

Design for Stability Bracing of Beams and Columns

We ❤️ Steel Construction

6th Mini Course

August 21, 2024



MINI COURSE

DESIGN OF BRACING
SYSTEMS FOR THE STABILITY
OF COLUMNS AND BEAMS

21 AUGUST 2024

10:00 - 12:00 u

FREE

- Stability bracing fundamental
- Column stability bracing
- Beam stability bracing
- Stability bracing design example

SCAN
ME



Online Streaming with zoom webinar

ลงทะเบียนผ่านไลน์ได้เลย
(Line ID: @060tlizi)

+ 2 CPD



Fundamental of Structural Steel Stability

Strength

Ability to resist forces

รับแรงได้เท่าไรถึงไม่พัง

At yield, $P_y = f_y \cdot A$

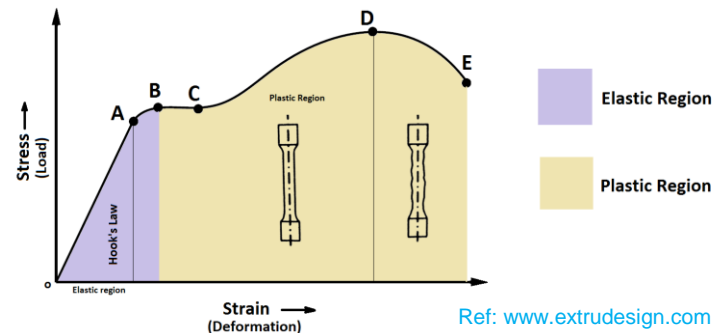
$Strength \propto [material (f_y), section(A)]$

At 1st yield, $M_y = f_y \cdot S_x$

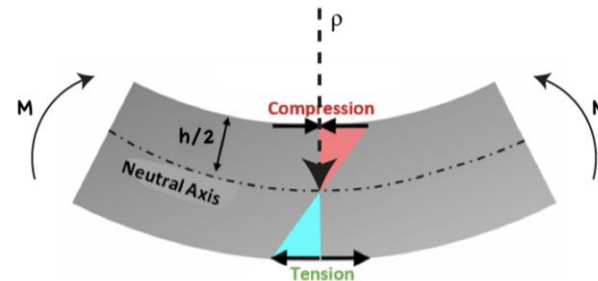
$Strength \propto [material (f_y), section(S_x)]$

$$\text{Tensile (Normal) Stress } (\sigma) = \frac{\text{Tensile Force (P)}}{\text{Area (A)}}$$

$$\text{Stress } (\sigma) = \text{Strain } (\epsilon) * \text{Elastic Modulus (E)}$$



$$\text{Normal Stress } (\sigma) = \frac{\text{Moment (M)}}{\text{Section Modulus } (S_x)}$$



Stiffness

Ability to resist deformation

รับแรงแล้วเสียรูปมากแค่ไหน

Within elastic, $P = \sigma \cdot A = \epsilon E \cdot A = \frac{\Delta L}{L} EA = \frac{EA}{L} \Delta L$

$= \text{Stiffness} * \text{displacement}$

$Stiffness \propto [material (E), section(A), length(L)]$

Within elastic, $M = EI \frac{d^2y}{dx^2}$

$= \text{Stiffness} * \text{displacement}$

$Stiffness \propto [material (E), section(I), length(L)]$

Fundamental of Structural Steel Stability

Strength

Ability to resist forces

รับแรงได้เท่าไรถึงไม่พัง

At yield, $P_y = f_y \cdot A$

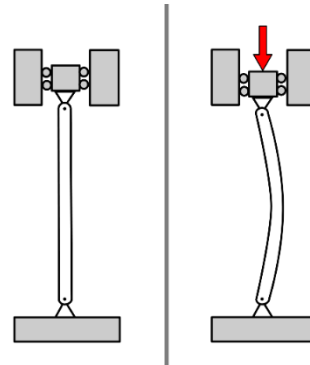
$Strength \propto [material (f_y), section(A)]$

At 1st yield, $M_y = f_y \cdot S_x$

$Strength \propto [material (f_y), section(S_x)]$

Stability

Ability to resist a specific force with respect to a deformed shape



Ref: www.wikipedia.com

$$P_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} A$$

$Stability \propto [material (E), section(A), length(L)]$

Stiffness

Ability to resist deformation

รับแรงแล้วเสียรูปมากแค่ไหน

Within elastic, $P = \sigma \cdot A = \epsilon E \cdot A = \frac{\Delta L}{L} EA = \frac{EA}{L} \Delta L$

$= Stiffness * displacement$

$Stiffness \propto [material (E), section(A), length(L)]$

Within elastic, $M = EI \frac{d^2 y}{dx^2}$

$= Stiffness * displacement$

$Stiffness \propto [material (E), section(I), length(L)]$

Fundamental of Structural Steel Stability

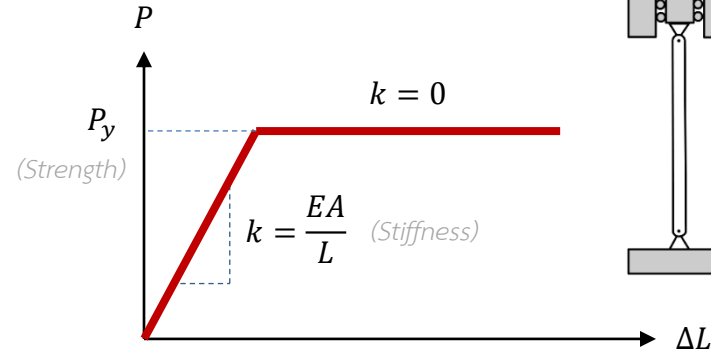
Strength

Ability to resist forces

รับแรงได้เท่าไรถึงไม่พัง

$$\text{Strength} \propto [\text{material } (f_y), \text{section}(A)]$$

At yield, $P_y = f_y \cdot A$



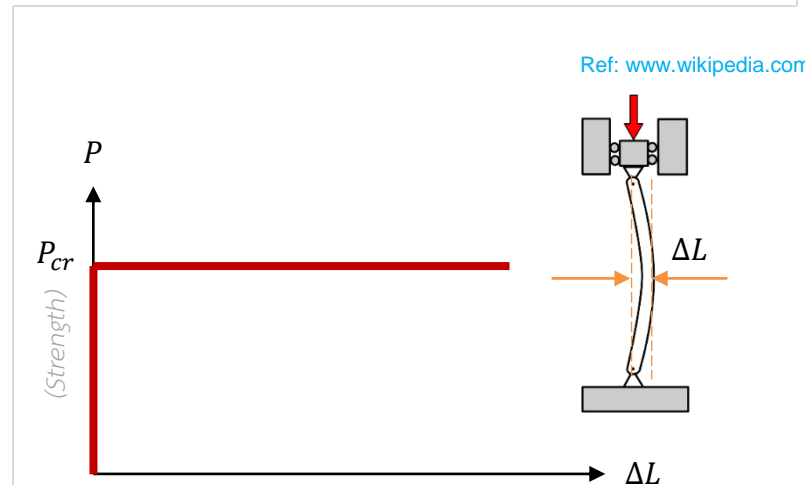
Stiffness

Ability to resist deformation

รับแรงแล้วเสียรูปมากแค่ไหน

$$P = \sigma \cdot A = \epsilon E \cdot A = \frac{\Delta L}{L} EA = \frac{EA}{L} \Delta L$$

$$\text{Stiffness} \propto [\text{material } (E), \text{section}(A), \text{length}(L)]$$



Stability

Ability to resist a specific force with respect to a deformed shape

รับแรงลักษณะหนึ่งๆ ได้เท่าไรถึงไม่พัง

ณ รูปร่างการเสียรูปแบบหนึ่งๆ

$$\frac{M(x)}{EI} = \frac{d^2 y(x)}{dx^2}$$

$$-P \cdot y(x) = EI \frac{d^2 y(x)}{dx^2}$$

$$0 = \frac{d^2 y(x)}{dx^2} + \frac{P}{EI} \cdot y(x)$$

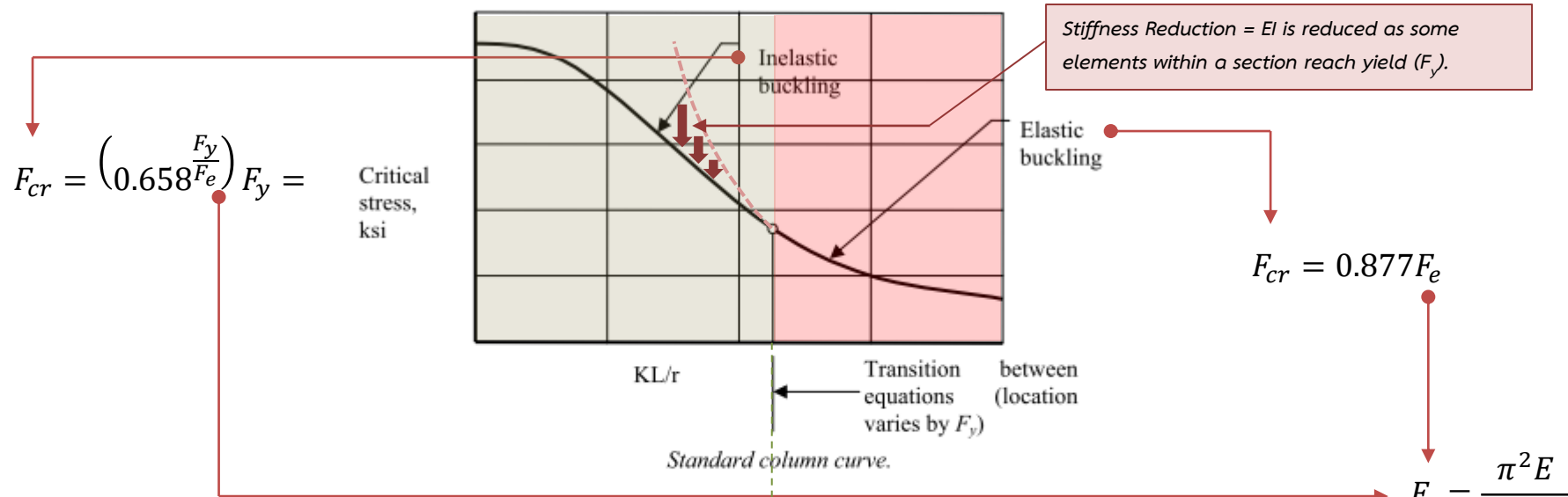
$$y(x) = C_1 \sin(\sqrt{P/EI} \cdot x) + C_2 \cos(\sqrt{P/EI} \cdot x)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(L)^2} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2} A$$

Fundamental of Structural Steel Stability

AISC Load and Resistance Factor Design (AISC/LRFD)

How?



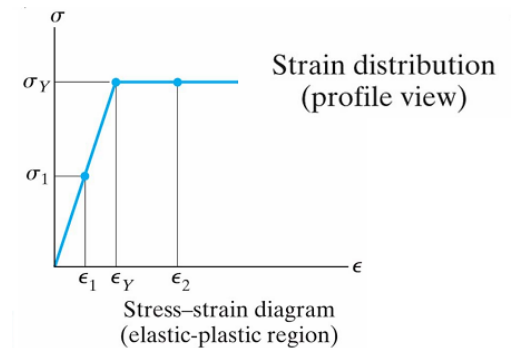
TRANSITION POINT LIMITING VALUES OF KL/r		
F_y , ksi	Limiting KL/r	$0.44F_y$, ksi
36	134	15.8
50	113	22.0
60	104	26.4
70	96	30.8

$$\text{Limiting } \frac{KL}{r} = 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$P_e = \frac{\pi^2}{L^2} EI$$

Stiffness

Can the **stiffness** be reduced?
How can the **stiffness** be reduced?



Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

ตัวอย่าง ออกแบบเสาท่อเหลี่ยม HSS ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 5 เมตร รับแรงในแนวแกน DL 120 ตัน และ LL 70 ตัน ไม่มีโมเมนต์ดัด สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของเสาเป็น pin

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัดเสาท่อเหลี่ยม และ หา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง
- **Step 3:** คำนวณจุดเปลี่ยนพฤติกรรม
- **Step 4:** คำนวณอัตราส่วนความชะลุด
- **Step 5:** ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6:** คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง

Step 1: สมมติ ขนาด HSS 250 x 250 x 12 mm
 $A = 110.5 \text{ cm}^2$
 $I_x = I_y = 10,300 \text{ cm}^4$
 $r_x = r_y = 9.63 \text{ cm}$

Step 2: หาผลรวมของแรง

ASD	LRFD
$P_a = DL+LL$ $= 120+70 = 190 \text{ T}$	$P_u = 1.2D + 1.6L$ $= 1.2(120) + 1.6(70) = 256 \text{ T}$

Step 3: หาจุดเปลี่ยนพฤติกรรม
 $(L_c/r)_{\text{limit}} = 4.71 \cdot \sqrt{E/F_y}$
 $= 4.71 \cdot \sqrt{(2,000,000/3,700)}$
 $= 109.5$

Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

ตัวอย่าง ออกแบบเสาท่อเหลี่ยม HSS ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 5 เมตร รับแรงในแนวแกน DL 120 ตัน และ LL 70 ตัน ไม่มีโมเมนต์ดัด สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของเสาเป็น pin

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัดเสาท่อเหลี่ยม และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง
- **Step 3:** คำนวณจุดเปลี่ยนพฤติกรรม
- **Step 4:** คำนวณอัตราส่วนความชะลุด
- **Step 5:** ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6:** คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง

Step 4: หาอัตราส่วนความชะลุด ที่ control พฤติกรรม
 $L_c/r_x = L_c/r_y = 500/9.63 = 51.9$
น้อยกว่า $(L_c/r)_{limit}$ ดังนั้นเสามีพฤติกรรม inelastic buckling

Step 5: ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
 $(b/t)_{limit} = 1.40 \cdot \sqrt{E/F_y}$
 $= 1.40 \cdot \sqrt{2,000,000/3,700}$
 $= 32.5$
มากกว่า $b/t = (250-12 \cdot 2)/12 = 18.8$ เป็น compact section
ไม่ต้องพิจารณา local buckling

Step 6: คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
 $F_e = \pi^2 E / (L_c/r)^2 = \pi^2 (2,000,000) / (51.9)^2 = 7,322 \text{ ksc}$
 $F_{cr} = (0.658)^{F_y/F_e} * F_y = (0.658)^{(3,700/7,322)} * 3,700 = 2,995 \text{ ksc}$
 $P_n = P_{cr} = F_{cr} * A = 2,995 * 110.5 = 330,911 \text{ kg} = 331 \text{ Tons}$

Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

ตัวอย่าง ออกแบบเสาท่อเหลี่ยม HSS ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 5 เมตร รับแรงในแนวแกน DL 120 ตัน และ LL 70 ตัน ไม่มีโมเมนต์ดัด สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของเสาเป็น pin

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัดเสาท่อเหลี่ยม และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง
- **Step 3:** คำนวณจุดเปลี่ยนพฤติกรรม
- **Step 4:** คำนวณอัตราส่วนความชะลุด
- **Step 5:** ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6:** คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงอัด

Step 7: ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงอัดของเสา

ASD	LRFD
$P_a = 190 \text{ T}$	$P_u = 256 \text{ T}$
$P_n / \Omega = 331 / 1.67 = 198 \text{ T}$ $> P_a$ OK	$\phi P_n = 0.9(331) = 297 \text{ T}$ $> P_u$ OK

Calculation

Insert Value

Capacity Full Report

Nominal Strength (P_n)
343,574 kg

Factored Nominal Strength (ϕP_n)
309,217 kg

Steel Grade: HY370

F_y : 3700.0 ksc

F_u : 4600.0 ksc

H: 250 mm

b_f : 250 mm

t: 12 mm

L_x : 5 m

L_y : 5 m

SSI STEEL DESIGN

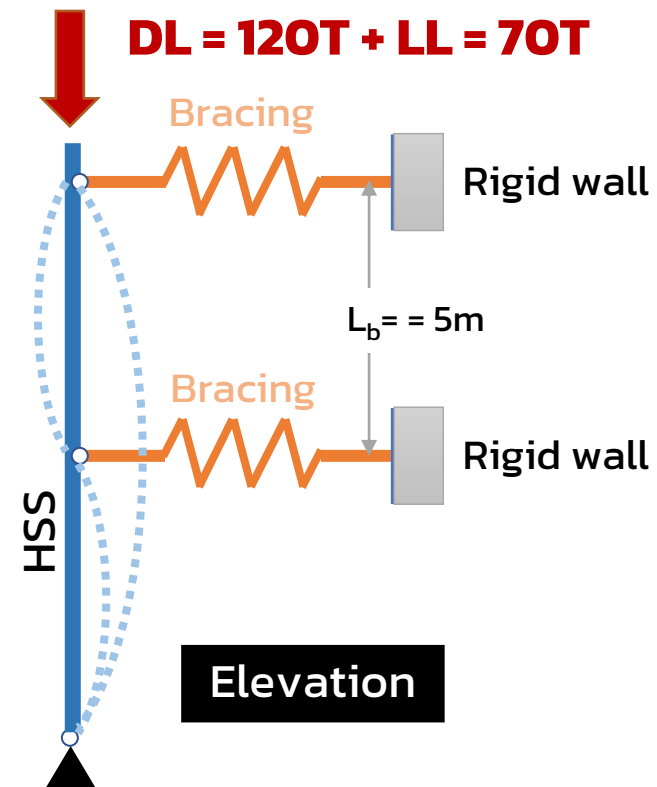
เทียบกับ Nominal strength ที่ได้จาก SSI Steel Design App ที่ 344 Ton (vs. 331 T จากการคำนวณมือ) ซึ่งต่างกันเล็กน้อยจากผลของ ขอบมุมหัก (App) vs. ขอบมุมตัด (Hand)

Column Design Example

#WeLoveSteelConstruction

ตัวอย่าง ออกแบบเสาท่อเหลี่ยม HSS ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 5 เมตร รับแรงในแนวแกน DL 120 ตัน และ LL 70 ตัน ไม่มีโมเมนต์ดัด สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของเสาเป็น pin

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัดเสาท่อเหลี่ยม และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง
- **Step 3:** คำนวณจุดเปลี่ยนพฤติกรรม
- **Step 4:** คำนวณอัตราส่วนความชะลุด
- **Step 5:** ตรวจสอบความ compact ของหน้าตัด
- **Step 6:** คำนวณกำลังรับแรงอัดระบุ
- **Step 7:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงอัด



