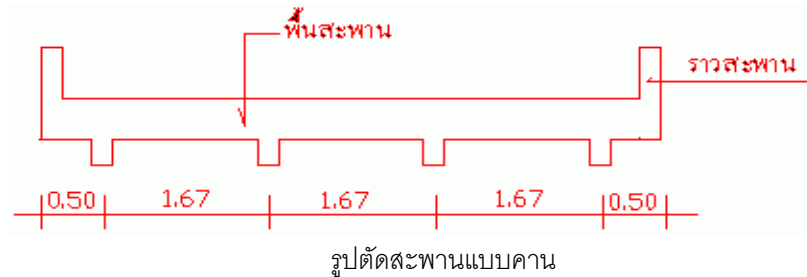


การออกแบบสะพาน(Bridge Design)รูปแบบสะพานสามารถแบ่งออกได้โดยทั่วไป ดังนี้

1.แบบคาน (Beam Bridge)

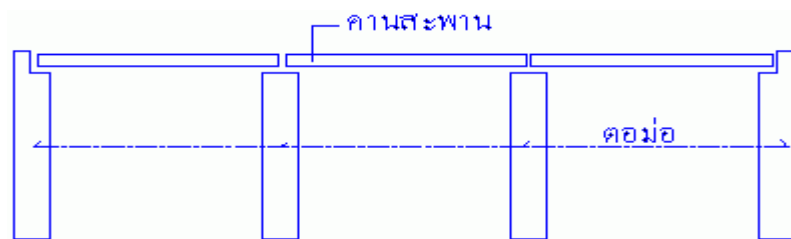
โครงสร้างหลักของสะพานแบบนี้ คือ ตัวคาน ซึ่งอาศัยคุณสมบัติการรับแรงดัดของวัสดุเป็นแรงต้านทานในการรับน้ำหนักพื้นสะพานจะถ่ายแรงสู่คานก่อนแล้วจึงถ่ายลงตอม่อ.



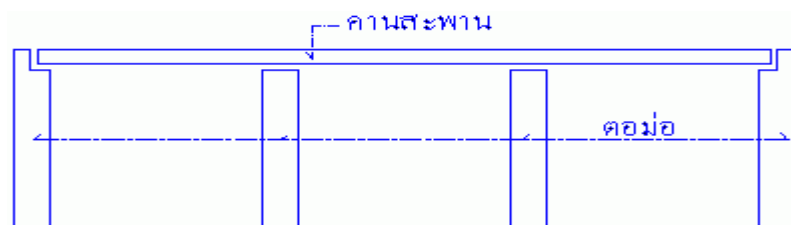
สะพานแบบนี้อาจแบ่งตามพฤติกรรมของโครงสร้างได้อีกดังนี้

1.1 Simple Span ช่วงเดียวหรือหลายช่วง

ในกรณีสะพานที่เป็น Simple Span หลายช่วง คานรับพื้นสะพาน จะแยกขาดออกจากกัน และคานในแต่ละช่วงจะไม่ถ่ายหน่วยแรง (Stress) ผ่านกันและกัน.



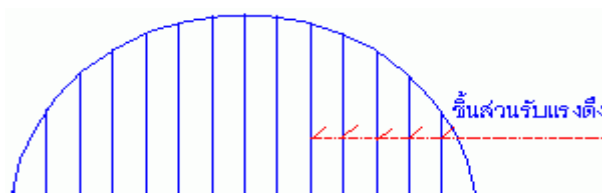
1.2 Continuous Span คานในแต่ละช่วงจะยึดติดกัน และถ่ายหน่วยแรง (Stress) ผ่านกันและกัน.



2. แบบโค้ง (Arch Bridge)

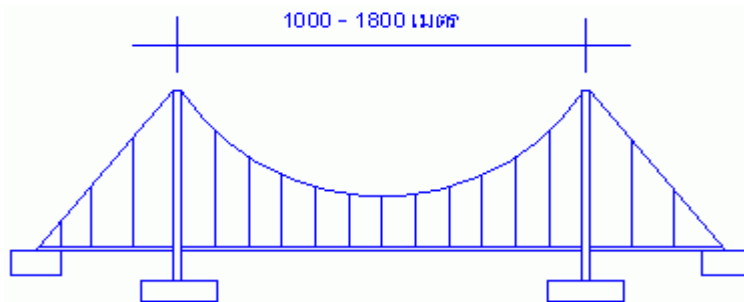
หลักการกว้าง ๆ ของสะพานแบบ Arch คือ การอาศัยแรงอัด หรือแรงกดของวัสดุเป็นแรงต้านทาน ในการรับน้ำหนัก โดยจะถือเสมือนว่าน้ำหนักพื้นสะพาน น้ำหนักรถและน้ำหนักอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องแขวนอยู่กับโครงสร้างส่วนที่โค้ง สิ่งสำคัญของการออกแบบโครงสร้างชนิดนี้ ต้องมีฐานรองรับ Arch ที่มั่นคง แข็งแรงไม่เลื่อนไหลไปในทางใด ๆ.

