1/8

หลักสูตร การออกแบบโครงสร้างอาคารสูง

ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

Reinforced Concrete Flat Plate Design

โดย
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ
ร่วมกับ
ฝ่ายการศึกษาต่อเนื่อง จุฬาฯ

เอกสารประกอบการบรรยาย

"การออกแบบโครงสร้างอาคารสูง"

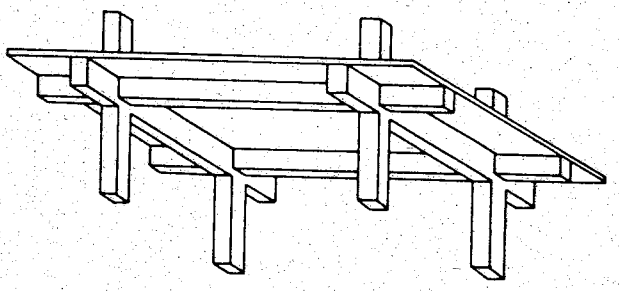
Reinforced Concrete Flat Plate Design

1. คำนำ

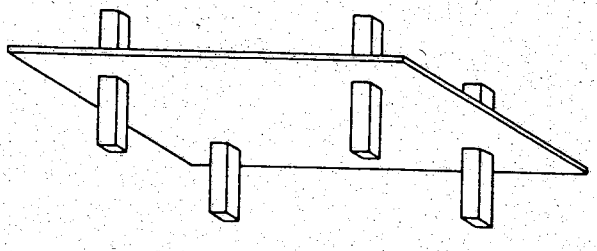
รูปที่ 1.1 แสดงระบบต่างๆ ของพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ทาง (Two-Way Slab Systems) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป รูปที่ 1.1 a เป็นพื้นมีคานล้อมรอบทั้ง 4 ด้าน ส่วนรูปที่ 1.1 b, c และ d เป็นพื้นระบบไร้คาน โดยที่ในรูป b เรียกว่าพื้นระบบ Flat Plate เนื่องจากใต้ท้องพื้นจะเรียบเสมอกันตลอด ส่วนในรูป c เรียกว่า Flat Slab ซึ่งจะมี drop panel และอาจจะมี column capital ที่บริเวณหัวเสา เพื่อช่วยให้ความสามารถในการรับแรงเฉือนของพื้นดีขึ้น ในรูป d แสดงพื้นระบบ Waffle Slab ซึ่งจะประกอบด้วยรางคอนกรีต 2 ทิศทางตัดกันเป็นมุม 90 องศาซึ่งกันและกัน ช่องว่างระหว่างคานที่ตัดกันจะช่วยลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้น ส่วนบริเวณหัวเสาจะเป็นพื้นคอนกรีตตัน เพื่อช่วยให้พื้นรับแรงเฉือนได้ดีขึ้น มักจะนิยมใช้พื้นระบบ Waffle Slab กับพื้นที่มีช่วงยาวไม่น้อยกว่า 12.00 เมตร หรือบริเวณที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกจรมาก ๆ เป็นต้น

พื้นระบบ Flat Plate (รูปที่ 1.1 b) เป็นพื้นที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งชนิดที่เป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา และพื้นที่เสริมด้วย Prestressing Steel หรือที่เรียกว่า Post - tensioned Slab ทั้งนี้เพราะพื้นระบบนี้มีความสวยงามและการก่อสร้างสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ความสูงแต่ละชั้นของอาคารจะเตี้ยกว่าระบบพื้น - คานทั่ว ๆ ไป ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนชั้นได้มากขึ้น จะพบว่า ในอาคารสูงประเภทอาคารพักอาศัยและอาคารพาณิชย์ส่วนมากพื้นที่เลือกใช้จะเป็นพื้นระบบ Flat Plate เกือบทั้งหมด

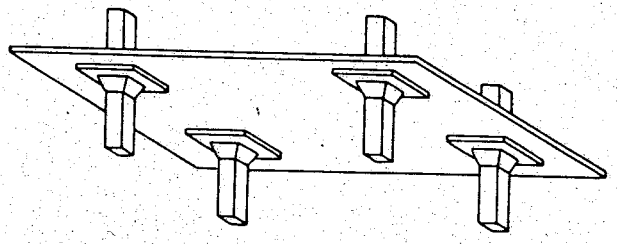
วิธีการวิเคราะห์และคำนวณออกแบบพื้นระบบ Flat Plate จะมีขั้นตอนดังจะกล่าวต่อไปนี้



(a) Two - Way Slab

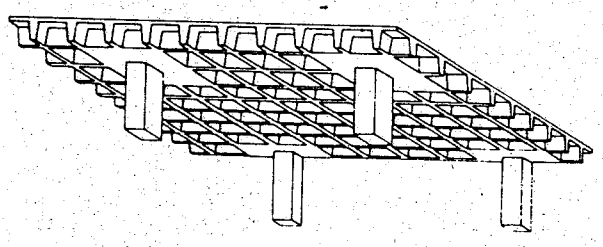


(b) Flat Plate



(c) Flat Slab

span ≃ 12-15 m.



(d) Waffle Slab (Two - Way Joist Slab)

รูปที่ 1.1 ระบบพื้น 2 ทาง (Two - Way Slab Systems)

2. Deflection Control - Minimum Slab Thickness

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความหนาต่ำสุดของพื้นระบบ Flat Plate และ Flat Slab ในกรณีที่ไม่ต้องคำนึงถึงค่าการโก่งตัวของพื้น

ตารางที่ 2.1 Minimum Thickness สำหรับพื้นระบบ Flat Plate และ Flat Slab (สำหรับเหล็กเสริม SD 40)

ระบบพื้น		Minimum Thickness (h)
Flat Plate	(h_{min} = 12 cm.)	$l_n/30$
Flat Plate มีคานขอบ[1]		$l_n/33$
Flat Slab[2]	(h_{min} = 10 cm.)	$l_n/33$
Flat Slab มีคานขอบ		$l_n/36$

[1] Edge beam - to - slab stiffness ratio d > 0.8

[2] Drop panel length > 1/3, depth > 1.25 h

l_n = clear span

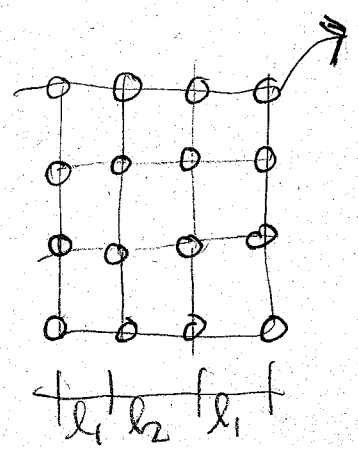
3. วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์และแรงเฉือนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของพื้นระบบ Flat Plate สามารถทำได้หลายวิธี วิธีวิเคราะห์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่

ก. Direct Design Method

ข. Equivalent Frame Method

ค. Finite Element Method



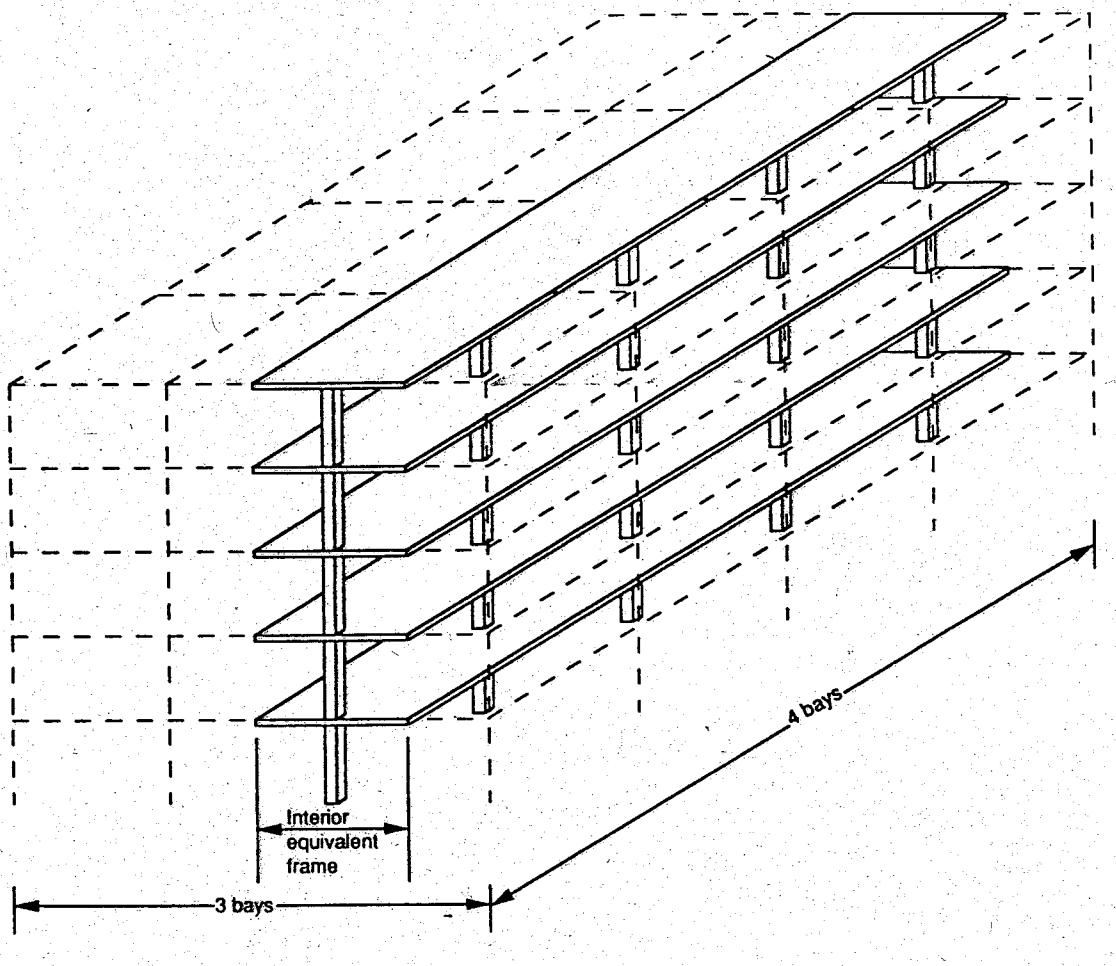
$l_1 \leq 1.2 l_2$

วิธีการวิเคราะห์ด้วย Equivalent Frame Method จะเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีความได้เปรียบกว่าวิธี Direct Design ซึ่งมีขีดข้อจำกัดอยู่หลายข้อ เช่น พื้นจะต้องมีความต่อเนื่องในแต่ละทิศทางไม่น้อยกว่า 3 ช่วง ความยาวของช่วงพื้นที่ติดกันต่างกันไม่เกิน 20 เปอร์เซนต์ เป็นต้น ส่วนวิธี Finite Element ถึงแม้จะเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสูง แต่จำเป็นต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในวิธี Equivalent Frame จะมีวิธีการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์และแรงเฉือน ดังต่อไปนี้ :-