ต้องตรวจสอบ
ทั้ง **stiffness**
และ **strength**
ของ Bracing



Design for Stability of Members

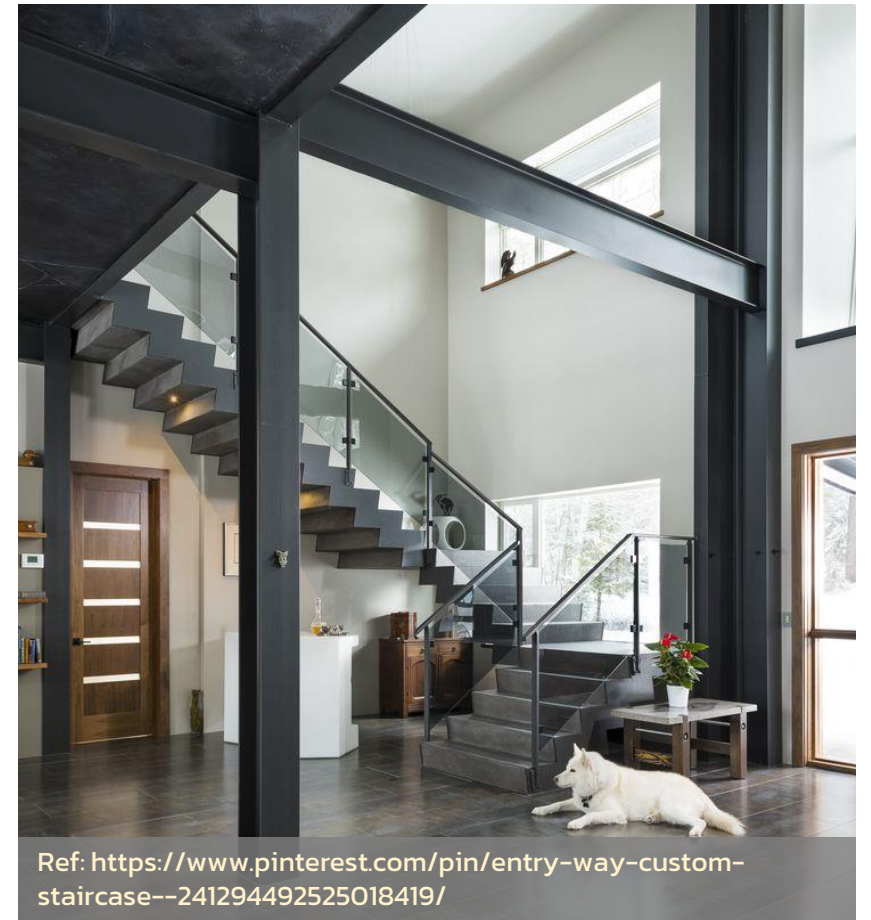
#WeLoveSteelConstruction



Structural Design Procedure

#WeLoveSteelConstruction

- ในขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง วิศวกรผู้ออกแบบ (structural designer) จะเป็นผู้กำหนดเงื่อนไข และ สมมติฐานต่างๆ สำหรับการออกแบบโครงสร้าง ทั้งการ ออกแบบ เสา คาน จุดต่อ ฯลฯ
- เช่น สำหรับ “เสา” สถาปนิกเป็นผู้กำหนดความสูงระหว่าง ชั้น (floor-to-floor height, f2f height) โดยวิศวกร ผู้ออกแบบ “อาจ” พิจารณาว่า floor plate (คานพื้น) มีความเพียงพอต่อการต้านทานการเสีรูปที่ปลาย “เสา” หรือ $f2f \text{ height} = \text{column unbraced length}$ ในแต่ละ ทิศทางหรือไม่
- เช่น สำหรับ “คาน” สถาปนิก เป็นผู้กำหนดตำแหน่งช่องเปิด ที่ floor plate เพื่อใช้เป็นช่องบันได หรือกำหนดตำแหน่ง ทางเชื่อม (bridge) โดยวิศวกรจะเป็นผู้กำหนดลักษณะการ จัดวางตำแหน่ง คานหลัก คานรอง และยังเป็นผู้พิจารณา ระยะ $\text{beam unbraced length}$ ที่ใช้ในการออกแบบคาน

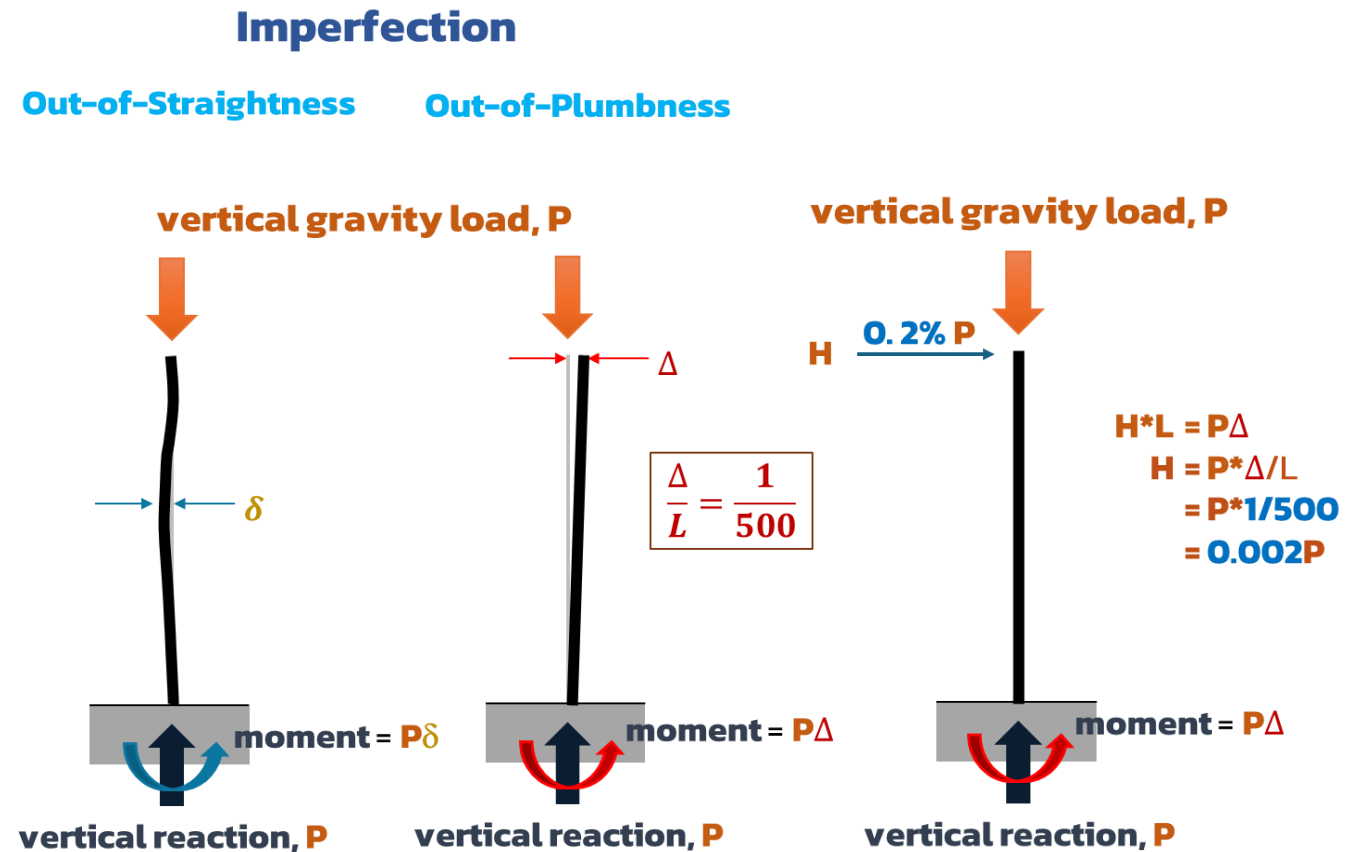


Ref: <https://www.pinterest.com/pin/entry-way-custom-staircase--241294492525018419/>

External Force Destabilization - 1

#WeLoveSteelConstruction

- ในการคำนวณกำลังรับแรงของ "เสา" วิศวกรผู้ออกแบบจะพิจารณากำหนด **column unbraced length** ในแต่ละทิศทาง จากตำแหน่งการค้ำยันที่ปลายเป็นหลัก เช่น ตำแหน่งตอม่อที่ติดกับ column base plate ตำแหน่งคานพื้นชั้นบน หรือ ตำแหน่งหลังคาชั้นดาดฟ้า เป็นต้น
- เราอาจจะทราบว่า "เสา" ทุกต้น มีความไม่สมบูรณ์แบบ (imperfection) เป็นธรรมดา ทั้งการไม่ตรงแนว (out of straightness) และการไม่ตั้งดิ่งเป๊ะ (out of plumbness) และเราก็อาจจะทราบแล้วว่า ความไม่สมบูรณ์แบบดังกล่าวนี้ส่งผลให้ **Destabilization** หรือการสูญเสียเสถียรภาพของเสาเพิ่มขึ้น **เมื่อระดับของแรง (P) เพิ่มขึ้น**



External Force Destabilization - 2

#WeLoveSteelConstruction

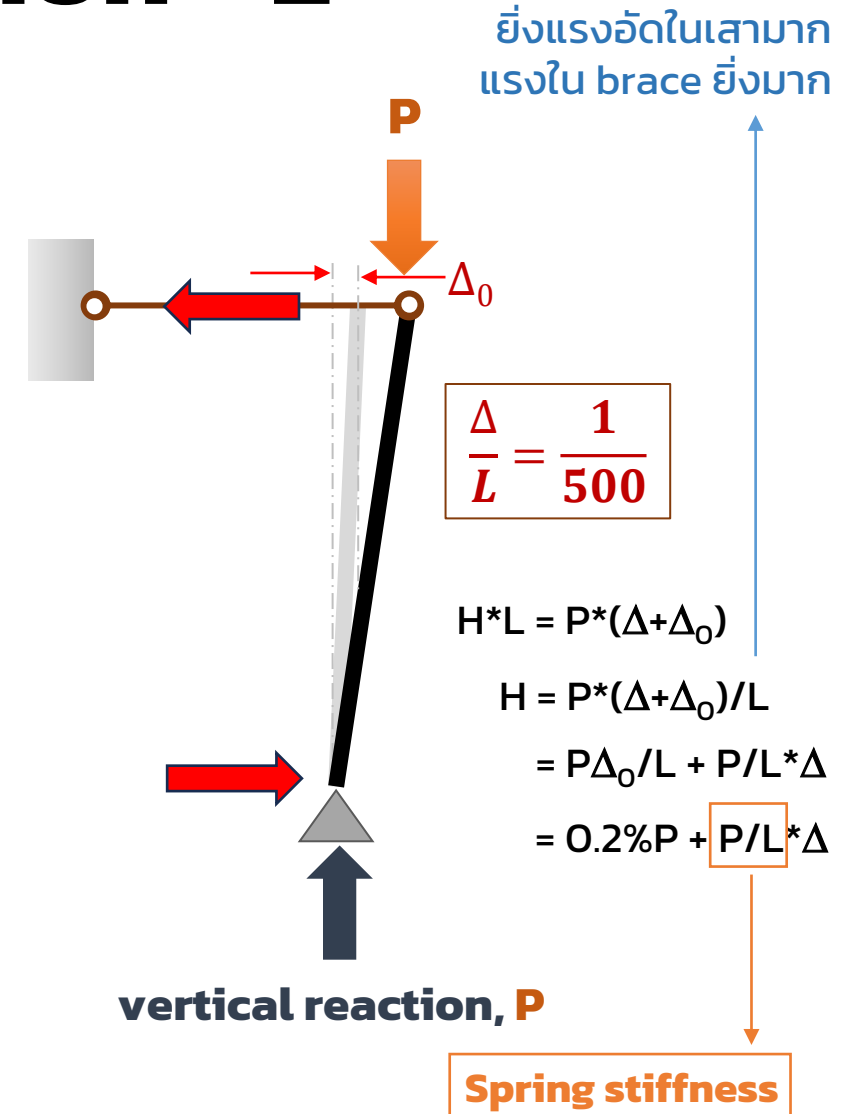
Discussion on Tension Member

1. **Tension Member** ต้องแข็งแรง มีกำลัง **strength** เพียงพอ “ไม่คราก” “ไม่ขาด”

- Compression member จะวิบัติจากการเกิด flexural buckling $P = P_{cr} = P_e = \pi^2 EI / L^2$

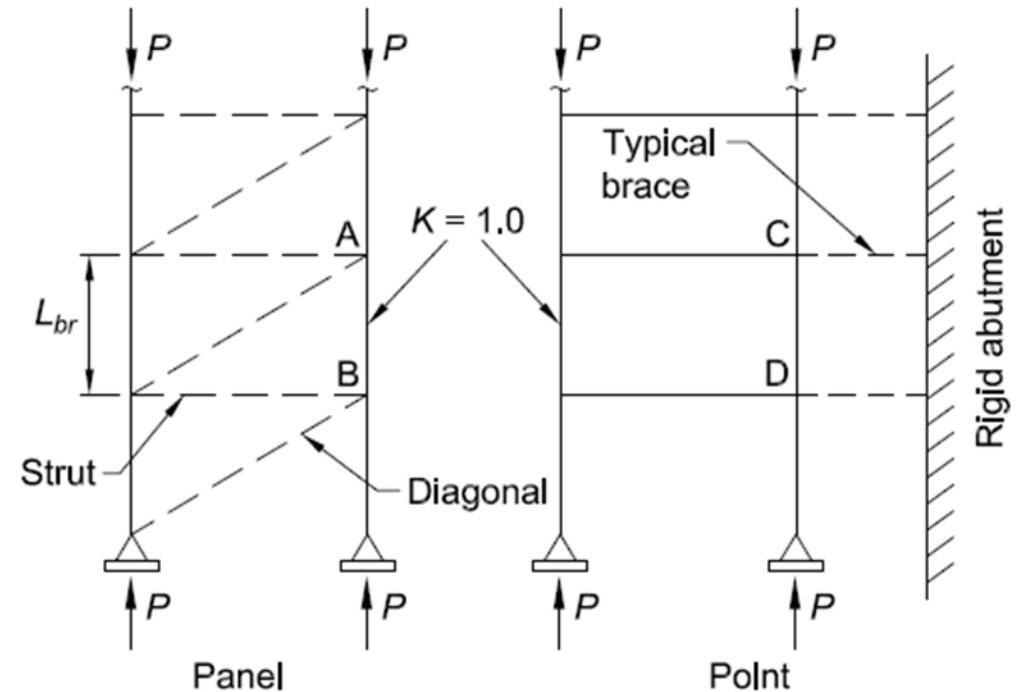
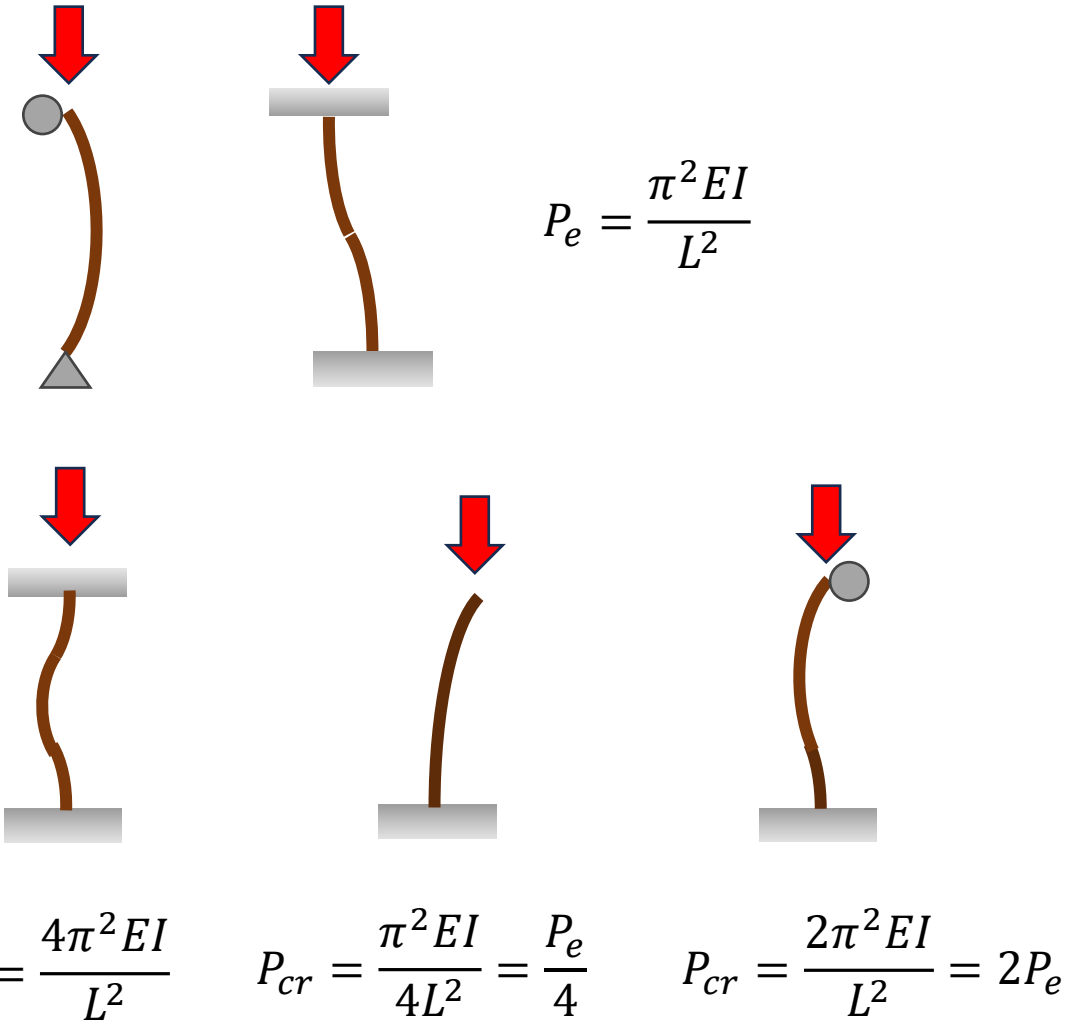
2. **Tension Member** ต้องไม่ยืดมากจนเกินไป