3. แบบแขวน (Suspension Bridge)



เป็นสะพานที่ใช้กันมาตั้งแต่โบราณ กล่าวกันว่า ชาวจีนรู้จักการทำสะพานชนิดนี้มาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ โดยใช้เถาวัลย์หรือหนังสัตว์โยงข้ามระหว่างสองฝั่งแม่น้ำ โดยยึดปลายทั้งสองข้างไว้กับเสาหรือต้นไม้

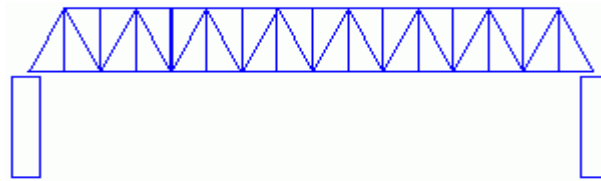
สะพานแขวนมีความเหมาะสมที่จะใช้กับสะพานที่มีช่วงความยาวมากเป็นพิเศษ และต้องการความสวยงาม.



4. แบบโครงข้อหมุนหรือโครงดัก (Truss Bridge)

โครงสร้าง Truss ประกอบด้วยชิ้นส่วนเป็นจำนวนมาก บางชิ้นส่วนจะรับแรงอัด บางชิ้นส่วนจะรับแรงดึง บางชิ้นส่วนอาจจะต้องรับทั้งแรงอัดและแรงดึง วัสดุที่จะนำมาใช้จึงต้องสามารถรับทั้งแรงอัด และแรงดึงได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงมักไม่ค่อยเห็นแบบ Truss ซึ่งก่อสร้างด้วยคอนกรีต ส่วนใหญ่จะเป็นสะพานเหล็กหรือไม้เท่านั้น ปัจจุบันสะพานแบบ Truss มักใช้ในงานก่อสร้างสะพานคนเดินข้ามถนนและสะพานโครงเหล็กสำเร็จรูปในงานก่อสร้างสะพานชั่วคราว.

5. แบบซิง (Cable Stayed Bridge)



สะพานซิงเป็นสะพานที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยแรงดึง เป็นแรงต้านทานในการรับน้ำหนักเหมือนสะพานแขวน แตกต่างกับที่สะพานแขวน Main Cable จะถูกขึงโยงตลอดแนวความยาวสะพาน และมี Stringers จำนวนมากห้อยจาก Cable มาผูกยึดตัวสะพานไว้ แต่สะพานซิงจะใช้ Cable หลาย ๆ เส้น ซึ่งจากตอม่อลงมายึดตัวสะพานโดยตรง ความแตกต่างอีกประการหนึ่ง คือ ในสะพานแขวนน้ำหนักที่ถ่ายลงตอม่อจะมาจาก Main Cable เท่านั้น ส่วนสะพานซิงนั้นนอกจากแรงจะมาจาก Cable แล้วจะถ่ายมาจากตัวสะพานโดยตรงด้วย.

หลักในการเลือกใช้สะพาน

- 1.สำรวจแนวทางข้ามลำน้ำ โดยเลือกช่วงที่สั้นที่สุด ซึ่งจะนำมาสู่การออกแบบที่ประหยัด
- 2.สำรวจข้อมูลลำน้ำ
 - 2.1 รูปตัดลำน้ำ
 - 2.2 ระดับน้ำสูงสุด, ต่ำสุด
 - 2.3 สภาพดินท้องลำน้ำ
 - 2.4 สิ่งที่มาตามลำน้ำ เช่น ขอนไม้, เรือใหญ่ที่สุด เพื่อกำหนดช่วงลอดสะพาน (ช่วง Span) ระดับพื้นสะพาน
 - 2.5 ข้อมูลอื่น ๆ

