บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 รายละเอียดของโปรแกรมออกแบบคำนวณเสา

4.1.1 โปรแกรมออกแบบคำนวณเสาจะรันโดยโปรแกรมประยุกต์ Microsoft Excel 97 รุ่น 8.0

4.1.2 โปรแกรมประยุกต์ Microsoft Excel 97 รุ่น 8.0 รันภายใต้ Microsoft Windows 95 & 98

4.1.3 การคำนวณอาศัยการสร้าง Macros โดยโปรแกรม Microsoft Visual Basic ซึ่งรันภายใต้โปรแกรมประยุกต์ Microsoft Excel 97 รุ่น 8.0 และคำนวณในแต่ละเซลล์ด้วย

4.2 ข้อจำกัดในการใช้งานโปรแกรมออกแบบคำนวณเสา

4.2.1 จำนวน Layer ที่สามารถป้อนเข้าไปได้

- โปรแกรมออกแบบคำนวณเสาสี่เหลี่ยมสามารถป้อนจำนวน Layer ได้สูงสุด 10 Layers และต่ำสุดจำนวน 2 Layers
- โปรแกรมออกแบบคำนวณเสากลมสามารถป้อนจำนวน Layer ได้สูงสุด 10 Layers และต่ำสุดจำนวน 3 Layers

4.2.2 จำนวน Bar ที่สามารถป้อนเข้าไปได้

- โปรแกรมออกแบบคำนวณเสาสี่เหลี่ยมสามารถใส่จำนวน Bar ได้ตามต้องการ โดยขึ้นอยู่การลักษณะการป้อนจำนวน Layer
- โปรแกรมออกแบบคำนวณเสากลมสามารถป้อนจำนวน Bar สูงสุดได้ 18 Bars และต่ำสุดได้ 4 Bars โดยที่โปรแกรมจะคำนวณจำนวน Layers ให้

4.2.3 ขนาดของเหล็กเส้นที่กำหนดมาในโปรแกรมมีดังนี้

RB6, RB9, DB10, RB12, DB12, RB16, DB16, RB19, DB20, RB25, DB25, DB28, DB32

4.3 ขั้นตอนการใช้โปรแกรมออกแบบคำนวณเสา

เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรม โปรแกรมจะให้ผู้ใช้เลือกว่าจะคำนวณออกแบบเสาเหลี่ยมหรือเสากลม เมื่อทำการจะเข้าสู่โปรแกรม

4.3.1 คำนวณออกแบบเสาเหลี่ยม

การใส่ข้อมูลมีดังนี้

P_{uc} , M_{uc} , b , h , f'_c , f_y , β_1 ,No. of Bar, Bar Size, d_1 , d_2 ,No. of Layers

4.3.2 คำนวณออกแบบเสากลม

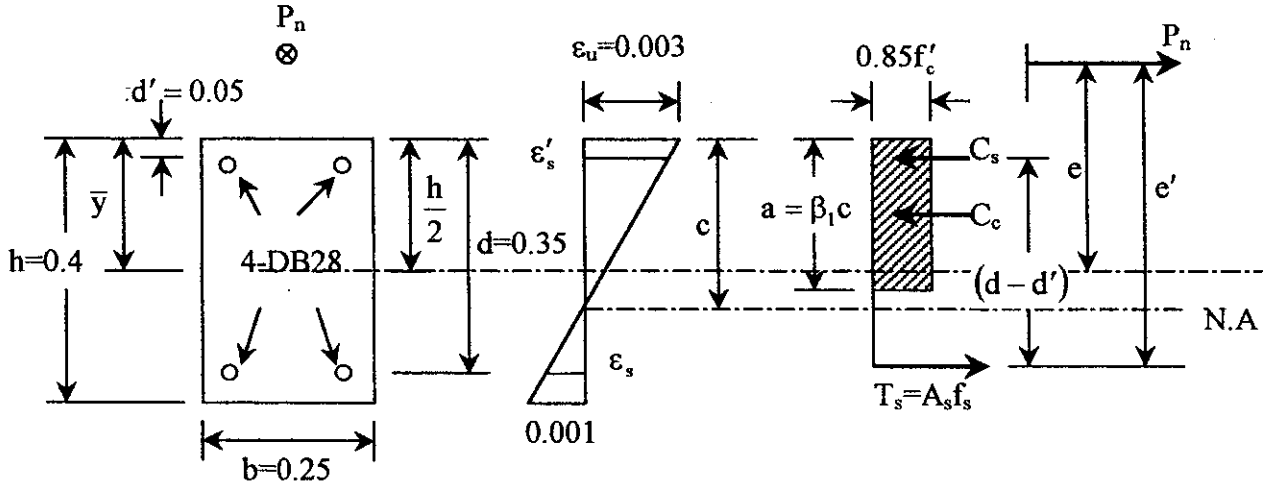
การใส่ข้อมูลมีดังนี้

P_{uc} , M_{uc} , h , f'_c , f_y , β_1 , No. of Bar, Bar Size, D_s

หมายเหตุ

- เมื่อใส่ข้อมูลโปรแกรมจะคำนวณใหม่ทันที
- เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลหลายครั้งติดต่อกันโปรแกรมจะยังไม่คำนวณให้จะรอให้ใส่ข้อมูลเสร็จก่อน

Ex.1 จงคำนวณหากำลังต้านทานแรงอัดและโมเมนต์ดัดสูงสุดของเสาปลอกเดี่ยว ซึ่งมีขนาดหน้าตัด 0.25x0.40 ม. เสริมเหล็กยืนทั้งหมด 4DB28 มม. เมื่อมีการกระจายของหน่วย การหดตัวสูงสุดในคอนกรีตด้านที่รับแรงอัดเท่ากับ 0.003 มม./มม. และหน่วยการยืดตัวในคอนกรีตที่ผิวด้านรับแรงดึงเท่ากับ 0.001 กำหนดให้ $f_c' = 200$ กก/ซม.^{2} $f_y = 4000$ กก/ซม ^{2} และ $E_s = 2.04 \times 10^6$ กก/ซม.^{2}



วิธีทำ

1.หาหน่วยแรงในเหล็กเสริมรับแรงดึงและรับแรงอัด

จากสามเหลี่ยมคล้าย $\dfrac{c}{40-c} = \dfrac{0.003}{0.001}$; $c = 30$ ซม.

