



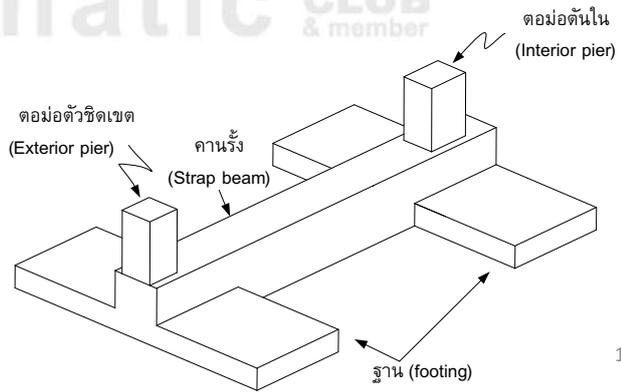
# การออกแบบแก้ไขปัญหารากชืดเขตวางบน เสาเข็มโดยใช้คานยึดรั้ง (Strap footing)



รศ. ดร. อมร พิมาณมาศ

ประธานคณะกรรมการวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน วสท.

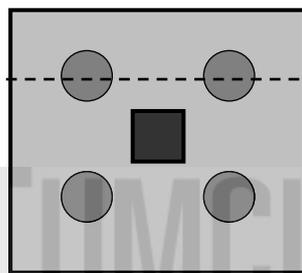
TUMCIVIL.COM  
engfanatic CLUB



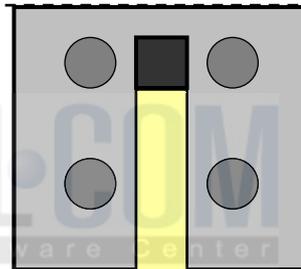
## การแก้ปัญหารากชืดเขตโดยใช้คานยึดรั้ง

ก่อนการปรับปรุง

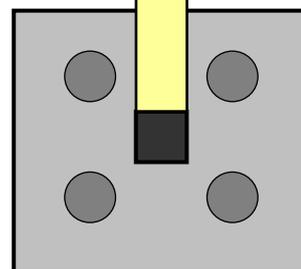
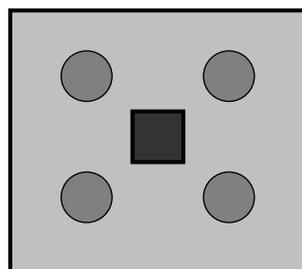
แนวอาคารเดิม  
หรือแนวเขตที่ดิน



หลังการปรับปรุง



คานยึดรั้ง



# สมมติฐานในการออกแบบ

- ❖ ในกรณีที่ตอม่อวางอยู่ชิดเขตที่ดินทำให้ไม่สามารถก่อสร้างฐานรากให้แนวของตอม่อผ่านจุดศูนย์ถ่วงของฐานได้
- ❖ เป็นเหตุให้แรงดันดินใต้ฐานรากมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมออาจทำให้ฐานเกิดการพลิกคว่ำได้ การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจใช้ **ฐานรากร่วม (Combined footing)**
- ❖ ชนิดที่ได้รับความนิยมคือฐานรากร่วมและ **ฐานรากแบบมีคานรั้ง (strap footing)**