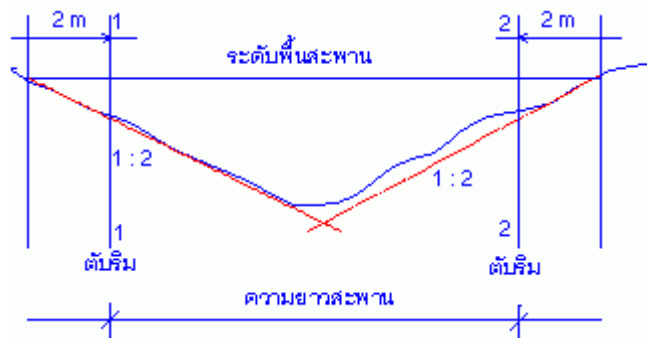
* ข้อมูลในข้อ 1 และ 2 จะนำมาสู่ขั้นตอนการเลือกช่วงและกำหนดความยาวสะพาน

โดยขั้นตอนมีลำดับดังนี้

1. เขียนรูปตัดลำน้ำจากข้อมูลสำรวจ คำนวณปริมาณน้ำ โดยให้มีทางน้ำไหลอย่างน้อยเท่ากับ หน้าตัดของท้องลำน้ำ หรือมากกว่า.



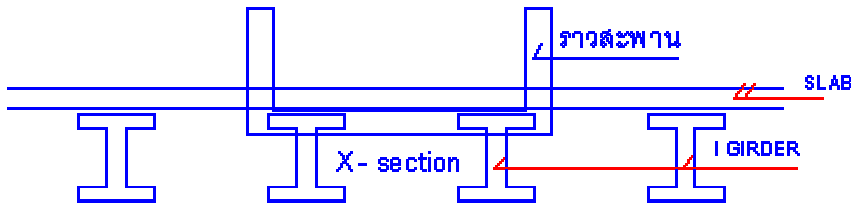
- หรืออาจคำนวณจากข้อมูล อุทกวิทยา โดยใช้แผนที่ซึ่งกำหนดเส้นชั้นความสูง (Base Map Contour)
2. ลากเส้นลาดริมตลิ่ง ความชัน 1:2 (ตั้ง : ราบ)
3. กำหนดระดับพื้นสะพาน (จากข้อมูลที่ได้)
4. จากจุดที่เส้นลาดริมตลิ่งตัดกับเส้นระดับพื้นสะพาน วัดระยะ OFF-SET เข้ามาในแนวสะพาน 2 เมตร จะได้ตำแหน่งของตอม่อตลิ่งแรก และตลิ่งสุดท้าย ซึ่งทำให้ทราบความยาวสะพาน
5. แบ่งส่วนสะพานตามความเหมาะสม แต่ไม่ควรให้ตำแหน่งของตอม่อตลิ่งกลางอยู่กึ่งกลางลำน้ำ
6. นำช่วงสะพานที่แบ่งได้มาพิจารณาออกแบบโครงสร้างสะพาน.



แนวทางเลือกโครงสร้างสะพาน (แนะนำโดยกรมทางหลวง)

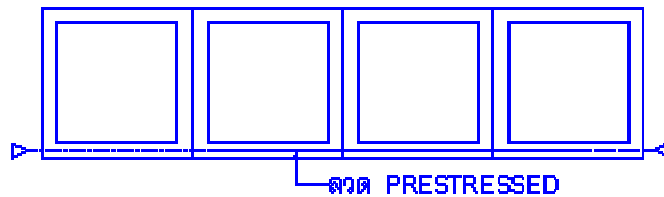
เป็นทางเลือกซึ่งมาจากประสบการณ์ออกแบบ (Experimental) ของกรมทางหลวง ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ ดังนี้

- Span ช่วง 5 – 10 เมตร มักใช้เป็น แบบพื้นท้องเรียบ (Slab Type)



- Span ช่วง 10 – 15 เมตร มักใช้เป็น แบบคอกอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา (Girder Type).

- Span ช่วง 15 – 20 เมตร มักใช้เป็น แบบคอกอนกรีตอัดแรง (Box Girder Type) (ถ้าใช้คอกอนกรีตเสริมเหล็กจะทำให้โครงสร้างใหญ่ ไม่ประหยัด).



- ถ้า Span ยาวมาก ๆ กล่าวคือ 40 – 60 เมตร ใช้แบบ Truss.

