บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 <u>รายละเอียดของโปรแกรมออกแบบฐานรากแผ่ร่วม</u>

4.1.1 โปรแกรมออกแบบฐานรากแผ่ร่วมออกแบบโดยโปรแกรม Microsoft Excel 2003

4.1.2 โปรแกรมประยุกต์ Microsoft Excel 2003 ใช้งานภายใต้ Microsoft Window XP

4.2 <u>ข้อจำกัดในการใช้งานโปรแกรมออกแบบฐานรากแผ่ร่วม</u>

4.2.1 ไม่สามารถใช้ออกแบบในสภาพดินที่ต้องตอกเสาเข็ม หรือดินหลวม(Puncing shear failure)

4.2.2 ไม่สามารถออกแบบเหล็กเสริมในฐานรากได้

4.2.3 ไม่สามารถบอกได้ว่าออกแบบอย่างไรถึงประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างมากที่สุด

4.2.4 ไม่สามารถนำไปใช้ออกแบบฐานรากแผ่ร่วมแบบปูพรม(Mat Foundation)

4.3 <u>ตัวอย่างของผลการดำเนินงาน</u>

ประกอบไปด้วย 3 เรื่องด้วยกัน ได้แก่

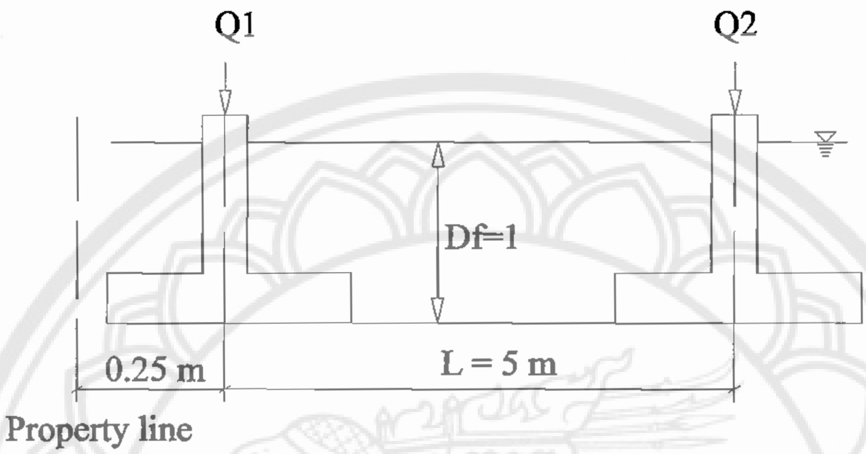
4.3.1 ตัวอย่างที่ 1 เรื่อง ฐานรากแผ่รวมแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

4.3.2 ตัวอย่างที่ 2 เรื่อง ฐานรากแผ่รวมแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

4.3.3 ตัวอย่างที่ 3 เรื่อง ฐานรากแผ่รวมแบบเชื่อมด้วยคาน

ตัวอย่างที่ 1 (Rectangular Combined Footing)

จงออกแบบฐานรากแผ่ร่วมเพื่อรองรับน้ำหนักเสาต้นนอก 50 ตันและเสาต้นใน 100 ตัน ระยะห่างระหว่างเสา 5 ม. ฐานรากอยู่ลึก 1.00 ม. จากระดับผิวดิน ดังรูป



และมีข้อมูลดินดังนี้ FS = 3

$C = 4\ T/m^2$

$\Phi = 32$ degree

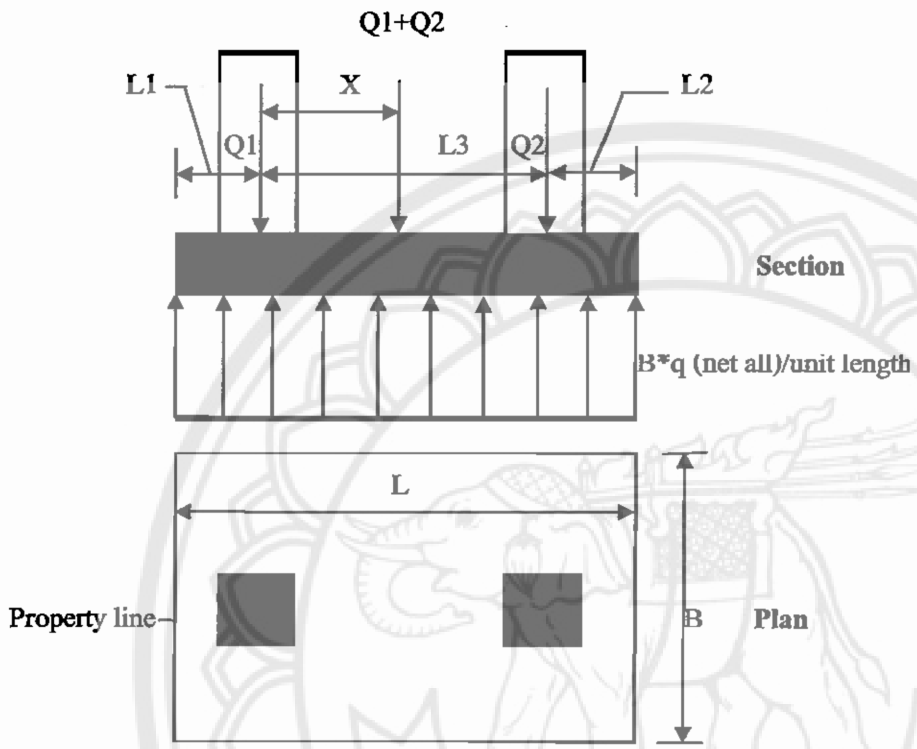
$\gamma_{sat} = 1.9\ T/m^3$

$\gamma_t = 1.8$ T/m3

Project :	**ตัวอย่างที่ 1**	**Footing No.:**	**1**
Engineer :		**Date :**	**12/3/2006 9:12**

CALCULATION SHEET OF ANALYSIS DESIGN COMBINED FOOTTING FOUNDATION

Rectangular Combined Footing(RCF)



Unit	1	

Column load Q_1	50	T
Column load Q_2	100	T
distant between center to center of column ,L_3 =	5	m
L_1 =	0.25	m

GENERAL BEARING CAPACITY THEORY

Bearing Capacity Factors

ϕ	32	degrees
C	4	T/m2

$$N_q = \left[\tan\left(45+\frac{\phi}{2}\right)\right]^2 \left(e^{\pi\tan\phi}\right) \qquad N_c = \frac{(N_q - 1)}{\tan\phi} \qquad N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi$$