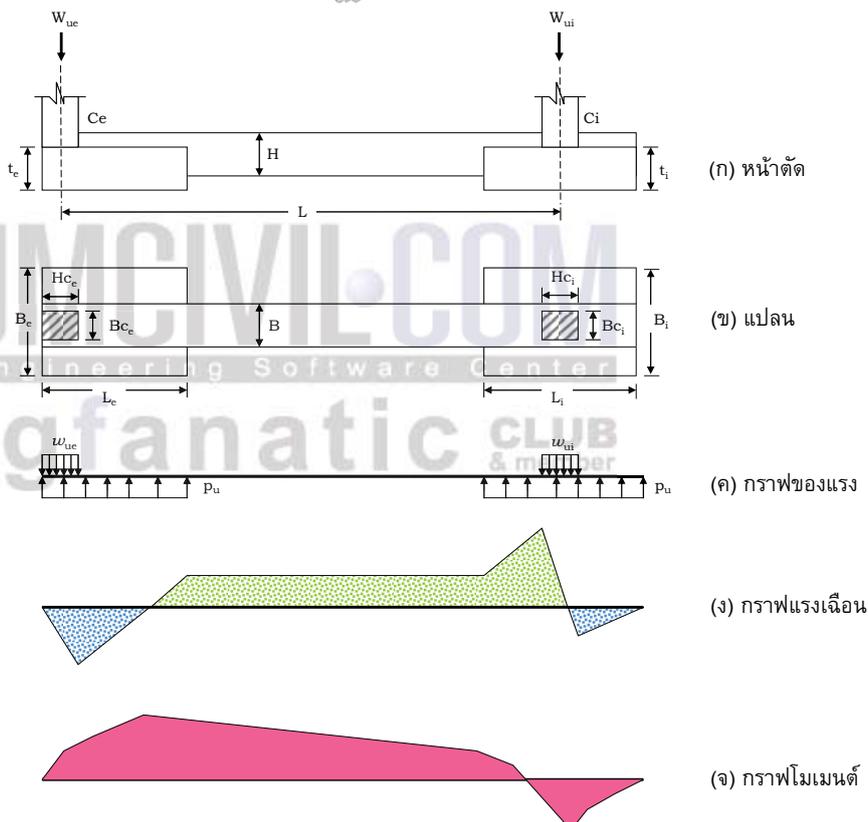
## สมมติฐานการออกแบบ

- (1) คานรั้งที่เชื่อมต่อระหว่างฐานรากตัวที่อยู่ชิดเขตและฐานรากตัวในจะถูกยกให้ลอยเหนือพื้น ทำให้ไม่รับแรงดันดิน
- (2) จากข้อที่ (1) ทำให้น้ำหนักบรรทุกที่กระทำจากคานรั้งเกิดจากน้ำหนักของตัวมันเอง และแรงที่ถ่ายมาจากฐานรากตัวที่อยู่ชิดเขตไปยังฐานรากตัวในเท่านั้น

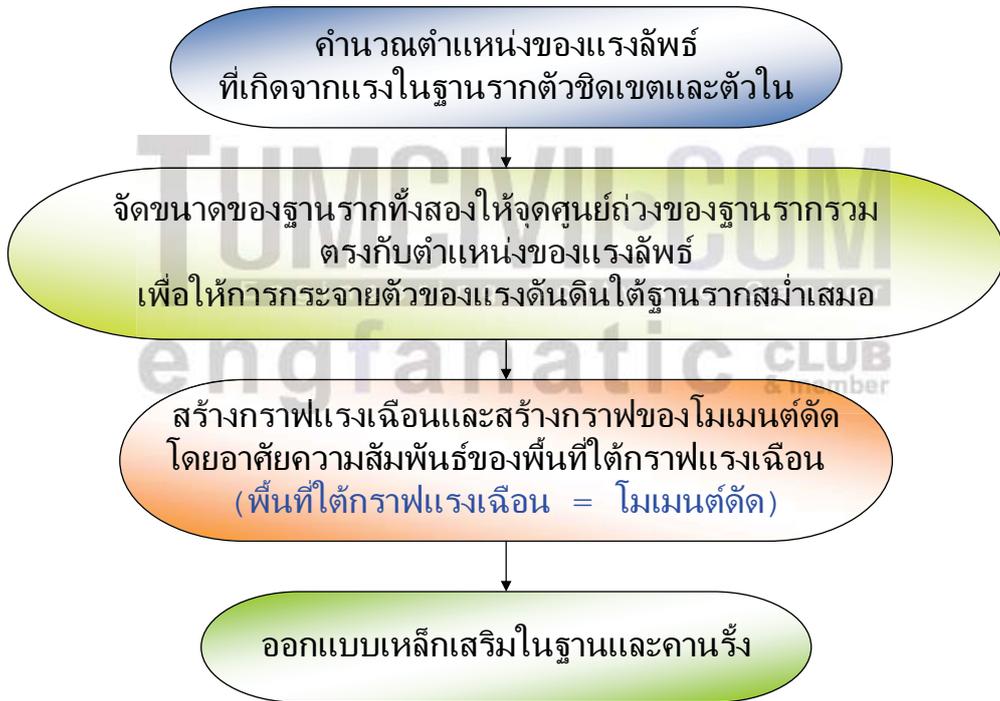
3

# แรงที่เกิดขึ้นในฐานราก

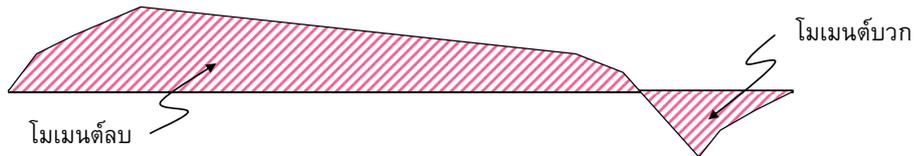
- เมื่อฐานรากรับแรงดันดิน จะเกิดแรงเฉือนและแรงดัดในฐานรากดังแสดง