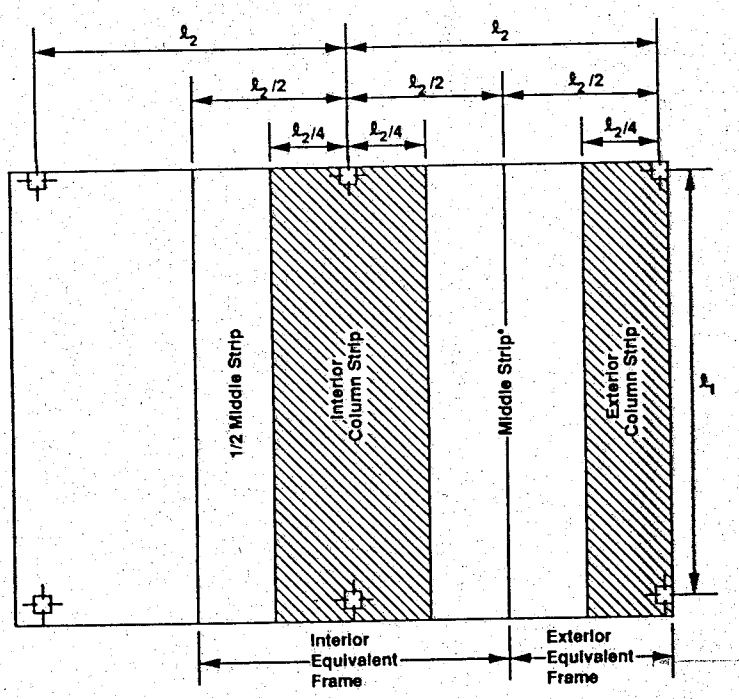
3.1 Design Strip

ในวิธี Equivalent Frame โครงสร้างจริง 3 มิติจะถูกแบ่งออกเป็นโครงข้อแข็ง 2 มิติ ทั้งทางยาว และทางขวาง เรียกโครงข้อแข็งแต่ละอันนี้ว่า Equivalent frame ความกว้างของ Frame มีค่าเท่ากับระยะกึ่งกลางระหว่างศูนย์กลางเสา เรียกว่า design strip (ดูรูปที่ 3.1 ประกอบ) รูปที่ 3.2 แสดงส่วนของ design strip ที่ถูกแบ่งออกเป็น column strip และ middle strip จะสังเกตว่าส่วนของ column strip ประกอบขึ้นจากระยะ $l_1/4$ หรือ $l_2/4$ (ระยะที่น้อยกว่า) วัดจากกึ่งกลางเสาออกไปทั้ง 2 ข้าง และส่วนที่อยู่ระหว่าง column strip จะเป็น middle strip ดังนั้นในหนึ่ง equivalent frame จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นพื้น (แนวนอน) กับส่วนที่เป็นเสา (แนวตั้ง) ซึ่งจะสามารถคำนวณหาค่าโมเมนต์ได้ดังนี้

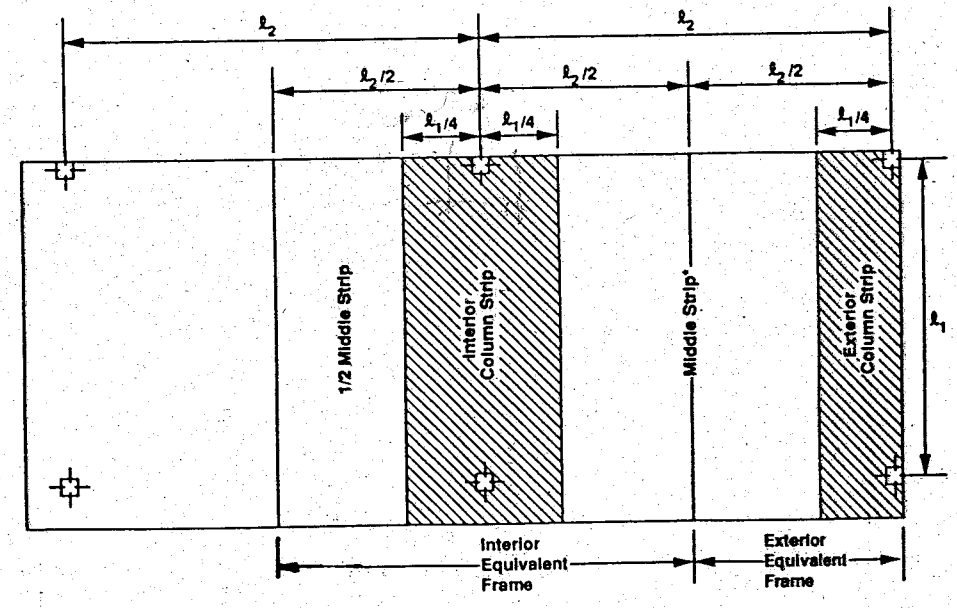
1. คำนวณค่า flexural stiffness ของพื้นและเสา
2. คำนวณค่า distributed factor และ carry over factor
3. วาง pattern ของน้ำหนักบรรทุกเพื่อให้เกิดค่าโมเมนต์สูงสุดและต่ำสุด
4. กระจายค่าโมเมนต์จาก design strip เข้าสู่ column strip และ middle strip



รูปที่ 3.1 Design Strip ด้วยวิธี Equivalent Frame



(a) Column Strip for $\ell_2 \leq \ell_1$



(b) Column Strip for $\ell_2 > \ell_1$

รูปที่ 3.2 Column Strips และ Middle Strips

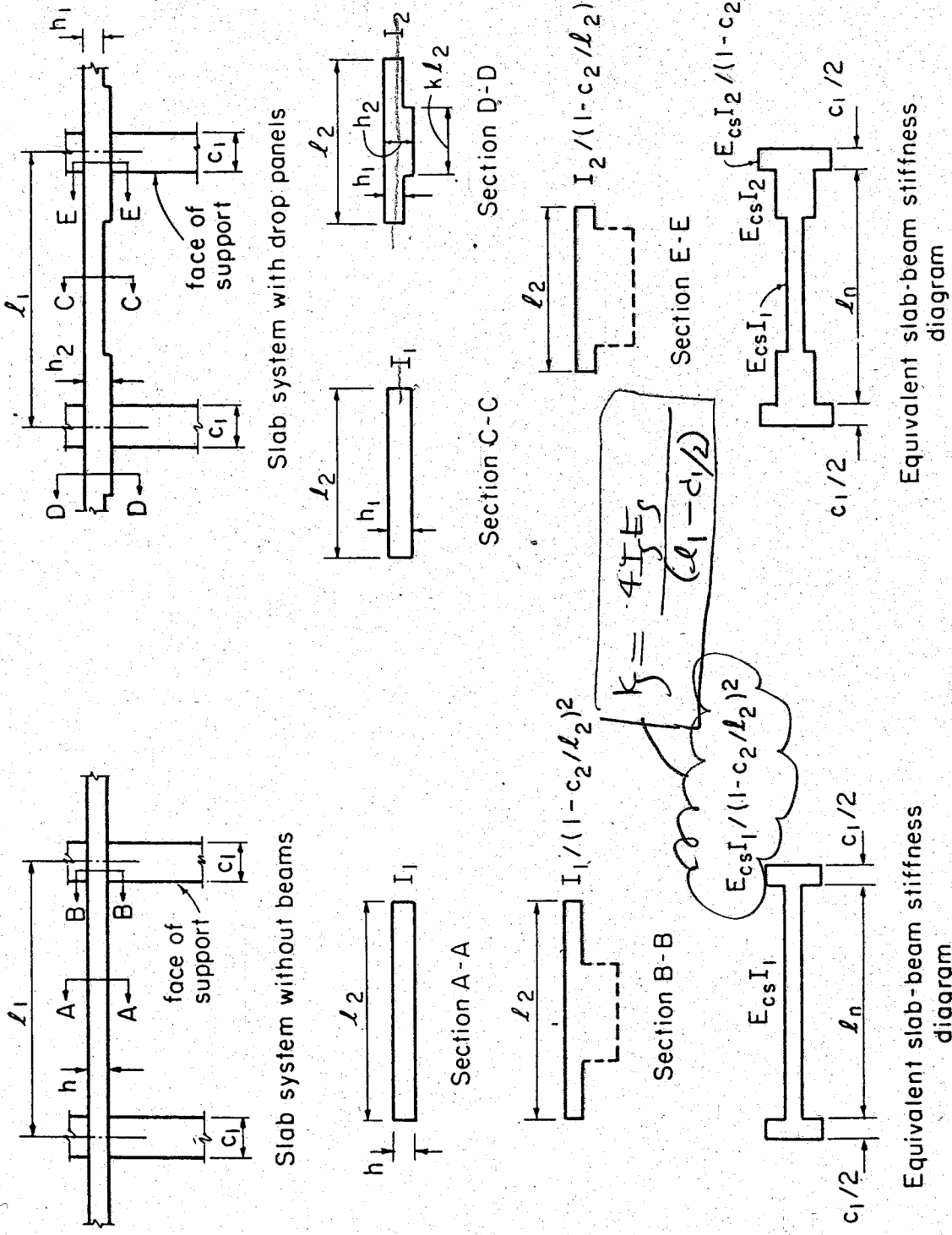


Fig. 22-4 Sections for Calculating Slab-Beam Stiffness K_{sb}

รูปที่ 3.3 หน้าตัดพื้นเพื่อใช้คำนวณหา Stiffness

3.2 Slab Stiffness

รูปที่ 3.3 แสดงรูปตั้งและหน้าตัดของพื้น ที่หน้าตัด A-A ค่า I_s สามารถคำนวณหาได้โดยตรงจากขนาดที่กำหนดให้

$$I_s = (1/12)\, l_2 h^3 \qquad (3.1)$$

โดยที่ l_2 = ความกว้างของ frame

h = ความหนาของพื้น

ที่หน้าตัด B-B ซึ่งเป็นบริเวณที่ส่วนของพื้นอยู่ในเสา ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัดคำนวณหาให้จาก

$$I = \frac{I_s}{\frac{(1-c_2)^2}{l_2}} \qquad (3.2)$$

โดยที่ c_2 = ความลึกของหน้าเสา

จากสมการที่ 3.1 และ 3.2 ค่า equivalent slab stiffness โดยประมาณที่เสนอโดย Rice [1] สามารถคำนวณได้จาก