N_c	35.49
N_q	23.18
N_γ	30.21

SHAPE, DEPTH, AND INCLINATION FACTORS

B_{assume}	1	m
L	7.17	m
D_f	1	m
β or ψ	0	degrees
D_f / B	1.00	
e	0	m

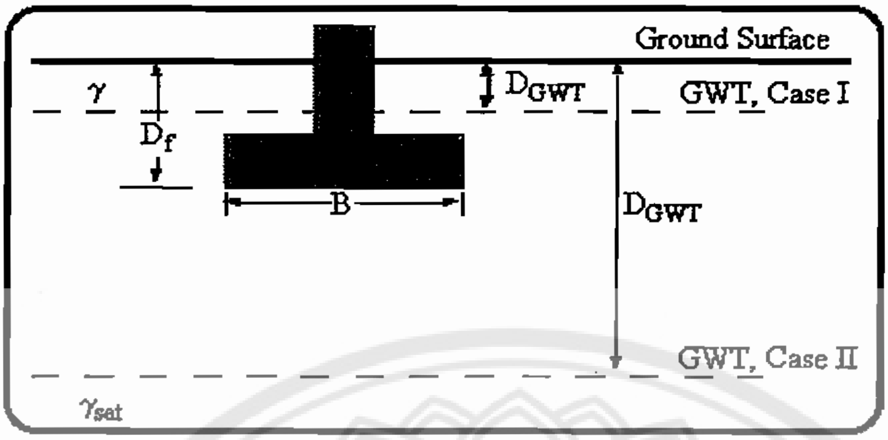
Shape Factors	Depth Factors	Inclination
$F_{cs}=1+\left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right)$	$F_{cd}=1+0.4\left(\frac{D_f}{B}\right)$	$F_{ci}=\left(1-\frac{\psi^\circ}{90^\circ}\right)^2$
$F_{qs}=1+\left(\frac{B}{L}\right)\tan\phi$	$F_{qd}=1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\left(\frac{D_f}{B}\right)$	$F_{qi}=\left(1-\frac{\psi^\circ}{90^\circ}\right)^2$
$F_{\gamma s}=1-0.4\left(\frac{B}{L}\right)$	$F_{\gamma d}=1$	$F_{\gamma i}=\left(1-\frac{\psi^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$

If $D_f / B > 1$, the equations for the depth factor are given in the following

$F_{cd}=1+0.4\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$	$F_{qd}=1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$	$F_{\gamma d}=1$

Shape Factors		Depth Factors		Load Inclination Factor	
F_{cs}	1.09	F_{cd}	1.40	F_{ci}	1
F_{qs}	1.09	F_{qd}	1.28	F_{qi}	1
$F_{\gamma s}$	0.94	$F_{\gamma d}$	1	$F_{\gamma i}$	1

CALCULATION OF SURCHARGE AT FOUNDATION LEVEL



$D_{GWT} < D_f$ $\quad q = \gamma D_{GWT} + (\gamma_{sat} - \gamma_w)(D_f - D_{GWT})$

$D_f < D_{GWT} < (D_f + B)$ $\quad q = \bar{\gamma} D_f = \left[(\gamma_{sat} - \gamma_w) + \left(\frac{D_{GWT} - D_f}{B}\right)(\gamma - \gamma_{sat} + \gamma_w)\right] D_f$

$D_{GWT} > (D_f + B)$ $\quad q = \gamma D_f$

Depth of Ground Water Table from Ground Surface (D_{GWT}) | 0 | m

Dry unit weight of soil γ_T | 1.8 | T/m3

Saturate unit weight of soil γ_{sat} | 1.9 | T/m3

Factor of Safety against bearing capacity FS | 3

γ_w = 1.00 T/m3

Width or length of foundation (B) 1.0 m

Depth of foundation (D_f) 1.0 m

$D_f + B$ = 2 m

Case 1

If $D_{GWT} < D_f$, Input 1

If $D_f <= D_{GWT} <=$ (Df+B) ,Input 2

If $D_{GWT} > (D_f+B)$,(ระดับน้ำอยู่ลึกมาก) Input 3

Surcharge at foundation level **q** | 0.90 | T/m2

unit weigth below foundation leve γ' | 0.90 | T/m3

$$q_u = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma' BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

$$q_{all} = \frac{q_u}{FS} \qquad q_{all(net)} = \frac{(q_u - q)}{FS}$$

$$A = \frac{Q_1 + Q_2}{q_{all(net)}}$$

$$X = \frac{Q_2 L_3}{Q_1 + Q_2}$$

$$L = 2(X + L_1)$$

Ultimate Bearing Capacity q_u = 258.63 T/m2

Allowable Bearing Capacity q_{all} = 86.21 T/m2

Net Allowable Bearing Capacity $q_{all(net)}$ = 85.91 T/m2

Determine the area of the foundation , A = 1.75 m2

Determine the location of the resultant of the column loads ,X = 3.33 m

Length of the foundation ,L' = 7.17 m

L_2 = 1.92 m

Check B_{obtain} = 0.24 m

B_{assume} = 1.00 m OK.ปลอดภัย

		B		L	
สรุป	ขนาดของฐานราก	1.0	x	7.2	m2

มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project : ตัวอย่างที่ 1

Data Input

สมมุติ B	=	1	m
ϕ	=	32	degrees
C	=	4	T/m2
Q_1 = 50 T , Q_2 = 100 T			
L_1 = 0.25 m , L_3 = 5 m			
D_f	=	1	m
β or ψ	=	0	degrees
D_{GWT}	=	0	m
γT	=	1.8	T/m3
γsat	=	1.9	T/m3
FS	=	3	

หาตำแหน่งของแรงลัพธ์ (X)

$$X = \frac{Q_2 L_3}{Q_1 + Q_2} = \frac{100 \times 5}{50 + 100}$$

= 3.33 m

หาความยาวของฐานราก (L)

$L = 2(X + L_1)$ = 2x(3.33 + 0.3)

= 7.17 m

$L_2 = L - L_1 - L_3$ = 7.17 - 0.25 - 5

= 1.92 m

จากข้อมูลข้างต้นจะได้

$$N_q = \tan^2(45 + \frac{\phi'}{2})e^{\pi \tan\phi}$$

$= \tan^2(45 + \frac{32}{2})e^{\pi \tan 32}$

= 23.18

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi'$$

= (23.18 - 1) cot 32

= 35.49

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi'$$

= 2 (23.18 + 1) tan 32

= 30.21

จัดอยู่ใน Case I

q = 0.90 T/m2

γ = 0.90 T/m3

Shape Factors

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right)$$

$= 1 + \left(\frac{1}{7.17}\right)\left(\frac{23.18}{35.49}\right)$

= 1.09

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\tan\phi'$$

$= 1 + \left(\frac{1}{7.17}\right)\tan 32$

= 1.09

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right)$$

$= 1 - 0.4\left(\frac{1}{7.17}\right)$

= 0.94

Depth Factors จะเห็นว่า Df / B = 1.00

กรณี Df / B ≤ 1

$$F_{cd} = 1 + 0.4\left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$= 1 + 0.4\left(\frac{1}{1}\right)$