ในการออกแบบ นอกจากข้อมูลที่ได้แล้ว ยังมีความจำเป็นอย่างอื่นอีกดังนี้

- ความกว้างของรถ
- จำนวนเลน
- ความกว้างทางเท้า เช่น ย่านชุมชน กว้าง 1.00 – 1.50 เมตร
ชนบท กว้าง 0.50 เมตรหรือไม่มี
- เลือกขนาด และชนิดสะพาน

น้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ (Loading Design)

น้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานคงที่ (Dead Load) คือ น้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้าง เช่น พื้น, คาน, ราว, ทางเท้า ฯลฯ

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ประกอบด้วยน้ำหนักของรถที่วิ่งบนโครงสร้าง, คนเดินเท้า, น้ำหนักส่วนเพิ่ม (Surcharge) และอื่น ๆ น้ำหนักบรรทุกจรที่ใช้ออกแบบ

แรงกระแทกของน้ำหนักบรรทุกจร (Impact Load) เกิดเนื่องจากรถวิ่งแรงตะกุกตะกักของล้อที่ทำให้เกิดหน่วยแรง (Stress) เกิดในสะพานในลักษณะ Dynamic Loading

แรงลม (Wind Load) ลมอาจพัดปะทะสะพาน หรือรถวิ่ง เข้าสะพานถูกลมพัดทำให้เกิด Effect กับสะพาน (ตอม่อ)

แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) รถวิ่งเข้าทางโค้งจะเกิดแรงเหวี่ยง ทำให้เกิด Stress กับสะพาน

แรงดันดิน (Earth Pressure) การคำนวณแรงดันดินใช้สูตรของ Rankine อย่างไรก็ตาม แรงดันที่กระทำต่อโครงสร้างต้องไม่น้อยกว่าแรงดันของเหลวที่มีมวลเท่ากับ 80 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

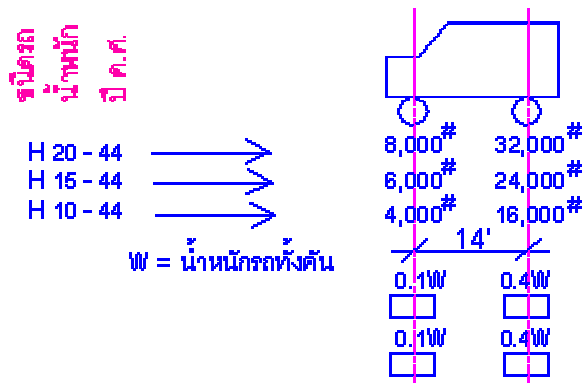
ในกรณีที่มีขีปนาวุธแล่นใกล้ส่วนบนของโครงสร้าง ในระยะทางน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความสูงของโครงสร้าง ให้เพิ่ม Surchage Load อีกไม่น้อยกว่าน้ำหนักดินถมสูง 0.60 เมตร

แรงลอยตัว (Buoyancy Force) เป็นแรงที่น้ำยกตอม่อให้ลอย

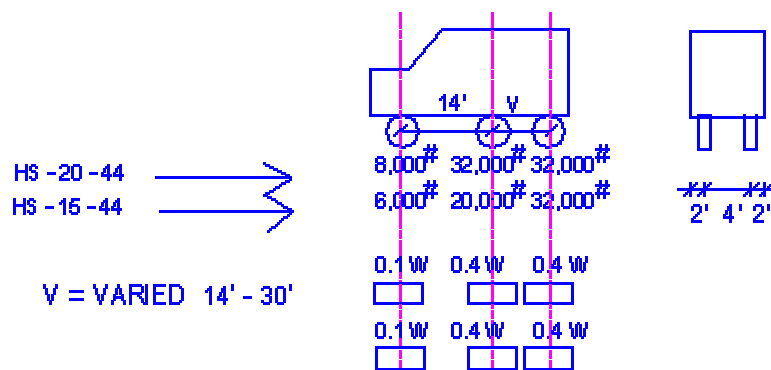
เมื่อได้แรงมาแล้ว จะนำไปจัดชั้นของแรง (Class of Loading) โดยจัดดังนี้

LL. Of Highway Loading

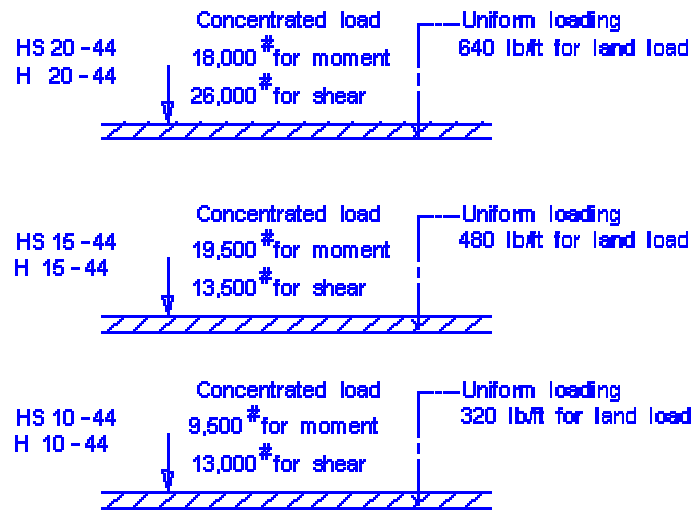
1.H – Loading.



