Timber and Steel Design

Lecture 4 - Design of Tension Members

- Selection of Sections
- Built-Up Members
- Rods and Cables
- Sag Rods

Mongkol JIRAVACHARADET

SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

INSTITUTE OF ENGINEERING

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

Selection of Sections

$T = 0.60 F_y A_g$

$$\min A_g = \frac{T}{0.60F_y}$$

$T = 0.50 F_u A_e$

$$\min A_e = \frac{T}{0.50F_u}$$

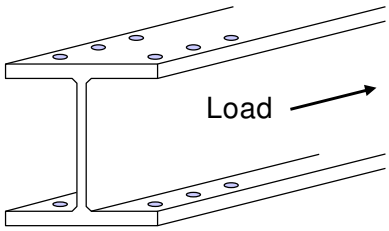
$$\min A_n = \frac{\min A_e}{U} = \frac{T}{0.50F_uU}$$

$$\min A_g = \frac{T}{0.50F_uU} + \text{พื้นที่รูเจาะ}$$

Slenderness ratio: (tension members)

$$\frac{L}{r} \le 300 \longrightarrow \min r = \frac{L}{300}$$

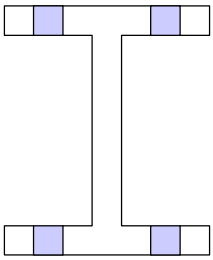
ตัวอย่างที่ 4-1 เลือกหน้าตัด W300 ยาว 8 เมตรของเหล็ก A36 เพื่อรับแรงดึง 100 ตัน องค์อาคารมีสลักเกลียวสองแถวในแต่ละปีก สลักเกลียวขนาด 22 ม.ม.(สามตัวในแต่ละแถว)



วิธีทำ คำนวณค่าน้อยสุดของ $\mathbf{A_g}$ ที่ต้องการ:

$$\min A_g = \frac{T}{0.60F_y} = \frac{100}{0.60(2.5)} = 66.7 \text{ cm}^2$$

สมมุติ $\mathbf{U} = 0.90$ จากตารางหน้าตัด W300 ลองเลือก $\mathbf{t_f} = 14$ ม.ม.

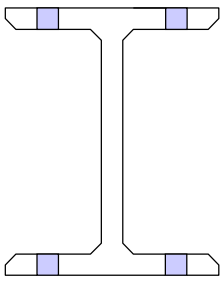


$$\min A_g = \frac{100}{0.50(4.0)(0.90)} + 4(2.2+0.3)(1.4) = 69.6 \text{ cm}^2$$

$$\min r = \frac{L}{300} = \frac{8(100)}{300} = 2.67 \text{ cm}$$

ลองใช้ W300×65.4 ($\mathbf{A_g} = 83.36$ ซม.^{2}, $\mathbf{d} = 298$ ม.ม., $\mathbf{b_f} = 201$ มม., $\mathbf{t_f} = 14$ มม., $\mathbf{r_y} = 4.77$ ซม.)

ตรวจสอบหน้าตัด:



$\mathbf{T} = 0.60\mathbf{F_yA_g} = 0.60(2.5)(83.36) = 125.0$ ตัน > 100 ตัน OK

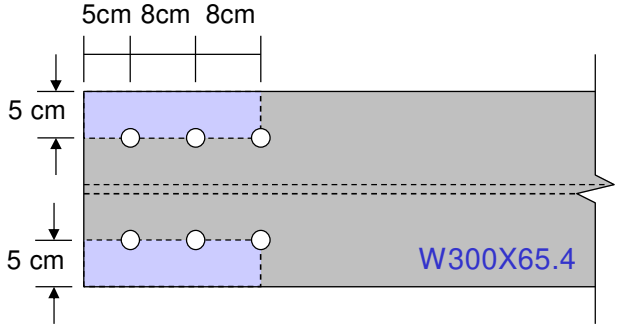
$\mathbf{T} = 0.50\mathbf{F_uUA_n}$ เมื่อ $\mathbf{U} = 0.90$ เนื่องจาก $\mathbf{b_f/d} > 2/3$

$\mathbf{A_n} = 83.36 - 4(2.5)(1.4) = 69.36$ ซม.^{2}

$\mathbf{T} = 0.50(4.0)(0.90)(69.36) = 124.9$ ตัน > 100 ตัน OK

$$\frac{L}{r} = \frac{8(100)}{4.77} = 168 < 300$$ OK

Check Block Shear Strength:



From block shear path, **Four blocks** will separate from the tension member (two from each flange).

$A_t = 4 \times [5 - 0.5(d_b+0.3)] \times t_f$

$A_t = 4 \times (5 - 2.5/2)(1.4) = 21.0 \text{ cm}^2$

$A_v = 4 \times [5+8+8 - 2.5(d_b+0.3)] \times t_f$

$A_v = 4 \times (21 - 2.5(2.5))(1.4) = 82.6 \text{ cm}^2$

Calculate block shear strength:

$$T_{bs} = 0.30F_uA_v + 0.50F_uA_t$$

$$T_{bs} = 0.30 \times 4.0 \times 82.6 + 0.50 \times 4.0 \times 21.0 = 141.1 \text{ tons}$$

Summary of solution:

Member	W300x65.4
Design load	100 ton
Yield strength	125.0 ton
Ultimate strength	124.9 ton
Block shear strength	141.1 ton