= 1.40

$$F_{qd} = 1 + 2\tan\phi'(1 - \sin\phi')^2\frac{D_f}{B}$$

$= 1 + 2\tan 32\,(1 - \sin 32)^2\left(\frac{1}{1}\right)$

= 1.28

$F\gamma s$ = 1

กรณี Df / B > 1

$$F_{cd} = 1 + 0.4\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right) \qquad F_{qd} = 1 + 2\tan\phi'(1-\sin\phi')^2 \tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right) \qquad F\gamma d = 1$$

$$= 1 + 0.4\tan^{-1}\left(\frac{1}{1}\right) \qquad = 1 + 2\tan 32\,(1 - \sin 32)^2\left(\frac{1}{1}\right)$$

$$= 1.31 \qquad = 1.22$$

Load Inclination Factor

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \left(\frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)\right)^2 \qquad F_{\gamma i} = \left(1 - \left(\frac{\beta^\circ}{\phi'}\right)\right)^2$$

$$= \left(1 - \left(\frac{0}{90}\right)\right)^2 \qquad = \left(1 - \left(\frac{0}{32}\right)\right)^2$$

$$= 1 \qquad = 1$$

คำนวณหา $q_{all(net0}$ โดย General Bearing Capacity

$$q_u = c'N_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma B'N_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

$$= (4 \times 35.49 \times 1.09 \times 1.40 \times 1) + (0.90 \times 23.18 \times 1.09 \times 1.28 \times 1) + \left(\frac{1}{2} \times 0.90 \times 1 \times 30.21 \times 0.94 \times 1 \times 1\right)$$

$$= 258.63 \text{ T/m2}$$

$$q_{all} = \frac{q_u}{FS} = \frac{258.63}{3} = 86.21 \text{ T/m2}$$

$$q_{all(net)} = \left(\frac{q_u - q}{F_s}\right) = \frac{258.63 - 0.90}{3} = 85.91 \text{ T/m2}$$

หาขนาดของฐานราก

$$A = \frac{Q_1 + Q_2}{q_{all\,(net)}} = \frac{50 + 100}{85.91} = 1.75 \text{ m2}$$

B_{obtain} = 0.24

Bassume = 1 OK.ปลอดภัย

ดังนั้นเลือกใช้ขนาดของฐานราก (RCF) 1 x 7.2 m2

SUMMARY OF DESIGN (Rectangular Combined Footing (RCF))

DATA INPUT

SOIL PROPERTY

Cohesive of soil	:	C	= 4	T/m2
Friction ange of soil	:	ϕ	= 32	degrees
Unit weigth of wet soil	:	γT	= 1.8	T/m3
Deep of ground water table	:	DGWT	= 0	m
Unit weigth of saturate soil	:	γsat	= 1.9	T/m3
Unit weigth of water	:	γw	= 1	T/m3

LOAD DATA

Column load 1	:	Q1	= 50	T
Column load 2	:	Q2	= 100	T

DESIGN

Width of foundation	:	B_{assume}	= 1	m
Deep of foundation	:	D_f	= 1	m
Eccentric length	:	e	= 0	m
Inclination abgle	:	β or ψ	= 0	
Factor of safety	:	FS	= 3	

CALCULATION

EFFECT OF GROUND WATER TABLE

CASE I	Surcharge at foundation level	:	q	= 0.90	T/m2
	unit weigth below foundation level	:	γ'	= 0.90	T/m3

Bearing Capacity Factors

N_c = 35.49 N_q = 23.18 N_γ = 30.21

Shape Factors

F_{cs} = 1.09 F_{qs} = 1.09 $F\gamma s$ = 0.94

Depth Factors Df / B = 1.00

F_{cd} = 1.40 F_{qd} = 1.28 $F\gamma d$ = 1

Load Inclination Factor

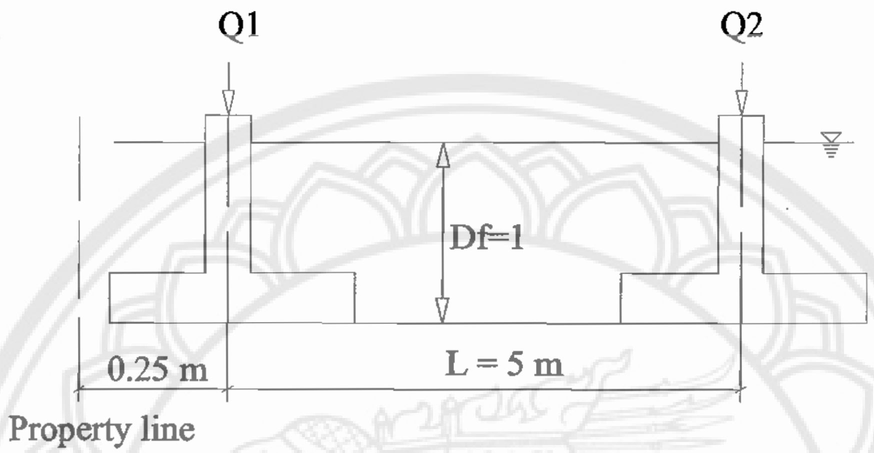
F_{ci} = 1 F_{qi} = 1 $F\gamma i$ = 1

DATA OUTPUT

Ultimate Bearing Capacity	:	q_u	= 258.63	T/m2
Allowable Bearing Capacity	:	q_{all}	= 86.21	T/m2
Net Allowable Bearing Capacity	:	$q_{all(net)}$	= 85.91	T/m2
Width of foundation	:	B	= 1	m
Length of foundation	:	L	= 7.2	m

ตัวอย่างที่ 2 (Trapezoidal – shaped Combined Footing)

จงออกแบบฐานรากแผ่ร่วมเพื่อรองรับน้ำหนักเสาต้นนอก 90 ตันและเสาต้นใน 60 ตัน ระยะห่างระหว่างเสา 5 ม. ฐานรากอยู่ลึก 1.00 ม. จากระดับผิวดิน ดังรูป