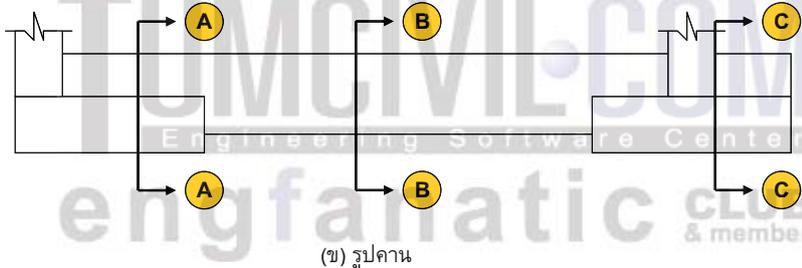
# สรุปขั้นตอนการออกแบบ



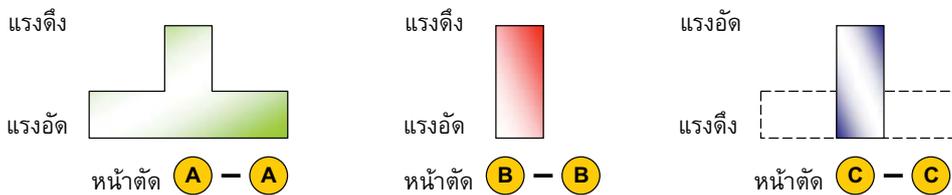
## หน้าตัดสำหรับการออกแบบ



(ก) กราฟโมเมนต์ดัด



(ข) รูปคาน



(ค) หน้าตัดคาน

# ตัวอย่าง จงออกแบบฐานรากร่วมวางบน เสาเข็มและมีคานยึดรั้ง

## ฐานรากตัวชิดเขต

- ❖ เสาขนาด 0.40x0.40 ม.
- ❖ น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน 70 ตัน
- ❖ น้ำหนักบรรทุกทุกประลัย 105 ตัน

## ฐานรากตัวชิดใน

- ❖ ระยะทางของศูนย์กลางเสาตัวในและเสาตัวนอก 5.0 ม.
- ❖ เสาขนาด 0.50x0.50 ม.
- ❖ น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน 100 ตัน
- ❖ น้ำหนักบรรทุกทุกประลัย 150 ตัน

## เงื่อนไขการออกแบบ

- ❖ ความกว้างของฐานเท่ากับ 2.60 ม.
- ❖ กำลังอัดของคอนกรีต ( $f'_c$ ) = 200 กก./ชม.<sup>2</sup>
- ❖ กำลังที่จุดคราก ( $f_y$ ) = 4,000 กก./ชม.<sup>2</sup>
  - กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกปลอดภัยของเสาเข็ม  $R_a = 12.5$  ตันต่อต้น

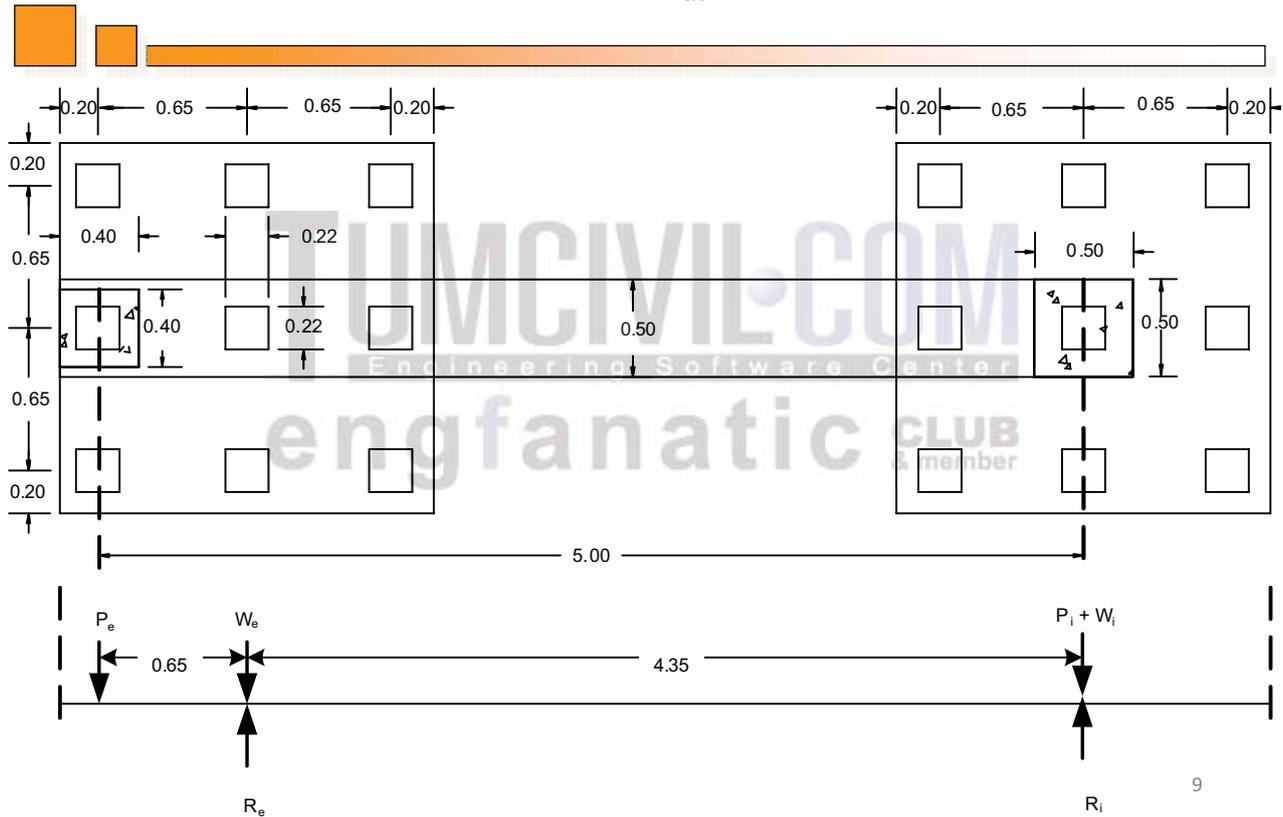
7

- เมื่อ  $P_{se} = 70$  ตัน และ  $P_{si} = 100$  ตัน  $P_{ue} = 105$  ตัน และ  $P_{ui} = 150$  ตัน และ Safe load ของเสาเข็มคือ 12.5 ตัน/ต้น