Design strength = 124.9 tons (ultimate strength governs)

W300 x 65.4 is adequate for T = 100 tons and the given connection _____ ***Ans.***

ตัวอย่างที่ 4-2 ออกแบบองค์อาคารแรงดึงเหล็กฉากเดี่ยวยาว 3 เมตร แรงดึง 32 ตัน โดยที่องค์อาคารถูกต่อหนึ่งขาด้วยสลักเกลียว 22 ม.ม. (สามตัวในหนึ่งแถว) ใช้เหล็ก A36 ($\mathbf{F_y}$ = 2,500 ก.ก./ซม.^{2}, $\mathbf{F_u}$ = 4,000 ก.ก./ซม.^{2})

$$\min A_g = \frac{T}{0.60F_y} = \frac{32}{0.60(2.5)} = 21.33 \text{ cm}^2$$

จากบทที่ 3, $U = 0.85$

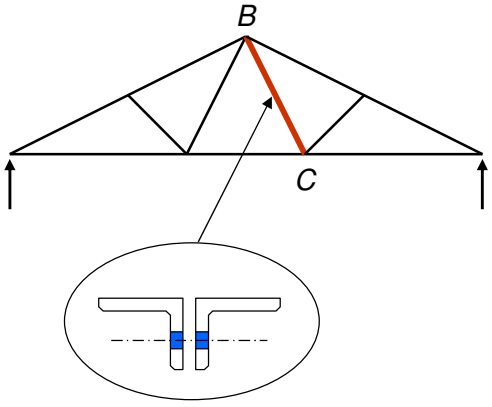
$$\min A_n = \frac{T}{0.50F_uU} = \frac{32}{0.50(4.0)(0.85)} = 18.82 \text{ cm}^2$$

$$\min r = \frac{L}{300} = \frac{3(100)}{300} = 1.0 \text{ cm}$$

หนา (ม.ม.)	พื้นที่ของรูเจาะ 25 ม.ม. (ซม.^{2})	หน้าตัดทั้งหมดที่ต้องการ(ซม.^{2})	หน้าตัดฉากเบาสุดที่มี
9	2.25	21.07	150 x 100 x 9 (A=21.84, r=2.15)
10	2.50	21.32	120 x 120 x 10 (A=23.20, r=2.36)
12	3.00	21.82	100 x 100 x 12 (A=22.70, r=1.94)
13	3.25	22.07	125 x 75 x 13 (A=24.31, r=1.60)

ใช้หน้าตัด L150 x 100 x 9 ม.ม.

ตัวอย่างที่ 4-3 เลือกหน้าตัดฉากคู่เบาที่สุดสำหรับองค์อาคาร **BC** ในโครงถัก แรงดึง 20 ตัน เหล็ก A36 ยาว 2 เมตร สลักเกลียวขนาด 19 ม.ม.



วิธีทำ คำนวณพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดที่ต้องการ

$$\min A_g = \frac{T}{0.60F_y} = \frac{20}{0.60(2.5)} = 13.3 \text{ cm}^2$$

คำนวณรัศมีไจเรชั่นน้อยที่สุดที่ต้องการ

$$\min r = \frac{L}{300} = \frac{3(200)}{300} = 2.0 \text{ cm}$$

สมมุติความหนาเหล็กฉาก 12 ม.ม. คำนวณ $\mathbf{A_e}$ น้อยที่สุดที่ต้องการ ใช้ $\mathbf{U} = 0.85$

$$\min A_n = \frac{T}{0.50F_uU} = \frac{20}{0.50(4.0)(0.85)} = 11.8 \text{ cm}^2$$

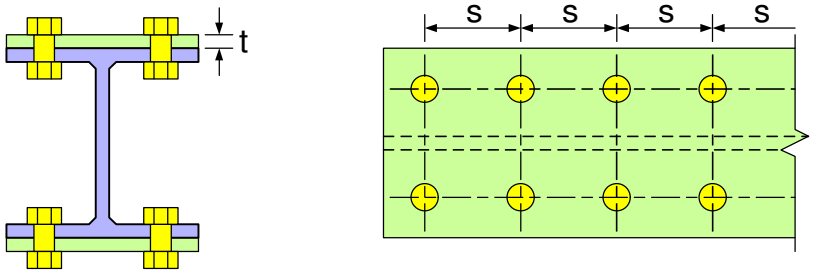
$$\min A_g = 11.8 + 2(1.9 + 0.3)(1.2) = 17.1 \text{ cm}^2$$

เลือกหน้าตัดฉาก 2L 75 × 75 × 12 ม.ม. ($\mathbf{A_g}$ = 33.4 ซม.^{2}, $\mathbf{r_y}$ = 2.22 ซม.) ■

