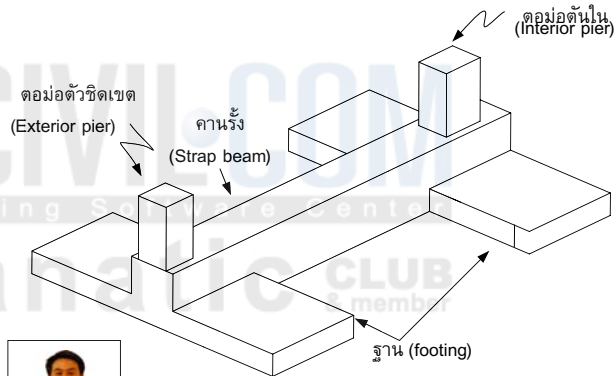


# การออกแบบฐานรากแผ่ชิดเขต แบบมีคานรั้ง (Strap footing)



รศ.ดร.อมร พิมามมาศ

กรรมการอำนวยการและปช. อนุกรรมการโครงสร้างและสะพาน วสท.

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร

## สมมติฐานในการออกแบบ

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

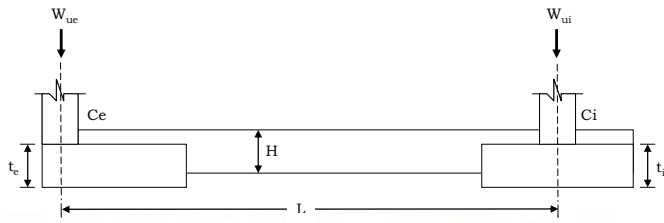


### สมมติฐานการออกแบบ

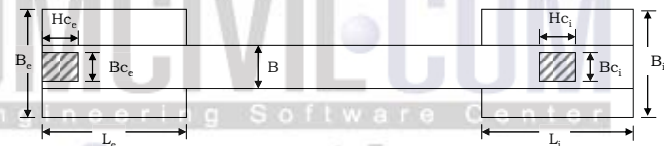
- (1) คานรั้งที่เชื่อมต่อระหว่างฐานรากตัวที่อยู่ชิดเขตและฐานรากตัวในจะถูกยกให้ลอยเหนือพื้น ทำให้ไม่รับแรงดันดิน
- (2) จากข้อที่ (1) ทำให้น้ำหนักบรรทุกที่กระทำจากคานรั้งเกิดจากน้ำหนักของตัวมันเอง และแรงที่ถ่ายมาจากฐานรากตัวที่อยู่ชิดเขตไปยังฐานรากตัวในเท่านั้น