และมีข้อมูลดินดังนี้ FS = 3

$C = 4\ T/m^2$

$\Phi = 32$ degree

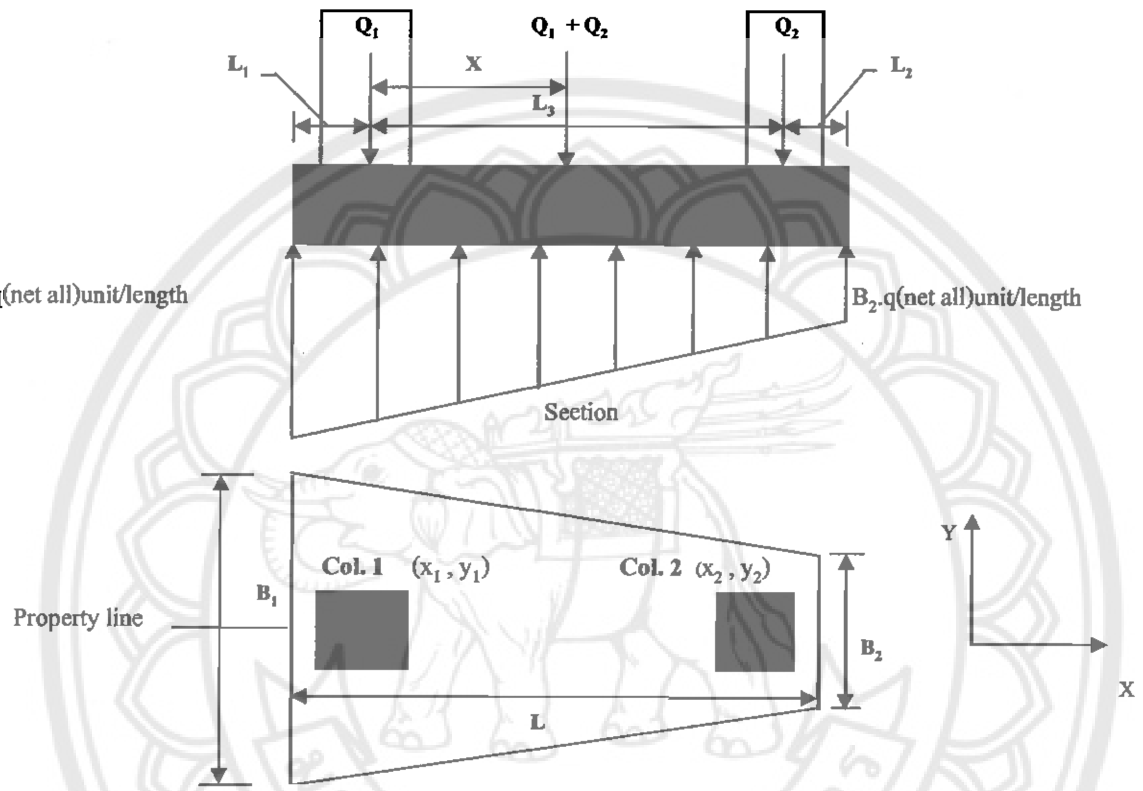
$\gamma_{sat} = 1.9\ T/m^3$

$\gamma_t = 1.8$ T/m3

Project :	ตัวอย่างที่ 2	Footing No.:	1
Engineer :		Date :	12/3/2006 12:52

CALCULATION SHEET OF ANALYSIS DESIGN COMBINED FOOTTING FOUNDATION

Trapezodal Combined Footing (TCF)



Unit 1

Dimentions	Col. 1	Col. 2
Length,X (m)	0.25	0.25
Width, Y (m)	0.25	0.25

Load		
Q_1	90	T
Q_2	60	T

Distance, L_1 (m)	0.25
Distance, L_2 (m)	0.25
Distance, L_3 (m)	5
L (m)	5.50

หาตำแหน่งของแรงลัพธ์ (X) 2 m

$$X = \frac{Q_2 L_3}{Q_1 + Q_2}$$

Check $\frac{L}{3} < X + L_1 < \frac{L}{2}$

1.83 < 2.25 < 2.75 OK

GENERAL BEARING CAPACITY THEORY

Bearing Capacity Factors

ϕ	32	degrees
C	4	T/m2

$$N_q = \left[\tan\left(45+\frac{\phi}{2}\right)\right]^2 \left(e^{\pi\tan\phi}\right) \qquad N_c = \frac{(N_q-1)}{\tan\phi} \qquad N_\gamma = 2(N_q+1)\tan\phi$$

N_c	35.49
N_q	23.18
N_γ	30.21

SHAPE, DEPTH, AND INCLINATION FACTORS

B_2assume	0.14	m
L	5.50	m
Df	1	m
β or ψ	0	degrees
Df / B	7.14	
e	0	m

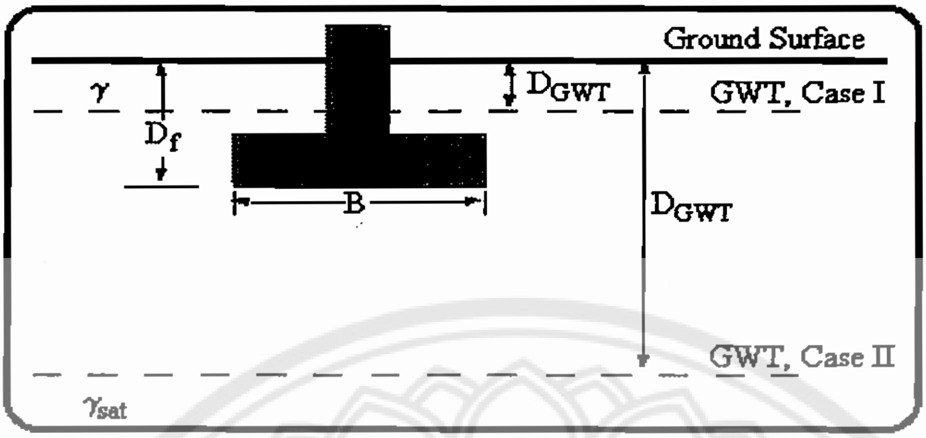
$F_{cs}=1+\left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right)$	$F_{cd}=1+0.4\left(\frac{D_f}{B}\right)$	$F_{ci}=\left(1-\frac{\psi^\circ}{90^\circ}\right)^2$
$F_{qs}=1+\left(\frac{B}{L}\right)\tan\phi$	$F_{qd}=1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\left(\frac{D_f}{B}\right)$	$F_{qi}=\left(1-\frac{\psi^\circ}{90^\circ}\right)^2$
$F_{\gamma s}=1-0.4\left(\frac{B}{L}\right)$	$F_{\gamma d}=1$	$F_{\gamma i}=\left(1-\frac{\psi^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$

If $D_f / B > 1$, the equations for the depth factor are given in the following

$$F_{cd}=1+0.4\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right) \qquad F_{qd}=1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right) \qquad F_{\gamma d}=1$$

Shape Factors		Depth Factors		Inclination	
F_{cs}	1.02	F_{cd}	1.57	F_{ci}	1
F_{qs}	1.02	F_{qd}	1.40	F_{qi}	1
$F\gamma s$	0.99	$F\gamma d$	1	$F\gamma i$	1

CALCULATION OF SURCHARGE AT FOUNDATION LEVEL



$D_{GWT} < D_f$ $\quad q = \gamma D_{GWT} + (\gamma_{sat} - \gamma_w)(D_f - D_{GWT})$

