

10

Reinforced Concrete Design

Design of Slabs 1



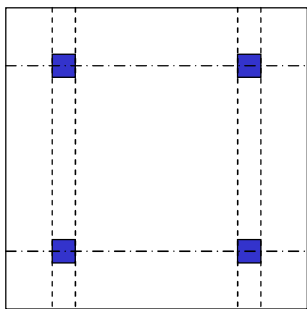
- ชนิดของพื้น
- น้ำหนักที่กระทำต่อพื้น
- การแอ่นตัวของพื้นทางเดียว
- การออกแบบพื้นทางเดียว

Mongkol JIRAVACHARADET

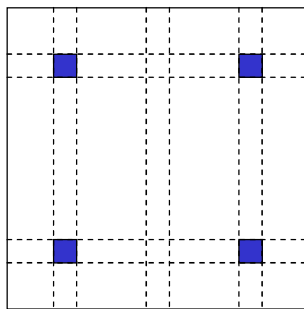
SURANAREE
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

INSTITUTE OF ENGINEERING
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

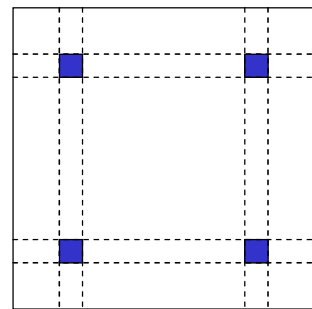
ชนิดของพื้น



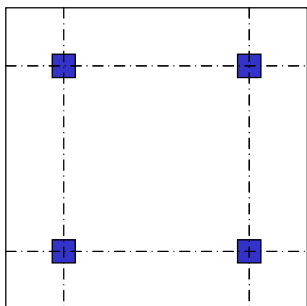
One-way slab



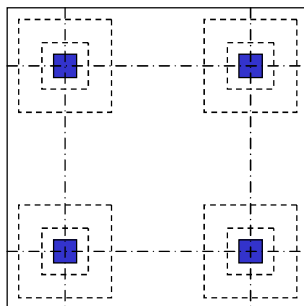
One-way slab



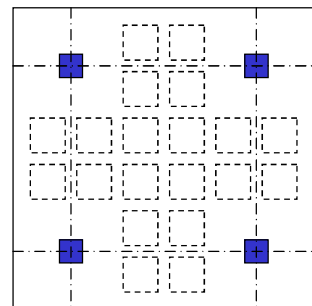
Two-way slab



Flat plate slab



Flat slab

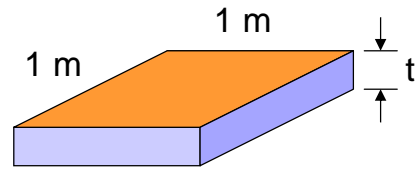


Grid slab

น้ำหนักที่กระทำต่อพื้น

น้ำหนักต่อตารางเมตร

- ▶ น้ำหนักตัวพื้นเอง (DL) = $2,400 \times t$
- ▶ น้ำหนักจร (LL) ใช้ตามข้อกำหนด
- ▶ น้ำหนักวัสดุปูผิว (SDL) : หินขัด, หินแกรนิต, ไม้
- ▶ น้ำหนักส่วนประกอบอื่นๆ เช่น งานระบบ, ฝ้า, พัดลม, โคมไฟ

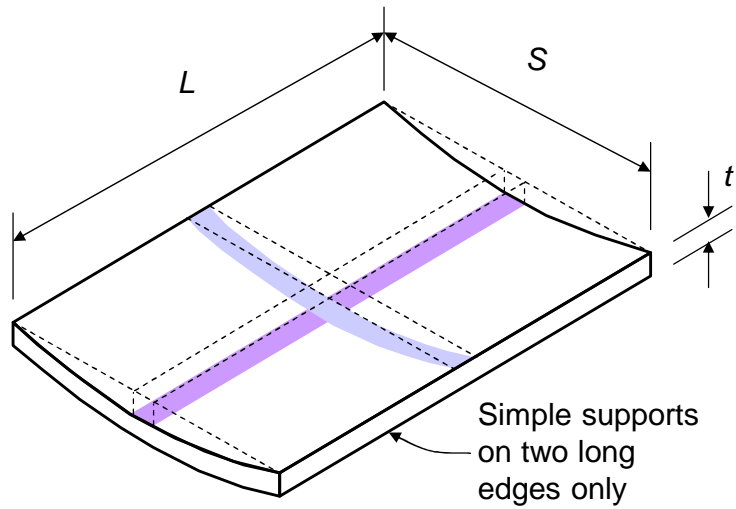
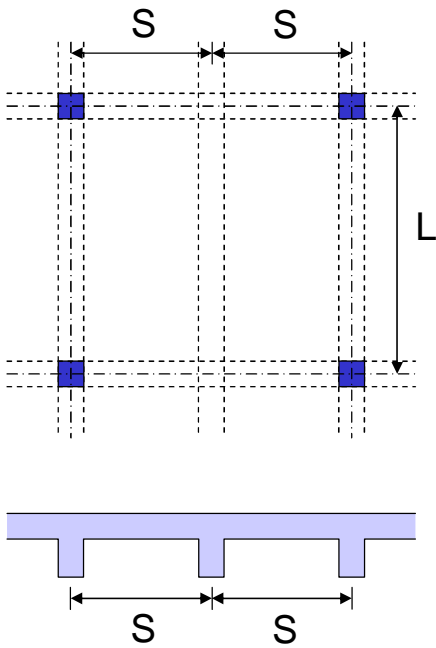


น้ำหนักวัสดุปูผิว

| ชนิดวัสดุ | น้ำหนัก (ก.ก./ม. ²) |
|--|---------------------------------|
| ปูนทรายปรับระดับ | 1,658 t |
| พื้นซีเมนต์ขัดมันหนา 2.5 ซม. | 55 |
| พื้นหินขัดหนา 2.5 ซม. | 80 |
| พื้นปูหินอ่อนหรือหินอัคนี (หรือ 2,645 t) | 55 |
| พื้นปูหินแกรนิต (หรือ 2,800 t) | 60 |
| พื้นปูหินทราย | 2,400 t |
| พื้นปูหินปูน | 2,550 t |
| พื้นปูปาเก้หนา 1/2" | 15 |

การแอ่นตัวของพื้นทางเดียว

พื้นทางเดียว : ด้านยาว (L) > สองเท่าของด้านสั้น (S)