2.HS – Loading.



3. Lane Loading



การพิจารณาว่าเมื่อใดจะใช้ Load ชนิดใดมีแนวทางดังนี้

- H – Loading
- HS – Loading
- Lane Loading เป็นตัว Check เปรียบเทียบ

เช่น - Primary Highway ซึ่งกำหนดรถหนัก 32 ตัน อาจใช้ HS – Loading เวลาออกแบบใช้ Lane Loading เปรียบเทียบกับ H, HS – Load ชนิดใดมากกว่า ใช้เป็นตัว Control

4. Side Walk Loading

Span 0' - 25' ใช้ 85 lb/ft²

Span 26' - 100' ใช้ 60 lb/ft²

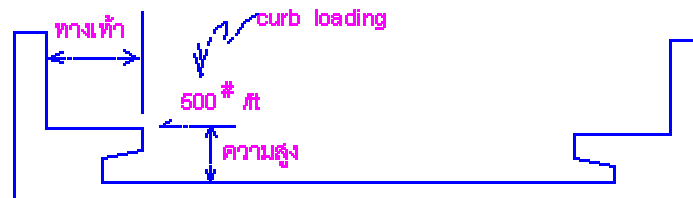
Span มากกว่า 100' ใช้ $P = (30 + 3000/L) \times (55 - W)/L$ □ 60 lb/ft²

เมื่อ $P =$ Live load per ft² (max. 60 lb/ ft²)

$L =$ Length of side walk (feet)

$W =$ Width of side walk (feet)

5. Curb Loading

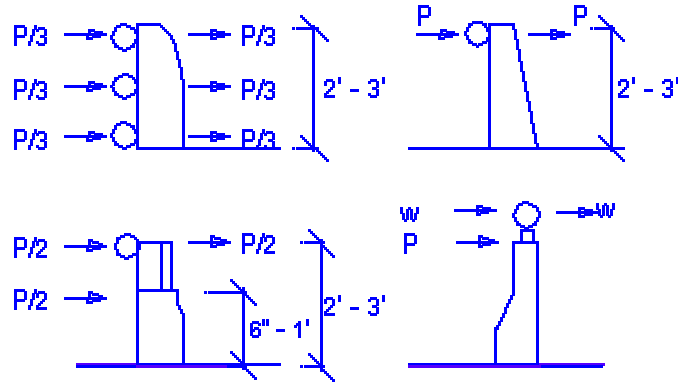


เป็น Lateral load ขนาด 500#/ft กระทำที่จุดยอดของ Curb (มาตรฐานกำหนดจุดยอด Curb ที่ 9" หรือประมาณ 23 เซนติเมตร) ถ้า Curb สูงเกิน 10" ให้กระทำที่ 10"

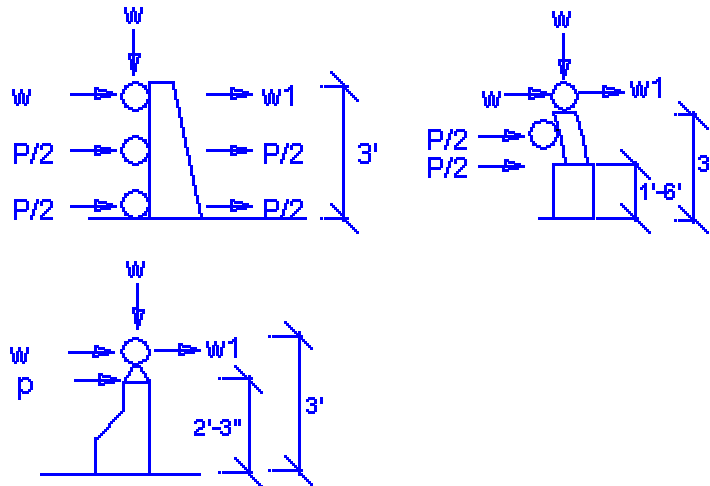
6.Railing Loading

Railing Loading นี้ AASHTO มีการปรับปรุงอยู่เสมอ ดังนั้น Load จะเปลี่ยนแปลงเสมอ แต่หลักการคำนวณยังคงเดิม

