3. คำนวณกำลังเฉือนที่ต้องการจากเหล็กปลอก

$$V_s = V_n - V_c \tag{6.19}$$

4. ตรวจสอบกำลังเฉือนมากที่สุด ว่าหน้าตัดมีขนาดจะรับได้หรือไม่?

$$V_s \leq 2.1\sqrt{f_c'}\, b_w d \tag{6.20}$$

5. เลือกเหล็กปลอก (A_v) เพื่อคำนวณระยะห่าง s ที่ต้องการ

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} \tag{6.21}$$

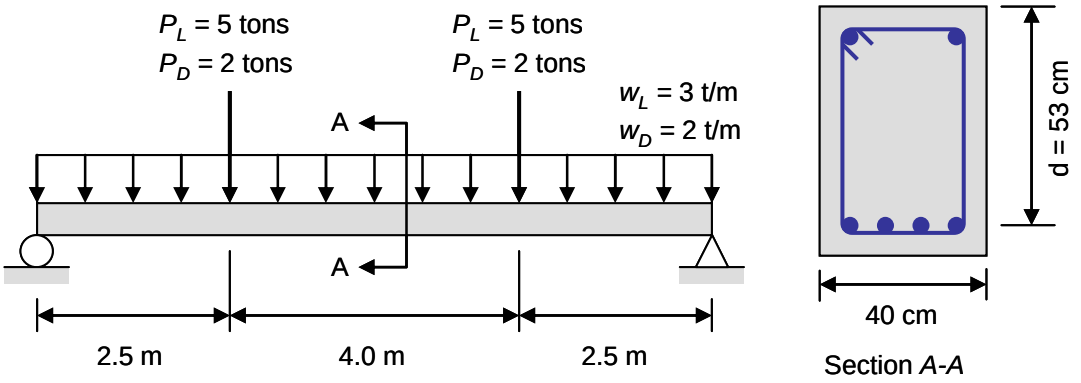
6. ระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุดจากปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนน้อยที่สุด

$$s_{\max} = \frac{A_v f_y}{0.2\sqrt{f_c'}\, b_w} \leq \frac{A_v f_y}{3.5 b_w} \tag{6.14}$$

7. ระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุดตามค่า V_s

- เมื่อ $V_s \leq 1.1\sqrt{f_c'}\, b_w d$ ให้ใช้ค่า $s_{\max} = d/2 \leq 60$ ซม.
- เมื่อ $1.1\sqrt{f_c'}\, b_w d < V_s \leq 2.1\sqrt{f_c'}\, b_w d$ ให้ใช้ค่า $s_{\max} = d/4 \leq 30$ ซม.

ตัวอย่างที่ 6.1 ออกแบบเหล็กปลอกรับแรงเฉือนในคานช่วงเดี่ยวดังแสดงในรูปที่ 6.16 กำลังคอนกรีต f_c' = 280 ก.ก./ซม.^{2} ใช้เหล็กปลอก DB10 กำลังเหล็กเสริมรับการดัด 4,000 ก.ก./ซม.^{2}



รูปที่ 6.16 คานช่วงเดี่ยวและหน้าตัดสำหรับตัวอย่างที่ 6.1

วิธีทำ

1. คำนวณแรงเฉือนประลัย

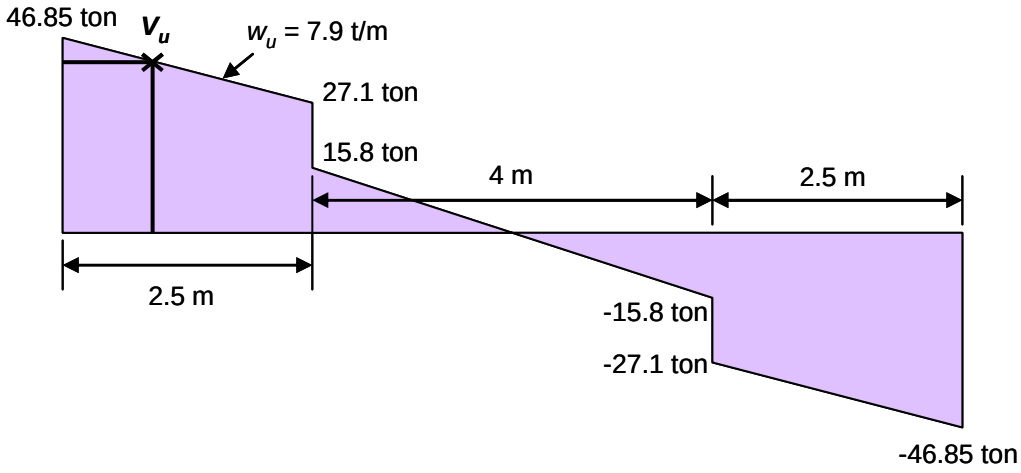
น้ำหนักแผ่ประลัย w_u = 1.4(2) + 1.7(3) = 7.9 ตัน/เมตร

น้ำหนักประลัย P_u = 1.4(2) + 1.7(5) = 11.3 ตัน

เขียนแผนภูมิแรงเฉือนดังแสดงในรูปที่ 6.17

สมมุติความกว้างเสาที่จุดรองรับกว้าง 30 ซม. คำนวณแรงเฉือนที่ระยะ d จากผิวจุดรองรับ

