Council of Engineers

Design of Reinforced Concrete Beams

Complying with ACI Standard

รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดา กตเวทวารักษ์

22 สิงหาคม 2567

Council of Engineers

คานรับแรงดัด

- **ทั่วไป:**
  - ต้องออกแบบขนาดหน้าตัดของโครงสร้างหรือคาน ซึ่งจะต้องสามารถรับแรงกระทำภายนอกหรือความเค้นที่เกิดขึ้นโดยไม่เกิดความเสียหาย
  - และไม่ทำให้เกิดรอยแตกร้าวเกินเกณฑ์กำหนดในขณะใช้งาน
  - ความเค้นดัดเป็นผลมาจากโมเมนต์ดัดกระทำภายนอก ซึ่งในการออกแบบส่วนมากแล้วความเค้นดัดมักเป็นตัวควบคุมการออกแบบในการเลือกขนาดหน้าตัดของคอนกรีตเสริมเหล็ก

Council of Engineers

คานรับแรงดัด

- **ทั่วไป:**
  - ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์หน้าตัดโดยทั่วไปนั้นจะเริ่มจากการออกแบบให้หน้าตัดรับโมเมนต์ดัดให้ได้ก่อน ยกเว้นโครงสร้างบางอย่างเช่น ฐานราก เป็นต้น
  - จากนั้นจึงตรวจสอบ กำลังรับแรงเฉือน การโก่งตัว การแตกร้าว และการยึดหน่วงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเสริมเหล็ก

Council of Engineers

คานรับแรงดัด

- **ทั่วไป:**
  - ถ้าคานเป็นคานที่มีวัสดุเป็นเนื้อเดียวกัน มีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง และมีคุณสมบัติยืดหยุ่นเป็นเส้นตรงแล้ว สามารถหาความเค้นเนื่องจากโมเมนต์ดัดสูงสุดได้จากสูตรหาความเค้นดัดที่เป็นที่รู้จักทั่วไปคือ $f = Mc/I$
  - แต่ในขณะที่คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับน้ำหนักกระทำสูงสุดนั้น ไม่มีคุณสมบัติวัสดุเป็นเนื้อเดียวกันและไม่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น
  - อย่างไรก็ตามความรู้พื้นฐานทฤษฎีการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดก็ยังสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หน้าตัดคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

Council of Engineers

สมมติฐานเบื้องต้น

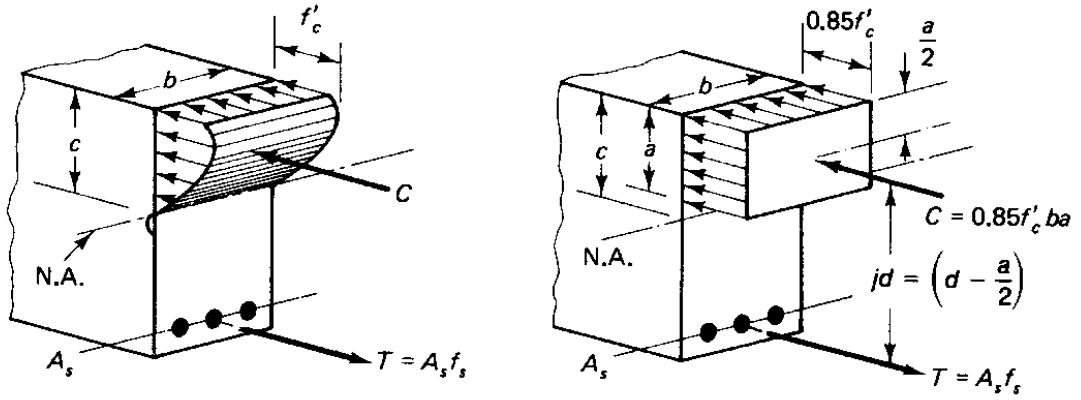
1. การกระจายของความเครียด (Strain) ตามความลึกหน้าตัดเป็นเส้นตรง สมมติฐานข้อนี้อาศัยหลักการที่ว่าระนาบหน้าตัดของคานยังคงเป็นระนาบและตั้งฉากกับแกนสะเทินทั้งก่อนและหลังรับโมเมนต์ดัด
2. ค่าความเครียดของเหล็กเสริมและคอนกรีตที่หุ้มโดยรอบจะมีค่าเท่ากันก่อนคอนกรีตแตกร้าวหรือเหล็กเสริมถึงจุดคราก
3. ไม่พิจารณาให้คอนกรีตรับแรงดึง โดยพิจารณาให้เหล็กเสริมรับแรงดึงรับแรงดึงที่เกิดขึ้นทั้งหมด

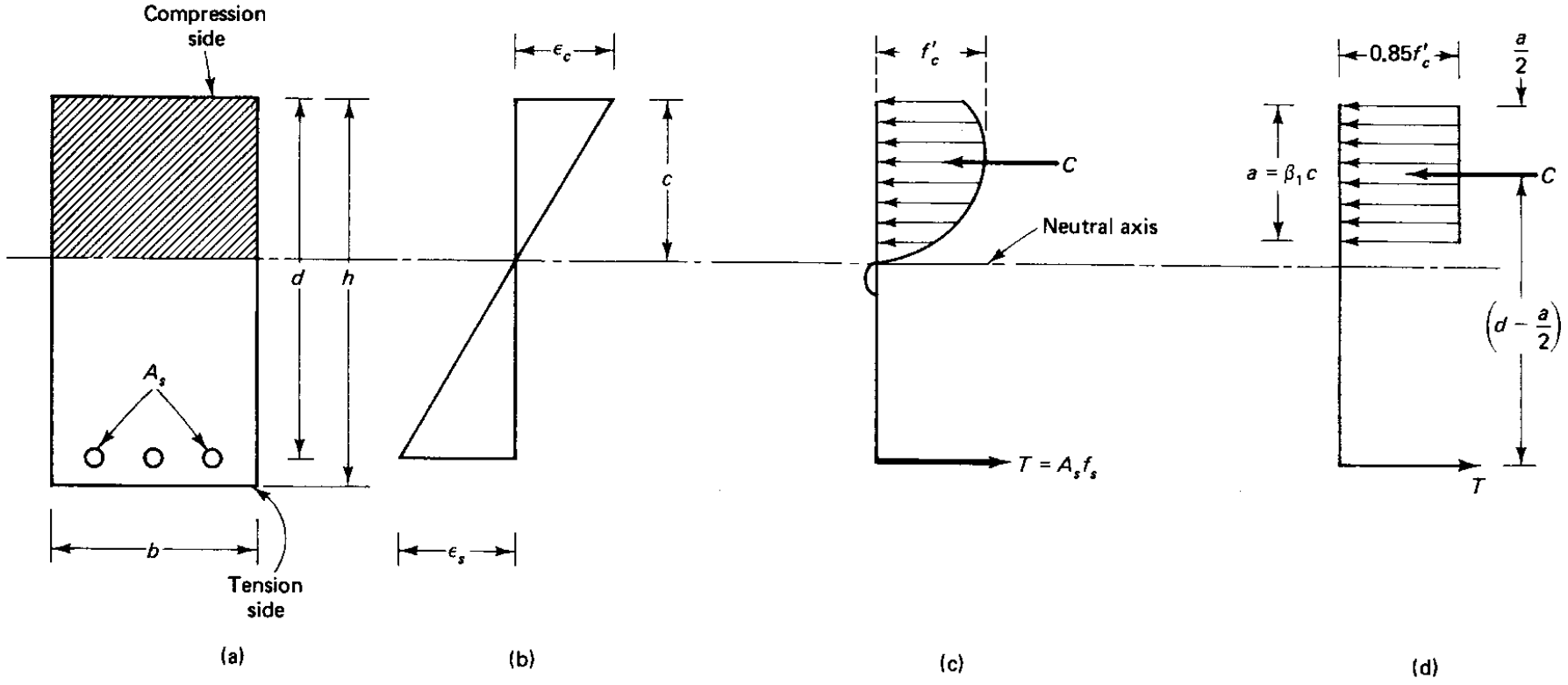
Council of
Engineers

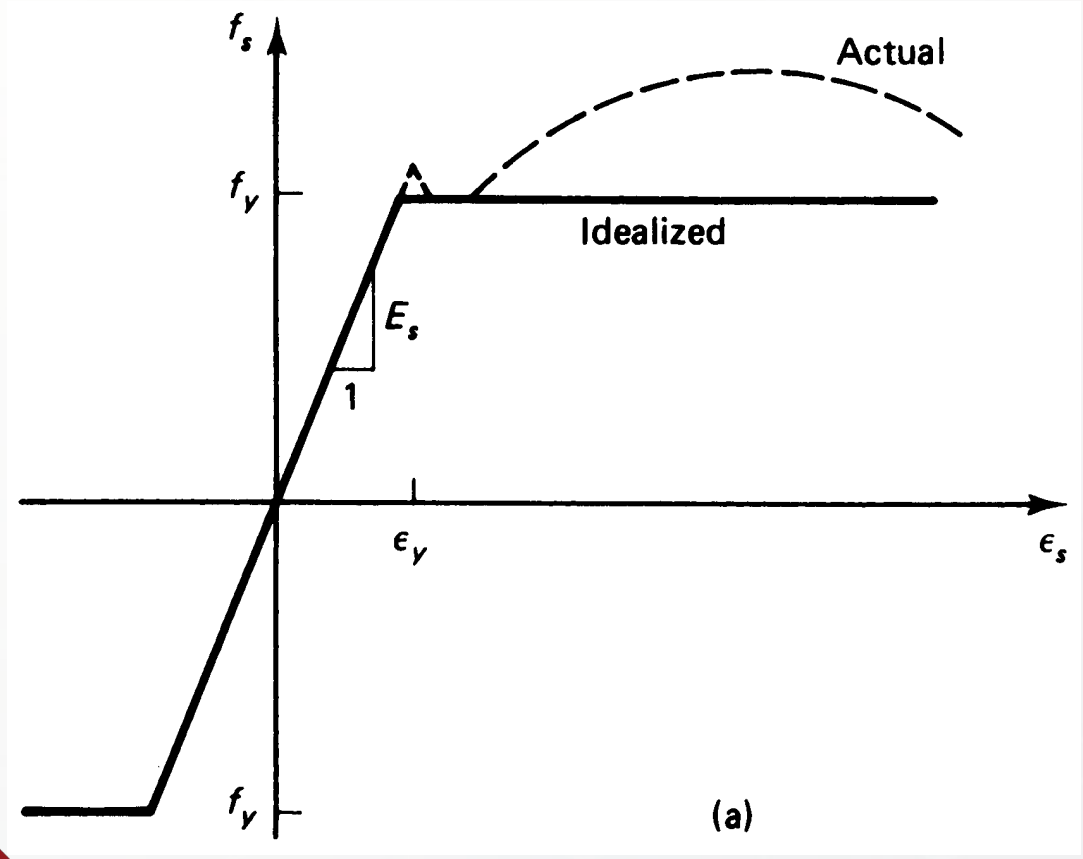
$$\beta_1 = 0.85 \quad \text{เมื่อ} \quad f'_c \le 28\ MPa$$

