We are Engineers

# ความรู้ประกอบการเลื่อนระดับงานออกแบบโครงสร้าง


โดย

**รองศาสตราจารย์สิริวัฒน์ ไชยชนะ**

กรรมการจรรยาบรรณ สภาวิศวกร

อนุกรรมการ สาขาวิศวกรรมโยธา


10 พฤศจิกายน 2566

(9.00-10.00 น.)

We are Engineers

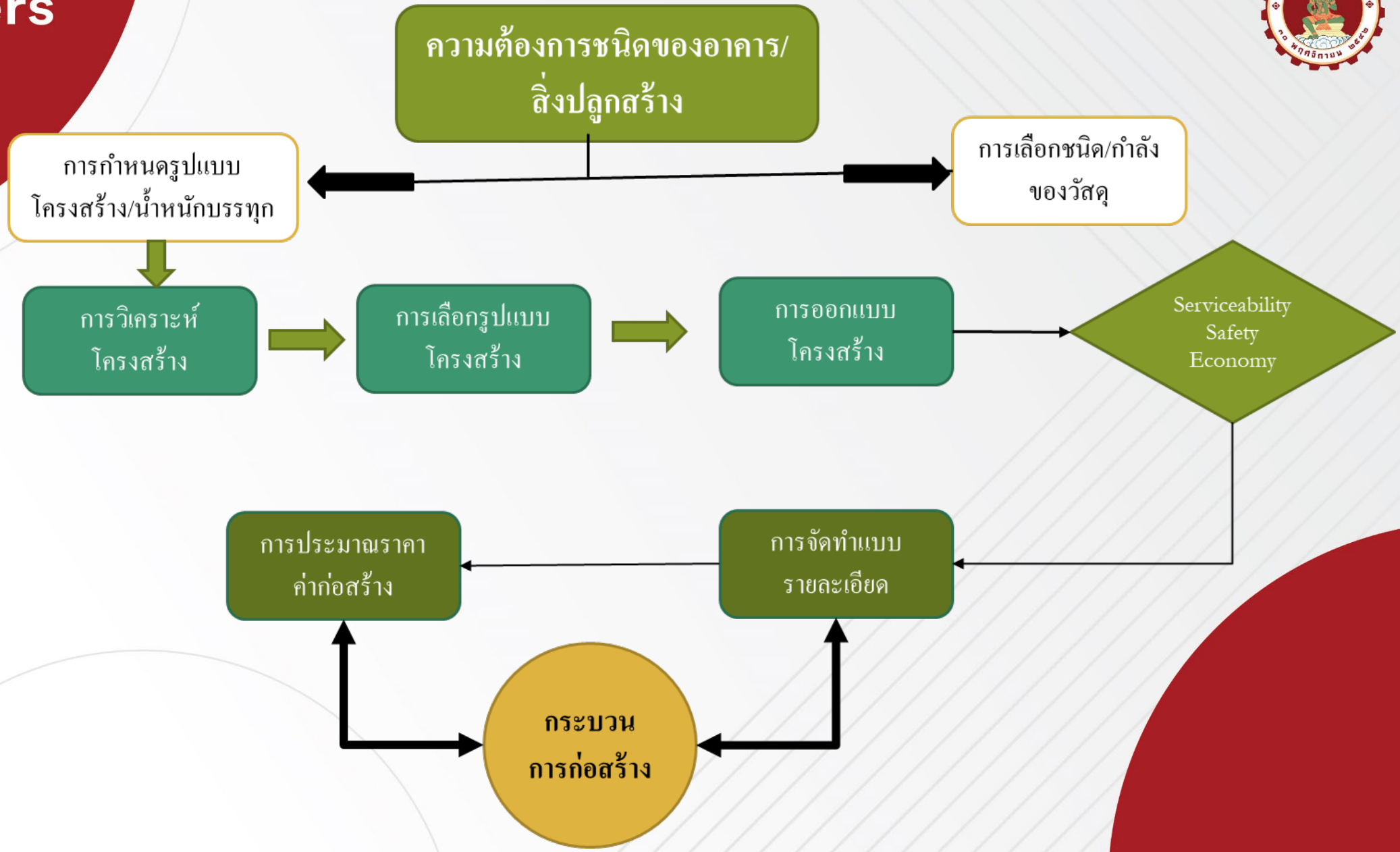
**“โครงสร้าง”** หมายถึง **องค์อาคาร(Members)** ที่มีลักษณะ เป็นรูปร่าง รูปทรง ที่มีความสัมพันธ์ในการรับและถ่ายแรงซึ่งกันและกันได้ทั้งแรงในแนวดิ่งและแรงแนวราบโดยเฉพาะแรงแนวราบที่ต้องกระจายให้องค์อาคารรับแรงแนวดิ่งให้เป็นไปตามหลักวิชาทางวิศวกรรม และหลักทางการผลิต การติดตั้ง หรือการก่อสร้างที่ดำเนินการอย่างมีขั้นตอน มีระบบแบบแผน ที่แน่นอน หรือเรียกง่ายๆ ว่าทำหน้าที่อย่างมีความสัมพันธ์กันของแต่ละองค์อาคาร

We are Engineers

**“การวิเคราะห์”** เป็นการคำนวณหาผลตอบสนองของชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน การที่มีแรงในทิศทางและรูปแบบต่างๆมากระทำเพื่อจะหาผลตอบสนองและพร้อมกับทำนายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในขณะที่รับแรงดังกล่าว ต่อจากนั้นก็เข้าสู่ขบวนการออกแบบโครงสร้าง เช่น การกำหนดชนิดของวัสดุที่นำมาเป็นโครงสร้าง รูปแบบ กำหนดขนาด กำหนดกำลังให้เพียงพอ รวมทั้งกำหนดรายละเอียดการติดตั้ง ให้มีความเหมาะสม มีความแข็งแรง มีเสถียรภาพและมีความประหยัด

