

ตัวอย่างการออกแบบสะพานระบบคาน

ศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล สัจวาณิชย์

อ้างอิงจากห้องสมุด มก. eng.ku.ac.th

ให้ออกแบบสะพานซึ่งมีความยาวช่วง 16 ม. ผิวจราจรกว้าง 7 เมตร รับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ P_{18} (H 20-S 16) กำหนด $f'_c = 270$ กก./ชม² และเหล็กเสริม SD 30

เลือกระยะห่างระหว่างคานสะพาน = 2.35 เมตร

กำหนดให้ใช้คานมีความกว้าง = 0.40 เมตร



๕ ออกแบบพื้นสะพาน

$$\begin{aligned} \text{ระยะช่วงว่างระหว่างคาน (S)} &= 2.35 - 0.40 = 1.95 \text{ เมตร} \\ \text{AASHTO กำหนดความหนาของพื้นสะพาน} &= \frac{S+3.05}{9.15} \times 30.48 = 16.82 \text{ ซม.} \\ \text{เลือกใช้พื้นสะพานหนา 18 ซม. DL} &= 0.18 \times 2400 = 430 \text{ กก./ซม.} \\ \text{น้ำหนักวัสดุตั้งผิว} &= 70 \text{ กก./ม}^2 \\ \text{น้ำหนักคงที่ทั้งหมด} &= 430 + 70 = 500 \text{ กก./ม}^2 \\ M_D &= \frac{1}{10} Wl^2 = \frac{1}{10} (500) 1.95^2 \\ &= 190 \text{ กก.-ม.} \end{aligned}$$

$$\text{span length S} = 2.35 \text{ ม. หรือ } = 1.95 + 0.18 = 2.13 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} M_L &= 0.8 \frac{(S+0.61)}{9.74} P_{18} = 0.8 \frac{(2.13+0.61)}{9.74} 72 = 16.20 \text{ KN.m} \\ &= 1650 \text{ กก.ม.} \end{aligned}$$

$$M_I = \frac{15.24}{1+38} \quad M_L = \frac{(15.24)}{1.95+38} \quad M_L = 0.381 M_L$$

$$M_I = 0.30 \quad M_L = 500 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_T = M_D + M_L + M_I = 190 + 1650 + 500 = 2340 \text{ กก.-ม.}$$

$$f'_c = 270 \text{ กก./ซม}^2 \quad f_c = 0.40 \quad f'_c = 108 \text{ กก./ซม}^2$$

$$k = \frac{1}{1 + \frac{1500}{5(108)}} = 0.365j = 1 - \frac{0.365}{3} = 0.878; R = 17.30$$

$$d_{\text{req}} = \sqrt{\frac{2340}{17.30 \times 1}} = 11.6 \text{ ซม.}$$

$$d = 15 \text{ ซม.} \quad t = 18 \text{ ซม.} \quad t_{\text{min}} = 16.82 \text{ ซม.}$$

$$A_s = \frac{2340}{1500 \times 0.878 \times 15} = 11.84 \text{ ซม}^2$$

ใช้ $\emptyset 12 @ .10$

ออกแบบคานสะพาน

เลือกขนาด bridge seat = 40 ซม.

effective span length c to c = 16 ซม.

Dead load moment

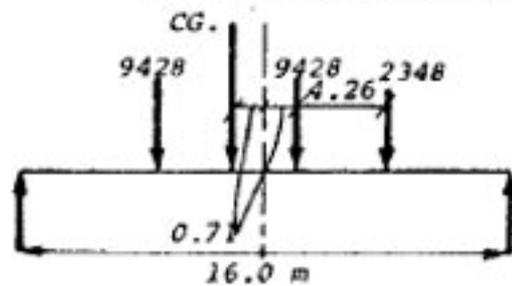
$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักพื้น} &= 500 \times 2.35 = 1175 \text{ กก./ม.} \\ \text{น้ำหนักคาน} &= .40 \times 1.02 \times 2400 = 980 \text{ กก./ม.} \\ \text{น้ำหนัก W} &= 1175 + 980 = 2155 \text{ กก./ม.} \\ M_D &= \frac{1}{8} (2155) 16^2 = 68960 \text{ กก.-ม.} \\ M_{D(3.2)} &= 2155 \times 8 \times 3.2 - 2155 \times \frac{3.2^2}{2} = 44134 \text{ กก.-ม.} \\ M_{D(6.4)} &= 2155 \times 8 \times 6.4 - 2155 \times \frac{6.4^2}{2} = 66201 \text{ กก.-ม.} \end{aligned}$$