องค์อาคารประกอบรับแรงดึง

มาตรฐาน AISC กำหนดข้อจำกัดเมื่อนำหน้าตัดมาประกอบเป็นองค์อาคารรับแรงดึงดังนี้

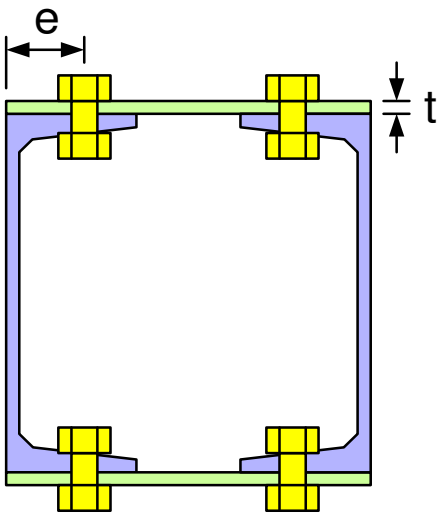
1. เมื่อองค์อาคารรับแรงดึงประกอบจากชิ้นส่วนที่วางชิดกันตลอดเช่นแผ่นเหล็กและหน้าตัดอื่น หรือแผ่นเหล็กสองแผ่น ระยะห่าง s ตามแนวยาวของสลักเกลียว จะต้องไม่เกิน 24 เท่าของความหนา t ของแผ่นเหล็กที่บางกว่า หรือ 30 ซม. สำหรับองค์อาคารทาสีหรือไม่ทาสีแต่ไม่อยู่ในสภาวะที่มีการกัดกร่อน



2. สำหรับองค์อาคารประกอบที่ไม่ได้ทาสี ซึ่งทำจากเหล็กไม่ทนต่อการผุกร่อนและใช้งานในสภาพบรรยากาศที่มีการกัดกร่อน ระยะห่างของอุปกรณ์ยึดจะต้องไม่เกิน 14 เท่าของความหนาแผ่นเหล็กที่บางกว่า หรือ 18 ซม.

3. สำหรับองค์อาคารประกอบที่ชิ้นส่วนที่วางห่างกันจะต้องมีอุปกรณ์ยึดเป็นระยะเพื่อให้อัตราส่วนความชะลูด L/r ของแต่ละหน้าตัดระหว่างอุปกรณ์ยึดมีค่าไม่เกิน 300

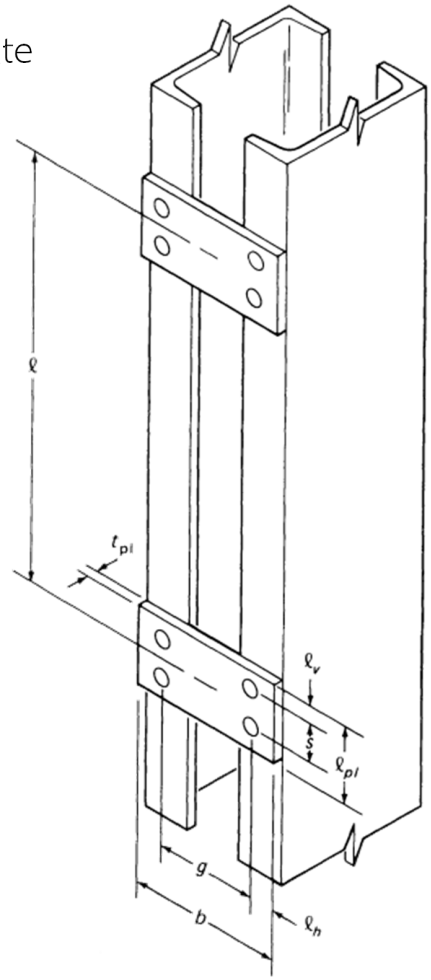
4. ระยะ e จากศูนย์กลางของสลักเกลียวไปยังขอบด้านที่ใกล้ที่สุดของชิ้นส่วนที่ต่อจะต้องไม่เกิน 12 เท่าของความหนาชิ้นส่วนที่ต่อหรือ 15 ซม.



5. สำหรับองค์อาคารประกอบที่ใช้แผ่นเหล็กทาบปรุ (Perforate cover plate) ยึดทางขวางเป็นระยะ โดยไม่มีท่อนยึดทแยง

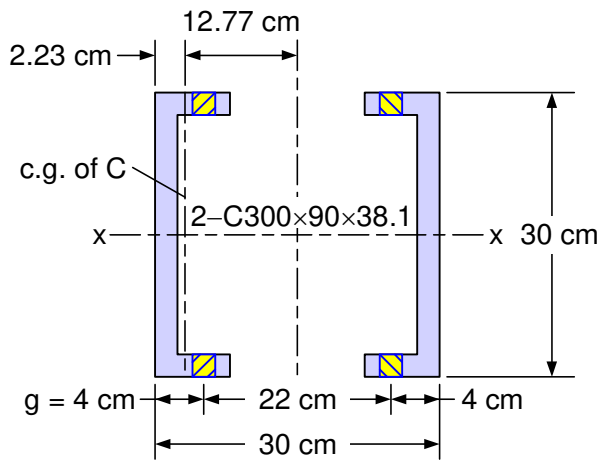
- อัตราส่วนความชะลูดของแต่ละหน้าตัด $\frac{\ell}{r} \leq 300$
- ความยาวของแผ่นเหล็ก $\ell_{pl} \geq \frac{2}{3} g$
- ความหนาของแผ่นเหล็ก $t_{pl} \geq \frac{1}{50} g$
- ระยะห่างสลักยึด $s \leq 15$ cm
- ความกว้างของแผ่นเหล็ก $b \geq g + 2(1.5\varnothing)$