ฉะนั้น หน่วยการยืดและหดตัวในเหล็กเสริม

$\varepsilon_s' = 0.0025$ และ $\varepsilon_s = 0.0005$

แต่หน่วยการยืดหดตัวที่จุดครากของเหล็กเสริม $\varepsilon_y = \dfrac{4000}{2.04 \times 10^6} = 0.00196$

ดังนั้นที่จุดประลัย $f_s' = f_y = 4000$ กก./ซม.^{2} และ

$$f_s = 0.0005 \times 2.04 \times 10^6 = 1020 \text{ กก./ซม.}^2$$

2. หากำลังต้านทานแรงอัดและโมเมนต์ดัดสูงสุดของเสา

พิจารณาจากการสมดุลของแรงบนหน้าตัดเสาจะได้

$$a = 0.85 \times 30 = 25.50 \text{ ซม.}$$

$$P_n = C_c + C'_s - T_s$$

$$C_c = 0.85 f'_c ba = 0.85(200)(25)(0.85 \times 30) = 108375 \text{ กก.}$$

$$C'_c = A'_s f'_s = (12.32)(4000) = 49280 \text{ กก.}$$

$$T_s = A_s f_s = (12.32)(1020) = 12567 \text{ กก.}$$

ดังนั้นกำลังต้านทานแรงอัดสูงสุด

$$P_u = \phi P_n = 0.7(108375 + 49280 - 12567) = 101560 \text{ กก}$$

กำลังต้านทานแรงดัดสูงสุด

$$M_u = \phi M_n = C_c\left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + C'_s\left(\frac{h}{2} - d'\right) + T_s\left(d - \frac{h}{2}\right).$$

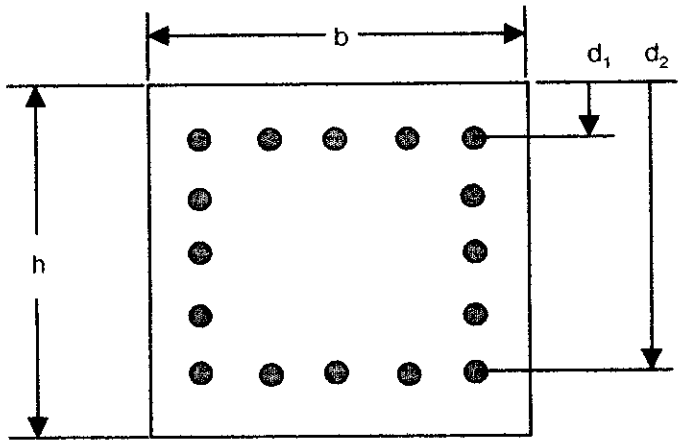
$$= 0.7[108375(20 - 12.75) + 49280(20 - 5) + 12567(35 - 20)]$$

$$= 1199400 \text{ กก.-ซม.}$$

$$\text{ระยะเยื้องศูนย์ } e = \frac{1199400}{101560} = 11.8 \text{ ซม.}$$

Tied Column

ชื่อ	ตัวอย่างที่ 1
โครงงาน	โครงงานวิศวกรรมโยธา
ชื่อเสา	C_1



P_{uc} =	32750	Kg
M_{uc} =	1365000	Kg - cm
b =	25	cm.
h =	40	cm.
f_c' =	200	ksc
f_y =	4000	ksc
β_1 =	0.85	