Live load Moment

$$S = 2.35 \text{ ม.}$$

$$\text{ระยะที่ล้อแผ่กระจายน้ำหนัก} = S = 2.35 \times 3.28 = 7.708 \text{ ฟุต}$$

$$\text{คานตัวในจะต้องรับน้ำหนัก} = \frac{S}{6.0} \text{ Wheel load} = \frac{7.708}{6} (\text{Wheel load}) \text{ กก.}$$



$$R_L = \frac{1}{16} [21204 \times 8.71] = 11543 \text{ กก.}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= 1154 \times 8.71 - 9428 \times 4.26 \\ &= 60375 \text{ กก.-ม.} \end{aligned}$$

$$\text{ที่ระยะ 3.2 ม. } R_L = \frac{1}{16} [21204 \times 9.96] = 13199 \text{ กก.}$$

$$M_{(3.2)} = 13199 \times 3.2 = 42238 \text{ กก.-ม.}$$

$$R_L = \frac{1}{16} [21204 \times 6.76] = 8958 \text{ กก.}$$

$$M_{(6.4)} = 8958 \times 6.4 = 57331 \text{ กก.-ม.}$$

$$\text{สัมประสิทธิ์แรงกระแทก} = \frac{15.24}{16+38} = 0.282$$

$$\text{โมเมนต์ตัดจากแรงกระแทก (max)} = 0.282 (60375) = 17026 \text{ กก.-ม.}$$

$$\text{โมเมนต์ตัดจากแรงกระแทก (3.2)} = 0.282 (42238) = 11910 \text{ กก.-ม.}$$

$$\text{โมเมนต์ตัดจากแรงกระแทก (6.4)} = 0.282 (57331) = 16167 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_{\max} \text{ (Total)} = 68960+60375+17026$$

$$= 146361 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_{(3.2\text{m})} \text{ Total} = 44134+42238+11910$$

$$= 98282 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_{(6.4\text{m})} \text{ Total} = 66201+577331+16167 = 139699$$

การออกแบบ คิดเป็น T-beam

$$\text{ความกว้างประสิทธิผล 1.} = \frac{L}{4} = \frac{16}{4} = 4.0 \text{ ม.}$$

$$2. = 12t+b' = 12 \times 0.18 + .4 = 2.56 \text{ ม.}$$

$$3. = b'+L' = 0.40+1.95 = 2.35 \text{ ม.}$$

$$kd = 0.365 \times 1.07 = 39.2 > t$$

$$y = \frac{t(3kd-2t)}{3(2kd-t)} = \frac{18(3 \times 39.2 - 2 \times 18)}{3(2 \times 39.2 - 18)}$$

$$= 8.10 \text{ ซม.}$$

$$jd = d - y = 107 - 8.10 = 98.9 \text{ ซม.}$$

$$M_c = \left(1 - \frac{t}{2kd}\right) f_c b t jd$$

$$= \left(1 - \frac{18}{2 \times 39.2}\right) 108 \times 2.35 \times 18 \times 98.9$$