- การที่ **Tension Member** ยืดมากจนเกินไป จะส่งผลให้เกิด horizontal force ที่ member มาก จากแรง P
- Horizontal force จะส่งผลให้เกิด internal moment ใน column ส่งผลให้ demand (combined axial bending) เพิ่มขึ้น
- ดังนั้น ต้องควบคุม **stiffness** ของ **Tension Member** ให้เหมาะสม



External Force Destabilization - 3

#WeLoveSteelConstruction

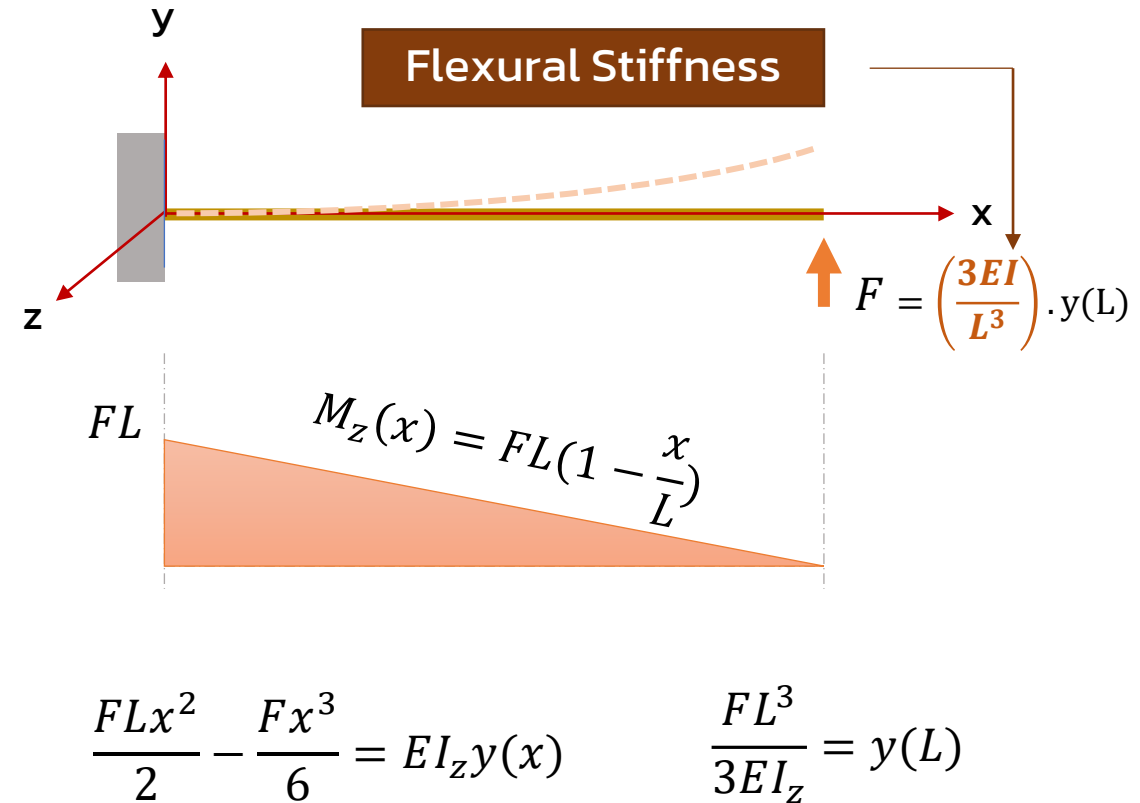
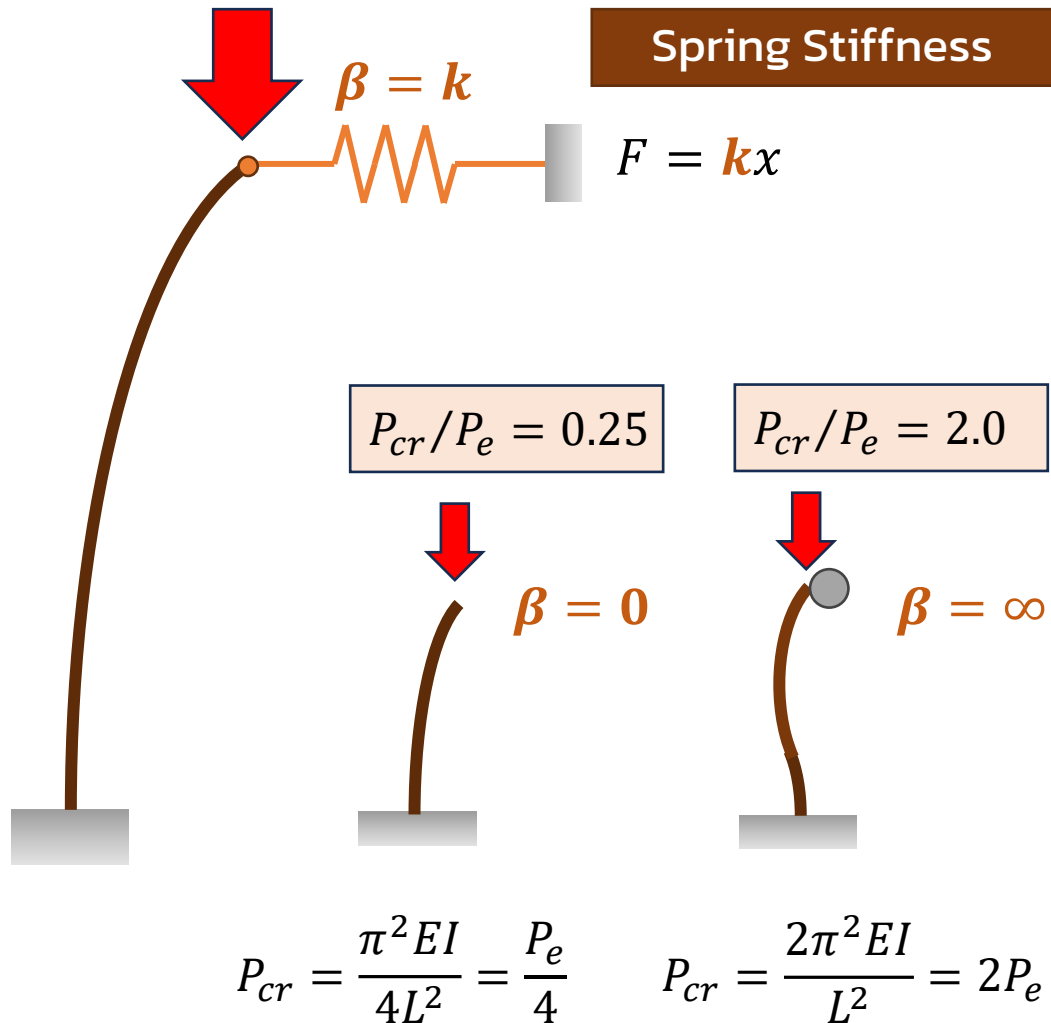


(a) Column bracing

Fig. C-A-6.1. Types of bracing.

External Force Destabilization - 4

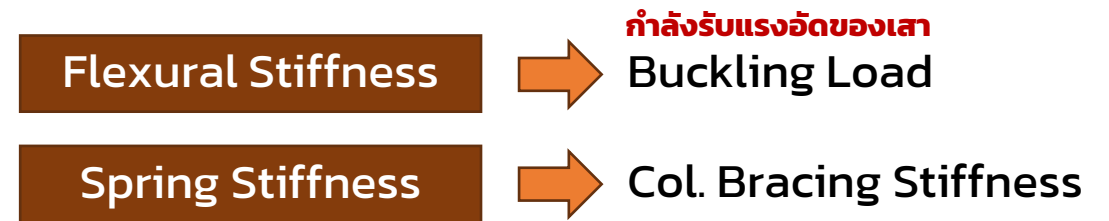
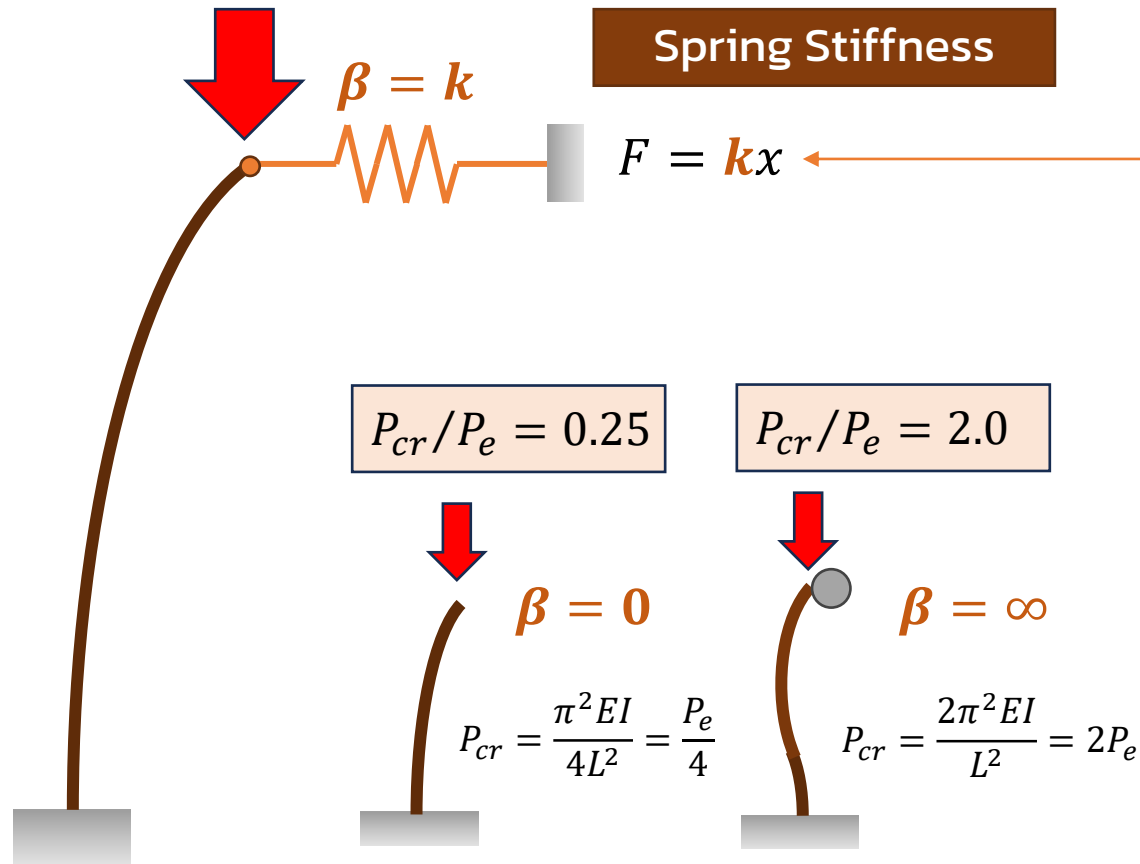
#WeLoveSteelConstruction



ถ้าใส่ Concentrated Load P ในทิศทาง $y+$ จะเกิด displacement (uplift) $FL^3/3EI_z$ หรือ beam stiffness ของระบบนี้ จะเท่ากับ $3EI/L^3$

External Force Destabilization - 5

#WeLoveSteelConstruction



ดังนั้น **กำลังรับแรงอัดของเสา** ซึ่งเป็นผลมาจาก flexural stiffness $(EI/L^2) \cdot \pi^2$ นั้น จะส่งผลโดยตรงต่อแรงใน bracing $(EI/L^3) \cdot 3\delta$ ซึ่งสะท้อน spring stiffness

$$P_{cr} = \text{constant} * EI/L^2 = \text{constant} * EI/L^3 * L = \text{String stiffness} * L$$

External Force Destabilization - 6

#WeLoveSteelConstruction

- การพิจารณากำลังรับแรงอัดของ “เสา” เริ่มต้นจากการคำนวณ Euler’s buckling load, P_e ซึ่งขึ้นกับ flexural stiffness (EI) และระยะปราศจากการค้ำยัน (L_c) ขององค์อาคารรับแรงอัด $P_e = \pi^2 EI / L_c^2$
- จากภาพ แกนตั้ง (y axis) เป็นกำลังรับแรงอัดของ compression member หนึ่งเทียบกับ P_e และ แกนนอน (x axis) เป็นค่า normalized column bracing stiffness
- ความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่า ยิ่ง bracing stiffness สูง (ค่าทางแกน x สูง) ขึ้นเท่าใด ก็ต้อง apply แรงอัด P_{cr} มากขึ้น (แกน y สูงขึ้น) เพื่อทำให้องค์อาคารรับแรงอัดเกิดการสูญเสียเสถียรภาพ (ที่ critical load)

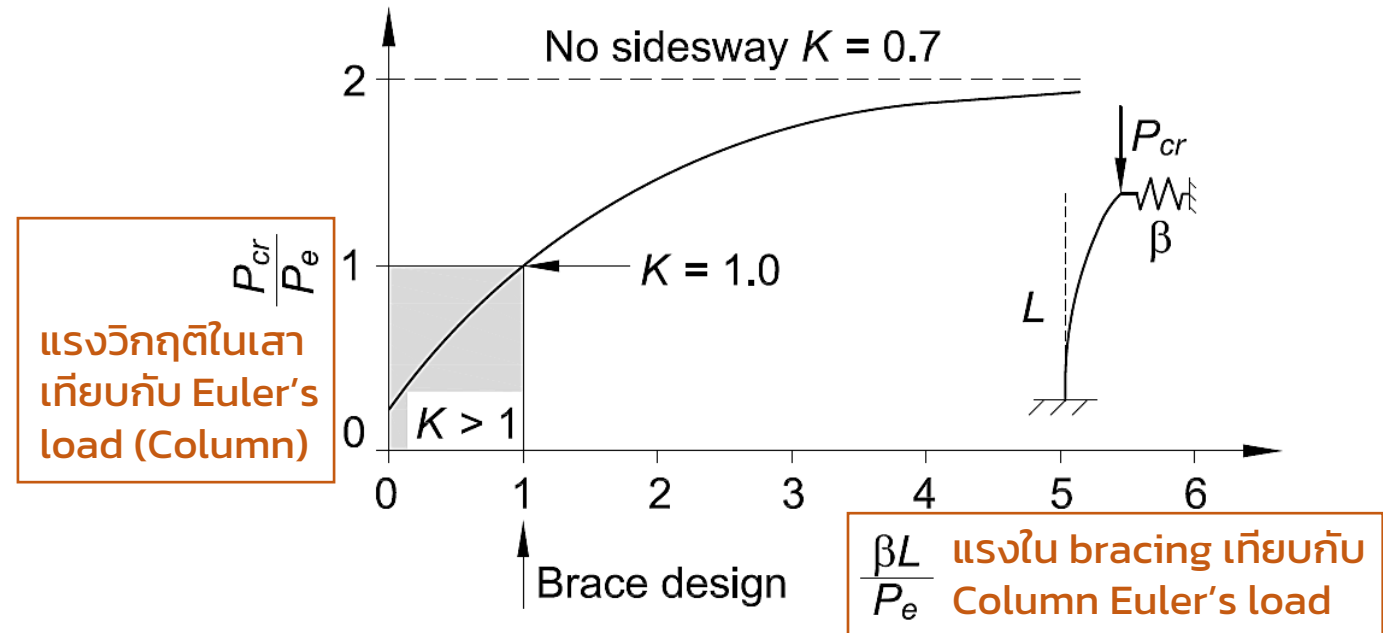


Fig. C-A-6.2. Cantilevered column with a variable stiffness brace at its top.

Ref: AISC 360 (2016), "Specification for Structural Steel Buildings," Commentary Appendix 6

External Force Destabilization - 7

#WeLoveSteelConstruction

- ที่ $P_{cr}/P_e = 1$ หรือ $P_{cr} = P_e = \pi^2 EI/L_c^2$... ค่า normalized column bracing stiffness = $\beta L/P_e = 1$ หรือ $P_e = \beta L$ โดยที่ β = spring stiffness ที่ปลาย หรือ $\beta_i = \pi^2 EI/L^3$
- ที่ระดับแรงวิกฤตต่างๆ เช่น $P_{cr}/P_e = 0.25$ หรือ $P_{cr} = (1/4)P_e = (1/4)\pi^2 EI/L_c^2$ หากนำหลักการ Effective Length Method (ELM) เข้ามาใช้จะพบว่า $K = 2.0$ จะเป็นกรณีเกิด sway ที่ปลายเสา หรืออธิบายได้ว่า $\beta L/P_e = 0$ ซึ่งเป็นกรณีที่ β = spring stiffness = 0 เป็น cantilevered column
- ที่ระดับแรงวิกฤตมาก เช่น $P_{cr}/P_e = 2$ หรือ $K = 0.7$ จะเป็นกรณีที่ปลายเสาเป็น pin (no sway) หรืออธิบายได้ว่า $\beta L/P_e = \infty$ ซึ่งเป็นกรณีที่ β มีค่าสูงมากๆ เมื่อเทียบกับ P_e

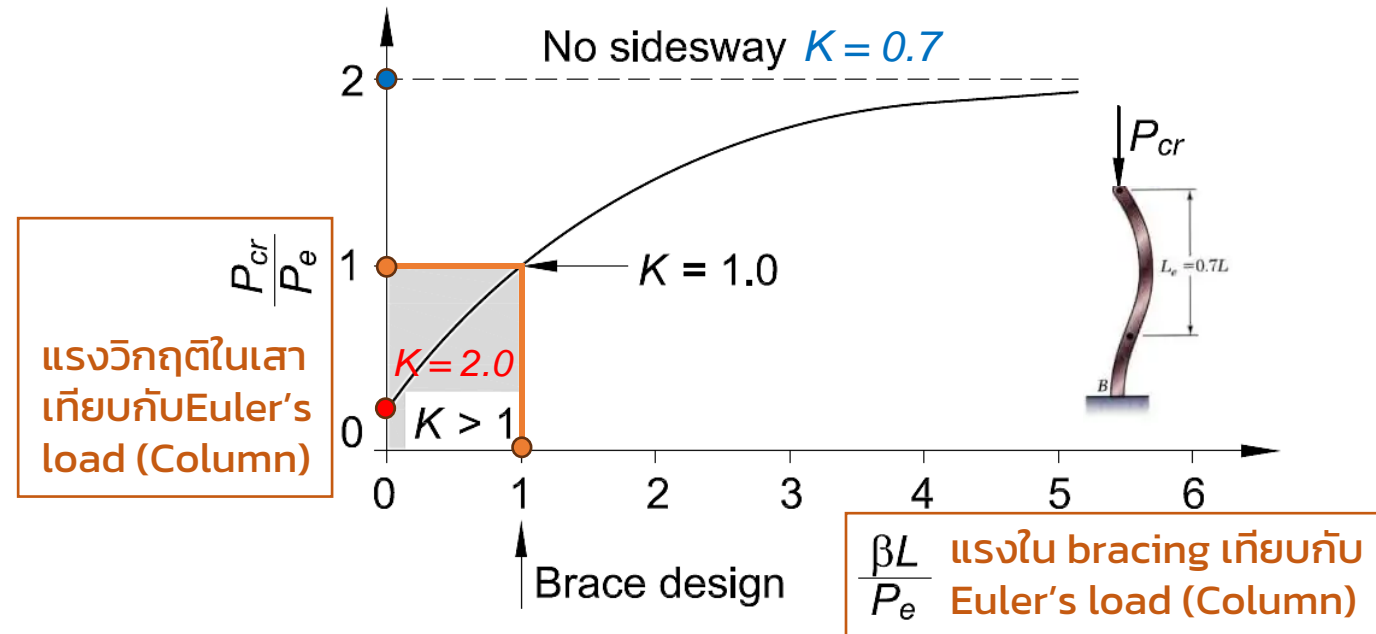
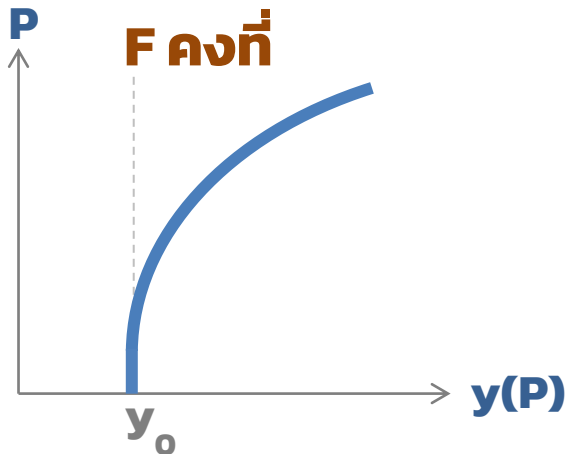
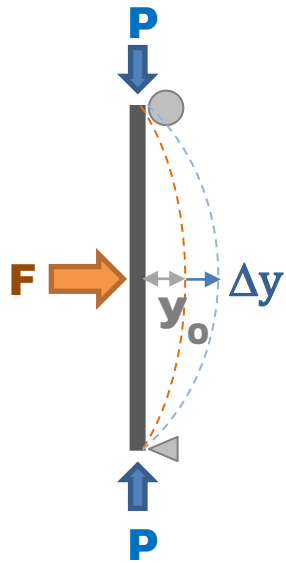


Fig. C-A-6.2. Cantilevered column with a variable stiffness brace at its top.