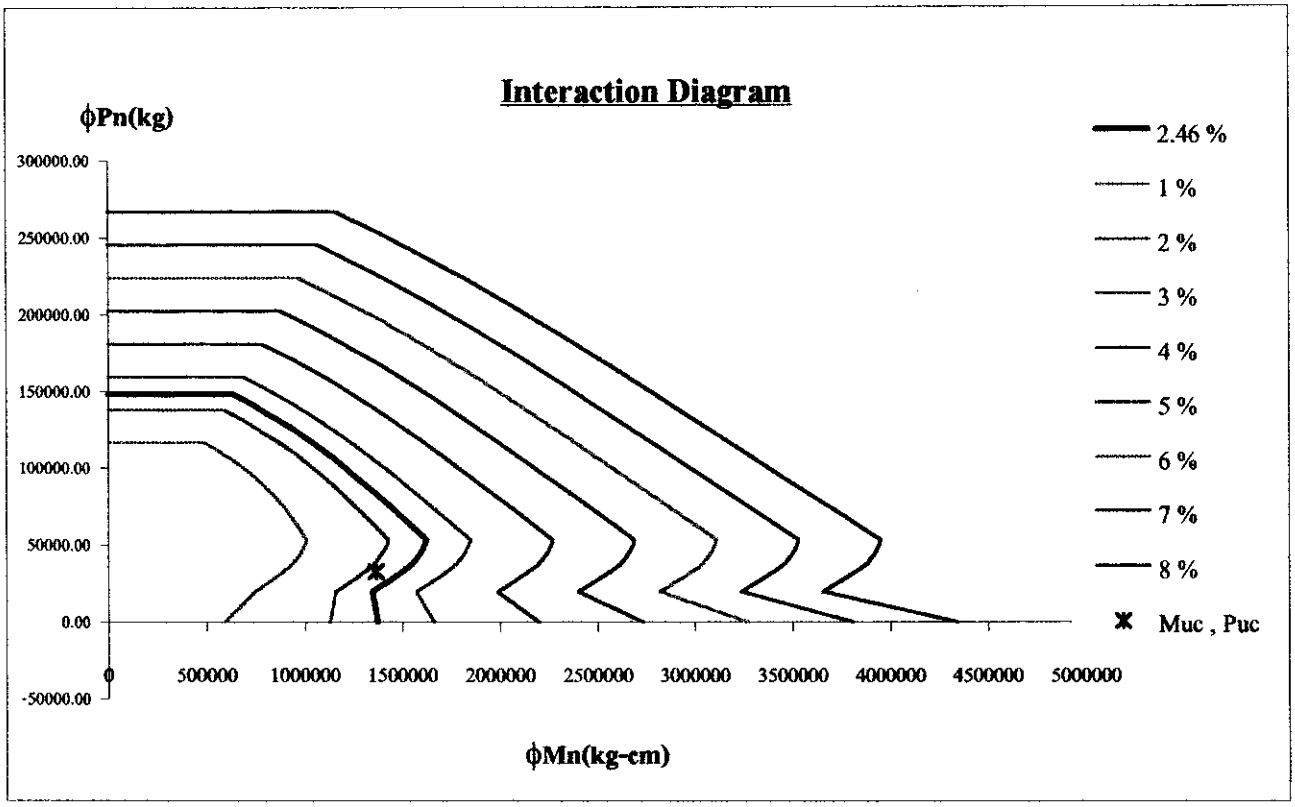
เลือกใช้เหล็กยืนขนาด DB28

จำนวน 4 เส้น

d_1 =	5	cm.
d_2 =	35	cm.

No. of Layers = 2 Layers

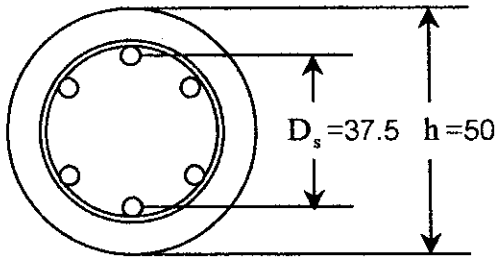
A_{S1} , A_{S2} =	12.32	cm^2
A_{si} =	0	cm^2
A_{st} =	24.64	cm^2



ต้องการกำหนดค่า C เอง ที่ % เหล็ก = 2.46 %

		ϕMn	ϕPn	e
C =	30.0000	1199390.33	101562.02	11.809437475

Ex.2 เสา ค.ส.ล. ปลอกเกลียวรูปตัดกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. เสริมเหล็กยืน ขนาด DB25 มม. จำนวน 6 เส้น โดยมีระยะ $D_s = 37.50$ ซม. ดังรูป จงคำนวณหากำลังรับแรงอัดสูงสุดของเสาต้นนี้ กำหนดให้ $f_c' = 250$ กก/ซม.^{2}, $f_y = 4000$ กก/ซม.^{2}, $E_s = 2.0 \times 10^6$ กก/ซม.^{2}



วิธีทำ

1. หาพื้นที่หน้าตัดเหล็ก

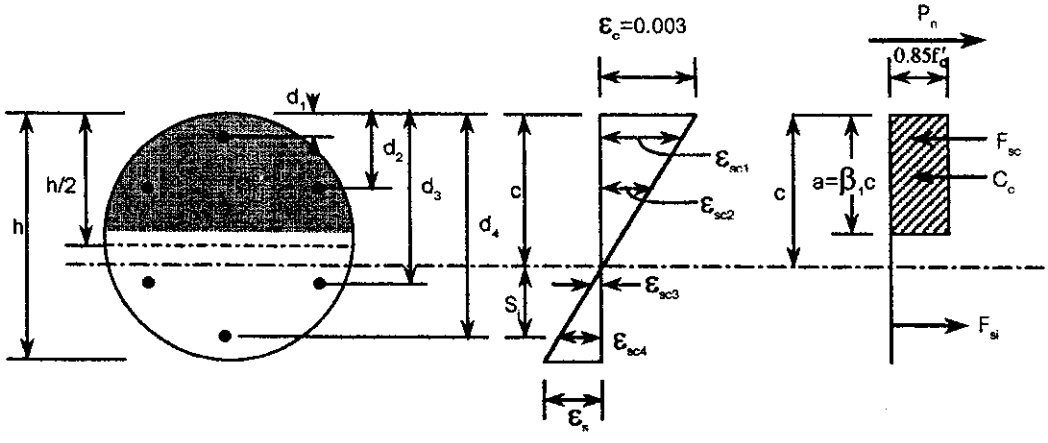
$$A_{st} = 6 \times 4.91 = 29.46 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{s1} = 1 \times 4.91 = 4.91 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{s2} = 2 \times 4.91 = 9.82 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{s3} = 2 \times 4.91 = 9.82 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{s4} = 1 \times 4.91 = 4.91 \text{ ซม.}^2$$



2. หาความลึกในแต่ละ Layers

$$\gamma = \frac{360}{6} \times \frac{\pi}{180} = 1.047^{\circ}$$

$$d_1 = \frac{h - D_s}{2} = 6.25 \text{ ซม.}^2$$

$$d_2 = \frac{h}{2} - \frac{D_s \cos\gamma}{2} = 15.62 \text{ ซม.}^2$$

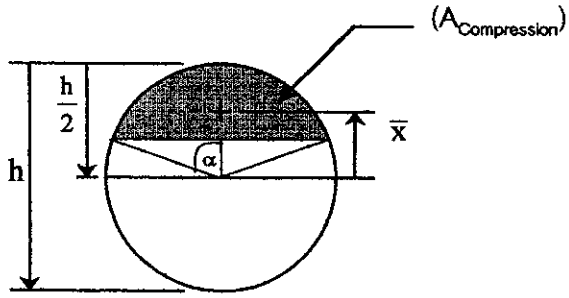
$$d_3 = \frac{h}{2} - \frac{D_s(\cos 2\gamma)}{2} = 34.37 \text{ ซม.}^2$$

$$d_4 = \frac{h}{2} - \frac{D_s(\cos 3\gamma)}{2} = 43.75 \text{ ซม.}^2$$

$$c_b = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{E_s}} d_4 = 26.46 \text{ ซม.}^2$$

$$a_b = \beta_1 c_b = 22.49 \text{ ซม.}^2$$

3. หา Area compression และ $\bar{x}$



$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{\frac{h}{2} - a_b}{\frac{h}{2}}\right) = 1.47^{\circ}$$