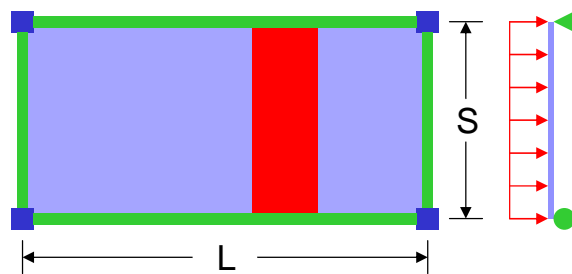


การแอ่นตัวเกิดขึ้นบนด้านสั้น

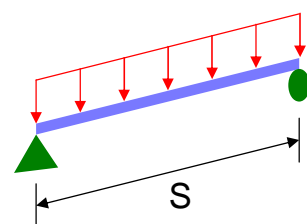
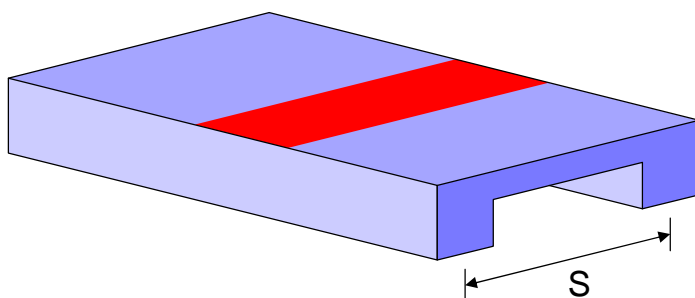
พื้นทางเดียว = การตัดใน 1 ทิศทาง

- ▶ พื้นมีคานารองรับทั้ง 4 ด้าน

$$L \geq 2S$$

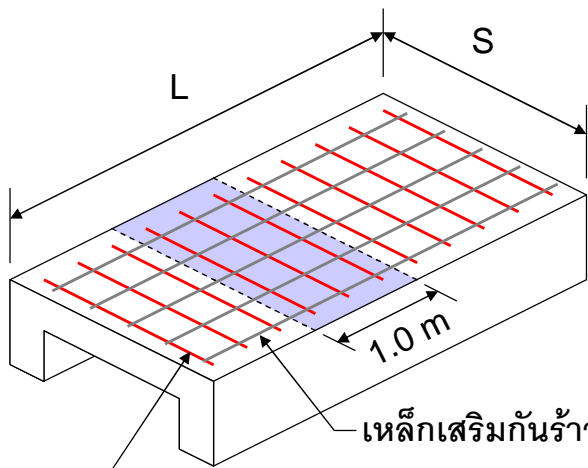


- ▶ พื้นมีคานารองรับ 2 ด้านขนานกัน

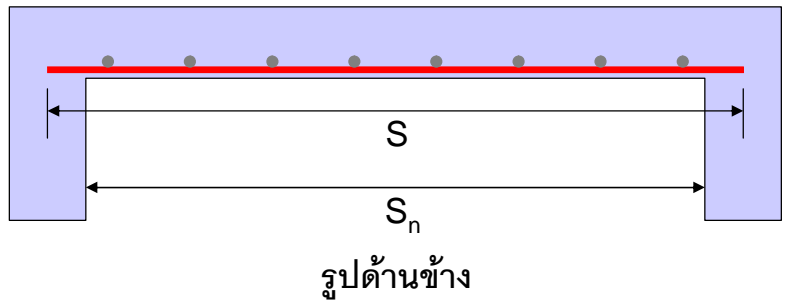
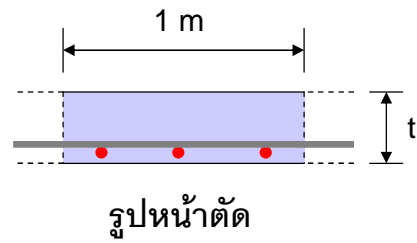


การออกแบบพื้นทางเดียว

การออกแบบ : พิจารณาพื้นเป็นคานากว้างหนึ่งเมตร



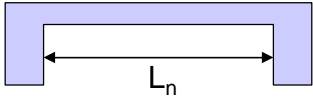
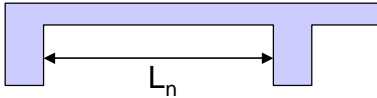
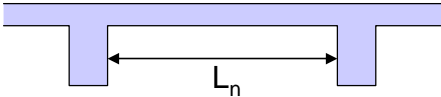
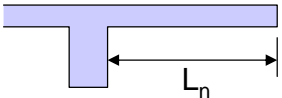
เหล็กเสริมกันร้าว : ด้านยาว
เหล็กเสริมหลัก : ด้านสั้น



ความหนาของพื้นทางเดียว

ความหนาพื้นอยู่ระหว่าง 10-15 ซม. ระยะหุ้มคอนกรีต 2-3 ซม.

ความหนาอย่างน้อยที่สุดของพื้นทางเดียว

| ความหนาอย่างน้อยที่สุด | ลักษณะของจุดรองรับ |
|------------------------|---|
| $L / 20$ | พื้นช่วงเดียว  |
| $L / 24$ | ปลายต่อเนื่องข้างเดียว  |
| $L / 28$ | ปลายต่อเนื่องสองข้าง  |
| $L / 10$ | พื้นยื่น  |

ปริมาณเหล็กเสริมในพื้นที่เดียว

เหล็กเสริมป้องกันการหดตัวและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (เหล็กเสริมกันร้าว)

อัตราส่วนเหล็กเสริม A_s ต่อพื้นที่คอนกรีตทั้งหมด $A_g : A_s/A_g$

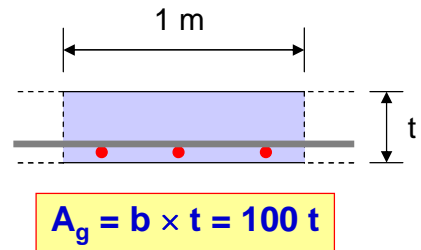
RB24 ($f_y = 2,400 \text{ ksc}$) 0.0025

DB30 ($f_y = 3,000 \text{ ksc}$) 0.0020

DB40 ($f_y = 4,000 \text{ ksc}$) 0.0018

DB ($f_y > 4,000 \text{ ksc}$) $\frac{0.0018 \times 4,000}{f_y} \geq 0.0014$

Spacing $\leq 3 t \leq 45 \text{ cm}$



Main Steel (short direction):

$A_s \geq \varnothing 6 \text{ mm}$

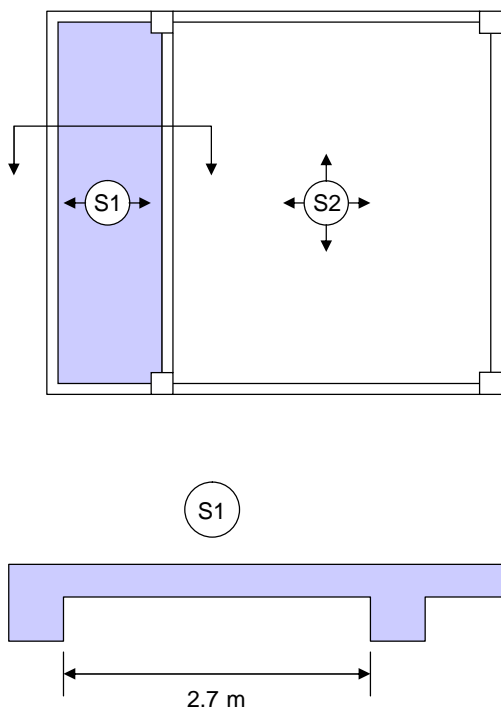
Max. Spacing $\leq 3 t \leq 45 \text{ cm}$