$D_f < D_{GWT} < (D_f + B)$ $\quad q = \bar{\gamma} D_f = \left[(\gamma_{sat} - \gamma_w) + \left(\frac{D_{GWT} - D_f}{B}\right)(\gamma - \gamma_{sat} + \gamma_w)\right] D_f$

$D_{GWT} > (D_f + B)$ $\quad q = \gamma D_f$

Depth of Ground Water Table from Ground Surface (DGWT) | 0 | m

Dry unit weight of soil γT | 1.8 | T/m3

Saturate unit weight of soil γ_{sat} | 1.9 | T/m3

Factor of Safety against bearing capacity FS | 3

γ_w = 1.00 T/m3

Width or length of foundation (B) 0.1 m

Depth of foundation (D_f) 1.0 m

$D_f + B$ = 1.1 m

Case | 1

If DGWT < D_f, Input (1)

If D_f <= DGWT <= (Df+B) ,Input (2)

If DGWT >(D_f+B),(ระดับน้ำอยู่ลึกมาก) Input (3)

Surcharge at foundation level q | 0.90 | T/m2

unit weigth below foundation level γ | 0.90 | T/m3

$$q_u = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma' BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

$$q_{all} = \frac{q_u}{FS} \qquad q_{all(net)} = \frac{(q_u - q)}{FS}$$

$$A = \frac{Q_1 + Q_2}{q_{all(net)}} \qquad X = \frac{Q_2 L_3}{Q_1 + Q_2}$$

Ultimate Bearing Capacity q_u	258.42	T/m2
Allowable Bearing Capacity q_{all}	86.14	T/m2
Net Allowable Bearing Capacity $q_{all(net)}$	85.84	T/m2
Determine the area of the foundation , A =	1.75	m2

คำนวนค่า B_1 และ B_2 โดย

$$X + L_1 = \left[\frac{B_1 + 2B_2}{B_1 + B_2}\right]\frac{L}{3} \longrightarrow \boxed{1}$$

$$A = \frac{B_1 + B_2}{2}L \longrightarrow \boxed{2}$$

แทนค่าในสมการ 1 และ 2 จะได้

B_1 = 0.491 m

B_2 = 0.144 m OK ปลอดภัย

สรุป

ดังนั้น Use Trapezodal Combined Footing

B_1 = 0.5 m

B_2 = 0.2 m

L = 5.5 m

มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project : ตัวอย่างที่ 2

Data Input

สมมุติ $B_{2(assume)}$	=	0.14	m
ϕ	=	32	degrees
C	=	4	T/m2
Q_1 = 90 T , Q_2 =		60	T
Distance, L_1	=	0.25	m
Distance, L_2	=	0.25	m
Distance, L_3	=	5	m
D_f	=	1	m
β or ψ	=	0	degrees
D_{GWT}	=	0	m
γT	=	1.8	T/m3
γsat	=	1.9	T/m3
FS	=	3	

หาตำแหน่งของแรงลัพธ์ (X)

$$X = \frac{Q_2 L_3}{Q_1 + Q_2} = \frac{60 \times 5}{90 + 60}$$

= 2 m

หาความยาวของฐานราก $L = L_1 + L_2 + L_3$

= 0.25 + 0.25 + 5

= 5.50 m

Check $\frac{L}{3} < X + L_1 < \frac{L}{2}$

$$\frac{5.50}{3} < 2 + 0.25 < \frac{5.50}{2}$$

1.83 < 2.25 < 2.75 OK

จากข้อมูลข้างต้นจะได้

$$N_q = \tan^2(45 + \frac{\phi'}{2})e^{\pi \tan\phi} \qquad N_c = (N_q - 1)\cot\phi' \qquad N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi'$$

$= \tan^2(45 + \frac{32}{2})e^{\pi \tan 32}$ = (23.18 - 1) cot 32 = 2(23.18 + 1) tan 32

= 23.18 = 35.49 = 30.21

จัดอยู่ใน Case 1

q = 0.90 T/m2

γ' = 0.90 T/m3

Shape Factors

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right) \qquad F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\tan\phi' \qquad F_{\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right)$$

$= 1 + \left(\frac{0.14}{5.50}\right)\left(\frac{23.18}{35.49}\right)$ $= 1 + \left(\frac{0.14}{5.50}\right)\tan 32$ $= 1 - 0.4\left(\frac{0.14}{5.50}\right)$

= 1.02 = 1.02 = 0.99

Depth Factors กรณี Df / B ≤ 1

$$F_{cd} = 1 + 0.4\left(\frac{D_f}{B}\right) \qquad F_{qd} = 1 + 2\tan\phi'(1 - \sin\phi')^2\frac{D_f}{B} \qquad F\gamma s = 1$$

$= 1 + 0.4\left(\frac{1}{0.14}\right)$ $= 1 + 2\tan 32 \,(1 - \sin 32)^2\left(\frac{1}{0.14}\right)$

= 3.86 = 2.97

กรณี Df / B > 1

$$F_{cd} = 1 + 0.4\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right) \qquad F_{qd} = 1 + 2\tan\phi'(1-\sin\phi')^2\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right) \qquad F\gamma d = 1$$

$$= 1 + 0.4\tan^{-1}\left(\frac{1}{0.14}\right) \qquad = 1 + 2\tan 32\,(1 - \sin 32)^2\tan^{-1}\left(\frac{1}{0.14}\right)$$

$$= 1.57 \qquad = 1.40$$

Inclination

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \left(\frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)\right)^2 \qquad F_{\gamma i} = \left(1 - \left(\frac{\beta^\circ}{\phi'}\right)\right)^2$$

$$= \left(1 - \left(\frac{0}{90}\right)\right)^2 \qquad = \left(1 - \left(\frac{0}{32}\right)\right)^2$$

$$= 1 \qquad = 1$$

คำนวณหา $q_{all(net0}$ โดย General Bearing Capacity

$$q_u = c'N_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma B'N_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

$$= (4 \times 35.49 \times 1.02 \times 1.57 \times 1) + (0.90 \times 23.18 \times 1.02 \times 1.40 \times 1) + \left(\frac{1}{2} \times 0.90 \times 0.14 \times 30.21 \times 0.99 \times 1 \times 1\right)$$

= 258.42 T/m2

$$q_{all} = \frac{q_u}{FS} = \frac{258.42}{3} = 86.14 \text{ T/m2}$$

$$q_{all(net)} = \left(\frac{q_u - q}{F_s}\right) = \frac{258.42 - 0.90}{3} = 85.84 \text{ T/m2}$$

หาขนาดของฐานราก

$$A = \frac{Q_1 + Q_2}{q_{all\,(net)}} = \frac{90 + 60}{85.84} = 1.75 \text{ m2}$$