$$A_{compression} = \frac{h^2}{4}(\alpha - \sin\alpha\cos\alpha)$$

$$= \frac{50^2}{4}(1.47^\circ - \sin(1.47^\circ)\cos(1.47^\circ))$$

$$= 856.18 \quad \text{ซม.}^2$$

$$\bar{x} = \frac{h^3 \sin^3\alpha}{12A_{compression}} = 11.98 \text{ ซม.}$$

4. Check ค่า f_s

$$f_{s1} = \frac{6120(c_b - d_1)}{c_b} = 4674.42 > 4000 \quad \text{กก/ซม.}^2$$

ใช้ 4000 กก/ซม.^{2}

$$f_{s2} = \frac{6120(c_b - d_2)}{c_b} = 2507.21 < 4000 \quad \text{กก/ซม.}^2 \text{ ใช้ได้}$$

$$f_{s3} = \frac{6120(c_b - d_3)}{c_b} = -1829.52 > -4000 \quad \text{กก/ซม.}^2 \text{ ใช้ได้}$$

$$f_{s4} = \frac{6120(c_b - d_4)}{c_b} = -3999.05 > -4000 \quad \text{กก/ซม.}^2 \text{ ใช้ได้}$$

$$\sum f_{si}A_{si} = (f_{s1}A_{s1} + f_{s2}A_{s2} + f_{s3}A_{s3} + f_{s4}A_{s4})$$

$$= (19640 + 24620.80 - 17965.89 - 19635.34)$$

$$= 6659.57 \quad \text{กก.}$$

$$\sum f_{si}A_{si}\left(\frac{h}{2} - d_i\right) = \left(f_{s1}A_{s1}\left(\frac{h}{2} - d_1\right) + f_{s2}A_{s2}\left(\frac{h}{2} - d_2\right) + f_{s3}A_{s3}\left(\frac{h}{2} - d_3\right) + f_{s4}A_{s4}\left(\frac{h}{2} - d_4\right)\right)$$

$$= 368250 + 230943 + 168340.39 + 3681662.63$$

$$= 1135696.02 \quad \text{กก-ซม.}$$

5. กำลังต้านทานแรงอัดและโมเมนต์ดัดของเสา

$$P_{nb} = 0.85f_c' A_{compression} + \sum f_{si} A_{si}$$

$$= 188597.82 \text{ กก.}$$

$$P_u = 0.75P_{nb}$$

$$= 141448.37 \text{ กก}$$

$$M_{nb} = 0.85f_c' A_{compression} \bar{x} + \sum f_{si} A_{si} \left(\frac{h}{2} - d_i \right)$$

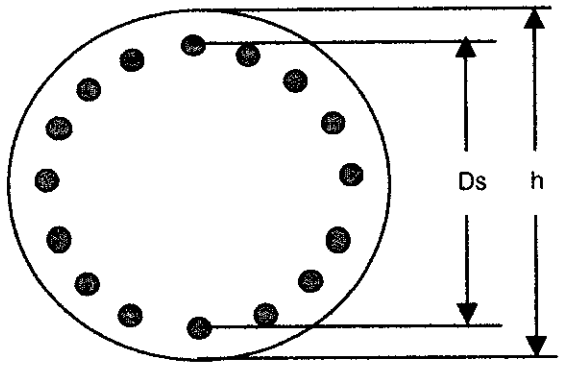
$$= 3315316.26 \text{ กก-ซม.}$$

$$M_u = 0.75M_{nb}$$

$$= 2486487.19 \text{ กก-ซม.}$$

Spiral Column

ชื่อ	ตัวอย่างที่ 2
โครงงาน	โครงงานวิศวกรรมโยธา
ชื่อเสา	C_2



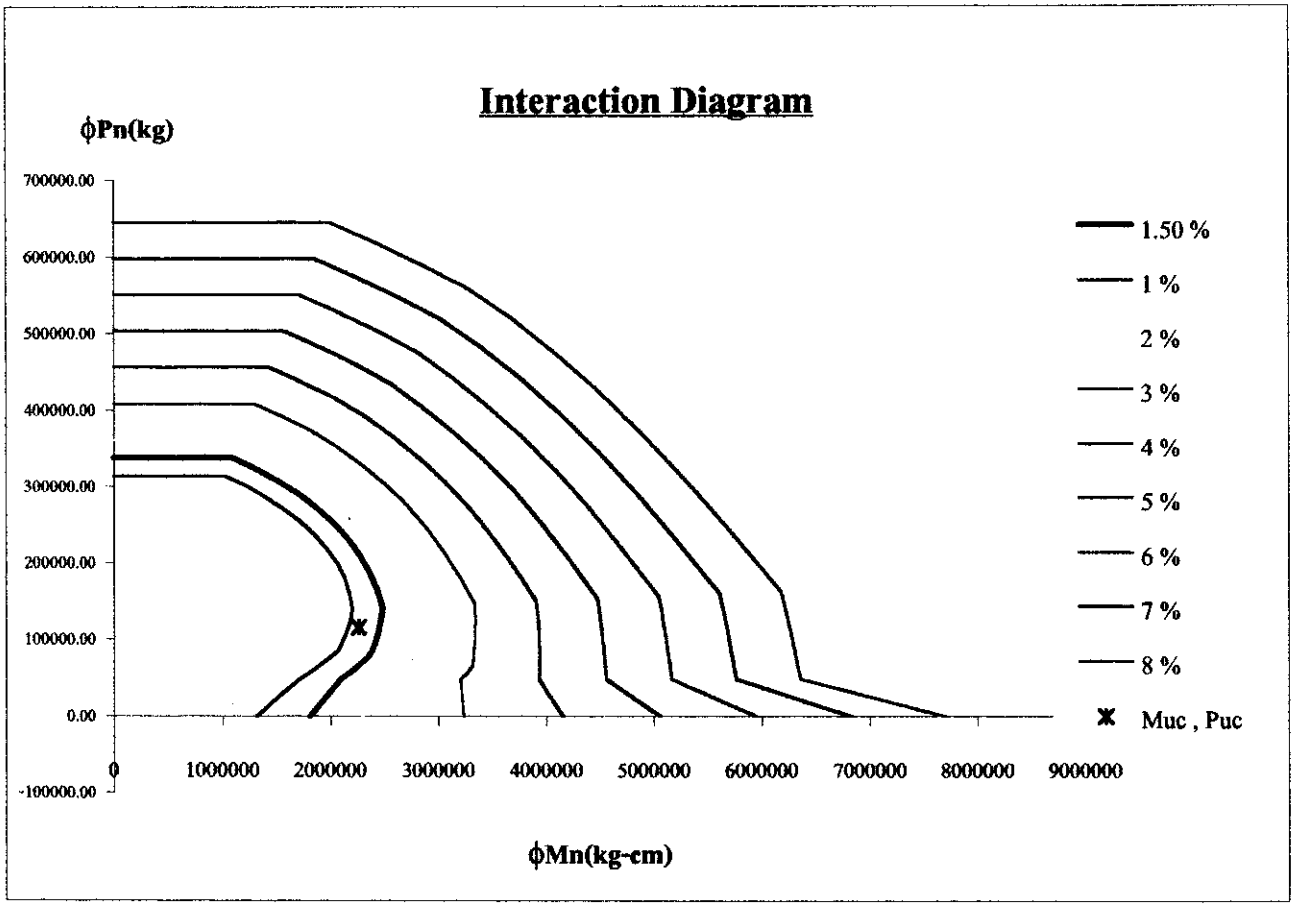
P_{uc} =	116000	Kg
M_{uc} =	2264000	Kg-cm
h =	50	cm.
f_c' =	250	ksc
f_y =	4000	ksc
β_1 =	0.85	
No. of Bars =	6	Bars
A_{st} =	29.46	cm^2