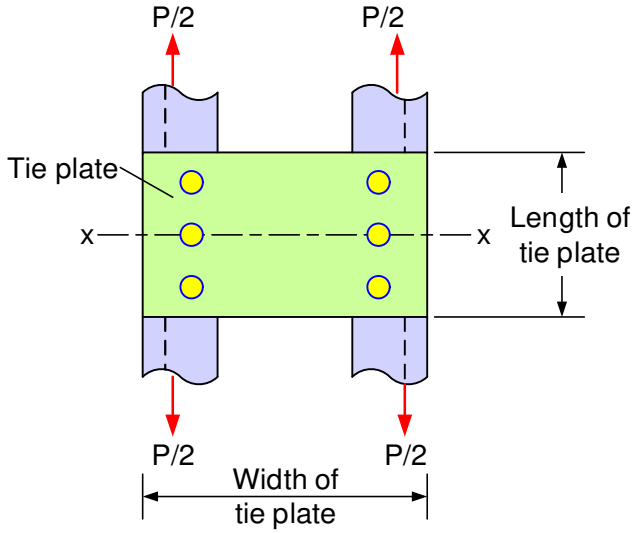
  เมื่อ $\varnothing$ คือขนาดรูเจาะสลักยึด



ตัวอย่างที่ 3.18 ตรวจสอบการออกแบบองค์อาคารประกอบรับแรงดึง

จงตรวจสอบองค์อาคารรับแรงดึงประกอบจากสองหน้าตัดรางฝ้า C300×90×38.1 รับแรงดึงใช้งานจากฝ้าหนักคงที่ 44 ตัน และฝ้าหนักจร 96 ตัน องค์อาคารยาว 9 เมตร ใช้เหล็ก A36 โดยมีสลักเกลียวขนาด 22 มม. ในแต่ละปีกของรางฝ้า ระยะห่างระหว่างสลักเกลียว 7.5 ซม. และระยะขอบจากศูนย์กลางสลักเกลียวถึงขอบหลังของรางฝ้าคือ 4 ซม.





วิธีทำ หน้าตัด C300×90×38.1 (A_g = 48.57 ซม.^{2}, t_f = 13 มม., I_x = 6,440 ซม.^{4}, I_y = 325 ซม.^{4}, c_y = 2.23 ซม. และ r_y = 2.59 ซม.)

พื้นที่สุทธิ $A_n = 2[48.57 - 2(2.2+0.3)(1.3)] = 84.14\ cm^2$

ระยะศูนย์ถ่วง $\bar{x} = c_y = 2.23\ cm$

ความยาวจุดต่อ $L = 2(7.5) = 15\ cm$

แฟกเตอร์ shear lag : $U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{2.23}{15} = 0.85$

พื้นที่สุทธิประสิทธิผล $A_e = U A_n = 0.85 \times 84.14 = 71.52\ cm^2$

แรงดึงใช้งานที่ต้องการ $P_a = D + L = 44 + 96 = 140$ ton

กำลังครากที่ยอมให้ $P_a = 0.6 F_y A_g = 0.6(2.5)(2\times48.57) = 146 > 140$ ton **OK**

กำลังแตกหักที่ยอมให้ $P_a = 0.5 F_u A_e = 0.5(4.0)(71.52) = 143 > 140$ ton **OK**

∴ หน้าตัดกำลังที่ยอมให้เพียงพอในการรับฐ้าหนักบรรทุกที่ต้องการ

อัตราส่วนความชะลูด

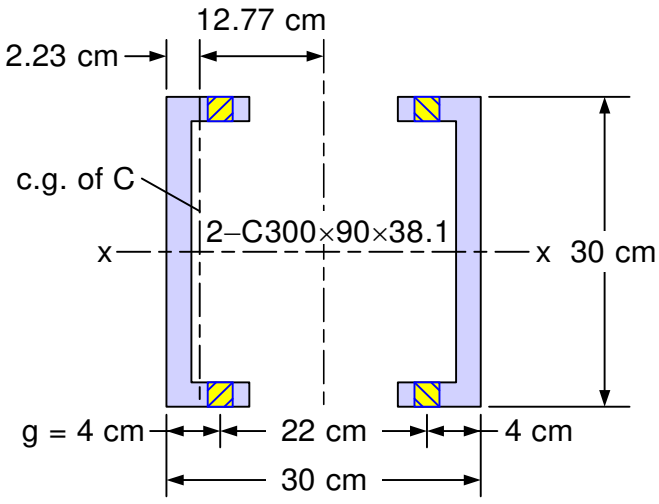
$I_x = 2\times6,440 = 12,880\ cm^4$

$I_y = 2\times325 + 2\times48.57\times12.77^2$

$= 16,491\ cm^4$

$r_{min} = r_x = \sqrt{\frac{12,880}{2\times48.57}} = 11.5\ cm$

$\frac{L_x}{r_x} = \frac{900}{11.5} = 78.3 < 300$ **OK**



ออกแบบแผ่นยึดขวาง

ระยะระหว่างแถวสลักเกลียว = 30 – 2(4) = 22 ซม.