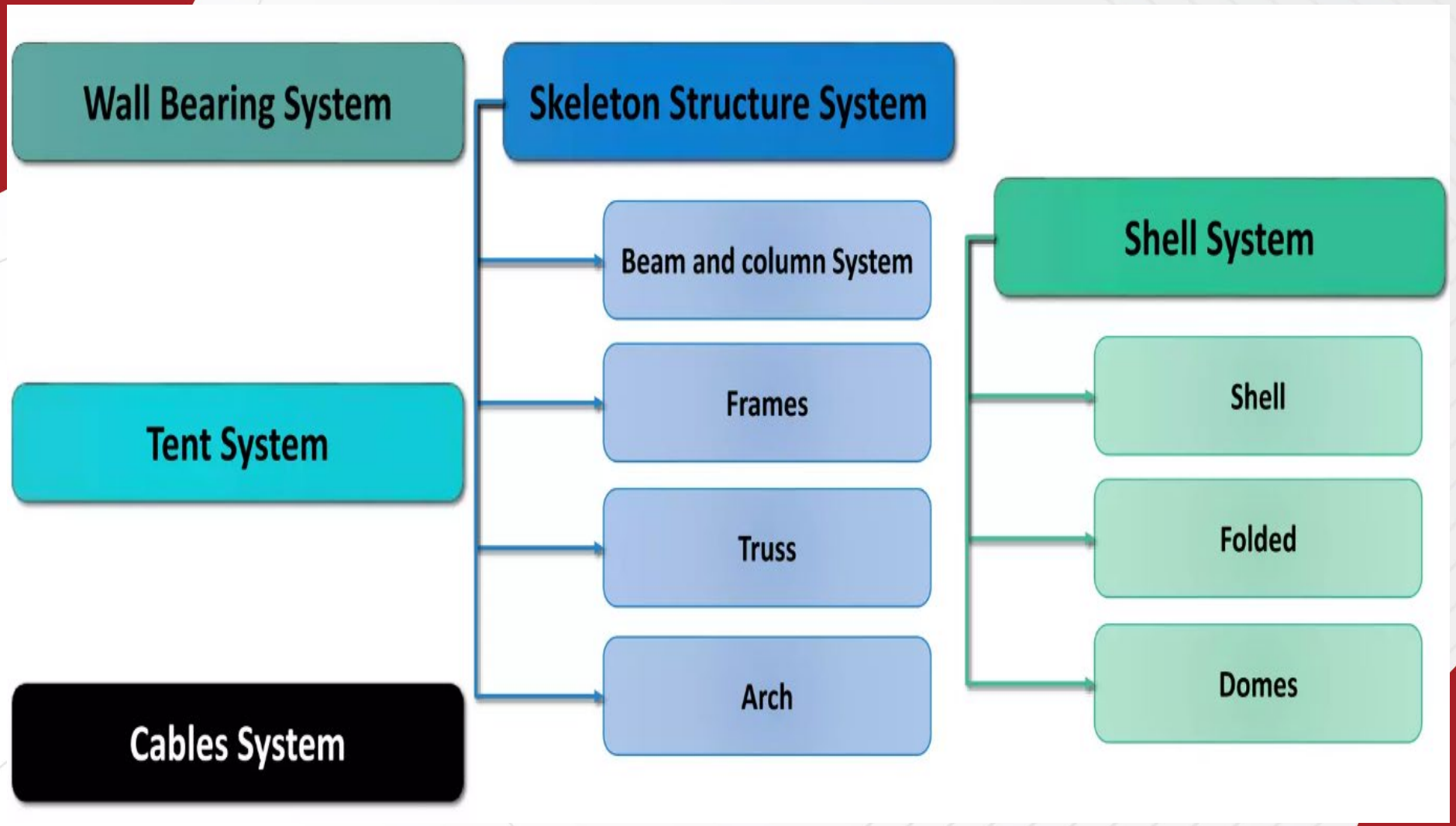
We are Engineers

# ขั้นตอนการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้าง



We are
Engineers

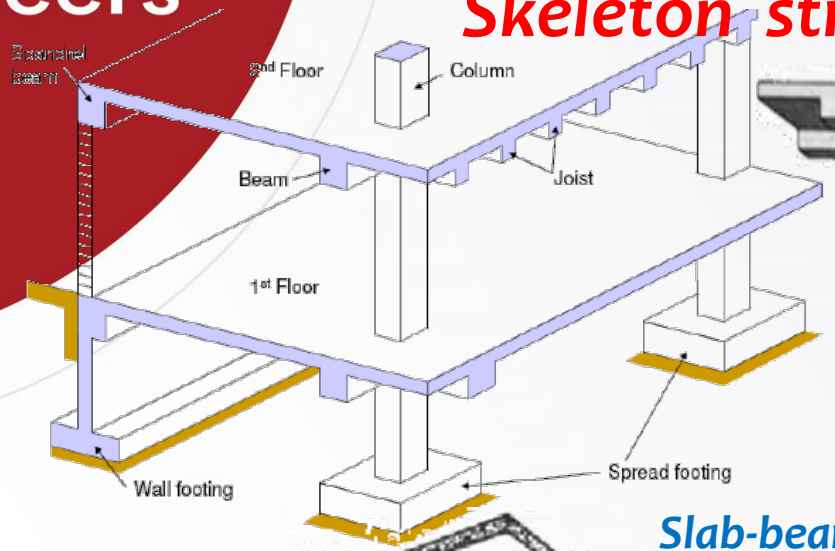
# ชนิดของระบบโครงสร้างอาคาร

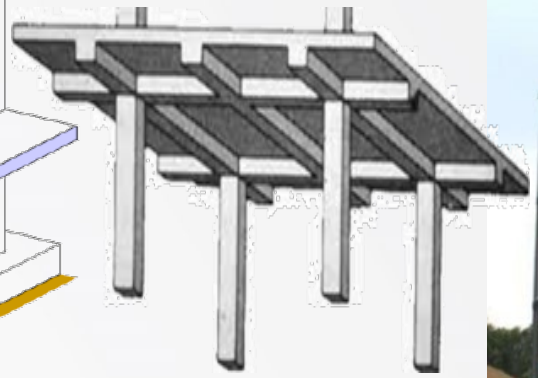


We are
Engineers

# รูปแบบของระบบโครงสร้างอาคารทั่วไป

## Skeleton structure system

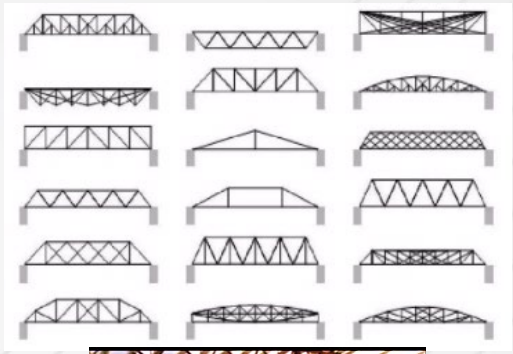


### Slab-beam-column system

### Beamless slab-column system

### Frame system

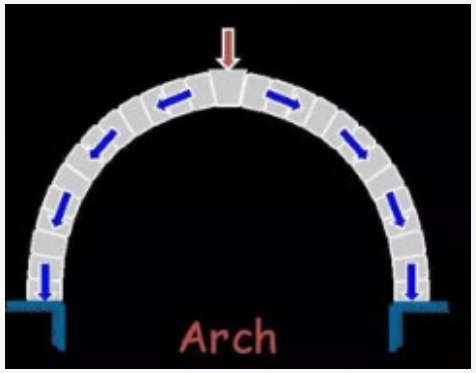


### Truss system

We are
Engineers

# รูปแบบของระบบโครงสร้างอาคารทั่วไป

Wall Bearing system




Arch system

Folded

Shell System

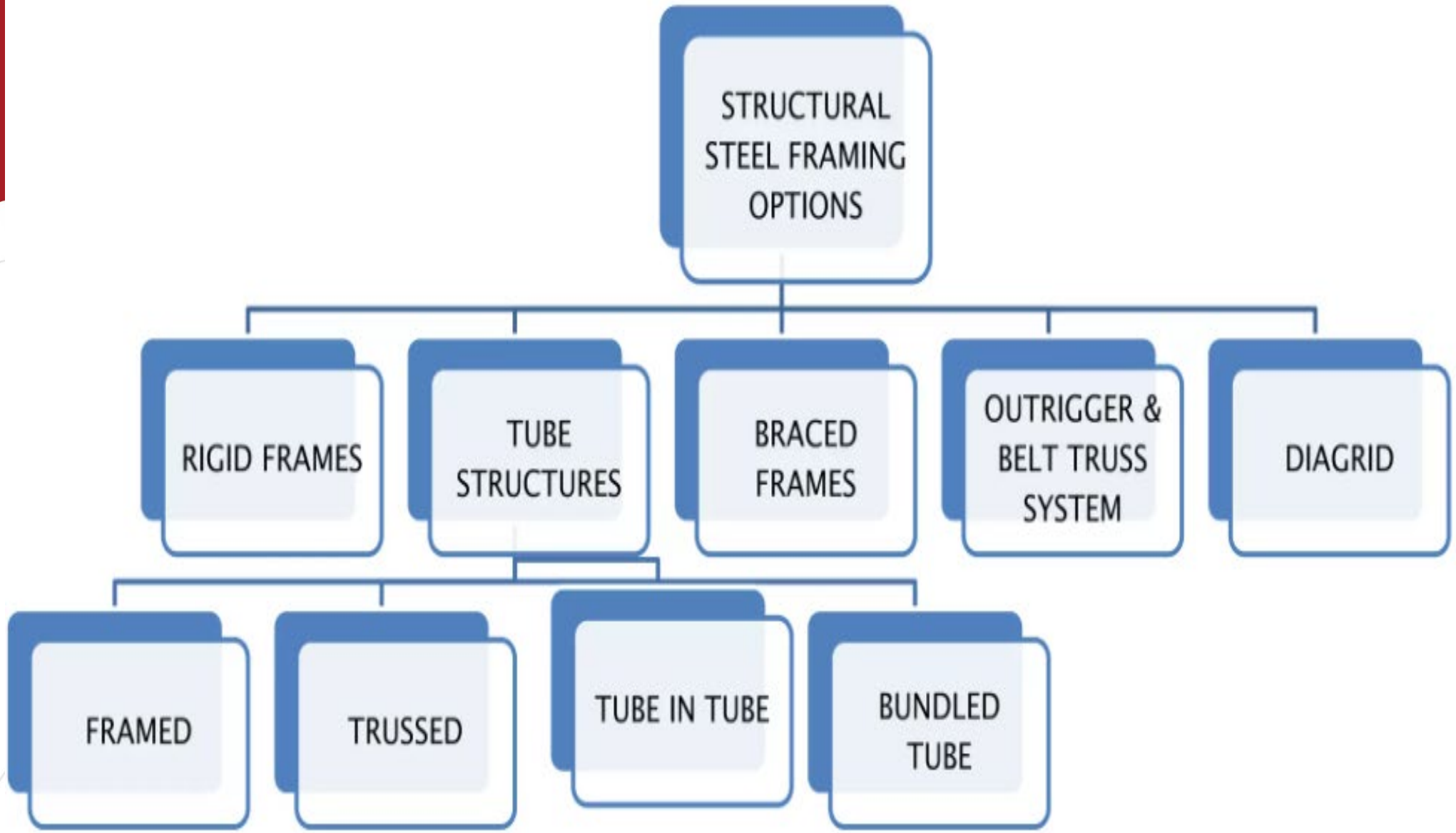
Shell

Folded

Dome

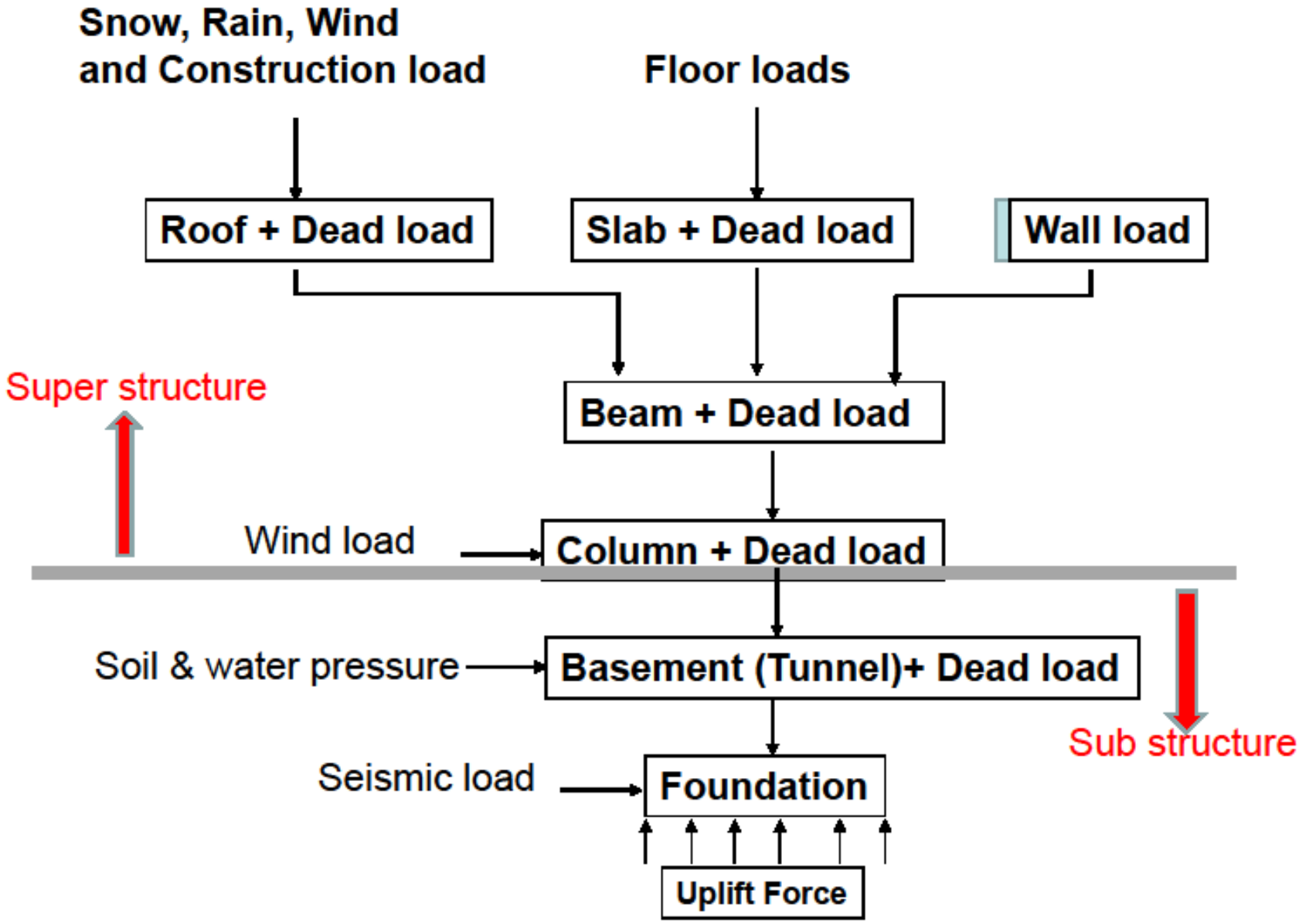
We are
Engineers

# รูปแบบของระบบโครงสร้างอาคารสูง



We are
Engin

# Loads Transferred in Structures



We are Engineers

# DEAD LOADS

| ชนิดของวัสดุ | น้ำหนักบรรทุก | หน่วย |
|---|---|---|
| คอนกรีตล้วน | 2,300 | กก./ลบ.ม. |
| คอนกรีตเสริมเหล็ก | 2,400 | กก./ลบ.ม. |
| เหล็ก | 7,850 | กก./ลบ.ม. |
| ไม้ | 500 | กก./ลบ.ม. |
| อิฐ | 1,900 | กก./ลบ.ม. |
| โครงหลังคา | 10-30 | กก./ตร.ม. |
| กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่ | 14 | กก./ตร.ม. |
| กระเบื้องคอนกรีต | 50 | กก./ตร.ม. |
| เหล็กรีดลอน | 14 | กก./ตร.ม. |
| สังกะสี | 5 | กก./ตร.ม. |
| ฝ้าเพดาน | 14-26 | กก./ตร.ม. |
| กำแพงอิฐมอญ | 180-360 | กก./ตร.ม. |
| กำแพงอิฐบล็อก | 100-200 | กก./ตร.ม. |

We are Engineers

# Floor Loads(LL)

กฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527) พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

| ประเภทและส่วนต่างๆของอาคาร | หน่วยน้ำหนักบรรทุก (กก./ตร.ม.) |
|---|---|
| 1. หลังคา | 30 |
| 2. กันสาดหรือหลังคาคอนกรีต | 100 |
| 3. ที่พักอาศัย โรงเรียนอนุบาล ห้องน้ำ ห้องส้วม | 150 |
| 4. ห้องแถว ตึกแถวที่ใช้พักอาศัย อาคารชุด หอพัก โรงแรม และห้องคนไข้พิเศษของโรงพยาบาล | 200 |
| 5. สำนักงาน ธนาคาร | 250 |
| 6. (ก) อาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย โรงเรียน และโรงพยาบาล | 300 |
| (ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารชุด หอพัก โรงแรม สำนักงาน และธนาคาร | 300 |
| 7. (ก) ตลาด อาคารสรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร ห้องอ่านหนังสือในห้องสมุดหรือหอสมุด ที่จอดหรือเก็บรถยนต์นั่งหรือรถจักรยานยนต์ | 400 |
| (ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของอาคารพาณิชย์ มหาวิทยาลัย วิทยาลัย และโรงเรียน | 400 |
| 8. (ก) คลังสินค้า โรงกีฬา พิพิธภัณฑ์ อัฒจันทร์ โรงงาน โรงพิมพ์ ห้องเก็บเอกสารและพัสดุ | 500 |
| (ข) ห้องโถง บันได ช่องทางเดินของตลาด สรรพสินค้า หอประชุม โรงมหรสพ ภัตตาคาร และ ห้องสมุด | 500 |
| 9. ห้องเก็บหนังสือของห้องสมุดหรือหอสมุด | 600 |
| 10. ที่จอดหรือเก็บรถบรรทุกเปล่า | 800 |

We are Engineers

## Floor Loads อัตราลดหน่วยน้ำหนักบรรทุกจรบนพื้นที่แต่ละชั้น

| การรับน้ำหนักของพื้น | อัตราการลดหน่วยน้ำหนักบรรทุกจรบนพื้นที่แต่ละชั้นเป็นร้อยละ |
|---|---|
| (1) หลังคาหรือดาดฟ้า | 0 |
| (2) ชั้นที่หนึ่งถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า | 0 |
| (3) ชั้นที่สองถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า | 0 |
| (4) ชั้นที่สามถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า | 10 |
| (5) ชั้นที่สี่ถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า | 20 |
| (6) ชั้นที่ห้าถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า | 30 |
| (7) ชั้นที่หกถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้า | 40 |
| (8) ชั้นที่เจ็ดถัดจากหลังคาหรือดาดฟ้าและชั้นต่อลงไป | 50 |

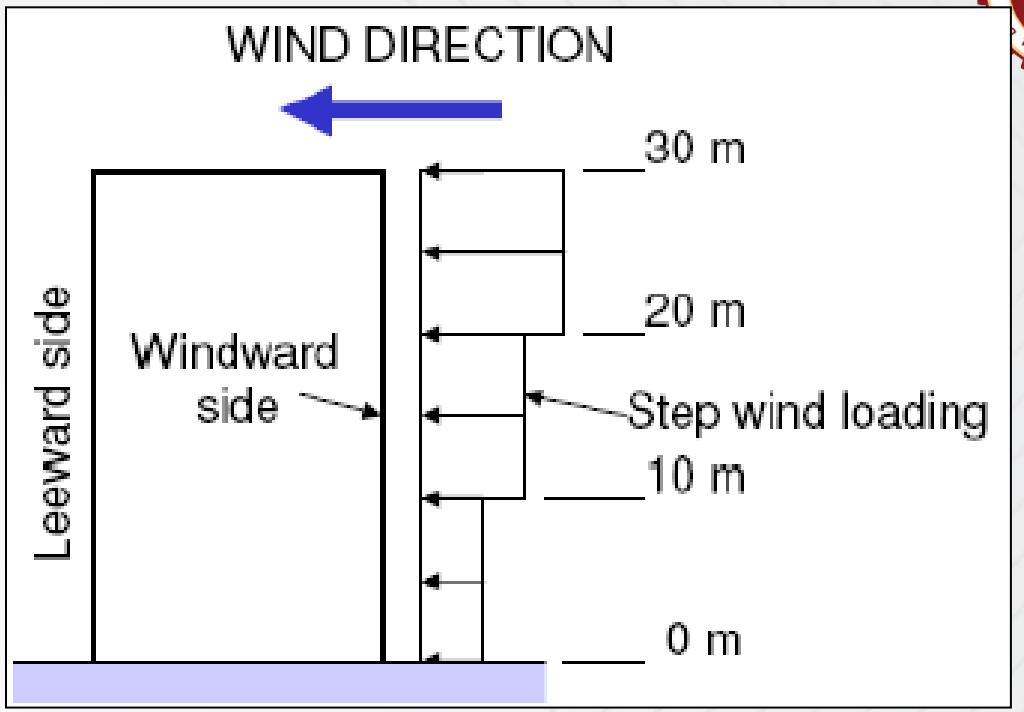
## การเพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่

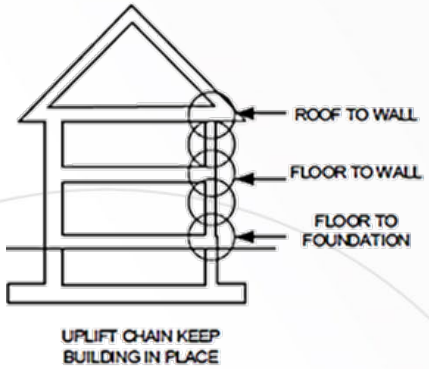
| ประเภทชิ้นส่วนอาคารและน้ำหนักบรรทุกคงที่ต่างๆ | เพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ขึ้นอีก (ร้อยละ) |
|---|---|
| โครงสร้างที่ประกอบด้วยเสาและคานยึดโยงกันเป็นโครงสร้างเพื่อรับน้ำหนักลิฟต์หรือน้ำหนักรอกยกของ | 100 |
| ฐานรากทางเท้าและดอม่อรับลิฟต์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับรอกยกของ | 40 |
| เครื่องจักรขนาดเบาท่อต่างๆและมอเตอร์ | ไม่น้อยกว่า 20 |
| เครื่องจักรขนาดเบาชนิดลูกสูบชักเครื่องไฟฟ้า | ไม่น้อยกว่า 20 |

We are Engineers

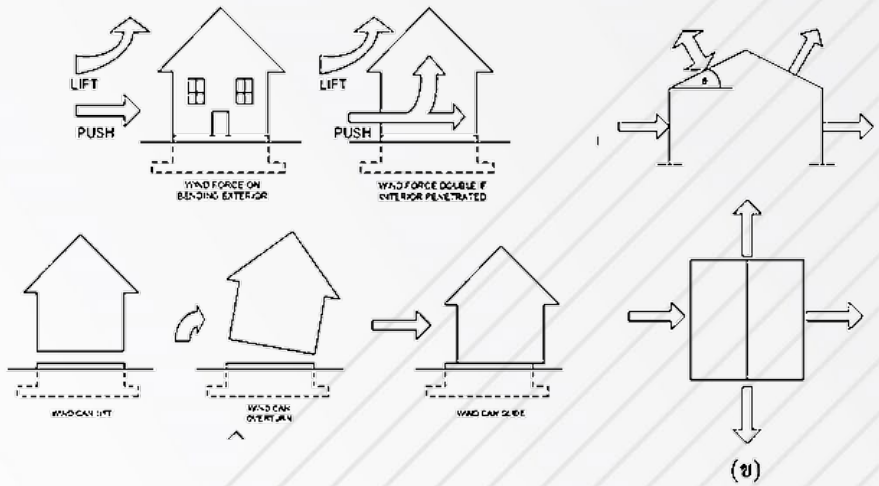
# แรงลมตามพ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

| ความสูงอาคาร (เมตร) | หน่วยแรงลม (กก./ตร.ม.) |
|---|---|
| น้อยกว่า 10 | 50 |
| 10 < h < 20 | 80 |
| 20 < h < 40 | 120 |
| มากกว่า 40 | 160 |



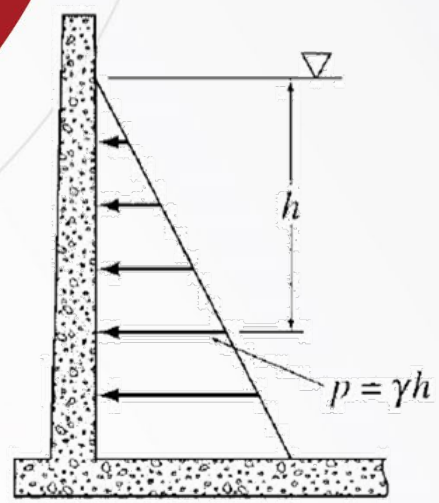

(ก)



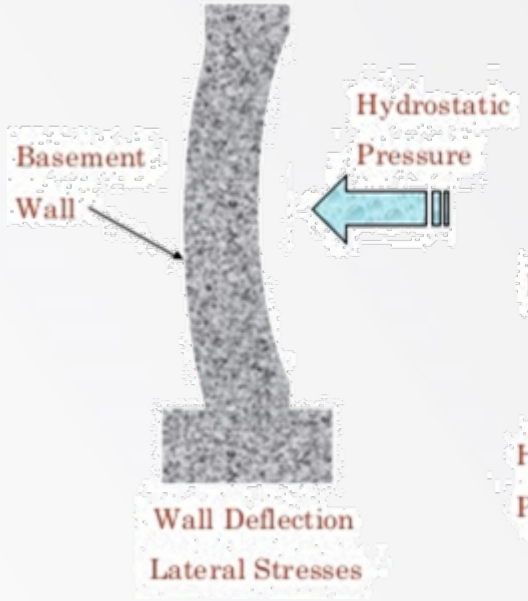

(ข)