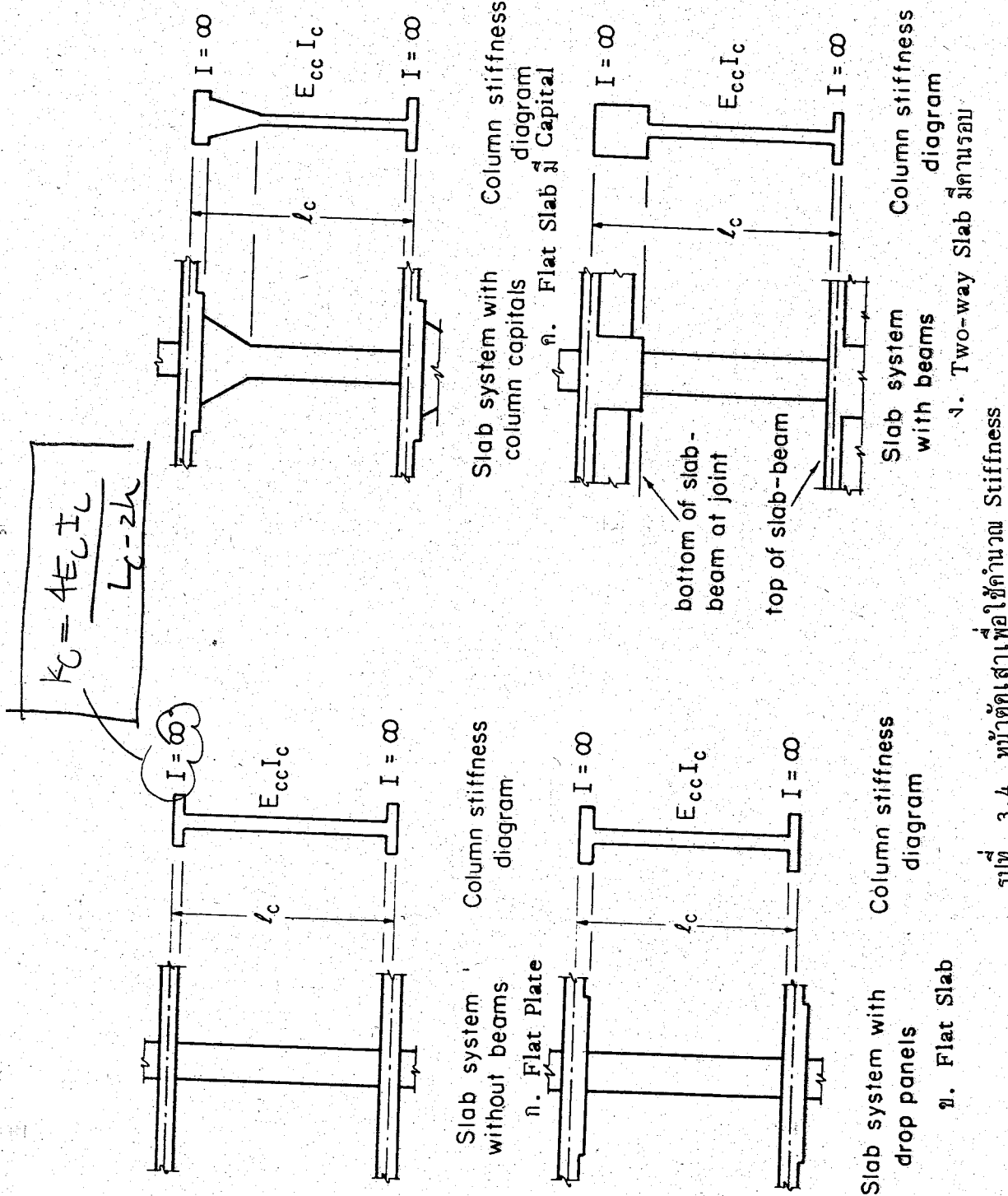
$$K_s = \frac{4\, I_s\, E_s}{\frac{(l_1-c_1)}{2}} \qquad (3.3)$$

โดยที่ K_s = equivalent slab stiffness

E_s = ในดูลัสยืดหยุ่นของพื้น

l_1 = ความยาวระหว่างศูนย์กลางเสา

c_1 = ความยาวของหน้าเสา



รูปที่ 3.4 หน้าตัดเสาเพื่อใช้คำนวณ Stiffness

Fig. 22-6 Sections for Calculating Column Stiffness K_c

3.3 Column Stiffness

รูปที่ 3.4 แสดงรูปตั้งและหน้าตัดของเสา ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียของเสาในช่วงระหว่างพื้นสามารถคำนวณหาได้โดยตรงจากหน้าตัดจริงของเสา ดังนี้

$$I_C = 1/12\ c_2 c_1^3 \qquad (3.4)$$

ส่วนโมเมนต์อินเนอร์เชียในส่วนที่อยู่ในพื้นให้ถือว่ามีค่าเท่ากับ ∞ จาก Rice(1) ค่า column stiffness จริงโดยประมาณมีค่า

$$K_C = \frac{4E_C I_C}{L_C - 2h} \qquad (3.5)$$

โดยที่ K_C = flexural stiffness ของเสา

E_C = โมดูล้สยืดหยุ่นของเสา

L_C = ความสูงของเสาวัดจากกึ่งกลางความหนาพื้น

3.4 Equivalent Column Stiffness

รูปที่ 3.5 แสดงส่วนของเสาและพื้นที่อยู่ร่วมกันเรียกว่า equivalent column ซึ่งประกอบด้วยส่วนของเสาที่อยู่ระหว่างบนและล่างกับส่วนของพื้นที่ติดกับเสาและยื่นออกไปจากเสาทั้งสองข้าง เรียกส่วนของพื้นนี้ว่า attached torsional member ค่า stiffress ที่แท้จริงคำนวณได้จาก

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_t} \qquad (3.6)$$

โดยที่ K_{ec} = equivalent column stiffness

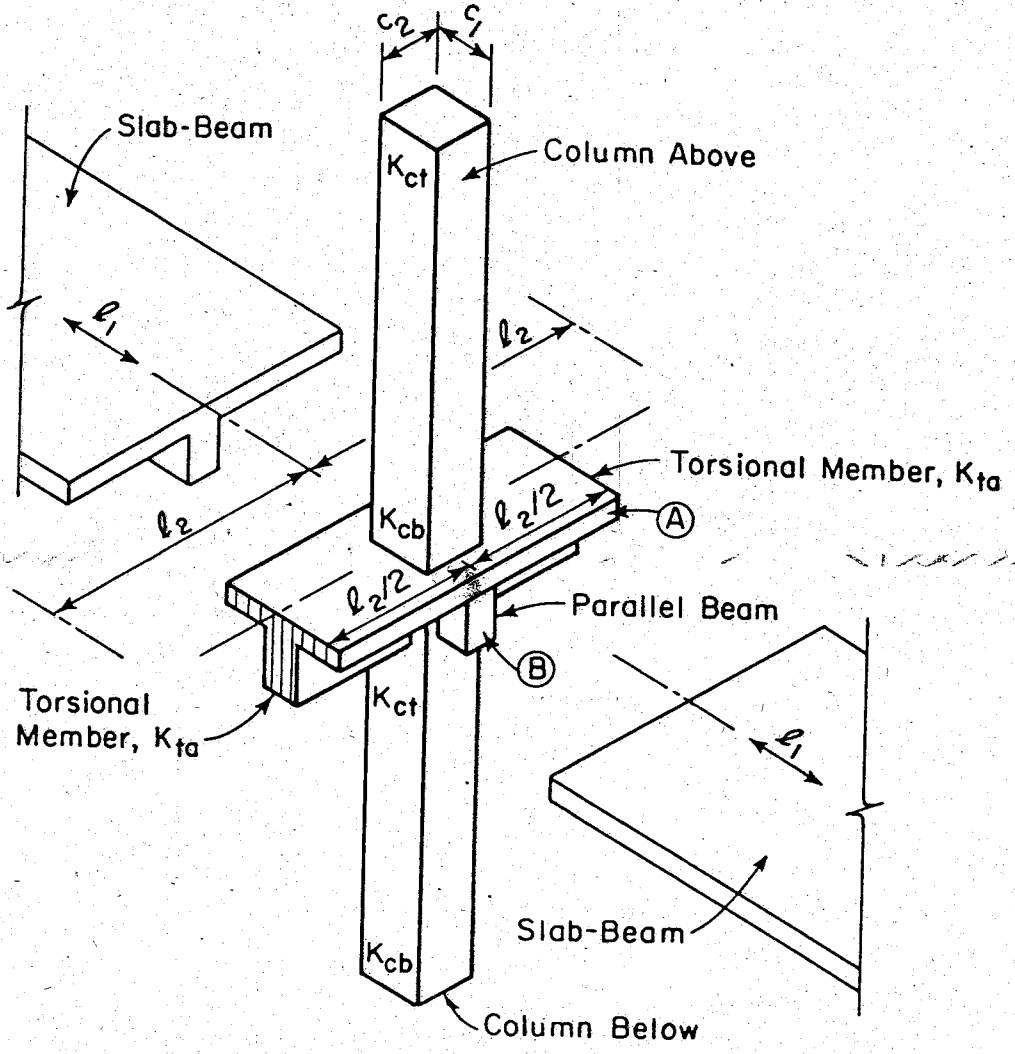
K_t = torsional stiffness ของ attached member

$$= \frac{9E_S C}{l_2\,[1-(c_2/l_2)]^3}$$

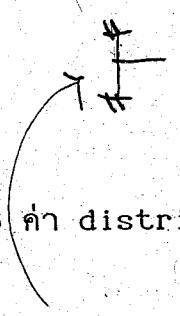
$C = \Sigma\,[1-0.63\,(x/y)]\,x^3 y/3$

x = ความหนาของพื้น = h

y = ความกว้างของหน้าเสา = c_1



รูปที่ 3.5 Equivalent column เพื่อใช้หาค่าStiffness



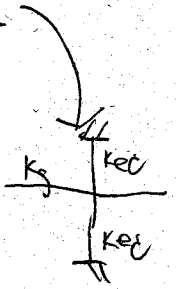
3.5 Distributed Factor

จากสมการ 3.3 และ 3.6 ค่า distributed factor ที่แต่ละ joint สามารถคำนวณได้จาก

$$D.F._S \text{ (exterior jt.)} = \frac{K_s}{K_s + \sum K_{ec}} \qquad (3.7)$$

และ

$$D.F._S \text{ (interior jt.)} = \frac{K_s}{\sum K_s + \sum K_{ec}} \qquad (3.8)$$



โดย $D.F._S$ = distributed factor ของพื้น

3.6 Carry Over Factor

แฟคเตอร์ที่ใช้ในการถ่ายโมเมนต์ จากปลายข้างหนึ่งไปอีกข้างหนึ่ง สามารถคำนวณหาได้อย่างละเอียดและถูกต้องโดยวิธี Column analogy อย่างไรก็ตามพบว่า ค่า carry over factor เท่ากับ 0.50 จะให้ผลลัพธ์ที่เพียงพอกับงานด้านการออกแบบทั่วๆไป

3.7 Loading Pattern

รูปที่ 3.6 แสดงการวางตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกจร เพื่อให้ได้ค่าโมเมนต์สูงสุดตรงตำแหน่งที่ต้องการ ในรูปที่ 3.6.1 การวางน้ำหนักบรรทุกจรทุกช่วงเสา เมื่อน้ำหนักบรรทุกจรต่อน้ำหนักบรรทุกคงที่มีค่าน้อยกว่า 3/4 (LL/DL $\leq$ 3/4) ในรูปที่ 3.6.2 และ 3.6.3 แสดงการวางตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อให้ได้ค่าโมเมนต์สูงสุดที่กึ่งกลางความยาวช่วงพื้น ในขณะที่รูป 3.6.4 และ 3.6.5 แสดงการวางตำแหน่งน้ำหนักบรรทุกจรเพื่อให้ได้ค่าโมเมนต์สูงสุดที่หัวเสา

3.8 Distribution of Factored Moment

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าการกระจายโมเมนต์จาก design strip เข้าสู่ column strip และ middle strip สำหรับพื้น Flat Plate

