

# การออกแบบเสายาว

## ภาค 1 ทฤษฎี

รศ.ดร. อมร พิमानมาศ

กรรมการอำนวยการและประธานคณะอนุกรรมการ  
สาขาวิศวกรรมโครงสร้างและสะพาน

การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง (ขั้นต้น+ขั้นสูง)

เหมาะสำหรับ

1. เพิ่มพูนและทบทวนความรู้เกี่ยวกับงานออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. เตรียมความพร้อมในการสอบสามัญวิศวกรสาขาวิศวกรรมโยธา
3. พื้นความรู้สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างขั้นสูง เช่น การออกแบบโครงสร้างด้านแผ่นดินไหว การออกแบบโครงสร้างด้านแรงลม เป็นต้น

วิทยากร รศ. ดร. อมร พิमानมาศ



### วันที่ 1

1. วัสดุที่ใช้ในงานคอนกรีต คอนกรีต เหล็กเส้น และคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. แร่ง น้ำหนัก การวิเคราะห์ และ ออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. การวิเคราะห์และออกแบบคานช่วงเดียวรับแรงดัด (หน้าตัดเสริมเหล็กกับแรงดึง)
4. การวิเคราะห์และออกแบบคานช่วงเดียวรับแรงดัด (หน้าตัดเสริมเหล็กกับแรงดึงและแรงอัด)

### วันที่ 2

1. การวิเคราะห์และออกแบบคานต่อเนื่อง และ คานหน้าตัดตัว T
2. การออกแบบคานต้านแรงเฉือน
3. การออกแบบคานต้านแรงบิด
4. การออกแบบคานลึกลับ

### วันที่ 3

1. การคำนวณแรงยึดเหนี่ยวและระยะฝังยึด
2. การออกแบบพื้นทางเดียว คสล.
3. การออกแบบพื้นสองทาง คสล.
4. การออกแบบแรงเฉือนเสียดทาน

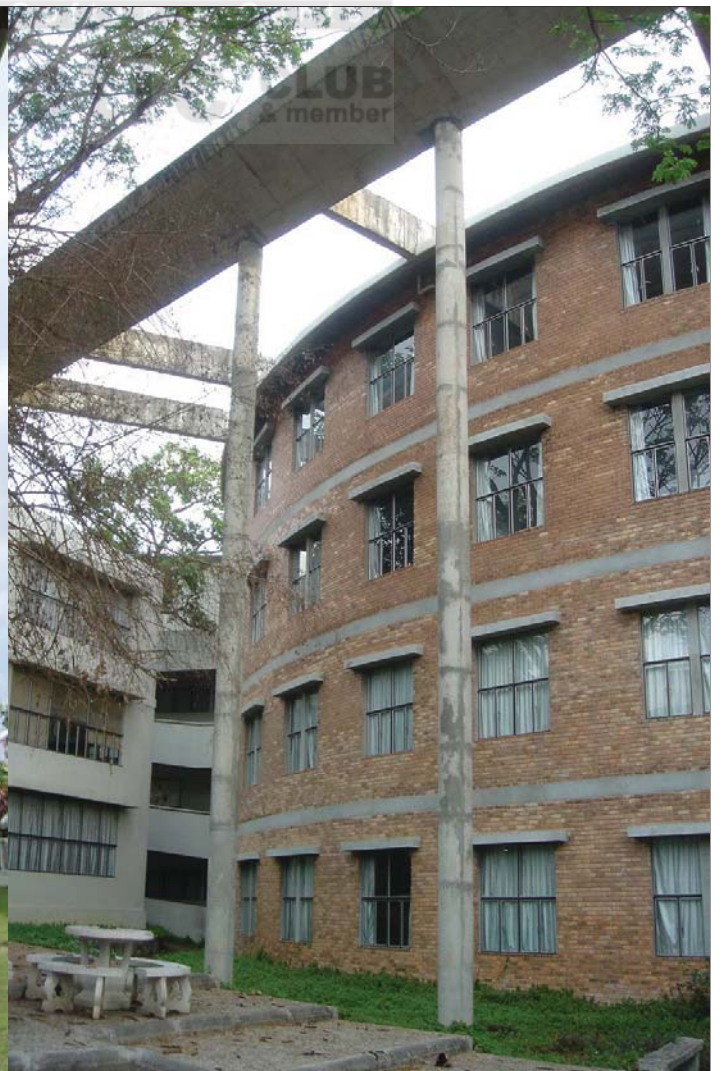
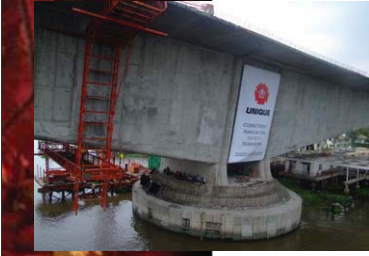
### วันที่ 4

1. การออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. การออกแบบเสายาว
3. การออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก
4. การออกแบบฐานรากเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก



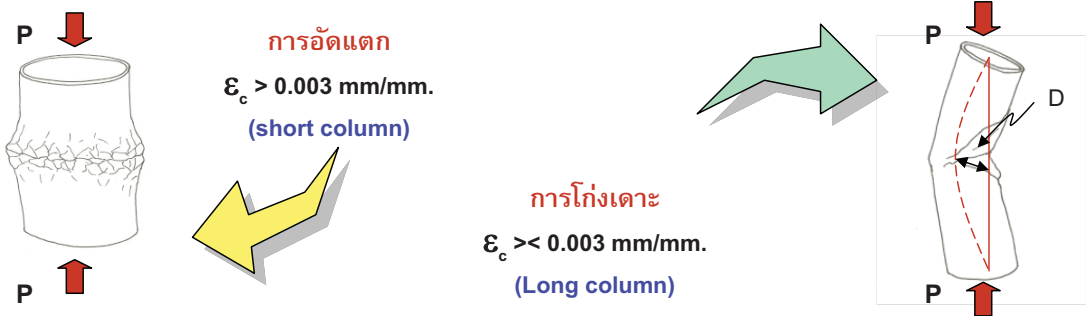
# ประเภทของเสาตามความยาว

- **แท่น (Pedestal)** : เมื่อ " $h/b < 3$ " จะเรียกว่าแท่น การออกแบบพิจารณาแรงอัดเป็นหลัก
- **เสาสั้น (Short column)**: การวิบัติของเสาควบคุมโดยการอัดแตก (crushing) ของคอนกรีต หรือ การครากของเหล็กเสริม
- **เสายาว (Long column/slender column)**: การวิบัติของเสาควบคุมโดยการโก่งเดาะ(Buckling) เกิดขึ้นกับเสาที่มีความชะลูด สำหรับเสาที่มีหน้าตัดเหมือนกันเสายาวจะมีกำลังรับแรงอัดได้น้อยกว่าเสาสั้น



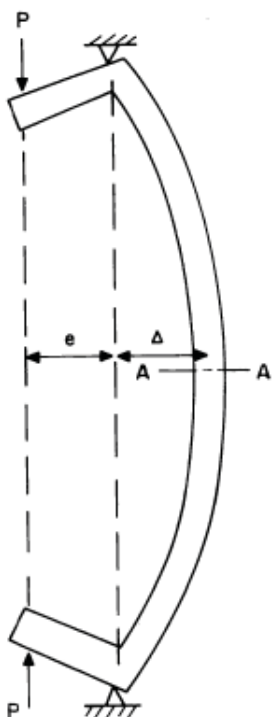
# การโก่งเดาะ (buckling) ของเสายาว

- สำหรับเสาสั้น การวิบัติจะเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุ (การอัดแตกของคอนกรีตหรือการครากของเหล็กเสริม)
- สำหรับเสายาวหรือเสาชะรูด จะเกิดการโก่งเดาะหรือเกิดการโก่งออกด้านข้าง ( $\Delta$ )



- ผลของแรงอัด "P" และการโก่งออกทางด้านข้าง ( $\Delta$ ) ทำให้เกิดโมเมนต์รองซึ่งเรียกว่า "**P- $\Delta$  effect**"