ความยาวน้อยที่สุดของแผ่นยึด = (2/3)(22) = 14.7 ซม. **ใช้ 25 ซม.**

ความหนาน้อยที่สุดของแผ่นยึด = (1/50)(22) = 0.44 ซม. **ใช้ 0.5 ซม.**

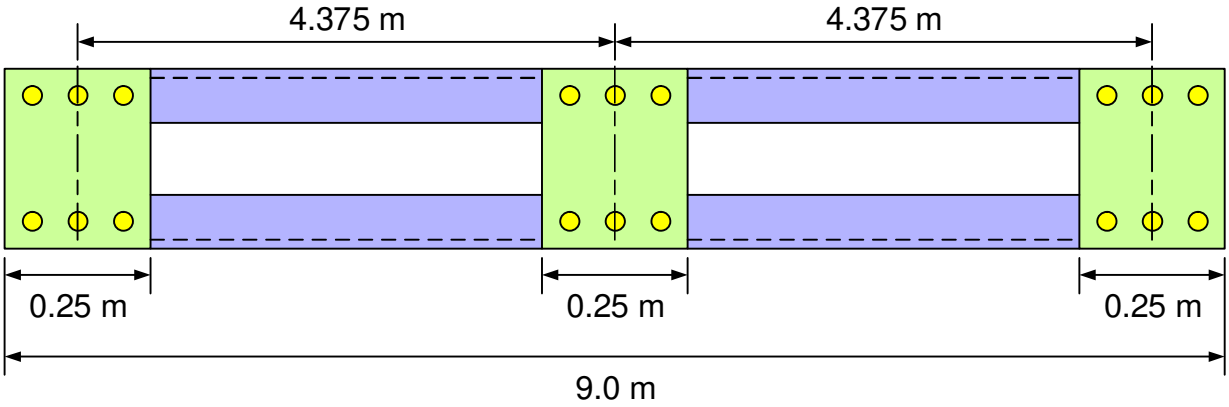
ความกว้างน้อยที่สุดของแผ่นยึด = 22 + 2(1.5×2.5) = 29.5 ซม. **ใช้ 30 ซม.**

ระยะห่างมากที่สุดของแผ่นยึด

ค่า r น้อยที่สุดของหนึ่งหน้าตัดรางมุ้า = r_y = 2.59 ซม.

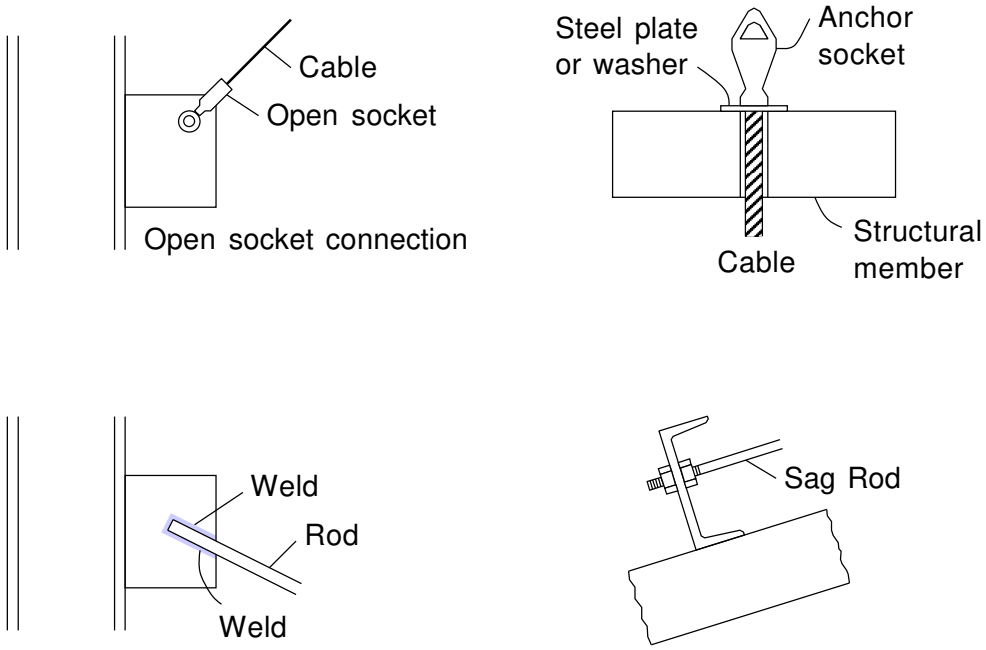
อัตราส่วนความชะลูดมากที่สุด L/r = L/2.59 = 300 → L = 777 ซม. ใช้ 4.375 ม.

∴ ใช้แผ่นยึดขวาง PL0.5×30×15 ซม. ระยะห่าง 4.375 ม. ■



Rods and Cables
เหล็กเส้นและเคเบิ้ล

พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ $$A_D = \frac{T}{0.33F_u}$$



รูปที่ 4.1 การต่อเหล็กเส้นและเคเบิ้ลแบบต่างๆ

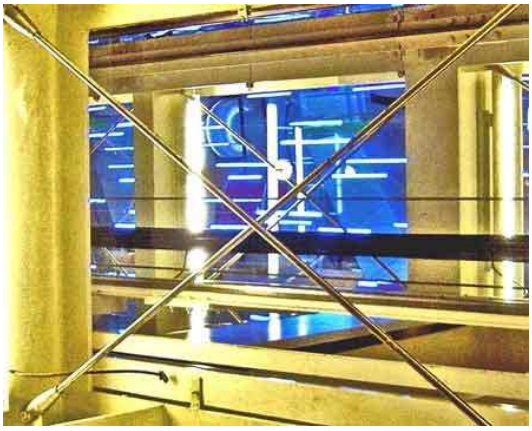
Example 3.14 A threaded rod is to be used as a bracing member that must resist a service tensile load of 3.6 tons. What size rod is required if A36 steel is used?