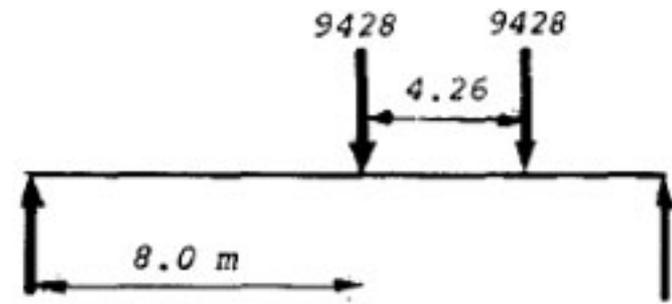
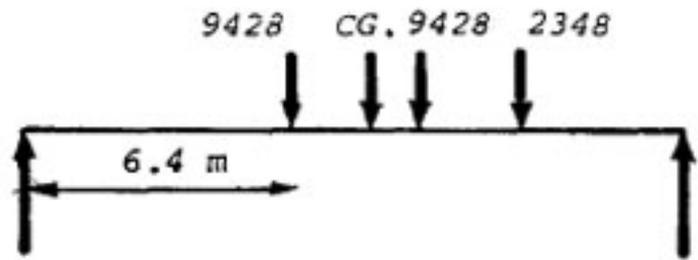
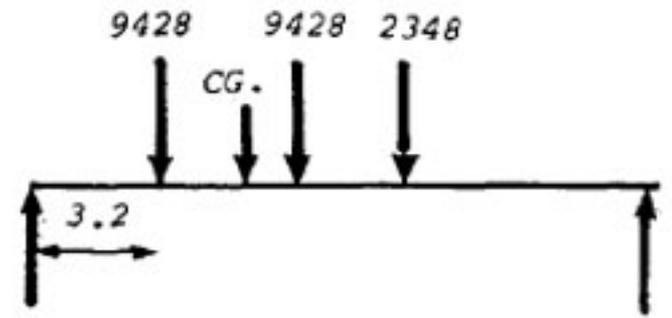
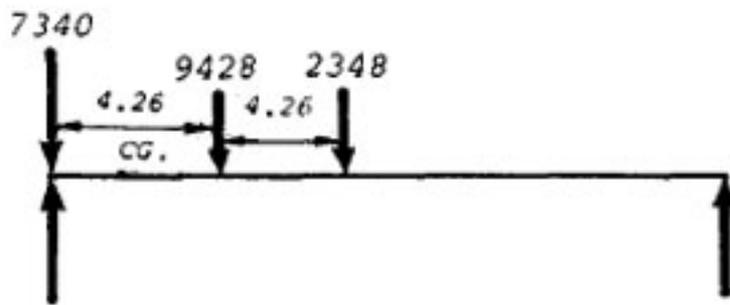
$$A_s = 348080 \text{ กก.ม.} > M_{\max}$$

$$= \frac{146361}{1500 \times .989} = 98.65 \text{ cm}^2$$

Use 15 \emptyset 28+2 \emptyset 25

$$A_s = 102.05 \text{ cm}^2$$

Dead load shear



$$(รูปที่ 1) \quad V_D = 2155 \times \frac{16}{2} = 17240 \quad \text{กก.}$$

$$(รูปที่ 2) \quad V_{3.2} = 17240 - 2155 \times 3.2 = 10344 \quad \text{กก.}$$

$$V_{6.4} = 17240 - 2155 \times 6.4 = 3448 \quad \text{กก.}$$

$$\text{กน } \bar{x} = \frac{1}{19116} [9428(4.26) + 7340(8.52)] = 5.37 \text{ ม.}$$

$$R_1 = V_{\max} = \frac{1}{16} [19116 \times 12.85] = 15350 \quad \text{กก.}$$

$$R_L = V_{(3.2)} = \frac{1}{16} [21204 \times 9.96] = 13200 \quad \text{กก.}$$

$$(รูปที่ 3) \quad R_L = V_{(6.4)} = \frac{1}{16} [21204 \times 6.76] = 8958 \quad \text{กก.}$$

$$(รูปที่ 4) \quad V_{\text{mid span}} = \frac{1}{16} [9428 \times 8 + 9428 \times 3.74] = 6918 \quad \text{กก.}$$

