

Lecture 20 Composite Construction 2



- ▶ Composite Beam with Formed Steel Deck
- ▶ Non-encased Composite Sections
- ▶ Shear Transfer
- ▶ Partially Composite Beams

Mongkol JIRAVACHARADET

SURANAREE

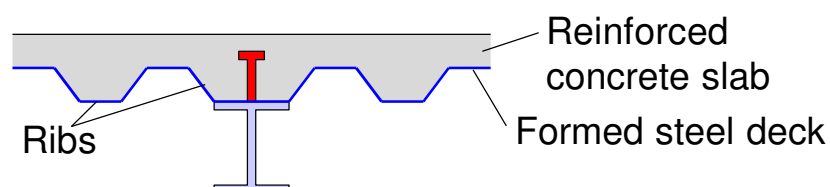
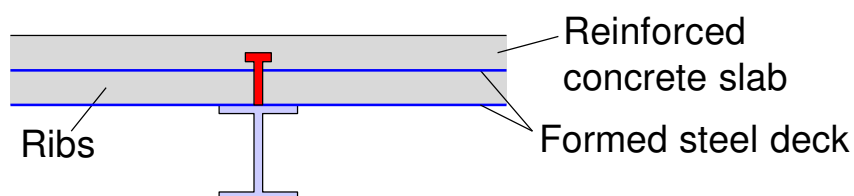
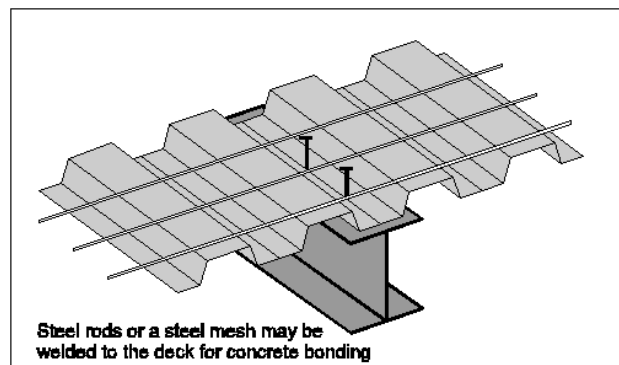
INSTITUTE OF ENGINEERING

UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

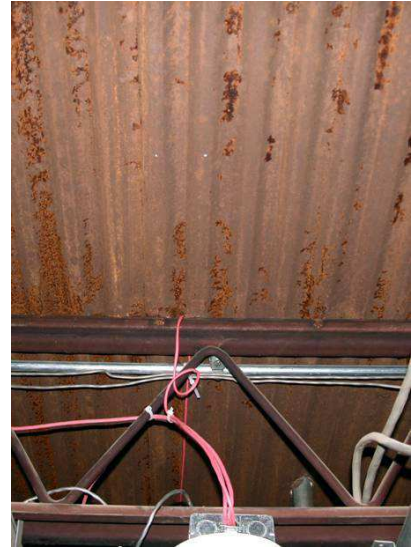
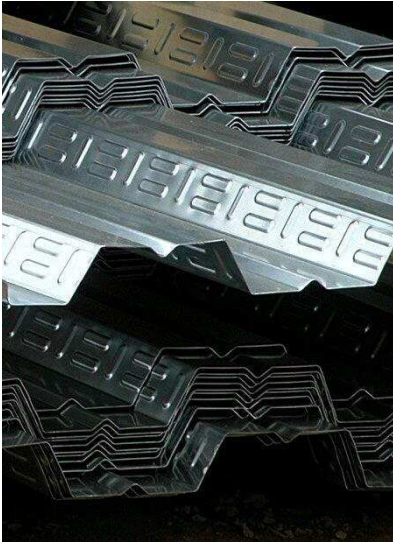
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

Composite Beam

with formed steel deck



Metal Decking



- Composite decking works together with the concrete fill to make a stiff, light-weight, economical floor system
 - Compare the composite decking (above left), non-composite decking (above center), and the form decking (above right)
- Composite decking is available in various profiles and thicknesses

Composite Metal Decking



- Decking with deformed ribs (or embossed decking), as shown, is commonly used
- The deformations on the ribs allow for a stronger bond between the concrete and the decking



