203477 Pavement structure

หน่วยแรงที่เกิดในถนน

Stress in Rigid Pavement

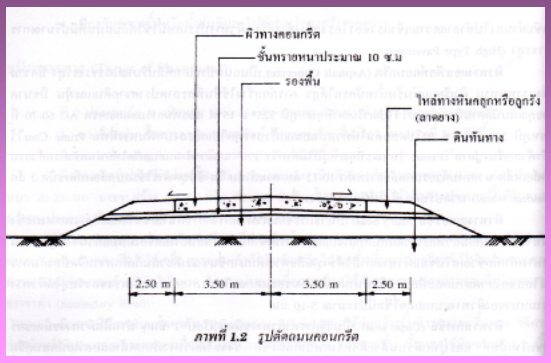
Weerakaset Suanpaga
(D.ENG-Candidate)
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering , Kasetsart University
Bangkok, Thailand

http://pirun.ku.ac.th/~fengwks/pavement/6stress_rigid.pdf

Rigid Pavement

- ทำด้วยปอร์ตแลนด์ซีเมนต์คอนกรีตวางอยู่บนดินเดิม
- อาจมีหรือไม่มีชั้นรองพื้นทางก็ได้
- มีความแข็งแกร่งและมีค่า Modulus of Elasticity สูง
- สามารถกระจายน้ำหนักล้อลงสู่ดินได้เป็นบริเวณกว้าง
- Load carrying capacity ขึ้นอยู่กับตัวแผ่นพื้นคอนกรีต

Rigid Pavement



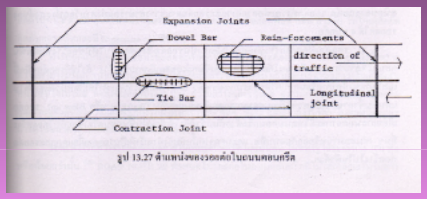
ภาพที่ 1.2 รูปตัดถนนคอนกรีต

ประโยชน์ของชั้นทราย

- ปรับผิวรองรับให้เรียบ
- ควบคุมการหดตัวและการพองตัวของดินเดิม
- เป็นชั้นระบายน้ำใต้แผ่นพื้นคอนกรีต ช่วยลดการ pumping
- ใช้เป็นที่รองรับเครื่องจักรหนักให้สามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ในขณะก่อสร้าง

ไปหัวข้อ Modulus of Subgrade Reaction

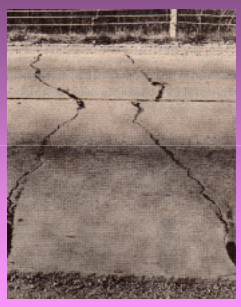
Pumping



รูป 13.27 ตำแหน่งของรอยต่อในถนนคอนกรีต

คือ “การที่น้ำและดินใต้แผ่นพื้นคอนกรีตพุ่งขึ้นมาผ่านทางรอยต่อ รอยแตก หรือที่ขอบของแผ่นพื้นเมื่อมีน้ำหนักกดให้แผ่นพื้นแอ่นลงหลังจากมีน้ำขังสะสมอยู่ใต้แผ่นพื้นนั้น”

Pumping



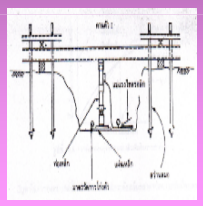
รอยแตกตามขวางในถนนคอนกรีต

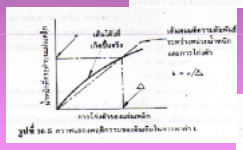
สามารถแก้ไขได้โดยการทำ **Mud Jack** ขณะเดียวกันจะต้องเปลี่ยนวัสดุตรงไหล่ทางในแนวรอยต่อให้น้ำสามารถไหลจากใต้แผ่นคอนกรีตลงสู่ดูข้างถนนได้อย่างสะดวก

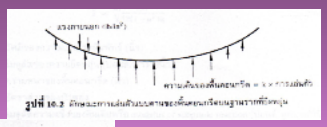
กลับไปหัวข้อ ประโยชน์ของชั้นทราย

Modulus of Subgrade Reaction (K)

คือค่าคงที่ที่แสดงถึงความแข็งแรงของชั้นดินเดิม หาได้โดยวิธีกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็ก (plate bearing test)