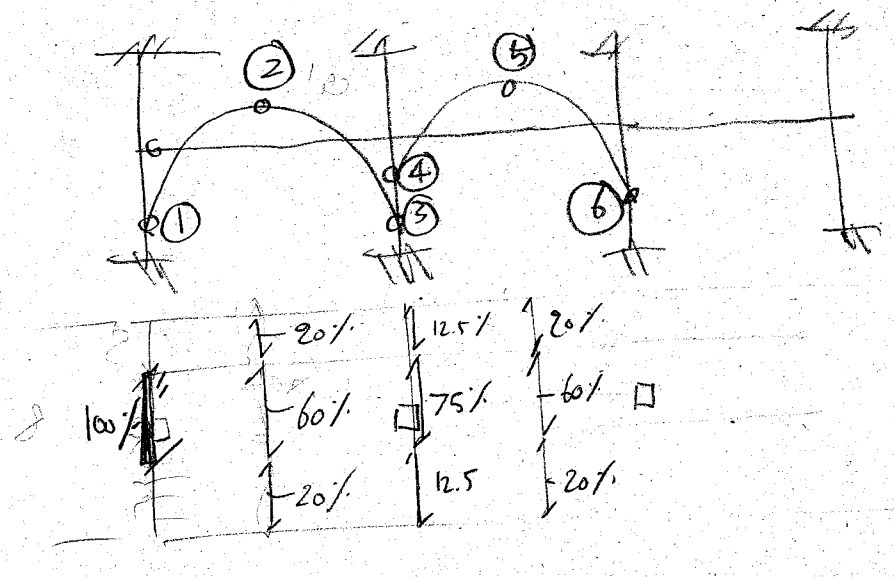
Table ACI 13.6.4

ตารางที่ 3.1 - Distribution of Factored Moment

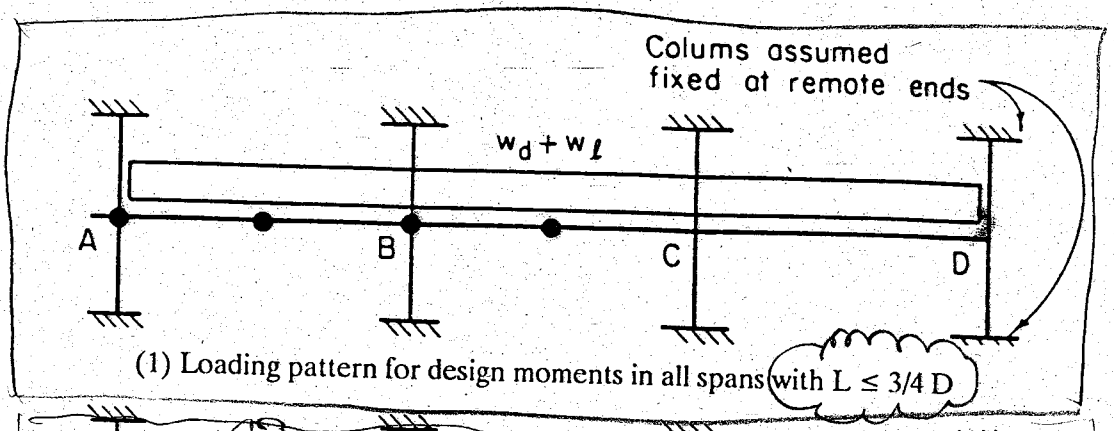
	Factored Moment	Column Strip		Moment in Two Half-Middle Strips**
		Percent	Moments (t-m)	
End span :				
Ext. Negtive	(1)	100		
Positive	(2)	60		
Interior Negative	(3)	75		
Interior Span :				
Negative	(4) & (6)	75		
Positive	(5)	60		

For slab systems without beams

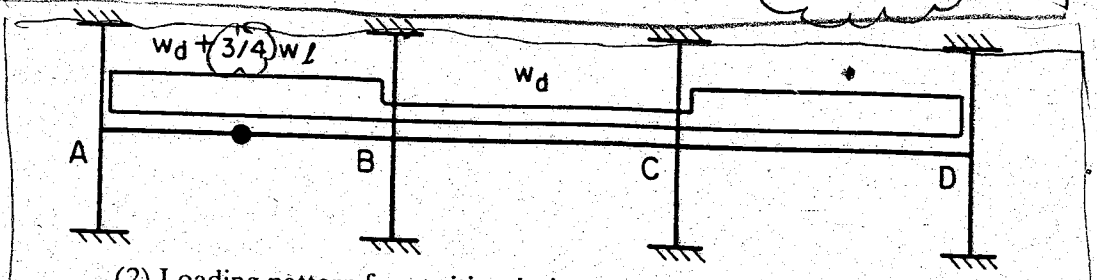
** That portion of the Factored momnel not resisted by the column strip is assigned to the two half-middle strips.



LL ≤ 75%DL

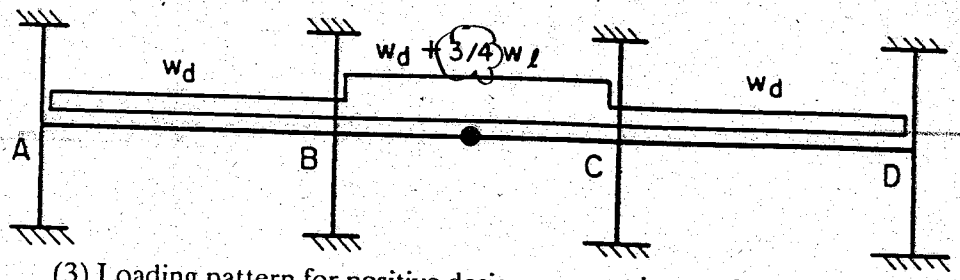


(1) Loading pattern for design moments in all spans with $L \leq 3/4\ D$

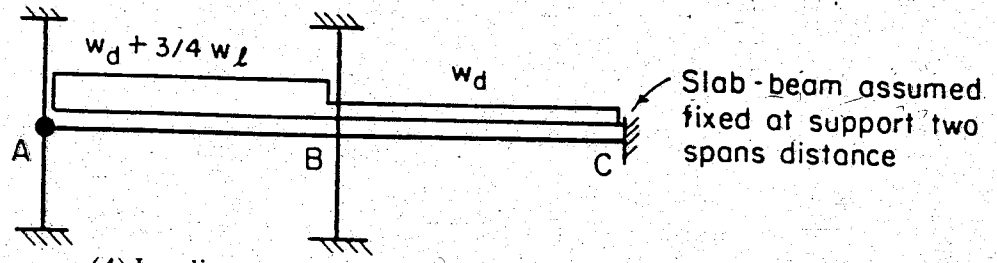


(2) Loading pattern for positive design moment in span AB*

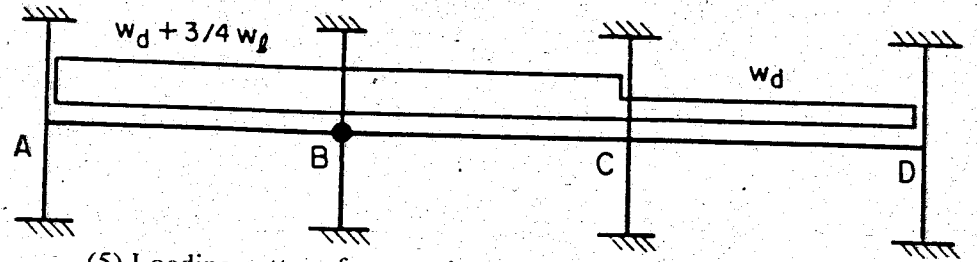
LL ≥ 0.75DL



(3) Loading pattern for positive design moment in span BC*



(4) Loading pattern for negative design moment at support A*



(5) Loading pattern for negative design moment at support B*

รูปที่ 3.6 Loading Patterns

3.9 การเสริมเหล็ก

รูปที่ 3.7 แสดงการเสริมเหล็กและระยะ cut-off สำหรับพื้นระบบ Flat Plate และ Flat slab ทั้งกรณีที่ใช้เหล็กตรงและเหล็กคอม้า

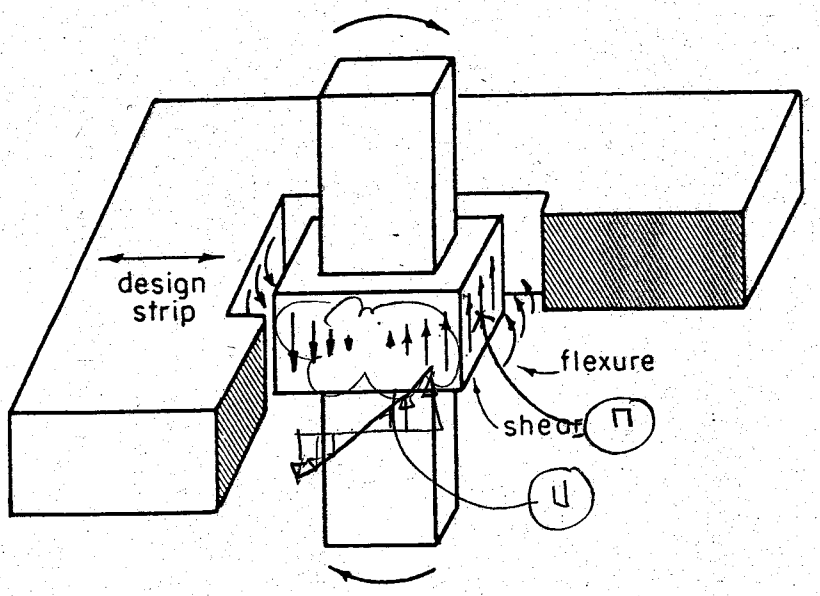
4. แรงเฉือน

ในพื้นระบบ Flat Plate ค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นบริเวณหัวเสาจะต้องได้รับการพิจารณาเป็นพิเศษ ซึ่งการถ่ายแรงเฉือนจะมีพฤติกรรมแตกต่างจากพื้นระบบที่มีคานล้อมรอบ กล่าวคือ ในกรณีที่มีคาน พื้นจะถ่ายน้ำหนักผ่านคานเข้าสู่เสา แต่ในพื้นระบบ Flat Plate การถ่ายน้ำหนักจากพื้นเข้าเสาจะประกอบด้วยพฤติกรรม 2 ประเภทคือ