Min. Spacing $\geq f \text{ main steel} \geq 4/3 \text{ max agg.} \geq 2.5 \text{ cm}$



ตัวอย่างที่ 9.1 ออกแบบพื้นที่ทางเดียว S1 เพื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน 300 ก.ก./ม.^2 น้ำหนักของวัสดุปูพื้นเท่ากับ 50 ก.ก./ม.^2 กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ $f'_c = 210 \text{ ก.ก./ซม.}^2$ และ $f_y = 2,400 \text{ ก.ก./ซม.}^2$

WSD



วิธีทำ 1) ความหนาขั้นต่ำที่สุด

สำหรับพื้นที่ต่อเนื่องข้างเดียว $t_{\min} = L/24$

ตัวคูณลดค่าเมื่อ $f_y = 2,400 \text{ ksc}$ คือ

$$0.4 + \frac{2,400}{7,000} = 0.74$$

$$t_{\min} = 0.74 \times \frac{270}{24} = 8.3 \text{ cm}$$

เลือกความหนาพื้น $t = 10 \text{ cm}$

น้ำหนักพื้น = $0.1 \times 2,400 = 240 \text{ kg/m}^2$

น้ำหนักวัสดุปูผิว = 50 kg/m^2

น้ำหนักจร = 300 kg/m^2

WSD

$$\text{น้ำหนักรวม} = 240 + 50 + 300 = 590 \text{ kg/m}^2$$

โมเมนต์ที่หน้าตัดวิกฤตคำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในตาราง ก.10 ดังนี้

ณ. จุครองรับภายใน: $-M = 590 \times 2.7^2 / 9 = 477.9 \text{ kg-m}$

ณ. กลางช่วงคาน: $+M = 590 \times 2.7^2 / 14 = 307.2 \text{ kg-m}$

ณ. จุครองรับภายนอก: $-M = 590 \times 2.7^2 / 24 = 179.2 \text{ kg-m}$

คำนวณพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ :

$$f_s = 0.5 \times 2,400 = 1,200 \text{ ksc}$$

$$f_c = 0.45 \times 210 = 94.5 \text{ ksc}$$

$$n = \frac{134}{\sqrt{210}} \approx 9$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{f_s}{nf_c}} = \frac{1}{1 + \frac{1,200}{9 \times 94.5}} = 0.293$$

$$j = 1 - 0.293/3 = 0.902$$

$$R = \frac{1}{2} f_c k j = \frac{1}{2} \times 94.5 \times 0.293 \times 0.902 = 12.49 \text{ ksc}$$

ความลึกของหน้าตัดโดยสมมุติว่าใช้เหล็ก RB9 ม.ม. ระยะหุ้ม 2 ซม.

WSD

$$d = 10 - 0.45 - 2 = 7.55 \text{ cm}$$

โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต :

$$M_c = R b d^2 = 12.49 \times 100 \times 7.55^2 = 71,196 \text{ kg-cm}$$

$$= 712.0 \text{ kg-m} > M \text{ ที่มากกระทำ}$$

OK

คำนวณปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ : $A_s = \frac{M}{f_s j d}$

$$\text{RB9} : A_s = 0.636 \text{ cm}^2$$

$$\text{Spacing} = 0.636 \times 100 / A_s$$

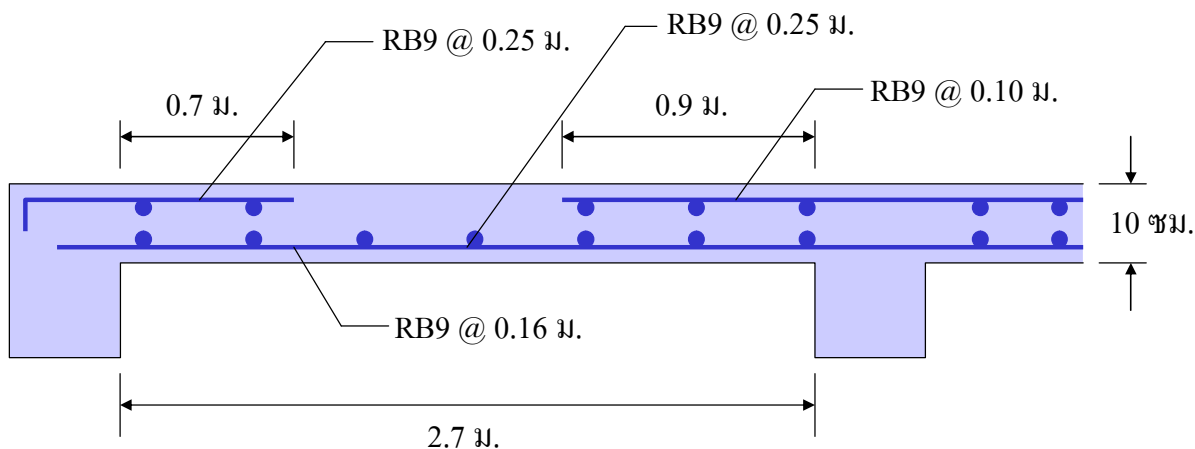
เหล็กเสริมกันร้าว : $A_{s,min} = 0.0025 \times 100 \times 10 = 2.5 \text{ cm}^2$

USE RB9 @ 0.25 m

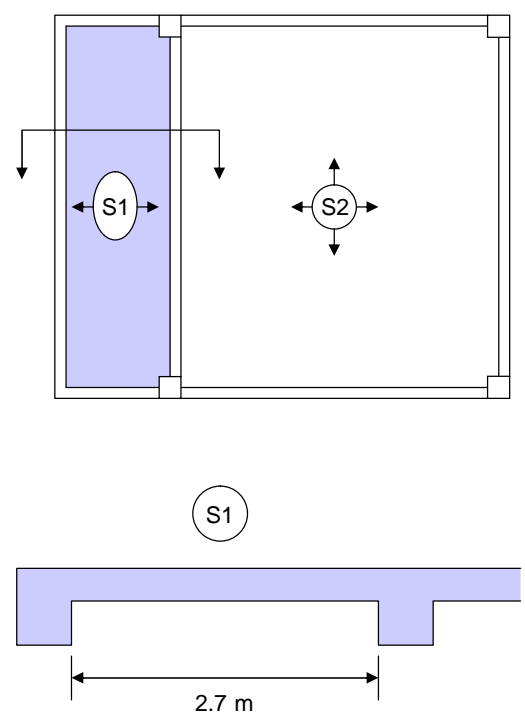
| ตำแหน่ง | M | A _s | เหล็กเสริม |
|-----------------|--------|----------------|------------|
| จุครองรับภายใน | -477.9 | 5.85 | RB9 @ 0.10 |
| กลางช่วงคาน | 307.2 | 3.76 | RB9 @ 0.16 |
| จุครองรับภายนอก | -179.2 | 2.19 | RB9 @ 0.25 |