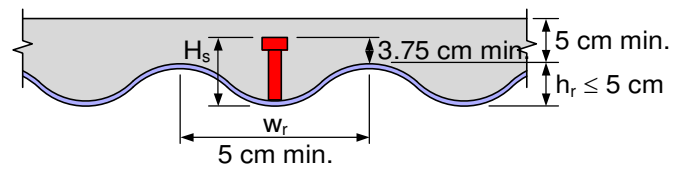
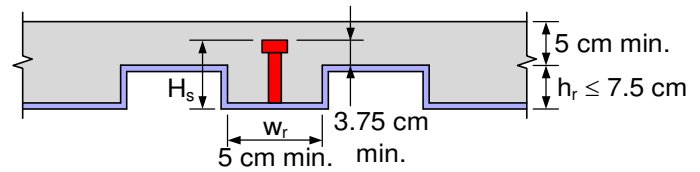
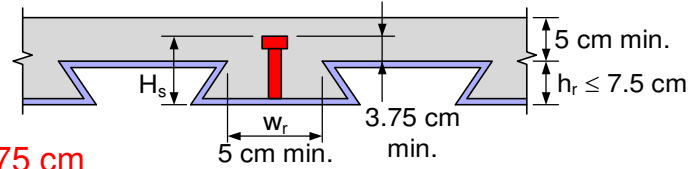
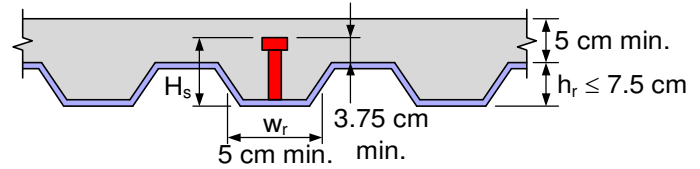
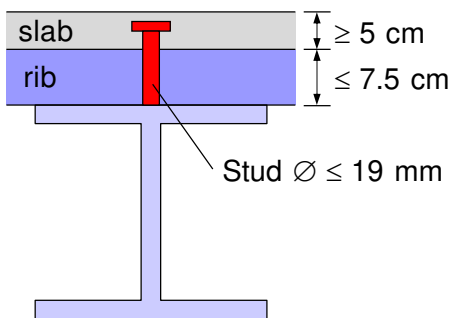
Composite Beams with Formed Steel Deck

ว.ส.ท.

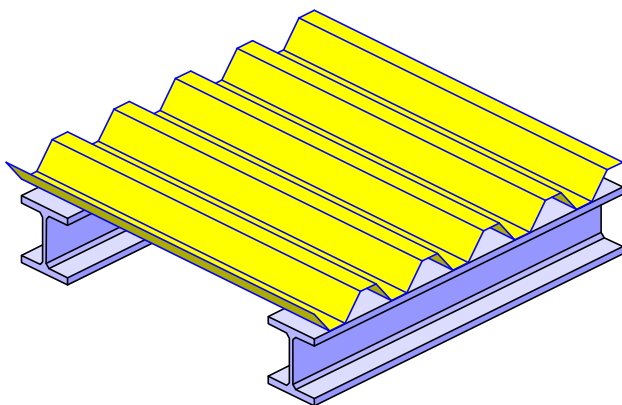
AISC ASD-89

คานาวัสดุผสมที่ใช้พื้นเหล็กแผ่นขึ้นรูป

1. Rib height $h_r \leq 7.5 \text{ cm}$
2. Avg. width of concrete rib $w_r \geq 5 \text{ cm}$
3. Shear connector dia. max. = 19 mm
4. Concrete slab over rib $\geq 5 \text{ cm}$
5. Shear connector height over rib $\geq 3.75 \text{ cm}$
6. Ribs perpendicular to beam **neglect**
lower concrete rib

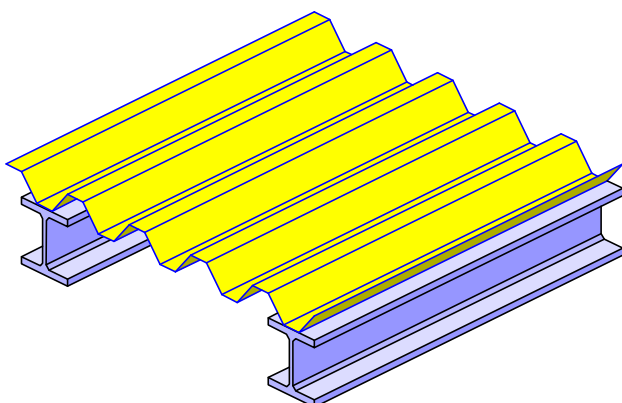


Composite Beams with Formed Steel Deck



Deck Ribs Perpendicular to Beam

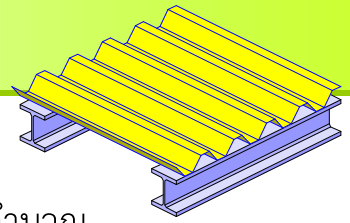
สันของพื้นเหล็กแผ่นตั้งฉากกับแนวดาน



Deck Ribs Parallel to Beam

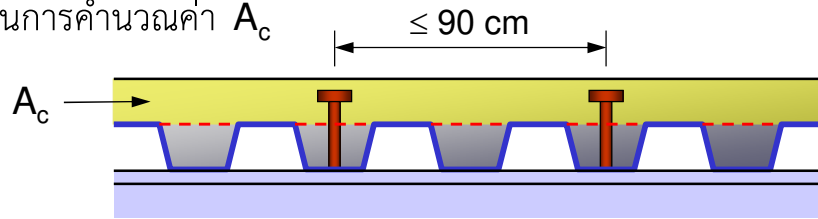
สันของพื้นเหล็กแผ่นขนานกับแนวดาน

Decks Rib Perpendicular to Beam



สันของพื้นเหล็กแผ่นตั้งฉากกับแนวคาน

- ก) คอนกรีตในส่วนที่ต่ำกว่าสันของพื้นเหล็กแผ่น จะไม่นำมาคิดในการคำนวณคุณสมบัติหน้าตัดและในการคำนวณค่า A_c