Solution: Required area = $A_D = \frac{T}{0.33F_u} = \frac{3.6}{0.33 \times 4.0} = 2.73\ \text{cm}^2$

From $A_D = \frac{\pi d^2}{4}$,

Required $d = \sqrt{\frac{4(2.73)}{\pi}} = 1.86\ \text{cm}$

Use a 19-mm-diameter threaded rod ($A_D = 2.84\ \text{cm}^2$) ***Ans.***



To prevent damage during construction, use rod min. ∅ of 16 mm.

Cable-Stayed Bridges

Cable-Stayed Roofs

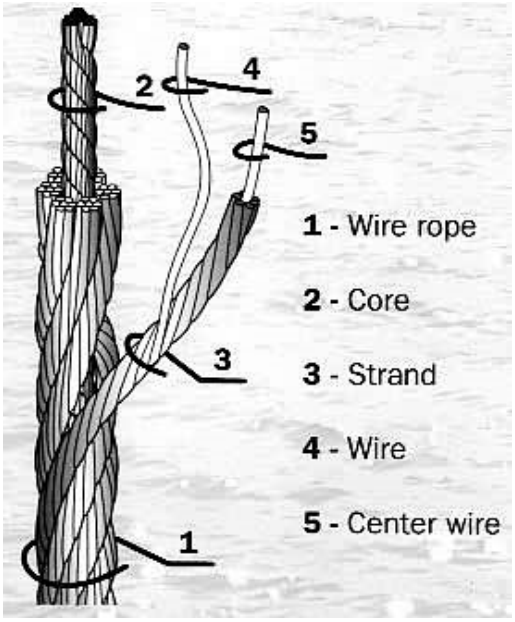
Lisbon Expo 1996 - and 1998

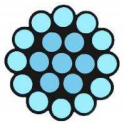
Manchester City Stadium

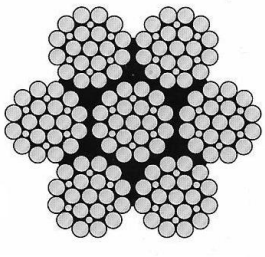
Olympic stadium roof - Munich

Strand & Wire rope

Wire → Strand → Wire rope





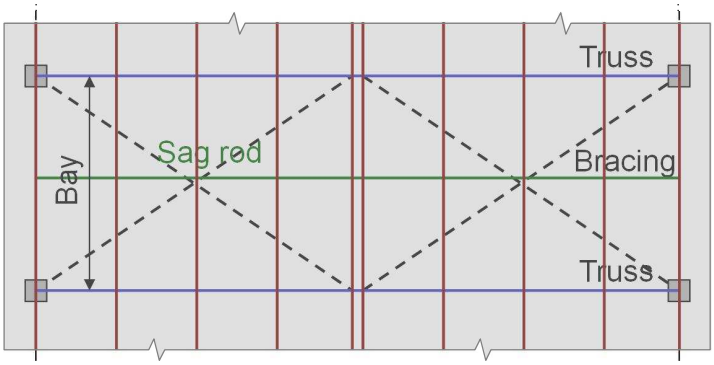


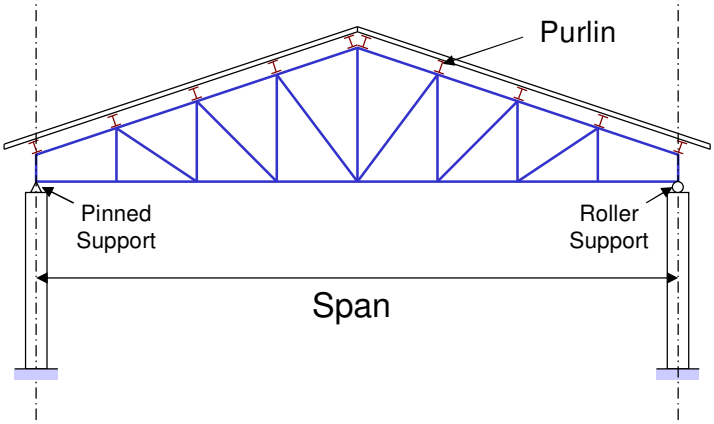
Low Relaxation Prestressed Concrete Steel Strand (PC Strand)

Tension Members

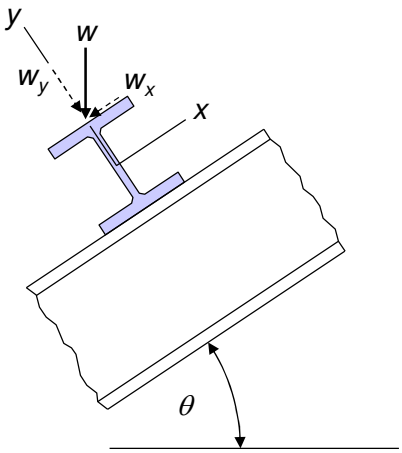
In Roof Trusses

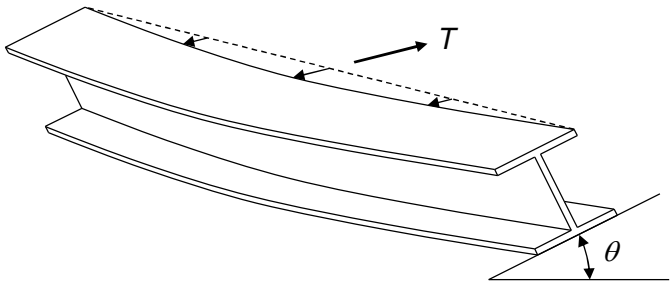
Truss Members :
- Truss
- Purlin
- Sag rod
- Bracing