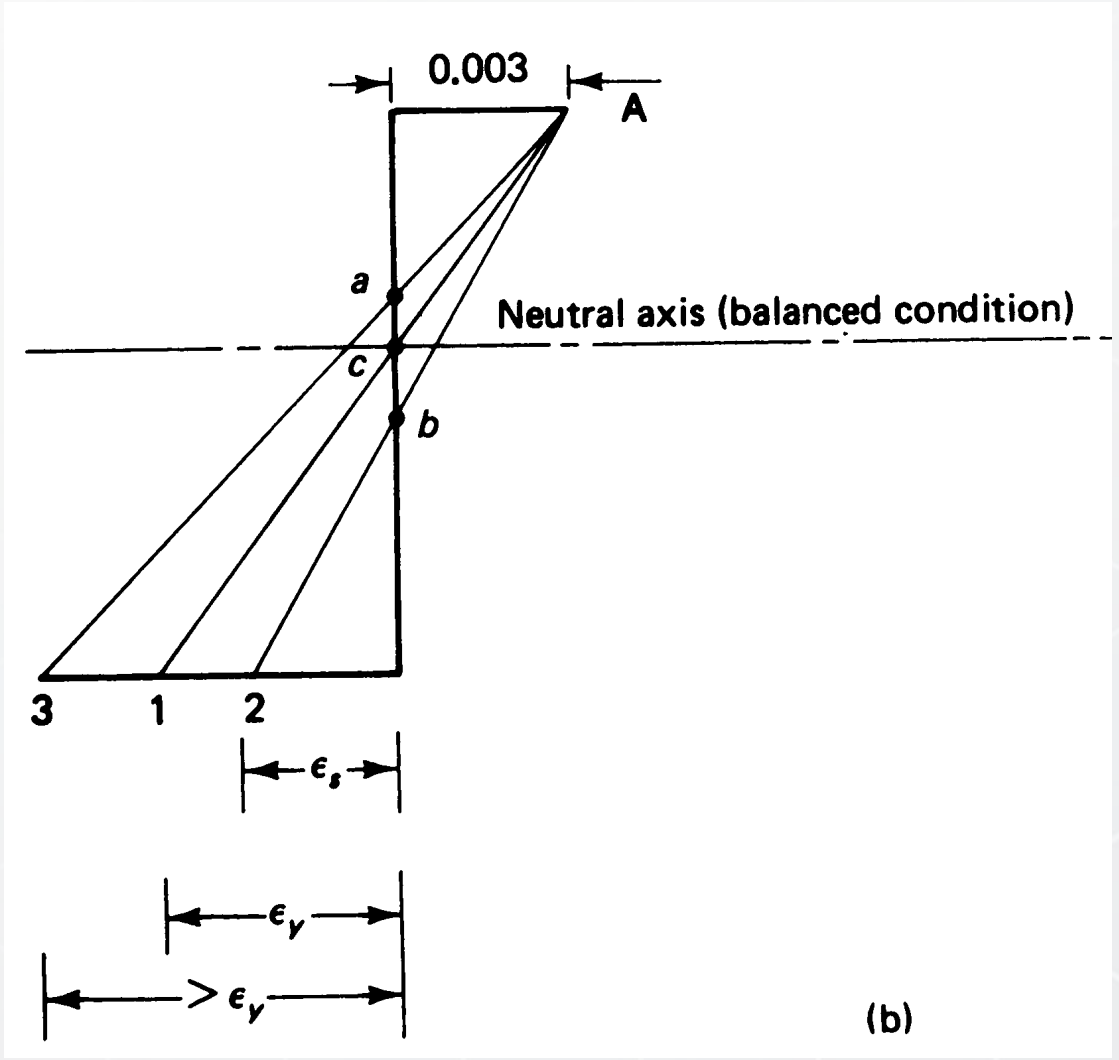
$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 \cdot \frac{(f'_c - 28)}{7} \ge 0.65 \quad \text{เมื่อ} \quad 28\ MPa < f'_c \le 56\ MPa$$

$$\beta_1 = 0.65 \quad \text{เมื่อ} \quad f'_c > 56\ MPa$$






f_s
Actual
f_y
Idealized
E_s
1
ϵ_y
ϵ_s
f_y
(a)


0.003
A
a
Neutral axis (balanced condition)
c
b
3
1
2
ϵ_s
ϵ_y
$> \epsilon_y$
(b)

Council of Engineers

การวิบัติของหน้าตัด

1. การวิบัติแบบแรงดึง (Tension failure) เป็นการวิบัติของวัสดุเหนียว (Ductile materials) เกิดในกรณีที่เหล็กเสริมมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะการวิบัติแบบสมดุล อาจเรียกกรณีการวิบัตินี้ว่า ภาวะ การเสริมเหล็กต่ำกว่าภาวะสมดุล (Under-reinforcement)
2. การวิบัติแบบแรงอัด (Compression failure) เป็นการวิบัติของวัสดุเปราะ (Brittle materials) เกิดในกรณีที่เหล็กเสริมมีปริมาณมากกว่าปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะการวิบัติแบบสมดุล อาจเรียกกรณีการวิบัตินี้ว่า ภาวะ การเสริมเหล็กมากกว่าภาวะสมดุล (Over-reinforcement)
3. การวิบัติที่ภาวะสมดุล (Balance failure)

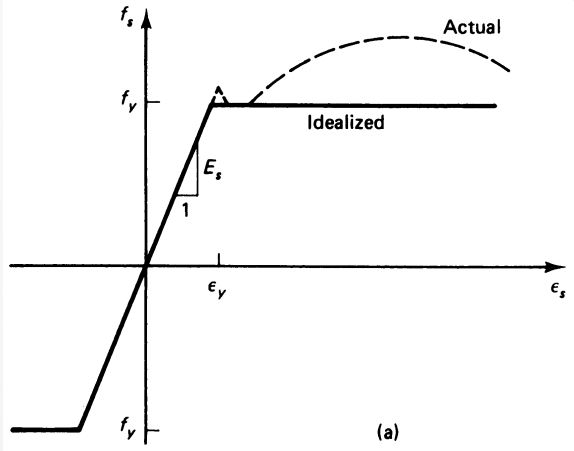
Council of Engineers

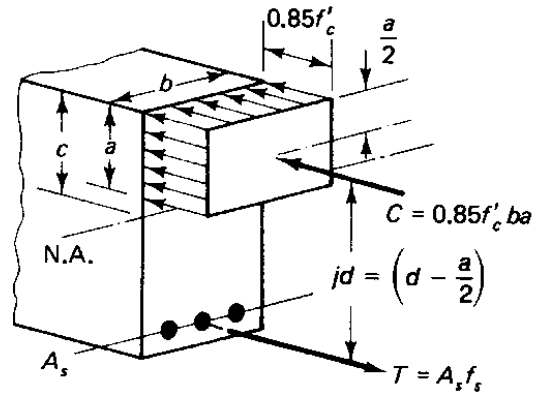
การวิบัติแบบแรงดึง (Tension failure)

$$\varepsilon_c = 0.003, \quad \varepsilon_s > \varepsilon_y, \quad \therefore f_s = f_y$$

จากสมดุลของแรงอัดและแรงดึงในแนวราบ

$$C = T \quad \Rightarrow \quad 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y$$

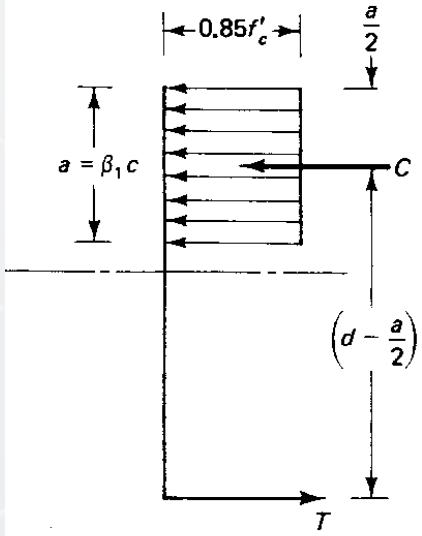




$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{A_s \cdot f_y}{2 \times 0.85 \cdot f_c' \cdot b} \right)$$



Council of Engineers

การวิบัติแบบแรงดึง (Tension failure)

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{A_s \cdot f_y}{1.70 \cdot f'_c \cdot b} \right)$$

ให้ $A_s = \rho \cdot b \cdot d$

$$M_n = \rho \cdot b \cdot d \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\rho \cdot b \cdot d \cdot f_y}{1.70 \cdot f'_c \cdot b} \right)$$

$$M_n = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1.70 \cdot f'_c} \right) \cdot b \cdot d^2$$

หรือ $M_n = R \cdot b \cdot d^2$

เมื่อ $R = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1.70 \cdot f'_c} \right)$