เลือกใช้เหล็กยืนขนาด DB25

จำนวน 6 เส้น

D_s = 37.5 cm.

No. of Layers = 4 Layers



% เหล็ก = 1.50 %

		ϕMn	ϕPn	e_b
C_0 =	58.8235	0	337124.36	0
C_1 =	48.7582	1093733.78	337124.36	3.244303616
C_2 =	46.5281	1309611.03	322786.38	4.057206567
C_3 =	44.2980	1514841.48	307090.31	4.932885928
C_4 =	42.0680	1702524.76	289871.54	5.873376760
C_5 =	39.8379	1873842.54	271671.56	6.897455681
C_6 =	37.6078	2026460.46	252525.30	8.024781797
C_7 =	35.3778	2158901.49	232438.22	9.288065912
C_8 =	33.1477	2270510.22	211382.87	10.741221660
C_9 =	30.9176	2361471.95	189291.88	12.475294365
C_{10} =	28.6876	2432889.93	166046.09	14.651895442
C_{bal} =	26.4575	2486936.59	141455.39	17.581065871
C_{11} =	25.4118	2478475.72	130917.17	18.931632670
C_{12} =	24.3661	2464954.95	120112.66	20.522025137
C_{13} =	23.3204	2446622.01	109010.67	22.443875818
C_{14} =	22.2747	2423777.09	97572.61	24.840753695
C_{15} =	21.2290	2396780.40	85750.60	27.950597283
C_{16} =	20.1833	2345124.42	75718.45	30.971636092
C_{17} =	19.1376	2271871.57	67129.83	33.842953754
C_{18} =	18.0919	2191475.89	58414.71	37.515823584
C_{19} =	17.0462	2095280.75	49087.39	42.684708966
C_{20} =	12.1039	1813519.94	0.00	-98563078030

Ex.3 จงคำนวณหากราฟ Interaction diagram ของเสาปลอกเดี่ยว $\rho = 1\% - 8\%$

กำหนดให้

$b = 30$ ซม.

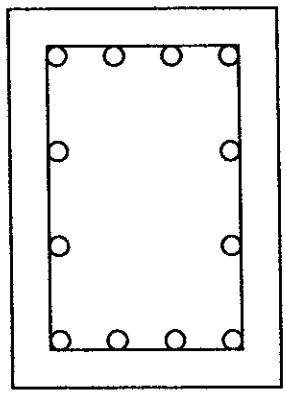
$h = 50$ ซม.

$f_c' = 250$ กก/ซม.^{2}

$f_y = 4000$ กก/ซม ^{2}

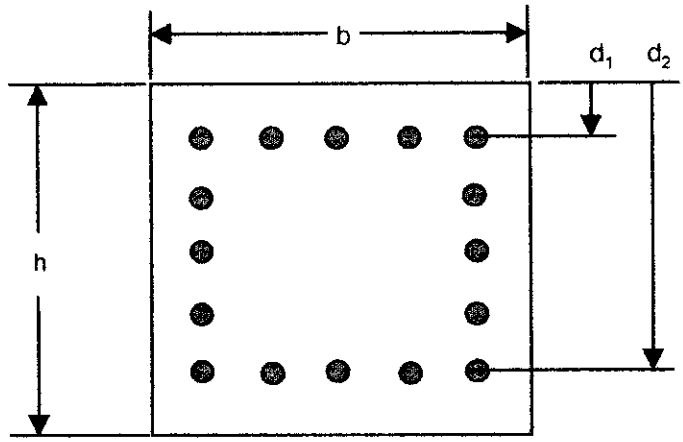
ใช้เหล็กยืน 12-DB25 โดยวางเหล็กดังรูป

ใช้ระยะหุ้มเหล็กเท่ากับ 3.5 ซม.