รูปที่ 10.2

$$K = \frac{\sigma}{\triangle}$$

เมื่อ K = โมดูลัสของความแข็งแรงของดินเดิม
σ = ความเค้นที่กระทำบนแผ่นเหล็ก
$\triangle$ = ค่าการแอ่นตัวของพื้นดินเดิม

Radius of Relative Stiffness

เป็นค่าความแข็ง (stiffness) ของพื้นคอนกรีตโดยเปรียบเทียบกับพื้นดินที่รองรับ

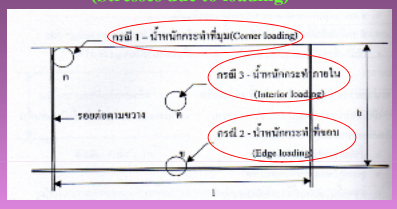
$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)k}}$$

เมื่อ l = รัศมีของความแข็งแรงสัมพัทธ์ (นิ้ว) หรือ ซม.
E = โมดูลัสของความยืดหยุ่น (ปอนด์/ตารางนิ้ว) = 2.8 x 10^5 กก./ตร.ซม. =4 x 10^6 ปอนด์/ตร.นิ้ว
h = ความหนาของพื้นคอนกรีต (นิ้ว) หรือ ซม.
μ = อัตราส่วนของปัวซอง ของคอนกรีต = 0.15
k = โมดูลัสความแข็งของดินเดิมหรือ modulus of subgrade reaction (ปอนด์ ลูกบาศก์นิ้ว)

Stress ในแผ่นพื้นคอนกรีต

- น้ำหนักบรรทุก (Loading)
- อุณหภูมิของแผ่นพื้นคอนกรีต
- ความชื้นในแผ่นพื้นคอนกรีต
- การขยายตัวและการบวมตัวของดินเดิม

หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก (Stresses due to loading)



ตำแหน่งของน้ำหนัก	ตำแหน่งและทิศทางของหน่วยแรงดึงสูงสุดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุก
ก. น้ำหนักกระทำที่มุม	ด้านบนของแผ่นพื้นคอนกรีต ในแนวเส้นแบ่งครึ่งมุมของแผ่นพื้นคอนกรีต
ข. น้ำหนักกระทำที่ขอบ	ได้น้ำหนักบรรทุก ผิวล่างของแผ่นพื้นคอนกรีตมีทิศทางขนานกับขอบ
ค. น้ำหนักกระทำภายในห่างจากขอบ	ได้น้ำหนักบรรทุก ผิวล่างของแผ่นพื้นคอนกรีต ขนาดเท่ากันทุกทิศทาง

หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก (Stresses due to loading)

1. น้ำหนักของล้อกระทำที่มุมของแผ่นคอนกรีตและมีเหล็กถ่ายน้ำหนัก (corner loading)

$$\sigma_c = \frac{3.36P}{h^2}\left[1 - \frac{\sqrt{a}}{0.925 + 0.22a/l}\right]$$

2. น้ำหนักของล้อรถกระทำที่ด้านขอบของแผ่นคอนกรีต (edge loading)

$$\sigma_e = \frac{0.572P}{h^2}\left[4\log_{10}(l/b) + 0.359\right]$$

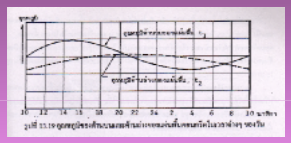
3. น้ำหนักของล้อกระทำที่ตรงกลางแผ่นคอนกรีต (interior loading)

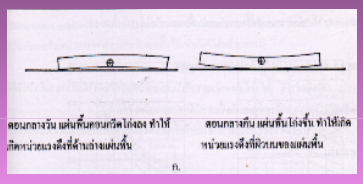
$$\sigma_i = \frac{0.316P}{h^2}\left[4\log_{10}(l/b) + 1.069\right]$$

σ_c = ความเค้นเกิดที่มุมของแผ่นคอนกรีต (ปอนด์/ตารางนิ้ว)
σ_e = ความเค้นเกิดที่ด้านขอบของแผ่นคอนกรีต (ปอนด์/ตารางนิ้ว)
σ_i = ความเค้นเกิดที่ตรงกลางของแผ่นคอนกรีต (ปอนด์/ตารางนิ้ว)
P = น้ำหนักของล้อรถที่กระทำ (ปอนด์)
h = ความหนาของแผ่นคอนกรีต (นิ้ว)
l = รัศมีของความแข็งแรงสัมพัทธ์ (นิ้ว)
a = รัศมีของล้อรถ (นิ้ว)
$b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h$ (เมื่อ $a < 1.724h$)
$b = a$ (เมื่อ $a \geq 1.724h$)