เหล็กเสริมทางยาว : ใช้เหล็กเสริมกันร้าว

USE RB9 @ 0.25 m



ตัวอย่างที่ 9.1 ออกแบบพื้นทางเดียว S1 เพื่อรับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน 300 ก.ก./ม.² น้ำหนักของวัสดุปูพื้นเท่ากับ 50 ก.ก./ม.² กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ $f'_c = 210$ ก.ก./ซม.² และ $f_y = 2,400$ ก.ก./ซม.²



วิธีทำ 1) ความหนาขั้นต่ำที่สุด

สำหรับพื้นต่อเนื่องข้างเดียว $t_{min} = L/24$

ตัวคูณลดค่าเมื่อ $f_y = 2,400$ ksc คือ

$$0.4 + \frac{2,400}{7,000} = 0.74$$

$$t_{min} = 0.74 \times \frac{270}{24} = 8.3 \text{ cm}$$

เลือกความหนาพื้น $t = 10$ cm

- น้ำหนักพื้น = $0.1 \times 2,400 = 240 \text{ kg/m}^2$
- น้ำหนักวัสดุปูผิว = 50 kg/m^2
- น้ำหนักจร = 300 kg/m^2

น้ำหนักประลัย $w_u = 1.4 \times (240 + 50) + 1.7 \times 300 = 916 \text{ kg/m}^2$

โมเมนต์ที่หน้าตัดวิกฤตคำนวณโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในตาราง ก.10 ดังนี้

ณ. จุติรองรับภายใน: $-M_u = 916 \times 2.7^2 / 9 = 742.0 \text{ kg-m}$

ณ. กลางช่วงคาน: $+M_u = 916 \times 2.7^2 / 14 = 477.0 \text{ kg-m}$

ณ. จุติรองรับภายนอก: $-M_u = 916 \times 2.7^2 / 24 = 278.2 \text{ kg-m}$

ปริมาณเหล็กเสริมมากที่สุด (ตาราง ก.5): $\rho_{max} = 0.0341$

ความลึกของหน้าตัดโดยสมมุติว่าใช้เหล็ก RB9 มม. ระยะหุ้ม 2 ซม.

$d = 10 - 0.45 - 2 = 7.55 \text{ cm}$

คำนวณปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ : $R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$

RB9 : $A_s = 0.636 \text{ cm}^2$

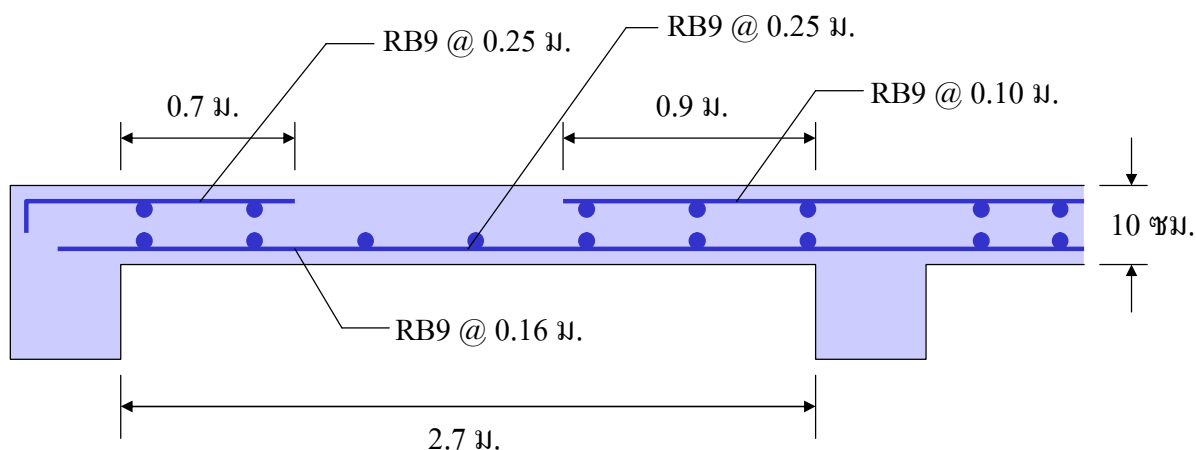
Spacing = $0.636 \times 100 / A_s$

$\rho = \frac{A_s}{b d} = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f'_c}} \right)$

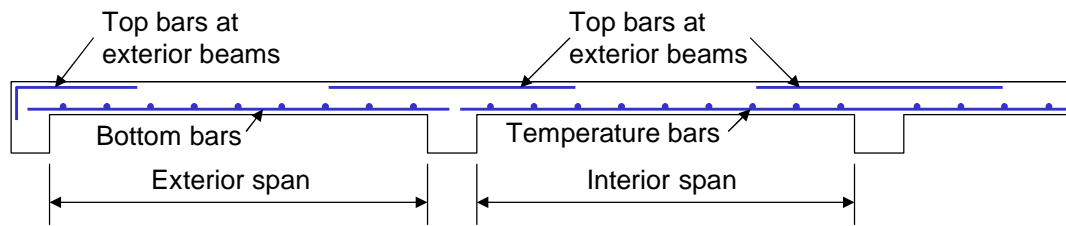
เหล็กเสริมกันร้าว : $A_{s,min} = 0.0025 \times 100 \times 10 = 2.5 \text{ cm}^2$ **USE RB9 @ 0.25 m** SDM

| ตำแหน่ง | M_u | A_s | เหล็กเสริม |
|------------------|--------|-------|-------------------|
| จุติรองรับภายใน | -742.0 | 4.75 | RB9 @ 0.13 |
| กลางช่วงคาน | 477.0 | 3.01 | RB9 @ 0.21 |
| จุติรองรับภายนอก | -278.2 | 1.73 | RB9 @ 0.25 |

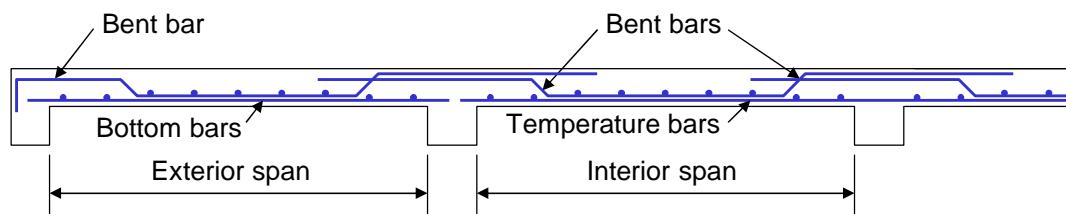
เหล็กเสริมทางยาว : ใช้เหล็กเสริมกันร้าว **USE RB9 @ 0.25 m**