Tied Column

ชื่อ	ตัวอย่างที่ 3
โครงงาน	โครงงานวิศวกรรมโยธา
ชื่อเสา	C_3



P_{uc} =	142750	Kg
M_{uc} =	3475000	Kg - cm
b =	30	cm.
h =	50	cm.
f_c' =	250	ksc
f_y =	4000	ksc
β_1 =	0.85	

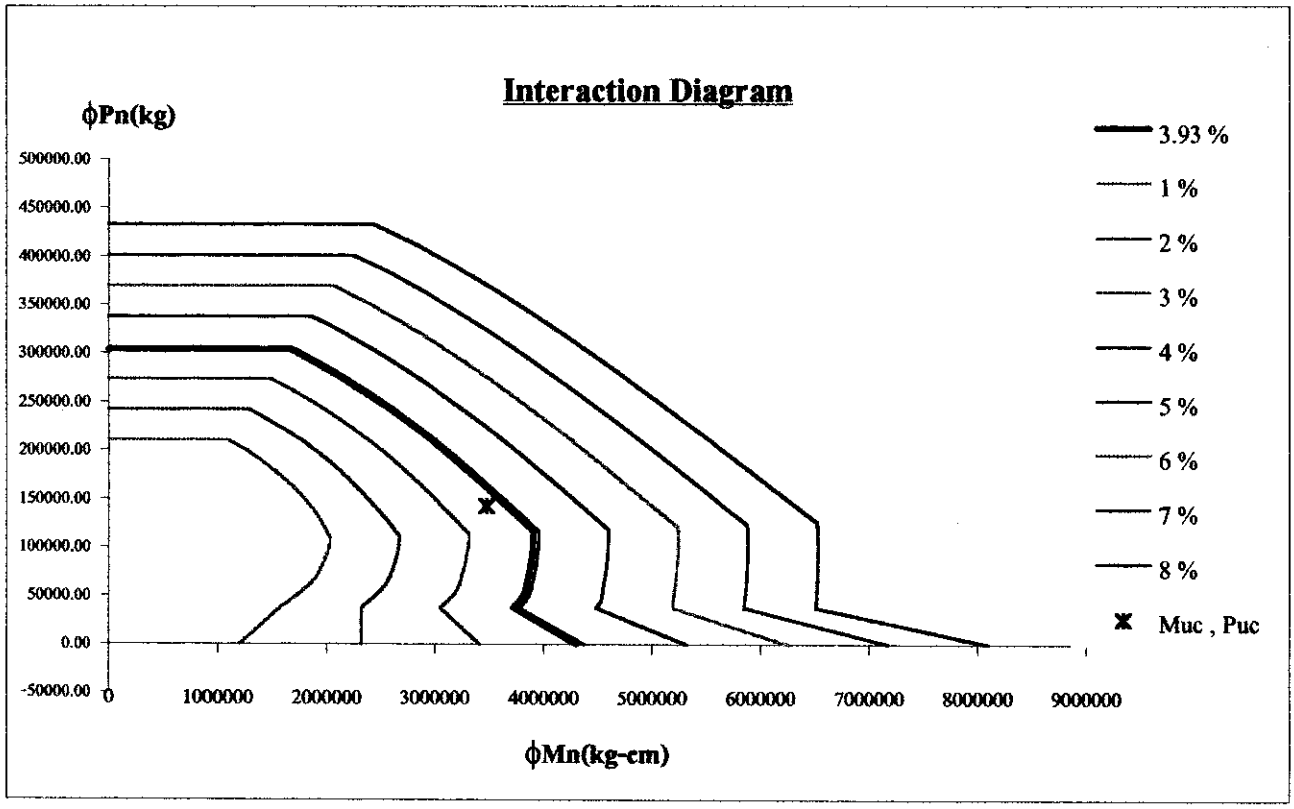
เลือกใช้เหล็กยืนขนาด DB25

จำนวน 12 เส้น

d_1 =	3.5	cm.
d_2 =	46.5	cm.

No. of Layers = 4 Layers

A_{S1} , A_{S2} =	19.64	cm^2
A_{si} =	9.82	cm^2
A_{st} =	58.92	cm^2



Ex.4 จงคำนวณหากราฟ Interaction diagram ของเสาปลอกเกลียว ρ = 1% - 8%

กำหนดให้

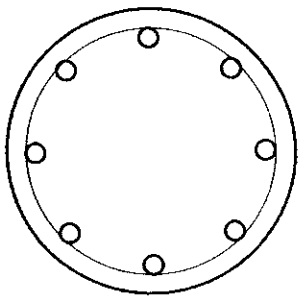
$h = 50$ ซม.

$f_c' = 250$ กก/ซม.^{2}

$f_y = 4000$ กก/ซม ^{2}

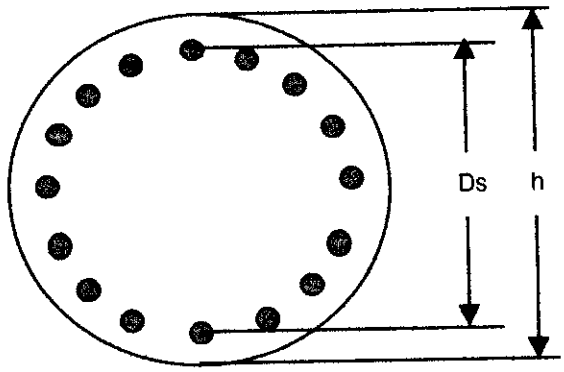
ใช้เหล็กยืน 8-DB28 โดยวางเหล็กดังรูป

ใช้ระยะหุ้มเหล็กเท่ากับ 3.5 ซม.