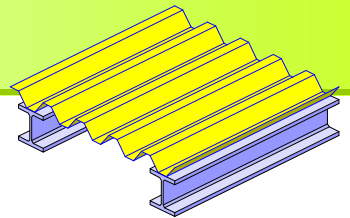


- ข) ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ยึดรับแรงเฉือนตามแนวคาน จะต้องไม่เกิน 90 ซม.
- ค) ค่าความต้านทานรับแรงเฉือนที่ยอมให้ของอุปกรณ์ยึดรับแรงเฉือนแต่ละตัว (q) จะต้องคูณด้วยสัมประสิทธิ์ลดค่า ดังนี้

$$RF = \left(\frac{0.85}{\sqrt{N_r}} \right) \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left(\frac{H_s}{h_r} - 1.0 \right) \leq 1.0$$

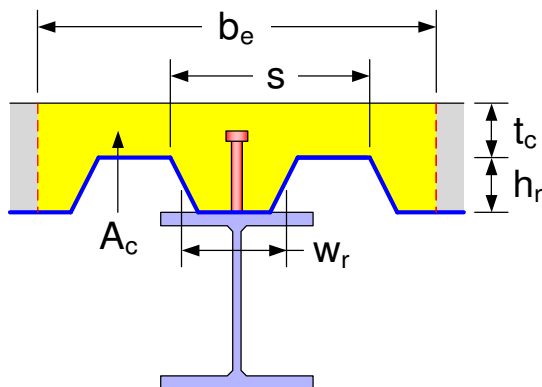
- ง) เพื่อป้องกันการลอยตัวของพื้นเหล็กแผ่นจะต้องมีการยึดติดกับคานโดยมีระยะห่างไม่เกิน 40 ซม. โดยใช้อุปกรณ์ยึด หรืออุปกรณ์ยึดร่วมกับการเชื่อมแบบจุด

Decks Rib Parallel to Beam



สันของพื้นเหล็กแผ่นตั้งฉากกับแนวคาน

- ก) คอนกรีตในส่วนที่ต่ำกว่าสันของพื้นเหล็กแผ่น อาจนำมาคิดในการคำนวณคุณสมบัติหน้าตัดและในการคำนวณค่า A_c



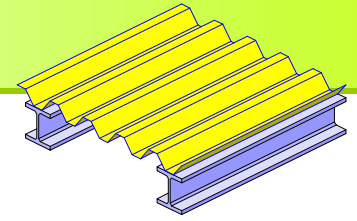
$$A_c = b_e \left[t_c + \left(\frac{w_r h_r}{s} \right) \right]$$

เมื่อ

- b = ความกว้างประสิทธิภาพของคอนกรีต
- t_c = ความหนาคอนกรีตเหนือสันแผ่นเหล็ก
- s = ความระยะห่างระหว่างสันแผ่นเหล็ก

- ข) สันของพื้นเหล็กแผ่นไม่จำเป็นต้องต่อเนื่องกัน ณ บริเวณตำแหน่งคานที่รองรับ

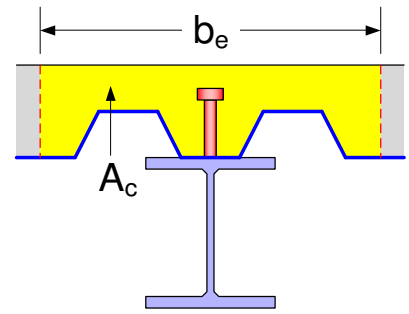
Decks Rib Parallel to Beam



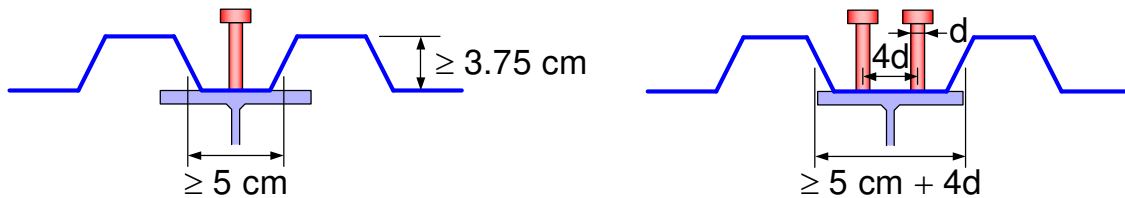
สันของพื้นเหล็กแผ่นตั้งฉากกับแนวคาน

ค) ค่าความต้านทานรับแรงเฉือนที่ยอมให้ของอุปกรณ์ยึดรับแรงเฉือนแต่ละตัว (q) จะต้องคูณด้วยสัมประสิทธิ์ลดค่า