Council of Engineers

การวิบัติที่ภาวะสมดุล (Balance failure)

$$\varepsilon_c = 0.003, \quad \varepsilon_s = \varepsilon_y, \quad \therefore f_s = f_y$$

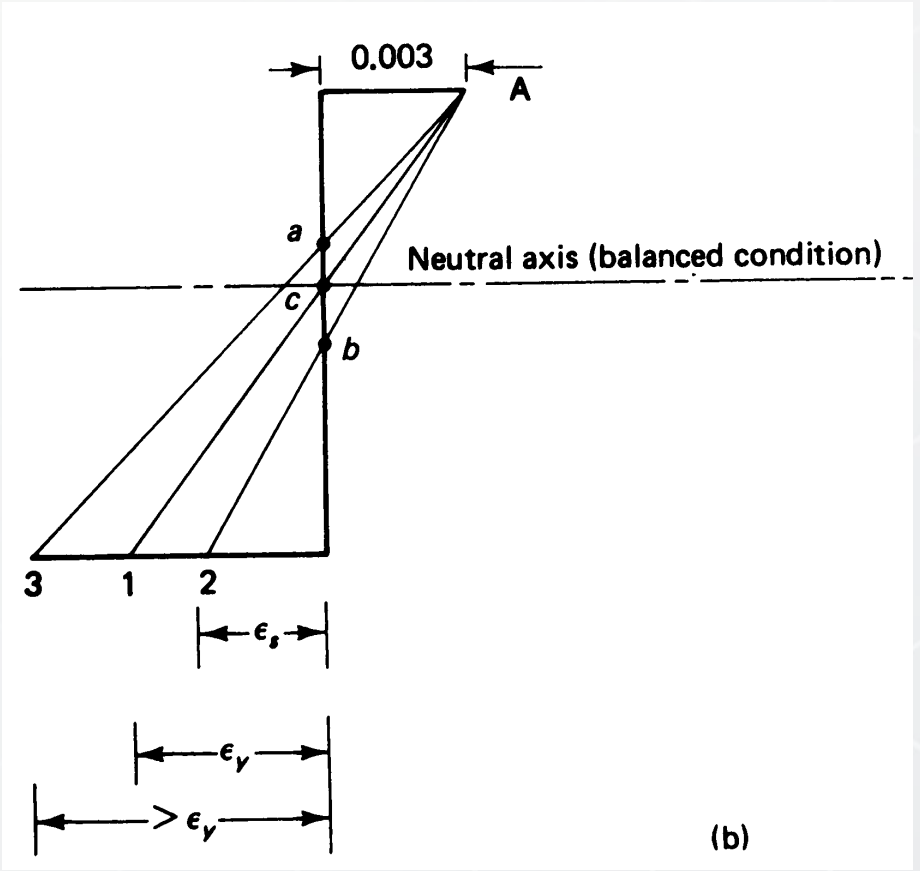
จากรูปสามเหลี่ยมคล้าย

$$\frac{\varepsilon_s}{0.003} = \frac{d - c_b}{c_b}$$

$$\frac{f_y}{0.003 \cdot E_s} = \frac{d - c_b}{c_b}$$

$$c_b = \frac{0.003 \cdot E_s}{(0.003 \cdot E_s + f_y)} \cdot d$$

$$a_b = \beta_1 \cdot \frac{0.003 \cdot E_s}{(0.003 \cdot E_s + f_y)} \cdot d$$



Council of Engineers

การวิบัติที่ภาวะสมดุล (Balance failure)

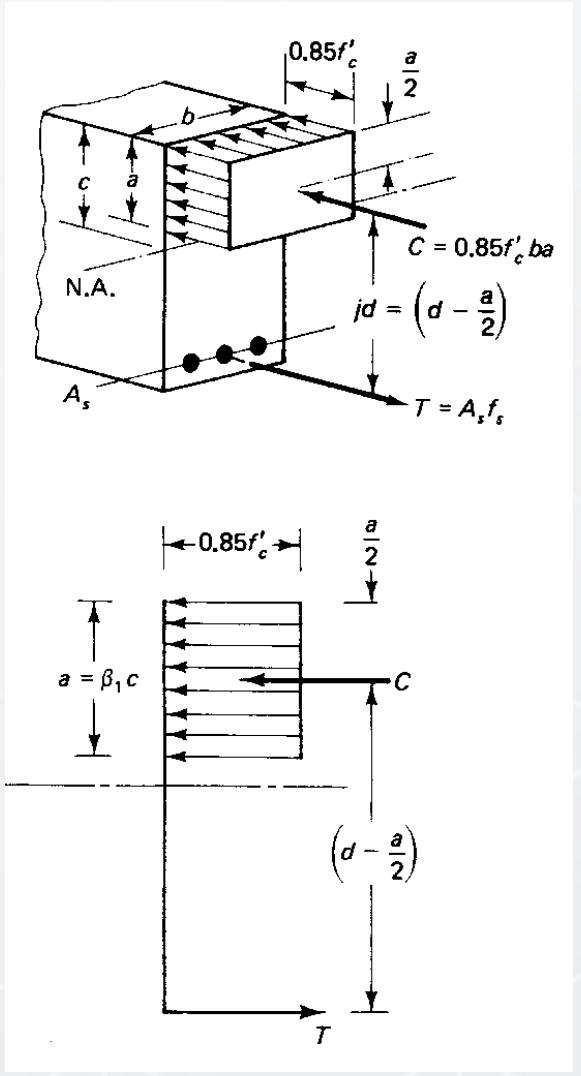
$$0.85 \cdot f_c' \cdot a_b \cdot b = A_s \cdot f_y$$

$$0.85 \cdot f_c' \cdot a_b \cdot b = \rho_b \cdot b \cdot d \cdot f_y$$

$$0.85 \cdot f_c' \cdot a_b = \rho_b \cdot d \cdot f_y$$

$$0.85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot \frac{0.003 \cdot E_s}{\left(0.003 \cdot E_s + f_y\right)} \cdot d = \rho_b \cdot d \cdot f_y$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{0.003 \cdot E_s}{\left(0.003 \cdot E_s + f_y\right)}$$



Council of Engineers

ปริมาณเหล็กเสริมสูงสุด

- ACI 10.3.3 กำหนดว่าในองค์อาคารรับแรงดัด และองค์อาคารที่รับทั้งแรงตามแกนและแรงดัดซึ่ง $\phi \cdot P_n \leq 0.10 \cdot f'_c \cdot A_g$ หรือ $\phi \cdot P_n \leq \phi \cdot P_b$
- ปริมาณเหล็กเสริมจะต้องไม่เกินร้อยละ 75 ของปริมาณเหล็กเสริมสมดุล ($\rho_{\max} \leq 0.75 \cdot \rho_b$) ที่ได้จากสมดุลของความเครียดภายใต้แรงดัดอย่างเดียว (ไม่มีแรงตามแกน)
- ส่วนปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงที่สมดุลกับเหล็กเสริมรับแรงอัด ไม่ถูกจำกัดด้วยร้อยละ 75 ของ ρ_b
- อนึ่ง ACI กำหนดให้ใช้ความกว้างของตัวคาน (Width of web, b_w) ในการคำนวณค่า ρ

Council of Engineers

ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุด

1. ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุด สำหรับทุกหน้าตัดขององค์อาคารที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึง (ทั้งเนื่องจากโมเมนต์บวกและโมเมนต์ลบ; ACI 10.5.1) ให้คำนวณจาก

$$A_{s-min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} \cdot b_w \cdot d$$

แต่ต้องไม่น้อยกว่า

$$\frac{1.4}{f_y} \cdot b_w \cdot d$$

Council of Engineers

ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุด

2. ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในคานรูปตัวทีกรณีที่เกิดแรงดึงในปีกคาน (ACI 10.5.2) จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับค่าที่น้อยกว่าระหว่าง

$$A_{s-min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{2 \cdot f_y} \cdot b_w \cdot d \quad \text{กับ} \quad A_{s-min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} \cdot b_w \cdot d$$

โดยการแทนค่า b_w ด้วยความกว้างของปีกคาน

Council of Engineers

ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุด

3. ACI 10.5.3 ระบุว่าไม่จำเป็นต้องพิจารณาเกณฑ์กำหนดใน ACI 10.5.1 และ 10.5.2 ถ้าทุก ๆ หน้าตัดที่มีการเสริมเหล็กรับแรงดึง ได้เสริมเหล็กเพิ่มในปริมาณอีกอย่างน้อย 1/3 ของเหล็กเสริมที่ต้องการจากการวิเคราะห์

$$A_{s-\text{ที่เสริม}} \geq \frac{4}{3} \cdot A_{s-\text{ที่ต้องการ}}$$

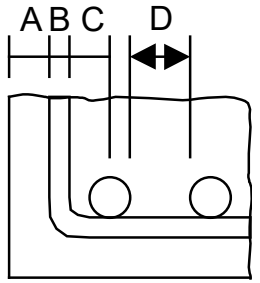
Council of Engineers

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

1. การประมาณน้ำหนักคาน
2. สัดส่วนของหน้าตัดคาน
3. การเลือกเหล็กเสริม
4. ระยะหุ้มคอนกรีต
5. ระยะห่างระหว่างเหล็ก

ตารางที่ 2.1 ความกว้างคานที่น้อยที่สุด (มิลลิเมตร) คำนวณตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ACI

เหล็กเสริม	จำนวนเหล็กเสริมในหนึ่งชั้น							เพิ่มสำหรับแต่ละเส้น
	2	3	4	5	6	7	8	
DB12	171	208	245	282	319	356	393	37
DB16	175	216	257	298	339	380	421	41
DB20	179	224	269	314	359	404	449	45
DB25	184	234	284	334	384	434	484	50
DB28	190	246	302	358	414	470	526	56
DB32	198	262	326	390	454	518	582	64