- ประมาณน้ำหนักของฐานรากจาก 10% ของน้ำหนักบรรทุก
- สำหรับฐานตัวใน  $100 \times 1.10 / 12.5 = 8.8$  ตัน ใช้ 9 ตัน
- สำหรับฐานตัวชิดเขต  $70 \times 1.10 / 12.5 = 6.2$  ใช้ 9 ตัน
- ใช้เข็ม 0.22x0.22 วางห่างกัน 3 เท่าของหน้าตัด (เลือกใช้ 0.65 ม.)

8

## แปลนของฐานราก



## คำนวณขนาดของฐานราก

- ประมาณน้ำหนักของฐานรากจาก 10% ของน้ำหนักบรรทุก
- นั่นคือ  $W_e = 0.1 \times 70 = 7$  ตัน
- และ  $W_i = 0.1 \times 100 = 10$  ตัน
- จำนวนโมเมนต์รอบจุดศูนย์ถ่วงของฐานตัวชิดเขต  $70 \times 0.65 + 4.35 R_i = 4.35(100 + 10)$
- จะได้  $R_i = 99.54$  ตัน
- รวมแรงในแนวตั้ง  $R_i + R_e = P_i + P_e + W_i + W_e$  หรือ  $R_i + R_e = 100 + 70 + 10 + 7$
- แทน  $R_i$  จะได้  $R_e = 187 - 99.54 = 87.46$  ตัน
- **Check** ฐานตัวใน :  $99.54/9 = 11.66$  ตัน < 12.5 ตัน **O.K.**
- **Check** ฐานตัวชิดเขต :  $87.46/9 = 9.72$  ตัน < 12.5 ตัน **O.K.**

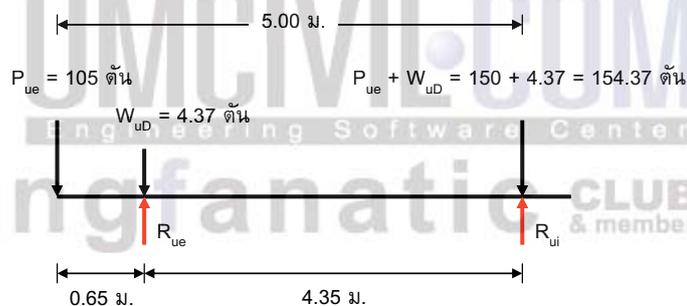
## คำนวณขนาดของฐานราก

- กำหนดความลึกฐานเท่ากับ 0.45 ม.
- ดังนั้นขนาดของฐานรากคือ 1.7x1.7x0.45 ม.
- นั่นคือฐานรากหนัก  $W_e = W_i = 3.12$  ตัน น้อยกว่า 7 และ 10 ตัน O.K.

11

## ผังของแรงเฉือนและโมเมนต์ตัด

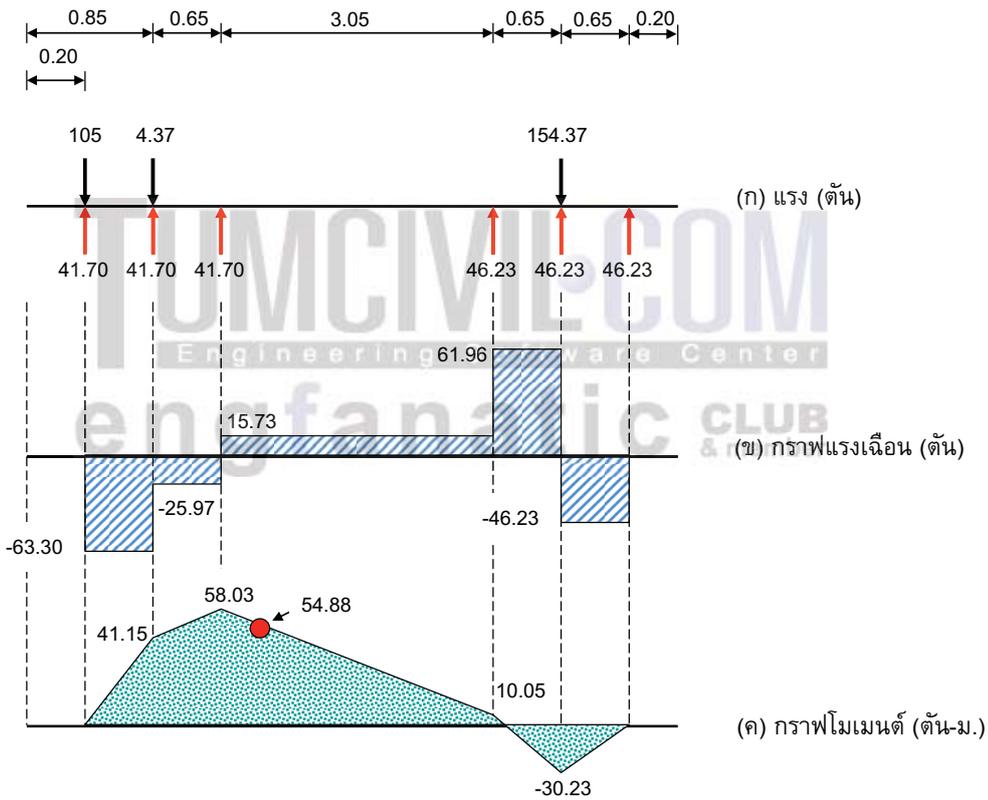
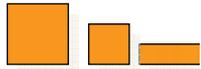
- น้ำหนักประลัยของฐาน  $W_{uD} = 1.4 \times 3.12 = 4.37$  ตัน
- คำนวณแรงลัพท์  $R_{ue}$  และ  $R_{ui}$  โดยคำนวณโมเมนต์รอบจุด  $R_{ue}$  จะได้