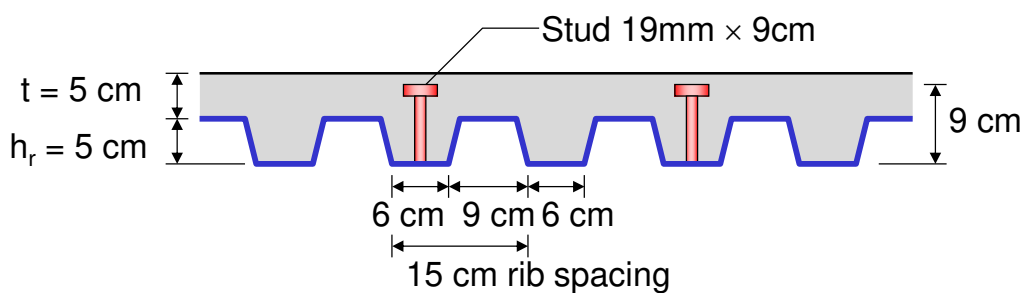
$$RF = 0.6 \left(\frac{w_r}{h_r} \right) \left(\frac{H_s}{h_r} - 1.0 \right) \leq 1.0$$



ง) เมื่อความลึกสันแผ่นเหล็ก ≥ 3.75 ซม. ความกว้างเฉลี่ย w_r จะต้องไม่น้อยกว่า 5 ซม. สำหรับหมุดตัวแรกในแถววางบวก 4 เท่าขนาดหมุดสำหรับแต่ละหมุดที่เพิ่มขึ้น



ตัวอย่างที่ 20-1 ทำซ้ำตัวอย่างที่ 19-1 โดยใช้แบบเหล็กแผ่นขึ้นรูป (สันตั้งฉากกับคานเหล็ก) ความสูงของสันเท่ากับ 5 ซม. และพื้นคอนกรีตหนา 5 ซม. สมมุติ w_r เท่ากับ 6 ซม.



วิธีทำ

น้ำหนักบรรทุกขณะก่อสร้าง

$$\text{น้ำหนักพื้นและคานจากตัวอย่างที่ 19-1} = 786 \text{ kg/m}$$

$$\text{สมมุติน้ำหนักแบบเหล็ก} = 30 \text{ kg/m}^2 \times 3 \text{ m} = 90 \text{ kg/m}$$

$$\text{รวมน้ำหนักทั้งหมด} = 876 \text{ kg/m}$$

$$M_D = 0.876 \times 9^2 / 8 = 8.87 \text{ t-m}$$

น้ำหนักบรรทุกทุกหลังคอนกรีตแข็งตัว

$$M_L = 18.98 \text{ ตัน-เมตร จากตัวอย่างที่ 19-1}$$

$$\text{โมเมนต์มากที่สุด } M_{\max} = M_D + M_L = 8.87 + 18.98 = 27.85 \text{ ตัน-เมตร}$$

$$\text{แรงเฉือนมากที่สุด } V_{\max} = (9/2)(0.876 + 1.875) = 12.38 \text{ ตัน}$$

ความกว้างประสิทธิภาพของพื้น $b = 225$ ซม. เหมือนตัวอย่าง 19-1

โมดูลัสหน้าตัดที่ต้องการ

$$S_{tr} \text{ สำหรับ } M_{\max} = (27.85)(100) / (0.66 \times 2.5) = 1,688 \text{ ซม.}^3$$

$$S_s \text{ สำหรับ } M_D = (8.87)(100) / (0.66 \times 2.5) = 538 \text{ ซม.}^3$$

ลองเลือกใช้หน้าตัด **W400×94.3** ($A_s = 120.1$ ซม.², $d = 386$ มม.,
 $t_w = 9$ มม., $t_f = 14$ มม., $I_s = 33,700$ ซม.⁴, $S_s = 1,740$ ซม.³)

คุณสมบัติของหน้าตัดวัสดุผสม :

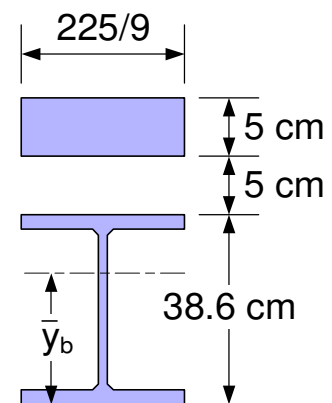
$$A = 120.1 + (5)(225/9) = 245.1 \text{ cm}^2$$

$$y_b = (120.1 \times 19.3 + 5 \times 25 \times (38.6 + 7.5)) / 245.1 \\ = 32.97 \text{ cm}$$

$$I_{tr} = 33,700 + 120.1(32.97 - 19.3)^2 + (1/12)(25)(5)^3 \\ + 5(25)(46.1 - 32.97)^2 = 77,953 \text{ cm}^4$$