A = 40 มิลลิเมตร หุ้มจากผิวคอนกรีตถึงเหล็กปลอก

B = 9 มิลลิเมตร เหล็กปลอก

C = ค่าที่มากกว่าระหว่าง ครึ่งหนึ่งของขนาดเหล็กตามยาวกับ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กปลอก

D = ช่องว่างระหว่างเหล็ก = d_b หรือ 25 มิลลิเมตร

Council of Engineers

ความลึกต่ำสุดของคาน

ACI 9.5.2.1 กำหนดความหนาต่ำสุดของคาน ในกรณีที่ไม่คำนวณระยะโก่งตัวไว้ดังนี้

คานช่วงเดียว	$\frac{l_n}{16}$
คานต่อเนื่องด้านเดียว	$\frac{l_n}{18.5}$
คานต่อเนื่องสองด้าน	$\frac{l_n}{21}$
คานยื่น	$\frac{l_n}{8}$

หมายเหตุ

l_n คือระยะห่างระหว่างขอบของที่รองรับ หรือ ช่องว่าง (Clear span) ของคาน

Council of Engineers

คานลึก

ACI 10.7.1 กำหนดให้คานต่อไปนี้เป็นคานลึก

กรณี	$\frac{h}{l_n}$
คานช่วงเดียว	$> \frac{4}{5}$
คานต่อเนื่อง	$> \frac{2}{5}$

หมายเหตุ

l_n คือระยะห่างระหว่างขอบของที่รองรับ หรือ ช่องว่าง (Clear span) ของคาน

Council of Engineers

เกณฑ์การออกแบบคานที่เสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึง

- ACI 10.3.3 กำหนดเงื่อนไขสำหรับหน้าตัดคานเสริมเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึงเพียงอย่างเดียว (Singly reinforcement) คือ $\rho_{max} \le 0.75 \cdot \rho_b$

- โดยมากนิยมใช้ $(0.375) \cdot \rho_b$ ถึง $(0.50) \cdot \rho_b$

$$\rho_{max} = 0.75 \cdot \left[\frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{0.003 \cdot E_s}{(0.003 \cdot E_s + f_y)} \right]$$

$E_s = 200{,}000\ MPa$

$$\rho_{max} = 0.75 \cdot \left[\frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{(600 + f_y)} \right]$$

$$M_{n-max} = \rho_{max} \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho_{max} \cdot f_y}{1.70 \cdot f'_c} \right) \cdot b \cdot d^2$$

Council of Engineers

เกณฑ์การออกแบบคานที่เสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึง

โดย $M_{n-max} \geq \frac{M_u}{\phi}$

คำนวณหา A_s จาก

$$A_s = \left(\frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y}\right) \cdot (b \cdot d) \cdot \left(1 - \sqrt{\left(1 - \left(\frac{2}{0.85 \cdot f'_c}\right) \cdot \left(\frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}\right)\right)}\right)$$

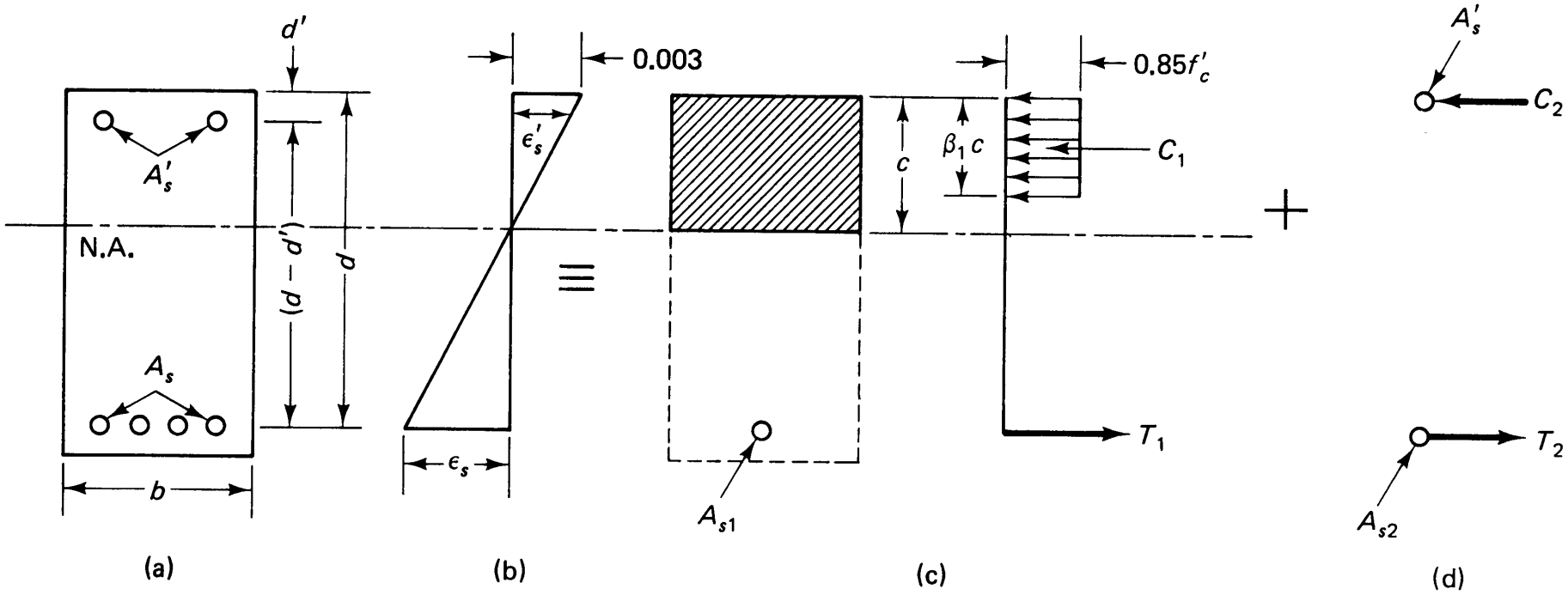
ถ้า $M_{n-max} < \frac{M_u}{\phi}$ แก้ไขโดย

1. เพิ่มขนาดของ *b* และ *d* ให้มากขึ้น จะทำให้ได้ $M_{n\text{-}max}$ มากขึ้น

2. ถ้าเพิ่มขนาดของ *b* และ *d* ไม่ได้ก็ทำการเสริมเหล็กเป็นแบบ Double reinforcement

Council of Engineers

คานที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและเหล็กรับแรงอัด (Doubly reinforcement)



คานเสริมเหล็กรับแรงดึงและเหล็กรับแรงอัด

(a) หน้าตัด (b) ความเครียด (c) ส่วนเฉพาะเหล็กเสริมรับแรงดึง (d) ส่วนที่เป็นผลของเหล็กเสริมรับแรงอัด

Council of Engineers

กรณีที่ 1 เหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดครากทั้งคู่

$\varepsilon_s > \varepsilon_y \Rightarrow f_s = f_y$ $\qquad$ $\varepsilon'_s > \varepsilon_y \Rightarrow f'_s = f_y$

จากรูป (c) $\qquad C_1 = T_1$

$C_1 = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a$ และ $T_1 = A_{s1} \cdot f_y$

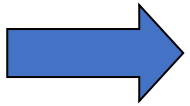
จากรูป (d) $\qquad C_2 = T_2$

$C_2 = A'_s \cdot f_y$ และ $T_2 = A_{s2} \cdot f_y$

จาก $\qquad C_1 + C_2 = T_1 + T_2$

Council of Engineers

กรณีที่ 1 เหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดครากทั้งคู่

จาก $C_1 + C_2 = T_1 + T_2$ 

$$0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f_y = A_{s1} \cdot f_y + A_{s2} \cdot f_y$$

หรือ

$$0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot f_y = A_s \cdot f_y$$

หาค่า M_n

$$a = \frac{\left(A_s - A'_s\right) \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$M_n = C_1 \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + C_2 \cdot \left(d - d'\right)$$

$$M_n = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \cdot f_y \cdot \left(d - d'\right)$$

หรือแทนค่า C_1 ด้วย T_1

$$M_n = A_{s1} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \cdot f_y \cdot \left(d - d'\right)$$

Council of Engineers

กรณีที่ 1 เหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดครากทั้งคู่

ถ้ารู้แล้วว่าเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากแน่นอน จะสามารถตรวจสอบว่าเหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดครากหรือไม่โดย $\varepsilon'_s \geq \varepsilon_y$ เป็นจริง

จากรูป (b)

$$\varepsilon'_s = 0.003 \cdot \left(\frac{c - d'}{c} \right)$$

$$\varepsilon'_s = 0.003 \cdot \left(\frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \right)$$

$$0.003 \cdot \left(\frac{a - \beta_1 \cdot d'}{a} \right) \geq \frac{f_y}{E_s}$$

$$0.003 \cdot E_s \cdot \left(a - \beta_1 \cdot d' \right) \geq f_y \cdot a$$

Council of Engineers

กรณีที่ 1 เหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดครากทั้งคู่

$$a \geq \frac{0.003 \cdot E_s}{(0.003 \cdot E_s - f_y)} \cdot \beta_1 \cdot d'$$

$$\frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b} \geq \frac{0.003 \cdot E_s}{(0.003 \cdot E_s - f_y)} \cdot \beta_1 \cdot d'$$

$$\frac{(A_s - A_s')}{b \cdot d} \geq \frac{0.003 \cdot E_s}{(0.003 \cdot E_s - f_y)} \cdot \frac{0.85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{d'}{d}$$

$$\rho - \rho' \geq \frac{0.003 \cdot E_s}{(0.003 \cdot E_s - f_y)} \cdot \frac{0.85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{d'}{d}$$

ถ้าเงื่อนไขนี้เป็นจริง แสดงว่า เหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดคราก

Council of Engineers

กรณีที่ 2 เหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากแต่เหล็กเสริมรับแรงอัดไม่ถึงจุดคราก

$$\varepsilon_s > \varepsilon_y \Rightarrow \; f_s = f_y \qquad \varepsilon'_s < \varepsilon_y \;\Rightarrow\; f'_s = E_s \cdot \varepsilon_s \le f_y$$