Ref: AISC 360 (2016), "Specification for Structural Steel Buildings," Commentary Appendix 6

Structural Steel Stability Fundamental

With initial transverse deformation (y_0 , imperfection), deformation will be increased exponentially when subjected to more axial load.

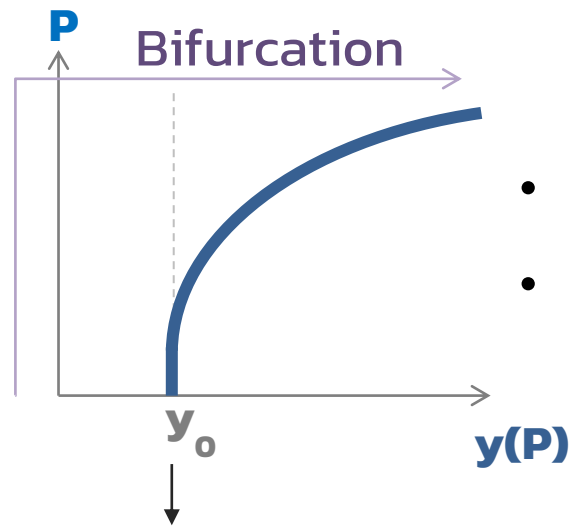
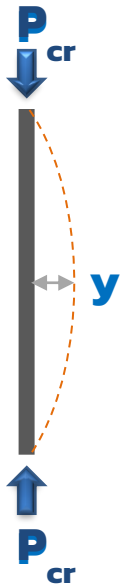


y_0 อาจเกิดได้จากทั้ง **Lateral Load** หรือ **Imperfection**
ซึ่ง **Imperfection** อาจเกิดได้จากทั้ง

- (1) member out-of-straightness (ประมาณ 1/1,000) และ/หรือ
- (2) erection out-of-plumbness (ประมาณ 1/500)

Structural Steel Stability Fundamental

Therefore, bifurcation is not the true behavior of axial compression consideration.



- Bifurcation นี้ เป็นพฤติกรรมที่ไม่ได้เกิดขึ้นจริง
- สิ่งที่เกิดขึ้นจริงคือการเกิด Deformation Amplification

จาก Lateral Load หรือ
จาก Imperfection (out-of-straightness)

External Force Destabilization - 8

#WeLoveSteelConstruction

- หากพิจารณาแกนนอน ว่าเป็นระยะ total displacement ($\Delta + \Delta_o$) ที่ปลายเสา เมื่อเทียบกับการเสียรูปเมื่อเริ่มต้น initial displacement (Δ_o) จากการติดตั้งเสาไม่ได้ตั้ง (ตามเกณฑ์การติดตั้งหลุดตั้งได้ไม่เกิน $L_{br}/500 = 0.002L_{br}$)
- จะเห็นว่า ระดับของแรง P ที่เพิ่มขึ้น จะไปทำให้ displacement (Δ) ที่เกิดจากแรง P เพิ่มขึ้นมาก หาก spring stiffness มีค่าเป็นไปตามทฤษฎี หรือ $\beta = \beta_i = \text{ideal spring stiffness} = P_e/L = \pi^2 EI/L^3$ (ค่าคงที่)
- แต่หากเพิ่ม spring stiffness เป็น 2 เท่า $\beta = 2\beta_i$ พบว่า spring displacement (Δ) จะเพิ่มตามระดับของแรง P แบบเชิงเส้นจนถึงจุดหนึ่ง จะเกิดการ destabilized (แถม) ไม่เกิด sidesway แต่จะเสียเสถียรภาพจาก pin-pin buckling, $P = P_e$

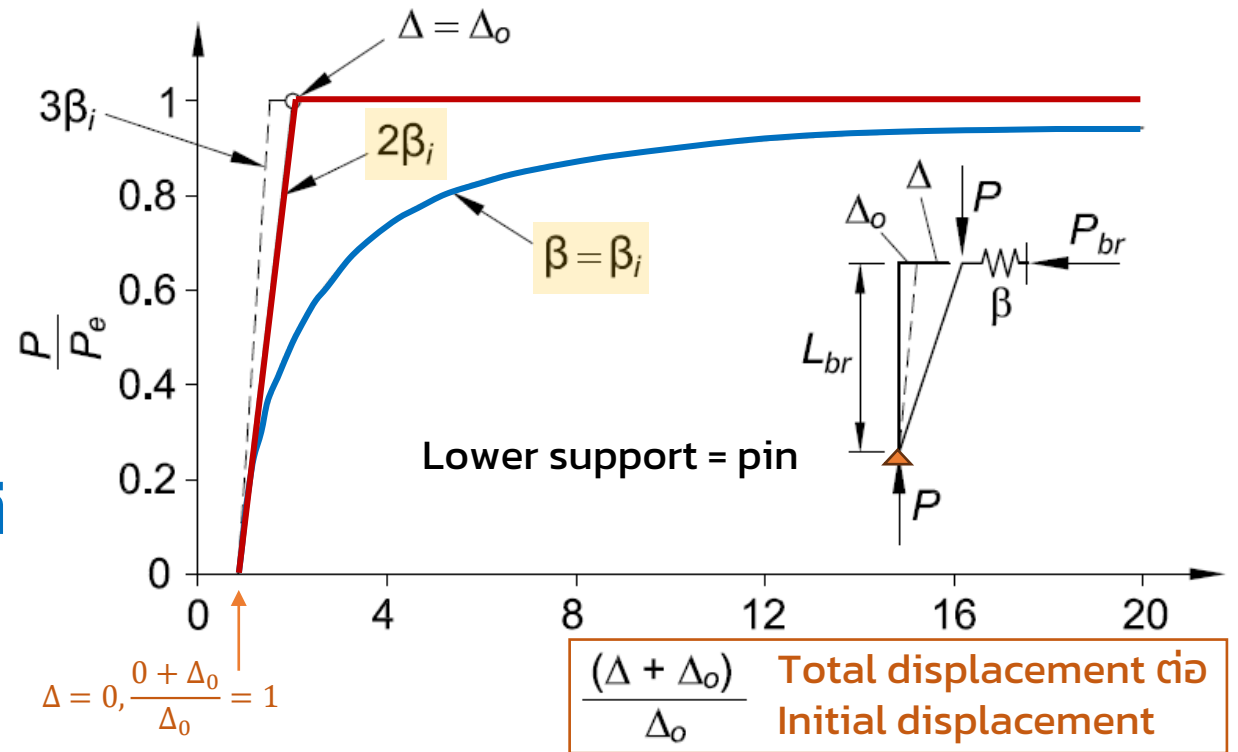


Fig. C-A-6.3. Effect of initial out-of-plumbness.

Ref: AISC 360 (2016), "Specification for Structural Steel Buildings,"
Commentary Appendix 6

External Force Destabilization - 9

#WeLoveSteelConstruction

- หากพิจารณาแกนนอน ว่าเป็นแรงใน column bracing P_{br} ที่ % เมื่อเทียบกับแรงอัด P ที่กระทำกับเสา โดยที่ initial displacement คงที่ ($\Delta_0 = 0.002L_{br}$)
- ระดับ P_{br} จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อแรงอัด P เพิ่มสูงขึ้น หาก column bracing stiffness มีค่าเท่ากับ ideal stiffness $\beta = \beta_i = P_e/L$ ระบบ เกิด sideway ($P < P_e$)
- หาก column bracing stiffness มีค่าเป็น 2 เท่าของ ideal stiffness $\beta = 2\beta_i = 2P_e/L$ จะได้ว่า ที่ระดับของแรงใน column bracing ราว 0.4% ของแรง P ($P_{br} = 0.004P$) เสาที่รับแรงอัด P จะเกิดการสูญเสียเสถียรภาพจาก pin-pin buckling, $P = P_e$ (แทบ) ไม่เกิด sideway

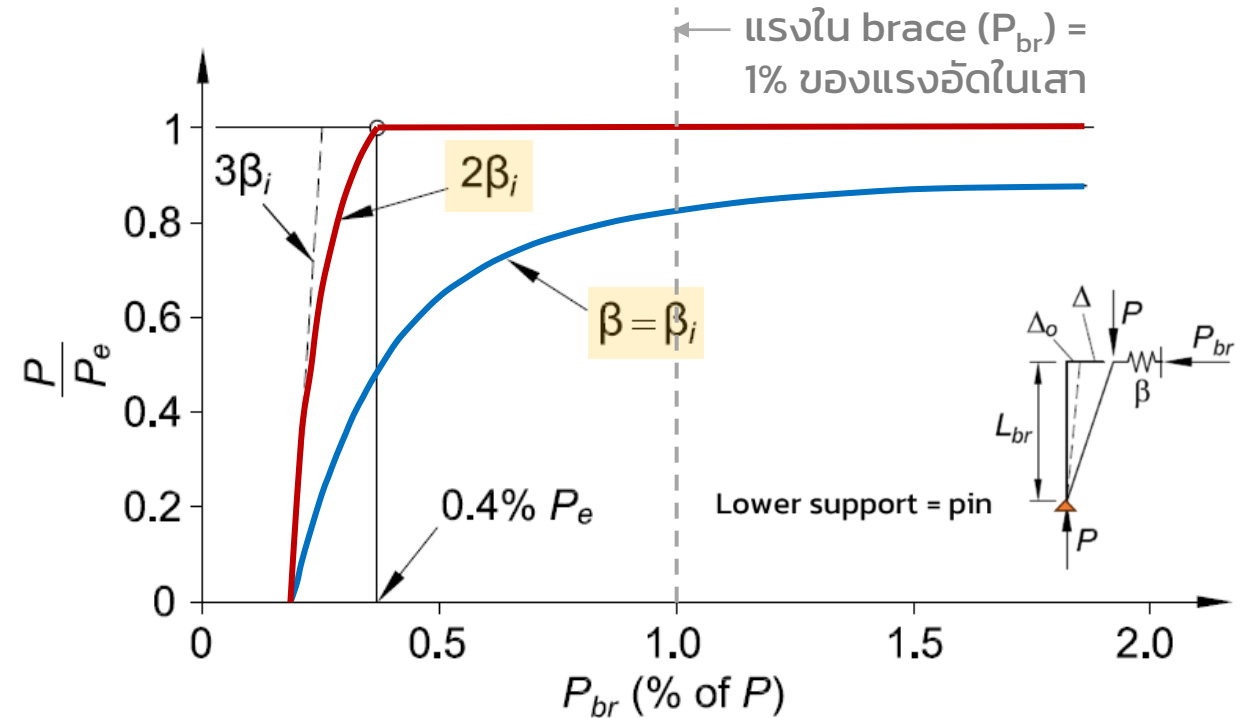
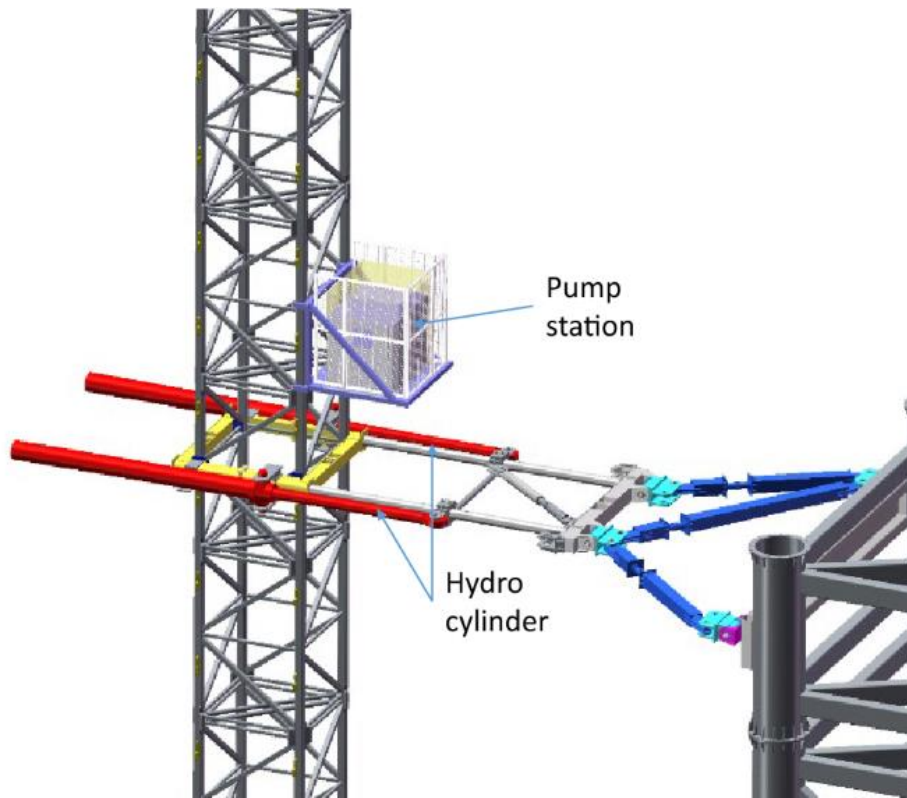


Fig. C-A-6.3. Effect of initial out-of-plumbness.

Ref: AISC 360 (2016), "Specification for Structural Steel Buildings," Commentary Appendix 6

Stability Bracing

#WeLoveSteelConstruction



- **[ความเดิม]** การออกแบบ เสาและคาน วิศวกรผู้ออกแบบ ต้องกำหนดเงื่อนไข ตามสมมติฐานที่คาดว่า และน่าจะเป็น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง unbraced length ของเสาและคาน
- เมื่อออกแบบ เสาและคาน เสร็จเรียบร้อย วิศวกรผู้ออกแบบ ต้องกลับมาตรวจสอบอีกว่า การค้ำยันให้กับเสาและคานนั้น **เพียงพอ** หรือไม่
- **เพียงพอ** ประกอบไปด้วย
 - 1) ความสามารถต้านทานแรงเพียงพอ: **strength**
 - 2) ความสามารถต้านทานการเสีรูปร่างเพียงพอ: **stiffness**
- **ระดับของแรงภายนอก** (เสา = แรงอัด, คาน = โมเมนต์ดัด) เป็นค่าที่วิศวกรผู้ออกแบบใช้ในการพิจารณาเปรียบเทียบ ความเพียงพอ ของระบบค้ำยันทางข้าง

Ref: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-26222-x>

Related References

#WeLoveSteelConstruction

- **AISC 360-16** ได้ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับ Member Stability Bracing ไว้ใน Appendix 6 โดยมาตรฐาน **วสท. 011038-22** มาตรฐานเพื่อการออกแบบอาคารโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ ได้ระบุไว้ใน ภาคผนวก จ การค้ำยันเพื่อเสถียรภาพขององค์อาคาร
- ในมาตรฐานทั้ง 2 ฉบับ ล้วนระบุให้ ระบบค้ำยันต้องมีกำลัง **strength** (ความสามารถในการต้านทานแรง) และสตีฟเนส **stiffness** (ความสามารถในการต้านทานการเสี้ยวรูป) ที่มากเพียงพอ
- การค้ำยันแบบแผง (panel bracing) ใช้สำหรับการควบคุมการเบี่ยงเบนเชิงมุม ในขณะที่การค้ำยันแบบจุด (point bracing) ใช้สำหรับการควบคุมการเคลื่อนตัวของ member ณ แหน่งที่ถูกค้ำยัน โดยไม่มีผลใดๆ กับตำแหน่งที่ถูกค้ำยันอีกจุดที่อยู่ติดกัน

APPENDIX 6

MEMBER STABILITY BRACING

This appendix addresses the minimum strength and stiffness necessary to provide a braced point in a column, beam or beam-column.

The appendix is organized as follows:

- 6.1. General Provisions
- 6.2. Column Bracing
- 6.3. Beam Bracing
- 6.4. Beam-Column Bracing

User Note: Stability requirements for lateral force-resisting systems are provided in Chapter C. The provisions in this appendix apply to bracing that is not generally included in the analysis model of the overall structure, but is provided to stabilize individual columns, beams and beam-columns. Guidance for applying these provisions to stabilize trusses is provided in the Commentary.