V_u/ϕ ที่ระยะ d = (46.85 – 7.9(0.15 + 0.53))/0.85 = 48.80 ตัน



รูปที่ 6.17 แผนภูมิแรงเฉือนสำหรับตัวอย่างที่ 6.1

2. คำนวณกำลังเฉือนคอนกรีต V_c

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c'}\, b_w d = 0.53\sqrt{280}\times 40\times 53/1{,}000 = 18.80 \text{ ตัน}$$

3. คำนวณกำลังเฉือนที่ต้องการจากเหล็กปลอก V_s

$$V_s = V_u/\phi - V_c = 48.80 - 18.80 = 30.00 \text{ ตัน}$$

4. คำนวณกำลังเฉือน V_s มากที่สุด ว่าหน้าตัดมีขนาดเพียงพอหรือไม่?

$$V_{s,\max} = 2.1\sqrt{f_c'}\, b_w d = 2.1\sqrt{280}\times 40\times 53/1{,}000 = 74.50 \text{ ตัน}$$

เนื่องจาก V_s ที่ต้องการที่ระยะ d = 30.00 ตัน มีค่าไม่เกิน $V_{s,\max}$ = 74.50 ตัน

ดังนั้นหน้าตัดมีขนาดเพียงพอ

ตรวจสอบ $1.1\sqrt{f_c'}\, b_w d = 1.1\sqrt{280}\times 40\times 53/1{,}000 = 39.02$ ตัน $> V_s$

เนื่องจาก $V_s < 1.1\sqrt{f_c'}\, b_w d$ ดังนั้น $s_{\max} = d/2 = 53/2 = 26.5$ ซม. < 60 ซม. **s_{max} = 26 ซม.**

5. คำนวณระยะห่างเหล็กปลอกที่ต้องการ

ลองใช้เหล็ก DB10 ปลอกปิด(สองขา) $A_v = 2(0.785) = 1.57$ ซม.^{2} มีกำลังคราก f_y = 4,000 ก.ก./ซม.^{2}

ระยะห่างเหล็กปลอกที่ต้องการที่ระยะ d จากผิวของจุดรองรับคือ

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{1.57\times 4.0\times 53}{30.00} = 11 \text{ ซม.}$$

ดังนั้นเลือกใช้เหล็กปลอก DB10 @ 0.11 ม. ที่ระยะ d จากผิวจุดรองรับ

6. คำนวณระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด ตามปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนน้อยที่สุด

$$s_{\max} = \frac{A_v f_y}{0.2\sqrt{f_c'}\, b_w} = \frac{1.57\times 4{,}000}{0.2\sqrt{280}\times 40} = 47 \text{ ซม.}$$

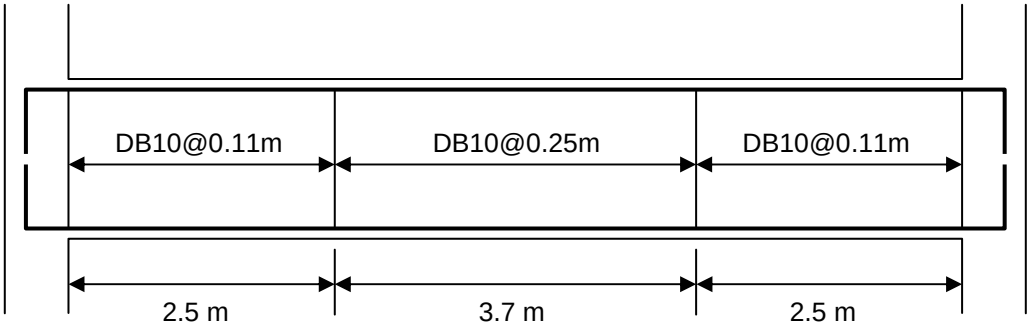
และต้องไม่เกิน $s_{\max} = \dfrac{A_v f_y}{3.5 b_w} = \dfrac{1.57\times 4{,}000}{3.5\times 40} = 45$ ซม. **s_{max} = 45 ซม.**

ดังนั้น DB10 @ 0.11 ม. ที่เลือกไว้ใช้ได้ แต่ค่อนข้างถี่จึงควรเพิ่มระยะขึ้น เมื่อแรงเฉือนที่มากระทำลดลงสำหรับหน้าตัดที่อยู่ห่างมากกว่าระยะ d จากผิวจุดรองรับ

6. ออกแบบเหล็กปลอกสำหรับระยะ x > 2.5 เมตร V_u/ϕ = 15.8/0.85 = 18.6 ตัน

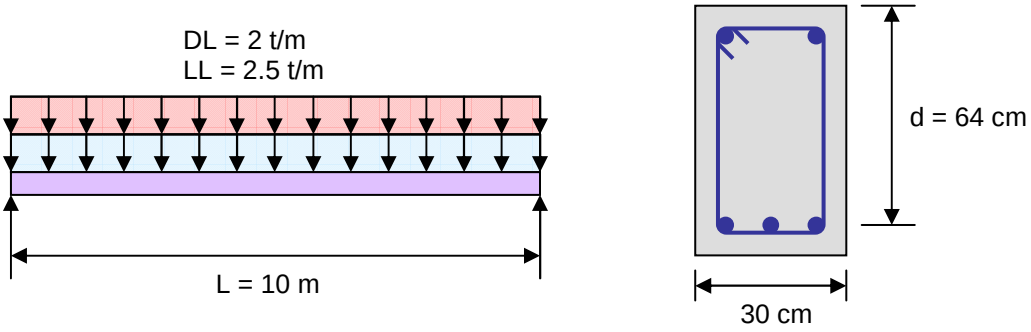
เนื่องจากค่ากำลังเฉือนที่ต้องการ V_u/ϕ = 18.6 ตัน น้อยกว่ากำลังเฉือนคอนกรีต V_c = 18.8 ตัน ดังนั้นใช้ปริมาณเหล็กน้อยที่สุดหรือ s_{max} ที่ควบคุมคือ $d/2$ = 53/2 = 26.5 ซม.