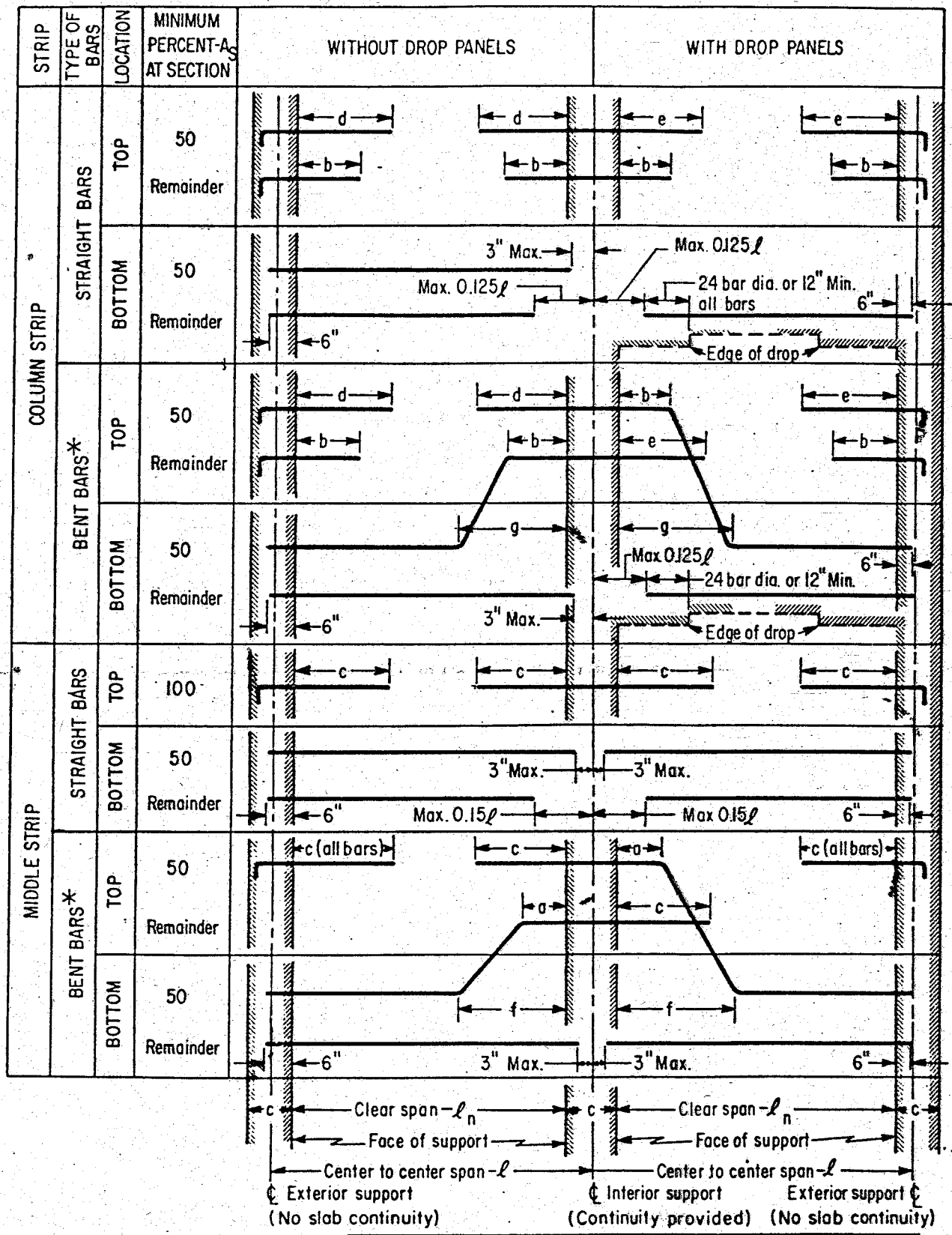
ก. เนื่องจากค่าแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear) และ

ข. เนื่องจากค่าแรงเฉือนจากโมเมนต์ (Shear caused by moment transfer)

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการเกิดขึ้นของแรงดังกล่าว ส่วนรูปที่ 4.2 แสดงบริเวณพื้นที่รอบหัวเสา ซึ่งน้ำหนักบรรทุกจากพื้นจะถ่ายเข้าสู่เสาภายในเสามุมและเสาตัวริม



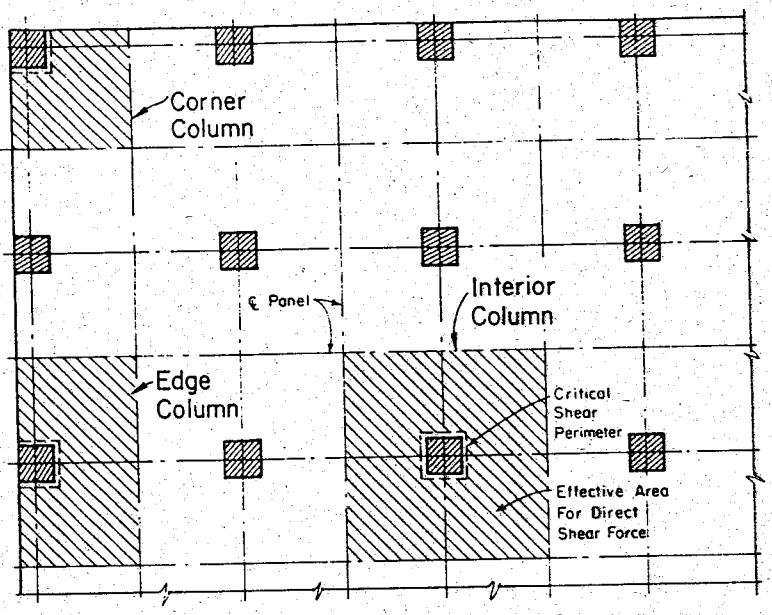
รูปที่ 4.1 Direct Shear and Moment Transter



* Bent bars at exterior supports may be used if a general analysis is made

	BAR LENGTH FROM FACE OF SUPPORT						
	MINIMUM LENGTH					MAXIMUM LENGTH	
MARK	a	b	c	d	e	f	g
LENGTH	$0.14\ell_n$	$0.20\ell_n$	$0.22\ell_n$	$0.30\ell_n$	$0.33\ell_n$	$0.20\ell_n$	$0.24\ell_n$

รูปที่ 3.7 การเสริมเหล็กใน Flat Plate และ Flat Slab



รูปที่ 4.2 Critical Locations for Slab Shear Strength

4.1 <u>หน่วยแรงเฉือนโดยตรง</u> (Direct Shear Stress)

รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งวิกฤตที่ต้องทำการตรวจสอบค่าหน่วยแรงเฉือนโดยตรงที่เกิดจากการถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากพื้นสู่หัวเสาภายใน รูปที่ 4.3 ก และ ข แสดงลักษณะการพิจารณาหน่วยแรงเฉือนในกรณีของ Beam shear (One-way shear และ Two-way Shear (Punching shear) ตามลำดับ

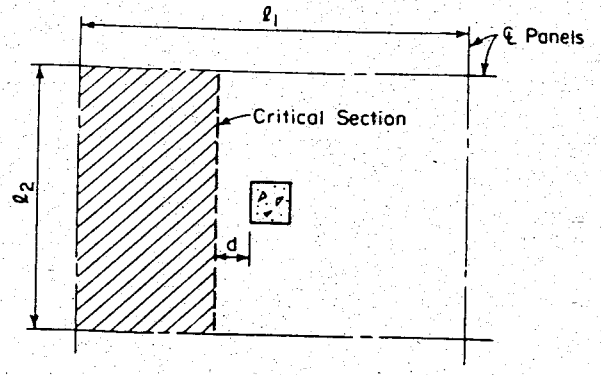
ค่าหน่วยแรงเฉือนคำนวณได้ดังนี้

$$v_{u1} = V_u/A_c$$

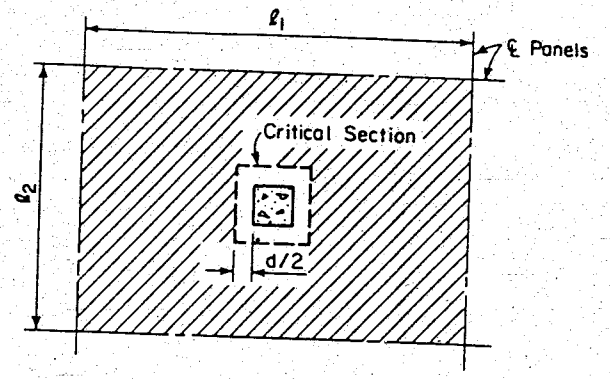
โดยที่ v_{u1} = หน่วยแรงเฉือนโดยตรง กก./ซม.^{2}

V_u = น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง กก.

A_c = พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงเฉือน ซม.^{2}



(ก) Beam Shear



(ข) Two-Way Shear

รูปที่ 4.3 Direct Shear at an Interior Slab-Column Support

4.2 <u>หน่วยแรงเฉือนจากโมเมนต์</u> (Shear Stress Caused by Moment Transfer)

รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการเกิดและการกระจายของหน่วยแรงเฉือนที่เกิดจาก unbalanced moment ที่หัวเสา ค่าหน่วยแรงเฉือนนี้คำนวณได้จาก

$$v_{u2} = \frac{\gamma M_u c}{J} \quad \text{or} \quad \frac{M_u c}{J} \qquad (4.2)$$

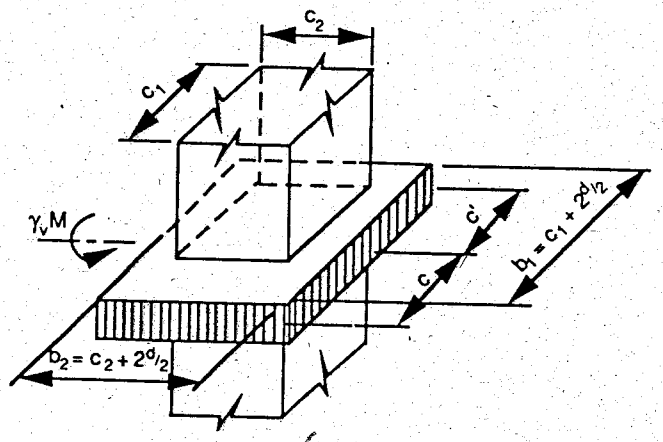
โดยที่ v_{u2} = หน่วยแรงเฉือนจากโมเมนต์ กก./ซม.^{2}

M_u = unbalanced moment กก./ซม.

= สัดส่วนของโมเมนต์ที่ถ่ายเปลี่ยนเป็นแรงเฉือน

$$\gamma = 1 - \frac{1}{1+\frac{2}{3}\sqrt{\frac{c_1+d}{c_2+d}}}$$

Interior Column



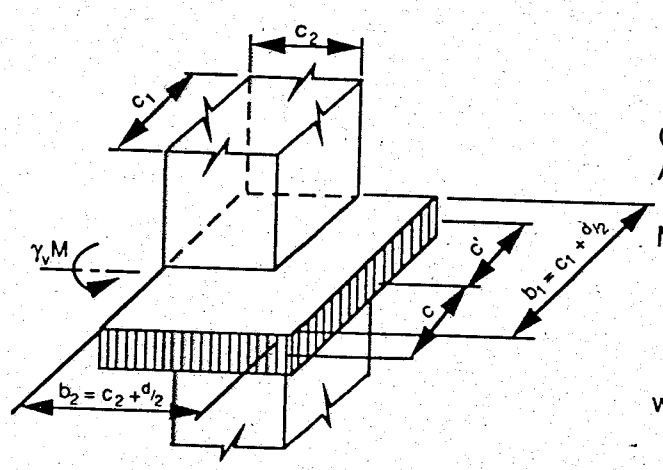
Concrete area of critical section:
$A_c = 2(b_1 + b_2)d$

Modulus of critical section:
$\frac{J}{c} = \frac{J}{c'} = [b_1 d\,(b_1 + 3b_2) + d^3]\,/3$

where $c = c' = b_1/2$

ก. เสาภายใน

Corner Column



Concrete area of critical section:
$A_c = (b_1 + b_2)d$

Modulus of critical section:
$\frac{J}{c} = [b_1 d\,(b_1 + 4b_2) + d^3(b_1 + b_2)/b_1]/6$