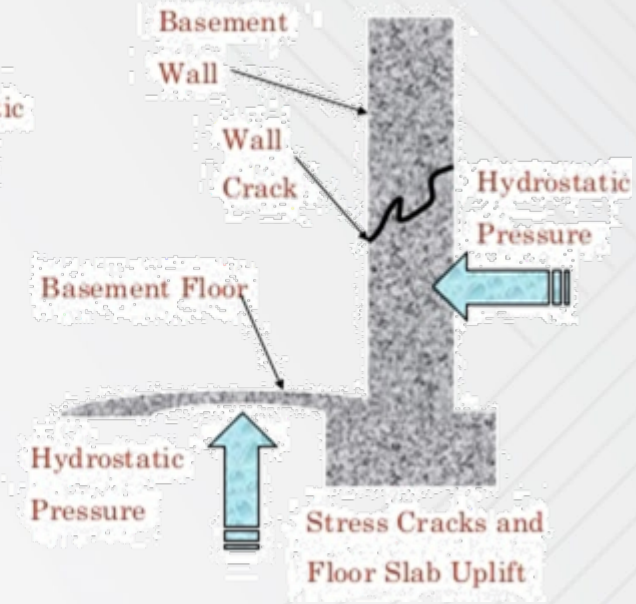
We are Engineers

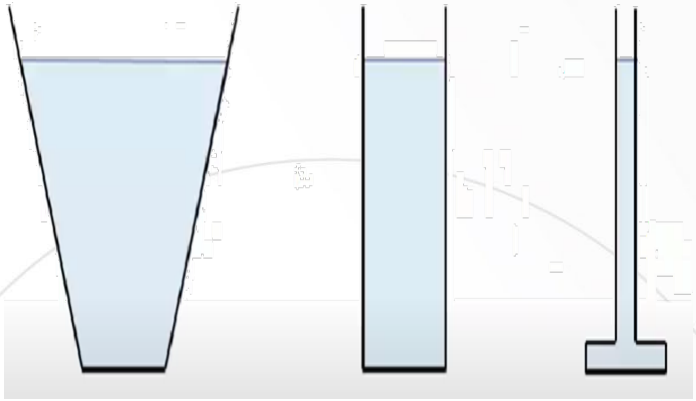
# Hydrostatic & Soil Pressure

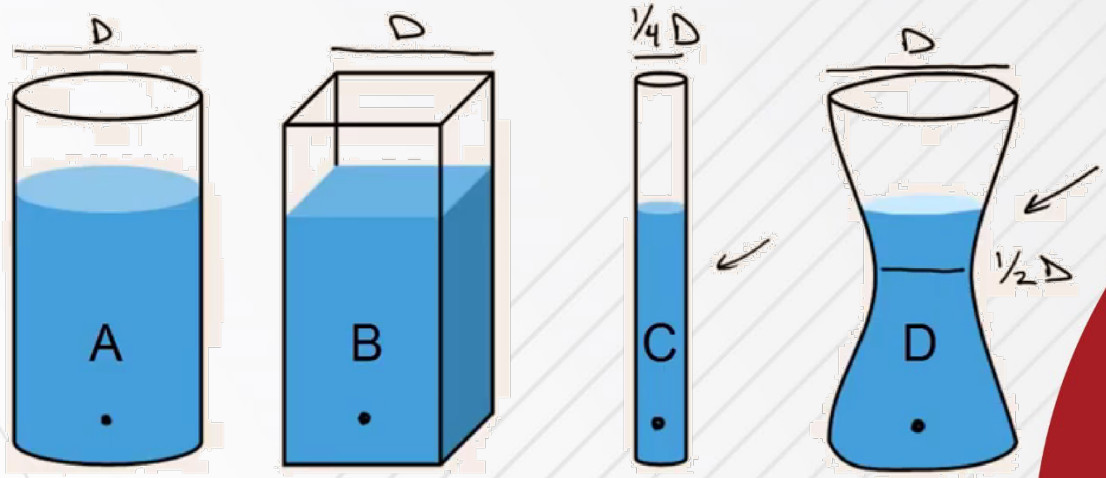



Hydrostatic Pressure





We are Engineers

# Earthquake Loads

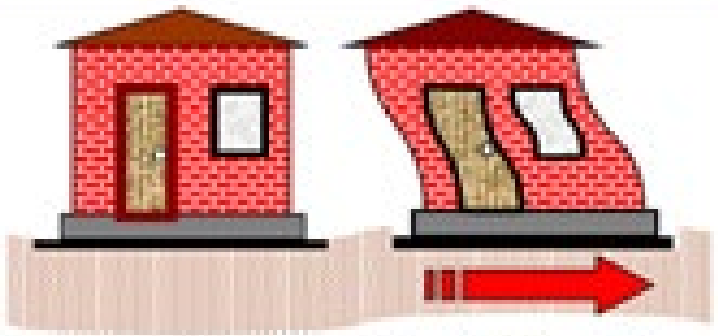


Figure 1: Effect of Inertia in a building when shaken at its base

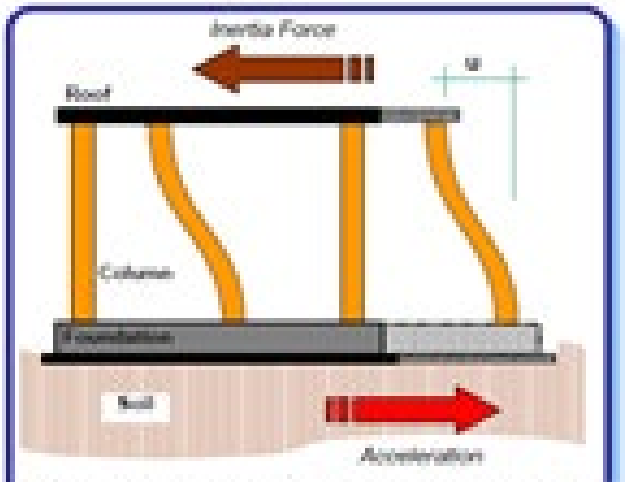



Figure 2: Inertia force and relative motion within a building

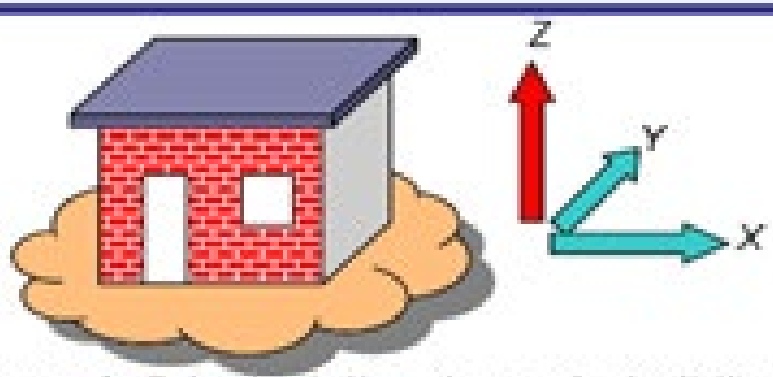



Figure 3: Principal directions of a building

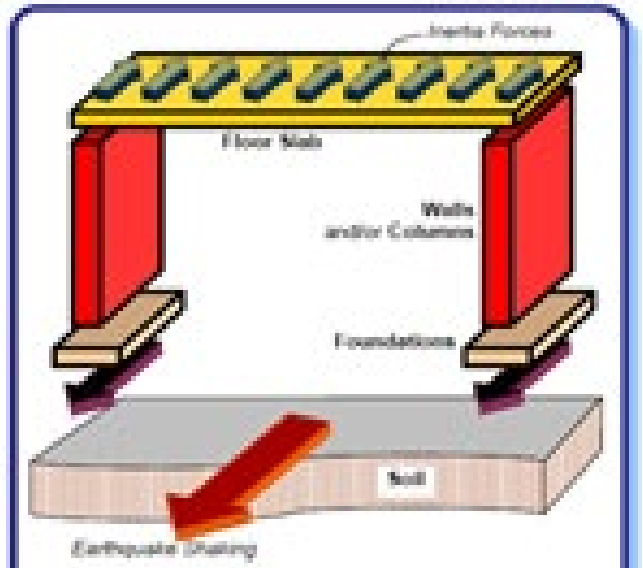



Figure 4: Flow of seismic inertia forces through all structural components.

We are Engineers

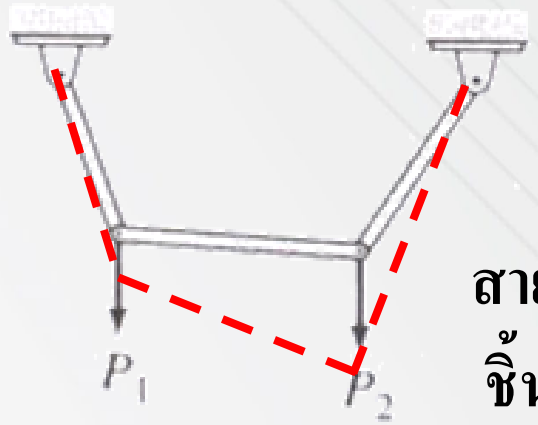
# Forces in Structural Members

1. TENSION MEMBERS
2. COMPRESSION MEMBERS
3. BENDING MEMBERS
4. TORSIONAL MEMBERS
5. COMBINED BENDING &/TORSIONAL MEMBERS
6. COMBINED COMPRESSION/BENDING MEMBERS

- *Bending Moment*
  - *Tension*
  - *Compression*
- *Shear*

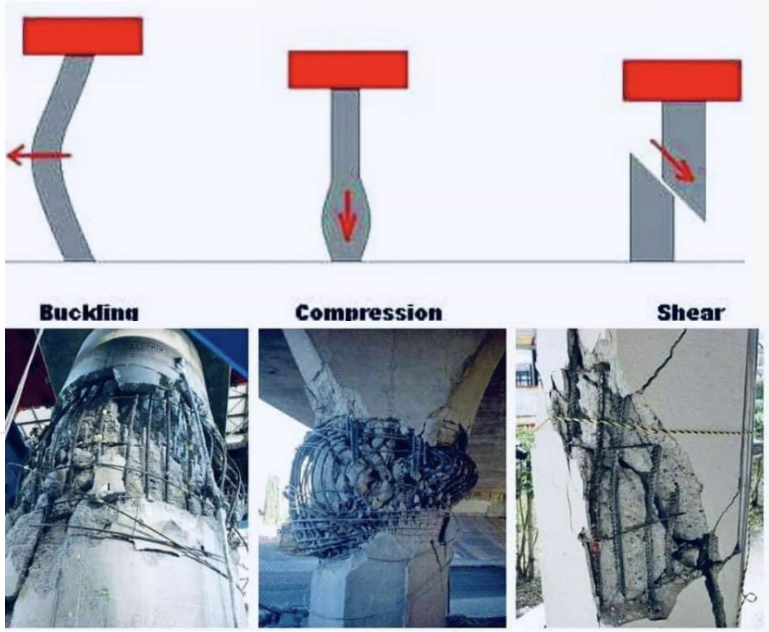
We are Engineers

# โครงสร้างรับแรงดึง(TENSION MEMBERS)

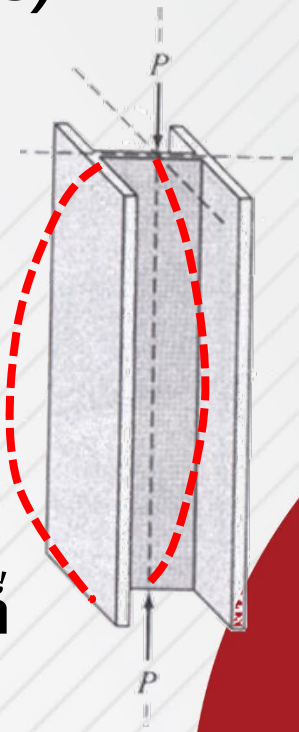



สายเคเบิ้ล
ชิ้นส่วนในโครงทรัสต์

# โครงสร้างรับแรงอัด(COMPRESSION MEMBERS)




เสาอาคาร เสาเข็ม
ชิ้นส่วนในโครงทรัสต์



We are Engineers

# โครงสร้างรับแรงดึง (TENSION MEMBERS)

## Cable

สะพานแขวน Golden Gate

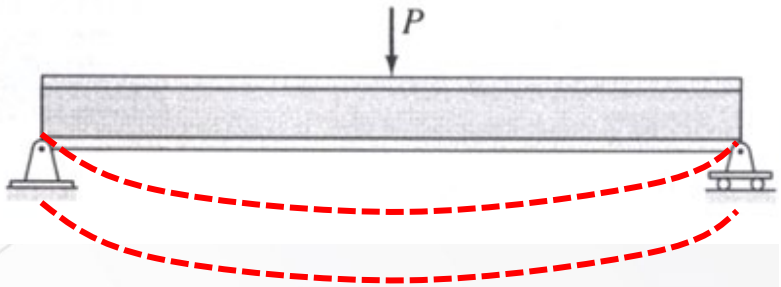
# โครงสร้างรับแรงอัด(COMPRESSION MEMBERS)

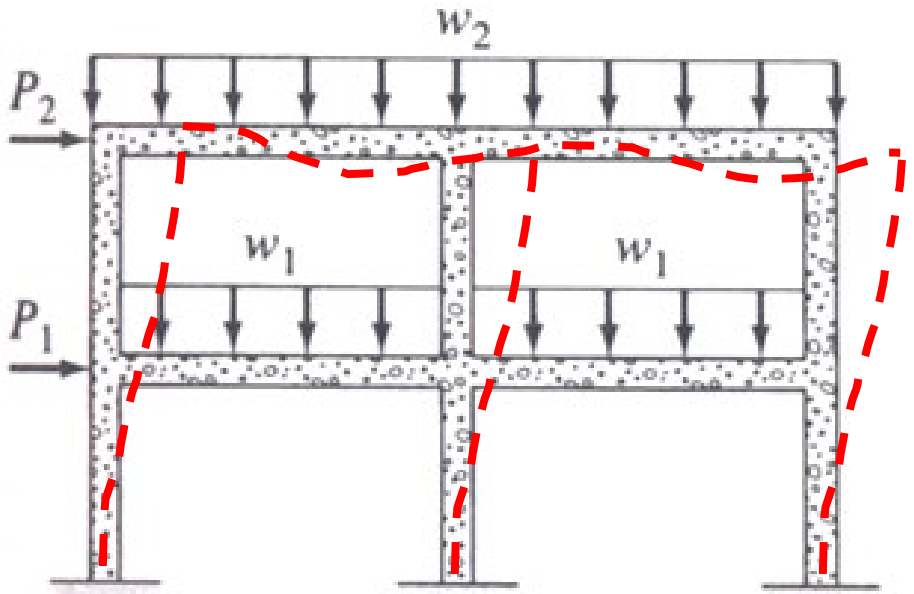
## Bracing Strut

We are Engineers

# ชนิดของโครงสร้าง

## โครงสร้างรับแรงดัด (BENDING MEMBERS)

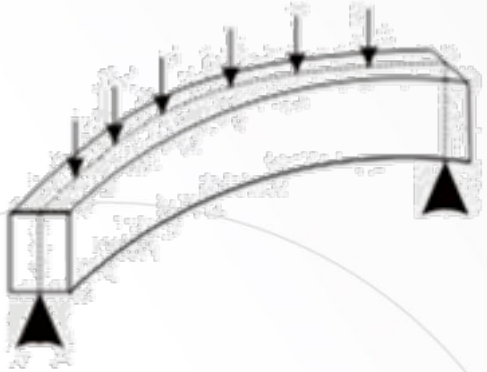


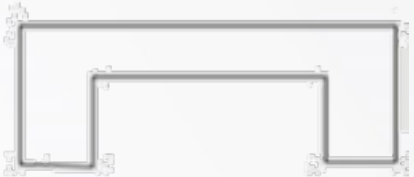

คาน พื้น อะเส แป จันทัน

โครงสร้างรูปแบบโครงข้อ(Frame)

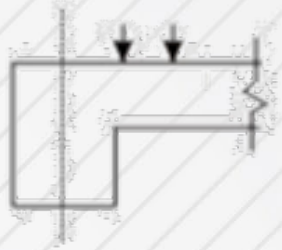
## โครงสร้างรับแรงบิด (TORSIONAL MEMBERS)



(c) Beam curved in plan



(d) Edge beam in slab



(b) Inverted L-beam

We are Engineers

## โครงสร้างรับแรงดัด (BENDING MEMBERS)

## โครงสร้างระบบเฟรม(Frame System)

## โครงสร้างรับแรงบิด(TORSIONAL MEMBERS)

# Design Philosophy
## Concerning in

- ❑ Safety
- ❑ Durability
- ❑ Functioning
- ❑ Cost Effective
- ❑ Environmental Friendly
- ❑ etc.