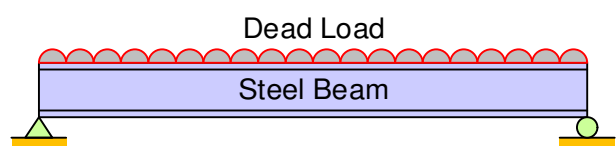
$$S_{tr \text{ bot}} = 77,953 / 32.97 = 2,364 \text{ cm}^3$$

$$S_{tr \text{ top}} = 77,953 / (48.6 - 32.97) = 4,987 \text{ cm}^3$$



ตรวจสอบหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด:

ก่อนคอนกรีตแข็งตัว :

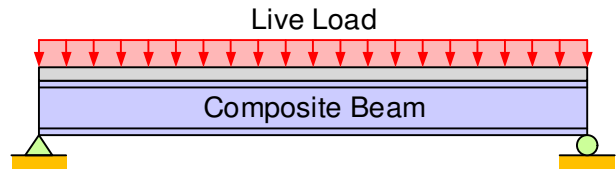


$$f_{s1} = M_D / S_s = 8.87(1,000)(100) / 1,740$$

$$= 510 \text{ กก./ซม.}^2 < 0.66F_y = 1,650 \text{ กก./ซม.}^2$$

OK

หลังคอนกรีตแข็งตัว :



$$f_{s2} = f_{s1} + M_L/S_{trbot} = 510 + 18.98(1,000)(100)/2,364$$

$$= 1,313 \text{ กก./ซม.}^2 < 0.9F_y = 2,250 \text{ กก./ซม.}^2 \quad \text{OK}$$

$$f_c = M_L/S_{trtop} = 18.98(1,000)(100) / (9 \times 4,987)$$

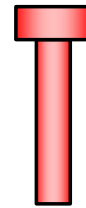
$$= 42.3 \text{ กก./ซม.}^2 < f_c = 94.5 \text{ กก./ซม.}^2 \quad \text{OK}$$

อุปกรณ์ยึดแรงเฉือน

อุปกรณ์ยึดแรงเฉือนใช้สลักเกลียว 19 มม. ยาว 9 ซม.

$$\text{เส้นผ่าศูนย์กลางสลักเกลียวมากที่สุด} = 2.5 t_f = 2.5(1.3)$$

$$= 3.25 \text{ ซม.} > 1.9 \text{ ซม.} \quad \text{OK}$$



OK

แรงเฉือนมากที่สุดในแนวนอน $V_h = 105$ ตัน จากตัวอย่างที่ 19-1

จากตารางกำลังสลักเกลียว ค่า $q = 5.13$ ตัน/จุดต่อ

ตัวคูณลดกำลัง สำหรับกรณีสันเหล็กแผ่นตั้งฉากกับแนวนอน

$$N_r = 1, H_s = 9 \text{ ซม. และให้ } h_r = 5 \text{ ซม. } w_r = 6 \text{ ซม.}$$

$$RF = \left(\frac{0.85}{\sqrt{1}} \right) \left(\frac{6}{5} \right) \left(\frac{9}{5} - 1 \right) = 0.816$$

$$q \text{ ที่ลดค่าแล้ว} = 0.816(5.13) = 4.19 \text{ ตัน}$$

$$N_{reqd} = 105/4.19 = 25.1 \text{ (ใช้ 50 สลักเกลียว)}$$

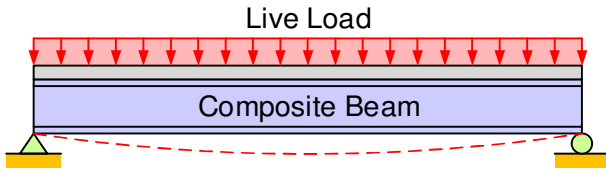
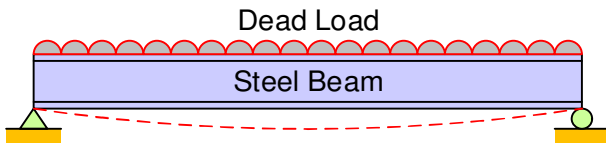
∴ ใช้สลักเกลียว 25 ตัวบนแต่ละด้านกึ่งกลางคาน

ออกแบบสลักเกลียวสำหรับพฤติกรรมวัสดุผสมบางส่วน

$$V'_h = 105 \left(\frac{1688 - 1740}{2364 - 1740} \right)^2 = 0.73 \text{ ton} < 0.25(105) = 26.3 \text{ ton}$$

$$N = 26.3/4.19 = 6.28 \rightarrow \text{ใช้สลักเกลียว 6 ตัวบนแต่ละด้านกึ่งกลางคาน}$$