# แรงที่เกิดขึ้นในฐานราก

- เมื่อฐานรากรับแรงดันดิน จะเกิดแรงเฉือนและแรงดัดในฐานรากดังแสดง



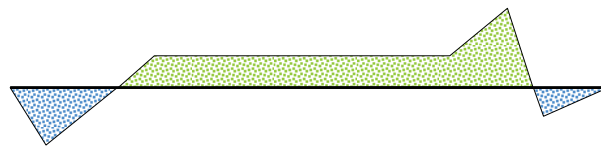
(ก) หน้าตัด



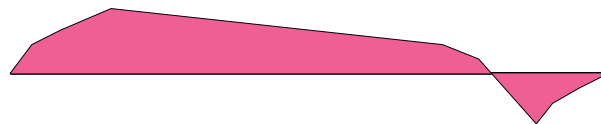
(ข) แปลน



(ค) กราฟของแรง

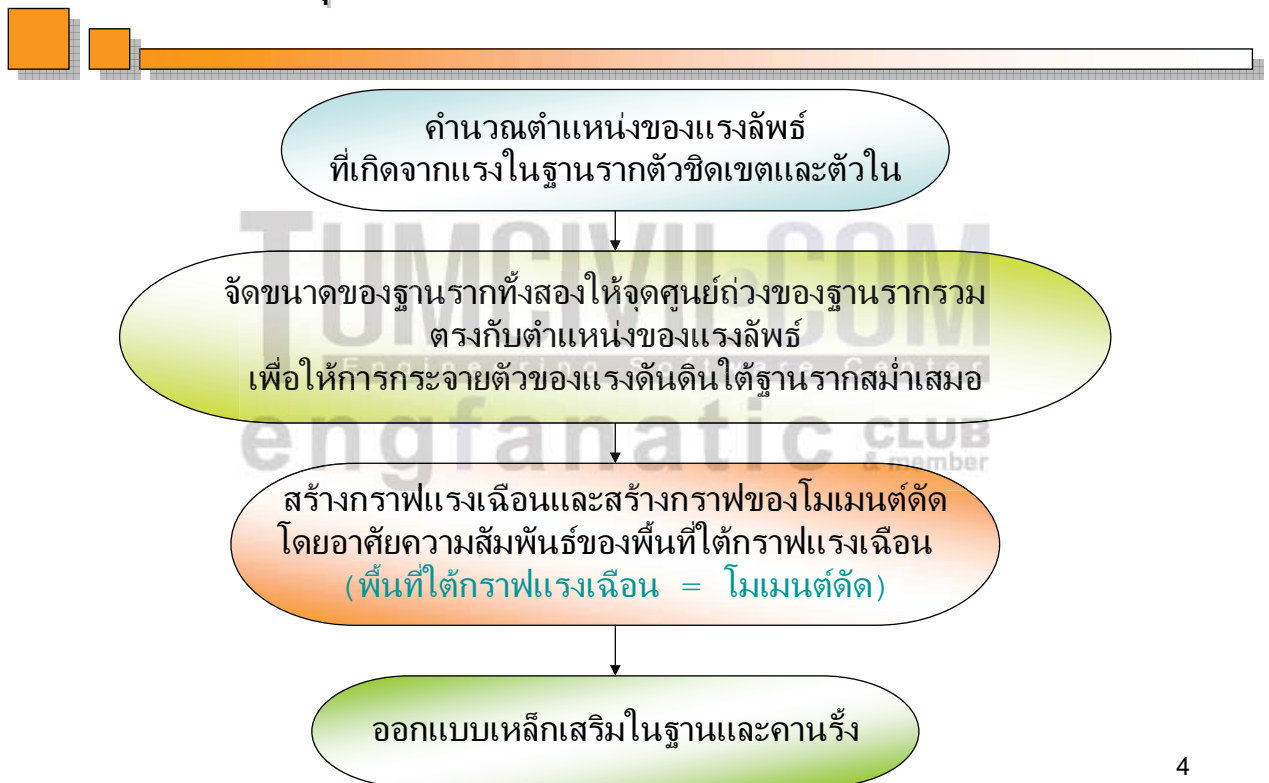


(ง) กราฟแรงเฉือน



(จ) กราฟโมเมนต์

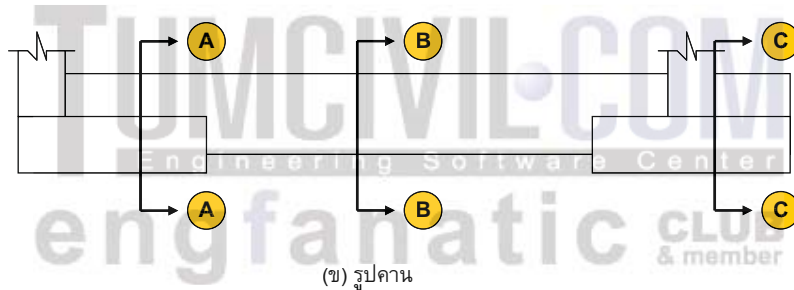
# สรุปขั้นตอนการออกแบบ



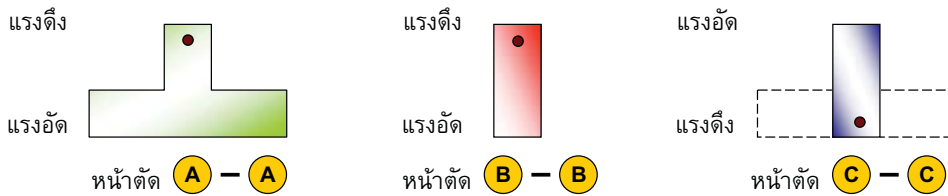
# หน้าตัดสำหรับการออกแบบ



(ก) กราฟโมเมนต์ดัด



(ข) รูปคาน



(ค) หน้าตัดคาน

5

## ตัวอย่างการออกแบบ

### ฐานรากตัวชิดเขต

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

### ฐานรากตัวชิดใน

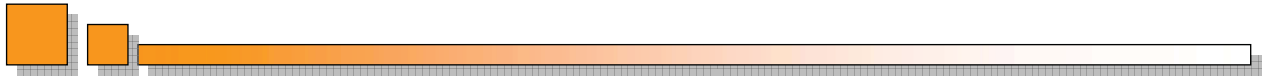
- ❖ ระยะทางของศูนย์กลางเสาตัวในและเสาตัวนอก 5.0 ม.
- ❖ เสาขนาด 0.50x0.50 ม.
- ❖ น้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน 100 ตัน
- ❖ น้ำหนักบรรทุกทุกประลัย 150 ตัน

### เงื่อนไขการออกแบบ

- ❖ ความกว้างของฐานเท่ากับ 2.60 ม.
- ❖ กำลังอัดของคอนกรีต ( $f'_c$ ) = 200 กก./ชม.<sup>2</sup>
- ❖ กำลังที่จุดคราก ( $f_y$ ) = 4,000 กก./ชม.<sup>2</sup>
  - กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดิน  $\sigma_a = 13.33$  ตัน/ม<sup>2</sup>