$\frac{J}{c'} = [b_1^2\, d\,(b_1 + 4b_2) + d^3(b_1 + b_2)]/6(b_1 + 2b_2)$

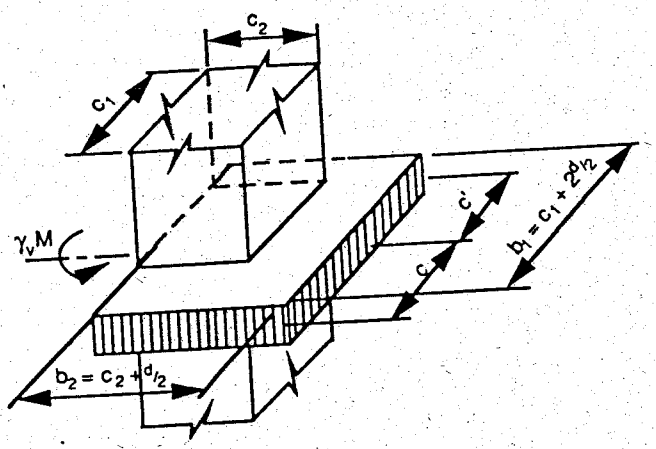
where $c = b_1^2\,/2(b_1 + b_2)$

$c' = b_1\,(b_1 + 2b_2)/2(b_1 + b_2)$

ข. เสามุม

รูปที่ 4.4 ค่า $J/_c$ สำหรับเสา

Edge Column (Bending parallel to edge)



Concrete area of critical section:

$A_c = (b_1 + 2b_2)d$

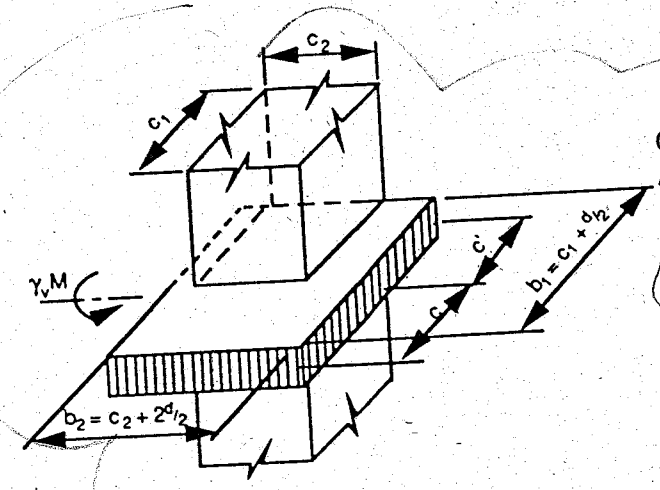
Modulus of critical section:

$\frac{J}{c} = \frac{J}{c'} = [b_1 d\,(b_1 + 6b_2) + d^3]\,/6$

where $c = c' = b_1/2$

ค. เสาริม (ขนานกับขอบ)

Edge Column (Bending perpendicular to edge)



Concrete area of critical section:

$A_c = (2b_1 + b_2)d$

Modulus of critical section:

$\frac{J}{c} = [2b_1 d\,(b_1 + 2b_2) + d^3(2b_1 + b_2)/b_1]/6$

$\frac{J}{c'} = [2b_1^2\,d\,(b_1 + 2b_2) + d^3(2b_1 + b_2)]/6(b_1 + b_2)$

where $c = b_1^2\,/2(b_1 + b_2)$

$c' = b_1(b_1 + b_2)/(2b_1 + b_2)$

ง. เสาริม (ตั้งฉากกับขอบ)

รูปที่ 4.4 (ต่อ) ค่า $J/_c$ สำหรับเสา

c_1 = ความกว้างของหน้าเสา ซม.

c_2 = ความลึกของหน้าเสา ซม.

d = ความลึกประสิทธิผลของพื้น ซม.

J/C = Section modulus ของหน้าตัด ซม.^{3}

(ดูรูปที่ 4.4)

จากสมการ 4.1 และ 4.2 หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่หัวเสามีค่า

$$v_u = v_{u1} + v_{u2}$$

$$v_0 = \frac{V_u}{A_c} + \frac{M_u c}{J} \qquad (4.3)$$

5. <u>หน่วยแรงเฉือนของคอนกรีต</u>

ในกรณีที่ไม่มีเหล็กเสริมช่วยรับแรงเฉือน ค่าแรงเฉือนที่คอนกรีต สามารถรับได้มีค่า

- One-way shear $V_C = 0.53\phi\sqrt{f_c'}$ (4.4)
- Two-way shear $V_C = 1.06\phi\sqrt{f_c'}$ (4.5)

ในกรณีที่ต้องเสริมเหล็กช่วยรับแรงเฉือน ให้พิจารณาดังนี้

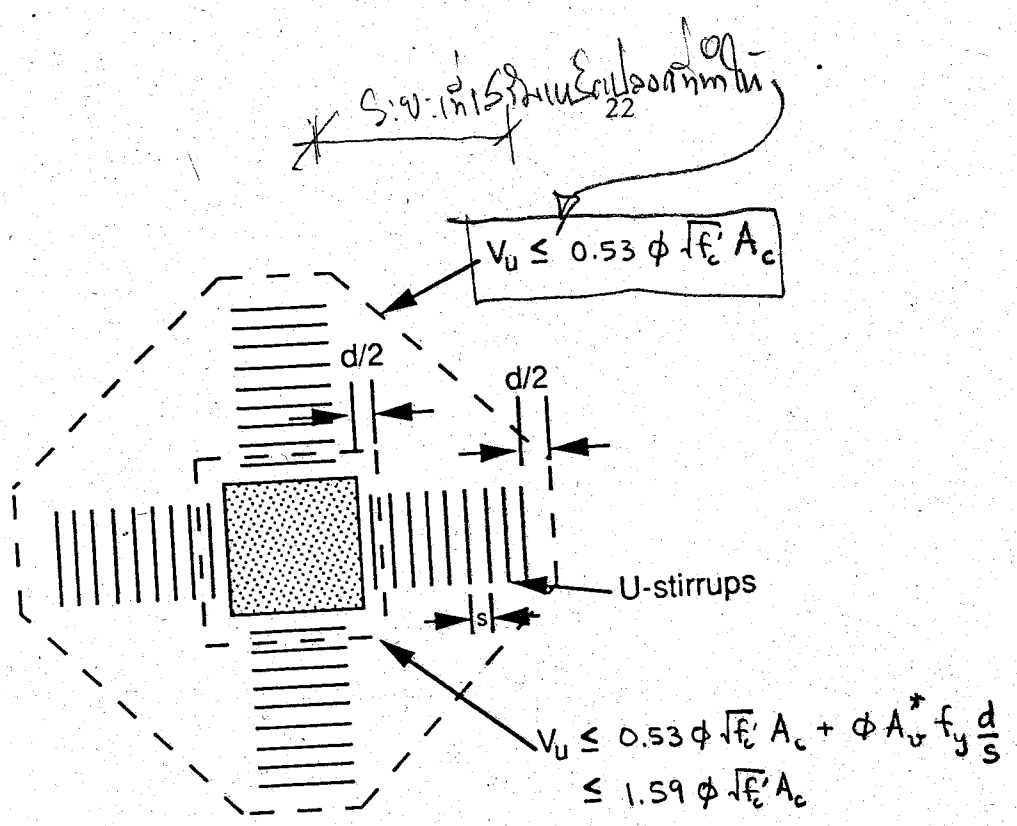
5.1 <u>เสริมเหล็กปลอก</u>

จะทำการเสริมเหล็กปลอกเพื่อช่วยรับแรงเฉือนได้ต่อเมื่อ

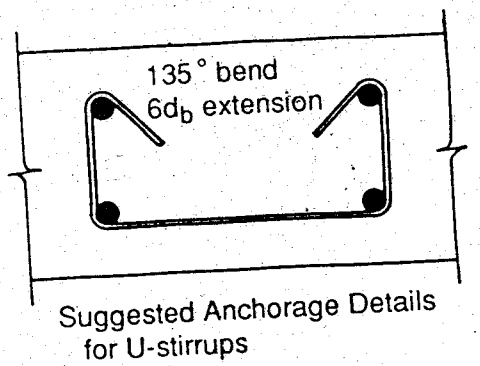
$1.06\phi\sqrt{f_c'} < v_u \leq 1.59\phi\sqrt{f_c'}$

รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งและลักษณะของเหล็กปลอกที่ใช้เสริม ปริมาณเหล็กเสริมสามารถคำนวณได้จาก

$$A_v \geq \frac{(v_u - 0.53\phi\sqrt{f_c'})\, A_c s}{n\phi f_y d}$$



* Total area of shear reinforcement on the four sides of the interior column support.



Suggested Anchorage Details for U-stirrups

รูปที่ 4.5 Shear Strength of Slabs with Bars or Wires Used as Shear Reinforcement

โดยที่ A_v = ปริมาณเหล็กปลอกที่เสริมต่อหน้าตัดสัมผัส ซม.^{2}

n = จำนวนหน้าตัดสัมผัส

($n = 2$ สำหรับเสามุม

$n = 3$ สำหรับเสาริม

$n = 4$ สำหรับเสาตัวใน)

A_c = พื้นที่หน้าตัดสัมผัส ซม.^{2}

S = ระยะห่างของเหล็กปลอก $\leq d/2$ ซม.

f_y = หน่วยแรงคลากของเหล็กปลอก กก/ซม.^{2}

สำหรับความยาวของเหล็กเสริมใช้คำนวณจากสมการความสมดุลของแรงเฉือน

$$V_u \leq 0.53 \phi \sqrt{f_c'} A_c \qquad (4.8)$$

5.2 <u>เสริมเหล็กรูปพรรณ</u>

จะทำการเสริมเหล็กรูปพรรหรือช่วยรับแรงเฉือนได้ต่อเมื่อ

$$1.06\phi\sqrt{f_c'} < v_u < 1.86\phi\sqrt{f_c'} \qquad (4.9)$$

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะการเสริมเหล็กรูปพรรสำหรับเสาภายใน เหล็กรูปพรรณที่ใช้เสริมจะต้องมีค่าพลาสติกโมเมนต์ (M_p) ดังนี้

$$M_p = \frac{V_u}{2\phi n}\left[h_v + \alpha_v \frac{(l_v - c_1)}{2}\right] \qquad (4.10)$$