We are Engineers

# Basic Engineering Knowledge

- Statics & Dynamics
- Strength of Materials
- Methods of Analysis
- Design Methods
- Detailing
- etc.

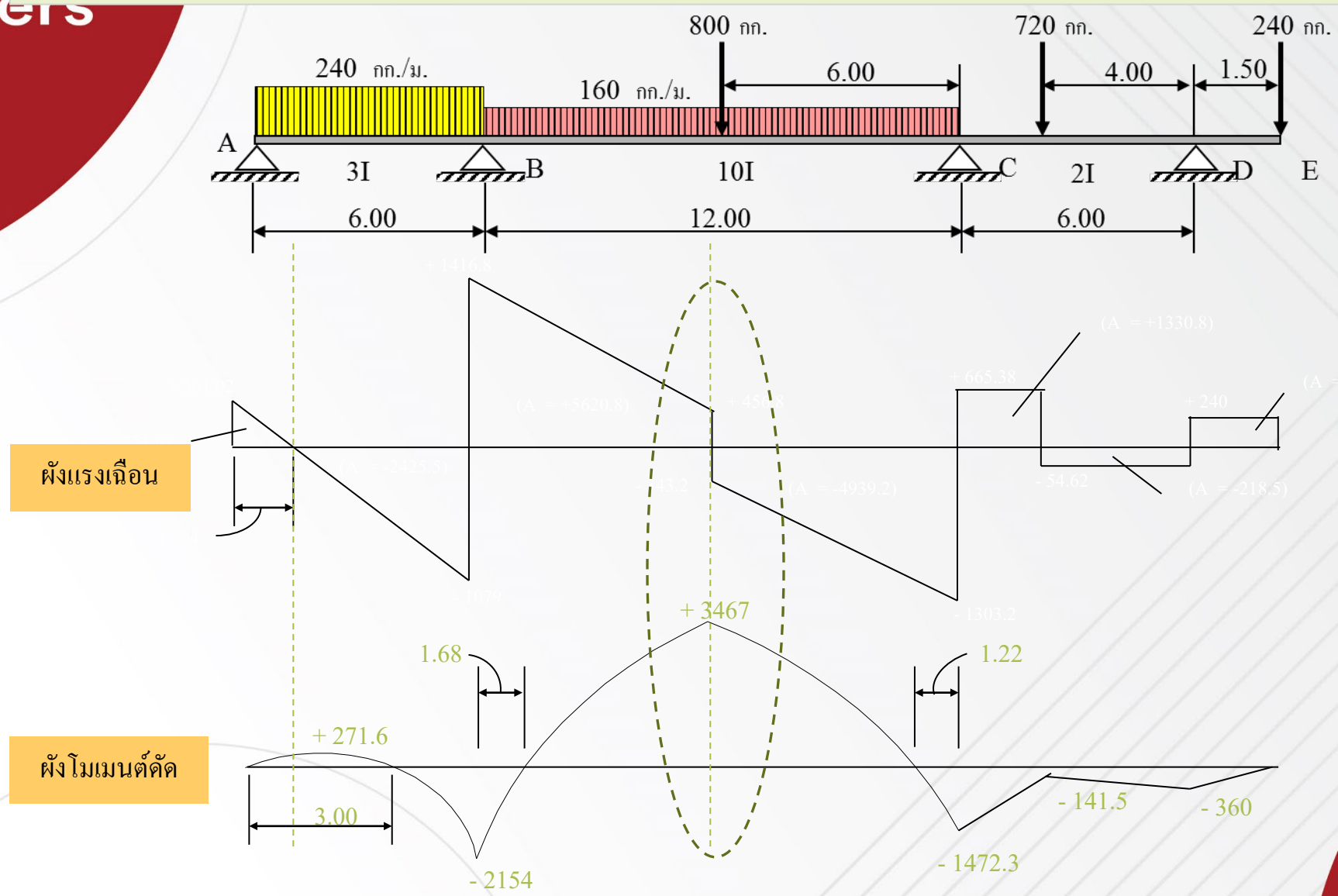
We are Engineers

# Basic for Structural Analysis

- **Forces or Loading System**
- **Force in Structural Members**
- **Behavior of members under loading**
- **Structural Modelling**
- **Structural Analysis**

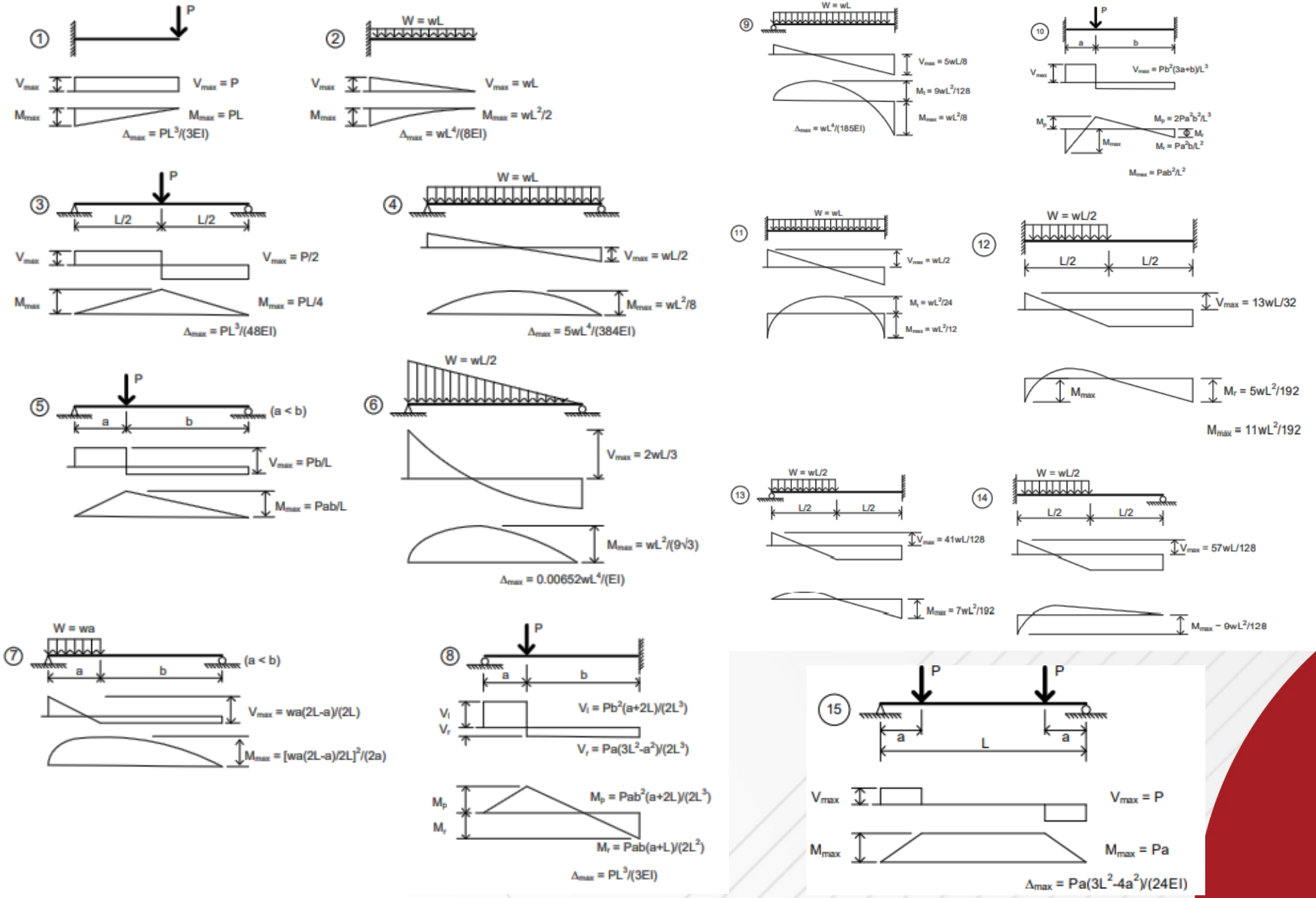
We are Engineers

# Shear Force & Bending moment Diagrams



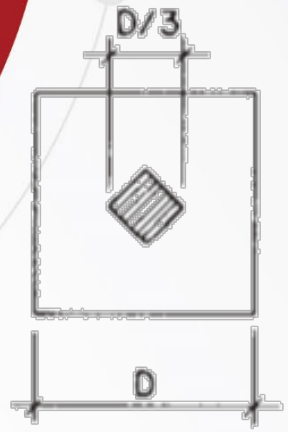
We are
Engin

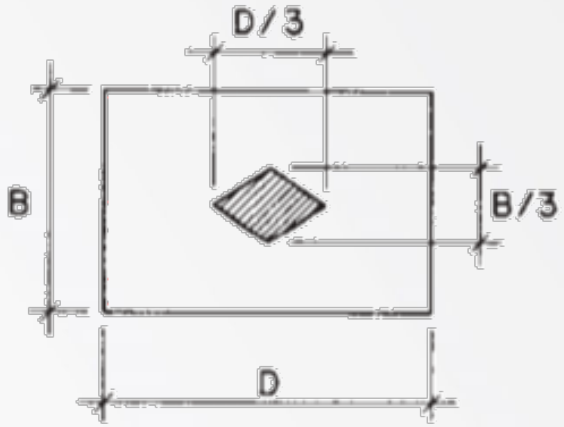
# Shear Force & Bending Moment Diagrams

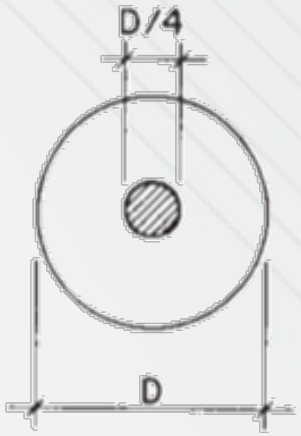


We are Engineers

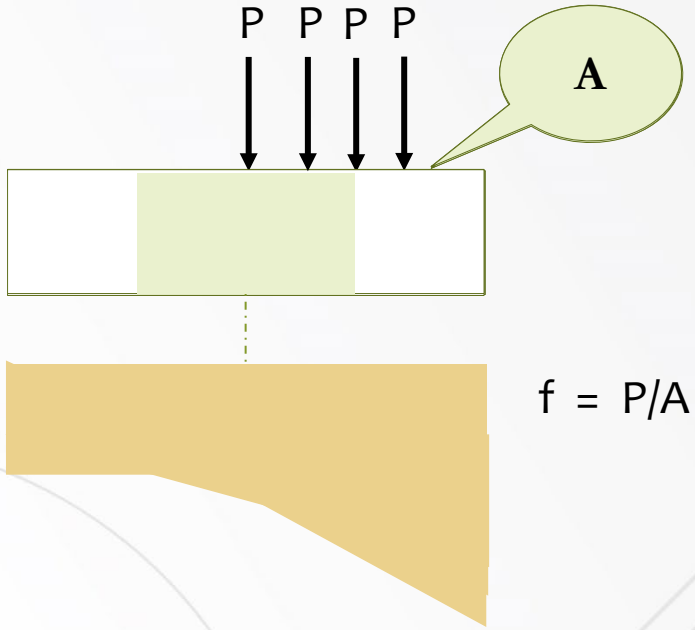
# คุณสมบัติของหน้าตัด




## Kern's Area




f = P/A -Pe/I

f = P/A + Pe/I

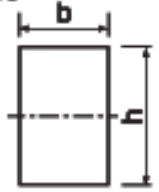
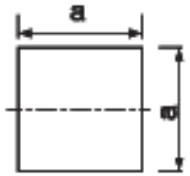
AE = Rigidity Modulus

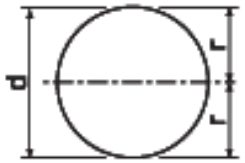
EI = Bending Modulus

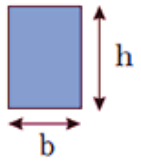
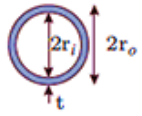
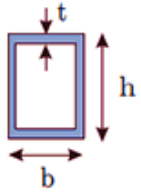
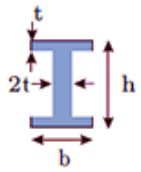
GJ = Torsion Modulus

We are Engineers

# คุณสมบัติของหน้าตัด

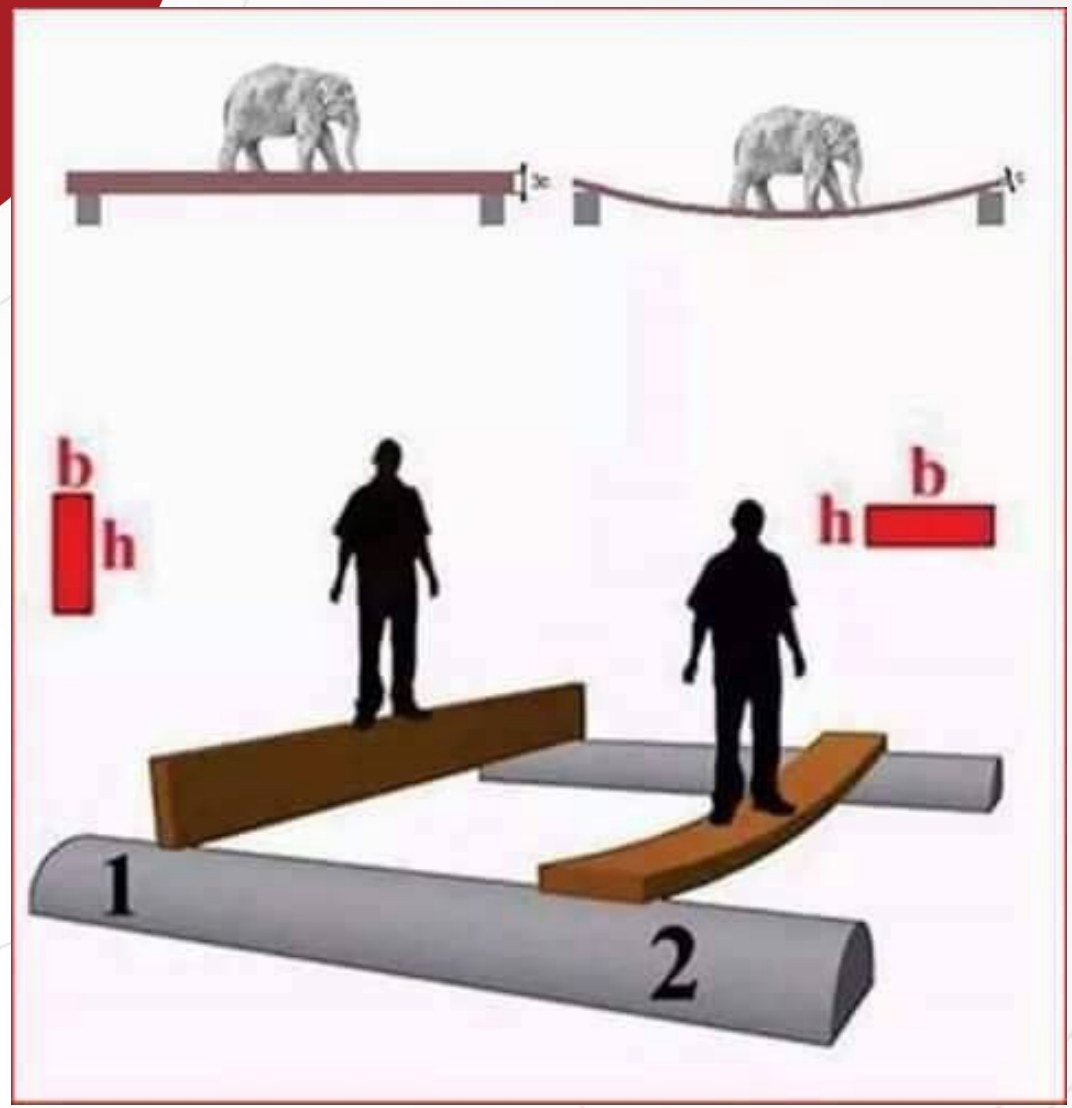
| Cross-section shape | Moment of inertia of area | Modulus of section Z |
|---|---|---|
| Rectangle   | $I=\frac{bh^3}{12}$ | $Z=\frac{bh^2}{6}$ |
| Square   | $I=\frac{a^4}{12}$ | $Z=\frac{a^3}{6}$ |