เลือกใช้เหล็กปลอก DB10@0.25



รูปที่ 6.18 การจัดวางเหล็กปลอกรับแรงเฉือนสำหรับตัวอย่างที่ 6.1

ตัวอย่างที่ 6.2 คานช่วงเดี่ยวในรูปที่ 6.19 รองรับน้ำหนักคงที่ 2 ตัน/เมตร (รวมน้ำหนักตัวเอง) และน้ำหนักจร 2.5 ตัน/เมตร ให้ออกแบบเหล็กปลอกสำหรับคานนี้ กำลังคอนกรีต f_c' = 250 ก.ก./ซม.^{2} กำลังเหล็กเสริมรับการดัด 4,000 ก.ก./ซม.^{2}



รูปที่ 6.19 คานช่วงเดี่ยวและหน้าตัดสำหรับตัวอย่างที่ 6.2

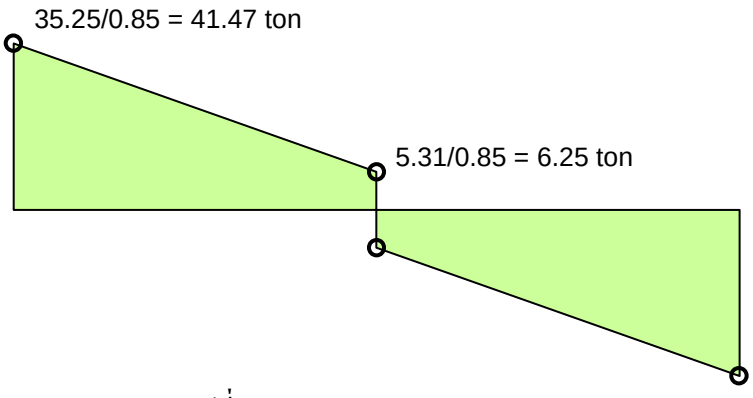
วิธีทำ

1. คำนวณ shear force envelope สำหรับออกแบบการเฉือน

น้ำหนักประลัยทั้งหมด w_u = 1.4(2) + 1.7(2.5)	=	7.05	ตัน/เมตร
น้ำหนักจรประลัย w_{Lu} = 1.7(2.5)	=	4.25	ตัน/เมตร
แรงเฉือนประลัยที่ปลายคาน $w_uL/2$ = 7.05(10)/2	=	35.25	ตัน
แรงเฉือนประลัยที่กลางช่วงคาน $w_{Lu}L/8$ = 4.25(10)/8	=	5.31	ตัน

เนื่องจากคานรับน้ำหนักบนหลังคานและจุดรองรับอยู่ด้านล่าง สมมุติจุดรองรับกว้าง 40 ซม. หน้าตัดวิกฤตอยู่ที่ระยะ d = 64 ซม. จากผิวจุดรองรับ แรงเฉือนมีค่าเท่ากับ

V_u/ϕ ที่ระยะ d = 41.47 – (0.84/5)(41.47 – 6.25)	=	35.55	ตัน

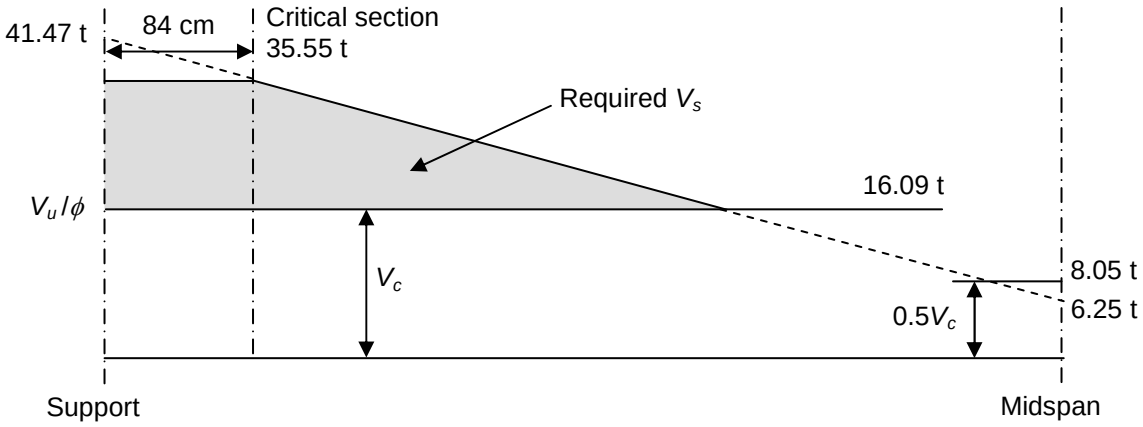


รูปที่ 6.20 shear force envelope V_u/ϕ

2. คำนวณกำลังเฉือนคอนกรีต V_c

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c'}\,b_w d = 0.53\sqrt{250}\times 30\times 64/1{,}000 = 16.09 \text{ ตัน}$$

เขียนแรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤตและกำลังเฉือนคอนกรีตลงใน shear force envelope พื้นที่ส่วนที่เกิน V_c ขึ้นมาคือ V_s คือส่วนที่ต้องการเหล็กปลอกมาช่วยรับแรงเฉือน บางช่วงของคานแม้ไม่ต้องการ V_s ก็ยังคงต้องใส่เหล็กปลอกในปริมาณน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.21 แผนภูมิแรงเฉือนที่ใช้ในการออกแบบ

3. คำนวณกำลังเฉือนที่ต้องการจากเหล็กปลอก V_s

$$V_s = V_u/\phi - V_c = 35.55 - 16.09 = 19.46 \text{ ตัน}$$

4. คำนวณกำลังเฉือน V_s มากที่สุด ว่าหน้าตัดมีขนาดเพียงพอหรือไม่?

$$V_{s,\max} = 2.1\sqrt{f_c'}\,b_w d = 2.1\sqrt{250}\times 30\times 64/1{,}000 = 63.75 \text{ ตัน}$$

เนื่องจาก V_s ที่ต้องการที่ระยะ d = 19.46 ตัน มีค่าไม่เกิน $V_{s,\max}$ = 63.75 ตัน

ดังนั้นหน้าตัดมีขนาดเพียงพอ

ตรวจสอบ $1.1\sqrt{f_c'}\,b_w d = 1.1\sqrt{250}\times 30\times 64/1{,}000 = 33.39 \text{ ตัน} > V_s$

เนื่องจาก $V_s < 1.1\sqrt{f_c'}\,b_w d$ ดังนั้น $s_{\max} = d/2 = 64/2 = 32$ ซม. < 60 ซม. **$s_{\max}$ = 32 ซม.**

5. คำนวณระยะห่างเหล็กปลอกที่ต้องการ

ลองใช้เหล็ก RB9 ปลอกปิด(สองขา) $A_v = 2(0.636) = 1.27$ ซม.^{2} มีกำลังคราก $f_y = 2{,}400$ ก.ก./ซม.^{2}

ระยะห่างเหล็กปลอกที่ต้องการที่ระยะ d จากผิวของจุดรองรับคือ

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{1.27 \times 2.4 \times 64}{19.46} = 10.02 \text{ ซม.}$$

ดังนั้นเลือกใช้เหล็กปลอก RB9 @ 0.10 ม. ที่ระยะ d จากผิวจุดรองรับ

6. คำนวณระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด จากปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนน้อยที่สุด

$$s_{\max} = \frac{A_v f_y}{0.2\sqrt{f_c'}\, b_w} = \frac{1.27 \times 2{,}400}{0.2\sqrt{250} \times 30} = 32 \text{ ซม.}$$

และต้องไม่เกิน $s_{\max} = \dfrac{A_v f_y}{3.5 b_w} = \dfrac{1.27 \times 2{,}400}{3.5 \times 30} = 29$ ซม. **s_{max} = 29 ซม.**

ดังนั้น RB9 @ 0.10 ม. ที่เลือกไว้ใช้ได้ แต่ค่อนข้างถี่จึงควรเพิ่มระยะขึ้นเป็น 15 ซม. เมื่อแรงเฉือนที่มากระทำลดลง สำหรับหน้าตัดที่อยู่ห่างมากกว่าระยะ d จากผิวจุดรองรับ

7. คำนวณค่า V_u/ϕ และระยะที่จะใช้เหล็กปลอก RB9 @ 0.15 ม.

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{A_v f_y d}{s} + V_c = \frac{1.27 \times 2.4 \times 64}{15} + 16.09 = 29.1 \text{ ตัน}$$

พิจารณาตำแหน่งที่ $V_u/\phi = 29.1$ ตัน โดยพิจารณาจากรูปที่ 6.18 ใช้กฎสามเหลี่ยมคล้าย

$$x = \frac{41.47 - 29.1}{41.47 - 6.25} \times 500 = 176 \text{ ซม. จากจุดรองรับ}$$

บริเวณกลางช่วงคานซึ่งแรงเฉือนมีค่าน้อย เราอาจเพิ่มระยะห่างเหล็กปลอกได้จนถึง $s_{\max} = 29$ ซม.