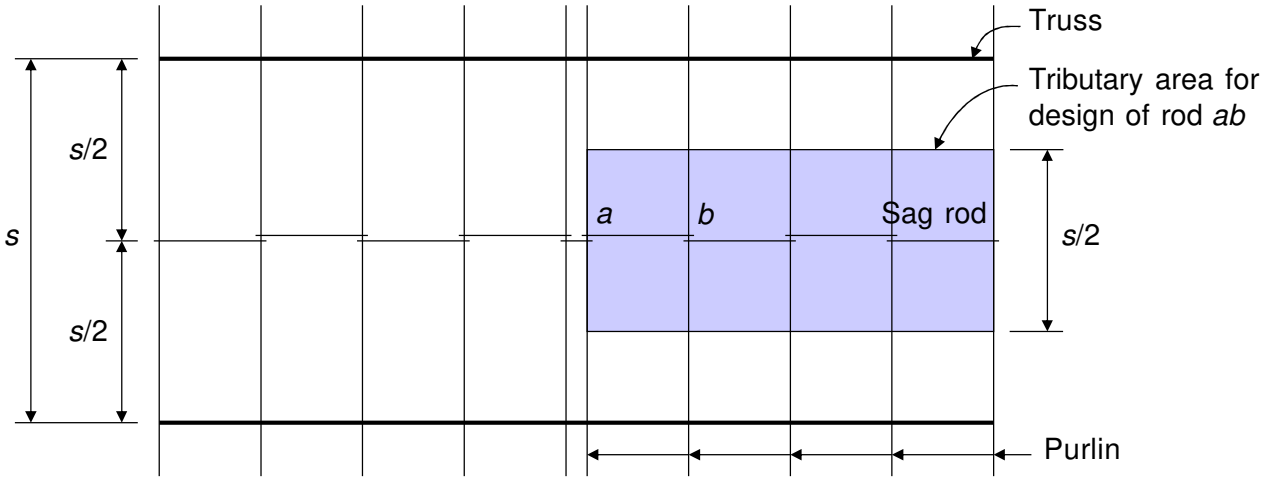


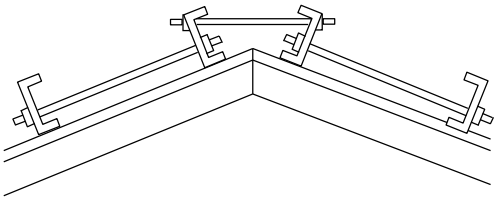
การแอ่นตัวของแป

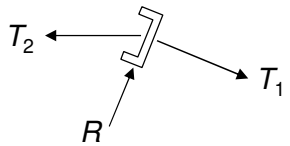


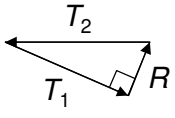


เหล็กเส้นกันแอ่น

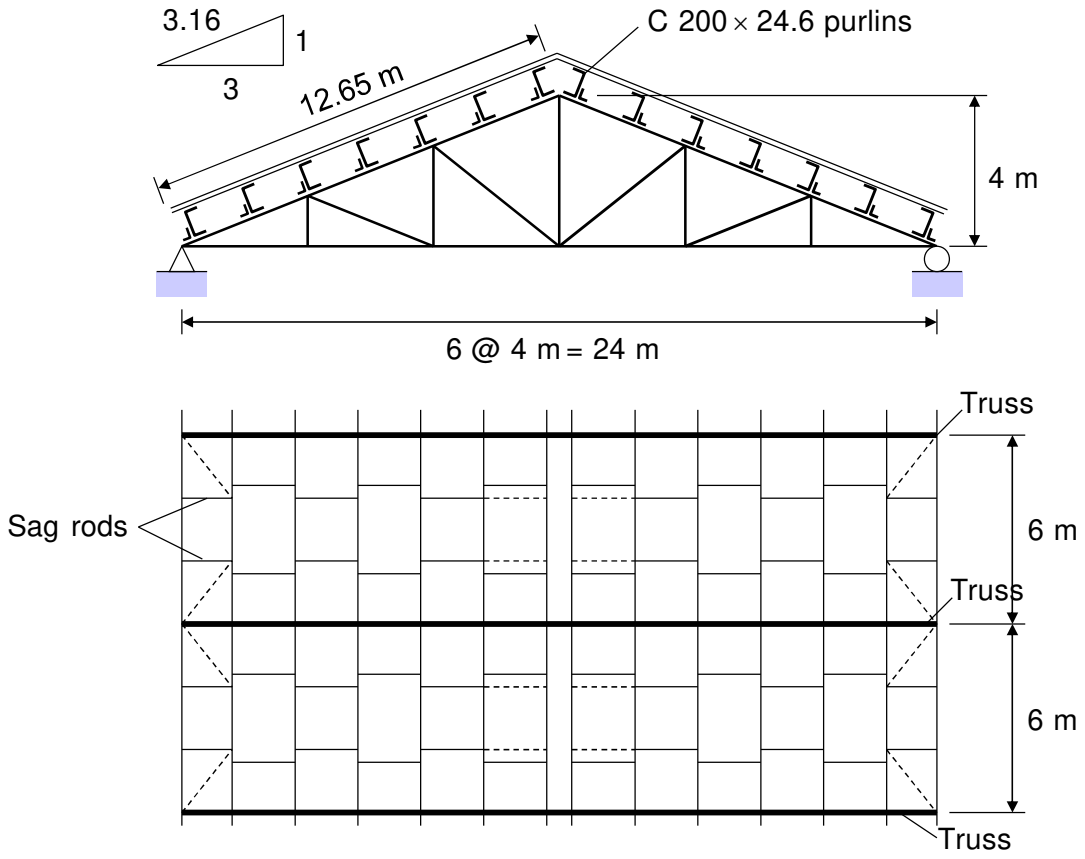








Design of Sag Rod



ตัวอย่างที่ 4-5 ออกแบบเหล็กเส้นกันแอ่น ที่ระยะหนึ่งในสามของแป ระยะห่างโครงหลังคา 6.0 เมตร ใช้เหล็ก A36 ขนาดเล็กสุดของเหล็กเส้น 16 ม.ม. วัสดุมุงหลังคาหนัก 80 กก./ม.^{2} และน้ำหนักจร 100 กก./ม.^{2}

วิธีทำ น้ำหนักบรรทุกบนหลังคา :

วัสดุมุงหลังคา = 80.00 กก./ม.^{2}

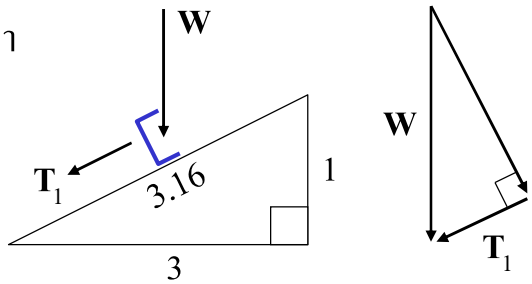
แป = (7 × 24.6) / 12.65 = 13.61 กก./ม.^{2}