การเสริมเหล็กในพื้นที่เดียว

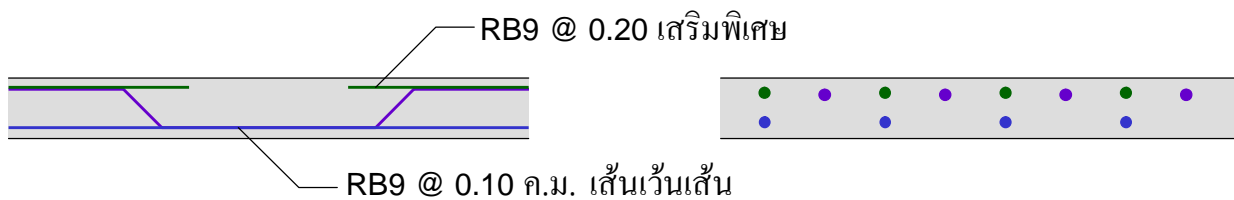


(a) Straight top and bottom bars



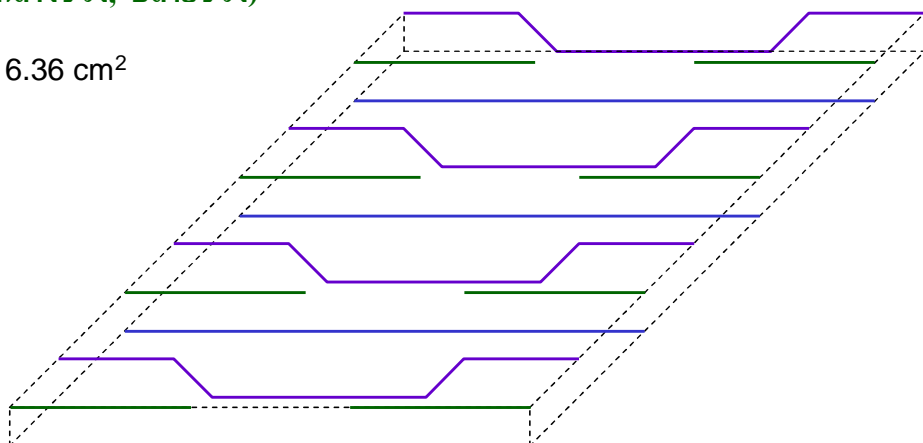
(b) Alternate straight and bent bars

คอตมัดเส้นเวียนเส้น

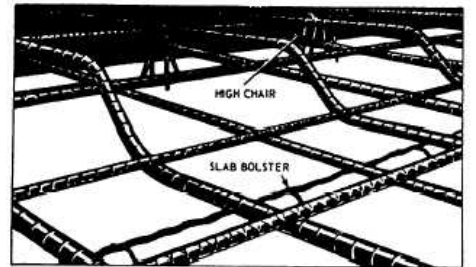
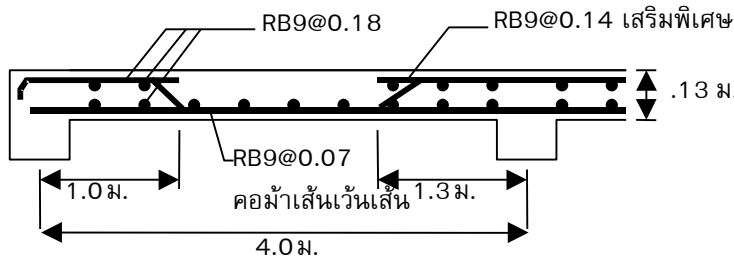
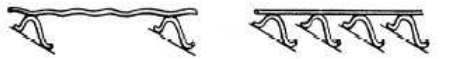
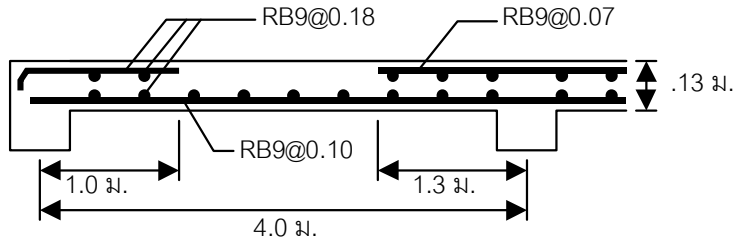
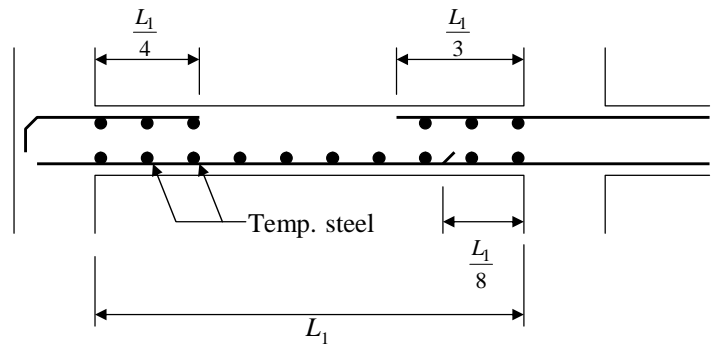


ปริมาณเหล็กเสริมเท่ากัน (กลางช่วง, ปลายช่วง)