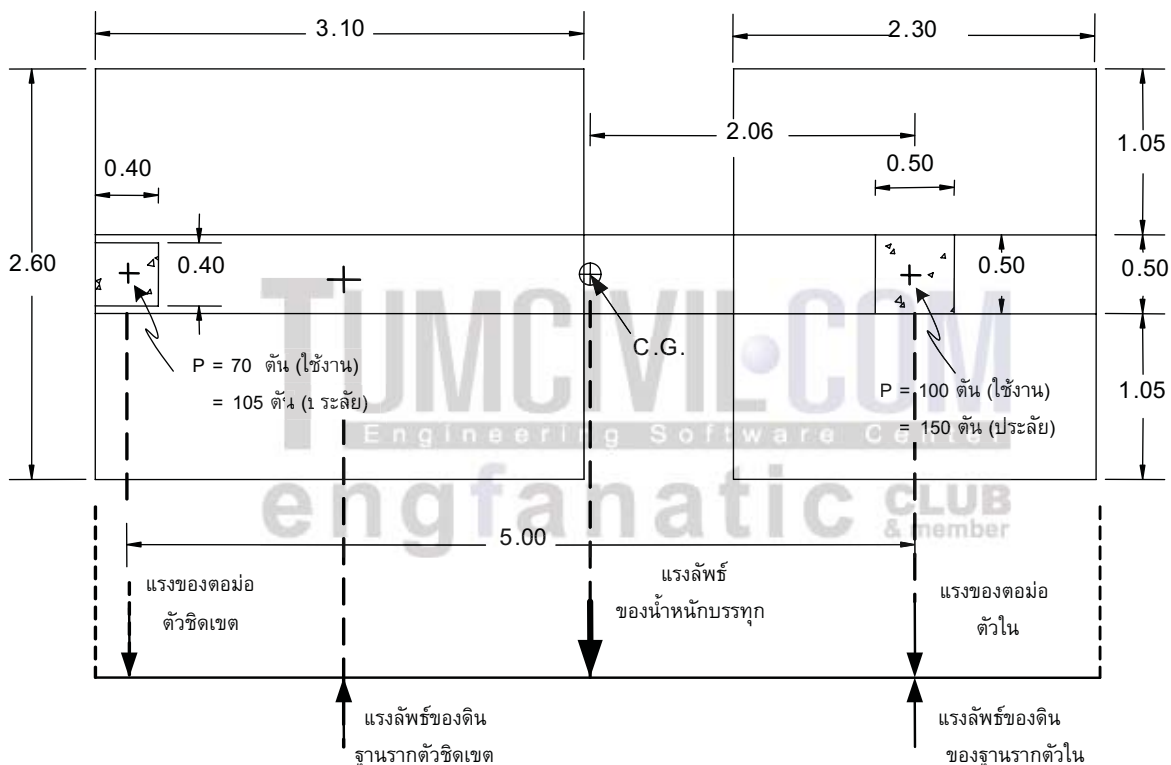
หมายเหตุ ตัวอย่างนี้ยังไม่ได้รวมน้ำหนักของคานยึดรั้งที่จะมีผลต่อโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ในการออกแบบจริงจะต้องรวมน้ำหนักของคานยึดรั้งนี้เข้าไปในการออกแบบด้วย

## ขั้นที่ 1 : เลือกขนาดของฐานราก



- น้ำหนักบรรทุกใช้งานทั้งหมด  $P_s = P_{se} + P_{si} = 70 + 100 = 170$  ตัน
- ประมาณน้ำหนักของฐานราก 10% ของน้ำหนักบรรทุก :  $W_{FD} = 0.10 \cdot 170 = 17$  ตัน
- น้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ  $W_{st} = P_s + W_{FD} = 170 + 17 = 187$  ตัน
- กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดิน  $q_a = 13.33$  ตัน/ม.<sup>2</sup>
- พื้นที่ที่ต้องการ  $A_F = W_{st}/q_a = 187/13.33 = 14.03$  ม.<sup>2</sup>
- นั่นคือ พื้นที่ของฐานทั้งหมด (ไม่รวมคานรับ)  $B_F(L_e + L_i) = 14.03$  ม.<sup>2</sup>
- หรือ  $L_e + L_i = 5.40$  ม. เมื่อ  $B_F = 2.6$  ม.
- หาค่าแห่งของแรงลัพธ์วัดจากแนวตอม่อตัวใน  $\bar{x} = \frac{105 \times 5.0}{105 + 150} = 2.06$  ม.