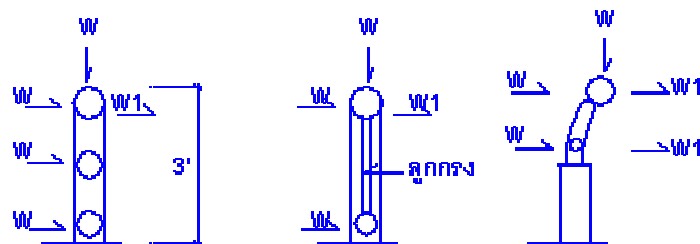
a) Traffic Railing ซึ่งออกแบบให้กันรถชนได้



b) Combination Railing



c) Pedestrian Railing



โดยที่ ทั้ง a, b, c

$$P = 10,000$$

$$L = \text{Spacing of Post}$$

$$W = 50\#/ft$$

7. Impact load

เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร ทำให้สั่นสะเทือนโดยล้อยรถตกจะ จะให้เพิ่มหน่วยแรง (Stress) ในโครงสร้างแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

โครงสร้าง กลุ่ม A : คิดแรงกระแทก แต่คิดไม่เกิน 30%

1. โครงสร้างส่วนบน (Super Structure) ได้แก่ คาน, พื้น, ราว, ทางเท้า ฯลฯ
2. โครงสร้างคอนกรีต โครงสร้างเหล็กที่ต่อเนื่องกับโครงสร้างส่วนบน (Super Structure) เสมือนเป็น Rigid Frame

โครงสร้าง กลุ่ม B : ไม่คิดแรงกระแทก

1. ตอม่อตัมบริม กำแพงกันดิน เสาเข็ม
2. สุสานราก
3. โครงสร้างไม้
4. ท่อระบายน้ำและโครงสร้างซึ่งมีดินคลุมมากกว่า 0.90 เมตร
5. น้ำหนักจรบนทางเท้า

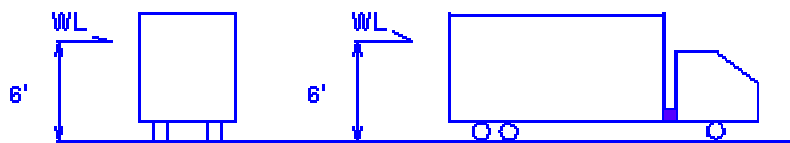
ตามมาตรฐาน AASHTO Art. 3.8

$$\text{Impact Factor ; } I = \frac{15.24}{L + 38} \leq 0.3$$

โดยที่ L = ความยาวช่วงคานที่น้ำหนักบรรทุกจรให้โมเมนต์ดัดสูงสุด หน่วยเมตร

8. Wind Load

1. แรงลมที่กระทำบนโครงสร้างส่วนบน (Superstructures) AASHTO กำหนดให้ ออกแบบ ให้รับความเร็วลม 100 ไมล์ต่อชั่วโมง สำหรับกรมทางหลวงกำหนดให้ ออกแบบ ให้รับความเร็วลม 200 Kg/m²
2. แรงลมที่กระทำบนน้ำหนักบรรทุกจร



แรงลมตามแนวขวาง = 150 Kg/ m²

แรงลมตามแนวยาว = 60 Kg/ m²

9. Longitudinal Force

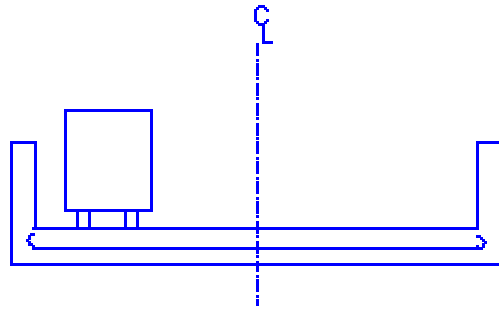
แรงตามยาวเท่ากับ 5% ของน้ำหนักบรรทุกจรทั้งหมดในทุกช่องทางรถวิ่ง ในทิศทางเดียวกันน้ำหนักไม่รวมแรงกระแทกใช้ตาม Standard Lane Loading สำหรับกรณีโมเมนต์ จุดศูนย์กลางถ่วงของแรงตามแนวยาวอยู่ที่ 1.80 เมตรเหนือผิวสะพาน (AASHTO Art. 3.9)แรงตามยาวเกิดขึ้นจากการที่รถวิ่ง แล้วมีแรงตกของล้อเกิดขึ้นไปตามแนวยาว

การหา Bending Moment on Slab

ตาม ข้อกำหนด AASHTO ให้เสริมเหล็กใน 2 ทิศทาง

1. เสริมเหล็กตั้งฉากกับทิศทางการจราจร ; CASE 1
2. เสริมเหล็กขนานกับทิศทางการจราจร ; CASE 2

CASE 1 เหล็กเสริมหลักตั้งฉากกับทิศทางการจราจร.