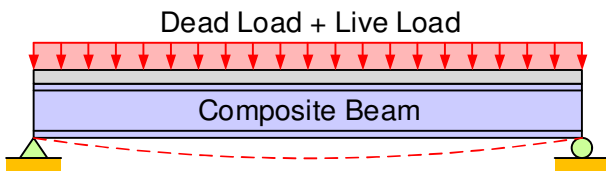
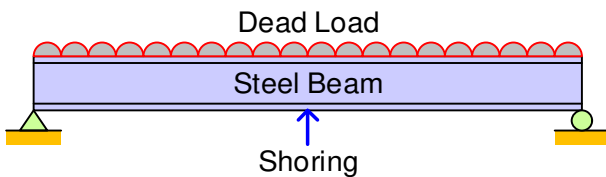
Deflection Computation



Unshored Construction

$$\Delta_D = \frac{5 w_D L^4}{384 E I_s}$$

$$\Delta_L = \frac{5 w_L L^4}{384 E I_{tr}}$$

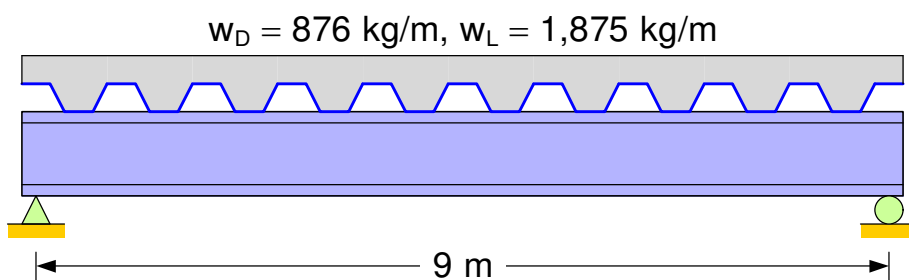


Shored Construction

$$\Delta_D = \frac{5 w_D L^4}{384 E I_{tr}}$$

$$\Delta_L = \frac{5 w_L L^4}{384 E I_{tr}}$$

ตัวอย่างที่ 20-2 สำหรับคานวัสดุผสมในตัวอย่างที่ 20-1 จงคำนวณการแอ่นตัวจากน้ำหนักบรรทุกทุกคงที่, น้ำหนักบรรทุกจร และการแอ่นตัวรวมทั้งหมด การก่อสร้างเป็นแบบไม่มีค้ำยัน



วิธีทำ จากตัวอย่างที่ 20-1

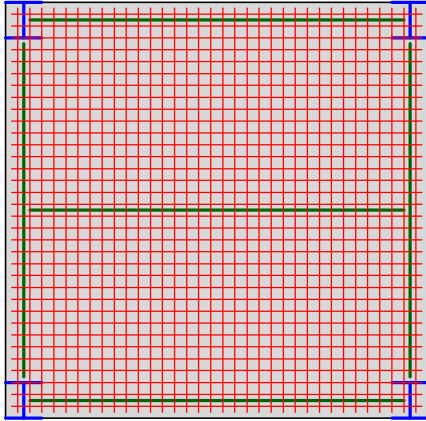
$$I_{tr} = 77,953 \text{ cm}^4, \quad I_s = 33,700 \text{ cm}^4$$

$$\Delta_D = \frac{5 w_D L^2}{384 E I_s} = \frac{5 \times 876 / 100 \times 900^4}{384 \times 2.04 \times 10^6 \times 33,700} = 1.09 \text{ cm}$$

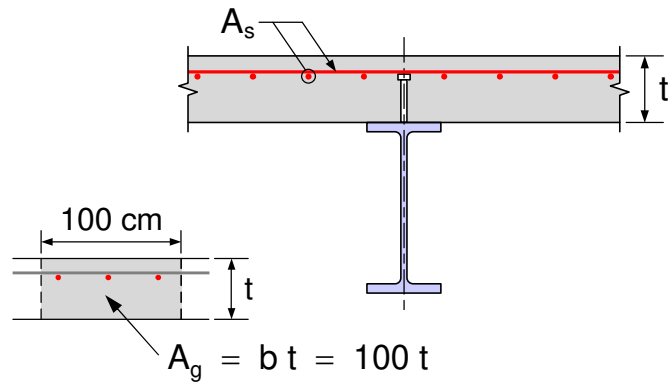
$$\Delta_L = \frac{5 w_L L^2}{384 E I_{tr}} = \frac{5 \times 1,875 / 100 \times 900^4}{384 \times 2.04 \times 10^6 \times 77,953} = 1.01 \text{ cm}$$

$$\Delta_T = \Delta_D + \Delta_L = 1.09 + 1.01 = 2.10 \text{ cm} < [900/360 = 2.5 \text{ cm}] \quad \mathbf{OK}$$