หน่วยแรงเนื่องจากอุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผ่นพื้นคอนกรีตทำให้เกิดหน่วยแรงในลักษณะต่าง ๆ กัน 3 ลักษณะ ได้แก่





ก. การรับความร้อนในตอนกลางวันและการคายความร้อนในตอนกลางคืนของแผ่นพื้นคอนกรีตมีผลให้อุณหภูมิภายในผืนคอนกรีตไม่เท่ากัน (มี Temperature gradient) จึงทำให้แผ่นคอนกรีตโก่ง (Curl or warp) แต่เนื่องจากแผ่นพื้นคอนกรีตมีน้ำหนัก มีเหล็กยึดระหว่างผืนจึงทำให้ไม่สามารถจะโก่งตัวได้อย่างเสรี น้ำหนักของคอนกรีตและการเหนี่ยวรั้งของเหล็กยึดทำให้เกิดหน่วยแรงดัดขึ้นในแผ่นพื้น

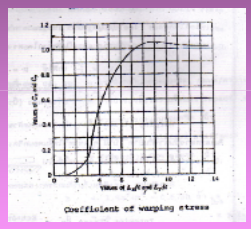
หน่วยแรงเนื่องจากอุณหภูมิ

แรงที่เกิดจากการห่อตัวของแผ่นคอนกรีต (Warping Stress)

Interior stress $\sigma x = \frac{Et+\Delta t}{2} \frac{Cx+\mu Cy}{1-\mu^2}$ kg/cm^2

$\sigma y = \frac{Et+\Delta t}{2} \frac{Cy+\mu Cx}{1-\mu^2}$ kg/cm^2

Edge stress $\sigma e = \frac{CxEc+\Delta t}{2}$ kg/cm^2



เมื่อ E = Modulus of Elasticity kg/cm^2

μ = Possion's Ratio

αt = Thernat Coefficient of Concrete Per °C

= 7.5 x 10^{-6}

Δt = ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวบนและผิวล่างของพื้นคอนกรีต

ใช้ 1°C ต่อความหนา 1 ซม.

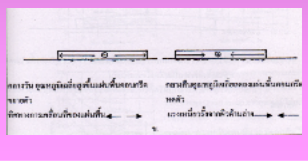
Cx = Coefficient Base on Lx/ℓ in Desired Direction

Cy = Coefficient Base on Ly/ℓ at Right Angle to the Above Direction

หน่วยแรงเนื่องจากอุณหภูมิ

ข. การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในผืนคอนกรีตทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตขยายตัวหรือหดตัวได้ การเคลื่อน ที่ระหว่างการขยายหรือหดตัวนี้ถูกต้านหรือถูกเหนี่ยวรั้งไว้ด้วยแรงเสียดทานระหว่างดินกับคอนกรีต

การเหนี่ยวรั้งลักษณะนี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงในแผ่นพื้นซึ่งเรียกว่า "Stress due to subgrade restraint"



หน่วยแรงเนื่องจากอุณหภูมิ

แรงฝืดระหว่างคอนกรีตกับผิวดิน (Frictional Stress)

$$\sigma_f = \frac{WLf}{24h}$$

เมื่อ σ_f = ความเค้นของคอนกรีตเนื่องจากแรงเสียดทาน

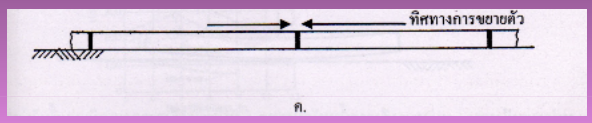
W = น้ำหนักของแผ่นคอนกรีต (ปอนด์/ตารางฟุต)

L = ความยาวของแผ่นคอนกรีต (ฟุต)

f = ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ความต้านทานของดินเดิม โดยทั่วไปใช้ค่า 1.5

h = ความหนาของแผ่นคอนกรีต (นิ้ว)

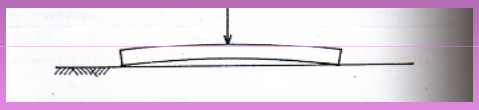
หน่วยแรงเนื่องจากอุณหภูมิ



ค. ในช่วงอากาศร้อนแผ่นพื้นคอนกรีตต้องการช่องว่างเพื่อการขยายตัว แต่ถ้ารอยต่อถูกอุดตันจะทำให้เกิดหน่วยแรงอัดขึ้นภายในแผ่นพื้นคอนกรีตได้