LL. Moment for Simple Span สำหรับ HS-20 Loading

$$= ((S+2)/2)P_{20} \quad \text{ft - pound/ft of width of slab}$$

เมื่อ $P_{20} = 16000 \#$

$$S = \text{Span Length (feet)}$$

LL. Moment for Simple Span สำหรับ HS-15 Loading

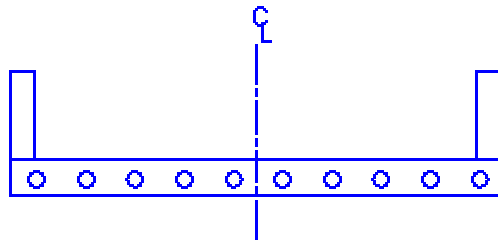
$$= ((S+2)/32)P_{15} \quad \text{ft - pound/ft of width of slab}$$

เมื่อ $P_{15} = 16000 \#$

$$S = \text{Span Length (feet)}$$

AASHTO แนะนำในกรณีที่เป็น Continuous Span มากกว่า 3 Support ให้ใช้ continuity 0.8 (คำนวณ Moment จาก Simple Span แล้วคูณด้วย 0.8)

CASE 2 เหล็กเสริมหลักขนานกับทิศทางการจราจร.



LL. Moment for Simple Span สำหรับ HS-20 Loading สำหรับ Span 0' - 50'

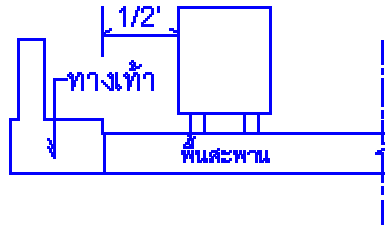
$$= 900S \text{ ft-pound/ft of width of slab}$$

LL. Moment for Simple Span สำหรับ HS-20 Loading สำหรับ Span 50' - 100'

$$= 1000(1.3S-20) \quad \text{ft-pound/ft of width of slab}$$

เมื่อ S = Span Length of Slab (feet)

การหา Bending Moment on side walk on curb



พิจารณา คานตัวริม (Edge Beam)

$$LLM. = 0.1 PS \text{ (จากล้อรถ)}$$

เมื่อ

P = wheel Load
 = 16000 # สำหรับ HS-20
 = 12000 # สำหรับ H-15

S = Span Length of Slab (feet)

นอกจากนี้ยังต้องรวม LLM. ที่เกิดจาก คน, ราวสะพาน ฯลฯ

การหา Distribution Reinforcement

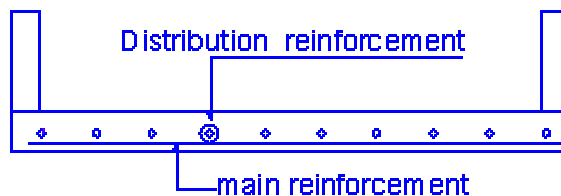
สำหรับ เหล็กเสริมหลักซึ่งขนานกับทิศทางจราจร

$$\text{Percentage} = 1000 / S^{1/2}; \text{ (max 50\%)}$$

สำหรับ เหล็กเสริมหลักที่ตั้งฉากกับทิศทางจราจร

$$\text{Percentage} = 220 / S^{1/2}; \text{ (max 67\%)}$$

เมื่อ S = Span Length of Slab (feet)



ตัวอย่างการออกแบบ

สำหรับ Slab type (Simple Span)