| Cross-section shape | Moment of inertia of area | Modulus of section Z |
|---|---|---|
| Circle   | $I=\frac{\pi d^4}{64}=\frac{\pi r^4}{4}$ | $Z=\frac{\pi d^3}{32}=\frac{\pi r^3}{4}$ |
| Hollow circle | $t=\frac{\pi(d^4-d_i^4)}{64}$ Thin wall $I \fallingdotseq \frac{\pi}{8} t \cdot d_m^3$ | $Z=\frac{\pi(d^4-d_i^4)}{32d}$ Thin wall $Z \fallingdotseq \frac{\pi}{4} t \cdot d_m^2$ |

| Section shape | Area A, $m^2$ | Moment I, $m^4$ (for bending) | Moment K, $m^4$ (for torsion) |
|---|---|---|---|
|   | $bh$ | $\frac{bh^3}{12}$ | $\frac{bh^3}{3}(1-0.58\frac{b}{h}), \quad (h>b)$ |
| | $\pi r^2$ | $\frac{\pi}{4}r^4$ | $\frac{\pi}{2}r^4$ |
|   | $\pi(r_o^2-r_i^2)\approx 2\pi rt$ | $\frac{\pi}{4}(r_o^4-r_i^4)\approx \pi r^3 t$ | $\frac{\pi}{2}(r_o^4-r_i^4)\approx 2\pi r^3 t$ |
|   | $2t(h+b), \quad (h,b>>t)$ | $\frac{1}{6}h^3 t(1+3\frac{b}{h})$ | $\frac{2tb^2h^2}{(h+b)}(1-\frac{t}{h})^4$ |
|   | $2t(h+b), \quad (h,b>>t)$ | $\frac{1}{6}h^3 t(1+3\frac{b}{h})$ | $\frac{2}{3}bt^3(1+4\frac{h}{b})$ |

We are Engineers

# การต้านการดัดของคาน




EI = Bending Modulus

$I_{N.A.} = bh^3/12$

M = Bending Moment

M/EI diagram

GJ = Torsional Modulus

J = Polar Moment of Inertia

We are Engineers

# วิศวกรรมเฉพาะด้าน

# Specific Engineering

## Reinforced Concrete Structure

We are Engineers

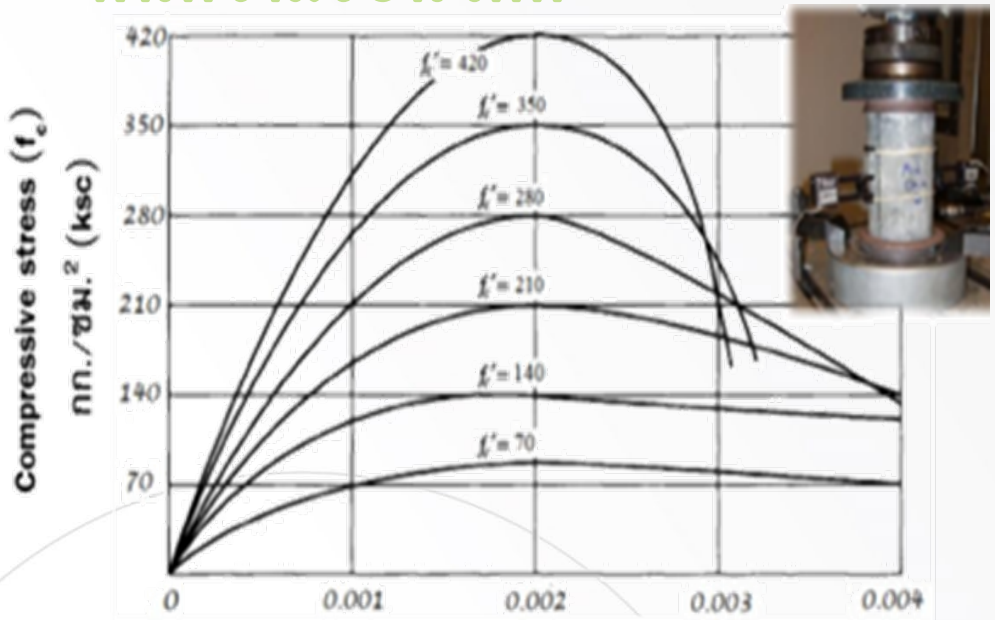
# ข้อดี-ข้อเสีย ของคอนกรีตเสริมเหล็ก

| ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|
| 1. มีความผสมผสานกันระหว่างด้านการรับแรงอัดจากคอนกรีตและด้านความเหนียวของเหล็ก | 1. คอนกรีตเป็นวัสดุเปราะ ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ต้องได้รับ การออกแบบเป็นอย่างดี |
| 2. RC สามารถต้านทานไฟและน้ำได้ดี | 2. ต้องใช้แบบหล่อในการสร้างรูปทรง |
| 3. RC มีความแข็งแกร่งสูง | 3. มีค่ากำลังรับน้ำหนักค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับน้ำหนักของชิ้นส่วนมันเอง |
| 4. มีค่าการบำรุงรักษาต่ำ | 4. คุณสมบัติของคอนกรีตมีความไม่แน่นอนสูง |
| 5. สามารถขึ้นรูปเป็นรูปทรงใดๆตามต้องการ | |
| 6. ใช้ฝีมือแรงงานไม่ต้องมีฝีมือมาก | |
| | |

We are
Engineers

# กลสมบัติของคอนกรีต

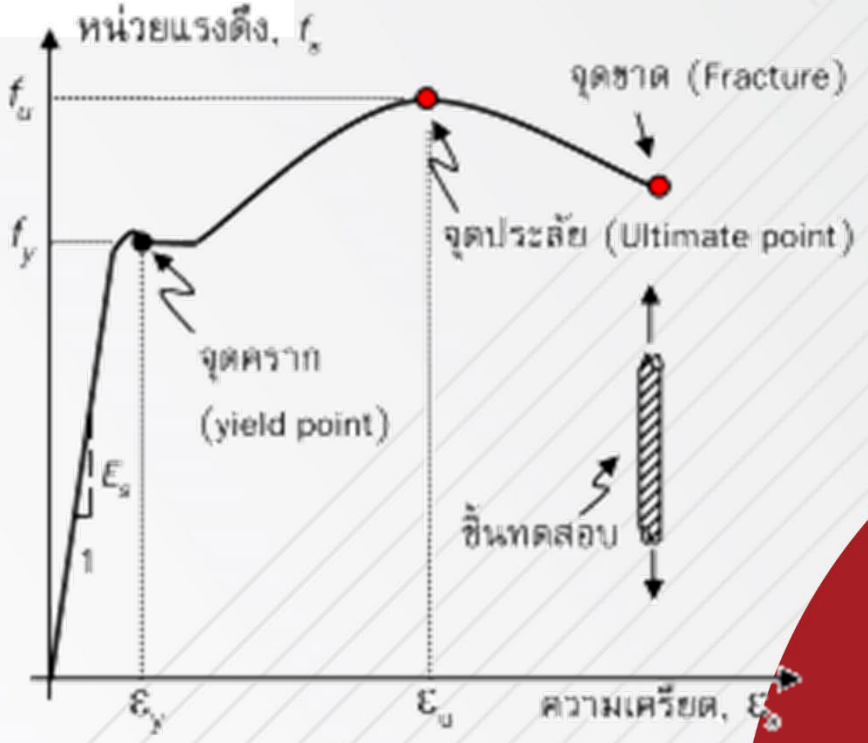
- รับแรงกด/อัดได้สูงถึงสูงมาก
- รับแรงเฉือนได้พอสมควร
- รับแรงดึงได้น้อยมากถึงไม่ได้เล
- การยืดหยุ่นตัวต่ำมาก
- ทนความร้อนได้ดี




Stress–strain curves

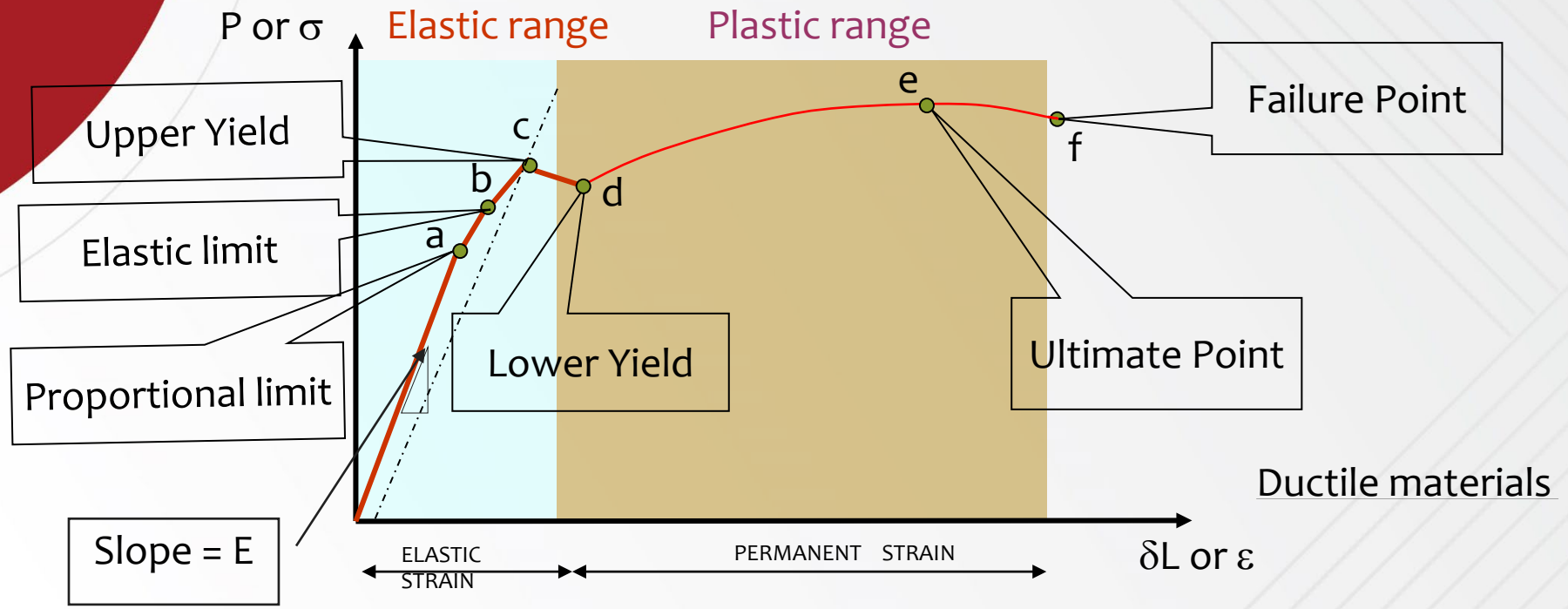
# กลสมบัติของเหล็กเสริม

- รับแรงดึงได้สูงมาก
- รับแรงอัดได้สูงเกือบเท่าแรงดึง
- รับแรงเฉือนได้ดี
- มีการยืดหยุ่นตัวสูง
- ทนไฟต่ำ

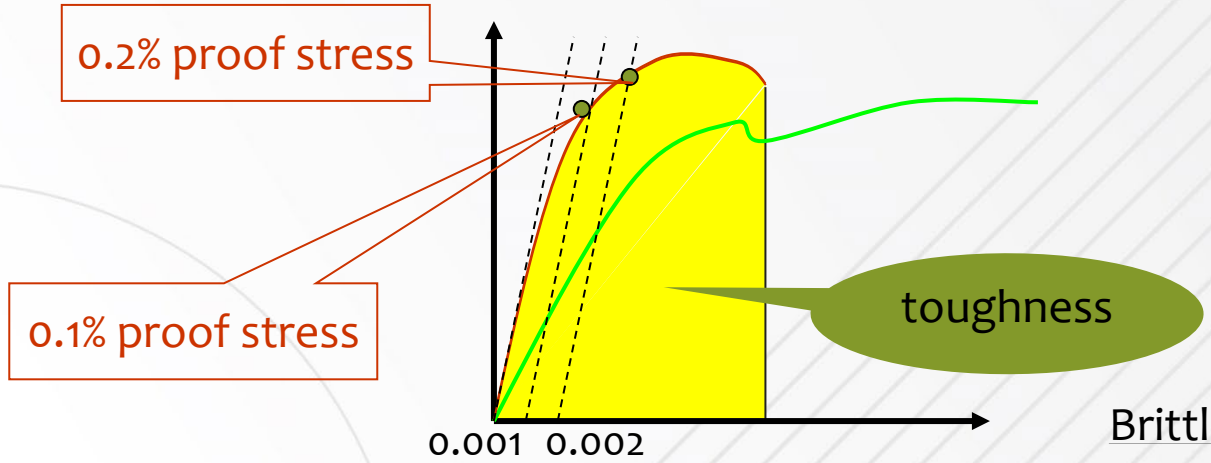


We are Engineers

# กร๊าฟแสดงจุดสำคัญระหว่างความเค้น-ความเครียด




Ductile materials




Brittle Materials

We are Engineers

# Design Method

## วิธีหน่วยแรงใช้งานหรือทฤษฎีอีลาสติก

## (มาตรฐานACI 318-63 หรือ วสท. 1007-34)

**Based on yield stress** (*elastic material*) or other predetermined strain amount (*for an inelastic material*—e.g. for concrete, the stress at a strain of 0.3% (0.003 in/in)).

## วิธีกำลัง(Strength Design)

## (มาตรฐานACI 318-71,318-2014 หรือ วสท. 1008-38 )

**Based on the ultimate strength of material**
(Known as the "Strength Design Method)":
Instead of reducing the allowable stress, use ultimate strength and apply multipliers to loads, since generally know the material capacity more accurately than anticipated loads
(e.g., 1.4xDL + 1.7xLL < F ult (for concrete design).