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{A_v f_y d}{s} + V_c = \frac{1.27 \times 2.4 \times 64}{29} + 16.09 = 22.8 \text{ ตัน}$$

$$x = \frac{41.47 - 22.8}{41.47 - 6.25} \times 500 = 265 \text{ ซม. จากจุดรองรับ}$$

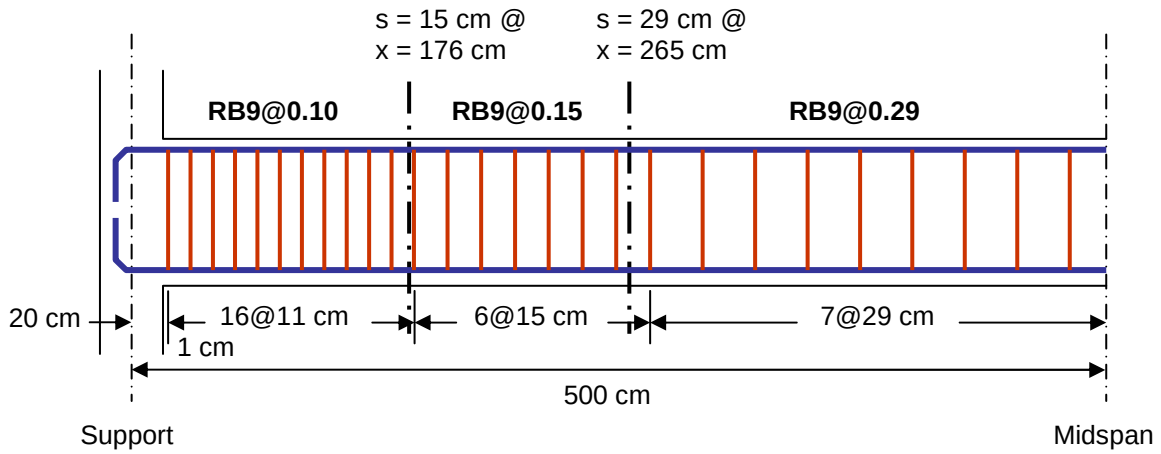
8. จัดวางเหล็กปลอกตามตำแหน่งที่คำนวณมา

โดยอาจจัดวางตามระยะที่คำนวณได้ หรือพิจารณาโดยละเอียดทีละปลอกและระยะตามจริง เช่นกำหนดให้ปลอกแรกเริ่มที่ระยะ 1 ซม. จากผิวจุดรองรับ แล้วคำนวณระยะที่ใช้จริงตามระยะห่างระหว่างปลอกไปจนถึงระยะที่คำนวณได้ โดยอาจเกินไปเล็กน้อยดังนี้

RB9 @ 0.11 ม. : 20 + 1 + 16@10 = 181 ซม. > 176 ซม. **OK**

RB9 @ 0.15 ม. : 181 + 6@15 = 271 ซม. > 265 ซม. **OK**

RB9 @ 0.29 ม. : 271 + 7@29 = 474 ซม.



รูปที่ 6.22 การใส่เหล็กปลอกในตัวอย่างที่ 6.2

6.10 การออกแบบหน้าตัดรับแรงเฉือนโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

การคำนวณโดยวิธีหน่วยแรงใช้งานสำหรับแรงเฉือนจะคล้ายกับวิธีกำลัง เริ่มจากกำลังเฉือนคอนกรีต V_c ของคานซึ่งมีความกว้าง b_w และลึก d คือ

$$V_c = \left(0.265\sqrt{f_c'} + 91.4\frac{\rho_w V d}{M}\right) b_w d \le 0.464\sqrt{f_c'}\, b_w d \qquad (6.22)$$

และ สูตรแบบง่าย $$V_c = 0.29\sqrt{f_c'}\, b_w d \qquad (6.23)$$

หากคอนกรีตมีกำลังไม่เพียงพอในการรับแรงเฉือน เมื่อมีการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนกำลังเฉือนทั้งหมดที่ยอมให้ของคานคือ

$$V = V_c + V_s \qquad (6.24)$$

เมื่อ V_c คือกำลังเฉือนของคอนกรีตที่ยอมให้ และ V_s คือกำลังเฉือนจากเหล็กรับแรงเฉือน ในกรณีของเหล็กปลอกตั้งเหล็กรับแรงเฉือนอยู่ในแนวดิ่ง V_s จะเท่ากับ

$$V_s = \frac{A_v f_v d}{s} \qquad (6.25)$$

เมื่อ A_v คือพื้นที่หน้าตัดรวมของเหล็กปลอกในแนวดิ่ง f_v คือหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ในเหล็กรับแรงเฉือนซึ่งจะเป็นไปตามข้อกำหนดของหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม และ s คือระยะห่างเหล็กปลอก

แรงเฉือนมากที่สุดที่ยอมให้ จะต้องมีค่าไม่เกิน $1.32\sqrt{f_c'}\, b_w d$ ถ้าเกินต้องเพิ่มขนาดหน้าตัด

ระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด

ค่า s_{max} ที่คำนวณจากปริมาณเหล็กรับแรงเฉือนน้อยที่สุดจะเหมือนกับวิธีกำลังคือ $\min A_v = 3.5\, b_w\, d / f_y$

$$s_{max} = \frac{A_v f_y}{3.5 b_w} \qquad (6.26)$$

และระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด $s_{max} = d/2$ และไม่น้อยกว่า 60 ซม. และเมื่อ V มีค่าเกิน $0.795\sqrt{f_c'}\, b_w d$ ให้ลดค่า s_{max} นี้ลงครึ่งหนึ่ง ดังนั้น

- เมื่อ $V \le 0.795\sqrt{f_c'}\, b_w d$ ให้ใช้ค่า $s_{max} = d/2 \le 60$ ซม.