โดยที่ ϕ = 0.90

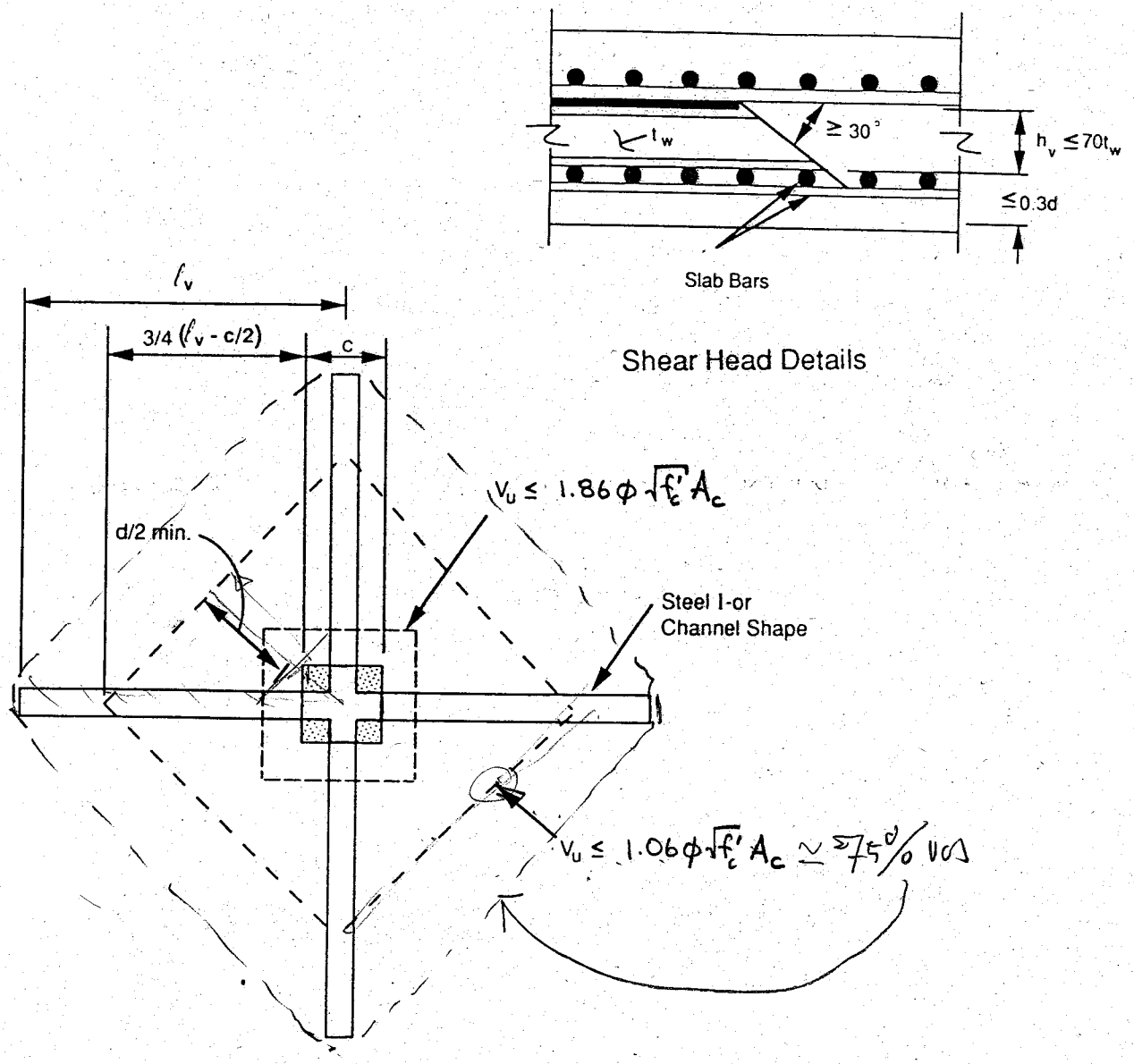
n = จำนวนหน้าตัดสัมผัส

h_v = ความลึกของเหล็กรูปพรรณ

α_v = อัตราส่วนสตีฟเนสของ shear head arm/surrounding slab (≥ 1.25)

l_v = ความยาวของ shear head arm

$$\frac{E_s I_s}{E_c I_c} > 0.15$$



รูปที่ 4.6 Shear Strength of Slabs with "Shearheads" Used as Shear Reinforcement

Refferences

1. "Structural Design Guide to the ACI Building Code" 2nd Edition by Paul F.Rics Edward S. hoffman, Van Nostrand Reunhold Company 1979.

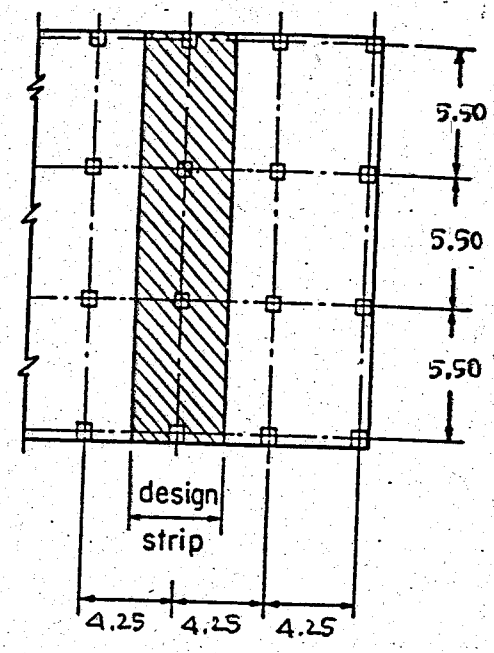
2. ACI 318-89 "Building Code Requirements for Reinforced Concrete."

3. "Design of Concrete structures" 11th Edition by Arthur H. Nilson & George Winter, Mc Graw-Hill Company 1991.

4. "Notes on ACI 318-89 Building Code Requirements for Reinfored Concrete with Design Applications" PCA 1990.

ตัวอย่าง

รูปที่ 4.7 แสดงขนาดและข้อมูลต่างๆ ของพื้นระบบ Flat Plate



รูปที่ 4.7 พื้นระบบ Flat Plat

ความสูงระหว่างชั้น	2.75 ม.
ขนาดเสา	0.40 x 0.40 ม.
superimposed load	100 กก./ม.^{2}
น้ำหนักบรรทุกจร	200 กก./ม.^{2}
f_c' (พื้น, เสา)	210 กก./ซม.^{2}
SD 40 :	4200 กก./ซม.^{2}

มีผนังรับแรงเฉือน (shear wall) รับแรงกระทำด้านข้าง

ไม่มีคานขอบ

รูปที่ 4.7 ขนาดและข้อมูลพื้นระบบ Flat Plate

1. <u>คำนวณค่าความหนาของพื้น</u> (h)

จากตาราง 2.1

h_{min} > ln/30 หรือ 0.12

> 5.10/30 = 0.17

เลือกใช้ h = 0.18 ม.

d = 0.15 ม.

2. <u>ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือน</u>

น้ำหนักบรรทุกคงที่ 1.4x(2.4x0.18+.1) = 0.75 ตัน/ม.^{2}

น้ำหนักบรรทุกจร 1.7x200 = 0.34 ตัน/ม.^{2}

w_u = 1.09 ตัน/ม.^{2}

2.1 <u>One-Way Shear</u> (ดูรูปที่ 4.8)

V_u = 1.09x4.25x2.40 = 11.12 ตัน

$v_u = \frac{V_u}{bxd} = \frac{11.12x1000}{425x15}$ = 1.74 กก./ซม.^{2}

จากสมการ 4.4 $v_c = 0.53\phi\sqrt{f'_c} = 0.53x0.85\sqrt{210}$ = 6.53 กก./ซม.^{2}

$v_u < v_c$ ใช้ได้

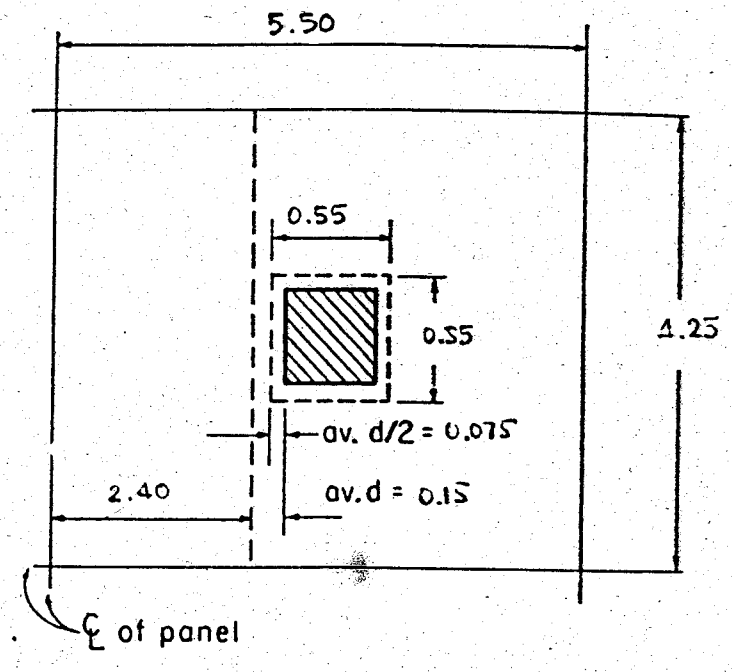
2.2 <u>Two-Way Shear</u> (ดูรูปที่ 4.8)

V_u = 1.09 (5.5x4.25-.55x.55) = 25.15 ตัน

$v_u = \frac{V_u}{b.d} = \frac{25.15x1000}{4x55x15}$ = 7.62 กก./ซม.^{2}

จากสมการ 4.5 $v_c = 1.06\phi\sqrt{f'_c} = 1.06x0.85\sqrt{210}$ = 13.06 กม./ซม.^{2}

$v_u < v_c$ ใช้ได้

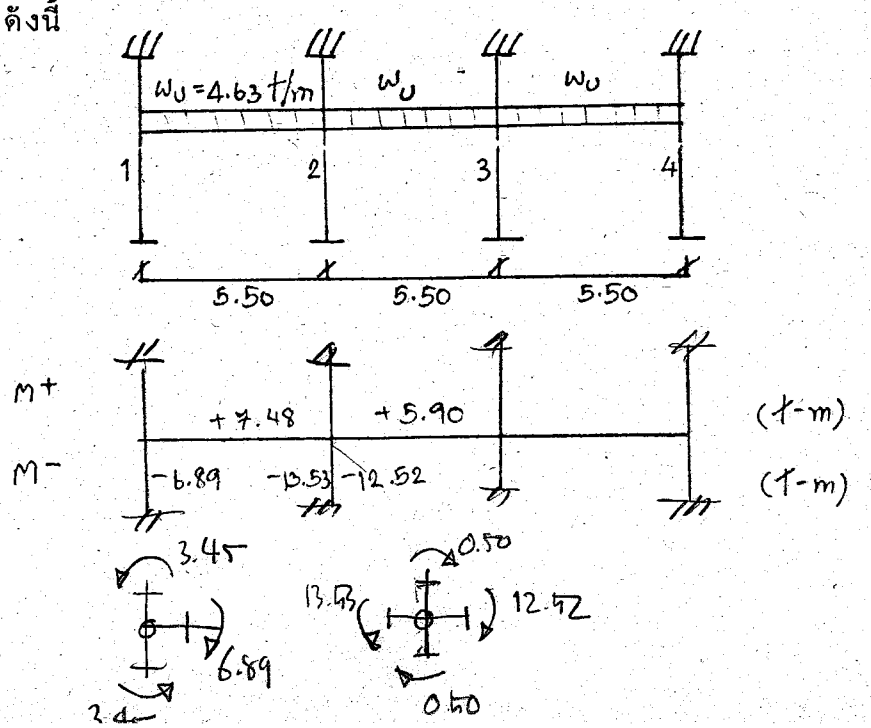


รูปที่ 4.8 Critical Sections for Shear

3. <u>คำนวณหาค่าโมเมนต์ใน design strip</u>

เนื่องจาก $\frac{LL}{DL} = \frac{.200}{(2.4x18+.1)} = 0.37 < 0.75$

ดังนั้นสามารถวางน้ำหนักบรรทุกจรได้ตลอดทุกช่วงเวลา หลังจากคำนวณหาค่า Stiffness ของพื้น, เสา และทำ moment distribution แล้ว จะได้ค่า moments ดังนี้