7



8

## ขั้นที่ 1 : เลือกขนาดของฐานราก

- กำหนดโมเมนต์พื้นที่รอบศูนย์กลางเสาตัวใน

$$B_F L_e [(5.0 + 0.2) - 0.5L_e] = 14.03 \times 2.06$$

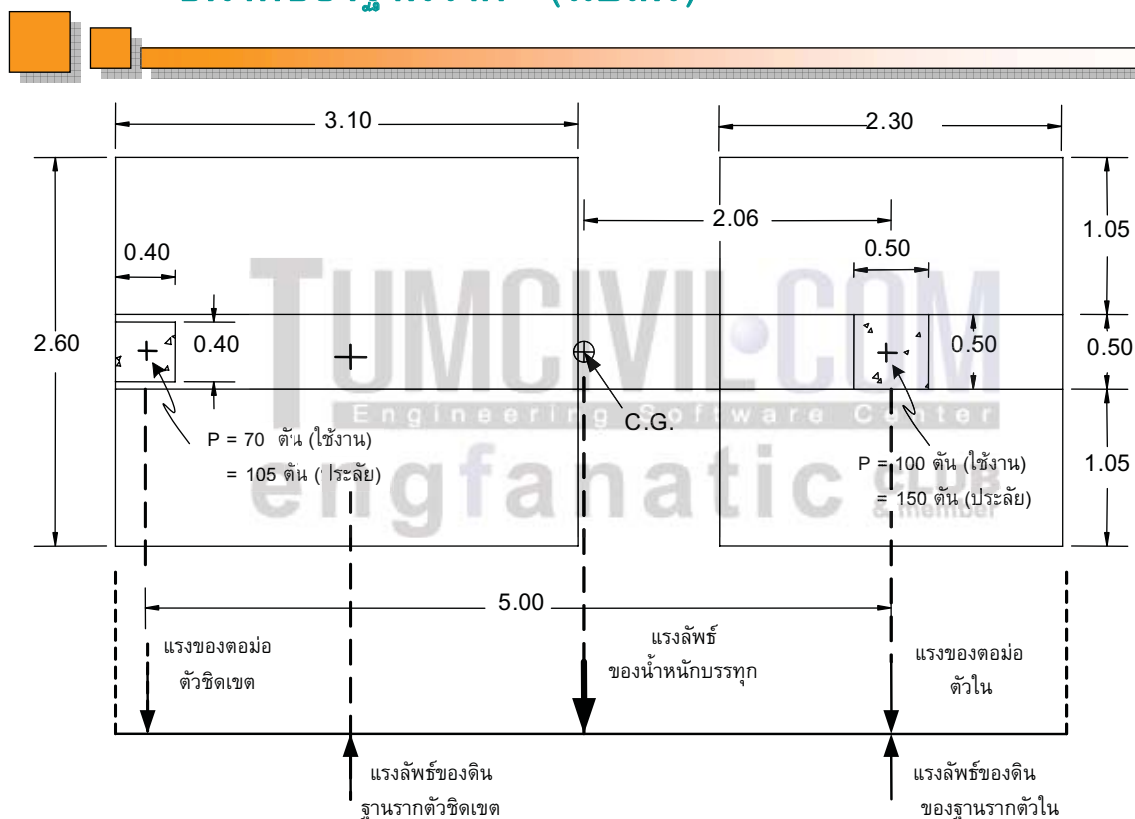
- หรือ

$$L_e^2 - 10.4L_e + 22.24 = 0$$

- แก้สมการจะได้  $L_e = 3.01$  ม. เลือกใช้ 3.10 ม.
- ดังนั้นฐานรากตัวในยาว  $L_i = 5.40 - L_e = 2.30$  ม.
- 
- กำหนดขนาดความกว้างของคาน้ำิ่ง (B) เท่ากับ 0.50 ม.