Impact shear

$$V_{I \max} = 0.282(15350) = 4328 \quad \text{กก.}$$

$$V_{I(3.2 \text{ ม.})} = 0.282(13200) = 3720 \quad \text{กก.}$$

$$V_{I(6.4 \text{ ม.})} = 0.282(8950) = 2524 \quad \text{กก.}$$

$$V_{I(\text{mid span})} = 0.282(6918) = 1950 \quad \text{กก.}$$

แรงเฉือนทั้งหมด

$$\begin{aligned}
 V_{T(\max)} &= 17240 + 15350 + 4328 = 36918 \text{ กก.} \\
 V_{T(3.2 \text{ ม.})} &= 10344 + 13200 + 3720 = 27264 \text{ กก.} \\
 V_{T(6.4 \text{ ม.})} &= 3448 + 8958 + 2524 = 14930 \text{ กก.} \\
 V_{T(\text{mid span})} &= 0 + 6918 + 1950 = 8868 \text{ กก.}
 \end{aligned}$$

$$\text{กำหนด } v_n = 0.06 f'_c = 16.2 \text{ กก./ชม.}^2$$

$$\begin{aligned}
 b'd &= \frac{V}{v_j} = \frac{36918}{16.2 \times 0.878} \text{ กก.} \\
 &= 2595 \text{ ชม.}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{ถ้า } b' = 40 \text{ ชม. ; } d_{\text{req}} = 64.8 \text{ ชม.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ที่ระยะ } 3.75 \text{ ม. จากซ้ายมือ } M_D &= 2155 \times 8 \times 3.75 - 2155 \times \frac{3.75^2}{2} \\
 &= 49498 \text{ กก.-ม.}
 \end{aligned}$$

$$R_L = \frac{1}{16} \times 21204 \times 9.41 = 12470 \text{ กก.}$$

$$M_L = 12470 \times 3.75 = 46765 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_I = .282 \times 46765 = 13188 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_T = 109451 \quad M_{12\phi 28} (109616 \text{ กก.ม.})$$

ที่ระยะ 3.75 ม. เป็นจุดตัดเหล็ก 3 ϕ + 2 ϕ 25 ตามทฤษฎี

AASHTO กำหนดให้ตัดเหล็ก เลยจุดที่ต้องการตามทฤษฎีอย่างน้อย 15 ϕ หรือ

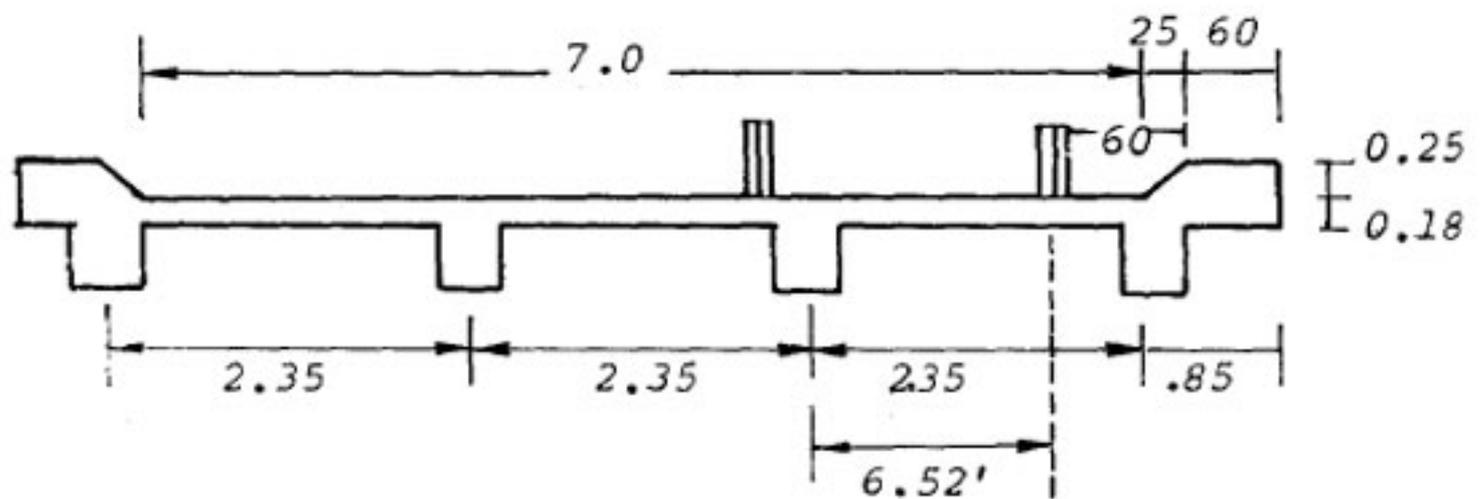
1/20 = 42 ชม. หรือ 80 ชม.