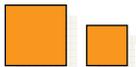
- นั่นคือ  $105 \times 0.65 + 4.35 R_{ui} - 154.37 \times 4.35 = 0$
- จะได้  $R_{ui} = 138.68$  ตัน เฉลี่ยลงเข็ม  $138.68/9 = 15.41$  ตัน
- รวมแรงในแนวตั้ง  $105 + 2 \times 4.37 + 150 = 138.68 + R_{ue}$  จะได้  $R_{ue} = 125.06$  ตัน
- เฉลี่ยลงเข็มจะได้  $125.06/9 = 13.90$  ตัน

12

# ผังของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

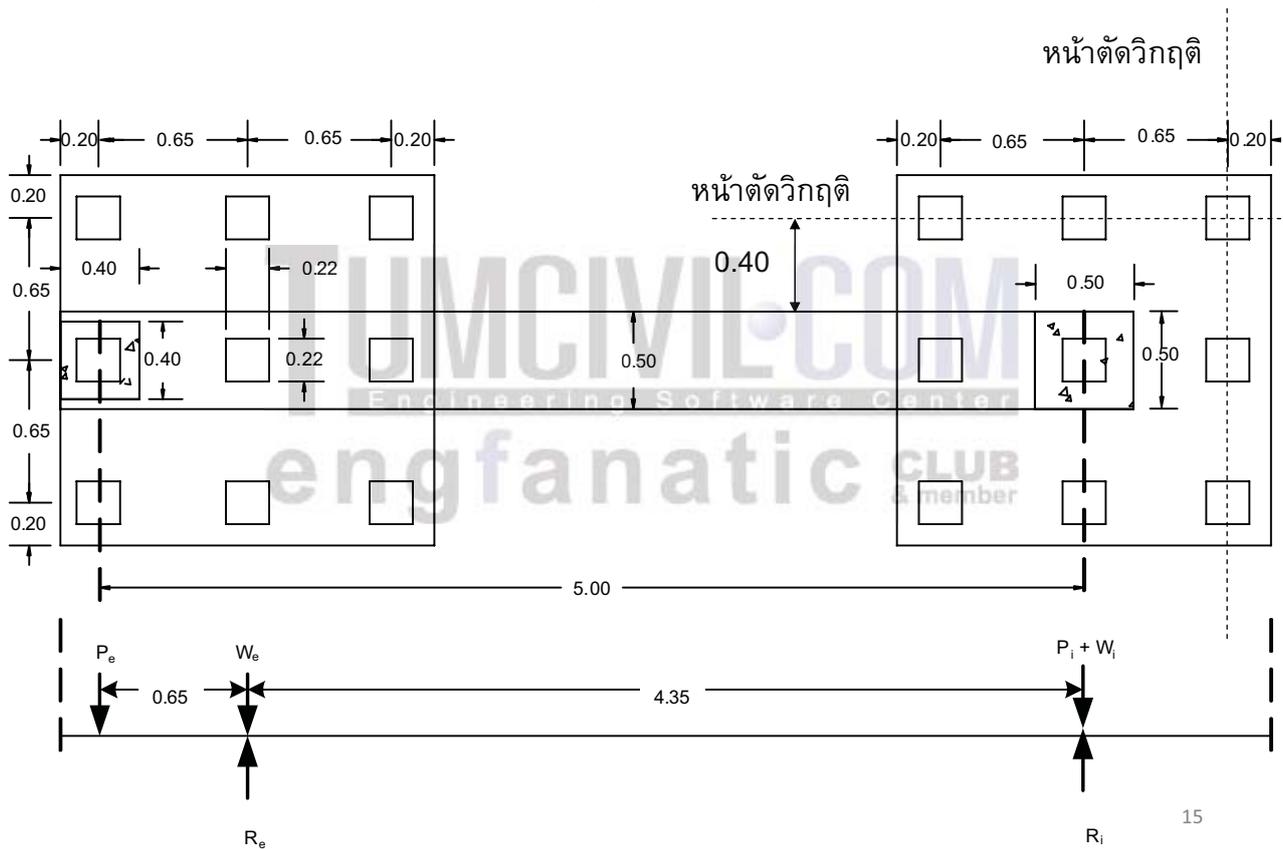


# ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้าง



- กำหนดให้  $d = 0.4$  ม. ดังนั้นหน้าตัดวิกฤติอยู่ห่างจากขอบเสาเป็นระยะ  $d$
- สำหรับฐานรากตัวใน** เสาเข็มอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติเท่ากับ  $0.0$  ม.
- ซึ่งน้อยกว่า  $d_p/2 = 0.11$  ม. ดังนั้น  $R' = R \cdot 0.5 + \frac{x}{d_p} = 15.41 \cdot 0.5 + \frac{0}{0.22} = 7.705$  ตัน
- สำหรับฐานรากตัวชิดเขต** เสาเข็มอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติเท่ากับ  $0.0$  ม.
- ซึ่งน้อยกว่า  $d_p/2 = 0.11$  ม. ดังนั้น  $R' = R \cdot 0.5 + \frac{x}{d_p} = 13.90 \cdot 0.5 + \frac{0.0}{0.22} = 6.95$  ตัน
- นั่นคือใช้  $V_u = 3 \times 7.705 = 23.115$  ตัน ในการออกแบบ
- กำลังรับแรงเฉือนของฐานราก  $V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b d = 0.53 \sqrt{200} \times 170 \times 40 = 50.97$  ตัน
- จาก  $\phi = 0.85$  จะได้  $\phi V_c = 0.85 \times 50.97 = 43.32$  ตัน  $> V_u$  O.K.

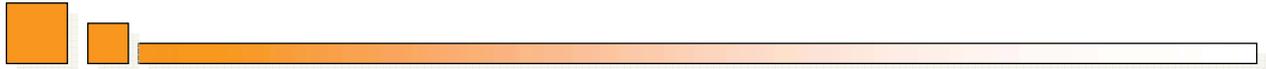