- เมื่อ $0.795\sqrt{f_c'}\,b_w d < V \le 1.32\sqrt{f_c'}\,b_w d$ ให้ใช้ค่า $s_{\max} = d/4 \le 30$ ซม.
- เมื่อ $V > 1.32\sqrt{f_c'}\,b_w d$ ให้เพิ่มขนาดหน้าตัด

ขั้นตอนการออกแบบเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

1. พิจารณาหน้าตัดวิกฤตและคำนวณแรงเฉือน V โดยปกติจะใช้ที่ค่าที่ระยะ d จากผิวของจุดรองรับ หรือพิจารณาจาก shear force envelope
2. คำนวณกำลังเฉือนคอนกรีต ส่วนใหญ่จะใช้สูตรอย่างง่ายคือ

$$V_c = 0.29\sqrt{f_c'}\,b_w d$$

3. คำนวณกำลังเฉือนที่ต้องการจากเหล็กปลอก

$$V_s = V - V_c$$

4. ตรวจสอบกำลังเฉือนมากที่สุด ว่าหน้าตัดมีขนาดจะรับได้หรือไม่?

$$V \le 1.32\sqrt{f_c'}\,b_w d$$

5. เลือกเหล็กปลอก (A_v) เพื่อคำนวณระยะห่าง s ที่ต้องการ

$$s = \frac{A_v f_v d}{V_s}$$

6. ระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุดจากปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนน้อยที่สุด

$$s_{\max} = \frac{A_v f_y}{3.5 b_w}$$

7. ระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุดตามค่า V
   - เมื่อ $V \le 0.795\sqrt{f_c'}\,b_w d$ ให้ใช้ค่า $s_{\max} = d/2 \le 60$ ซม.
   - เมื่อ $0.795\sqrt{f_c'}\,b_w d < V \le 1.32\sqrt{f_c'}\,b_w d$ ให้ใช้ค่า $s_{\max} = d/4 \le 30$ ซม.

ตัวอย่างที่ 6.3 ออกแบบเหล็กปลอกรับแรงเฉือนโดยวิธีหน่วยแรงใช้งานในคานช่วงเดี่ยวดังแสดงในรูปที่ 6.16 กำลังคอนกรีต f_c' = 280 ก.ก./ซม.^{2} ใช้เหล็กปลอก DB10 กำลังเหล็กเสริมรับการดัด 4,000 ก.ก./ซม.^{2}

วิธีทำ

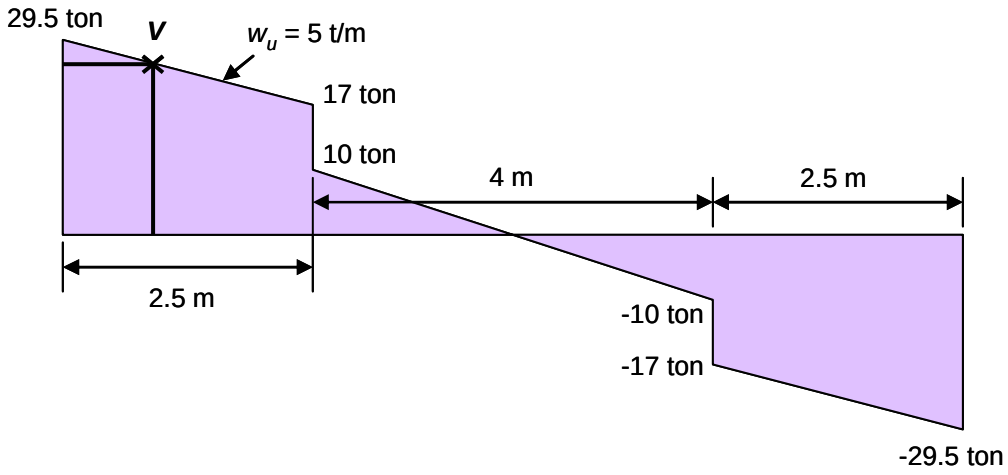
1. **คำนวณแรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต** เขียนแผนภูมิแรงเฉือนดังแสดงในรูปที่ 6.23

   สมมุติความกว้างเสาที่จุดรองรับกว้าง 30 ซม. คำนวณแรงเฉือนที่ระยะ d จากผิวจุดรองรับ

   แรงเฉือน V ที่ระยะ d = 29.5 – 5(0.15 + 0.53) = 26.10 ตัน

2. **คำนวณกำลังเฉือนคอนกรีต V_c**

$$V_c = 0.29\sqrt{f_c'}\,b_w d = 0.29\sqrt{280}\times 40\times 53/1{,}000 = 10.29 \text{ ตัน}$$



รูปที่ 6.23 แผนภูมิแรงเฉือนสำหรับตัวอย่างที่ 6.3

3. คำนวณกำลังเฉือนที่ต้องการจากเหล็กปลอก V_s

$$V_s = V - V_c = 26.10 - 10.29 = 15.81 \text{ ตัน}$$

4. คำนวณกำลังเฉือน *V* มากที่สุด ว่าหน้าตัดมีขนาดเพียงพอหรือไม่?

$$V_{\max} = 1.32\sqrt{f_c'}\, b_w d = 1.32\sqrt{280} \times 40 \times 53/1{,}000 = 46.8 \text{ ตัน}$$

เนื่องจาก *V* ที่ต้องการที่ระยะ *d* = 26.10 ตัน มีค่าไม่เกิน $V_{\max}$ = 46.8 ตัน