We are
Engine

# วิธีหน่วยแรงใช้งานหรือทฤษฎีอีลาสติก

**ตารางที่ 2.1-1** ค่าตัวคูณสำหรับการจำกัดค่าหน่วยแรงในวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็ก

| | วสท. | กฎกระทรวง ฯ |
|---|---|---|
| $\alpha_c$ | 0.45 | 0.375 |
| $\alpha_s$ | 0.50 | 0.50 |

# วิธีกำลัง(Strength Design)

**ตารางที่ 2.1-2** ค่าตัวคูณเพิ่มค่าน้ำหนักบรรทุก

| | $\gamma_{DL}$ | $\gamma_{LL}$ |
|---|---|---|
| วสท. | 1.4 | 1.7 |
| กฎกระทรวง ฯ | 1.7 | 2.0 |
| ACI318-14 | 1.2 | 1.6 |

We are Engineers

# Design Criterions

## Allowable Stress – WSD

$$f_{actual} \leq (F.S.)F_{failure}$$

* Actual loads used to determine stress
* Allowable stress reduced by factor of safety

## Strength Design – SD

* Loads increased depending on type load

  $\gamma$ Factors: DL=1.7 LL= 2.0 WL=1.3

  U=1.7DL+2.0LL

* Strength reduced depending on type force

  $\phi$ Factors: flexure=0.9 shear=0.85 column=0.7

Examples:

WSD

0.375

$$f_b \leq 0.45 f_c'$$

$$f_v \leq 0.1\sqrt{f_c'}$$

SD

$$M_u \leq 0.9 M_n$$

$$V_u \leq 0.85 V_n$$

$$P_u \leq 0.70 P_n$$

# Ultimate Strength – (ACI 318 - 2014)

Reduced Nominal Strength ≥ Factored Load Effects

$$\Phi S_n \geq U$$

## γ Factored Loads (see ACSE 7)

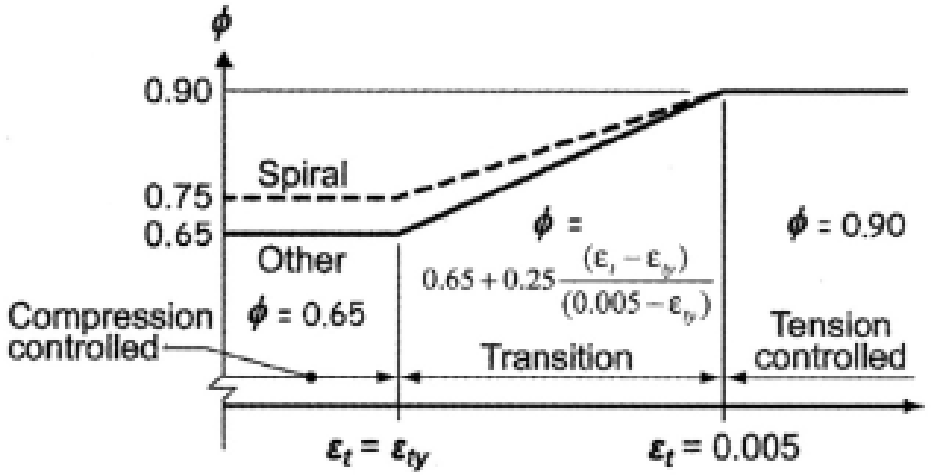
1) 1.4D
2) 1.2D + 1.6L + 0.5(Lr or S or R)
3) 1.2D + 1.6(Lr or S or R) + (1.0L or 0.5W)
4) 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(Lr or S or R)
5) 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S
6) 0.9D + 1.0W
7) 0.9D + 1.0E

D = service dead loads
L = service live load
Lr = service roof live load
S = snow loads
W = wind loads
R = rainwater loads
E = earthquake loads

ACI 318 21.2.2

## Strength Reduction Factors, Φ

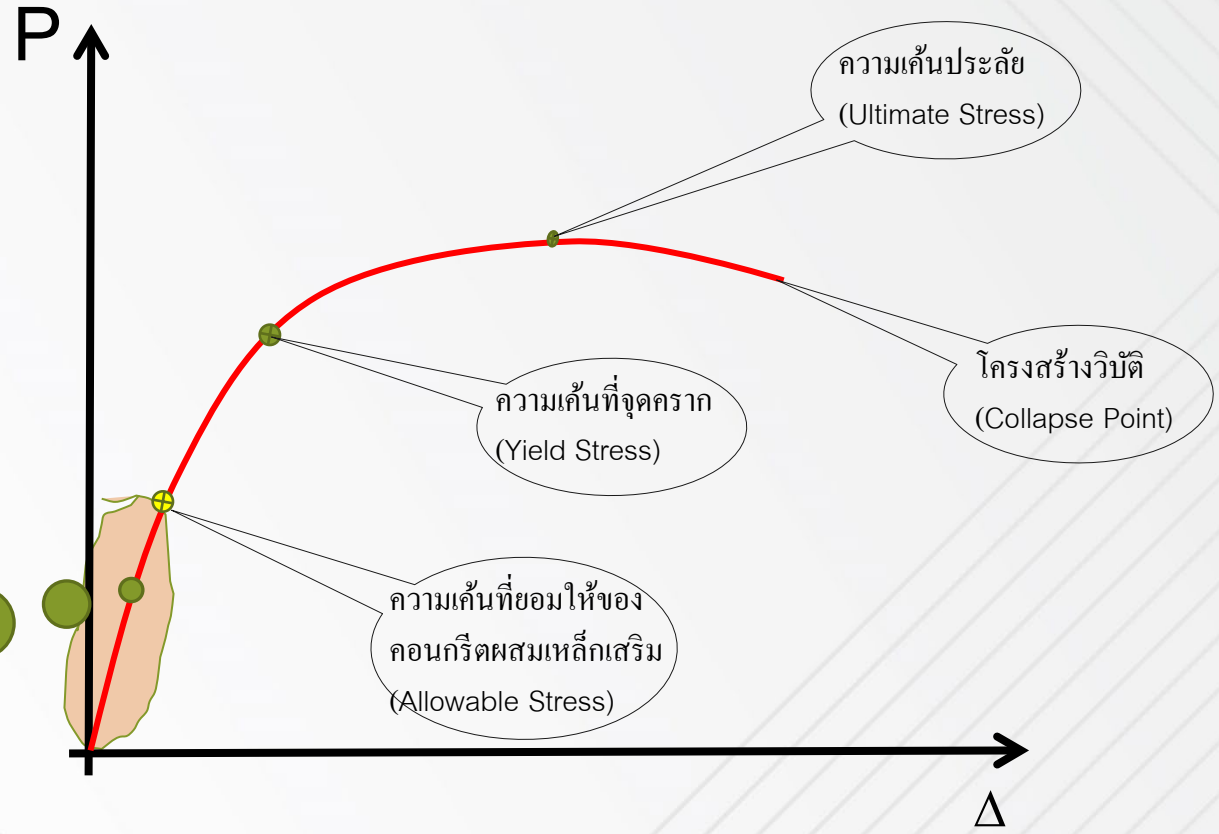
| | | |
|---|---|---|
| Mn | Flexural (beams) | 0.65 to 0.90 |
| Vn | Shear | 0.75 |
| Pn | Compression | 0.65 to 0.90 |
| Bn | Bearing | 0.65 |
| Tn | Torsion | 0.75 |
| Nn | Tension | 0.90 |



We are Engineers

# Working Stress Design

Stress determined
By Actual Loads




ควบคุมโครงสร้าง
ให้เกิดความเค้น
อยู่ในช่วงนี้

$$f_{actual} \leq (F.S.)F_{failure}$$

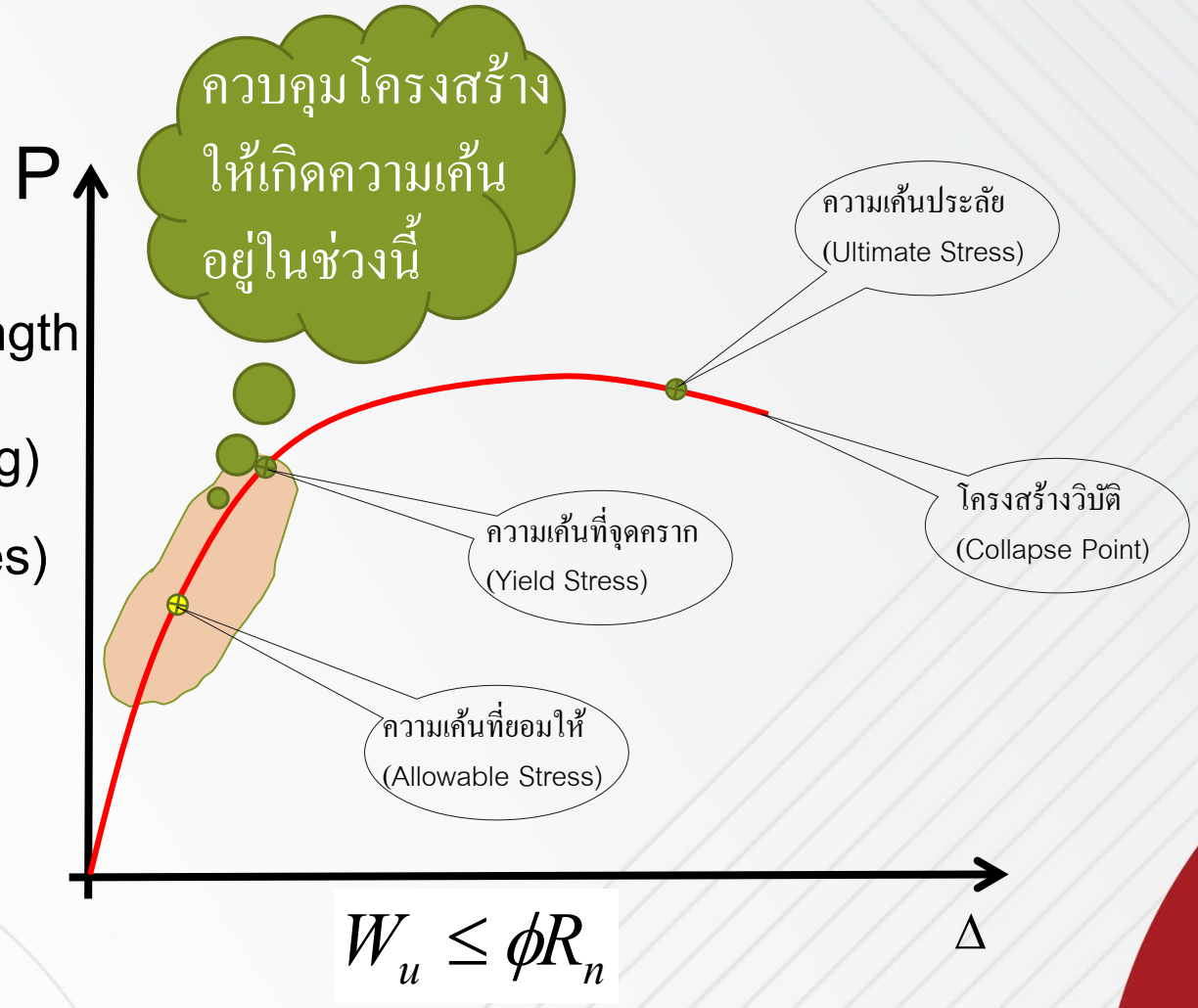
We are Engineers

# Strength Design

Stress determined By
Factors Loads and Strength

$\gamma$ Factors (for loading)

$\phi$ Factors(for stresses)



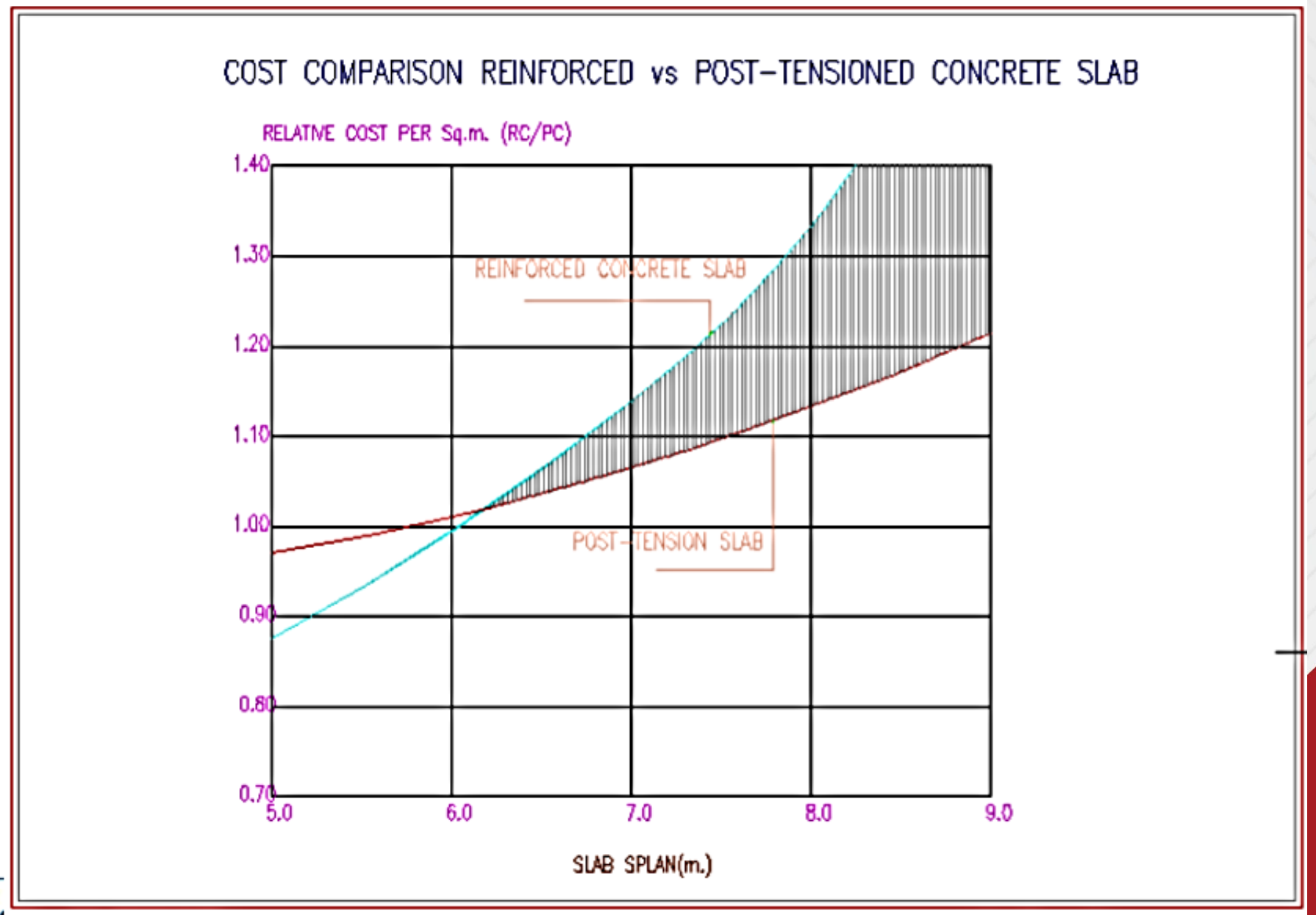

$$W_u \leq \phi R_n$$

We are Engineers

# Pre-stressed Concrete Structure

We are
Engineer

# Cost Comparing Between RC and PT Flat Slab



# Method of Design

We are Engineers

Method of Design

- *The Finite Element Analysis* → SAFE , ADAPT
- *The Simplified Method*
- *The Equivalent Frame Method*

| | Span/depth ratio |
|---|---|
| Cantilever | 7 |
| Simply supported | 20 |
| Continuous | 26 |

(i) use normal span/effective depth ratio if drop width >1/3 span each way; otherwise

(ii) to apply 0.9 modification factor for flat slab, or where drop panel width < L/3
1.0 otherwise

We are
Enginee

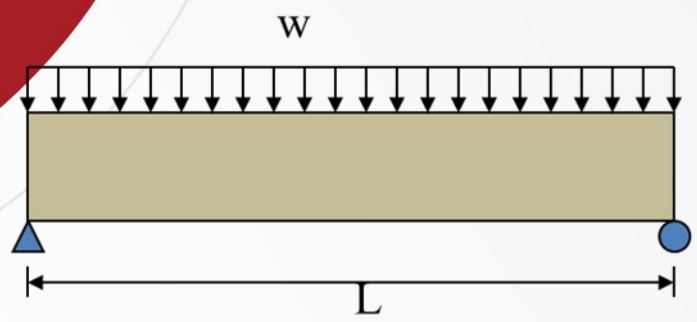
# Why Pre-stressed Concrete?