## หน้าตัดวิฤกฤติสำหรับแรงเฉือน



## เหล็กเสริมในฐาน : ตั้งฉากกับคานรับ

- โมเมนต์ดัดที่หน้าคาน (ตัวใน)  $M_u = 3 \times 15.41 \times 0.65 - \frac{0.50}{2} = 18.49$  ตัน-ม.
- โมเมนต์ดัดที่หน้าคาน (ตัวชิดเขต)  $M_u = 3 \times 13.90 \times 0.65 - \frac{0.50}{2} = 16.68$  ตัน-ม.
- ดังนั้นใช้  $M_u$  ของฐานตัวในเพื่อออกแบบ
- จาก  $A_s = 0.85bd \frac{f'_c}{f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{\phi 0.85bd^2 f'_c}} \right]$
- แทนค่า  $A_s = 0.85 \cdot 170 \cdot 40 \cdot \frac{200}{4,000} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 18.49 \times 1,000 \times 100}{0.9 \cdot 0.85 \cdot 170 \cdot 40^2 \cdot 200}} \right] = 13.14$  ซม.<sup>2</sup>
- เหล็กเสริมน้อยสุด  $A_{s,min} = (14/f_y)bd = (14/4,000) \times 170 \times 40 = 23.80$  ซม.<sup>2</sup>
- หรือ  $A_{s,min} = 1.33 \times A_s = 1.33 \times 13.14 = 17.48$  ซม.<sup>2</sup>

## เหล็กเสริมในฐาน : ตั้งฉากกับคานรั้ง



- เหล็กเสริมเพื่อต้านทานการยึดหด
- $A_{s,temp} = 0.0018bt = 0.0018 \times 170 \times 45 = 13.77 \text{ ซม.}^2$
- นั่นคือ  $A_s = 17.48 \text{ ซม.}^2 > 13.77/2 = 6.9 \text{ ซม.}^2$  ควบคุมการออกแบบ
- ใช้ DB16 จะได้  $17.48/2.01 = 8.70$  เส้น
- หรือ  $s = 170/8.70 = 19.54 \text{ ซม.}$
- ใช้ DB16@0.15 ม. สำหรับเหล็กเสริมเอก

17

## เหล็กเสริมในฐาน : เหล็กเสริมตามขวาง



- ใช้เหล็กเพื่อต้านทานการยึดหดตัว  $A_s = 13.77 \text{ ซม.}^2$
- เมื่อใช้ DB12 จะได้  $(13.77/2)/1.13 = 6.1$  เส้น
- หรือ  $s = 170/6.10 = 27.86 \text{ ซม.}$
- นั่นคือใช้ DB12@0.25 ม. สำหรับเหล็กตั้งฉากกับเหล็กตามขวาง