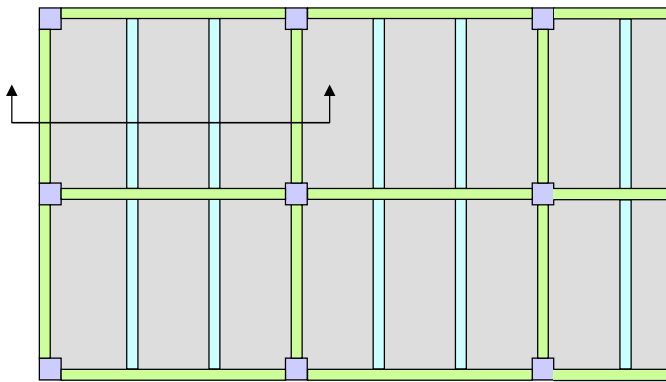
RB9 @ 0.10 m $A_s = 6.36 \text{ cm}^2$



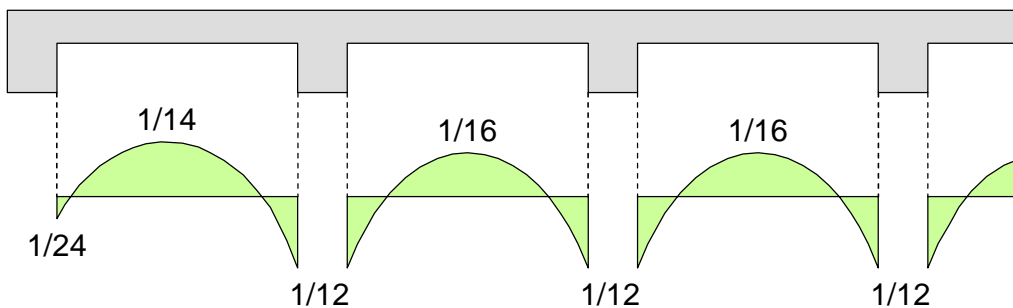
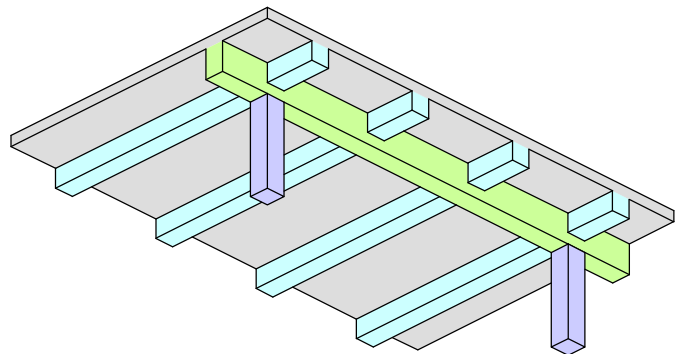
ระยะหยุดเหล็กเสริม



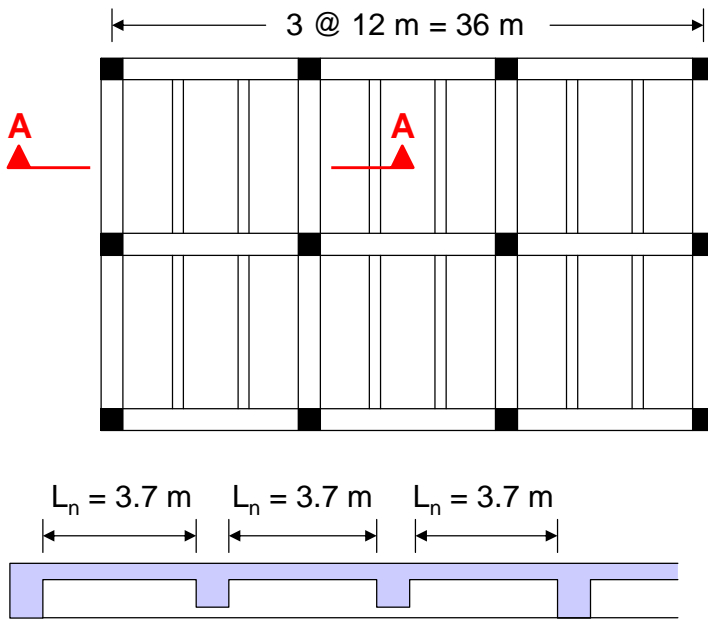
ระบบพื้นทางเดียว



Floor Plan



ตัวอย่างที่ 9.2 จงหาออกแบบพื้นทางเดียวสำหรับน้ำหนักจร 500 กก./ม^2 กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ $f'_c = 210 \text{ ksc}$ และ $f_y = 2,400 \text{ ksc}$



Section A-A

1) Minimum depth :

$$0.4 + 2,400/7,000 = 0.74$$

$$\text{Min. } h = 0.74 \times 370/24 = 11.4 \text{ cm}$$

USE $h = 12 \text{ cm}$

$$\text{Slab weight} = 0.12 \times 2,400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

Assume beam + super DL :

$$\text{Service DL} = 350 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Service LL} = 500 \text{ kg/m}^2$$

2) Factored Load :

$$w_u = 1.4 \times 350 + 1.7 \times 500 = 1,340 \text{ kg/m}^2$$

3) Max. Moment :

$$M_u = 1,340 \times 3.7^2 / 12 = 1,529 \text{ kg-m (Interior negative moment)}$$

$$\text{Max. reinforcement ratio (from Table ๓.5) : } \rho_{\max} = 0.0341$$

$$\text{USE RB9 with 2 cm covering: } d = 12 - 2 - 0.45 = 9.55 \text{ cm}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{1,529 \times 100}{0.9 \times 100 \times 9.55^2} = 18.63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}} \right) = 0.0082 < \rho_{\max} = 0.0341$$

OK

$$\text{Required } A_s = \rho b d = 0.0082 \times 100 \times 9.55 = 7.83 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{RB9 : } A_s = 0.636 \text{ cm}^2 \rightarrow s = 0.636 \times 100 / 7.83 = 8.12 \text{ cm}$$

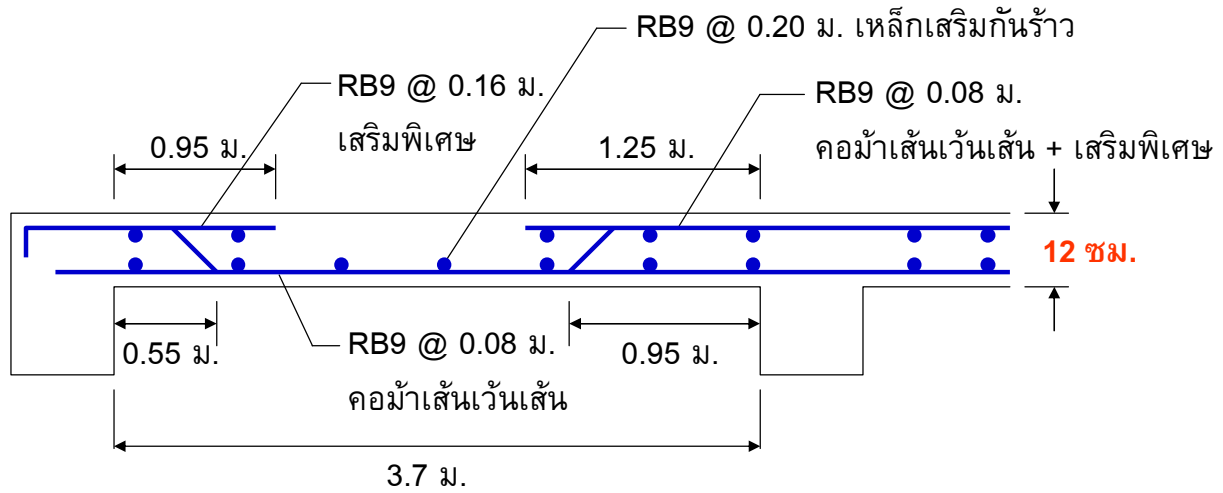
$$\text{Select RB9@0.08 : } A_s = 0.636 \times 100 / 8 = 7.95 \text{ cm}^2/\text{m} > \text{Required } A_s$$