## โมเมนต์หลักและโมเมนต์รอง



Slender column

- จากรูปเสายาวรับแรงเยื้องศูนย์กลาง  $e$  เกิดการโก่งเดาะจนมีระยะโก่งออกด้านข้าง  $\Delta$  ดังนั้นที่หน้าตัด A-A เสาจะมีระยะเยื้องรวม  $= e + \Delta$
- ดังนั้นที่หน้าตัด A-A เสาต้องรับแรงอัด  $P$  และโมเมนต์  $M = P(e + \Delta)$ .
- โมเมนต์หลักคือโมเมนต์ที่เกิดจากการเยื้องศูนย์กลางของน้ำหนัก ( $M = Pe$ )
- โมเมนต์รองคือโมเมนต์ส่วนเพิ่ม ( $M = P\Delta$ ) ซึ่งเกิดจากการโก่งตัวออกทางด้านข้างจากผลของความชะรูด



# เสาสั้น vs เสายาว

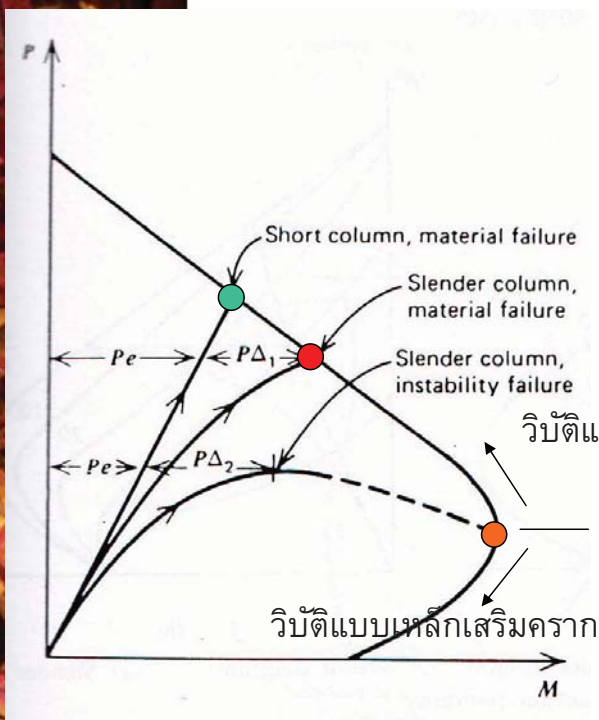


buckled column

1964 Alaska earthquake

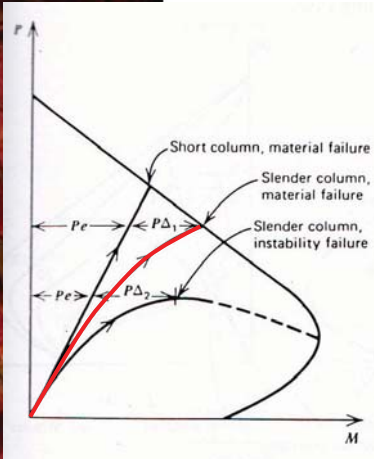
- เสาสั้น หมายถึงเสาที่ระยะโคงงออกทางด้านข้าง “ $\Delta$ ” มีค่าน้อยจนละทิ้งได้ เนื่องจากไม่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสา
- เสายาว หมายถึงเสาที่ระยะโคงงออกทางด้านข้าง มีค่ามากพอ ทำให้เกิดโมเมนต์ส่วนเพิ่ม จนทำให้กำลังรับน้ำหนักของเสา ลดลง
- **Note** : การลดลงของกำลังรับน้ำหนักจะถือว่า มีนัยสำคัญหากมีการลดลงมากกว่า 5% ขึ้นไป