สมดุลของแรง $0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot E_s \cdot \varepsilon'_s = A_s \cdot f_y$

แทน ε'_s $$0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a + A'_s \cdot E_s \cdot 0.003 \cdot \frac{\left(a - \beta_1 \cdot d'\right)}{a} = A_s \cdot f_y$$

$$0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a^2 + \left(A'_s \cdot E_s \cdot 0.003 - A_s\right) \cdot a - A'_s \cdot E_s \cdot 0.003 \cdot \beta_1 \cdot d' = 0$$

แก้สมการกำลังสอง หาค่า a ได้

$$M_n = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) + A'_s \cdot f'_s \cdot \left(d - d'\right)$$

Council of Engineers

กรณีที่ 3 เหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากที่ภาวะสมดุล

$$\varepsilon_c = 0.003, \quad \varepsilon_s = \varepsilon_y$$

จากรูป (b)

$$\varepsilon_s = 0.003 \cdot \left(\frac{d - c_b}{c_b} \right) \Rightarrow \frac{f_y}{E_s} = 0.003 \cdot \left(\frac{d - c_b}{c_b} \right)$$

$$c_b = \frac{0.003 \cdot E_s}{(0.003 \cdot E_s + f_y)} \cdot d$$

สมดุลของแรง $0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a_b + A'_s \cdot f'_s = A_s \cdot f_y$

$$0.85 \cdot f'_c \cdot \beta_1 \cdot \frac{0.003 \cdot E_s}{(0.003 \cdot E_s + f_y)} \cdot b \cdot d = A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_s$$

Council of Engineers

กรณีที่ 3 เหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดครากที่ภาวะสมดุล

$$\frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{0.003 \cdot E_s}{(0.003 \cdot E_s + f_y)} = \frac{A_s}{b \cdot d} - \frac{A'_s}{b \cdot d} \cdot \frac{f'_s}{f_y}$$

$$\rho - \rho' \cdot \frac{f'_s}{f_y} = \frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{0.003 \cdot E_s}{(0.003 \cdot E_s + f_y)} \quad \text{หรือ} \quad \rho - \rho' \cdot \frac{f'_s}{f_y} = \rho_b$$

ดังนั้น ACI จึงกำหนดเกณฑ์สำหรับกรณี Double reinforcement เพื่อให้เป็นการออกแบบลักษณะ Tension failure ว่า

$$\rho_{max} = 0.75 \cdot \rho_b + \rho' \cdot \frac{f'_s}{f_y}$$

เมื่อ $$f'_s = 0.003 \cdot E_s \cdot \left(1 - \frac{\beta_1 \cdot d'}{a}\right) \leq f_y$$

Council of Engineers

ลำดับขั้นตอนการออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรับโมเมนต์ดัด

1. ข้อมูล $f_c^{'}, f_y, E_s, b, h, l_n,$ covering, M_u, ϕ=0.90

2. ตรวจสอบความลึกต่ำสุด $h > \frac{l_n}{16}, \frac{l_n}{18.5}, \frac{l_n}{21}, \frac{l_n}{8}$ และตรวจสอบไม่เป็นคานลึก $\frac{h}{l_n} \le \frac{4}{5} or \frac{2}{5}$

3. $\beta_1 = 0.85$ เมื่อ $f_c' \le 28\ MPa$

   $\beta_1 = 0.85 - 0.05 \cdot \frac{(f_c' - 28)}{7} \ge 0.65$ เมื่อ $28\ MPa < f_c' \le 56\ MPa$

   $\beta_1 = 0.65$ เมื่อ $f_c' > 56\ MPa$

4. ปริมาณเหล็กเสริม

   4.1 $\rho_{min} = max\left\{\frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y}, \frac{1.4}{f_y}\right\}$

   4.2 $\rho_{max} = 0.75 \cdot \left[\frac{0.85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{(600 + f_y)}\right]$ (โดยมากนิยมใช้ $= 0.375 \cdot \rho_b$ ถึง $0.5 \cdot \rho_b$)

Council of Engineers

ลำดับขั้นตอนการออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรับโมเมนต์ดัด

5. คำนวณ $M_{n\max}$

$$M_{n-max} = \rho_{max} \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho_{max} \cdot f_y}{1.70 \cdot f'_c}\right) \cdot b \cdot d^2$$

6. 6.1 ถ้า $M_{n-max} \geq \frac{M_u}{\phi}$ เป็น Singly reinforcement คำนวณหา A_s ที่ต้องการจากสมการ

$$A_s = \left(\frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y}\right) \cdot (b \cdot d) \cdot \left(1 - \sqrt{\left(1 - \left(\frac{2}{0.85 \cdot f'_c}\right) \cdot \left(\frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}\right)\right)}\right)$$

6.2 จัดเหล็กเสริม A_s ให้เพียงพอกับที่ต้องการ

6.3 ตรวจสอบ $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ จบการออกแบบสำหรับกรณี Singly reinforcement

Council of Engineers

ลำดับขั้นตอนการออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรับโมเมนต์ดัด

หรือใช้วิธี Trial and error

1. จากสมการ $M_n = \frac{M_u}{\phi} = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$
2. สมมติค่า a ประมาณ $0.20 \cdot d$ ถึง $0.30 \cdot d$ แล้วแก้สมการหาค่าของ A_s
3. แทนค่า A_s จากขั้นตอนที่ 2 (หรือขั้นตอนที่ 4) ในสมการ $a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$ หาค่า a ได้ ถ้า a เท่ากับหรือใกล้เคียง a ในขั้นตอนที่ 2 (หรือขั้นตอนที่ 4) ก็หยุด หรือ ทำขั้นตอนที่ 4 ต่อถ้ายังไม่ใกล้เคียง
4. แทนค่า a จากขั้นตอนที่ 3 แล้วแก้สมการในขั้นตอนที่ 1 หาค่าของ A_s แล้วย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 3

Council of Engineers

ลำดับขั้นตอนการออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรับโมเมนต์ดัด

6.4 ถ้า $M_{n-max} < \frac{M_u}{\phi}$ ออกแบบเป็น Doubly reinforcement

ให้ $M_{n1} = M_{n-max}$

ดังนั้น $M_{n2} = \frac{M_u}{\phi} - M_{n1}$

$A_{s1} = \rho_{max} \cdot b \cdot d$

$A_{s2} = \frac{M_{n2}}{f_y \cdot (d - d')}$

$\therefore \quad A_s = A_{s1} + A_{s2}$

Council of Engineers

ลำดับขั้นตอนการออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรับโมเมนต์ดัด

6.5 จากนั้น คำนวณ f_s' จาก

$$f_s' = 600 \cdot \left(1 - \frac{\beta_1 \cdot d'}{a}\right) \leq f_y$$

โดย $$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c' \cdot b}$$

จาก $$A_s' \cdot f_s' = A_{s2} \cdot f_y$$

ดังนั้น $$A_s' = A_{s2} \cdot \frac{f_y}{f_s'}$$

6.6 จัดเหล็กเสริม A_s และ A_s' ให้เพียงพอกับที่ต้องการ

6.7 ตรวจสอบ $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

โดยที่ $$\rho_{max} = 0.75 \cdot \rho_b + \frac{\rho' \cdot f_s'}{f_y}$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d}$$

Council of Engineers

ตัวอย่างที่ 1 กำหนดคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 200×500 มิลลิเมตร เสริมเหล็กรับแรงดึง 2-DB20 mm ($A_s = 628mm^2$, $f'_c = 24MPa$, $f_y = 400MPa$) จงหาโมเมนต์ดัดสูงสุด (M_u) ที่หน้าตัดคานจะรับได้ (กำหนด $d = 450\ mm$)

วิธีทำ

$$\rho_{min} = Max.\left\{\frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y}, \frac{1.4}{f_y}\right\}$$

$$= Max.\left\{\frac{\sqrt{24}}{4 \times 400}, \frac{1.4}{400}\right\}$$

$$= Max.\{0.003062, 0.0035\} = 0.0035$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{628}{200 \times 450}$$

$$= 0.00698 > \rho_{min} \quad \textbf{o.k.}$$

$$\rho_{max} = 0.75 \cdot \left[\frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{(600 + f_y)}\right]$$

$$= 0.75 \times \left[\frac{0.85 \times 24}{400} \times 0.85 \times \frac{600}{(600 + 400)}\right]$$

$$= 0.0195075 > \rho \quad \textbf{o.k.}$$

ตัวอย่างที่ 1 กำหนดคานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 200×500 มิลลิเมตร เสริมเหล็กรับแรงดึง 2-DB20 mm ($A_s = 628mm^2, \quad f_c' = 24MPa, \quad f_y = 400MPa$) จงหาโมเมนต์ดัดสูงสุด (M_u) ที่หน้าตัดคานจะรับได้ (กำหนด $d = 450\ mm$)

$$M_n = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1.70 \cdot f_c'}\right) \cdot b \cdot d^2$$

$$= 0.00698 \times 400 \times \left(1 - \frac{0.00698 \times 400}{1.70 \times 24}\right) \times 200 \times 450^2$$

$$= 105{,}306{,}980 \quad N \cdot mm$$

$$= 105.30 \quad kN \cdot m$$

$$M_u = \phi \cdot M_n$$

$$= 0.90 \times 105.30 = 94.80 \quad kN \cdot m$$

Council of Engineers

ตัวอย่างที่ 2 จงคำนวณหาเหล็กเสริม ถ้าคานขนาดดังตัวอย่างที่ 1 เป็นคานช่วงเดียว ความยาวช่วง 4.00 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกจร 50 kN/m , $f'_c = 24\ MPa$, $f_y = 400\ MPa$ (กำหนด) $d = 425\ mm$

$$M_{DL} = (200x500x10^{-6}x24) \times (4)^2/8$$

$$= 4.80 \quad kN \cdot m$$

$$M_{LL} = 50 \times (4)^2/8$$

$$= 100 \quad kN \cdot m$$

$$M_u = 1.4\ M_{DL} + 1.7\ M_{LL}$$

$$= (1.4 \times 4.80) + (1.7 \times 100)$$

$$= 176.70 \quad kN \cdot m$$

ตรวจสอบ $h_{min} = \frac{4{,}000}{16} = 250 \quad mm < 500 \quad mm$ ไม่ต้องตรวจสอบการโก่งตัว