ตัดเหล็ก 3 ϕ 28 + 2 ϕ 25 ณ จุด 2.95 เมตร จากซ้ายมือ

$$v_c = 0.03 f'_c = 8.1 \text{ กก./ชม.}^2 < \frac{36918}{40 \times 107 \times .878} = 9.82$$

$$\text{เลือกใช้ } \phi 9 \text{ max. spacing } \neq d/2 = \frac{120}{2} = 60 \text{ ชม.}$$

Exterior Girder



$$W_{\text{เนื่องจาก curb}} = \frac{1}{2} (.6 + .85) .25 \times 2400$$

$$= 435 \text{ กก./ม.}$$

$$M_{D(\text{curb})} = \frac{1}{8} (435 + 2155) 16^2$$

$$= 82880 \text{ กก.-ม.}$$

$$\text{proportion ของ wheel load} = \frac{6.52}{5.5} = 1.18$$

$$M_L \text{ max} = \frac{1.18}{1.28} (60375) = 55456 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_I = 0.282 (55456) = 15638 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_T = 82880 + 55456 + 15638 = 153974 \text{ กก.ม.}$$

$$A_s \text{ max} = \frac{153974}{1500 \times .989} = 103.79$$

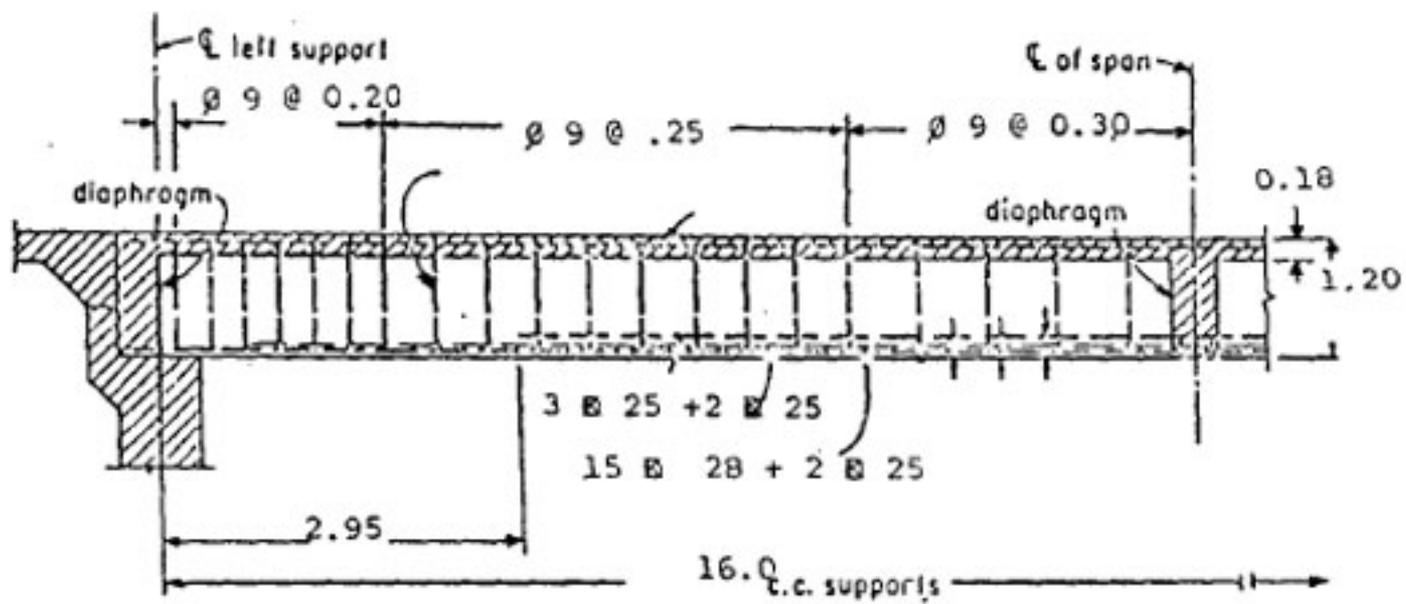
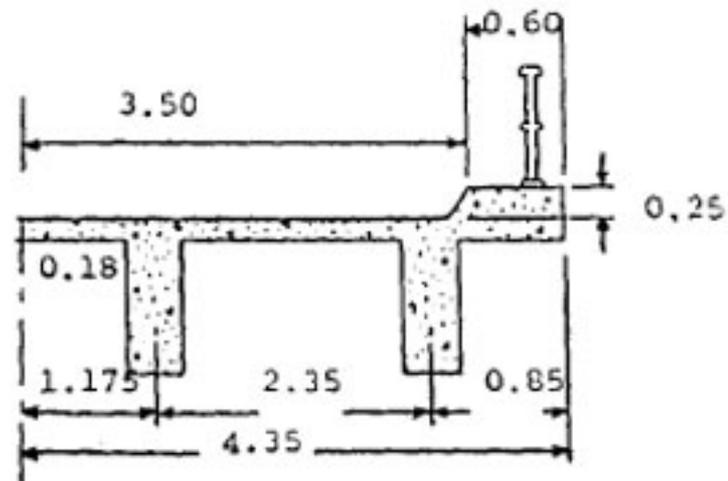
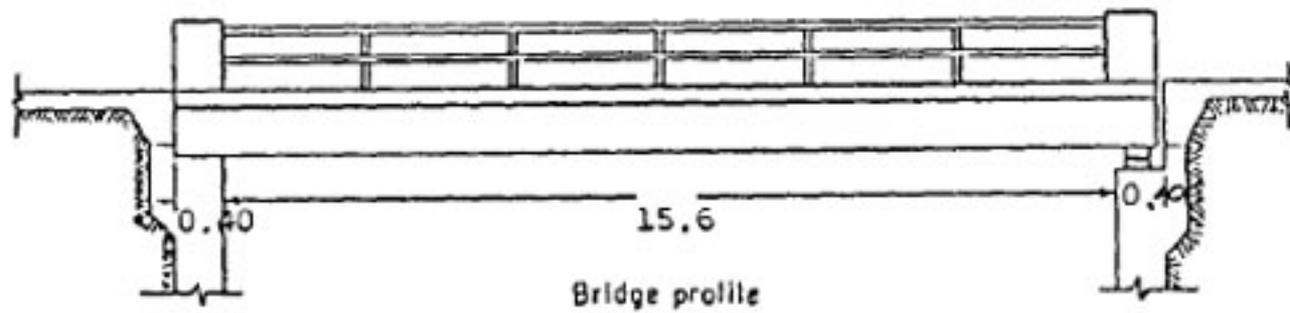
Use 15 \emptyset 28 + 2 \emptyset 25

$$V_D \text{ max} = (435 + 2155) 8 = 20720 \text{ กก.}$$

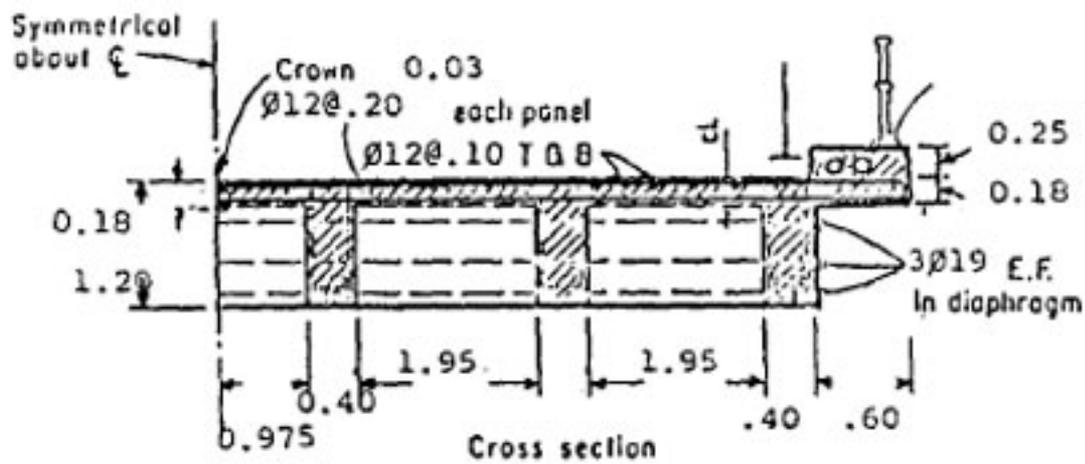
$$V_L \text{ max} = \frac{1.18}{1.28} \times (153501) = 14150 \text{ กก.}$$