9

## ขนาดของฐานราก (แปลน)



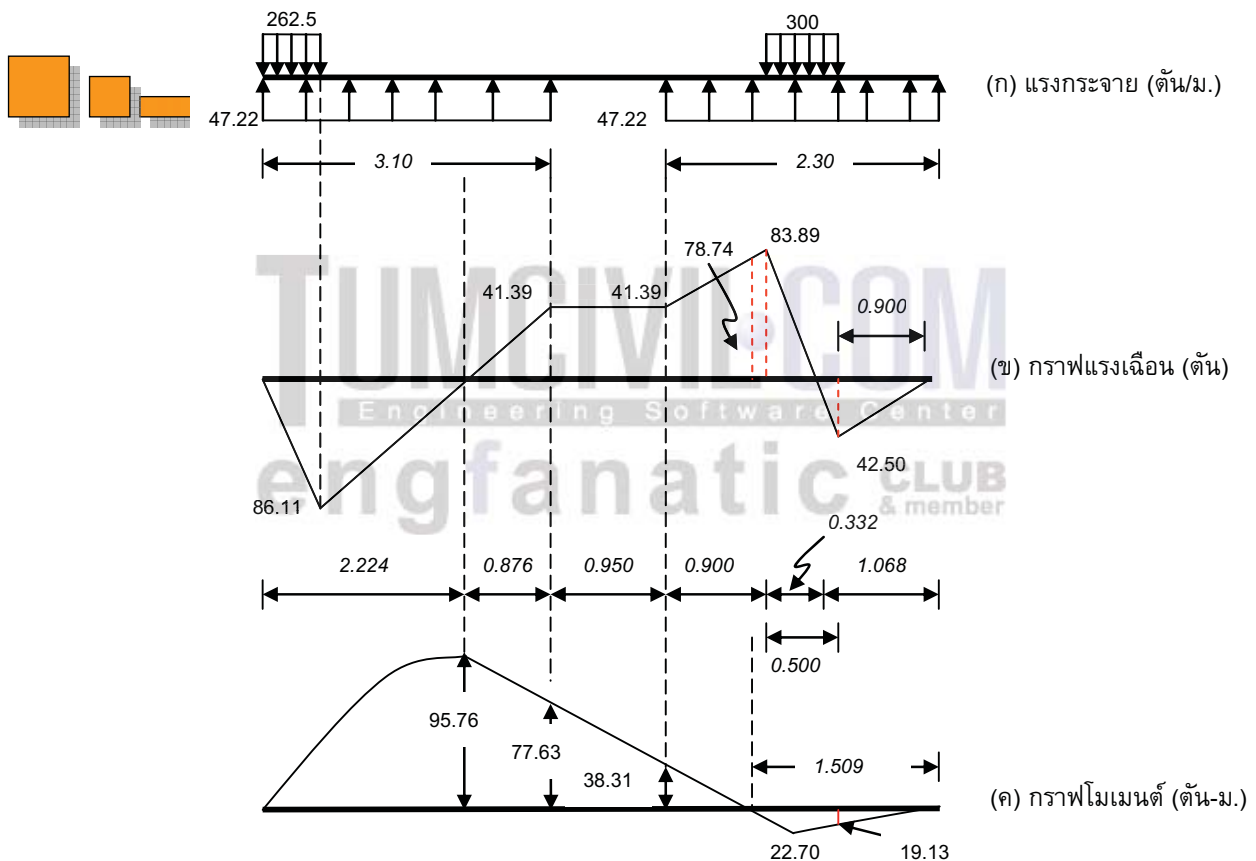
10

## ขั้นที่ 2 : เขียนผังแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

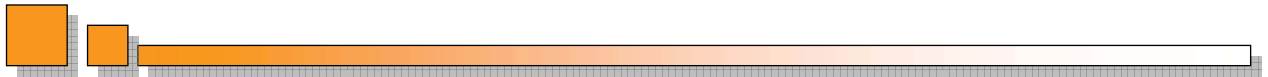
- นำน้ำหนักของตอม่อแต่ละต้นมาคำนวณแรงกระจาย
- ตอม่อตัวชิดเขต :  $w_e = P_{ue}/Bc_e = 105/0.40 = 262.50$  ตัน/ม.
- ตอม่อตัวใน :  $w_i = P_{ui}/Bc_i = 150/0.50 = 300$  ตัน/ม.
- พื้นที่สุทธิเท่ากับ  $A_n = B_F(L_e + L_i) = 2.60 \times (3.10 + 2.30) = 14.04$  ม.<sup>2</sup>
- แรงดันดินประลัยเท่ากับ  $\bar{p}_u = \frac{P_{ue} + P_{ui}}{A_n} = \frac{105 + 150}{14.04} = 18.16$  ตัน/ม.<sup>2</sup>
- แรงกระจายประลัย :  $p_u = \bar{p}_u \times L = 18.16 \times 2.6 = 47.22$  ตัน/ม.
- นำข้อมูลทั้งหมดมาเขียนผังแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

11

### ผังแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด



### ขั้นที่ 3 : ออกแบบฐาน



- เนื่องจากความกว้างของคานารั้งเท่ากับ 0.50 ม.
- ความยาวแบบคานายื่นของฐาน  $\tilde{L} = \frac{B_F - B}{2} = \frac{2.6 - 0.5}{2} = 1.05$  ม.
- แรงเฉือนประลัยต่อเมตร  $V_u = \bar{p}_u \tilde{L} = 18.16 \times 1.05 = 19.07$  ตัน (/ม.)
- โมเมนต์ดัดประลัยต่อเมตร  $M_u = \frac{\bar{p}_u \tilde{L}^2}{2} = \frac{18.16 \times 1.05^2}{2} = 10.01$  ตัน-ม. (/ม.)
- กำหนดความลึกของฐานเท่ากับ 0.40 ม. และใช้  $d = 0.35$  ม.

13

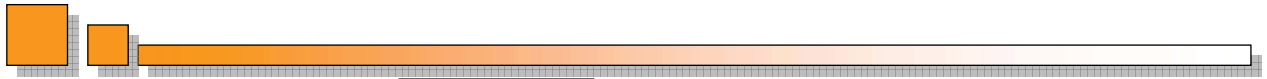
### ขั้นที่ 3 : ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้าง



- กำลังแรงเฉือนของคอนกรีตล้วน
- แทนค่าจะได้  $V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b d$  กก. / (ม.)
- เมื่อ  $\phi = 0.85$  จะได้  $\phi V_c = 0.85 \times 0.53 \sqrt{200} \times 100 \times 35 = 22.30$  ตัน / (ม.)
- แรงเฉือนประลัยที่หน้าตัดวิกฤติ (ห่างจากหน้าเสา  $d$ )
- คือ  $V_u = 18.16(1.05 - 0.35) = 12.71$  ตัน / (ม.)
- จะได้  $\phi V_c > V_u$  O.K.