$\frac{h}{l} = \frac{500}{4{,}000} = 0.125 < \frac{4}{5}$ ไม่ใช่คานลึก

Council of Engineers

$$\rho_{max} = 0.75 \cdot \left[\frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{600}{(600 + f_y)} \right]$$

$$= 0.75 \times \left[\frac{0.85 \times 24}{400} \times 0.85 \times \frac{600}{(600 + 400)} \right]$$

$$= 0.0195075$$

$$\rho_{min} = Max. \left\{ \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y}, \frac{1.4}{f_y} \right\}$$

$$= Max. \left\{ \frac{\sqrt{24}}{4 \times 400}, \frac{1.4}{400} \right\}$$

$$= Max. \{0.003062, 0.0035\} = 0.0035$$

$$M_{n-max} = \rho_{max} \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho_{max} \cdot f_y}{1.70 \cdot f'_c} \right) \cdot b \cdot d^2$$

$$= 0.0195075 \times 400 \times \left(1 - \frac{0.0195075 \times 400}{1.70 \times 24} \right) \times 200 \times 425^2$$

$$= 227{,}973{,}179 \quad N \cdot mm$$

$$= 227.97 \quad kN \cdot m$$

$$\frac{M_u}{\phi} = \frac{176.70}{0.90} = 196.33 \quad kN \cdot m$$

$$\frac{M_u}{\phi} < M_{n-max} \quad \text{Single reinforcement}$$

$$A_s = \left(\frac{0.85 \cdot f'_c}{f_y}\right) \cdot (b \cdot d) \cdot \left(1 - \sqrt{\left(1 - \left(\frac{2}{0.85 \cdot f'_c}\right) \cdot \left(\frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2}\right)\right)}\right)$$

$$= \left(\frac{0.85 \times 24}{400}\right) \times (200 \times 425) \times \left(1 - \sqrt{\left(1 - \left(\frac{2}{0.85 \times 24}\right) \times \left(\frac{196.33 \times 10^6}{200 \times 425^2}\right)\right)}\right)$$

$$= 1{,}372 \quad mm^2$$

(use 2-DB25mm+2-DB16mm, A_s = 1,384 mm^2)

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{1{,}384}{200 \times 425} = 0.016282$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \quad \textbf{\textit{Ans}}$$

ตัวอย่างที่ 3 จงคำนวณหาเหล็กเสริม ถ้าคานดังตัวอย่างที่ 2 ต้องรับน้ำหนักบรรทุกจร 90 kN/m (กำหนด $d = 415\ mm$, $d' = 50\ mm$) $f'_c = 24\ MPa$, $f_y = 400\ MPa$

$M_{DL} = (200x500x10^{-6}x24) \times (4)^2/8$

$= 4.80 \quad kN \cdot m$

$M_{LL} = 90 \times (4)^2/8$

$= 180 \quad kN \cdot m$

$M_u = 1.4\ M_{DL} + 1.7\ M_{LL}$

$= (1.4 \times 4.80) + (1.7 \times 180)$

$= 312.70 \quad kN \cdot m$

$$\frac{M_u}{\phi} = \frac{312.70}{0.90} = 347.44 \quad kN \cdot m$$

$$M_{n-max} = \rho_{max} \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho_{max} \cdot f_y}{1.70 \cdot f'_c}\right) \cdot b \cdot d^2$$

$$= 0.0195075 \times 400 \times \left(1 - \frac{0.0195075 \times 400}{1.70 \times 24}\right) \times 200 \times 415^2$$

$$= \quad 217{,}371{,}243 \qquad N \cdot mm$$

$$= \quad 217.37 \qquad kN \cdot m$$

$$\frac{M_u}{\phi} > M_{n-max} \qquad \text{Double reinforcement}$$

กำหนด

$$M_{n1} = 217.37 \qquad kN \cdot m$$

$$M_{n2} = \frac{312.70}{0.90} - 217.37$$

$$= \quad 130.07 \qquad kN \cdot m$$

$$A_{s1} = \rho_{max} \cdot b \cdot d$$

$$= \quad 0.0195075 \times 200 \times 415$$

$$= \quad 1{,}619 \qquad mm^2$$

$$A_{s2} = \frac{M_{n2}}{f_y \cdot (d - d')}$$

$$= \quad \frac{130.07 \times 10^6}{400 \times (415 - 50)}$$

$$= \quad 891 \qquad mm^2$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

$$= 1{,}619+891 = 2{,}510 \quad mm^2$$

(use 2-DB32mm+2-DB25mm, A_s = 2,590 mm^2)

หาค่า A'_s

$$f'_s = 600 \cdot \left(1 - \frac{\beta_1 \cdot d'}{a}\right) \leq f_y$$

โดย

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$a = \frac{1{,}619 \times 400}{0.85 \times 24 \times 200} = 158.7 \quad mm$$

$$f'_s = 600 \times \left(1 - \frac{0.85 \times 50}{158.7}\right) = 439.3 > 400 \quad MPa$$

ดังนั้น

$$f'_s = f_y = 400 \quad MPa$$

$$A'_s = A_{s2} = 891 \quad mm^2$$

(use 2-DB25mm, A_s = 982 mm^2)

Council of Engineers

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{2{,}590}{200 \times 415} = 0.031205$$

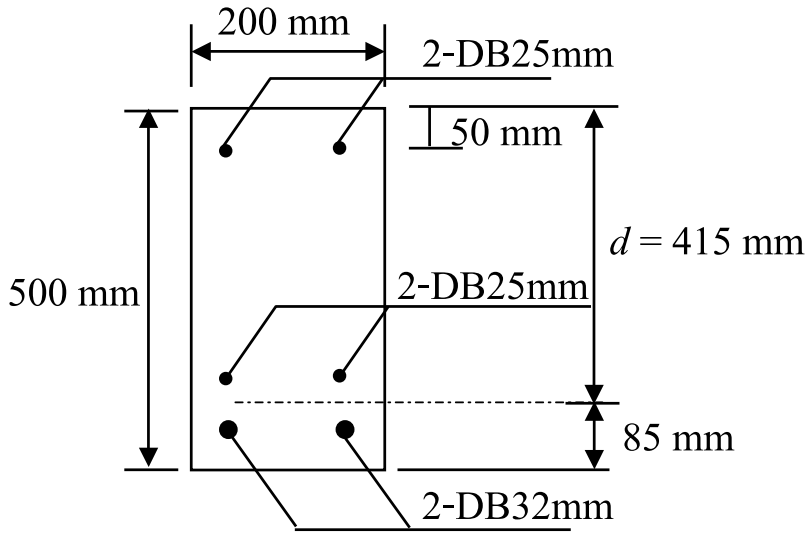
$$\rho' = \frac{A'_s}{b_w \cdot d} = \frac{982}{200 \times 415} = 0.011831$$