$$V_I = .282 \times 14150 = 3990 \text{ กก.}$$

$$V_T = 388860 \text{ กก.}$$



Details of Interior girder



Details of T-beam bridge.

สะพานแบบระบบคาน

สะพานในลักษณะ T-beam หรือ Deck-Girder ที่ประหยัดมักจะมีอัตราความลึกต่อความยาวช่วงอยู่ระหว่าง 0.07-0.09 สำหรับสะพานช่วงเดี่ยวและ 0.065-0.085 สำหรับสะพานช่วงต่อ เนื่อง

๕ พหุสะพาน

- 1) เลือกความหนาของแผ่นพื้นและทาบโมเมนต์ตัด เนื่องจากน้ำหนักคงที่
- 2) ทาบโมเมนต์ตัดเนื่องจากน้ำหนักจร (M_L) จาก

๔ กรณีเหล็กเสริมหลักตั้งฉากกับทิศทางจราจร

$$M_L = \frac{S+0.61}{9.74} P (18, 13.5) \quad \text{สำหรับคานช่วงเดี่ยว}$$

$$M_L = 0.80 \frac{S+0.61}{9.74} P (18, 13.5) \quad \text{สำหรับคานต่อเนื่อง}$$

๔ กรณีเหล็กเสริมหลักขนานกับทิศทางจราจร

หาระยะเวลาการกระจายน้ำหนักจากล้อลงบนพื้นคอนกรีตจาก $E = 1.219+0.06S$
ทาบโมเมนต์ตัดเนื่องจากน้ำหนักล้อที่กระจายลงบนพื้นคอนกรีตจาก

$$M_L = \frac{PS}{4} \quad \text{เมื่อ } P \text{ เป็นน้ำหนักล้อที่กระจายต่อระยะ } 1 \text{ หน่วย}$$

ในกรณีที่ เป็นคานช่วงเดี่ยว อาจประมาณค่าโมเมนต์ตัดสำหรับรถขนาด P_{18} จาก

$$M_L = 13.14S \quad \text{เมื่อระยะช่วงตั้งแต่ } 0-15.24 \text{ เมตร}$$

$$M_L = 14.6(1.3S-6.1) \quad \text{เมื่อระยะช่วงตั้งแต่ } 15.24-30.48 \text{ เมตร}$$

สำหรับขนาด $P_{13.5}$ ให้ใช้ค่าโมเมนต์ตัดเป็น $3/4$ เท่าของ M_L สำหรับรถขนาด P_{18}

- 3) ทาบโมเมนต์ตัดเนื่องจากแรงกระแทก จาก

$$M_I = \frac{15.24}{l+38} \quad M_L \leq 0.30 M_L$$

และทาบโมเมนต์ตัดรวมจาก $M_T = M_D + M_L + M_I$

และคำนวณหาความลึกประสิทธิผลที่ต้องการ

4) เลือกความหนาพื้น และความลึกประสิทธิผลจริง คำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมหลัก และใส่เหล็กเสริมกันร้าว

3.2 กานสะพาน

1) ออกแบบคานโดยคิดเป็น T-beam ซึ่งมีความกว้างปีกคานตามค่าที่น้อยที่สุดของ

- ก. $\frac{1}{4}$ ของ span length ของคาน
- ข. ระยะระหว่างศูนย์กลางถึงศูนย์กลางของคาน
- ค. 12 เท่าของความหนาของพื้นบวกกับความกว้างของคาน