14

### ขั้นที่ 3 : ออกแบบเหล็กเสริม (เอก-ขนานด้าน 2.60 ม.)



- 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  $A_s = 0.85 \cdot 100 \cdot 35 \frac{200}{4,000} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 10.01 \times 1,000 \times 100}{0.9 \cdot 0.85 \cdot 100 \cdot 35^2 \cdot 200}} \right) = 8.17 \text{ ซม.}^2 / (\text{ม.})$   
**ควบคุม!!**
- เหล็กเสริมต้านทานการยึดหดตัว  $A_{s,temp} = 0.0018bt$
- แทนค่า  $A_{s,min} = 0.0018 \cdot 100 \cdot 40 = 7.20 \text{ ซม.}^2 / (\text{ม.})$
- ใช้ DB16 จำนวน  $8.17/2.02 = 4.04$  เส้น/ม.
- หรือ  $s = 1/4.04 = 0.247 \text{ ม.} / (\text{ม.})$  นั่นคือ ใช้ **DB16@0.20 ม.**

15

### ขั้นที่ 3 : ออกแบบเหล็กเสริม (รอง-ตั้งจากเหล็กเอก)



- ใช้เหล็กเสริมเพื่อต้านทานการยึดหดตัวเป็นเกณฑ์  $A_s = 7.20 \text{ ซม.}^2 / (\text{ม.})$
- เมื่อใช้ DB12 จะได้  $7.20/1.13 = 6.37$  เส้น/ม.
- หรือ  $s = 1/6.37 = 0.157 \text{ ม.}$
- นั่นคือ ใช้ **DB12@0.15 ม.** เป็นเหล็กเสริมรอง

16



### ขั้นที่ 3 : 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  $0.5 \times (260 - 50) - 5 = 100$  ซม. **O.K.**

17

### ขั้นที่ 4.1 : ออกแบบคานรั้ง

สำหรับคานรูปตัวที มี  $M_u = 95.76$  ตัน-ม. โดยสมมติความลึกคาน 95 ซม.

- ปีกคานลึก  $t_f = 40$  ซม. และมี  $d = 0.90$  ม.

- สมมติว่าคานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 260 ซม.

- ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ  $A_s = \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} = \frac{95.76 \times 1,000 \times 100}{0.9 \times 4,000 \times \left( 90 - \frac{40}{2} \right)} = 38.00 \text{ ซม.}^2$

- หรือ  $\rho = A_s / bd = 38 / (260 \times 90) = 0.0016$

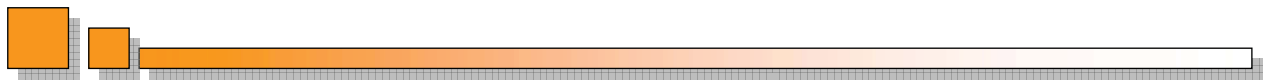
- ตำแหน่งของแกนสะเทิน  $a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{38 \times 4000}{0.85 \times 200 \times 260} = 3.44$

- นั่นคือ  $c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3.44}{0.85} = 4$  ซม. น้อยกว่า  $t_f$  คิดเป็นคานสี่เหลี่ยมปรกติ

- ปริมาณเหล็กเสริม  $A_s = 0.85 \cdot 260 \cdot 90 \cdot \frac{200}{4,000} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 95.76 \times 1,000 \times 100}{0.9 \cdot 0.85 \cdot 260 \cdot 90^2 \cdot 200}} \right] = 30.01 \text{ ซม.}^2$

18

## ขั้นที่ 4.2 : ออกแบบคานรั้ง



สำหรับคานสี่เหลี่ยมผืนผ้า มี  $M_u = 77.63$  ตัน-ม. (ไม่คิดผลของเหล็กเสริมรับแรงอัด)

- เหล็กเสริม  $A_s = 0.85 \cdot 50 \cdot 90 \frac{200}{4,000} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 77.63 \times 1,000 \times 100}{0.9 \cdot 0.85 \cdot 50 \cdot 90^2 \cdot 200}} \right] = 25.69$  ซม.<sup>2</sup>
- เมื่อพิจารณาร่วมกับเหล็กเสริมที่หาจาก ขั้นที่ 4.2 พบว่าเหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบ
- ใช้เท่ากับ  $A_s = 30.01$  ซม.<sup>2</sup>
- เหล็กเสริมน้อยสุด  $A_{s,min} = (14/4,000) \cdot 50 \cdot 90 = 15.75$  ซม.<sup>2</sup>
- เลือกใช้เหล็ก DB20 จะได้  $30.01/3.14 = 9.55$  เส้น
- ดังนั้นใช้ 10DB20 จำนวน 2 ชั้นๆละ 5 เส้น เป็นเหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบ

19

## ขั้นที่ 4.3 : ออกแบบคานรั้ง



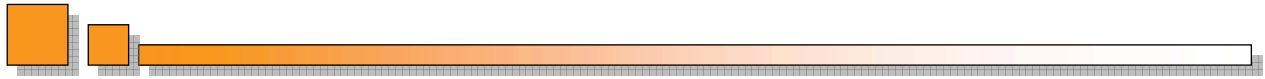
สำหรับคานรูปตัวที ที่พิจารณาเป็นคานสี่เหลี่ยมผืนผ้า

มี  $M_u = 22.70$  ตัน-ม. (ไม่คิดผลของเหล็กเสริมรับแรงอัด)