คำนวนค่า B_1 และ B_2 โดย

$$X + L_1 = \left[\frac{B_1 + 2B_2}{B_1 + B_2}\right]\frac{L}{3} \quad \text{แทนค่าจะได้} \quad 2 + 0.25 = \left[\frac{B_1 + 2B_2}{B_1 + B_2}\right]\frac{5.50}{3} \longrightarrow \boxed{1}$$

$$A = \frac{B_1 + B_2}{2}L \quad \text{แทนค่าจะได้} \quad 1.75 = \left[\frac{B_1 + B_2}{2}\right]5.50 \longrightarrow \boxed{2}$$

แทนค่าในสมการ 1 และ 2 จะได้ B_1 = 0.5 m

B_2 = 0.2 m OK ปลอดภัย

SUMMARY OF DESIGN (Trapezodal Combined Footing (TCF))

DATA INPUT

SOIL PROPERTY

Cohesive of soil	: C	=	4	T/m2
Friction ange of soil	: ϕ	=	32	degrees
Unit weigth of wet soil	: γT	=	1.8	T/m3
Deep of ground water table	: DGWT	=	0	m
Unit weigth of saturate soil	: γsat	=	1.9	T/m3
Unit weigth of water	: γw	=	1	T/m3

LOAD DATA

Column load 1	: Q1	=	90	T
Column load 2	: Q2	=	60	T

DESIGN

Width of foundation	: $B_{2assume}$	=	0.14	m
Deep of foundation	: D_f	=	1	m
Eccentrie length	: e	=	0	m
Inclination abgle	: β or ψ	=	0	
Factor of safety	: FS	=	3	

CALCULATION

EFFECT OF GROUND WATER TABLE

CASE 1	Surcharge at foundation level	: q	=	0.90	T/m2
	unit weigth below foundation level	: γ'	=	0.90	T/m3

Bearing Capacity Factors

N_c = 35.49 N_q = 23.18 N_γ = 30.21

Shape Factors

F_{cs} = 1.02 F_{qs} = 1.02 $F\gamma s$ = 0.99

Depth Factors Df / B = 7.14

F_{cd} = 1.57 F_{qd} = 1.40 $F\gamma d$ = 1

Load Inclination Factor

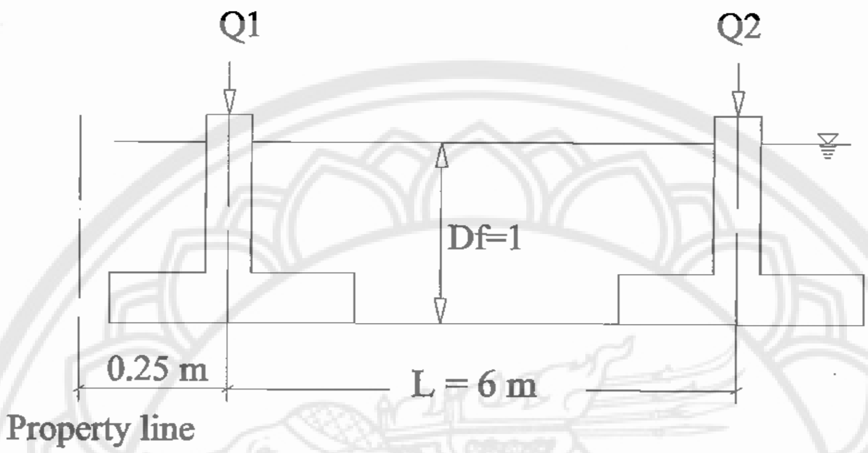
F_{ci} = 1 F_{qi} = 1 $F\gamma i$ = 1

DATA OUTPUT

Ultimate Bearing Capacity	: q_u	=	258.42	T/m2
Allowable Bearing Capacity	: q_{all}	=	86.14	T/m2
Net Allowable Bearing Capacity	: $q_{all(net)}$	=	85.84	T/m2
Use Trapezodal Combined Footing	: B_1	=	0.5	m
	: B_2	=	0.2	m
	: L	=	5.5	m

ตัวอย่างที่ 3 (Cantilever or Strap Combined Footing)

จงออกแบบฐานรากแผ่ร่วมเพื่อรองรับน้ำหนักเสาต้นนอก 100 ตันและเสาต้นใน 50 ตัน ระยะห่างระหว่างเสา 5 ม. ฐานรากอยู่ลึก 1.00 ม. จากระดับผิวดิน ดังรูป



และมีข้อมูลดินดังนี้

FS = 3

$C = 4\ T/m^2$

$\Phi = 32$ degree

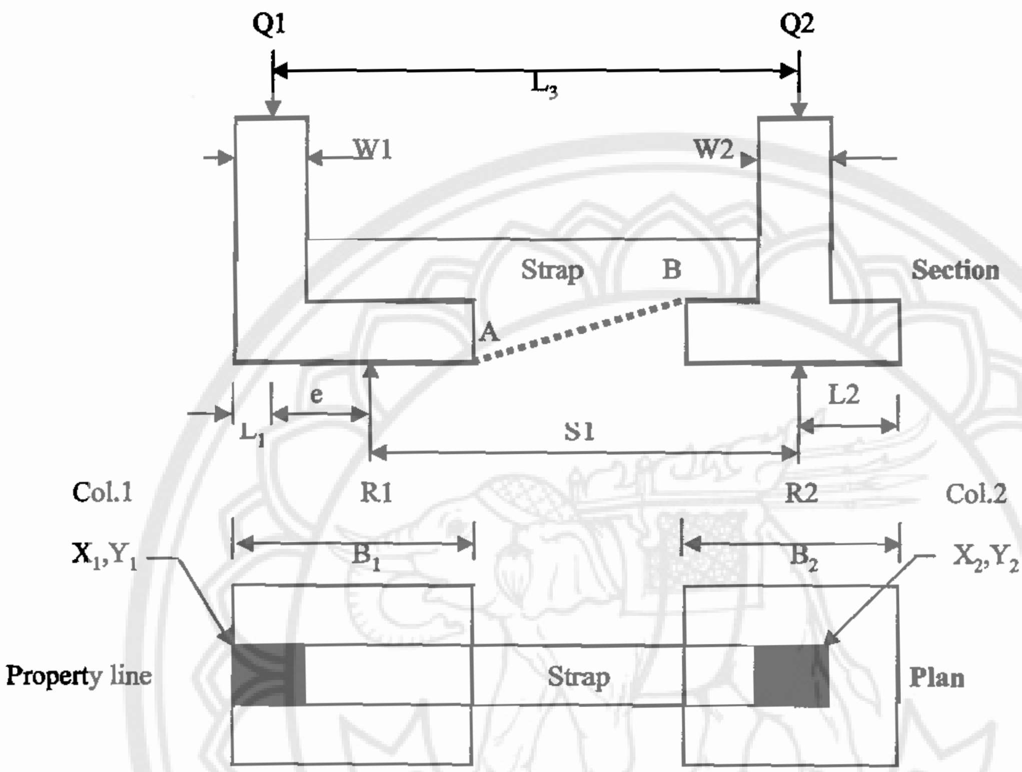
$\gamma_{sat} = 1.9\ T/m^3$

$\gamma_t = 1.8$ T/m3

Project :	ตัวอย่างที่ 3	Footing No.:	1
Engineer :		Date :	12/3/2006 13:02

CALCULATION SHEET OF ANALYSIS DESIGN COMBINED FOOTTING FOUNDATION

Cantilever or Strap Combined Footing (CCF or SCF)