$$\rho_{max} = 0.75 \cdot \rho_b + \rho' \cdot \frac{f'_s}{f_y}$$

$$= 0.0195075 + 0.011831$$

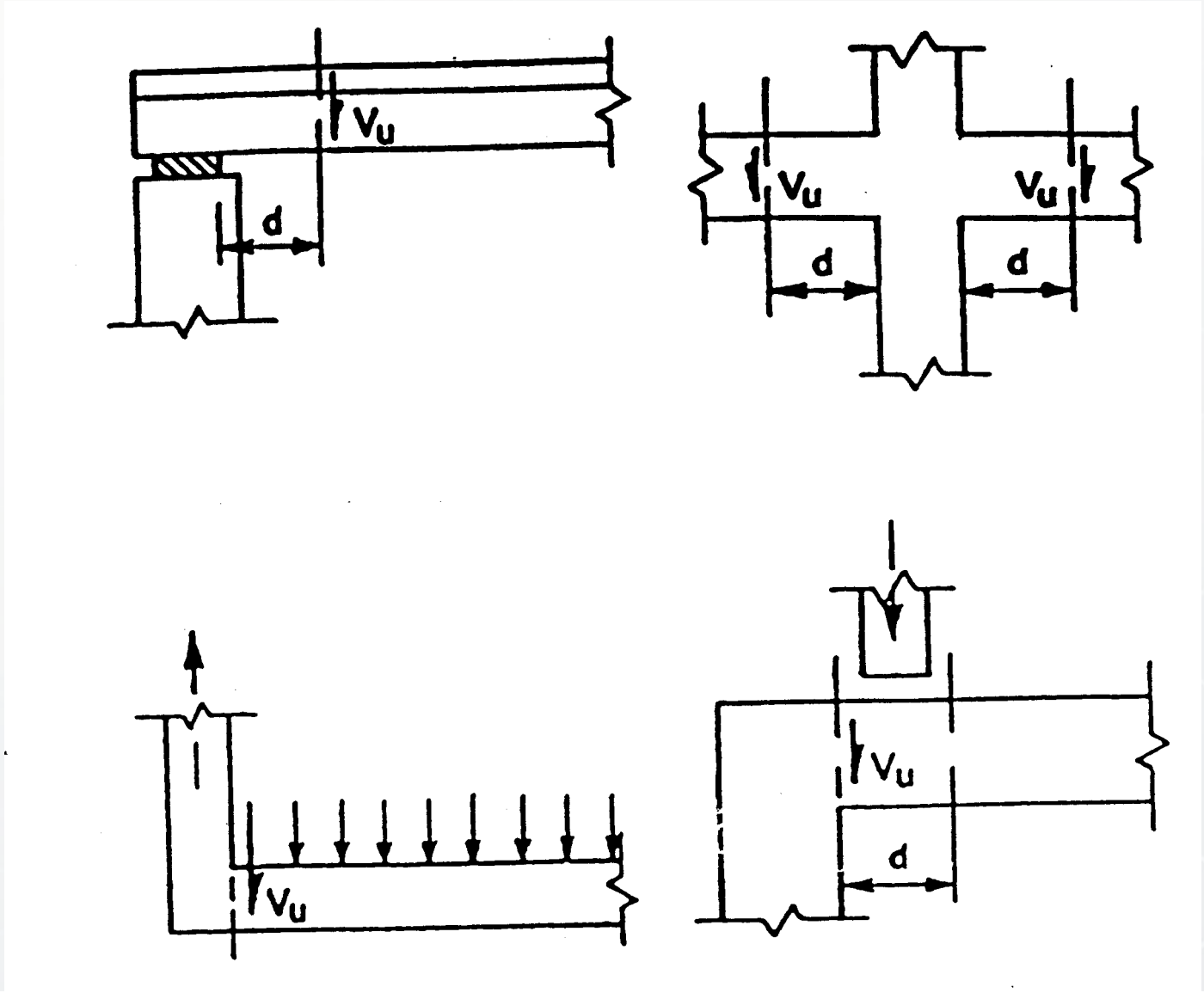
$$= 0.0313385$$

$$\rho < \rho_{max}$$ **o.k.**



Council of Engineers

คานรับแรงเฉือน (ตำแหน่งหน้าตัดวิกฤติ)



1. $V_u \leq \phi \cdot V_n$

โดยที่ V_u : สูงสุดที่ระยะ d จากขอบที่รองรับ

$\phi = 0.85$

$V_n = V_c + V_s$

โดยที่ V_c = กำลังต้านทานแรงเฉือนโดยคอนกรีต

V_s = กำลังต้านทานแรงเฉือนโดยเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

$\sqrt{f'_c} \leq \frac{25}{3}$ MPa

นอกจาก $A_v \geq Min.\left\{\frac{f'_c}{35}\cdot\left(\frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y}\right), \frac{b_w \cdot s}{f_y}\right\}$

4. คำนวณกำลังต้านทานแรงเฉือนโดยคอนกรีต V_c

4.1 การคำนวณโดยประมาณ

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) \cdot b_w \cdot d$$

4.2 การคำนวณโดยละเอียด

$$V_c = \frac{\left(\sqrt{f'_c} + 120 \cdot \rho_w \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u}\right)}{7} \cdot b_w \cdot d \leq 0.3 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$$

โดยที่ $\frac{V_u \cdot d}{M_u} \leq 1.0$

4.3 สำหรับตง ค.ส.ล. ยอมให้ใช้ค่า V_c สูงกว่าที่คำนวณโดยสมการดังขั้นตอน 4.2 อีกร้อยละ 10

5. แรงเฉือนซึ่งต้านโดยเหล็กเสริมรับแรงเฉือน หาได้จากสมการดังนี้

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

การคำนวณออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือนทำได้ดังนี้

5.1 เหล็กลูกตั้งที่ตั้งฉากกับแกนของชิ้นส่วนโครงสร้าง

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s}$$

5.2 เหล็กลูกตั้งที่ทำมุม α กับแกนราบ

$$V_s = A_v \cdot f_y \cdot \frac{(\sin\alpha + \cos\alpha)}{s} \cdot d$$

5.3 เหล็กเส้นเดียวหรือหลายเส้นที่ต่างงอขึ้นขนานกัน (หักคอม้า) โดยมีระยะห่างจากที่รองรับเท่ากัน

$$V_s = A_v \cdot f_y \cdot \sin\alpha \leq \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{4}\right) \cdot b_w \cdot d$$

Council of Engineers

5.4 กรณีเหล็กคอม้าประกอบด้วยเหล็กหลายเส้นหรือหลายกลุ่มที่ขนานกัน และมีระยะเรียงเท่ากัน โดยงอขึ้นที่ระยะห่างจากที่รองรับเป็นระยะต่างๆ กันให้คำนวณหาระยะห่าง (s) โดยใช้สมการเดียวกับขั้นตอนที่ 5.2

5.5 กรณีมีเหล็กเสริมรับแรงเฉือนหลายชนิด V_s ได้จากผลรวมของ V_s ซึ่งได้จากเหล็กเสริมรับแรงเฉือนแต่ละชนิด

5.6 ค่าสูงสุดที่ยอมให้สำหรับ V_s

$$V_s \leq \left(2 \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{3}\right) \cdot b_w \cdot d$$

5.7 $f_y \leq 420\ MPa$

Council of Engineers

6. หาระยะเรียงของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

6.1 ระยะของเหล็กเสริมในกรณี

$$0.50 \cdot \phi \cdot V_c \quad < \quad V_u \quad \leq \quad \phi \cdot V_c$$

$$s \quad = \quad \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w}$$

แต่ต้องไม่เกินค่าน้อยกว่าระหว่าง $\frac{d}{2}$ หรือ 600 มิลลิเมตร ยกเว้น

1. พื้นและฐานราก
2. ตงคอนกรีตตามที่นิยามใน ACI 8.11
3. คานที่มีคานลึกทั้งหมดไม่เกินค่าที่มากที่สุดระหว่าง 250 มิลลิเมตร หรือ 2.5 เท่าของความหนาปีก ($2.5 \cdot h_f$) หรือครึ่งหนึ่งของความกว้างตัวคาน ($\frac{b_w}{2}$)

Council of Engineers

6.2 ระยะเรียงเหล็กลูกตั้งกรณี

$$\phi \cdot V_c \quad < \quad V_u \quad \leq \quad \left[\phi \cdot V_c + min\,\phi \cdot V_s\right]$$

$$min\,\phi \cdot V_s = \frac{\phi \cdot b_w \cdot d}{3}$$

$$s = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w}$$

แต่ต้องไม่เกินค่าน้อยกว่าระหว่าง $\frac{d}{2}$ หรือ 600 มิลลิเมตร

Council of Engineers

6.3 ระยะเรียงของเหล็กลูกตั้งกรณี

$$\left[\phi \cdot V_c + min\,\phi \cdot V_s\right] \quad < \quad V_u \quad \leq \quad \left[\phi \cdot V_c + \phi \cdot \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{3}\right) \cdot b_w \cdot d\right]$$

ให้คำนวณหาระยะเรียงเหล็กปลอก

$$V_s \quad = \quad \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$s \quad = \quad \frac{A_v \cdot f_y \cdot (sin\,\alpha + cos\,\alpha) \cdot d}{V_s}$$

หรือ $\quad s \quad = \quad \dfrac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \qquad ; \quad \alpha \; = \; 90^\circ$

โดยที่ s : จะต้องไม่เกินค่าน้อยกว่าระหว่าง $\frac{d}{2}$ หรือ 600 มิลลิเมตร

Council of Engineers

6.4 ระยะเรียงของเหล็กลูกตั้งกรณี

$$\left[\phi \cdot V_c + \phi \cdot \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{3}\right) \cdot b_w \cdot d\right] < V_u \leq \left[\phi \cdot V_c + \phi \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'}\right) \cdot b_w \cdot d\right]$$

ให้คำนวณหาระยะเรียงเหล็กปลอก

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

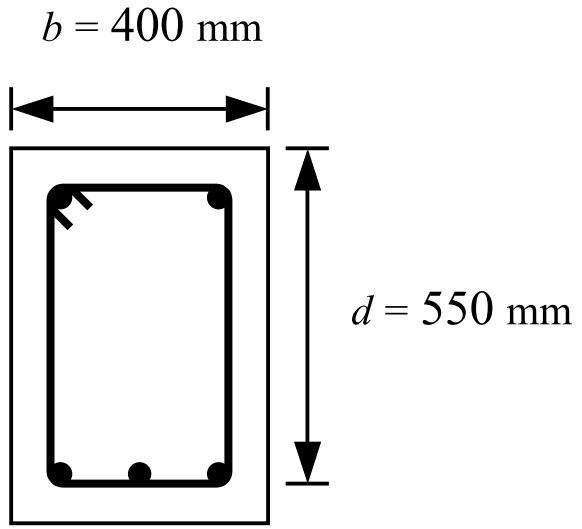
$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot (\sin\alpha + \cos\alpha) \cdot d}{V_s}$$

หรือ $$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad ; \quad \alpha = 90^\circ$$

โดยที่ s : จะต้องไม่เกินค่าน้อยกว่าระหว่าง $\frac{d}{4}$ หรือ 300 มิลลิเมตร

Council of Engineers

ตัวอย่างที่ 1 คานช่วงเดียวแบบธรรมดาความยาวช่วง 6.00 เมตร ที่รองรับกว้าง 0.40 เมตร ขนาดแสดงดังรูป รับน้ำหนักบรรทุกคงที่ 20 กิโลนิวตันต่อเมตร (รวมน้ำหนักคานแล้ว) และน้ำหนักบรรทุกจร 50 กิโลนิวตันต่อเมตร ใช้เหล็กปลอกตั้งฉากกับแกนของคานเป็นเหล็กเส้นกลมผิว เรียบ SR24 ($f_y = 240\ MPa$) และใช้คอนกรีต $f'_c = 24\ \ MPa$



วิธีทำ w_u = 1.4x20+1.7x50 = 113 kN/m

ที่ระยะ d จากขอบของที่รองรับ

V_u = 113 x6/2-(0.55+0.20)x113= 254.25 kN

$$V_c = \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) \cdot b_w \cdot d$$

$$= \left(\frac{\sqrt{24}}{6}\right) \times 400 \times 550 / 1{,}000 = 179.63 \text{ kN}$$

$\phi \cdot V_c$ = 0.85x179.63 = 152.68 kN

$\phi \cdot V_c < V_u$ ต้องคำนวณเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