- เหล็กเสริม  $A_s = 0.85 \cdot 50 \cdot 90 \frac{200}{4,000} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 22.70 \times 1,000 \times 100}{0.9 \cdot 0.85 \cdot 50 \cdot 90^2 \cdot 200}} \right] = 7.139$  ซม.<sup>2</sup>
- เนื่องจากในฐานมีเหล็กเสริมอยู่แล้ว  $A_s = 7.20 \times 2.60 = 18.72$  ซม.<sup>2</sup>
- 
- มากกว่า  $15.75$  ซม.<sup>2</sup> ( $A_{s,min}$ ) O.K.
- ดังนั้นเสริมเหล็ก 2DB20 เป็นเหล็กล่างตลอดความยาวคาน

20

## ขั้นที่ 4.4 : ออกแบบคานรั้ง



ออกแบบแรงเฉือน  $V_u = 86.11$  ตัน พิจารณาเป็นคานสี่เหลี่ยมผืนผ้า

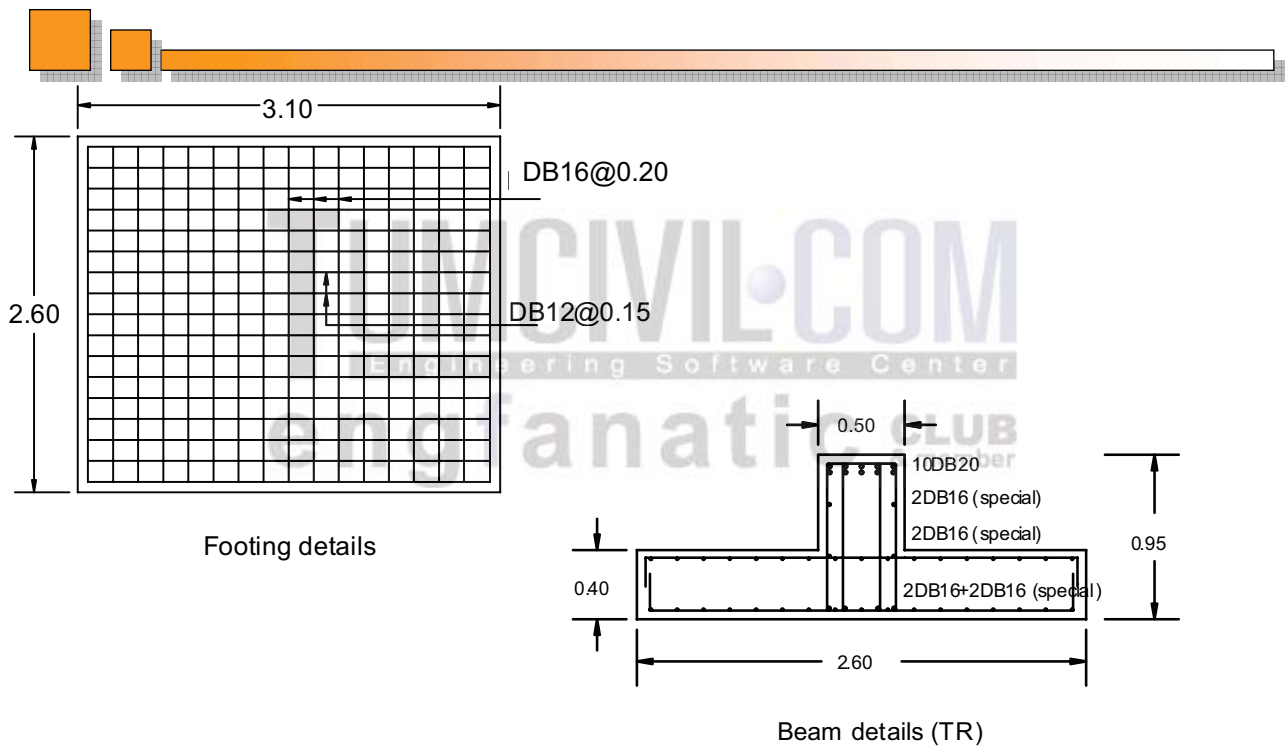
- คำนวณกำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีตล้วน  $V_c = 0.53 \times \sqrt{200} \times 50 \times 90 = 33,728.99$  กก.
- เมื่อ  $\phi = 0.85$  จะได้  $\phi V_c = 28.67$  ตัน น้อยกว่า  $V_u$  ต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน
- กำลังรับแรงเฉือนสูงสุด  $\phi V_{n,max} = 2.1 \times 0.85 \sqrt{200} \times 50 \times 90 = 113,596.70$  กก.
- หรือ  $\phi V_{n,max} = 113.60$  ตัน มากกว่า  $V_u$  ดังนั้นไม่จำเป็นต้องขยายหน้าตัด
- สำหรับ  $V_{c1} = 1.1 \phi \sqrt{f'_c} b d = 1.1 \times 0.85 \sqrt{200} \times 50 \times 90 = 59,503.04$  กก.
- นั่นคือ  $V_u - \phi V_c = 86.11 - 28.67 = 57.44$  ตัน
- พบว่า  $\phi V_c < V_u - \phi V_c < \phi V_{c1}$  เสริมเหล็กรับแรงเฉือนเป็นระยะ 
$$s = \frac{A_v \phi f_y d}{V_u - \phi V_c} \quad 21$$