	Load			Dimensions	
				Col.1	Col.2
Q_1	100	T	Length,X	0.6	0.6
Q_2	50	T	Width,Y	0.6	0.6

L_1	0.25	m
L_3	6	m

Unit 1

GENERAL BEARING CAPACITY THEORY

Bearing Capacity Factors

ϕ	32	degrees
C	4	T/m2

$N_q = \left[\tan\left(45+\frac{\phi}{2}\right)\right]^2 \left(e^{\pi \tan\phi}\right)$	$N_c = \frac{(N_q - 1)}{\tan\phi}$	$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi$

N_c	35.49
N_q	23.18
N_γ	30.21

SHAPE, DEPTH, AND INCLINATION FACTORS

$B_{2assume}$	1	m
L	3.00	m
D_f	1	m
β or ψ	0	degrees
D_f / B	1.00	

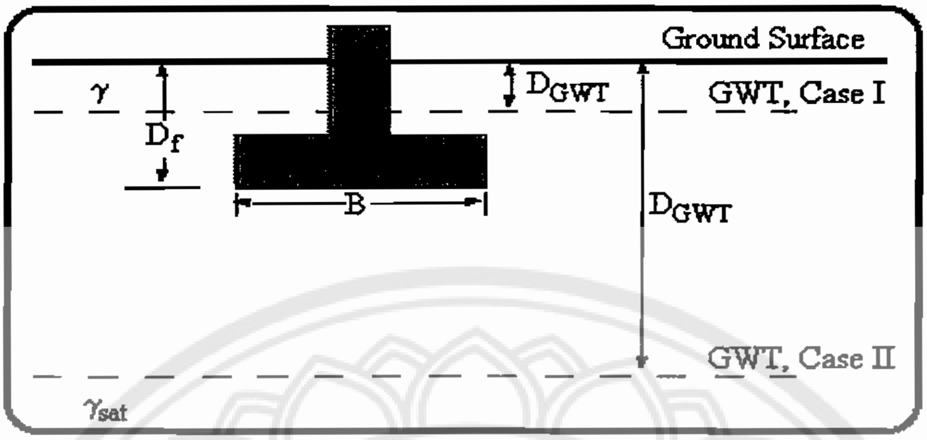
Shape Factors	Depth Factors	Inclination
$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right)$	$F_{cd} = 1 + 0.4\left(\frac{D_f}{B}\right)$	$F_{ci} = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{90^\circ}\right)^2$
$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\tan\phi$	$F_{qd} = 1 + 2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\left(\frac{D_f}{B}\right)$	$F_{qi} = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{90^\circ}\right)^2$
$F_{\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right)$	$F_{\gamma d} = 1$	$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\psi^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$

If $D_f / B > 1$, the equations for the depth factor are given in the following

$F_{cd} = 1 + 0.4\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$	$F_{qd} = 1 + 2\tan\phi(1-\sin\phi)^2\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right)$	$F_{\gamma d} = 1$

Shape Factors		Depth Factors		Inclination	
F_{cs}	1.22	F_{cd}	1.40	F_{ci}	1
F_{qs}	1.21	F_{qd}	1.28	F_{qi}	1
$F\gamma s$	0.87	$F\gamma d$	1	$F\gamma i$	1

CALCULATION OF SURCHARGE AT FOUNDATION LEVEL



$D_{GWT} < D_f$ $\quad q = \gamma D_{GWT} + (\gamma_{sat} - \gamma_w)(D_f - D_{GWT})$

$D_f < D_{GWT} < (D_f + B)$ $\quad q = \bar{\gamma} D_f = \left[(\gamma_{sat} - \gamma_w) + \left(\frac{D_{GWT} - D_f}{B}\right)(\gamma - \gamma_{sat} + \gamma_w)\right] D_f$

$D_{GWT} > (D_f + B)$ $\quad q = \gamma D_f$

Depth of Ground Water Table from Ground Surface (DGWT) | 0 | m

Dry unit weight of soil γT | 1.8 | T/m3

Saturate unit weight of soil γ_{sat} | 1.9 | T/m3

Factor of Safety against bearing capacity FS | 3

γ_w = 1.00 T/m3

Width or length of foundation (B) 1 m

Depth of foundation (D_f) 1.0 m

$D_f + B$ = 2.0 m

Case | 1

If DGWT < D_f, Input (1)

If D_f<= DGWT <= (Df+B) ,Input (2)

If DGWT >(D_f+B),(ระดับน้ำอยู่ลึกมาก) Input (3)

Surcharge at foundation level q | 0.90 | T/m2

unit weigth below foundation level γ' | 0.90 | T/m3

$$q_u = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma' BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

$$q_{all} = \frac{q_u}{FS} \qquad q_{all(net)} = \frac{(q_u - q)}{FS}$$

Ultimate Bearing Capacity q_u 286.0 T/m2

Allowable Bearing Capacity q_{all} 95.3 T/m2

Net Allowable Bearing Capacity $q_{all(net)}$ 95.0 T/m2

สมมุติค่าระยะเยื้องศูนย์ e ของเสาต้นนอก 1.25 m

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของฐานรากทั้งสอง S_1 4.75 m

หาความดันดินที่กระทำบนฐานรากทั้งสอง

R_1 = 126.3 T

R_2 = 23.7 T

ตรวจสอบว่าฐานรากรับน้ำหนักได้หรือไม่

ฐานราก Q_1 รับได้ 380.1 T

ฐานราก Q_2 รับได้ 71.3 T

OK.รับได้

หาขนาดของฐานราก

พื้นที่ของฐานรากตัวนอก(A_1)	0.4	X	3.0	m2
พื้นที่ของฐานรากตัวใน(A_2)	0.5	X	0.5	m2

Project : ตัวอย่างที่ 3

Data

สมมุติ B	=	1	m
ϕ	=	32	degrees
C	=	4	T/m2
Q_1 = 100 T , Q_2 =		50	T
L_1 = 0.25 m , L_3 =		6	m
ขนาดเสา Col.1		0.6 m x 0.6	m
ขนาดเสา Col.2		0.6 m x 0.6	m
e	=	1.25	m
D_f	=	1	m
β or ψ	=	0	degrees
D_{GWT}	=	0	m
γT	=	1.8	T/m3
γsat	=	1.9	T/m3
FS	=	3	