6.1. GENERAL PROVISIONS

Bracing systems shall have the **strength** and **stiffness** specified in this Appendix, as applicable. Where such a system braces more than one member, the strength and stiffness of the bracing shall be based on the sum of the required strengths of all members being braced. The evaluation of the stiffness furnished by the bracing shall include the effects of connections and anchoring details.

User Note: More detailed analyses for bracing strength and stiffness are presented in the Commentary.

A panel brace (formerly referred to as a relative brace) controls the angular deviation of a segment of the braced member between braced points (that is, the lateral displacement of one end of the segment relative to the other). A point brace (formerly referred to as a nodal brace) controls the movement at the braced point without direct interaction with adjacent braced points. A continuous bracing system consists of bracing that is attached along the entire member length.



วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

มาตรฐาน

การออกแบบสำหรับอาคารโครงสร้างเหล็กรูปพรรณ

พ.ศ. 2565

Design Specification for Structural Steel Buildings

2022



การค้ำยันทางข้างให้กับเสา Lateral Bracing of Columns

#WeLoveSteelConstruction

ภาคผนวก ฉ การค้ำยันเพื่อเสถียรภาพขององค์อาคาร

ภาคผนวกนี้กล่าวถึงกำลังและสติฟเนสต่ำสุดที่จำเป็นเพื่อใช้กำหนดตำแหน่งที่ถูกค้ำยันในเสา คาน หรือคาน-เสา โดยเนื้อหาประกอบด้วย 4 ข้อหลัก คือ

ฉ.1 ข้อบังคับทั่วไป



ฉ.2 ค้ำยันในเสา

ฉ.3 ค้ำยันในคาน

ฉ.4 ค้ำยันในคาน-เสา

หมายเหตุ: ข้อกำหนดด้านเสถียรภาพสำหรับระบบต้านแรงด้านข้างได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ส่วนข้อบังคับในภาคผนวกนี้ให้ใช้สำหรับค้ำยันที่โดยทั่วไปแล้วไม่ได้รวมอยู่ในแบบจำลองการวิเคราะห์โครงสร้างโดยรวม แต่มีไว้เพื่อให้เสา คาน และคาน-เสามีเสถียรภาพ

ฉ.2 ค้ำยันในเสา

อนุญาตให้ทำการค้ำยันด้านข้างที่ตำแหน่งปลายหรือที่ตำแหน่งภายในตลอดความยาวของแต่ละเสาโดยใช้การค้ำยันแบบแผง (Panel Brace) หรือการค้ำยันแบบจุด (Point Brace / Nodal Brace)

หมายเหตุ: ข้อนี้ระบุเฉพาะข้อกำหนดของการค้ำยันด้านข้างเท่านั้น โดยสมมติให้การค้ำยันด้านข้างของเสากระทำ ณ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางแรงเฉือน (Shear Center) ของเสา ในกรณีที่ค้ำยันด้านข้างไม่มีส่วนช่วยด้านการบิด อาจทำให้เสาเกิดการโก่งเดาะแบบบิดได้ ดังที่ระบุไว้ในข้อ 5.4 ในกรณีที่ค้ำยันด้านข้างเยื้องออกจากตำแหน่งจุดศูนย์กลางแรงเฉือน อาจทำให้เสาเกิดการโก่งเดาะแบบบิดตามแกนที่ถูกยึดรั้ง

ฉ.2.1 การค้ำยันแบบแผง

ระบบการค้ำยันแบบแผง (Panel Brace) ต้องมีกำลังและสติฟเนสตามที่ระบุไว้ในข้อนี้ รอยต่อของระบบค้ำยันกับเสาต้องมีกำลังตามที่ระบุไว้ในข้อ ฉ.2.2 สำหรับจุดค้ำยัน ณ บริเวณดังกล่าว

หมายเหตุ: ถ้าสติฟเนสของรอยต่อของระบบการค้ำยันแบบแผงมีค่าใกล้เคียงกับสติฟเนสของตัวระบบค้ำยันแบบแผงเอง ระบบการค้ำยันแบบแผงและรอยต่อกับเสาทำหน้าที่เป็นระบบการค้ำยันแบบแผงและแบบจุดที่เรียงต่อกันเป็นอนุกรม ในกรณีดังกล่าวอาจทำการประเมินโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเลือกตามที่ระบุไว้ในข้อ ฉ.1

กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการของระบบค้ำยัน ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนตามยาวของ
เสาคำนวณจาก

$$V_{br} = 0.005P_r \quad (\text{ฉ-1})$$

และสติฟเนสแบบเฉือนที่ต้องการของระบบค้ำยันคำนวณจาก

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{2P_r}{L_{br}} \right) \text{ (LRFD)} \quad (\text{ฉ-2ก})$$

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{2P_r}{L_{br}} \right) \text{ (ASD)} \quad (\text{ฉ-2ข})$$

$$\phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

โดยที่

L_{br} = ความยาวที่ปราศจากการค้ำยันภายในแผงที่พิจารณา (มม.)

P_r = ค่ากำลังตามแกนที่ต้องการของเสาภายในแผงที่พิจารณา โดยใช้
การจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกในLRFD หรือ ASD (นิวตัน)

ฉ.2.2 การค้ำยันแบบจุด

กำลังที่ต้องการของค้ำยันแบบจุด (Point Brace / Nodal Brace) ที่บริเวณปลายและตำแหน่งภายใน ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนตามยาวของเสาคำนวณจาก

$$P_{br} = 0.01P_r \quad (\text{ฉ-3})$$

และสติฟเนสที่ต้องการของค้ำยันคำนวณจาก

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{8P_r}{L_{br}} \right) \text{ (LRFD)} \quad (\text{ฉ-4ก})$$

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{8P_r}{L_{br}} \right) \text{ (ASD)} \quad (\text{ฉ-4ข})$$

$$\phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

โดยที่

L_{br} = ความยาวที่ปราศจากการค้ำยันที่อยู่ติดกับจุดค้ำยัน (มม.)

P_r = ค่ากำลังตามแกนที่ต้องการสูงสุดของเสภายในช่วงความยาวที่ปราศจากการค้ำยันที่อยู่ติดกับจุดค้ำยัน โดยการใช้การจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกใน LRFD หรือ ASD, (นิวตัน)

Column lateral bracing - 1

#WeLoveSteelConstruction

- เมื่อเสาที่ค่อนข้างชะลูดรับแรงอัด เสาที่จะเกิดการหดสั้นลงในสภาพอีลาสติก (elastic shortening) เมื่อแรงอัดยังไม่มากนัก และในขณะเดียวกัน ก็จะมีพฤติกรรมที่จะเกิดการดัดตัวรอบแกนอ่อน (weak-axis flexure)
- ความชะลูด รอบแกนอ่อน จะพิจารณาด้วยตัวแปร L_b/r โดยที่ L_b คือความยาวที่ปราศจากการค้ำยัน (unbraced length) และ r คือ รัศมีจายเรชัน ซึ่งมีค่าเท่ากับรากที่สองของโมเมนต์เฉื่อยต่อพื้นที่หน้าตัด $\sqrt{I/A}$ โดยที่ทั้ง L_b และ r ต้องพิจารณาในทิศทาง (แกน x แกน y ของหน้าตัด) ที่ให้ค่า L_b/r สูงที่สุด ซึ่งสะท้อนความชะลูดมากที่สุด
- ประเด็นสำคัญคือ ความยาว L_b เป็นความยาวระหว่างจุดที่มีการค้ำยันทางข้างสมบูรณ์ column lateral bracing มีทั้ง strength และ stiffness ที่มากเพียงพอ column รับแรงได้ถึง flexural buckling โดยที่ bracing ยังดีอยู่



Ref: <https://oldstructures.nyc/2018/07/24/structural-stability-lateral-bracing/>



Ref: <https://interdemo.com.au/recent-past-projects/#5>

Column lateral bracing - 2

#WeLoveSteelConstruction

- Column stability bracing ประเภทแรกเรียกว่า **Panel bracing** ยกตัวอย่างเช่น เสา H shape ถูก brace ด้วยผนังรอบแกนอ่อน ซึ่งสามารถพิจารณาได้ว่า unbraced length รอบแกนอ่อนของเสาดังกล่าว = 0 ในทางปฏิบัติ ต้องพิจารณาว่าผนังดังกล่าวนี้ มี shear strength และ shear stiffness มากเพียงพอหรือไม่ (กรณีนี้มักไม่ค่อยพบเห็นกันเท่าไรนัก)

In the direction perpendicular to the longitudinal axis of the column, the required shear strength of the bracing system is:

$$V_{br} = 0.005P_r \quad (\text{A-6-1})$$

and, the required shear stiffness of the bracing system is:

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{2P_r}{L_{br}} \right) \quad (\text{LRFD}) \quad (\text{A-6-2a})$$

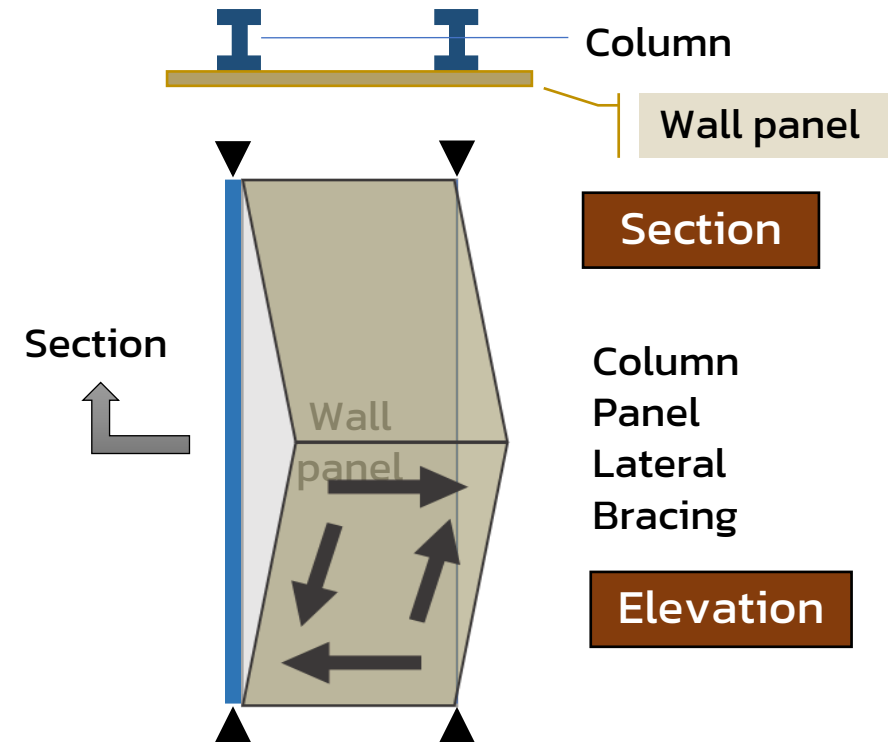
$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{2P_r}{L_{br}} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (\text{A-6-2b})$$

$$\phi = 0.75 \quad (\text{LRFD}) \quad \Omega = 2.00 \quad (\text{ASD})$$

where

L_{br} = unbraced length within the panel under consideration, in. (mm)

P_r = required axial strength of the column within the panel under consideration, using LRFD or ASD load combinations, kips (N)



Column lateral bracing - 3

#WeLoveSteelConstruction

- Column stability bracing ประเภทที่สองเรียกว่า **Point bracing** เป็นรูปแบบที่พบเห็นกันได้ทั่วไป โดยในมาตรฐานระบุว่า bracing นี้ต้องมีขนาดที่ใหญ่เพียงพอที่จะรับแรงได้ 1% ของแรงที่กระทำกับเสา $P_{br} = 0.01 P_r$ และสามารถต้านทานต่อการเสีรูปได้ราว 8 เท่าของแรงที่กระทำกับเสา ต่อความยาวของเสา

In the direction perpendicular to the longitudinal axis of the column, the required strength of end and intermediate point braces is

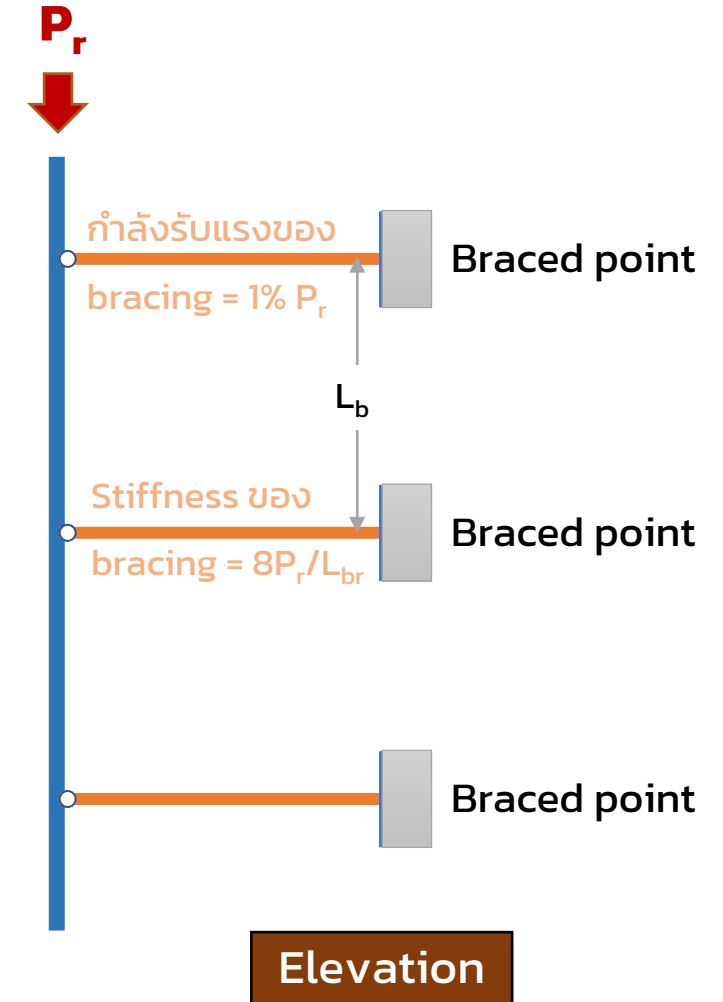
$$P_{br} = 0.01P_r \quad (\text{A-6-3})$$

and, the required stiffness of the brace is

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{8P_r}{L_{br}} \right) \quad (\text{LRFD}) \quad (\text{A-6-4a})$$

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{8P_r}{L_{br}} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (\text{A-6-4b})$$

$$\phi = 0.75 \quad (\text{LRFD}) \quad \Omega = 2.00 \quad (\text{ASD})$$

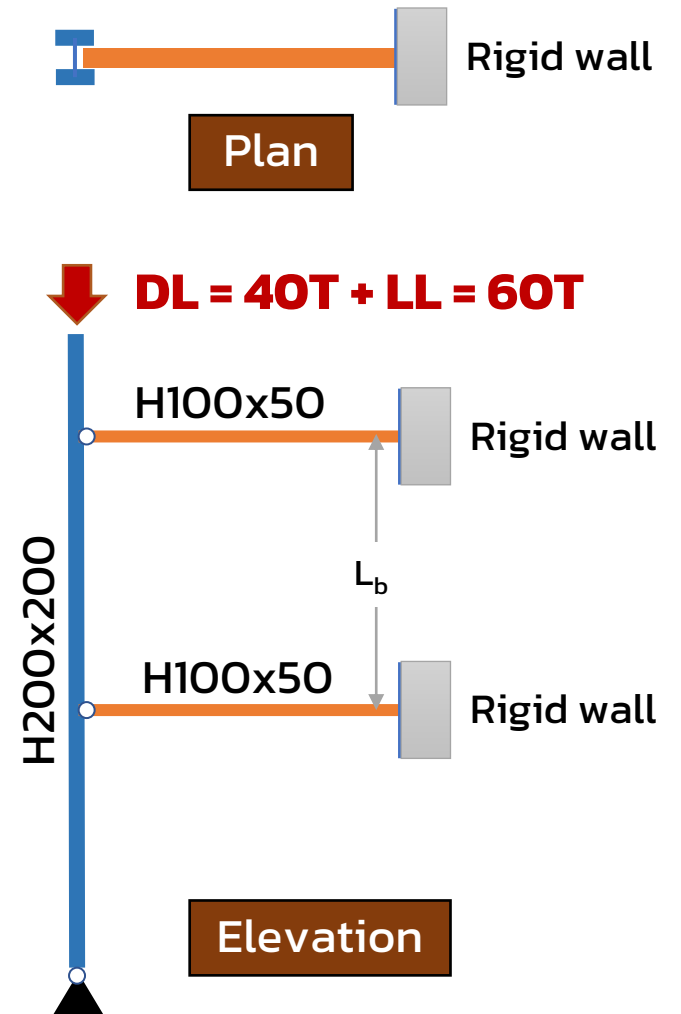


Column lateral bracing – 3 (Example)

#WeLoveSteelConstruction

- เสาค H200x200x8x12 เกรด SM520 (F_y 365 MPa F_u 520 MPa) ความสูงระหว่างชั้น 3 m รับแรงอัด DL 40 ตัน LL 60 ตัน มีคานขนาด H100x50x5x7 เกรด SM520 ยาว 4 เมตร ทำหน้าที่เป็นโครงค้ำยันให้กับเสา เข้ากับ rigid wall จงตรวจสอบว่าขนาดของ column bracing นี้เพียงพอหรือไม่

ขนาด mm	ความหนา mm		รัศมีส่วนโค้ง mm	พื้นที่หน้าตัด cm ²	มวลต่อเมตร kg/m	โมเมนต์ความเฉื่อย cm ⁴		รัศมีจายเรชัน cm		มอดุลัสภาคตัด cm ³	
	t1	t2				Ix	Iy	ix	iy	Zx	Zy
H x B	t1	t2	r	a		Ix	Iy	ix	iy	Zx	Zy
100 x 50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91
100 x 100	6	8	10	21.90	17.2	383	134	4.18	2.47	76.5	26.7
150 x 150	7	10	11	40.14	31.5	1 640	563	6.39	3.75	219	75.1
175 x 175	7.5	11	12	51.21	40.2	2 880	984	7.50	4.38	330	112
200 x 200	8	12	13	63.53	49.9	4 720	1 600	8.62	5.02	472	160