2) หาโมเมนต์ดัด เนื่องจากน้ำหนักคงที่
หาโมเมนต์ดัด เนื่องจากน้ำหนักล้อที่แผ่กระจายต่อหน่วยความกว้าง จาก

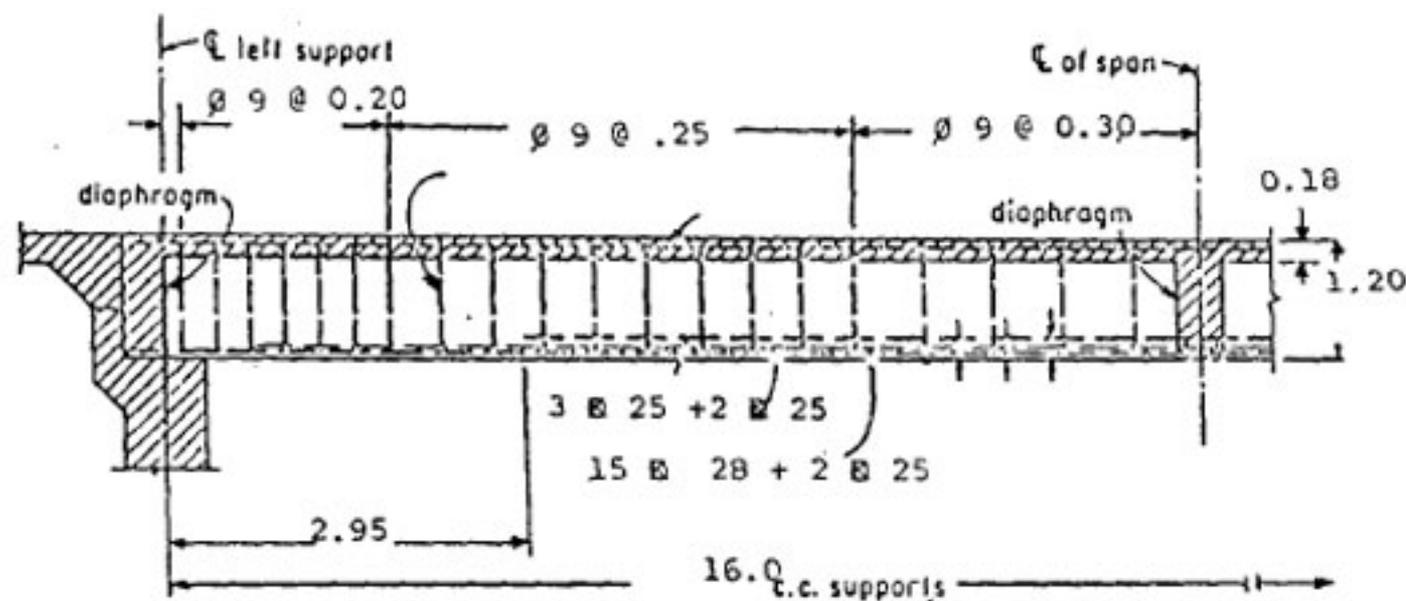
$$P' = P \times \frac{S}{6.0}$$

วางล้อในตำแหน่งที่ทำให้เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุด คือที่ตำแหน่งซึ่งจุดกึ่งกลางความยาวช่วงสะพาน เป็นจุดแบ่งครึ่งระยะระหว่างจุดศูนย์กลาง ความกว้างของน้ำหนักจากล้อรถทั้งคันและตำแหน่งล้อที่พิจารณา และหาโมเมนต์ดัด ณ ตำแหน่งล้อที่พิจารณา

3) หาโมเมนต์ดัด ณ จุดต่าง ๆ ที่จำเป็น เพื่อพิจารณาการดัดเหล็ก

4) หาค่าแรงเฉือนที่ปลายคาน และตำแหน่งอื่น ๆ ที่สอดคล้องกับข้อ 3 ทั้งในกรณีของน้ำหนักคงที่ น้ำหนักจรและแรงกระแทก

5) รวมค่าโมเมนต์ดัดทั้งหมด และแรงเฉือนทั้งหมด นำค่าทั้งสองมาพิจารณาออกแบบเหล็กเสริม



Details of Interior girder