OK

Temp. steel = $0.0025 \times 100 \times 12 = 3.00 < 7.95 \text{ cm}^2/\text{m}$

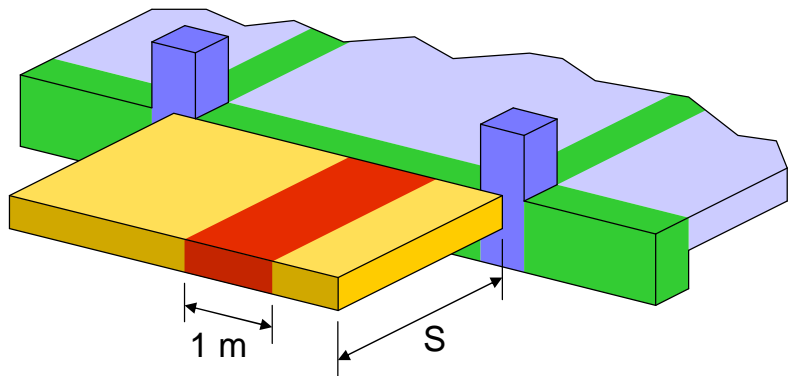
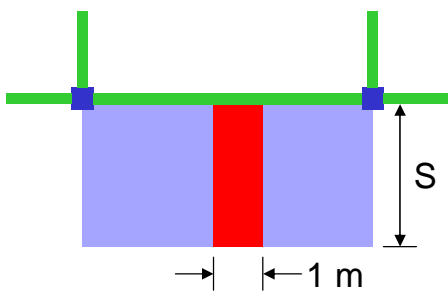
OK

Select RB9@0.20 : $A_s = 0.636 \times 100 / 20 = 3.18 \text{ cm}^2/\text{m}$



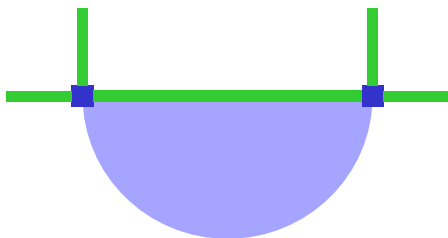
แบบรายละเอียดการเสริมเหล็กในพื้นที่ทางเดียว

พื้นระเบียงยื่น



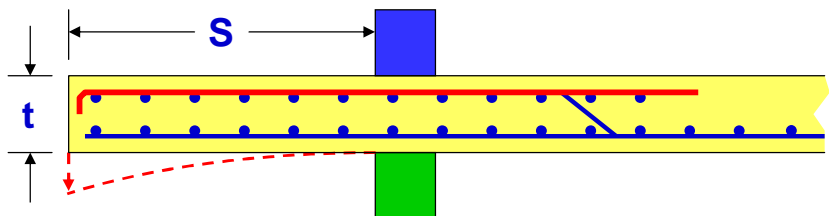
โมเมนต์ตัดต่อความ
กว้าง 1 เมตร

$$M = \frac{wS^2}{2}$$

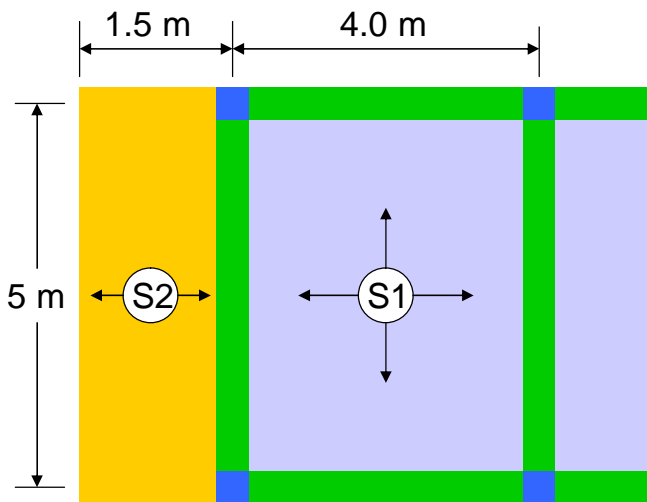


$$t \geq S / 10$$

for deflection control



ตัวอย่าง ออกแบบพื้นยื่นทางเดียวต่อจากพื้นสองทาง



$$\text{Min. } h = 150/10 = 15 \text{ cm}$$

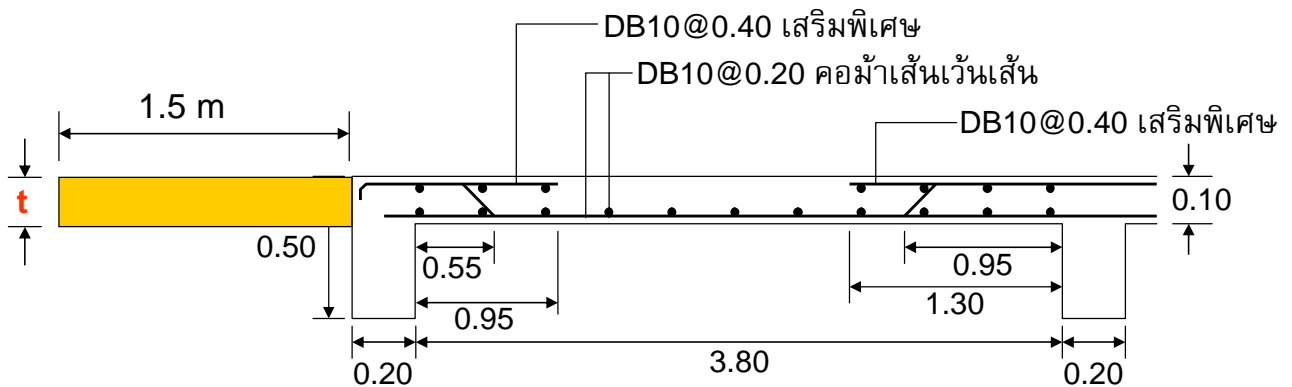
USE $h = 15 \text{ cm}$

$$\text{DL} = 0.15 \times 2,400 = 360 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{LL} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$w_u = 1.4 \times 360 + 1.7 \times 200$$

$$= \mathbf{844 \text{ kg/m}^2}$$



$$M_u = 844 \times 1.5^2 / 2 = \mathbf{949.5 \text{ kg-m}} \text{ (per 1 m width)}$$

USE DB10 with 2 cm covering: $d = 15 - 2 - 0.5 = \mathbf{12.5 \text{ cm}}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{949.5 \times 100}{0.9 \times 100 \times 12.5^2} = 6.75 \text{ ksc}$$

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85 f'_c}} \right) = 0.0017 < \rho_{\min} = \mathbf{0.0035}$$