## พฤติกรรมของเสายาว



- ถ้าระยะโคงงด้านข้างมีค่าน้อย โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดวิกฤติจะเท่ากับ “ $P_e$ ” โมเมนต์จะเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นตรงเมื่อเราเพิ่มแรง  $P$  จนกระทั่งหน้าตัดเสาวิบัติเมื่อถึงจุดตัดกราฟเสา
- ถ้าระยะโคงงด้านข้างมีค่ามาก โมเมนต์ที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดวิกฤติจะเท่ากับ  $P(e + \Delta)$  เส้นโมเมนต์จะเพิ่มขึ้นแบบเป็นเส้นโค้งเมื่อแรง  $P$  เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดตัดกับกราฟเสา

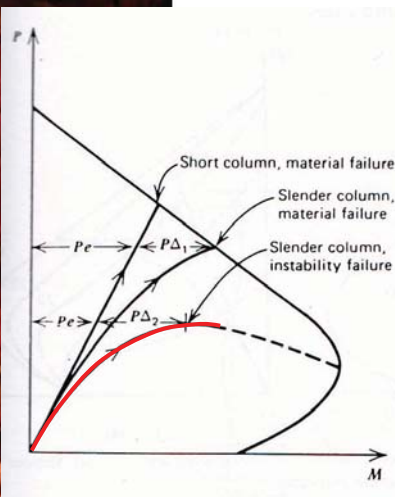
# พฤติกรรมของเสายาว



- เสายาวมีพฤติกรรมได้สองแบบ
- 1. เสายาวที่เสถียร คือเสายาวที่การวิบัติอยู่บนกราฟเสาคือเป็นจุดที่คอนกรีตแตกหรือเหล็กเสริมคราก
- การออกแบบเสายาวจะต้องออกแบบให้เป็นเสายาวที่มีเสถียรเท่านั้น



# พฤติกรรมของเสายาว



- 2. เสายาวที่ไม่เสถียร หมายถึงเสาที่ชะงูดมากจนสูญเสียเสถียรภาพ และการรับน้ำหนัก P ถึงจุดสูงสุดโดยที่ไม่ตัดกับกราฟเสาคือ
- การวิบัติของเสายาวที่ไม่เสถียร คอนกรีตจะไม่แตกอัด หรือ เหล็กเสริมยังไม่ถึงจุดคราก

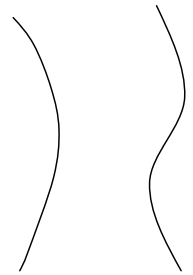


# หลักการออกแบบเสายาวตาม ACI

$$\begin{aligned}M_T &= P(e + \Delta) \\ &= Pe\left(1 + \frac{\Delta}{e}\right) \\ &= \delta M_p\end{aligned}$$

$\delta$  ตัวคูณขยายค่าโมเมนต์

1. โครงสร้างเป็นประเภท braced หรือ unbraced
2. ความขรุขระของเสา
3. ขนาดของแรงกดที่กระทำต่อเสา
4. ลักษณะการโค้งของเสา (โค้งทางเดียว หรือ โค้งสองทาง)



## Braced and Un-braced Frames

- ก่อนที่จะออกแบบเสายาว วิศวกรต้องทราบ สภาวะการเซของโครงสร้างที่จะออกแบบ
- โครงสร้างที่ไม่มีการเซ หรือ โครงสร้างที่ไม่มีการเคลื่อนที่ทางข้างเรียกว่า braced หรือ non-sway frame เช่น โครงสร้างที่มีกำแพงคอนกรีตหรือมีโครงเหล็กค้ำยัน
- โครงสร้างที่มีการเซ หรือ มีการเคลื่อนที่ด้านข้าง เรียกว่า unbraced หรือ sway frame เช่น โครงสร้างที่มีแต่เสาและคาน แต่ไม่มีกำแพงคอนกรีตหรือโครงเหล็กค้ำยัน



# นิยามของของ braced หรือ unbraced frames



Bracing elements

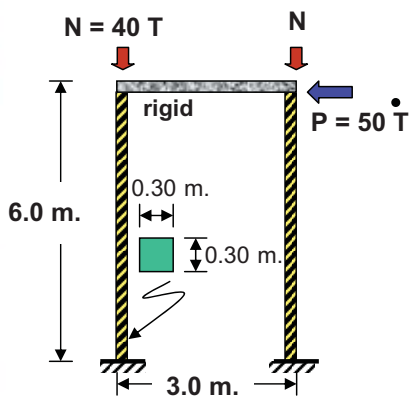


- วิศวกรใช้ดุลพินิจและประสบการณ์ในการพิจารณาว่าเป็น braced หรือ unbraced frame โดยดูจากกำแพงเฉือนหรือโครงเหล็กค้ำยันนั้นมีสติฟเนสมากพอหรือไม่