- Concrete remains un-cracked
- Reduction of steel corrosion
- Increases durability
- Good for pressure vessels
- High span to depth ratio (ex: 45:1 vs. 28:1)
- less dead load
- More economical

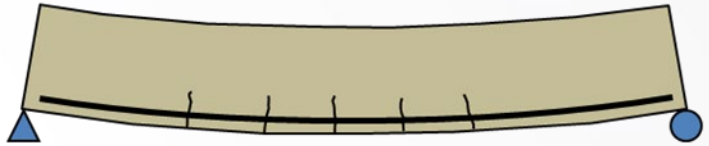
We are Engineers

# FUNDAMENTALS OF PRESTRESSED CONCRETE

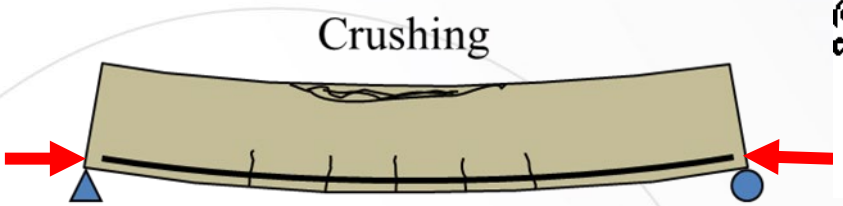
**Beam under Loading**



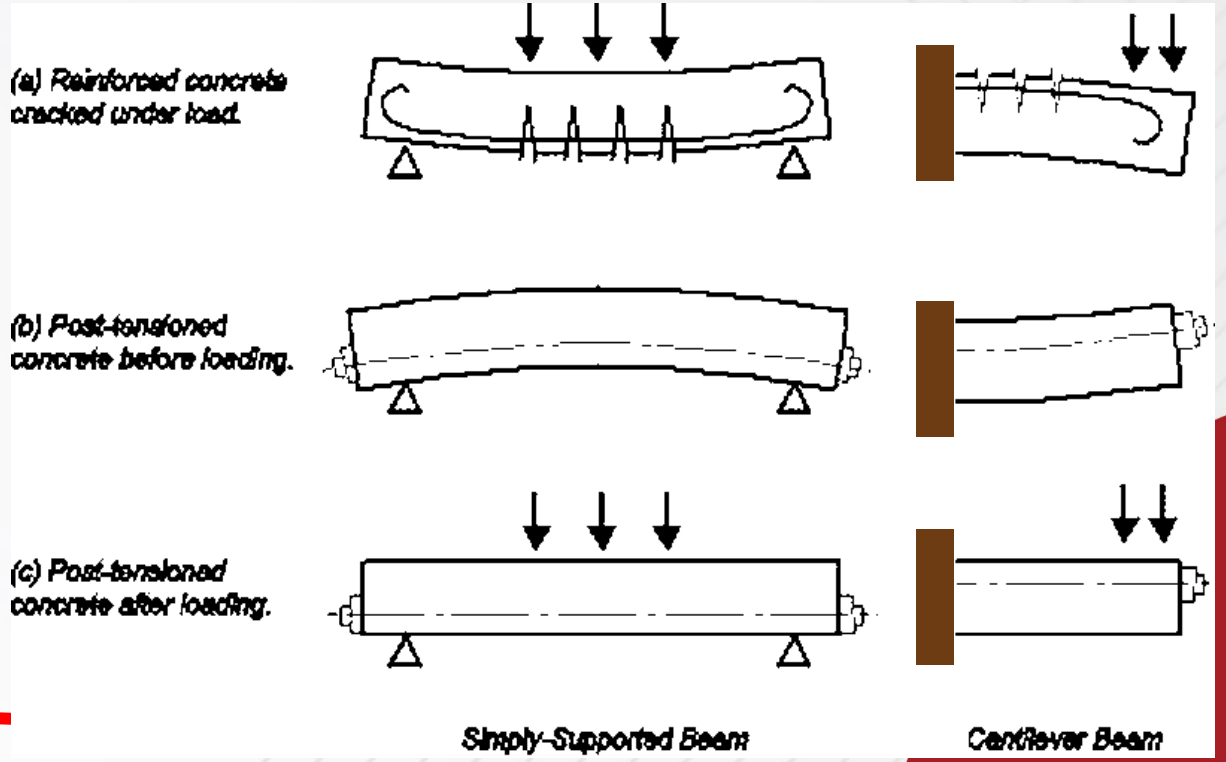

**Working Stress Condition**



**Ultimate Strength Condition**



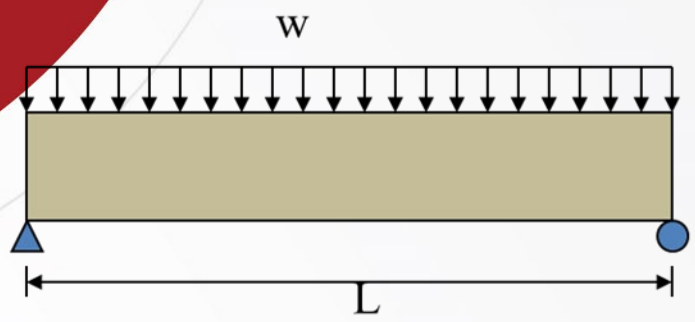

Suppose RC Beam has too much cracking
And too much deflection.
If we want to fix it



We are Engineers

# FUNDAMENTALS OF PRESTRESSED CONCRETE

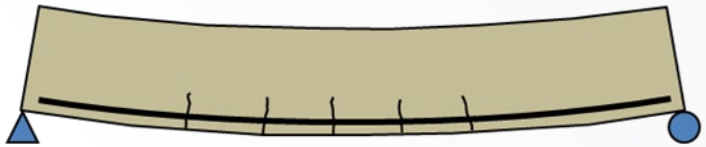
**Beam under Loading**




Suppose RC Beam has too much cracking
And too much deflection.
If we want to fix it

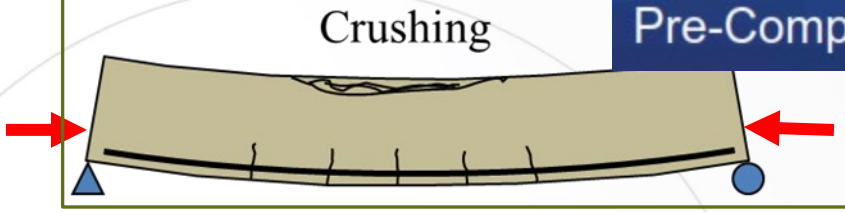
**Working Stress Condition**

Tension (bending) + Compression ("squeezing") =



Net Zero Stress

**Ultimate Strength Condition**




Pre-Compression ("prestressing") + Tension (bending) =

Net Zero Stress

# METHOD OF PRESTRESSING

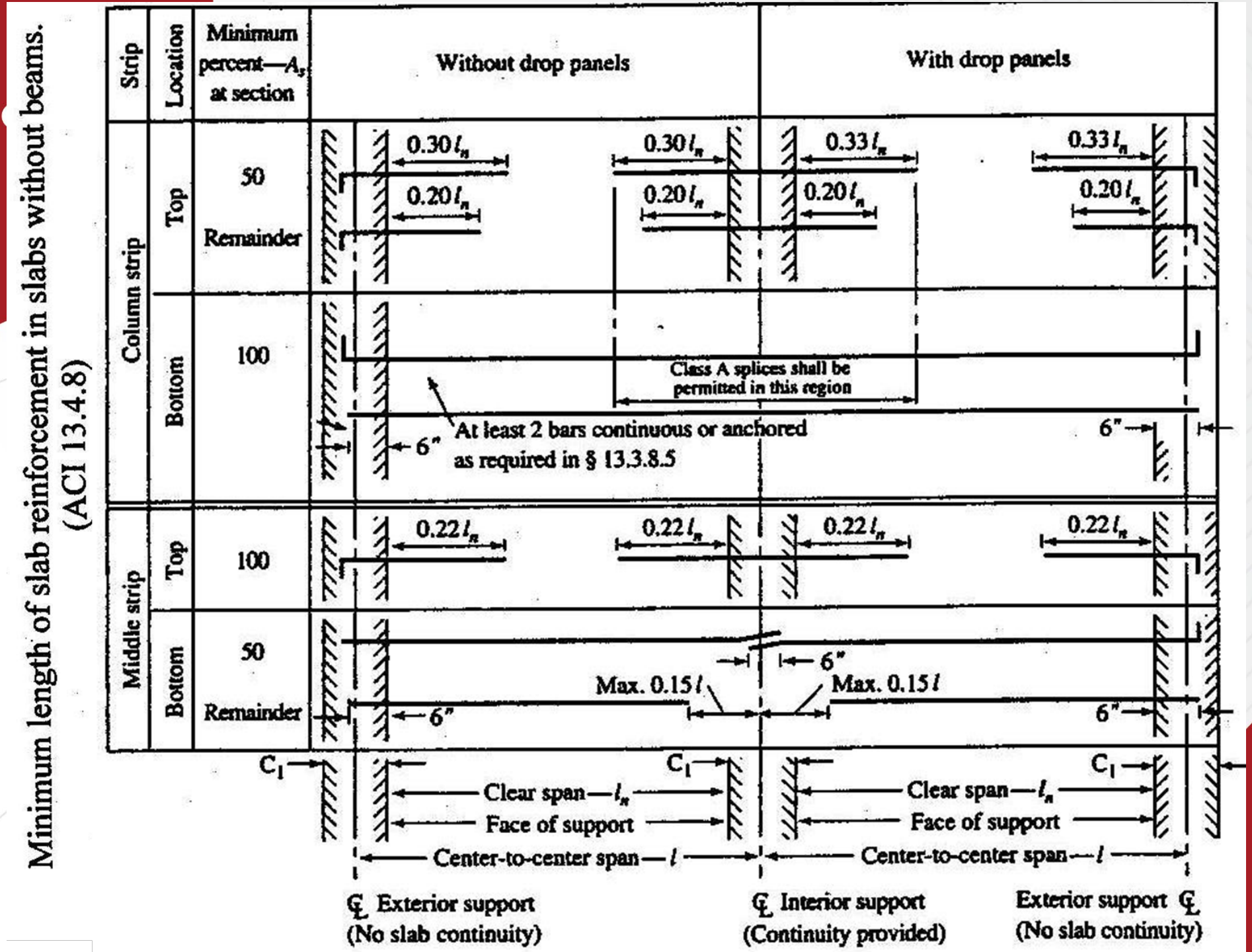
- Prestressing: Concrete pre-compressed before loading in bending (flexural tension)

1. Pre-Tensioning: Steel tensioned before concrete is placed
2. Post-Tensioning: Steel tensioned after concrete is hardened

Reinforcing is PASSIVE ACTION: Steel crosses cracks, but does not prevent them

Prestressing is ACTIVE ACTION : Can prevent cracks from forming

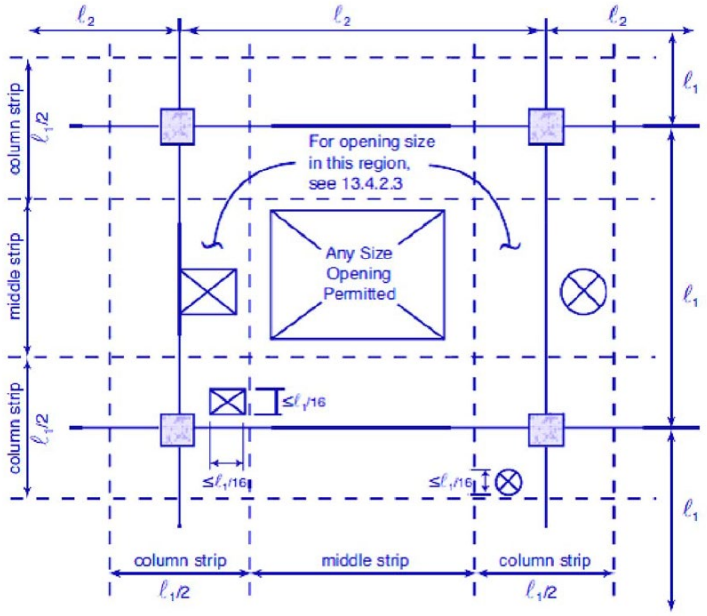
We are
Engin


Minimum length of slab reinforcement in slabs without beams. (ACI 13.4.8)
Strip
Location
Minimum percent—$A_s$ at section
Without drop panels
With drop panels
Column strip
Top
50
Remainder
$0.30\,l_n$
$0.20\,l_n$
$0.33\,l_n$
$0.20\,l_n$
Bottom
100
Class A splices shall be permitted in this region
At least 2 bars continuous or anchored as required in § 13.3.8.5
6"
Middle strip
Top
100
$0.22\,l_n$
Bottom
50
Remainder
Max. 0.15$l$
$C_1$
Clear span—$l_n$
Face of support
Center-to-center span—$l$
℄ Exterior support (No slab continuity)
℄ Interior support (Continuity provided)
Exterior support ℄ (No slab continuity)

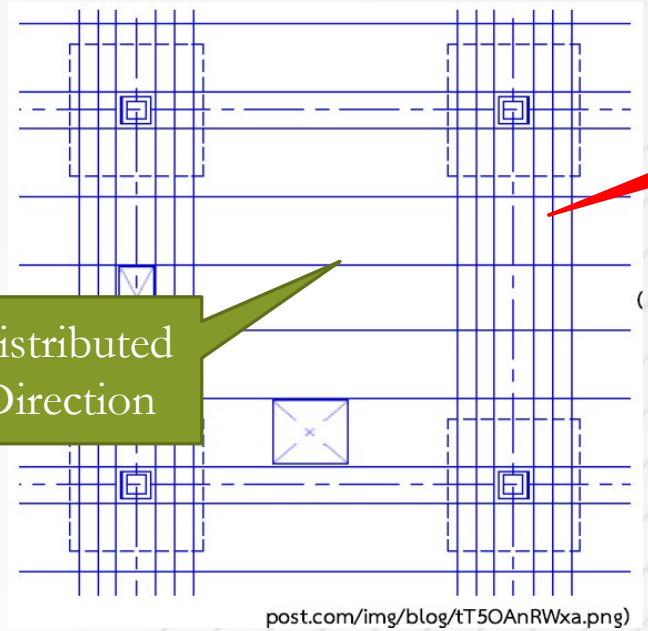
We are Engineers

# Opening in Post-Tensioned Slab

(https://snp-precast.snp-post.com/img/blog/0A8BuZGtpQ.jpg)