- Span 8.00 m
- ผิวจราจรกว้าง 7.00 m
- ทางเท้ากว้าง 1.00 m

Strength of concrete for 28 days cube = 210 ksc

Or for 28 days cylinder = 175 ksc

Reinforcement

$f_s = 1200$ ksc for SR 24

$f_s = 1400$ ksc for SD 30

AASHTO

Allowable stress of concrete

For Flexure

Extreme fiber in compression = $0.4 f'_c$

$$= 0.4 (175) = 70 \text{ ksc}$$

$$C = \frac{1}{2} f_c K d \cdot b$$

$$C = T$$

$$T = A_s f_s$$

$$M = C$$

$$R = 0.5 f_c k j$$

$$M = R b d^2$$

$$E_s = 30 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$E_c = 2 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$n = E_c / E_s = 30 \times 10^6 / 2 \times 10^6 = 15$$

$$k = 1 / (1 + (f_s / 15 f_c))$$

$$k = 0.428$$

หาค่า j

$$j d = d - \frac{k d}{3}$$

$$j = 0.857$$

$$R = 0.5 f_c k j$$

$$= 0.5 (70) (0.857) (0.428)$$

$$= 12.8 \text{ Ksc}$$

a) Slab (เหล็กเสริมหลักซึ่งขนานกับทิศทางการจราจร)

CASE I

$$\begin{aligned}
 \text{LLM} &= 900 \text{ S} \\
 &= 900 (8 \times 3.28) \\
 &= 23,616 \quad \text{lb/ft/ft of slab} \\
 \text{Assume } d &= 0.45 \text{ m} \\
 \text{DL of Slab} &= 0.45 \times 2400 = 1,080 \text{ kg/m}^2 \\
 M_{DL} &= \frac{1}{8} \times 1080 \times 8^2 \\
 &= 8,640 \text{ kg-m}
 \end{aligned}$$

พิจารณาจาก LLM ซึ่งไม่รวม Input Load

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{50}{L + 125} = \frac{50}{25.42 + 125} \\
 &= 0.33 > 30\% \quad \text{ใช้ } 30\%
 \end{aligned}$$

Total LL. (LLM + Impact)

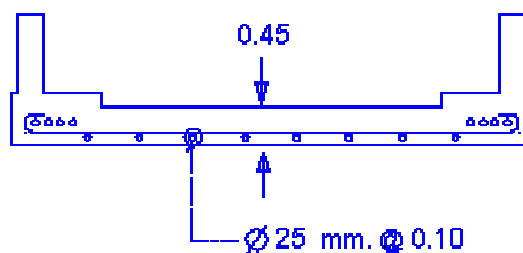
$$\begin{aligned}
 &= \frac{23616 \times 1.30}{2.2} \\
 &= 13,955 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Moment} &= 8640 + 13955 \\
 &= 22,595 \text{ kg-m/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_R &= Rbd^2 \\
 &= 12.8 \times 1.00 \times 40^2 \\
 &= 20480 > 22595 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{22595}{400 (0.857) (0.40)} \\
 &= 47 \text{ cm}^2/\text{m}
 \end{aligned}$$

use $\varnothing 25 \text{ mm} @ 0.10$ พาดตอม่อ



Distribution Steel

จาก AASHTO

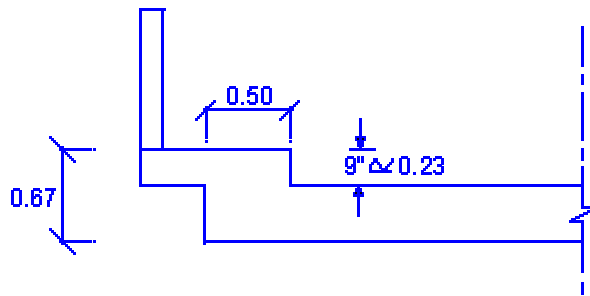
- เหล็กเสริมหลัก ซึ่งขนานกับทิศทางการจราจร

$$\begin{aligned}\text{Percentage} &= 100/S^{1/2} \\ &= 100/25.42^{1/2} \\ &= 20.00\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{Sd} &= 0.20 (47) \\ &= 9.4 \text{ Cm}^2\end{aligned}$$

use & 12 mm @ 0.14

(b) Design Curb



$$\begin{aligned}\text{DL} &= 0.50 \times 0.67 \times 2400 \\ &= 804 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

$$\text{L.L (ทางเท้า)} = 150 \text{ kg/m}$$

$$\text{LL (Railing \& Post)} = 270 \text{ kg/m}$$

$$\text{รวมน้ำหนัก} = 1224 \text{ kg/m}$$

$$\text{LLM on Curb} = 0.1 P$$

$$= 0.1 \times 16000 \times 25.42$$

$$= 40672 \text{ ft.lb}$$

$$\text{หรือ} = 5636 \text{ kg-m}$$

คิด Impact 30%

$$= 5636 \times 1.30$$

$$= 7327 \text{ kg-m}$$