18

## ตรวจสอบระยะฝังยึด



- สำหรับเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 36 มม. ระยะฝังที่ต้องการคือ

$$l_{db} = \frac{0.06A_b f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

- ระยะหุ้ม 5 ซม. แทนค่าจะได้

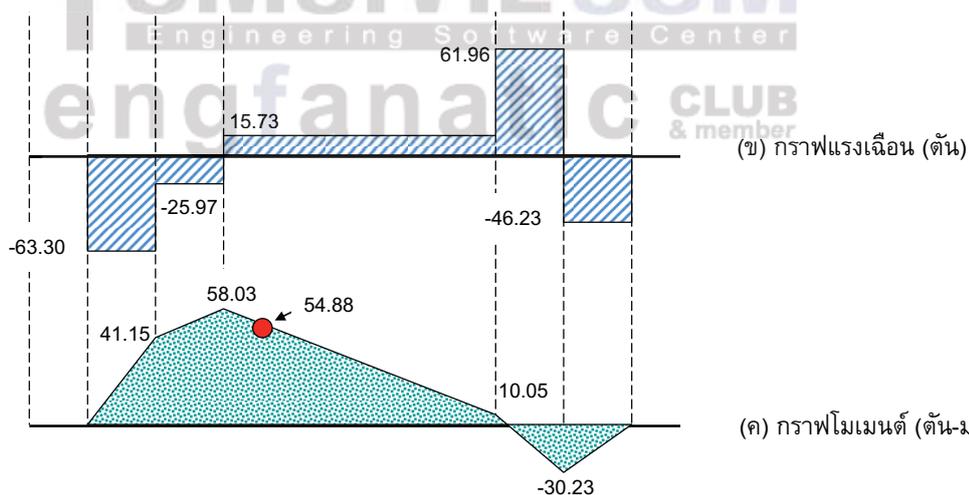
$$l_{db} = \frac{0.06 \times 2.01 \times 4,000}{\sqrt{200}} = 34.11 \text{ ซม.}$$

- น้อยกว่า  $0.5 \times (170 - 50) - 5 = 55$  ซม. **O.K.**

19

## ออกแบบคานรั้ง

- หน้าตัดรูปตัวทีค่า  $M_u = 58.03$  ตัน-ม. (โมเมนต์ลบ)
- หน้าตัดสี่เหลี่ยม  $M_u = 54.88$  ตัน-ม. (โมเมนต์ลบ)
- หน้าตัดรูปตัวทีค่า  $M_u = 30.23$  ตัน-ม. (โมเมนต์บวก)
- $V_u = 61.96$  Ton
- ประมาณความลึกคาน 0.95 ม. และมี  $d = 0.90$  ม.



## ออกแบบคานรั้ง : $M_{u1} = 58.03$ ตัน-ม.



- สำหรับปีกคาน  $t_f = 45$  ซม. และ  $d = 90$  ซม.
- ตรวจสอบว่าเป็นคานรูปตัวทีจริงหรือไม่?? โดยสมมติว่าเป็นคานรูปเหลี่ยม  $b = 170$  ซม.
- ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ  $A_s = \frac{M_u}{\phi f_y d - \frac{a}{2}} = \frac{58.03 \times 1,000 \times 100}{0.9 \times 4,000 \times 90 - \frac{45}{2}} = 23.88$  ซม.<sup>2</sup>
- กำหนด  $a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{23.88 \times 4,000}{0.85 \times 200 \times 170} = 3.31$  ซม.
- ตำแหน่งแกนสะเทิน  $c = a/\beta_1 = 3.31/0.85 = 3.89$  ซม.  $< t_f$  คานรูปเหลี่ยม
- จะได้  $A_s = 0.85 \cdot 170 \cdot 90 \frac{200}{4,000} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 58.03 \times 1,000 \times 100}{0.9 \cdot 0.85 \cdot 170 \cdot 90^2 \cdot 200}} \right] = 18.16$  ซม.<sup>2</sup>

21

## ออกแบบคานรั้ง : $M_{u2} = 54.88$ ตัน-ม.



- แทนค่า  $A_s = 0.85 \cdot 50 \cdot 90 \frac{200}{4,000} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 54.88 \times 1,000 \times 100}{0.9 \cdot 0.85 \cdot 50 \cdot 90^2 \cdot 200}} \right] = 17.76$  ซม.<sup>2</sup>
- เปรียบเทียบกับ  $A_s = 18.16$  ซม.<sup>2</sup>
- และ  $A_{s,min} = (14/4,000) \times 50 \times 90 = 15.75$  ซม.<sup>2</sup>
- เลือกใช้  $A_s = 18.16$  ซม.<sup>2</sup>
- เลือกใช้ DB20 จะได้  $18.16/3.14 = 5.78$  เส้น
- นั่นคือใช้เหล็ก 6DB20

22

## ออกแบบคานรั้ง : $M_{u3} = 30.23$ ตัน-ม.



- พิจารณาเป็นคานรูปเหลี่ยม กว้าง 50 ซม.
- นั่นคือ  $A_s = 0.85 \cdot 50 \cdot 90 \frac{200}{4,000} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 30.23 \times 1,000 \times 100}{0.9 \cdot 0.85 \cdot 50 \cdot 90^2 \cdot 200}} \right] = 9.57 \text{ ซม.}^2$
- ต้องการเหล็ก DB20 จำนวน  $9.57/3.14 = 3.05$  เส้น
- ใช้ 3 เส้นเป็นเหล็กกลางตลอดคานรั้ง