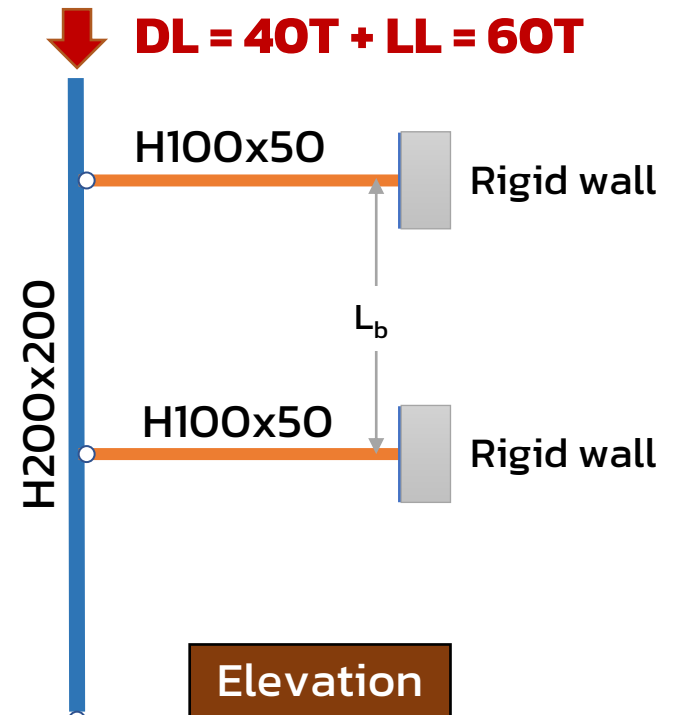
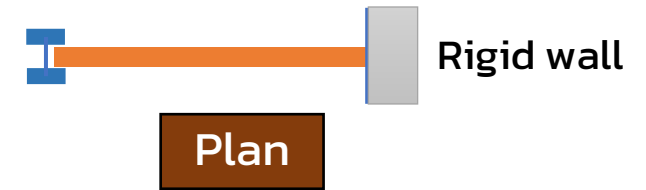


Column lateral bracing – 3 (Example)

#WeLoveSteelConstruction

- Column: H200x200x7x10, $F_y = 365 \text{ MPa}$, $L_b = 3 \text{ m}$
 Bracing: H100x50x5x7, $F_y = 365 \text{ MPa}$, $L_{br} = 4 \text{ m}$
 Loading: DL = 40T LL = 60T

- ตรวจสอบขนาด Column ว่า **Strength** เพียงพอหรือไม่ด้วย **SSI Steel Design Mobile Application** (HY370 ให้ $F_y = 370 \text{ MPa}$) ได้ค่า $P_n = 174.7\text{T}$ พิจารณา $FS = \Omega = 1.67$ จะได้ $P_{allow} \text{ (ASD)} = 174.7/1.67 = 104.6\text{T} > 40+60 = 100\text{T}$ **OK**

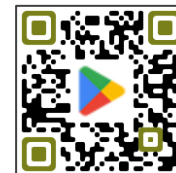


Calculation	
Full Report	Export
Material Section	
H	20 cm
b_f	20 cm
t_f	1.2 cm
t_w	0.8 cm
Input Variables	
L_y	3
K	1
L_x	3
Material Properties	
Steel Grade	HY370
F_L	2,590 ksc
F_u	4,600 ksc
F_y	3,700 ksc

Calculation	
Full Report	Export
Section Properties	
Limiting Width-to-Thickness Ratio	
λ_{rw}	34.64
λ_f	8.33
λ_{rf}	12.97
λ_w	22
Compressive Strength	
F_{ez}	8,245.2 ksc
F_{cr}	2,813.69 ksc
KL/r	59.08
F_e	5,655.35 ksc
Axial Force	
P_n	174,674 kg
ϕP_n	157,207 kg

Calculation	
Full Report	Export
Material Section	
t_w	0.5 cm
b_f	5 cm
t_f	0.7 cm
H	10 cm
Input Variables	
L_y	4
L_x	4
K	1
Material Properties	
Steel Grade	HY370
F_L	2,590 ksc
F_y	3,700 ksc
F_u	4,600 ksc

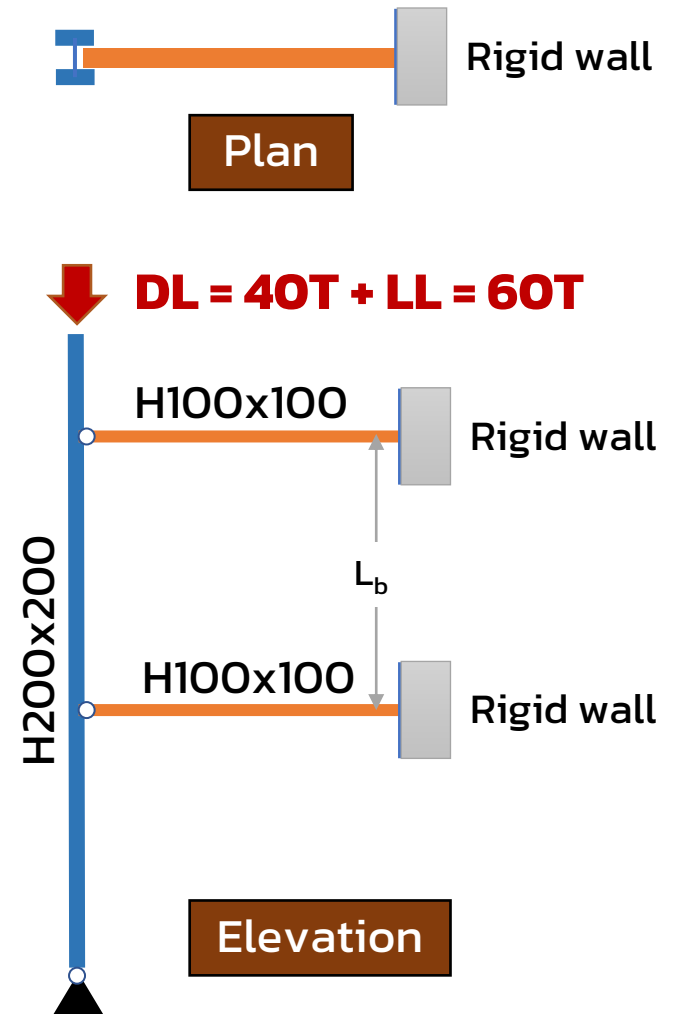
Calculation	
Full Report	Export
Section Properties	
Limiting Width-to-Thickness Ratio	
λ_{rf}	12.97
λ_w	17.2
λ_f	3.57
λ_{rw}	34.64
Compressive Strength	
KL/r	351.03
F_e	160.19 ksc
F_{ez}	6,310.1 ksc
F_{cr}	140.49 ksc
Axial Force	
P_n	1,588 kg
ϕP_n	1,429 kg



Column lateral bracing – 3 (Example)

#WeLoveSteelConstruction

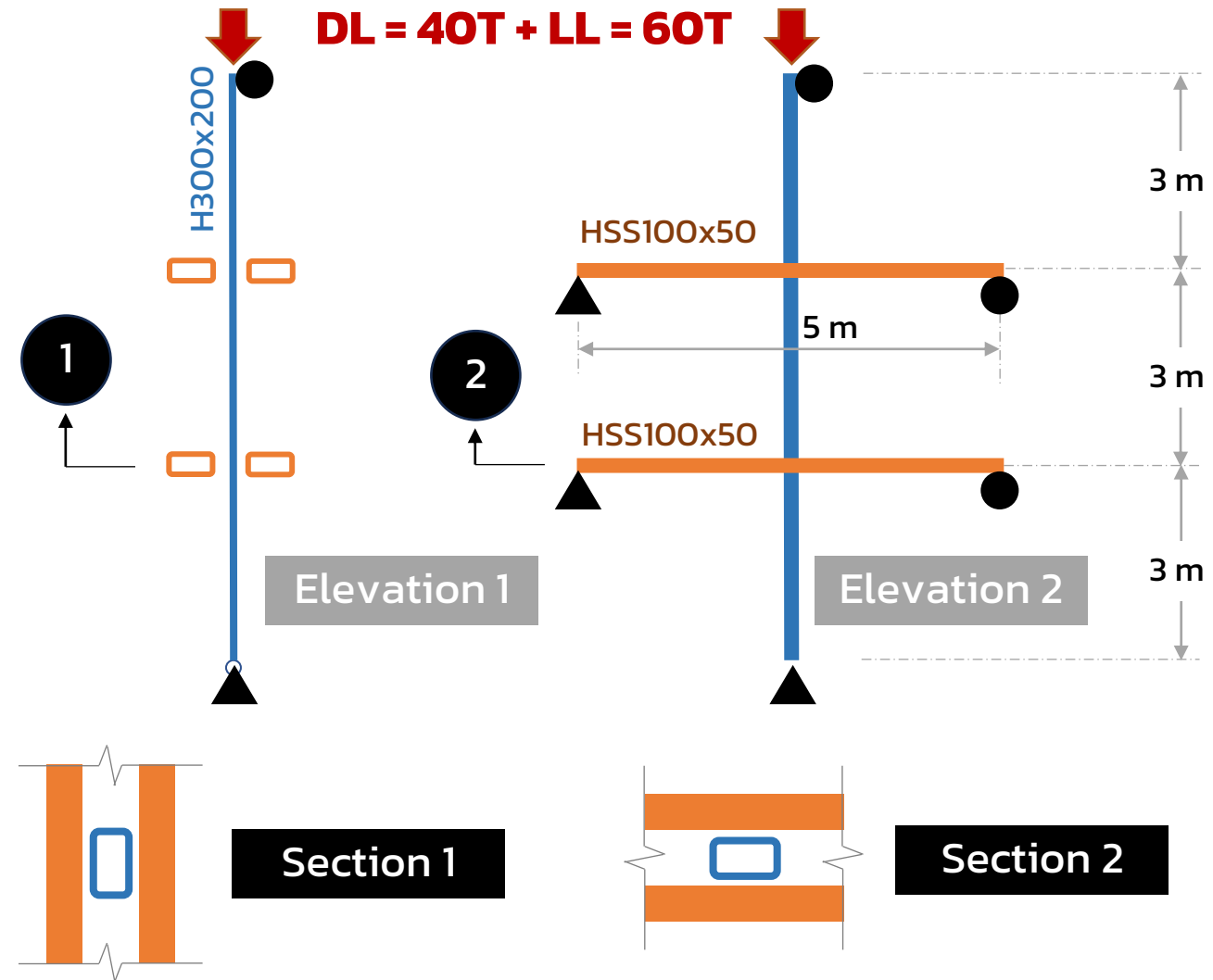
- Column: H200x200x7x10, $F_y = 365$ MPa, $L_b = 3$ m
Bracing: H100x100x6x8, $F_y = 365$ MPa, $L_{br} = 4$ m
Loading: DL = 40T LL = 60T
- แรงที่กระทำกับ Column bracing = $0.01P_r = 0.01 \cdot 100 = 1T$
ตรวจสอบขนาด Column bracing ว่า **Strength** เพียงพอหรือไม่
ด้วย **SSI Steel Design Mobile Application** ได้ P_n (H100x50)
= 1.59T หรือ P_{allow} (ASD) = $1.59/2 = 0.8T < 1T$ **Not OK**
- **เพิ่มขนาด Column bracing** เป็น H100x100x6x8 จะได้ $P_n =$
14.4T หรือ P_{allow} (ASD) = $14.4/2 = 7.2T > 1T$ **OK**
- ตรวจสอบขนาด Column bracing ว่า **Stiffness** เพียงพอหรือไม่
 β_{br} (ASD) = $\Omega (8P_r/L_{br}) = 2 \cdot (8 \cdot 100/3) = 533$ T/m = 5,333
kg/cm เทียบกับ Axial stiffness ของ Column bracing = $\beta_b =$
 $AE/L = (21.9 \text{ cm}^2)(2,000,000 \text{ ksc})/400 \text{ cm} = 109,500$
kg/cm $> 5,333$ kg/cm **OK**



Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- **Step 1:** คำนวณ required compression force
- **Step 2:** คำนวณ required bracing force
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness



Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- **Step 1:** คำนวณ required compression force
- **Step 2:** คำนวณ required bracing force
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 1: คำนวณ required compressive strength

ASD	LRFD
$P_a = DL + LL$ $= 40 + 60 = 100 \text{ T}$	$P_u = 1.2D + 1.6L$ $= 1.2(40) + 1.6(60) = 144 \text{ T}$

Step 2: คำนวณ required brace force (required moment)

ASD	LRFD
$P_r = P_a$ $P_r = 100 \text{ T}$	$P_r = P_u$ $P_r = 144 \text{ T}$
$P_{br} = 0.01 \times P_r = 1 \text{ T}$ $M_{br} = P_r L / 4 = 1 \times 5 / 4$ $= 1,250 \text{ kg-m}$	$P_{br} = 0.01 \times P_r = 1.4 \text{ T}$ $M_{br} = P_r L / 4 = 1.4 \times 5 / 4$ $= 1,705 \text{ kg-m}$

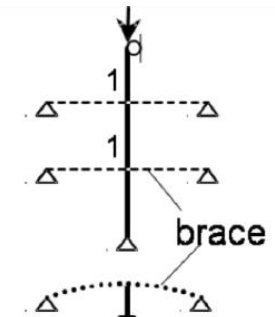
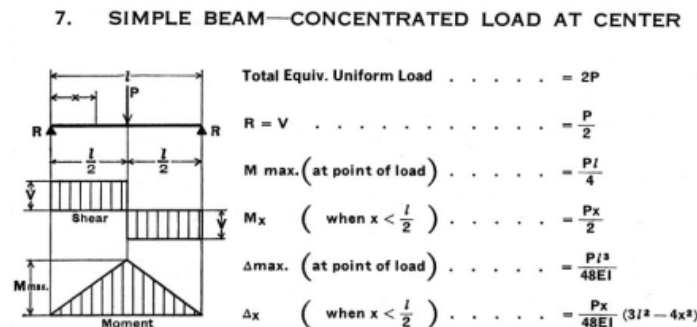
Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- **Step 1:** คำนวณ required compression force
- **Step 2:** คำนวณ required bracing force
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$\beta_{br} = \Omega * \left(8 \frac{P_r}{L_{br}} \right)$ $= 2 * \left(8 * \frac{100T}{3m} \right)$ $= 533.3 T/m$	$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} * \left(8 \frac{P_r}{L_{br}} \right)$ $= \frac{1}{0.75} * \left(8 * \frac{144T}{3m} \right)$ $= 512 T/m$



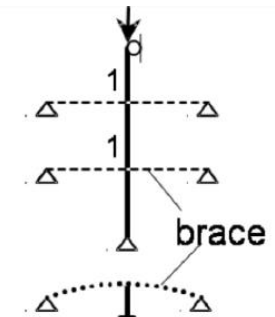
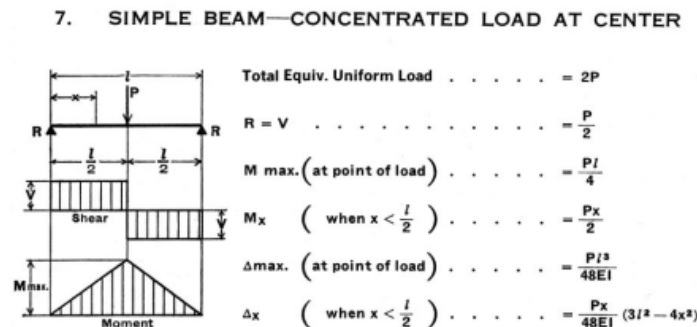
Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- **Step 1:** คำนวณ required compression force
- **Step 2:** คำนวณ required bracing force
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$I_{br} = \frac{\beta_{br}L^3}{48E}$ $= \frac{533.3 * 1,000 * 5^3}{48 * 2 \times 10^7}$ $= 6,944.01 \text{ cm}^4$	$I_{br} = \frac{\beta_{br}L^3}{48E}$ $= \frac{512 * 1,000 * 5^3}{48 * 2 \times 10^7}$ $= 6,666.67 \text{ cm}^4$



Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- **Step 1:** คำนวณ required compression force
- **Step 2:** คำนวณ required bracing force
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

6.2. COLUMN BRACING

$$\beta_i = \left(4 - \frac{2}{n}\right) \frac{P_r}{L_{br}} \quad (\text{C-A-6-5})$$

The most severe case (many braces) is adopted for the brace stiffness requirement in Equation A-6-4, i.e., $\beta_{br} = 2 \times 4P_r / L_{br}$. The brace stiffness in Equation A-6-4 can be multiplied by the following ratio to account for the actual number of braces:

$$\left(\frac{2n-1}{2n}\right)$$

In Equation A-6-4, when the actual brace spacing is less than the value of the effective length, L_c , that enables the column to reach P_r , the calculated required stiffness may become quite conservative since the stiffness equations are inversely proportional to L_{br} . In such cases, L_{br} can be taken equal to L_c . This practice constitutes a simple method of designing for partial bracing; that is, bracing that is sufficient to develop the member's required strength but is not sufficient to develop the member's strength based on $L_c = L_{br}$. This substitution is also permitted for beam point lateral bracing in Equation A-6-8.

Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- **Step 1:** คำนวณ required compression force
- **Step 2:** คำนวณ required bracing force
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

$$\frac{2n-1}{2n} = \frac{2 \times (2) - 1}{2 \times 2} = 0.75$$

ASD	LRFD
$L_{cx} = 3.97 \text{ m } (P_a = 100 \text{ T})$	$L_{cx} = 4.14 \text{ m } (P_u = 144 \text{ T})$
$\beta_{br} = 0.75 * [\Omega \times (8 \frac{P_r}{L_{br}})]$	$\beta_{br} = 0.75 * [\frac{1}{\phi} \times (8 \frac{P_r}{L_{br}})]$
$= 0.75 * [2 \times (8 * \frac{100}{3.97})]$	$= 0.75 * [\frac{1}{0.75} \times (8 * \frac{144}{4.14})]$
$= 302.26 \text{ T/m}$	$= 278.26 \text{ T/m}$
$= 3,022.6 \text{ kg/cm}$	$= 2,782.6 \text{ kg/cm}$

Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- **Step 1:** คำนวณ required compression force
- **Step 2:** คำนวณ required bracing force
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$L_{cx} = 3.97 \text{ m } (P_a = 100 \text{ T})$ $\beta_{br} = 3,022.6 \text{ kg/cm}$	$L_{cx} = 4.14 \text{ m } (P_u = 144 \text{ T})$ $\beta_{br} = 2,782.6 \text{ kg/cm}$
$I_{br} = \frac{\beta_{br} L^3}{48E}$ $= \frac{3,022.6 * 5^3}{48 * 2 * 10^7}$ $= 3,935.68 \text{ cm}^4$	$I_{br} = \frac{\beta_{br} L^3}{48E}$ $= \frac{2,782.6 * 5^3}{48 * 2 * 10^7}$ $= 3,623.18 \text{ cm}^4$

Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- **Step 1:** คำนวณ required compression force
- **Step 2:** คำนวณ required bracing force
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 4: คำนวณ available brace strength

จาก SSI Steel Design App

คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดของ HSS 100x50x3.2 mm

$$M_n = 708 \text{ kg-m}$$

Step 5: คำนวณ available brace stiffness

จาก SSI Steel Design App

คำนวณ stiffness (moment of inertia) ของ HSS 100x50x3.2 mm

$$I_x = 118.72 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 39.52 \text{ cm}^4$$



Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- **Step 1:** คำนวณ required compression force
- **Step 2:** คำนวณ required bracing force
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 6: ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Check brace strength

ASD	LRFD
$M_a = 1.25 \text{ T-m}$	$M_u = 1.705 \text{ T-m}$
$M_n/\Omega = 0.708/1.67$ $= 0.424 \text{ T-m} < M_a$ NG	$\phi M_n = 0.9*(0.708)$ $= 0.637 \text{ T-m} < M_u$ NG

Check brace stiffness

ASD	LRFD
$I_{br} = 3,935.68 \text{ cm}^4$	$I_{br} = 3,623.18 \text{ cm}^4$
$I_x = 118.72 \text{ cm}^4 < I_{br}$ NG	$I_x = 118.72 \text{ cm}^4 < I_{br}$ NG

ต้องเพิ่มขนาดของ bracing member (HSS100x50x3.2 ไม่พอ)

Column lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของเสาท่อนเหล็ก HSS 300x200x12 mm ยาว 9 เมตร ผลิตจาก SS400 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวเสา โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 40 และ 60 Tons ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อนเหล็ก HSS 100x50x3.2 mm พาดระหว่าง support ที่ห่างกัน 5 m ในลักษณะประคอง
- **Step 1:** คำนวณ required compression force
- **Step 2:** คำนวณ required bracing force
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 6: ตรวจสอบ brace strength & stiffness

เพิ่มขนาดของ bracing member เป็น HSS250x150x6.0



Check brace strength

ASD	LRFD
$M_a = 1.25 \text{ T-m}$	$M_u = 1.705 \text{ T-m}$
$M_n/\Omega = 9.3/1.67$ $= 5.57 \text{ T-m} > M_a$ OK	$\phi M_n = 0.9*(9.3)$ $= 8.37 \text{ T-m} > M_u$ OK

Check brace stiffness

ASD	LRFD
$I_{br} = 3,935.68 \text{ cm}^4$	$I_{br} = 3,623.18 \text{ cm}^4$
$I_x = 4,028 \text{ cm}^4 > I_{br}$ OK	$I_x = 4,028 \text{ cm}^4 > I_{br}$ OK



Design for Flexural Members

#WeLoveSteelConstruction

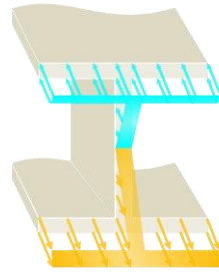


Steel Beam Design Concept

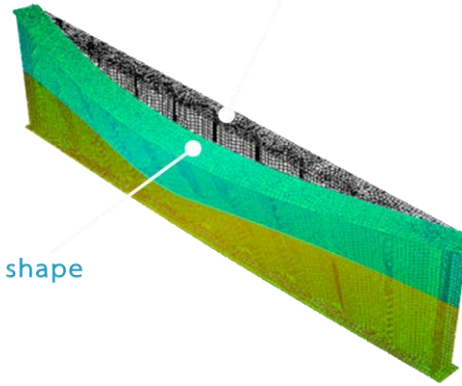
#WeLoveSteelConstruction

- Beam มีพฤติกรรมโดยรวม ครึ่งหนึ่งเป็นเสา รับ compression อีกครึ่งเป็นเคเบิล รับ tension ทั้ง compression และ tension ฆาต่อกันที่แกนสะเทิน

Beam Flange under Compression



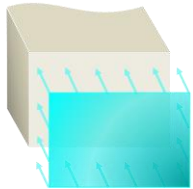
Undeformed shape



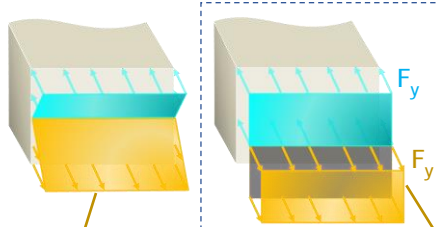
Buckled shape

- Beam ที่การค้ำยันด้าน compression ไม่เพียงพอ ส่วนที่เป็น compression zone อาจเกิดการ buckle รอบ weak axis แต่ถูก tension zone รั้งไว้จนเกิด weak axis lateral buckling ได้อย่างไม่อิสระ แต่จะเกิดแบบบิดตัว

Column



Beam

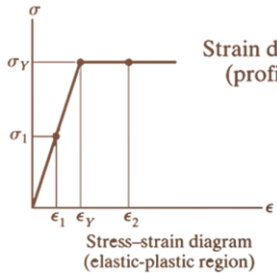
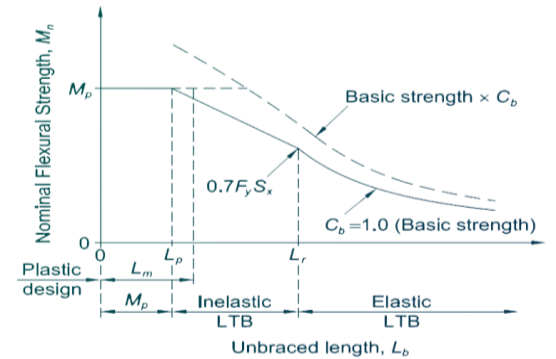


Failure mode: Yield (Y)

$$M_n = M_p = Z_x \cdot F_y$$

Failure mode: Lateral Torsional Buckling (LTB)

M_n ขึ้นกับ unbraced length (L_b) และ moment gradient (C_b)



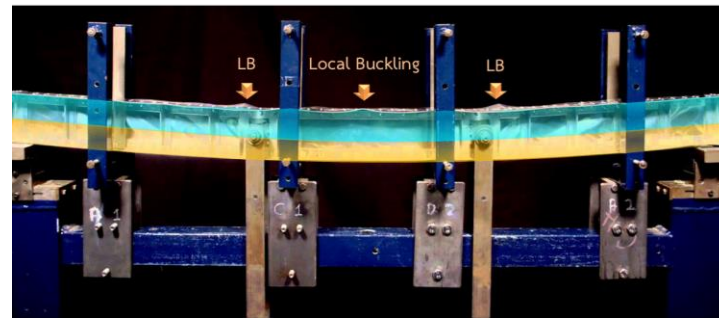
Strain distribution (profile view)

Plastic - normal stress ถึง F_y stress ไม่เพิ่มอีก แต่เกิด strain และเมื่อรับแรงเพิ่มก็ทำให้จุดอื่นๆ เกิด stress = F_y

Elastic - normal stress ยังไม่ถึง F_y stress เป็นสัดส่วนกับ strain (เป็น 0 ที่แกนสะเทิน มากสุดที่ขอบ)

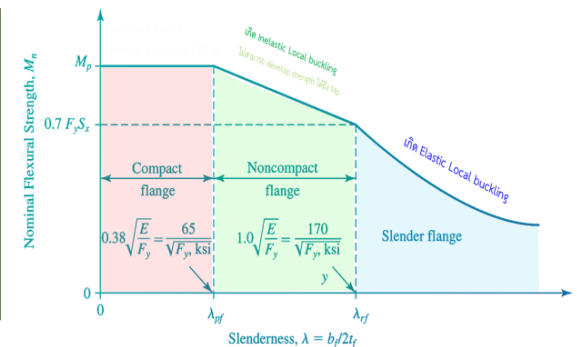
- Beam element ที่รับ compression บางชะลุด กำหนดระดับความชะลุดตามอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา (b/t) เป็น 3 ระดับ (1) compact (2) non compact และ (3) slender ถ้าเป็น compact element ก็จะไม่เสียเสถียรภาพก่อนการ yield แต่ถ้า non compact หรือ slender element ก็จะทำให้เกิด buckle เฉพาะที่ก่อนเกิด yield (ทำให้ไม่สามารถรับแรงถึง yield ที่ $M_p = Z_x \cdot F_y$ ได้)

- Steel เป็น ductile material มีพฤติกรรมที่เมื่อรับแรงดึง เกิด normal stress ก็จะเป็นสัดส่วนกับการเสียรูป strain ในลักษณะเชิงเส้น (linear elastic) จนถึงจุด yield F_y เมื่อเลยจุด F_y จะเปลี่ยนเป็น nonlinear และไม่ elastic คือเมื่อเอาแรงออกจะไม่กลับสู่สภาพเดิม พฤติกรรมนี้จะถูก simplify ให้เป็น elastic เมื่อถึง F_y และหากเลยจุดนี้จะเป็น plastic คือไม่สามารถรับแรงเพิ่มได้อีก เรียกว่า elastic-perfectly plastic material



Failure mode: Local Buckling (LB)

M_n ขึ้นกับ b/t ของ flange ($b_f/2t_f$) และ web (h/t_w)



(1) ตรวจสอบหน้าตัด Compact (C)/ Non-Compact (NC)/ Slender (S) วสท.011038 บทที่ 2

ตาราง 2.4.1-2 อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา องค์การรับโมเมนต์คด

อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาขององค์ประกอบรับแรงอัดองค์การรับโมเมนต์คด

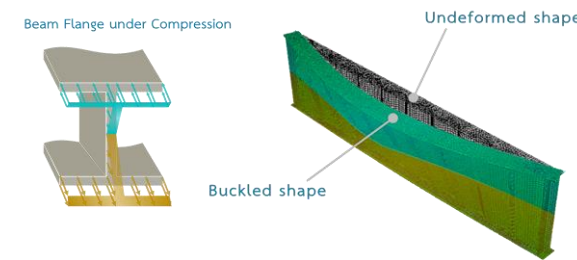
กรณี	ลักษณะขององค์ประกอบ	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา	ค่าจำกัดของอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา		ตัวอย่าง
			λ_p อัดแน่น/ไม่อัดแน่น	λ_r ไม่อัดแน่น/ชะลุด	
10	ปีกของเหล็กรูปทรงตัว I เหล็กรูปราง และเหล็กรูปทรงตัว T	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
11	ปีกขององค์การประกอบรูปทรงตัว I แบบผสมคานรองแนบและแบบผสมคานเดี่ยว	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$	
12	ขาของเหล็กรูปตัว T	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
13	ปีกของเหล็กรูปทรงตัว I ทั้งหมด และปีกของเหล็กรูปรางสำหรับโมเมนต์คดในแกนรอง	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
14	ขาของเหล็กรูปทรงตัว T	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.52 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
15	เสาของเหล็กรูปทรงตัว I แบบผสมคานรองแนบ และเสาของเหล็กรูปราง	h/t_w	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
16	เสาของเหล็กรูปทรงตัว I แบบผสมคานรองแนบเดี่ยว	h/t_w	$\frac{hc}{(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09) \sqrt{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$	

อัตราส่วนความกว้างต่อความหนาขององค์ประกอบรับแรงอัด องค์การรับโมเมนต์คด

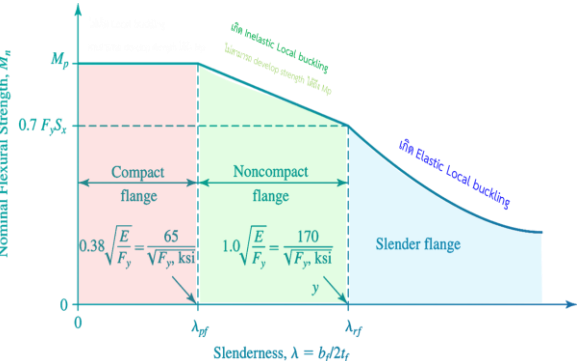
กรณี	ลักษณะขององค์ประกอบ	อัตราส่วนความกว้างต่อความหนา	ค่าจำกัดของอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา		ตัวอย่าง
			λ_p อัดแน่น/ไม่อัดแน่น	λ_r ไม่อัดแน่น/ชะลุด	
17	ปีกของเหล็กรูปท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
18	ผนังปีกของปีกและโดยเพิ่มระหว่างแนวของตัวท่อหรือข้อเชื่อม	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
19	เสาของเหล็กรูปท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า และเหล็กรูปท่อ	h/t	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
20	เหล็กรูปท่อกลม	D/t	$0.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.31 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
21	ปีกของเหล็กรูปท่อ	b/t	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

ตาราง 6.1-1 ตารางตัวเลือกสำหรับการเลือกหัวข้อบทที่ 6 (ต่อ)

หัวข้อในบทที่ 6	หน้าตัด	ความชะลุดของปีก	ความชะลุดของเสา	สถานะขีดจำกัด
6.2		C	C	Y, LTB
6.3		NC, S	C	LTB, FLB
6.4		C, NC, S	C, NC	CFY, LTB, FLB, TFY
6.5		C, NC, S	S	CFY, LTB, FLB, TFY



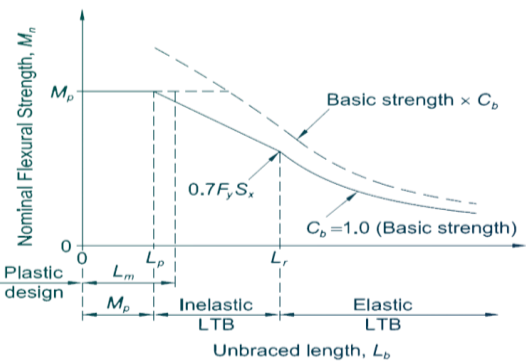
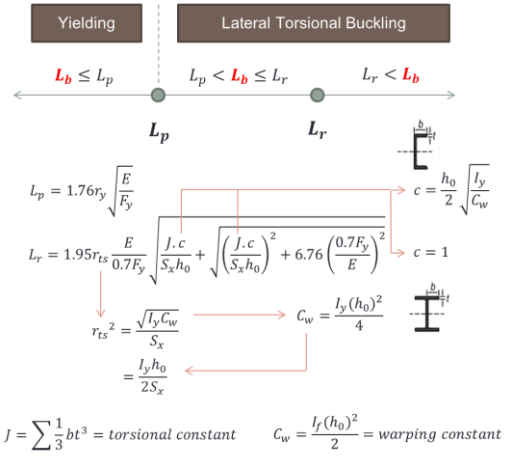
Steel Beam Design Procedure #WeLoveSteelConstruction



(2) ตรวจสอบพฤติกรรมคาน วสท.011038 บทที่ 6 ว่าจะใช้ สมการตาม 6.2 6.3 6.4 หรือ 6.5 ขึ้นกับพฤติกรรมตามข้อ (1) โดยส่วนใหญ่สำหรับเหล็กรูปพรรณรีดร้อน H-beam มักจะเป็นไปตาม 6.2 หรือ 6.3 แต่สำหรับ PEB หรือ plate girder อาจเป็นไปตาม 6.4 หรือ 6.5 ขึ้นกับ web slenderness

Optional

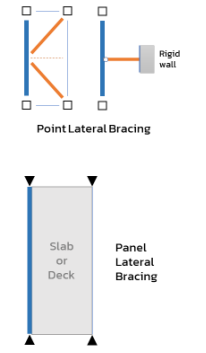
อาจพิจารณา moment gradient เพื่อเพิ่มค่ากำลังรับโมเมนต์วิกฤติ สำหรับกรณี LTB: $M_{cr,LTB}$ ตามสมการใน 6.1

$$C_b = \frac{12.5 M_{max}}{2.5 M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$


ตรวจสอบ strength และ stiffness ของระบบการค้ำยันทางข้าง จำแนกเป็น lateral brace vs. torsional brace

Beam lateral bracing - 2

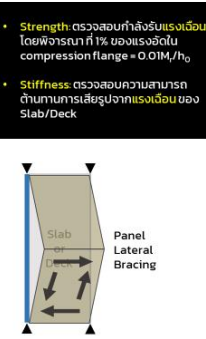
- การค้ำยันทางข้างสำหรับคานประเภทที่ 1 Lateral bracing
- ขณะที่เกิด beam buckling คานจะไม่ buckle ออกทางข้าง ระบบ bracing มีความสามารถต้าน "lateral translation" (แต่คานหลัก สิวฟ้า อาจบิด ตัวเกิด torsion ได้)
- 1a) Panel lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย slab/deck ที่เชื่อมเข้ากับจุดที่แทนจะไม่เคลื่อนตัวออกทางข้าง
- 1b) Point lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานขอยที่ต่อเข้ากับ rigid wall



Beam lateral bracing - 3

- Strength ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดโดยพิจารณาที่ 1% ของแรงอัดใน compression flange = $0.01M/h_0$
- Stiffness ตรวจสอบความสามารถต้านทานการเสียรูปจากแรงอัดของ Slab/Deck

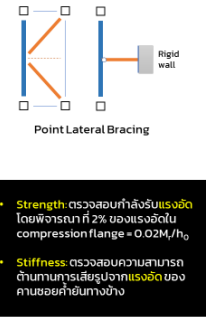
- 1a) Panel lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย slab/deck ที่เชื่อมเข้ากับจุดที่แทนจะไม่เคลื่อนตัวออกทางข้าง



Beam lateral bracing - 4

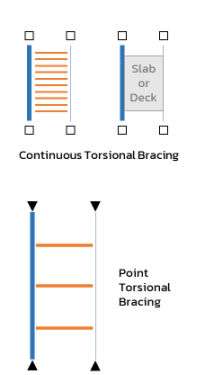
- In the direction perpendicular to the longitudinal axis of the beam, the required strength of end and intermediate point braces is
- and, the required stiffness of the brace is

- 1b) Point lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานขอยที่ต่อเข้ากับ rigid wall