Use ρ_{\min}

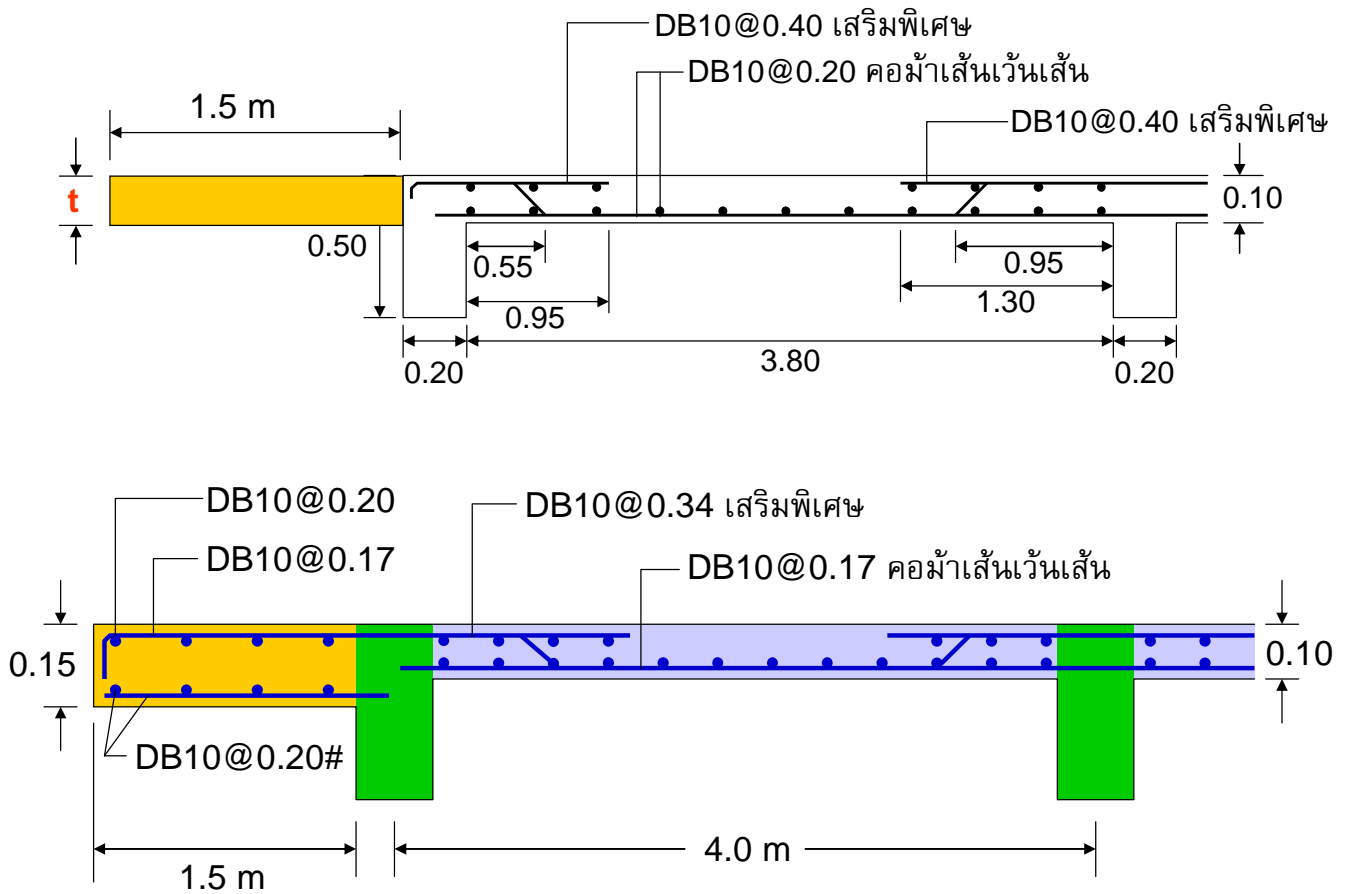
$$\text{Required } A_s = \rho b d = 0.0035 \times 100 \times 12.5 = 4.38 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{DB10 : } A_s = 0.785 \text{ cm}^2 \rightarrow s = 0.785 \times 100 / 4.38 = 17.9 \text{ cm}$$

Use DB10@0.17 : $A_s = 0.785 \times 100 / 17 = 4.62 \text{ cm}^2/\text{m} > \text{Required } A_s$ **OK**

$$\text{Temp. steel} = 0.0018 \times 100 \times 15 = 2.70 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\mathbf{\text{Use DB10@0.20}} : A_s = 0.785 \times 100 / 29 = 2.71 \text{ cm}^2/\text{m}$$



ข้อสอบยก

ข้อที่ : 122

แผ่นพื้นทางเดียว รับโมเมนต์ดัดประลัย 1500 กก.-ม. กำหนด $f_c' = 280$ ksc; $f_y = 2400$ ksc และถ้าใช้ปริมาณเหล็กเสริมเหล็กเสริมที่มีอัตราส่วนเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อหน้าตัดประสิทธิภาพสูงสุดตามมาตรฐาน ว.ส.ท. จงตรวจสอบหาค่า d ที่ต่ำที่สุดที่สามารถออกแบบได้ (วิธี SDM)

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 280}{2400} \times 0.85 \times \left(\frac{6120}{6120 + 4000} \right) = 0.05097$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \times 0.05097 = 0.0382$$

$$R_{n, \max} = \rho f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f_c'} \right)$$

$$= 0.0382 \times 2400 \left(1 - \frac{0.0382 \times 2400}{1.7 \times 280} \right) = 74.08 \text{ ksc}$$

$$M_u = \phi R_n b d^2 \rightarrow d = \sqrt{\frac{M_u}{\phi R_n b}} = \sqrt{\frac{1500 \times 100}{0.9 \times 74.08 \times 100}} = 4.74 \text{ cm}$$

ข้อสอบยก**ข้อที่ : 182**

แผ่นพื้นต่อเนื่องมีระยะศูนย์ถึงศูนย์ของที่รองรับ = 4.00 เมตร ต้องรับน้ำหนักบรรทุกจรแบบแผ่สม่ำเสมอใช้งานเท่ากับ 500 กก./ม.² ถ้าที่รองรับสามารถรับโมเมนต์ดัดได้เท่ากับ $wL^2/24$ จงใช้วิธี WSD หาขนาดและระยะเรียงของเหล็กเสริมที่ "ประหยัด" ตรงกลางช่วงพื้นสมมติพื้นหนา 20 ซม. เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่ระยะ $d = 15$ ซม. $f_c' = 150$ กก./ซม.² และ $f_y = 3000$ กก./ซม.² ตำแหน่งแกนสะเทิน $kd = 5$ ซม.

$$\text{น้ำหนักพื้น} + \text{น้ำหนักจร} = 0.2 \times 2400 + 500 = 980 \text{ กก./ม.}^2$$

$$\text{โมเมนต์ดัดกลางช่วง } M+ = 980 \times 4^2 / 14 = 1120 \text{ กก.-ม.}$$

$$\text{จาก } kd = 5 \text{ ซม.} \rightarrow jd = 15 - 5/3 = 13.33 \text{ ซม.}$$

$$A_s = \frac{M}{f_s jd} = \frac{1120 \times 100}{1500 \times 13.33} = 5.60 \text{ ซม.}^2$$

$$\text{เหล็ก } 12 \text{ มม. } (A_s = 1.13 \text{ ซม.}^2) \rightarrow s = 100 \times 1.13 / 5.60 = 20.18 \text{ ซม.}$$

เสริมเหล็ก 12 มม. @ 20 ซม.