หาความยาวของฐานราก (L)

$$L = 2(e + L_1) = 2\text{x}(\ 1.25 + 0.25\ ) = 3.0 \text{ m}$$

จากข้อมูลข้างต้นจะได้

$$N_q = \tan^2(45 + \frac{\phi'}{2})e^{\pi \tan\phi}$$

$$= \tan^2(\ 45 + \frac{32}{2}\ )e^{\pi \tan\ 32}$$

$$= 23.18$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi'$$

$$= (\ 23.18 - 1\ )\cot\ 32$$

$$= 35.49$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\phi'$$

$$= 2(\ 23.18 + 1\ )\tan\ 32$$

$$= 30.21$$

จัดอยู่ใน Case 1

q = 0.90 T/m2

γ' = 0.90 T/m3

Shape Factors

$$F_{cs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\left(\frac{N_q}{N_c}\right) = 1 + \left(\frac{1}{3.0}\right)\left(\frac{23.18}{35.49}\right) = 1.22$$

$$F_{qs} = 1 + \left(\frac{B}{L}\right)\tan\phi' = 1 + \left(\frac{1}{3.0}\right)\tan\ 32 = 1.21$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4\left(\frac{B}{L}\right) = 1 - 0.4\left(\frac{1}{3.0}\right) = 0.87$$

Depth Factors จะเห็นว่า Df / B = 1.00

กรณี Df / B ≤ 1

$$F_{cd} = 1 + 0.4\left(\frac{D_f}{B}\right) = 1 + 0.4\left(\frac{1}{1}\right) = 1.40$$

$$F_{qd} = 1 + 2\tan\phi'(1 - \sin\phi')^2\frac{D_f}{B} = 1 + 2\tan 32(\ 1 - \sin 32\ )^2\left(\frac{1}{1}\right) = 1.28$$

Fγs = 1

กรณี Df / B > 1

$$F_{cd} = 1 + 0.4\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right) \qquad F_{qd} = 1 + 2\tan\phi'(1-\sin\phi')^2\tan^{-1}\left(\frac{D_f}{B}\right) \qquad F\gamma d = 1$$

$$= 1 + 0.4\tan^{-1}\left(\frac{1}{1}\right) \qquad = 1 + 2\tan 32\ (1 - \sin 32)^2 \tan^{-1}\left(\frac{1}{1}\right)$$

$$= 1.31 \qquad = 1.22$$

Inclination

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \left(\frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)\right)^2 \qquad F_{\gamma i} = \left(1 - \left(\frac{\beta^\circ}{\phi'}\right)\right)^2$$

$$= \left(1 - \left(\frac{0}{90}\right)\right)^2 \qquad = \left(1 - \left(\frac{0}{32}\right)\right)^2$$

$$= 1 \qquad = 1$$

คำนวณหา $q_{all(net0}$ โดย General Bearing Capacity

$$q_u = c'N_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma B'N_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

$$= (4 \times 35.49 \times 1.22 \times 1.40 \times 1) + (0.90 \times 23.18 \times 1.21 \times 1.28 \times 1) + \left(\frac{1}{2} \times 0.90 \times 1 \times 30.21 \times 1 \times 1 \times 1\right)$$

$$= 286.0 \text{ T/m2}$$

$$q_{all} = \frac{q_u}{FS} = \frac{286}{3} = 95.32 \text{ T/m2}$$

$$q_{all(net)} = \left(\frac{q_u - q}{F_s}\right) = \frac{286 - 0.90}{3} = 95.02 \text{ T/m2}$$

หาขนาดของฐานรากตัวใน (A_2)

$$B_2 = \sqrt{\frac{R_2}{q_{all\ (net)}}} = \sqrt{\frac{23.7}{95.02}} = 0.5 \text{ m}$$

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของฐานรากทั้งสอง

$$S_1 = L_3 - e = 6 - 1.25 = 4.75 \text{ m}$$

หาขนาดของฐานรากตัวนอก (A_1)

$$B_1 = \frac{R_1}{L.q_{all\ (net)}} = \frac{126.3}{3.0 \times 95.02} = 0.4 \text{ m}$$

$$L = 2(e + L_1) = 2(1.25 + 0.25) = 3.0 \text{ m}$$

หาความดันดินที่กระทำบนฐานรากทั้งสอง

$$R_1 = \frac{Q_1 L_3}{S_1} = \frac{100 \times 6}{4.75} = 126.3 \text{ T}$$

$$R_2 = \frac{Q_2 S_1 - Q_1 e}{S_1} = \frac{(50 \times 4.75 - 100 \times 1.25)}{4.75} = 23.7 \text{ T}$$

สรุป				
ขนาดฐานรากตัวใน	0.5	x	0.5	m2
ขนาดฐานรากตัวนอก	0.4	x	3.0	m2

SUMMARY OF DESIGN (Cantilever or Strap Combined Footing (CCF or SCF))

DATA INPUT

SOIL PROPERTY

Cohesive of soil	:	C	=	4	T/m2
Friction ange of soil	:	ϕ	=	32	degrees
Unit weigth of wet soil	:	γT	=	1.8	T/m3
Deep of ground water table	:	DGWT	=	0	m
Unit weigth of saturate soil	:	γsat	=	1.9	T/m3
Unit weigth of water	:	γw	=	1	T/m3

LOAD DATA

Column load 1	:	Q1	=	100	T
Column load 2	:	Q2	=	50	T

DESIGN

Width of foundation	:	$B_{2assume}$	=	1	m
Deep of foundation	:	D_f	=	1	m
Eccentric length	:	e	=	1.25	m
Inclination abgle	:	β or ψ	=	0	
Factor of safety	:	FS	=	3	

CALCULATION

EFFECT OF GROUND WATER TABLE

CASE 1	Surcharge at foundation level	:	q	=	0.90	T/m2
	unit weigth below foundation level	:	γ'	=	0.90	T/m3

Bearing Capacity Factors

N_c = 35.49 N_q = 23.18 N_γ = 30.21

Shape Factors

F_{cs} = 1.22 F_{qs} = 1.21 $F\gamma s$ = 0.87

Depth Factors Df / B = 1.00

F_{cd} = 1.40 F_{qd} = 1.28 $F\gamma d$ = 1

Load Inclination Factor

F_{ci} = 1 F_{qi} = 1 $F\gamma i$ = 1

DATA OUTPUT

Ultimate Bearing Capacity	:	q_u	=	285.96	T/m2
Allowable Bearing Capacity	:	q_{all}	=	95.32	T/m2
Net Allowable Bearing Capacity	:	$q_{all(net)}$	=	95.02	T/m2

FOUNDATION, A1

Width of foundation	:	B	=	0.4	m
Length of foundation	:	L	=	3.0	m

FOUNDATION, A2

Width of foundation	:	B	=	0.5	m
Length of foundation	:	L	=	0.5	m