23

## ออกแบบแรงเฉือน



ออกแบบแรงเฉือน  $V_u = 61.96$  ตัน พิจารณาเป็นคานสี่เหลี่ยมผืนผ้า

- จำนวนกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตล้วน  $V_c = 0.53 \times 50 \times 90 \sqrt{200} = 33,728.99 \text{ กก.}$
- เมื่อ  $\phi = 0.85$  จะได้  $\phi V_c = 28.67$  ตัน น้อยกว่า  $V_u$  ต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน
- กำลังรับแรงเฉือนสูงสุด  $\phi V_{n,max} = 2.1 \times 0.85 \sqrt{200} \times 50 \times 90 = 113,596.70 \text{ กก.}$
- หรือ  $\phi V_{n,max} = 113.60$  ตัน มากกว่า  $V_u$  ดังนั้นไม่จำเป็นต้องขยายหน้าตัด
- สำหรับ  $V_{c1} = 1.1 \phi \sqrt{f'_c} b d = 1.1 \times 0.85 \sqrt{200} \times 50 \times 90 = 59,503.04 \text{ กก.}$
- นั่นคือ  $V_u - \phi V_c = 61.96 - 28.67 = 33.29$  ตัน
- พบว่า  $\phi V_c < V_u - \phi V_c < \phi V_{c1}$  เสริมเหล็กรับแรงเฉือนเป็นระยะ  $s = \frac{A_v \phi f_y d}{V_u - \phi V_c}$

24

## ออกแบบแรงเหวี่ยง



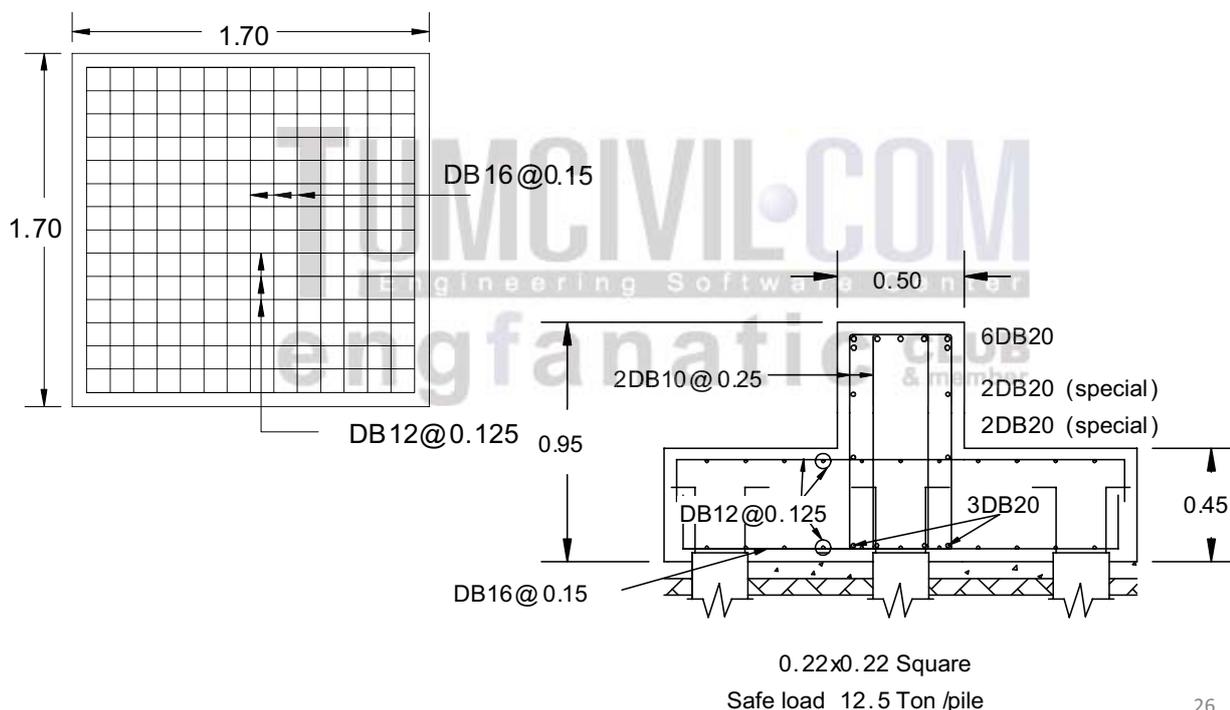
- เลือก DB10 จำนวน 2 เส้น (4 ขา) เป็นเหล็กเสริมตามขวาง จะได้

$$s = \frac{3.14 \times 0.85 \times 4 \times 90}{61.96 - 28.67} = 28.86 \text{ ซม.}$$

- ต้องไม่มากกว่า  $0.5d = 45$  ซม. และ 60 ซม.
- เพื่อความสะดวกในการก่อสร้างใช้ 2DB10@0.25 ม.

25

## รายละเอียดเหล็กเสริม



26

# รายละเอียดเหล็กเสริม