- ในกรณีที่ไม่แน่ใจ ACI ได้ให้ข้อแนะนำการตรวจสอบว่าโครงสร้างเป็นชนิด braced หรือ unbraced

Shear wall as bracing

## วิธีที่ 1 : การวิเคราะห์ลำดับที่ 2 (second order analysis)



Example

Moment at bases

$$2^{nd} = (1.35)1^{st}$$

จะถือว่าโครงสร้างเป็นประเภท braced structure ก็ต่อเมื่อผลการวิเคราะห์ second order analysis ให้ค่าโมเมนต์ที่ปลายเสาไม่เกิน 5% ค่าโมเมนต์ที่ได้จากการวิเคราะห์แบบ first order analysis

- First-order analysis เป็นการวิเคราะห์ที่คำนึงถึงรูปทางเรขาคณิตของโครงสร้างเดิม ที่ยังไม่เสียรูป
- Second-order analysis เป็นการวิเคราะห์ที่คำนึงถึงการเสียรูปของโครงสร้างด้วย



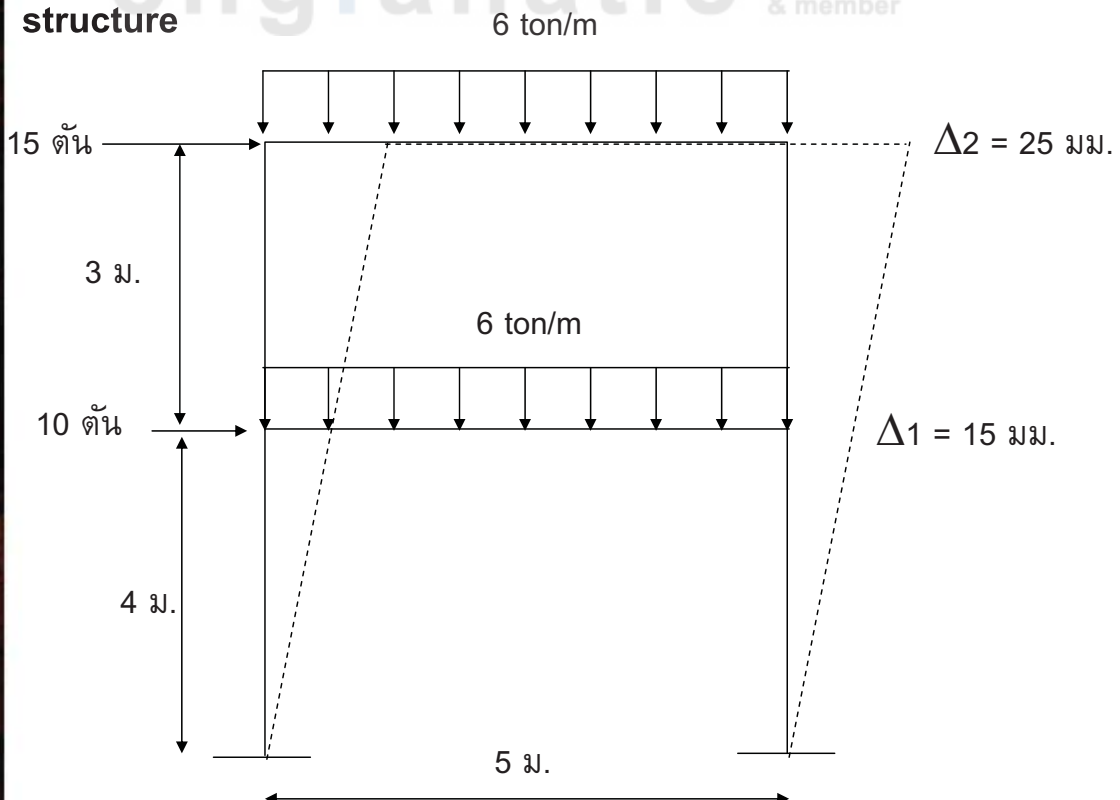
## วิธีที่ 2 : สัมประสิทธิ์ความมั่นคง

- จะถือว่าโครงสร้างเป็นประเภท braced structure ก็ต่อเมื่อ:

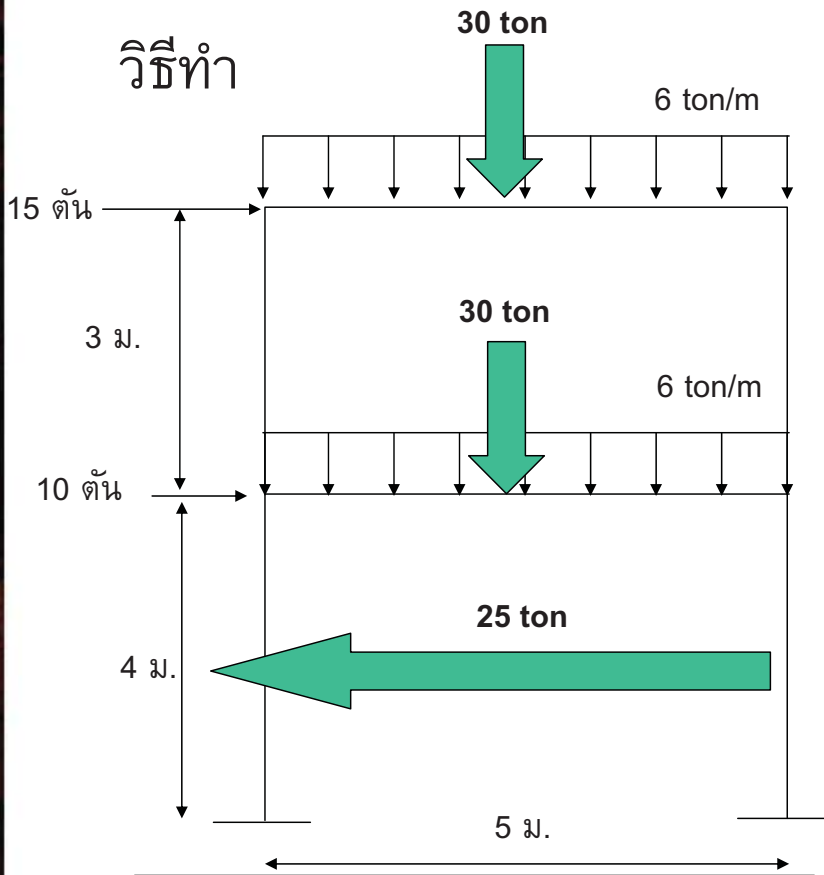
$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_0}{V_u l_c} \leq 0.05$$

- เมื่อ  $\sum P_u$  และ  $V_u$  = น้ำหนักทั้งหมดและแรงเฉือนที่กระทำต่อชั้นอาคารที่พิจารณา
- $l_c$  = ความยาวของเสา
- $\Delta_0$  = การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นของอาคาร
- Note : ACI แนะนำให้ใช้  $0.70l_g$  และ  $0.35l_g$  (สำหรับเสาและคานตามลำดับเพื่อพิจารณาสภาพการแตกร้าวของหน้าตัด**

ตัวอย่างจงพิจารณาว่าโครงสร้างดังกล่าวเป็น braced หรือ unbraced structure



วิธีทำ



$$\sum P_u = 60$$

$$V_u = 25$$

$$l_c = 4000$$

$$\Delta_0 = 15$$

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_0}{V_u l_c} = \frac{60 \times 15}{25 \times 4000} = 0.009 < 0.05$$

Braced Structure!!

engfanatic CLUB & member

โปรดติดตามตอนต่อไป  
ภาค 2 ทฤษฎี + ปฏิบัติ