## ขั้นที่ 4.4 : ออกแบบคานรั้ง



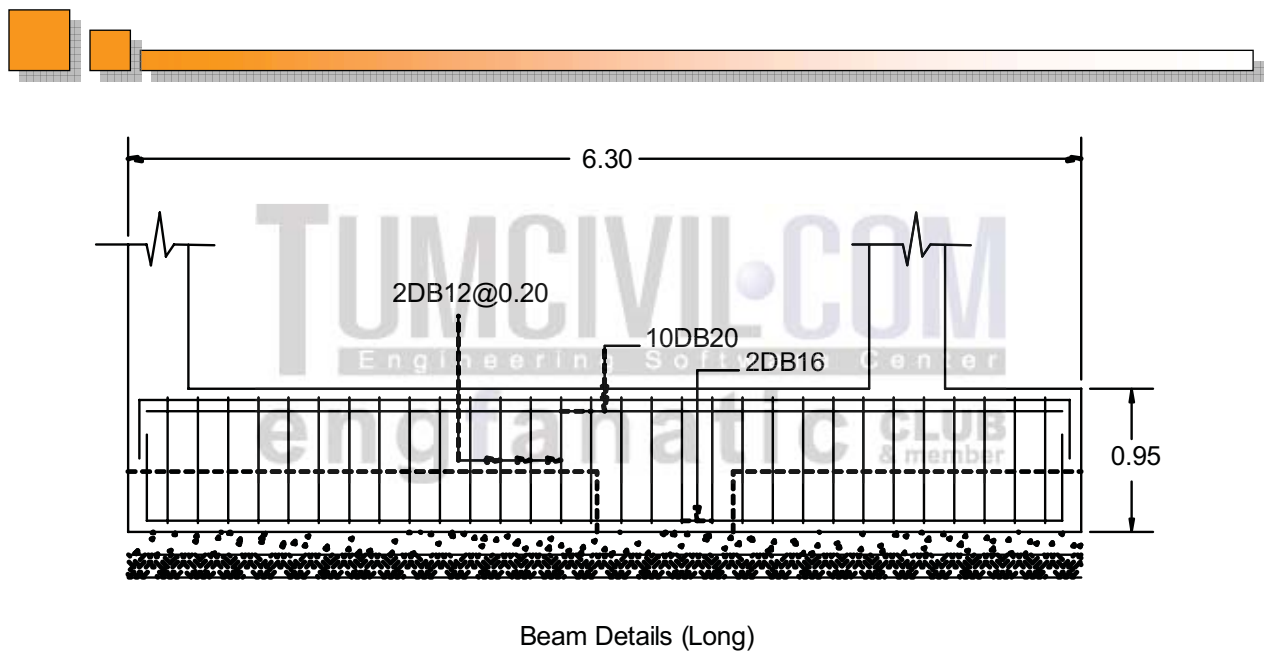
- เลือก DB12 เป็นเหล็กเสริมตามขวาง จะได้  $s = \frac{2.26 \times 0.85 \times 4 \times 90}{86.11 - 28.67} = 12.04$  ซม.
- ต้องไม่มากกว่า  $0.5d = 45$  ซม. และ 60 ซม.
- เพื่อความสะดวกในการก่อสร้างใช้ 2DB12@0.20 ม.

## รายละเอียดเหล็กเสริม



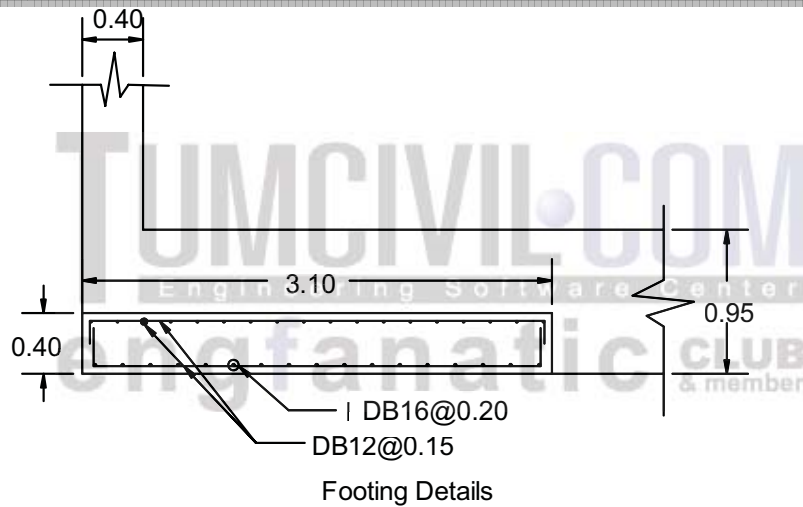
23

## รายละเอียดเหล็กเสริม



24

## รายละเอียดเหล็กเสริม



หมายเหตุ ตัวอย่างนี้ยังไม่ได้รวมน้ำหนักของคานยี่ครั้งที่จะมีผลต่อโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ในการออกแบบจริงจะต้องรวมน้ำหนักของคานยี่ครั้งนี้เข้าไปในการออกแบบด้วย