Council of Engineers

$$\left[\phi \cdot V_c + min\,\phi \cdot V_s\right] = \left[\phi \cdot V_c + \frac{\phi \cdot b_w \cdot d}{3}\right]$$

$$= \left[152.68 + \frac{0.85 \times 400 \times 550}{3 \times 1{,}000}\right]$$

$$= 152.68 + 62.33 = 215.01 \quad kN$$

$$\left[\phi \cdot V_c + \phi \cdot \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{3}\right) \cdot b_w \cdot d\right] = \left[152.68 + \frac{0.85 \times \sqrt{24} \times 400 \times 550}{3 \times 1{,}000}\right]$$

$$= 152.68 + 305.37 = 458.05 \quad kN$$

เข้าข่าย $\left[\phi \cdot V_c + min\,\phi \cdot V_s\right] < V_u \leq \left[\phi \cdot V_c + \phi \cdot \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{3}\right) \cdot b_w \cdot d\right]$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{254.25}{0.85} - 179.63 = 119.49 \ kN$$

เลือกใช้เหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร

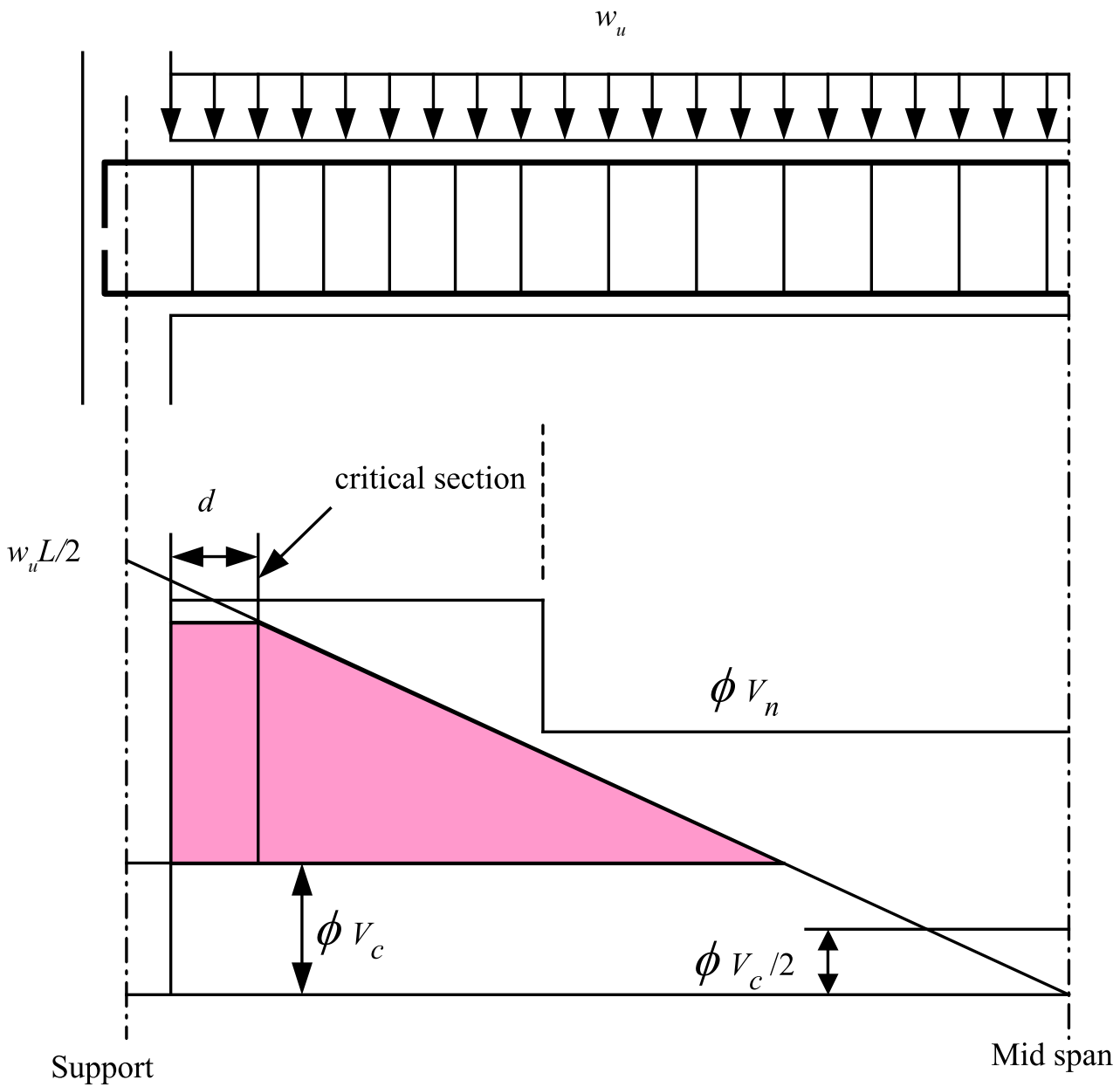
(RB9mm, $A_v = 2\text{x}63.6 = 127.2 \ mm^2$)

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$= \frac{127.2 \times 240 \times 550}{119.49 \times 1{,}000} = 141 \ mm$$

ใช้ระยะเรียง 125 *mm* (ไม่เกิน 550/2 หรือ 600 *mm*)

ดังนั้น ใช้เหล็กปลอก RB9mm@0.125m ***Ans***


w_u
critical section
d
$w_u L/2$
ϕV_n
ϕV_c
$\phi V_c/2$
Support
Mid span

Council of Engineers

ตัวอย่างที่ 2 ออกแบบเหล็กปลอกสำหรับตรงกลางช่วงคานของคานในตัวอย่างที่ 1

วิธีทำ

เลือกใช้เหล็กปลอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร

(RB9mm, A_v = 2x63.6 = 127.2 mm^2) ที่ระยะเรียงสำหรับเหล็กปลอกปริมาณน้อยสุด คือเลือกหาตำแหน่งในช่วงคานที่มีค่าของ

$$V_u = \left[\phi \cdot V_c + min\,\phi \cdot V_s\right]$$

ดังนั้นที่ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนน้อยสุด

$$s = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w}$$

$$= \frac{3 \times 127.2 \times 240}{400} = 228.96 \ mm$$

ใช้ระยะเรียง 225 mm (ไม่เกิน 550/2 หรือ 600 mm)

ดังนั้น $V_u = 215.01\ kN$

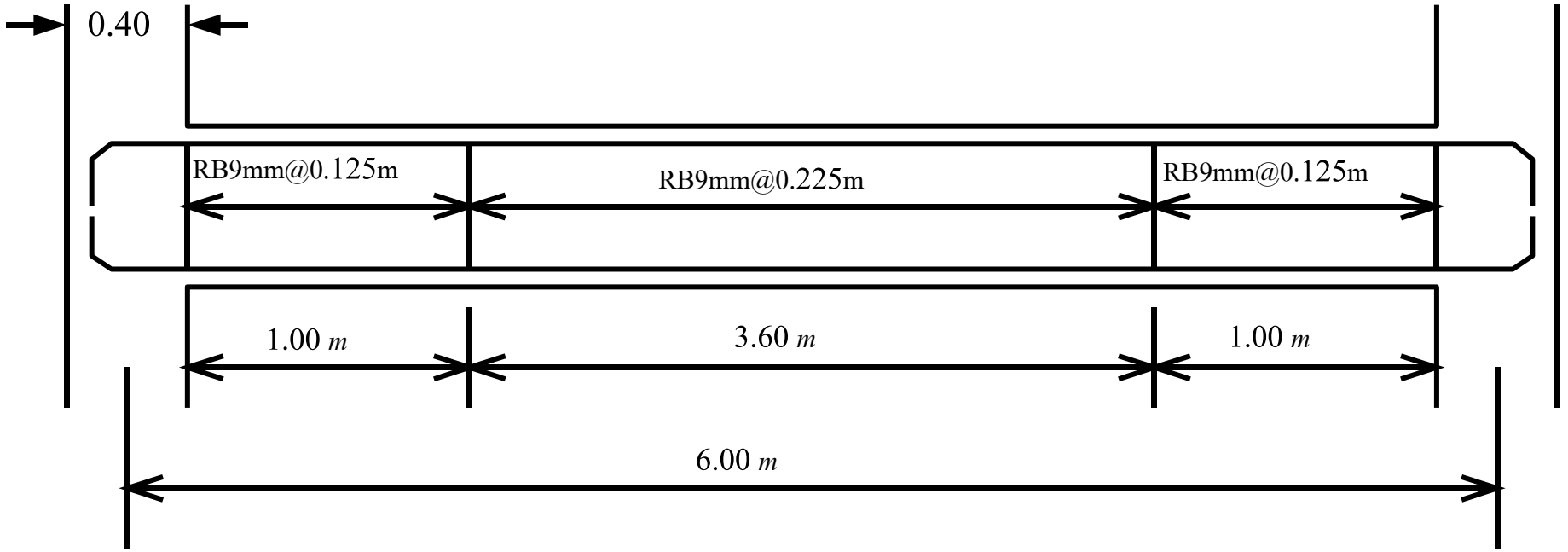
ที่ระยะ x ใด ๆ จากศูนย์กลางที่รองรับ

$$V_u = 113\ (6/2) - 113(x)$$

$$215.01 = 113(6/2) - 113(x)$$

$$x = 1.10\ m$$ (หรือ 0.90 m จากขอบที่รองรับ)

ดังนั้น ใช้เหล็กปลอก RB9mm@0.225m จากกึ่งกลางคานเข้าหาที่รองรับเป็นระยะ 1.8 0 เมตรทั้งสองด้าน (ห่างจากขอบที่รองรับ 1.00 เมตร) ส่วนที่เหลือใช้เหล็กปลอก RB9mm@0.125m แสดงดังรูป


0.40
RB9mm@0.125m
RB9mm@0.225m
RB9mm@0.125m
1.00 m
3.60 m
1.00 m
6.00 m

Council of Engineers

ตัวอย่างองค์อาคารวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

Council of
Engineers