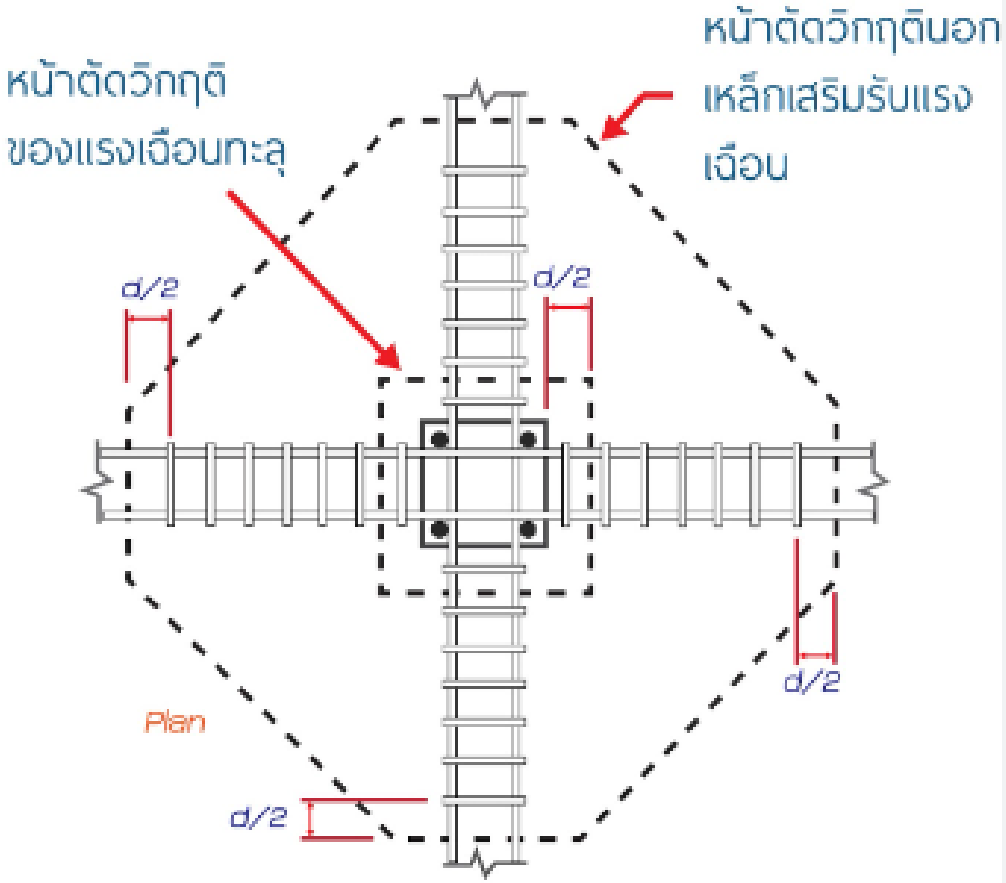


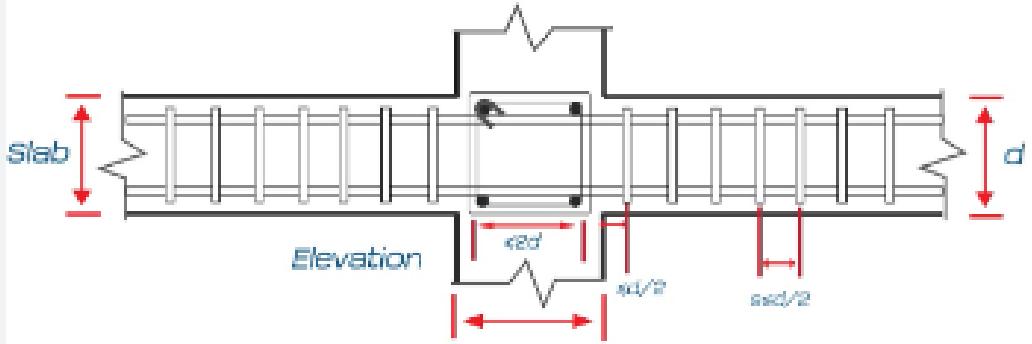

(https://snp-precast.snp-post.com/img/blog/RxeqcgxJTT.png)



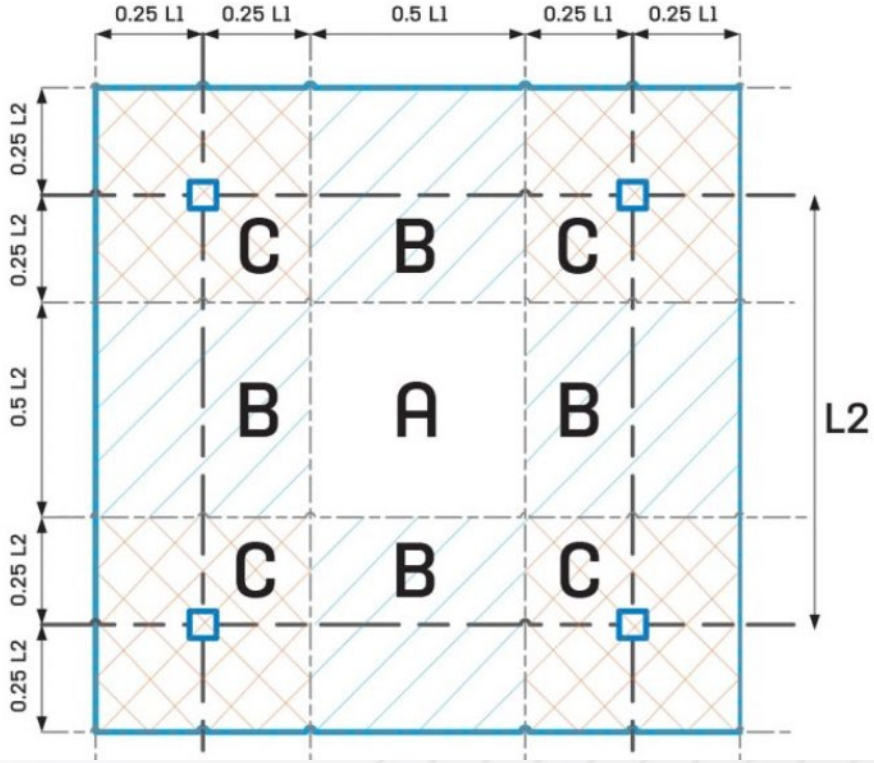

post.com/img/blog/tT5OAnRWxa.png)

We are
Engi




## ผลกระทบของตำแหน่งช่องเปิ




*พื้นที่ A:* มีผลกระทบต่อพื้น Post-tension น้อย หรือไม่มีเลย

*พื้นที่ B:* มีผลกระทบต่อพื้น Post-tension ปานกลาง

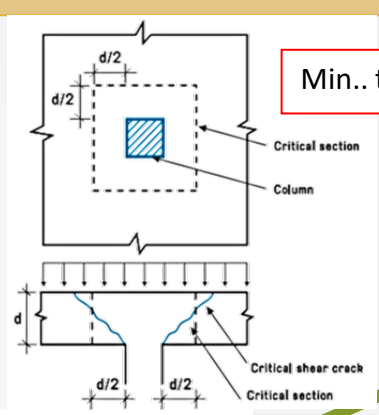
*พื้นที่ C:* มีผลกระทบต่อพื้น Post-tension อย่างมาก ควรหลีกเลี่ยง

We are Engineers

# จุดอ่อนของพื้นไร้คานระบบอัดแรงภายหลัง

Punching Shear

- Slab Thickness
- Bonding Area




Min.. t = L/40 ≥ 18 cm.

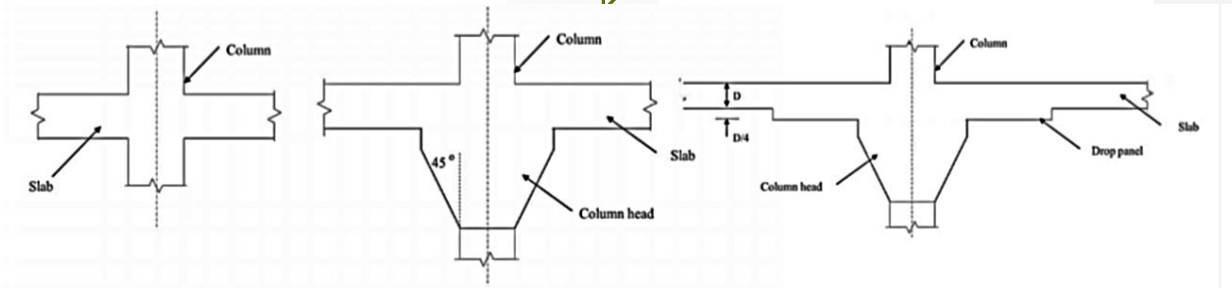
Slab Thickness ⇨ *Long Term Deflection*

*Spanning Cracking*

*Punching Shear*

Bonding Area

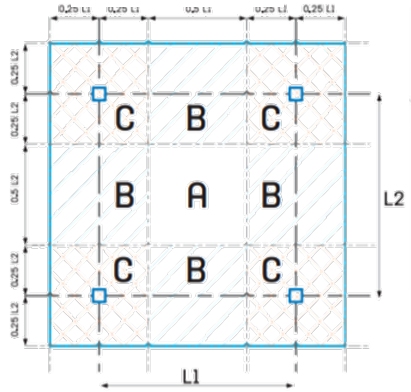
*Edge/Corner*

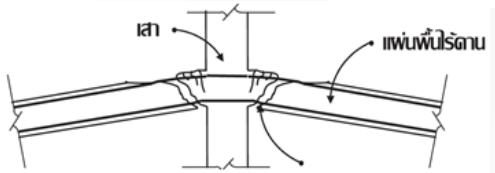



Slab without drop (flat plate) — Span 6-9 m.

Slab without drop And with column head — Span 9-12 m.

Slab with drop And with column head — Span > 12 m.

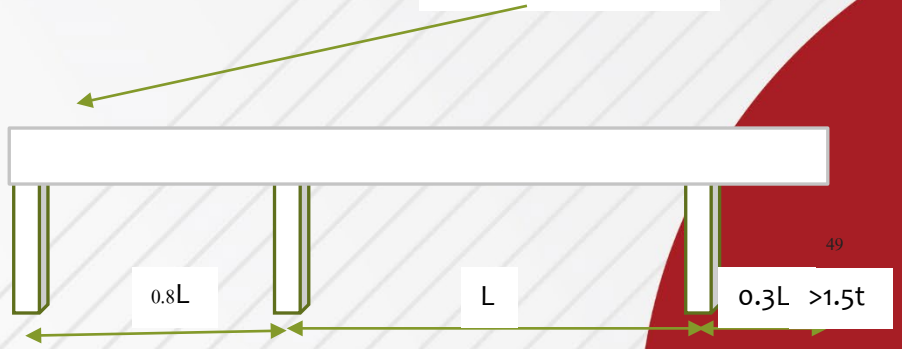


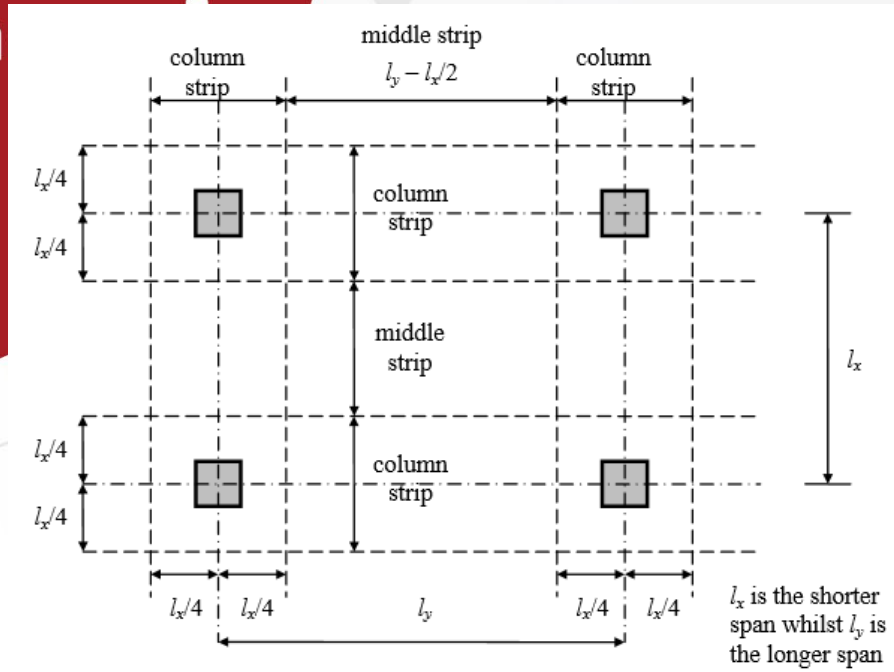

$$A_{...} = \frac{0.5 w_u L_1 L_2}{}$$

3.Unprogressive Reinf.

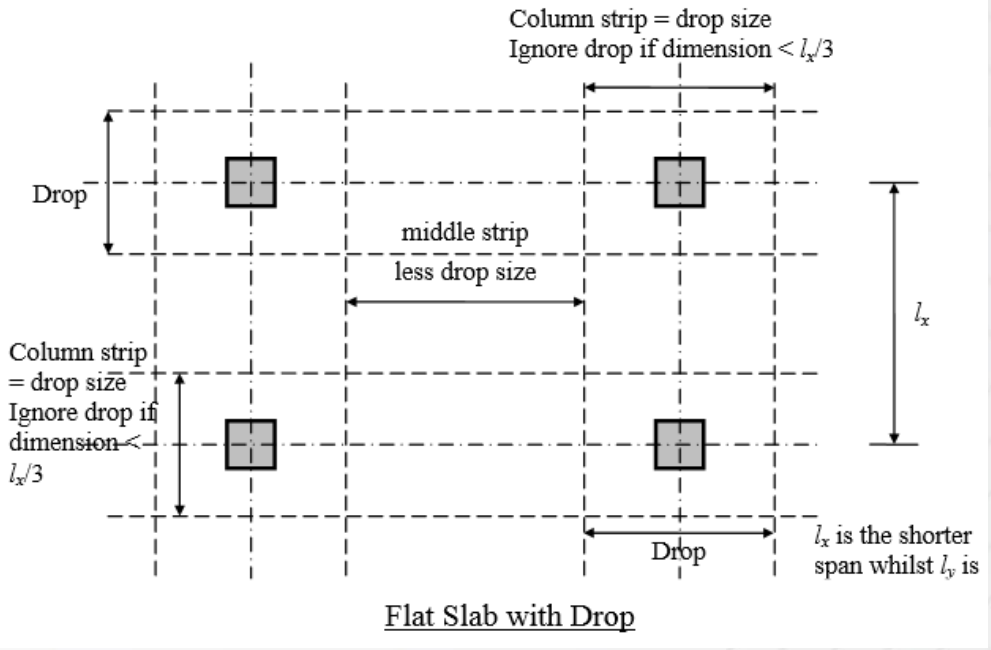
id Wu = uniform load > 2xservice dead load



# Element of Flat Slab(simplified)

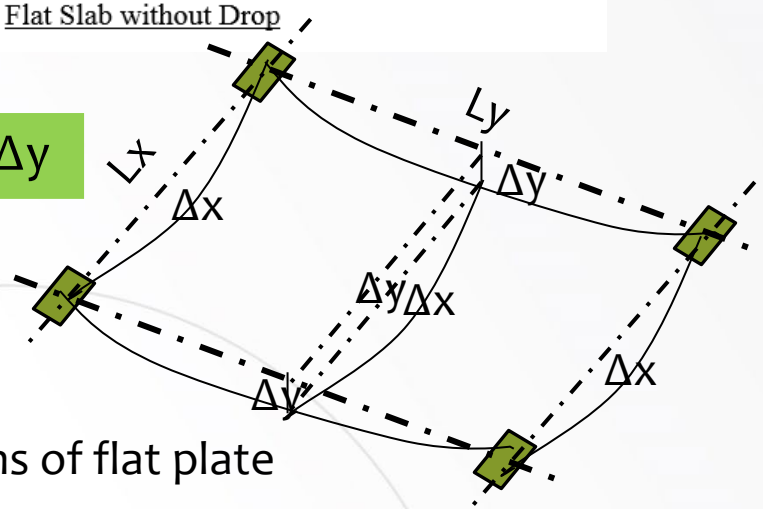



Flat Slab without Drop




Flat Slab with Drop

$$\Delta = \Delta x + \Delta y$$




Deflections of flat plate

For Fixed ends $\Delta = \frac{1}{384}\frac{wl^4}{EI}$

For Continuous Span $\Delta = \frac{2.65}{384}\frac{wl^4}{EI}$

For Single Span $\Delta = \frac{3.80}{384}\frac{wl^4}{EI}$

We are
Engineers

We are
Engin

# ขอบคุณ และขอให้โชคดีทุกคน