5(8.411 + 7.101) = 7.756	2×13q = 201.7	2(60) + 3(40) = 200	(0.10)(7756)(3)² = 6980
			Σ = 1200.10	Σ = 1200	

- จะเห็นได้ว่าโมเมนต์ในแนวแกน X10, y มีค่าเท่ากันเป็นคู่ๆ คือ (1-2, 2-10) (3-4, 15-16) (5-6, 13-14) (7-8, 11-12) (9-10, 1-9)

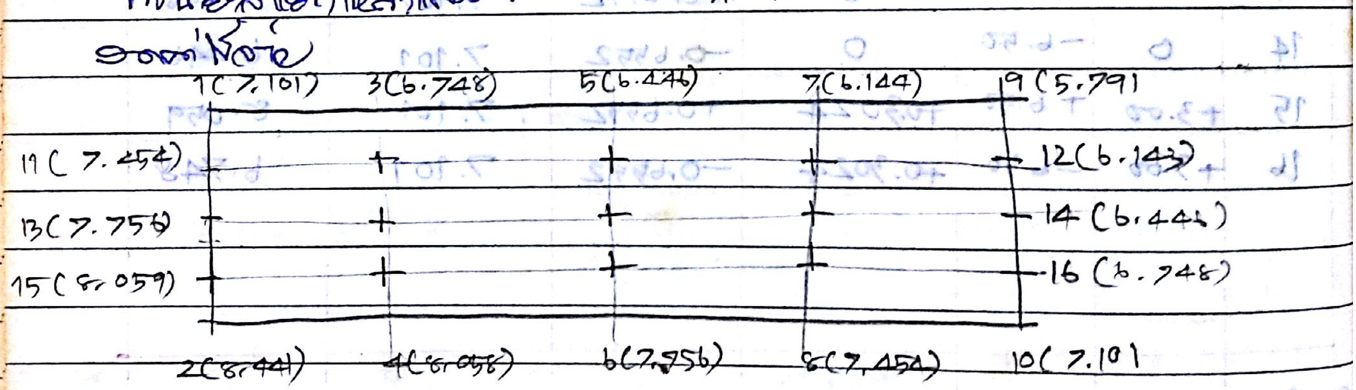
แรงยึดเหนี่ยว

$$u = \frac{(7756)(1.00)(1.50 - 0.125)}{(5 \times 6.29)(0.883)(0.55)} = \frac{V}{\Sigma o j d}$$

$$= 6.98 \text{ ksc} < \frac{2 \times 1.145\sqrt{f'_c}}{D} = 12.06 \text{ ksc}$$

$\phi 20 mm \rightarrow 2.0$ cm

หน่วยแรงแบกทานที่ปรากฏในแต่ละแถบได้เป็นดังนี้ เพื่อหาค่าต่างๆ



จากผลค่าโมเมนต์ที่ได้ไปดูจุดไปตามปริมาณเหล็กเสริม จะมากที่ขนาดเดียวกัน ควรเป็นตะแกรงได้ แต่ละแบบ หรือเปลี่ยนวัสดุพอสมควรตามนั้น ควรใส่ตามให้เหมาะสมเพื่อการวัสดุที่ไม่จำเป็นต้องใช้มากเกินไป เพราะมีมากจะมีขนาดต่อหน่วยใหญ่