Spiral Column

ชื่อ	ตัวอย่างที่ 4
โครงงาน	โครงงานวิศวกรรมโยธา
ชื่อเสา	C_4



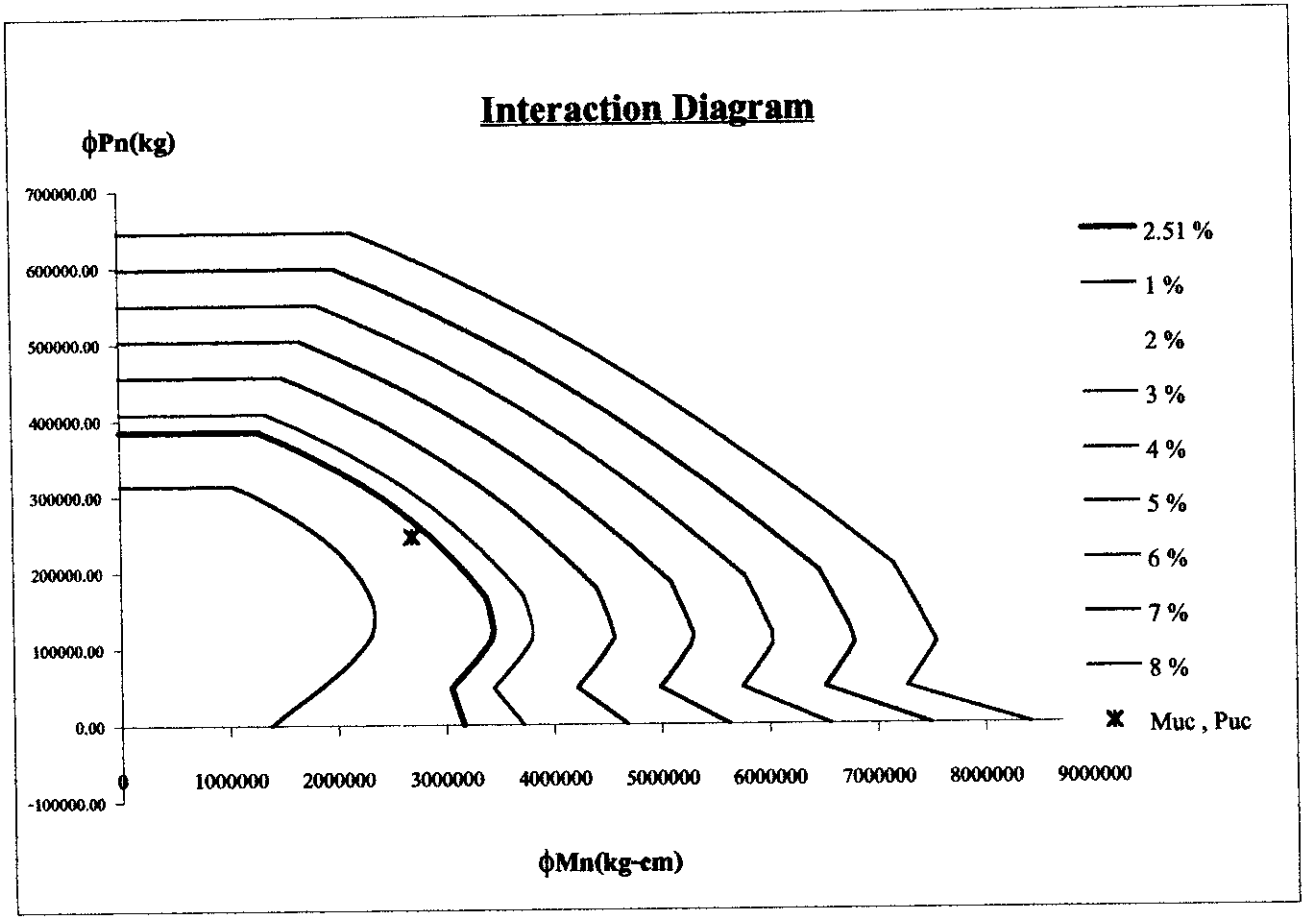
P_{uc} =	246000	Kg
M_{uc} =	2694000	Kg-cm
h =	50	cm.
f_c' =	250	ksc
f_y =	4000	ksc
β_1 =	0.85	
No. of Bars =	8	Bars
A_{st} =	49.28	cm^2

เลือกใช้เหล็กยืนขนาด DB28

จำนวน 8 เส้น

D_s = 43 cm.

No. of Layers = 5 Layers



Ex.5 จงออกแบบเสาปลอกเดี่ยวรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้ารับน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน 11,250 กก. น้ำหนักจรใช้งาน 10,000 กก. และโมเมนต์ดัดรอบแกนศูนย์ถ่วงพลาสติกเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน 500,000 กก.-ซม. และน้ำหนักจรใช้งาน 400,000 กก.-ซม.

กำหนดให้

$$f_c' = 250 \text{ กก/ซม.}^2$$

$$f_y = 3000 \text{ กก/ซม}^2$$

<u>วิธีทำ</u>

หาแรงอัดและโมเมนต์ดัดที่ใช้ออกแบบ

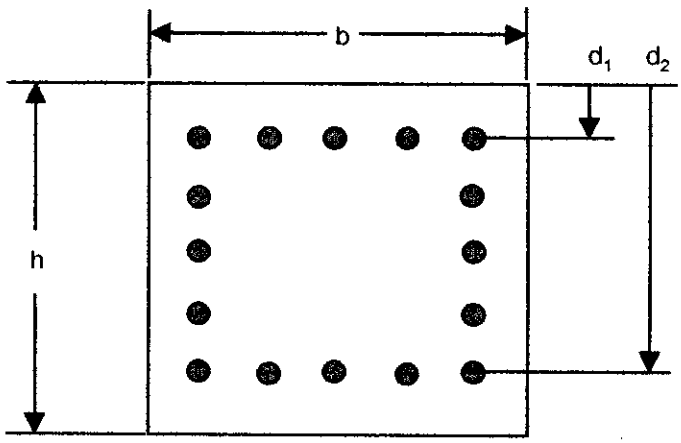
แรงอัดและโมเมนต์ดัดที่กระทำเมื่อเพิ่มค่าด้วยตัวคูณน้ำหนัก

$$P_{uc} = 1.4(11,250) + 1.7(10,000) = 32,750 \text{ กก.}$$

$$M_{uc} = 1.4(500,000) + 1.7(400,000) = 1,365,000 \text{ กก.-ซม.}$$

Tied Column

ชื่อ	ตัวอย่างที่ 5
โครงงาน	โครงงานวิศวกรรมโยธา
ชื่อเสา	C_5



P_{uc} =	32750	Kg
M_{uc} =	1365000	Kg - cm
b =	25	cm.
h =	50	cm.
f_c' =	250	ksc
f_y =	3000	ksc
β_1 =	0.85	