Concrete Crack Control



Using rebar or wire mesh reinforcement



For rebar SR24 ($F_y = 2,400$ ksc) $\rightarrow A_s / A_g = 0.0025$

Spacing $\leq 3t = 45$ cm



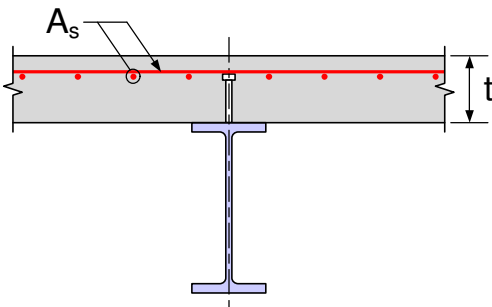
Wire Mesh
 $F_y = 5,500$ ksc
 $F_u = 6,000$ ksc

For $F_y > 4,000$ ksc :

$$\frac{A_s}{A_g} = \frac{0.0018 \times 4,000}{F_y} \geq 0.0014$$

$$= \frac{0.0018 \times 4,000}{5,500} = 0.0013 < 0.0014$$

$$\therefore A_s / A_g = 0.0014$$



Example : Concrete slab $t = 10$ cm

Use SR24 rebar :

$$A_s = 0.0025 \times 100 \times 10 = 2.5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{RB6} : A_b = (\pi/4) \times 0.6^2 = 0.283 \text{ cm}^2/\text{bar}$$

$$\text{Spacing} = 28.3 / 2.5 = 11.3 \text{ cm}$$

\therefore USE RB6 @ 0.10 m #

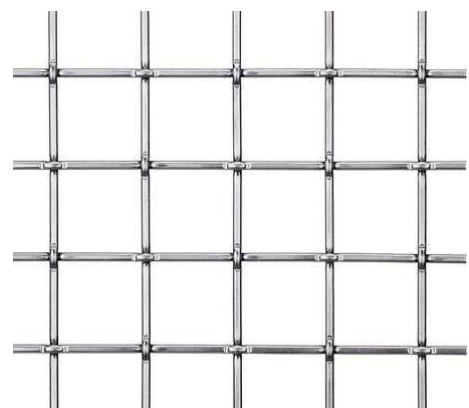
Use Wire Mesh :

$$A_s = 0.0014 \times 100 \times 10 = 1.4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

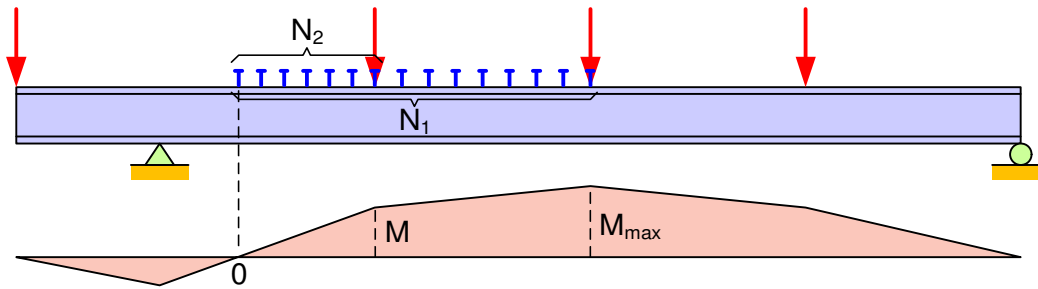
$$\text{Ø } 6 \text{ mm} : A_b = (\pi/4) \times 0.6^2 = 0.283 \text{ cm}^2/\text{bar}$$

$$\text{Spacing} = 28.3 / 1.4 = 20.2 \text{ cm}$$

\therefore USE WF6 @ 0.20 m #



Composite Beam with Concentrated Loads



N_2 = number of shear connectors required between any concentrated load and the nearest point of zero moment

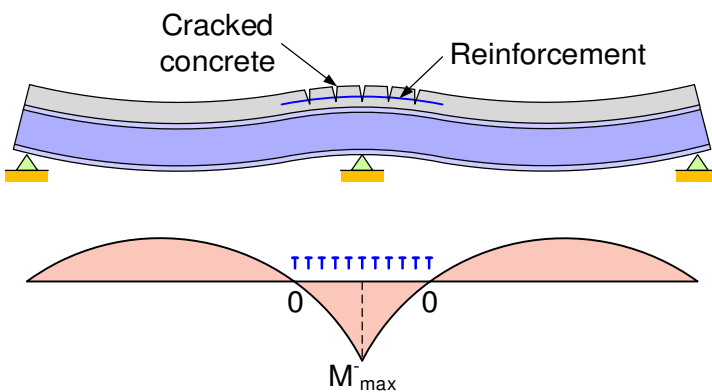
$$N_2 = \frac{N_1 \left[\frac{M \beta}{M_{\max}} - 1 \right]}{\beta - 1}, \quad \beta = \frac{S_{tr}}{S_s} \text{ or } \frac{S_{eff}}{S_s}$$

where M = moment (less than the maximum moment) at a concentrated load point

N_1 = number of connectors required between point of maximum moment and point of zero moment, determined by V_h / q or V'_h / q