4. <u>กระจายโมเมนต์เข้าสู่ Column strip และ Middle strip</u>

จากตารางที่ 3.1 โมเมนต์จาก design strip จะกระจายเข้าสู่ column strip และ middle strip ดังนี้

	Factored Moment	Column Strip		Moment in Two Half-Middle-strip (t-m)/2.125 m.
		Percent	Moments (t-m)/2.125 m	
End span :				
Ext. negtive	- 6.89	100	- 6.89	0.0
positive	+ 7.48	60	+ 4.49	+ 2.99
Int. negative	- 13.53	75	- 10.15	- 3.38
Int. span :				
Negative	- 12.52	75	- 9.39	- 3.13
positive	+ 5.90	60	+ 3.54	+ 2.36

5. <u>แรงเฉือน</u>

พิจารณาค่าหน่วยแรงเฉือนที่เสาริม พบว่า

5.1 หน่วยแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Stress)

$$V_u = \frac{w_u l_1 l_2}{2}$$

$$= \frac{1.09 \times 5.5 \times 4.25}{2} = 12.74 \text{ ตัน}$$

A_c = (55+2x47.5)15 = 22.50 ซม.^{2}

$v_{u1} = \frac{V_u}{A_c} = \frac{12.74 \times 1000}{2250}$ = 5.66 กก./ซม.^{2}

5.2 <u>หน่วยแรงเฉือนจากโมเมนต์</u>

$\gamma = 1 - \frac{1}{1+2\sqrt[3]{\frac{c_1+d}{c_2+d}}}$ = 0.40

$J/C = [2b_1d\,(b_1+2b_2) + d^3\,(2b_1+b_2)/b_1\,]/6$

= 39182 ซม.^{3}

M_u = 6.89 ตัน-เมตร

$v_{u2} = \frac{\gamma M_u c}{J}$ (4.2)

$= \frac{0.4 \times 6.89 \times 1000 \times 100}{39182}$

= 7.03 กก./ซม.^{2}

จากสมการ 4.3 หน่วยแรงเฉือนรวม

$v_u = v_{u1} + v_{u2}$ (4.3)

= 5.66 + 7.03

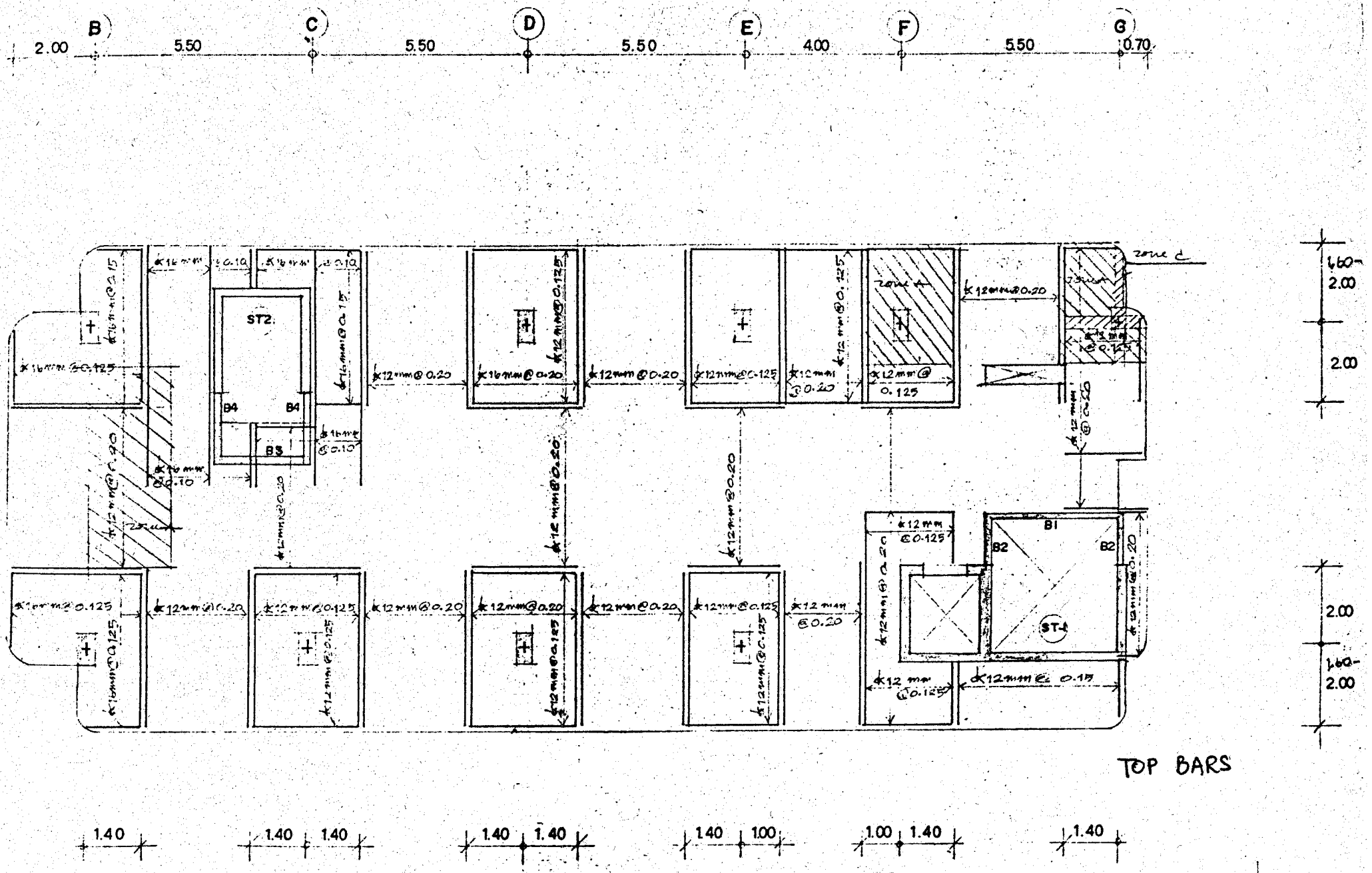
= 12.69 กก./ซม.^{2}

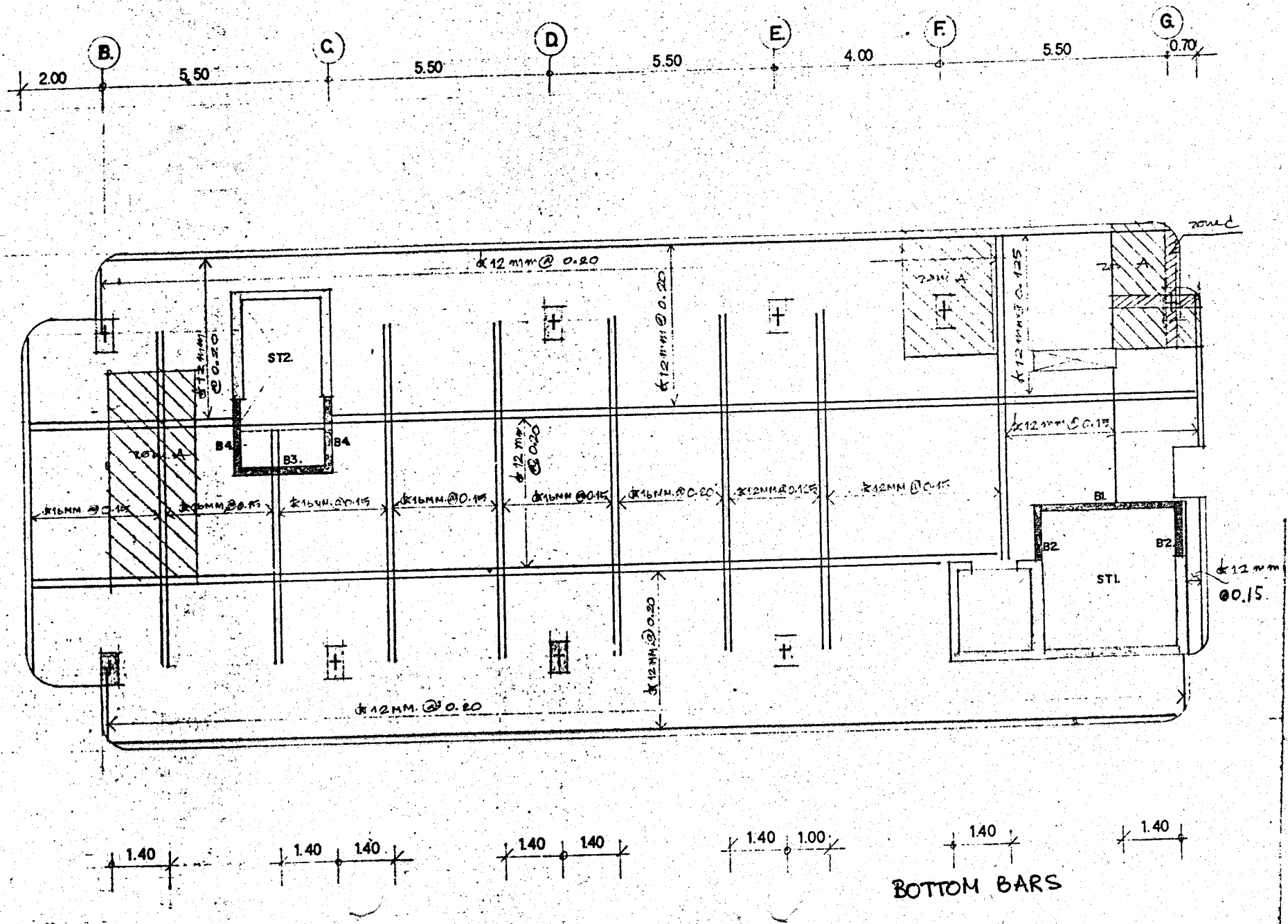
และ $v_c = 1.06\phi\sqrt{f'_c}$ (4.5)

$= 1.06 \times .85\ \sqrt{210}$

= 13.06 กก./ซม.^{2}

$v_u < v_c$ ไม่จำเป็นต้องใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือน


B
C
D
E
F
G
2.00
5.50
5.50
5.50
4.00
5.50
0.70
ST2
B4
B4
B3
ST-1
B1
B2
B2
zone d
zone c
TOP BARS
1.40
1.40
1.40
1.40
1.40
1.00
1.00
1.40
1.40
2.00
2.00
2.00
2.00


B.
C.
D.
E.
F.
G.
2.00
5.50
5.50
5.50
4.00
5.50
0.70
ST2.
ST1.
B1.
B2.
B3.
B4.
ϕ12 mm @ 0.20
ϕ12 mm @ 0.125
ϕ12 mm @ 0.15
ϕ16MM @ 0.15
ϕ12MM @ 0.15
1.40
1.40
1.40
1.40
1.00
1.40
1.40
BOTTOM BARS