ดังนั้นหน้าตัดมีขนาดเพียงพอ

ตรวจสอบ $0.795\sqrt{f_c'}\, b_w d = 0.795\sqrt{280} \times 40 \times 53/1{,}000 = 28.2 \text{ ตัน} > V$

เนื่องจาก $V < 0.795\sqrt{f_c'}\, b_w d$ ดังนั้น $s_{\max} = d/2 = 53/2 = 26.5$ ซม. < 60 ซม. **$s_{\max}$ = 26 ซม.**

5. คำนวณระยะห่างเหล็กปลอกที่ต้องการ

ลองใช้เหล็ก DB10 ปลอกปิด(สองขา) $A_v = 2(0.785) = 1.57$ ซม.^{2} หน่วยแรงที่ยอมให้ f_s = 1,700 ก.ก./ซม.^{2}

ระยะห่างเหล็กปลอกที่ต้องการที่ระยะ *d* จากผิวของจุดรองรับคือ

$$s = \frac{A_v f_s d}{V_s} = \frac{1.57 \times 1.7 \times 53}{15.81} = 8.95 \text{ ซม.}$$

ดังนั้นเลือกใช้เหล็กปลอก DB10 @ 0.08 ม. ที่ระยะ *d* จากผิวจุดรองรับ

6. คำนวณระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด ตามปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนน้อยที่สุด

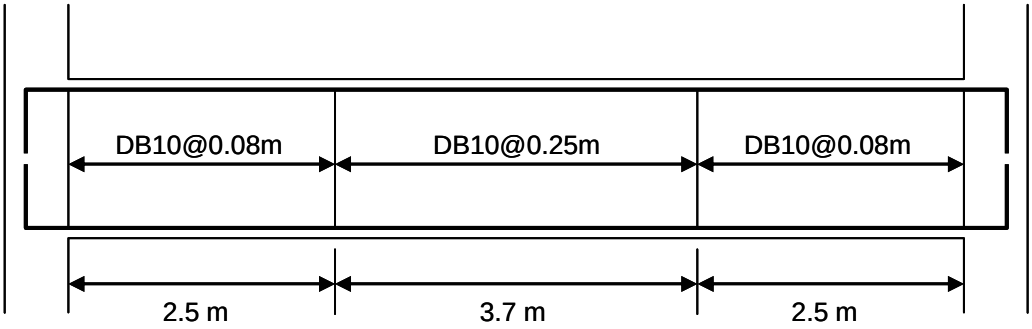
$$s_{\max} = \frac{A_v f_y}{3.5 b_w} = \frac{1.57 \times 4{,}000}{3.5 \times 40} = 45 \text{ ซม.}$$ **$s_{\max}$ = 45 ซม.**

ดังนั้น DB10 @ 0.08 ม. ที่เลือกไว้ใช้ได้ แต่ค่อนข้างถี่จึงควรเพิ่มระยะขึ้น เมื่อแรงเฉือนที่มากระทำลดลงสำหรับหน้าตัดที่อยู่ห่างมากกว่าระยะ *d* จากผิวจุดรองรับ

7. ออกแบบเหล็กปลอกสำหรับระยะ x > 2.5 เมตร V = 10 ตัน

เนื่องจากค่ากำลังเฉือนที่ต้องการ V = 10 ตัน น้อยกว่ากำลังเฉือนคอนกรีต V_c = 10.29 ตัน ดังนั้นใช้ปริมาณเหล็กน้อยที่สุดหรือ s_{max} ที่ควบคุมคือ $d/2$ = 53/2 = 26.5 ซม.

เลือกใช้เหล็กปลอก DB10@0.25



รูปที่ 6.24 การจัดวางเหล็กปลอกรับแรงเฉือนสำหรับตัวอย่างที่ 6.3

ตัวอย่างที่ 6.4 ออกแบบเหล็กรับแรงเฉือนโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน สำหรับคานช่วงเดี่ยวในตัวอย่างที่ 6.2 รองรับน้ำหนักคงที่ 2 ตัน/เมตร (รวมน้ำหนักตัวเอง) และน้ำหนักจร 2.5 ตัน/เมตร ให้ออกแบบเหล็กปลอกโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน กำลังคอนกรีต 250 ก.ก./ซม.^{2} กำลังเหล็กเสริมรับการดัด 4,000 ก.ก./ซม.^{2}

วิธีทำ

1. คำนวณ shear force envelope สำหรับออกแบบการเฉือน

น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด w = 2 + 2.5	=	4.5	ตัน/เมตร
น้ำหนักบรรทุกจร w_L	=	2.5	ตัน/เมตร
แรงเฉือนที่ปลายคาน $wL/2$ = 4.5(10)/2	=	22.5	ตัน
แรงเฉือนที่กลางช่วงคาน $w_LL/8$ = 2.5(10)/8	=	3.13	ตัน

เนื่องจากคานรับน้ำหนักบนหลังคานและจุดรองรับอยู่ด้านล่าง สมมุติจุดรองรับกว้าง 40 ซม. หน้าตัดวิกฤตอยู่ที่ระยะ d = 64 ซม. จากผิวจุดรองรับ แรงเฉือนมีค่าเท่ากับ

$$V \text{ ที่ระยะ } d \;=\; 22.5 - (0.84/5)(22.5 - 3.13) = 19.25 \text{ ตัน}$$

2. คำนวณกำลังเฉือนคอนกรีต V_c

$$V_c \;=\; 0.29\sqrt{f_c'}\, b_w d \;=\; 0.29\sqrt{250}\times 30\times 64/1{,}000 \;=\; 8.80 \text{ ตัน}$$