สภาพการณ์ที่ทำให้เกิดหน่วยแรงดึงสูงสุด

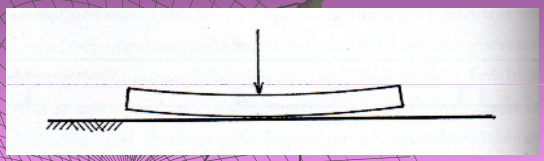
ก. น้ำหนักบรรทุกกระทำภายในหรือที่ขอบของแผ่นพื้นในขณะที่แผ่นพื้นโก่งลงในเวลากลางวัน



หน่วยแรงดึงรวม = หน่วยแรงดึงจากน้ำหนักบรรทุก + หน่วยแรงดึงจากอุณหภูมิแผ่นพื้นไม่เท่ากัน - หน่วยแรงดึงจากการเหนี่ยวรั้งของดินเดิม

สภาพการณ์ที่ทำให้เกิดหน่วยแรงดึงสูงสุด

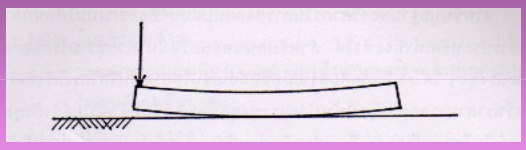
ข. น้ำหนักบรรทุกกระทำภายในหรือที่ขอบของแผ่นพื้นในขณะที่แผ่นพื้นโก่งตัวขึ้นในเวลากลางคืน



หน่วยแรงดึงรวม = หน่วยแรงดึงจากน้ำหนักบรรทุก - หน่วยแรงดึงจากอุณหภูมิแผ่นพื้นไม่เท่ากัน + หน่วยแรงดึงจากการเหนี่ยวรั้งของดินเดิม

สภาพการณ์ที่ทำให้เกิดหน่วยแรงดึงสูงสุด

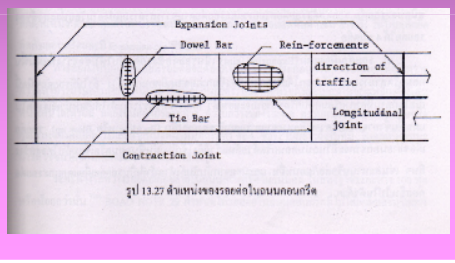
ค. น้ำหนักบรรทุกกระทำที่มุมของแผ่นพื้นในขณะที่แผ่นพื้นโก่งขึ้นในเวลากลางคืน



หน่วยแรงดึงรวม = หน่วยแรงดึงจากน้ำหนักบรรทุก + หน่วยแรงดึงจากอุณหภูมิแผ่นพื้นไม่เท่ากัน + หน่วยแรงดึงจากการเหนี่ยวรั้งของดินเดิม

ประเภทของเหล็กเสริมในผิวทางคอนกรีต

- เหล็กเสริมป้องกันการแตกร้าว **(Temperature steel)**
- เหล็กกลม **(Dowel Bar)**
- เหล็กยึด **(Tie Bar)**



รูป 13.27 ตำแหน่งของรอยต่อในถนนคอนกรีต

Temperature steel

- ป้องกันการหดตัวและขยายตัวของคอนกรีตเนื่องจากอุณหภูมิ ผูกเป็นตะแกรง ทำหน้าที่ป้องกันการแตกร้าว เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และยึดผิวทางคอนกรีตไม่ให้แยกออกจากกัน ในกรณีที่เกิดการแตกร้าว
- ต้องเสริมใกล้ผิวบนของแผ่นคอนกรีต ห่างจาก ผิวบนประมาณ 4-5 ซม.

พิจารณาแผ่นคอนกรีตกว้าง 1 เมตร

$$A_s = \frac{WLf}{2f_s}$$

กำหนดให้

W = น้ำหนักของแผ่นคอนกรีต, กก./ม^2

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างแผ่นคอนกรีตกับดิน = 1.5

L = ความยาวของแผ่นคอนกรีต, ม.