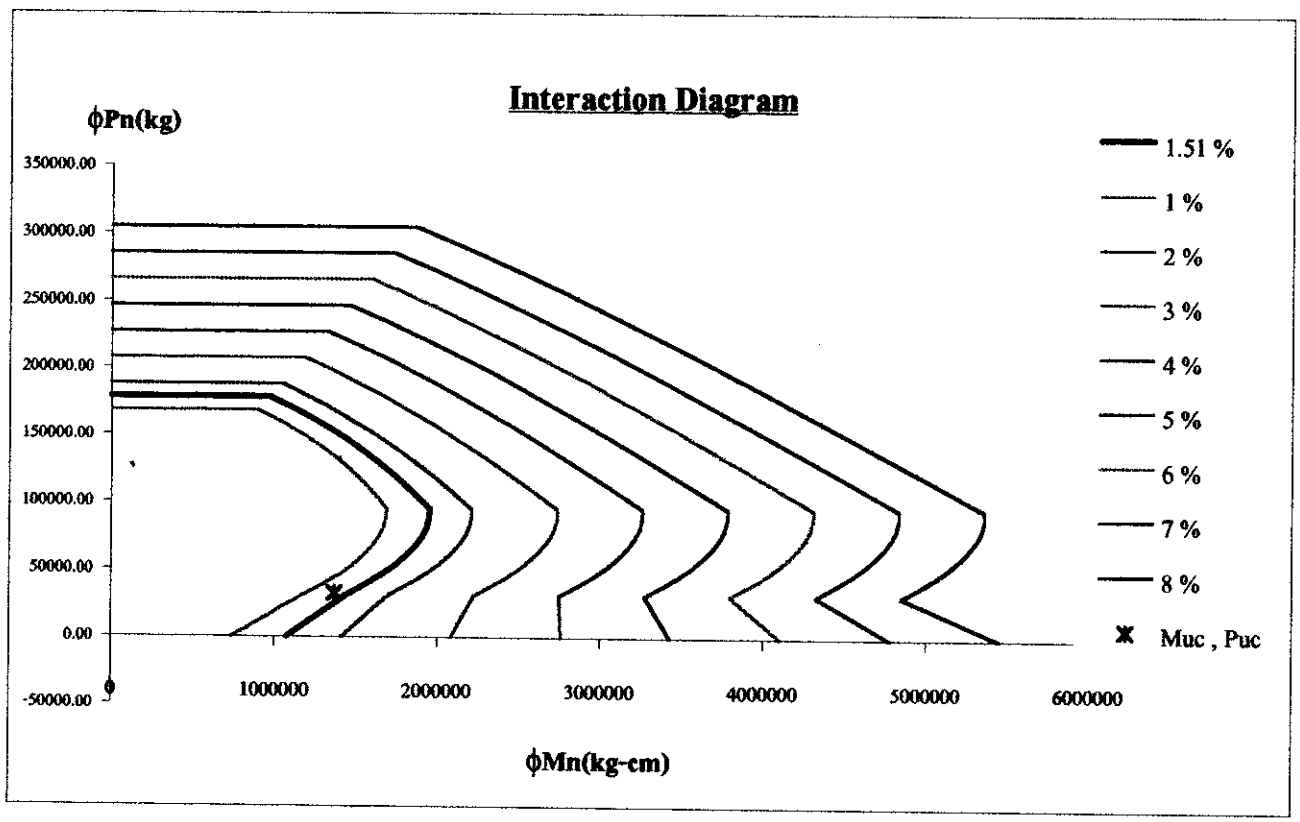
เลือกใช้เหล็กยืนขนาด DB20

จำนวน 6 เส้น

d_1 =	5	cm.
d_2 =	45	cm.

A_{S1} , A_{S2} =	9.42	cm^2
A_{si} =	0	cm^2
A_{st} =	18.84	cm^2

No. of Layers = 2 Layers



Ex.6 จงออกแบบเสากลมปลอกเกลียวรับน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน 11,250 กก. น้ำหนักจรใช้งาน 10,000 กก. และโมเมนต์ดัดรอบแกนศูนย์ถ่วงพลาสติกเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน 500,000 กก.-ซม. และน้ำหนักจรใช้งาน 400,000 กก.-ซม.

กำหนดให้

$$f_c' = 250 \text{ กก/ซม.}^2$$

$$f_y = 3000 \text{ กก/ซม}^2$$

<u>วิธีทำ</u>

หาแรงอัดและโมเมนต์ดัดที่ใช้ออกแบบ

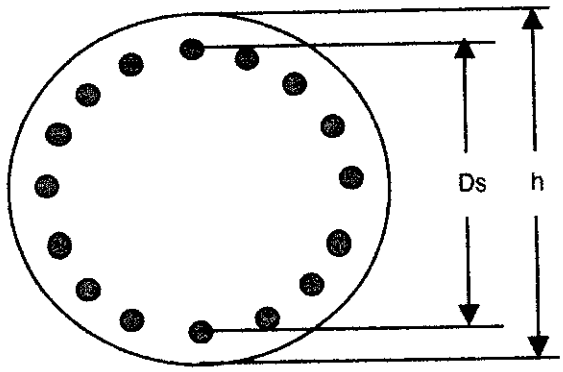
แรงอัดและโมเมนต์ดัดที่กระทำเมื่อเพิ่มค่าด้วยตัวคูณน้ำหนัก

$$P_{uc} = 1.4(11,250) + 1.7(10,000) = 32,750 \text{ กก.}$$

$$M_{uc} = 1.4(500,000) + 1.7(400,000) = 1,365,000 \text{ กก.-ซม.}$$

Spiral Column

ชื่อ	ตัวอย่างที่ 6
โครงงาน	โครงงานวิศวกรรมโยธา
ชื่อเสา	C_6



P_{uc} =	32750	Kg
M_{uc} =	1365000	Kg-cm
h =	40	cm.
f_c' =	250	ksc
f_y =	3000	ksc
β_1 =	0.85	
No. of Bars =	6	Bars
A_{st} =	36.96	cm^2

เลือกใช้เหล็กยืนขนาด DB28

จำนวน 6 เส้น

D_s = 33 cm.

No. of Layers = 4 Layers