3. คำนวณกำลังเฉือนที่ต้องการจากเหล็กปลอก V_s

$$V_s \;=\; V - V_c \;=\; 19.25 - 8.80 \;=\; 10.45 \text{ ตัน}$$

4. คำนวณกำลังเฉือน V มากที่สุด ว่าหน้าตัดมีขนาดเพียงพอหรือไม่?

$$V_{max} \;=\; 1.32\sqrt{f_c'}\, b_w d \;=\; 1.32\sqrt{250}\times 30\times 64/1{,}000 \;=\; 40.07 \text{ ตัน}$$

เนื่องจาก V ที่ระยะ d มีค่า = 19.25 ตัน มีค่าไม่เกิน V_{max} = 40.07 ตัน

ดังนั้นหน้าตัดมีขนาดเพียงพอ

ตรวจสอบ $0.795\sqrt{f_c'}\, b_w d \;=\; 0.795\sqrt{250}\times 30\times 64/1{,}000 \;=\; 24.14$ ตัน $> V$

เนื่องจาก $V < 0.795\sqrt{f_c'}\, b_w d$ ดังนั้น $s_{\max} = d/2 = 64/2 = 32$ ซม. < 60 ซม. **s_{max} = 32 ซม.**

5. คำนวณระยะห่างเหล็กปลอกที่ต้องการ

ลองใช้เหล็ก RB9 ปลอกปิด(สองขา) $A_v = 2(0.636) = 1.27$ ซม.^{2} มีกำลังคราก $f_y = 2{,}400$ ก.ก./ซม.^{2}

ระยะห่างเหล็กปลอกที่ต้องการที่ระยะ d จากผิวของจุดรองรับคือ

$$s \;=\; \frac{A_v\, f_v\, d}{V_s} \;=\; \frac{1.27\times 1.2\times 64}{10.45} \;=\; 9.33 \text{ ซม.}$$

ดังนั้นเลือกใช้เหล็กปลอก RB9 @ 0.09 ม. ที่ระยะ d จากผิวจุดรองรับ

6. คำนวณระยะห่างเหล็กปลอกมากที่สุด จากปริมาณเหล็กเสริมรับแรงเฉือนน้อยที่สุด

$$s_{\max} = \frac{A_v\, f_y}{3.5 b_w} \;=\; \frac{1.27\times 2{,}400}{3.5\times 30} \;=\; 29 \text{ ซม.}$$ **s_{max} = 29 ซม.**

ดังนั้น RB9 @ 0.09 ม. ที่เลือกไว้ใช้ได้ แต่ค่อนข้างถี่จึงควรเพิ่มระยะขึ้นเป็น 15 ซม. เมื่อแรงเฉือนที่มากระทำลดลงสำหรับหน้าตัดที่อยู่ห่างมากกว่าระยะ d จากผิวจุดรองรับ

7. คำนวณค่า *V* และระยะที่จะใช้เหล็กปลอก RB9 @ 0.15 ม.

$$V \;=\; \frac{A_v\, f_v\, d}{s} \;+\; V_c \;=\; \frac{1.27\times 1.2\times 64}{15} \;+\; 8.80 \;=\; 15.3 \text{ ตัน}$$

พิจารณาตำแหน่งที่ $V = 15.3$ ตัน พิจารณาโดยใช้กฎสามเหลี่ยมคล้าย

$$x \;=\; \frac{22.5-15.3}{22.5-3.13}\times 500 \;=\; 186 \text{ ซม. จากจุดรองรับ}$$

บริเวณกลางช่วงคานซึ่งแรงเฉือนมีค่าน้อย เราอาจเพิ่มระยะห่างเหล็กปลอกได้จนถึง $s_{\max} = 29$ ซม.

$$V \;=\; \frac{A_v\, f_v\, d}{s} \;+\; V_c \;=\; \frac{1.27\times 1.2\times 64}{29} \;+\; 8.80 \;=\; 12.2 \text{ ตัน}$$

$$x \;=\; \frac{22.5-12.2}{22.5-3.13}\times 500 \;=\; 266 \text{ ซม. จากจุดรองรับ}$$

8. จัดวางเหล็กปลอกตามตำแหน่งที่คำนวณมา

โดยอาจจัดวางตามระยะที่คำนวณได้ หรือพิจารณาโดยละเอียดทีละปลอกและระยะตามจริง เช่นกำหนดให้ปลอกแรกเริ่มที่ระยะ 1 ซม. จากผิวจุดรองรับ แล้วคำนวณระยะที่ใช้จริงตามระยะห่างระหว่างปลอกไปจนถึงระยะที่คำนวณได้โดยอาจเกินไปเล็กน้อยดังนี้

RB9 @ 0.09 ม. : 20 + 1 + 19@9 = 192 ซม. > 186 ซม. **OK**

RB9 @ 0.15 ม. : 192 + 5@15 = 267 ซม. > 266 ซม. **OK**

RB9 @ 0.29 ม. : 267 + 8@29 = 499 ซม.