Continuous Composite Beams

สำหรับคานต่อเนื่องวัสดุผสมที่คิดให้เหล็กเสริมช่วยรับแรงดึงในช่วงโมเมนต์ลบ แรงเฉือนแนวนอนที่จะถูกรับโดยอุปกรณ์ยึดรับแรงเฉือนระหว่างจุดรองรับและจุดตัดกลับมีค่าเท่ากับ



$$V_h = F_{yr} A_{sr} / 2$$

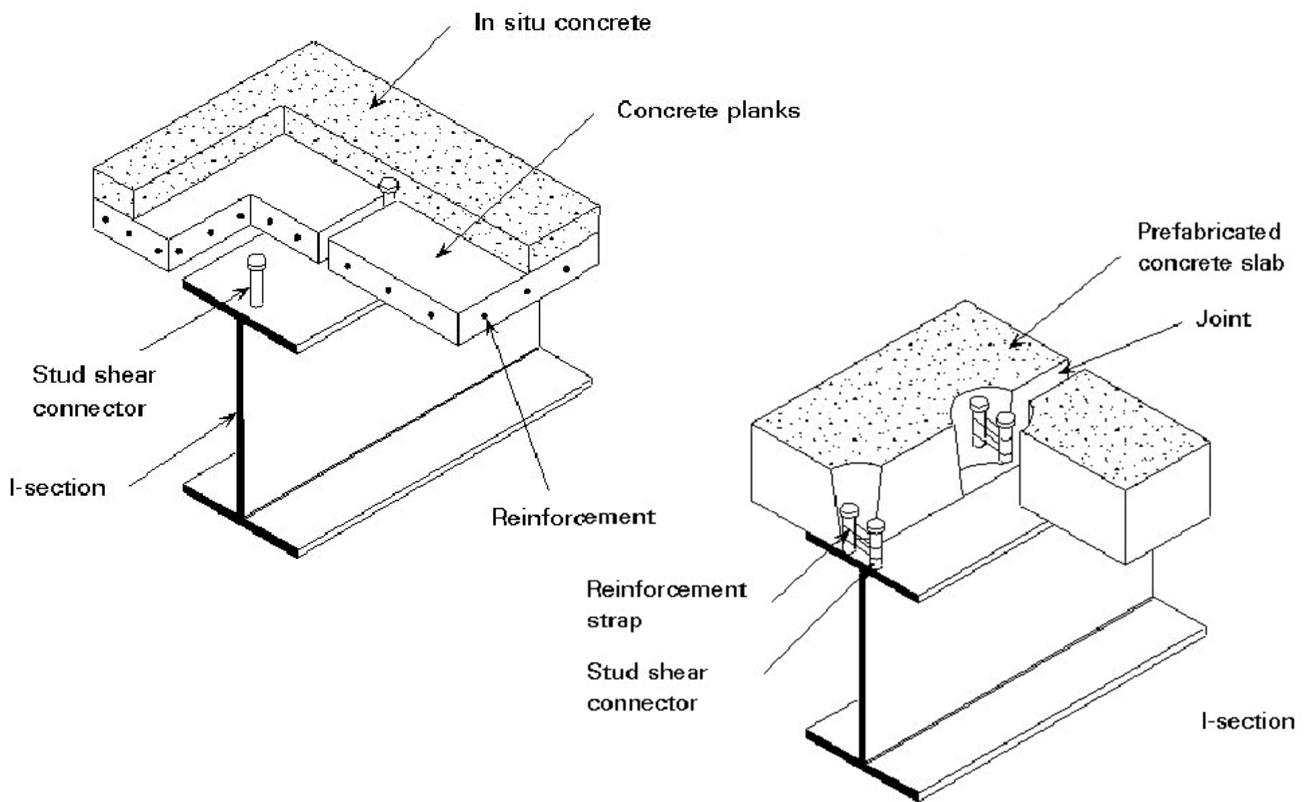
A_{sr} = พื้นที่เหล็กเสริมภายในความกว้างประสิทธิภาพ, ซม.²

F_{yr} = กำลังครากเหล็กเสริม, กก./ซม.²

จำนวนอุปกรณ์ยึดรับแรงเฉือนที่ใช้ในส่วนที่มีโมเมนต์ลบ อาจจัดวางสม่ำเสมอในช่วงระหว่างตำแหน่งโมเมนต์สูงสุดกับตำแหน่งที่มีโมเมนต์เท่ากับศูนย์

Composite Beams with

Precast Concrete Slab



Composite Beams with

Precast Hollow-core Slab (Slim Floor System)