f_s = ค่าแรงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม, กก./ซม^2

A_s = พื้นที่เหล็กเสริมต่อความกว้างของแผ่นคอนกรีต 1 เมตร, ซม^2

Dowel Bar

- ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักแผ่นคอนกรีตแต่ละผืนตามความยาว
- ขนาดของ Dowel Bar ขึ้นอยู่กับความหนาของ slab คอนกรีต
- ปลายครึ่งหนึ่งจะต้องชุบด้วยยางมะตอยหรือสี เพื่อป้องกันคอนกรีตเกาะติดแน่น
- ถ้าการก่อสร้างกระทำได้สมบูรณ์แบบ เหล็กเดือยจะสามารถถ่ายน้ำหนักได้ 50 % แต่เมื่อใช้งานได้สักระยะ ประสิทธิภาพการถ่ายน้ำหนักลดลง 5 – 10% ค่าน้ำหนักออกแบบอาจใช้เพียง 40-45%

Dowel Bar

Relative Stiffness $\beta = \left(\frac{kb}{4EI}\right)^{1/4}$ $f_b = \frac{4-b}{3.0} f'_c$ psi $= \frac{10.16-b}{7.62} f'_c$ ksc

Deflection $Yo = \frac{P}{4\beta^3 EI}(2+\beta Z)$ Z = ระยะห่างระหว่างแผ่นคอนกรีต

Bearing Stress $\sigma = Ky_o$ Load Transferred/dowel $= \frac{f_b \times 45.36}{\text{bearing stress จากกราฟ}}$ กก.

K = Moulus of dowel Support = 4.152×10^4 กก./ซม.^{3}

b = เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งเหล็ก, ซม.

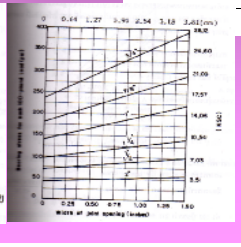
E = โมดูลัสการยืดหยุ่นของเหล็ก, กก./ซม.ซม.

I = โมเมนต์อินเนอร์เชียของพื้นที่หน้าตัด ซม.^{3} $= \frac{\pi b^4}{4\ 16}$

e = Natural Logarithm Base

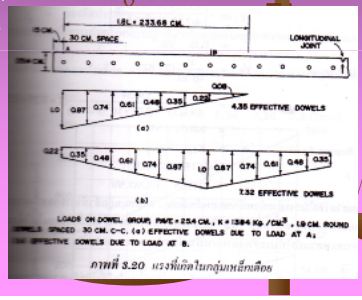
x = ระยะจากขอบของแผ่นคอนกรีตตามแนวถนนเหล็กเดือย

P = แรงที่เหล็กเดือยถ่ายไปยังแผ่นคอนกรีต



แรงกระทำในกลุ่มเหล็กเดือย

เมื่อมีน้ำหนักจากล้อมากระทำที่บริเวณรอยต่อ แรงก็จะกระจายไปยังเหล็กเดือยเส้นอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงมากน้อยตามลำดับ โมเมนต์ลบที่เกิดในเหล็กเดือยจะกระจายลดลงไปในระยะ 1.8 l จากจุดที่แรงกระทำ และถ้าน้ำหนักกระทำมี 2 ล้อ แรงที่เกิดจากล้อ B ก็จะเสริมซ้อนกัน



ภาพที่ 3.20 แรงที่เกิดในกลุ่มเหล็กเดือย

Tie Bar

เป็นเหล็กยึดระหว่างรอยต่อใน Longitudinal Joint ใช้เหล็กข้ออ้อย เนื่องจากต้องการแรงยึดเกาะระหว่างแผ่นคอนกรีตสูง ป้องกันมิให้แผ่นคอนกรีตหลุดแยกออกจากกัน

$$A_s = \frac{WLf}{f_s}$$

cm/m^2

$$L_s = \frac{2f_sA_s}{\sum o\mu}$$

m

กำหนดให้

A_S = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม, 1 เส้น ซม.^{2}/ม.

W = น้ำหนักแผ่นคอนกรีต กก./ม.^{2}

f = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

= 1.5

L = ความยาวของแผ่นคอนกรีต ม.

f_S = แรงดึงของเหล็กที่ยอมให้ได้ กก./ซม.^{2}

= 1500 กก./ซม.^{2} (SD30)

= 1700 กก./ซม.^{2} (SD40)

L_s = ความยาวของเหล็กยึด ซม.

Σo = เส้นรอบวงของเหล็กยึด 1 เส้น ซม.

μ = กำแรงยึดเกาะระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม กก./ซม.^{2}

= $2.29\frac{\sqrt{f_c'}}{D} < 25$ กก./ซม.^{2} (เหล็กข้ออ้อย)

Thank you for attention