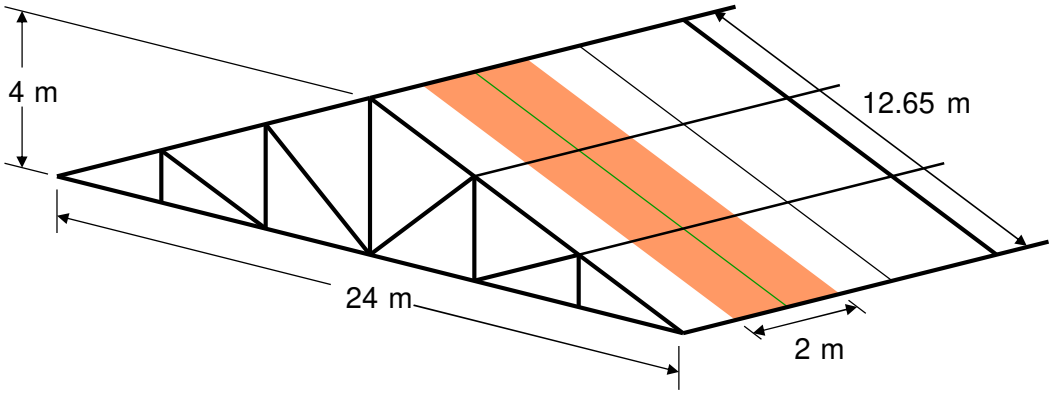
น้ำหนักจร = 100.00 กก./ม.^{2}

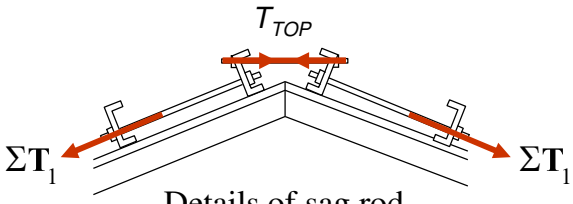
น้ำหนักกระทำทั้งหมด = 80 + 13.61 + 100 = 193.61 กก./ม.^{2}

องค์ประกอบของแรงที่ขนานกับระนาบหลังคา

$T_1 = (1/3.16)(193.61) = 61.27$ กก./ม.^{2}







Details of sag rod connections

แรงบนเหล็กเส้นกันแอ่นตัวบนสุด:

$$\Sigma T_1 = 12.65(2.0)(61.27) = 1{,}550 \text{ ก.ก.}$$

$$A_D = \frac{T}{0.33F_u} = \frac{1.550}{0.33(4.0)} = 1.17 \text{ cm}^2$$

แรงในเหล็กยึดที่จุดบนสุดของโครงหลังคา:

$$T_{TOP} = (3.16/3)(1550) = 1633 \text{ ก.ก.}$$

$$A_D = \frac{1.633}{0.33(4.0)} = 1.24 \text{ cm}^2$$

ใช้เหล็กเส้น 16 ม.ม. (A_D = 2.01 ซม.^{2})