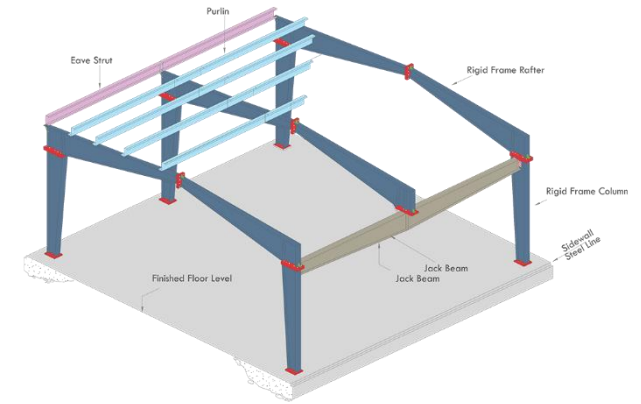
Beam lateral bracing - 5

- การค้ำยันทางข้างสำหรับคานประเภทที่ 2 Torsional bracing
- ขณะที่เกิด beam lateral buckling โดยพฤติกรรม จะเกิดการบิด twist กลายเป็น lateral torsional buckling ไปพร้อม ๆ กัน
- 2a) Point torsional bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานขอยที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน
- 2b) Continuous torsional bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย ตง (คานขอยวางตั้ง) หรือ deck ที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน



Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



ตัวอย่าง ออกแบบ Built-up beam ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 12 เมตร ที่เป็น transferred girder รับ Concentrated DL 3 ตัน และ LL 6 ตัน จาก Rafter สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของคานเป็น pin และ จุดต่อ Rafter กับ Beam เป็น lateral brace point

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัด Built-up beam และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง (กำลังที่ต้องการ)
- **Step 3:** ระบุลักษณะของหน้าตัด
- **Step 4:** คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ
- **Step 5:** คำนวณกำลังรับแรงเฉือนระบุ
- **Step 6:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง
- **Step 7:** ตรวจสอบ deflection limit

Step 1: สมมติ ขนาด Built-up beam:
 $d \sim L/22 = 12/22 = 0.545 \text{ m}$
 กำหนดขนาด H 540x220x12x6

Step 2: หาผลรวมของแรง (กำลังที่ต้องการ)

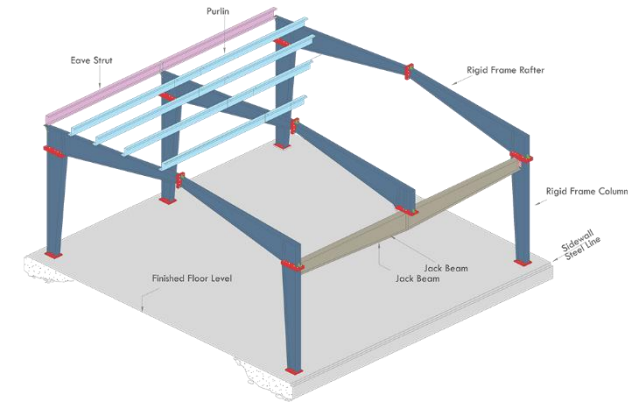


ASD	LRFD
$P_a = DL+LL$ $= 3+6$ $= 9 \text{ T}$	$P_u = 1.2D + 1.6L$ $= 1.2(3)+1.6(6)$ $= 13.2 \text{ T}$
$M_a = P_a L/4$ $= 9*12/4$ $= 27 \text{ T-m}$	$M_u = P_u L/4$ $= 13.2*12/4$ $= 39.6 \text{ T-m}$
$V_a = P_a/2$ $= 9/2$ $= 4.5 \text{ T}$	$V_u = P_u/2$ $= 13.2/2$ $= 6.6 \text{ T}$

Calculation	
Full Report	Export
Material Properties	
I_{yc}	1,064.8 cm ⁴
I_x	43,675.23 cm ⁴
I_y	2,130.53 cm ⁴
J	29.15 cm ⁴
Z_x	1,793.3 cm ³
S_x	1,617.6 cm ³
A_s	83.76 cm ²
r_x	22.83 cm
h	51.6 cm
r_t	5.81 cm
h_0	52.8 cm
v	27 cm
r_{ts}	5.9 cm
a_w	1.17
K_c	0.43

Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



ตัวอย่าง ออกแบบ Built-up beam ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 12 เมตร ที่เป็น transferred girder รับ Concentrated DL 3 ตัน และ LL 6 ตัน จาก Rafter สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของคานเป็น pin และ จุดต่อ Rafter กับ Beam เป็น lateral brace point

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัด Built-up beam และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง (กำลังที่ต้องการ)
- **Step 3:** ระบุลักษณะของหน้าตัด
- **Step 4:** คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ
- **Step 5:** คำนวณกำลังรับแรงเฉือนระบุ
- **Step 6:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง
- **Step 7:** ตรวจสอบ deflection limit

Step 3: ระบุลักษณะของหน้าตัด H 540x220x12x6

$$\lambda_f = b_f / 2t_f = 220 / 2 * 12 = 9.17$$

$$\lambda_{pf} = 0.38 \sqrt{E / F_y} = 8.83$$

$$\lambda_{rf} = 0.95 \sqrt{(k_c E / F_L)} = 17.3$$

Non-compact flange

$$\lambda_w = (d - 2t_f) / t_w = (540 - 2 * 12) / 6 = 86$$

$$\lambda_{pw} = 3.76 \sqrt{E / F_y} = 87.4$$

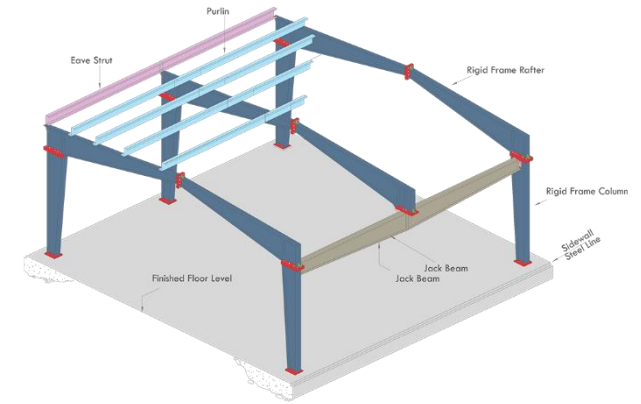
$$\lambda_{rw} = 5.70 \sqrt{E / F_y} = 133$$

Compact web

Section In Chapter F	Cross Section	Flange Slenderness	Web Slenderness	Limit States
F2		C	C	Y, LTB
F3		NC, S	C	LTB, FLB
F4		C, NC, S	C, NC	CFY, LTB, FLB, TFY
F5		C, NC, S	S	CFY, LTB, FLB, TFY

Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



ตัวอย่าง ออกแบบ Built-up beam ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 12 เมตร ที่เป็น transferred girder รับ Concentrated DL 3 ตัน และ LL 6 ตัน จาก Rafter สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของคานเป็น pin และ จุดต่อ Rafter กับ Beam เป็น lateral brace point

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัด Built-up beam และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง (กำลังที่ต้องการ)
- **Step 3:** ระบุลักษณะของหน้าตัด
- **Step 4:** คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ
- **Step 5:** คำนวณกำลังรับแรงเฉือนระบุ
- **Step 6:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง
- **Step 7:** ตรวจสอบ deflection limit

Step 4: คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ

$$C_b = 12.5(1)/[2.5(1)+3(1/4)+4(1/2)+3(3/4)] = 1.67$$

$$L_p = 1.76r_y \sqrt{E/F_y} = 2.06 \text{ m}$$

$$L_r = 1.95r_{ts} \sqrt{(E/0.7F_y) \left[(J_c/S_x h_o) + \sqrt{\{(J_c/S_x h_o)^2 + 6.76(0.7F_y/E)^2\}} \right]}$$
$$= 5.42 \text{ m}$$

$$L_b = 6.0 \text{ m} \quad \text{คานมีพฤติกรรม Elastic Lateral Torsional Buckling}$$

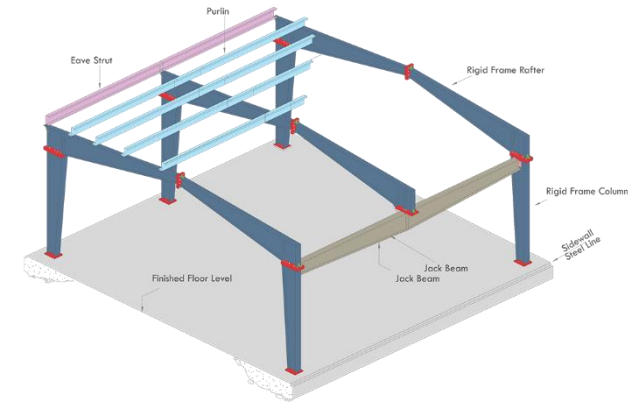
$$M_{LTB} = C_b * \pi^2 E / (L_b / r_{ts})^2 \sqrt{[1 + 0.078 (J_c / S_x h_o) * (L_b / r_{ts})^2]} * S_x$$
$$= 1.67 * 2,153 * 1,618 \text{ kg-cm}$$
$$= 58,175 \text{ kg-m} \quad (\text{ถ้าพิจารณา } C_b = 1 \text{ จะได้ } M_{LTB} = 34,836 \text{ kg-m})$$

$$M_{FLB} = M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) / (\lambda_{rf} - \lambda_{pf}) * (\lambda_f - \lambda_{pf})$$
$$= [1,793 - (1,793 - 0.7 * 1,618) / (17.3 - 8.83) * (9.17 - 8.83)] * 3,700$$
$$= 65,360 \text{ kg-m}$$

$$M_n = \text{Min} (M_{LTB}, M_{FLB})$$
$$= 58,175 \text{ kg-m}$$

Beam Design Example

#WeLoveSteelConstruction



ตัวอย่าง ออกแบบ Built-up beam ที่ใช้เหล็กเกรด F_y 370 MPa (HY370) ยาว 12 เมตร ที่เป็น transferred girder รับ Concentrated DL 3 ตัน และ LL 6 ตัน จาก Rafter สมมติปลายทั้ง 2 ด้านของคานเป็น pin และ จุดต่อ Rafter กับ Beam เป็น lateral brace point

- **Step 1:** ประมาณการขนาดหน้าตัด Built-up beam และหา section property
- **Step 2:** คำนวณผลรวมของแรง (กำลังที่ต้องการ)
- **Step 3:** ระบุลักษณะของหน้าตัด
- **Step 4:** คำนวณกำลังรับโมเมนต์ดัดระบุ
- **Step 5:** คำนวณกำลังรับแรงเฉือนระบุ
- **Step 6:** ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง
- **Step 7:** ตรวจสอบ deflection limit

Step 5: คำนวณกำลังรับแรงเฉือนระบุ

$$\begin{aligned} V_n &= 0.6F_y A_v C_v = 0.6F_y A_w [1.10 \sqrt{(k_v E / F_y)}] / (h / t_w) \\ &= 0.6 * 3700 * (54 * 0.6) * [1.10 * \sqrt{(5.34 * 200000 / 370)}] / (51.6 / 0.6) \\ &= 49,428 \text{ kg} \end{aligned}$$

Step 6: ตรวจสอบความสามารถในการรับแรง

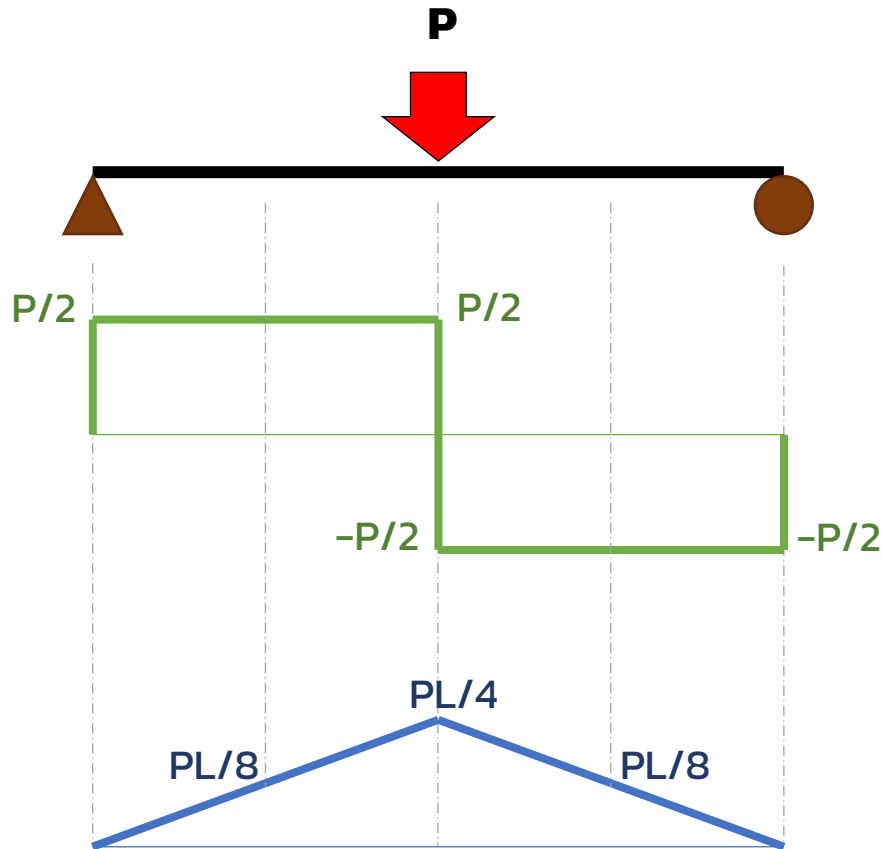
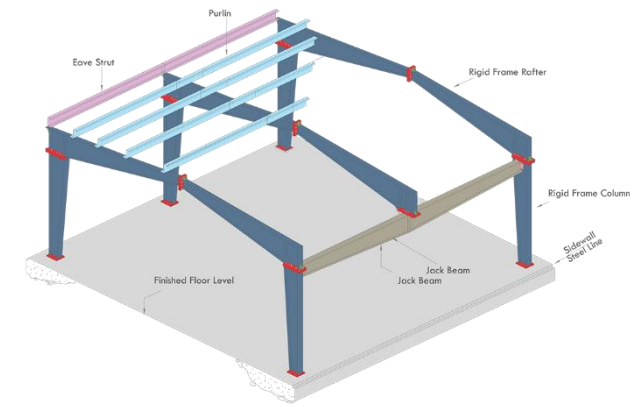
ASD	LRFD
$M_a = 27,000 \text{ kg-m}$	$M_u = 39,600 \text{ kg-m}$
$M_n / \Omega = 58,175 / 1.67 = 34,836 \text{ kg-m}$	$\gamma M_n = 0.9 * 58,175 = 52,358 \text{ kg-m}$
$V_a = 4,500 \text{ kg}$	$V_u = 6,600 \text{ kg}$
$V_n / \Omega = 49,428 / 1.67 = 29,598 \text{ kg}$	$\gamma V_n = 0.9 * 49,387 = 44,486 \text{ kg}$

Step 7: ตรวจสอบ deflection limit

$$\begin{aligned} \Delta_{TL} &= PL^3 / 48EI = 9,000 * 1,200^3 / (48 * 2000000 * 43,675) = 3.71 \text{ cm} \\ \Delta_{LL} &= 2.47 \text{ cm} \end{aligned}$$

Beam Optimization

#WeLoveSteelConstruction



Midspan: $d = 420 \text{ mm}$
 $M_u = 39,600 \text{ kg-m}$

Quarter: $d = 360 \text{ mm}$
 $M_u = 19,800 \text{ kg-m}$

Support: $d = 300 \text{ mm}$
 $V_u = 6,600 \text{ kg}$

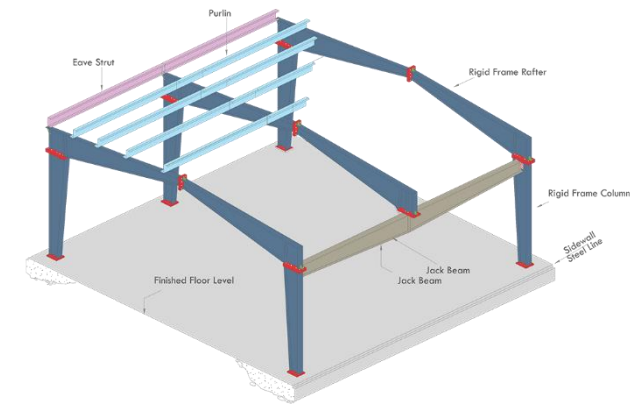
Calculation	
Capacity	Full Report
Plastic Bending Moment	48,557 kg-m
Lateral Torsional Buckling Moment	47,883 kg-m
Flange Local Buckling Moment	47,953 kg-m
Factored Nominal Moment (ϕMn)	43,095 kg-m
Factored Nominal Shear Strength (ϕVn)	45,085 kg

Calculation	
Capacity	Full Report
Plastic Bending Moment	40,258 kg-m
Lateral Torsional Buckling Moment	43,031 kg-m
Flange Local Buckling Moment	39,798 kg-m
Factored Nominal Moment (ϕMn)	35,818 kg-m
Factored Nominal Shear Strength (ϕVn)	43,157 kg

Calculation	
Capacity	Full Report
Plastic Bending Moment	32,360 kg-m
Lateral Torsional Buckling Moment	36,632 kg-m
Flange Local Buckling Moment	32,022 kg-m
Factored Nominal Moment (ϕMn)	28,820 kg-m
Factored Nominal Shear Strength (ϕVn)	35,964 kg

Beam Optimization

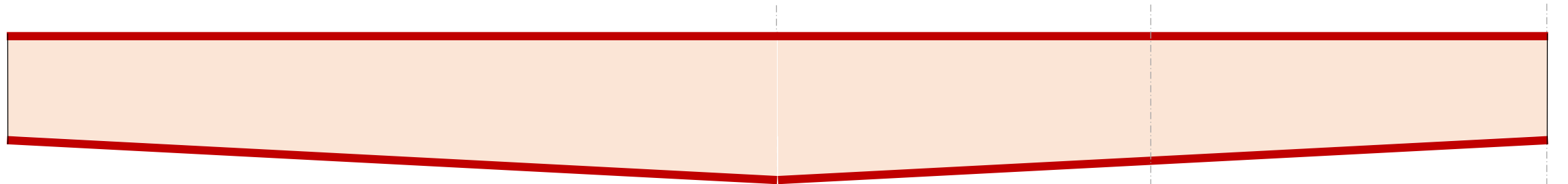
#WeLoveSteelConstruction



Midspan: $d = 420 \text{ mm}$
 $M_u = 39,600 \text{ kg-m}$

Quarter: $d = 360 \text{ mm}$
 $M_u = 19,800 \text{ kg-m}$

Support: $d = 300 \text{ mm}$
 $V_u = 6,600 \text{ kg}$



Midspan

Quarter pt.

Support

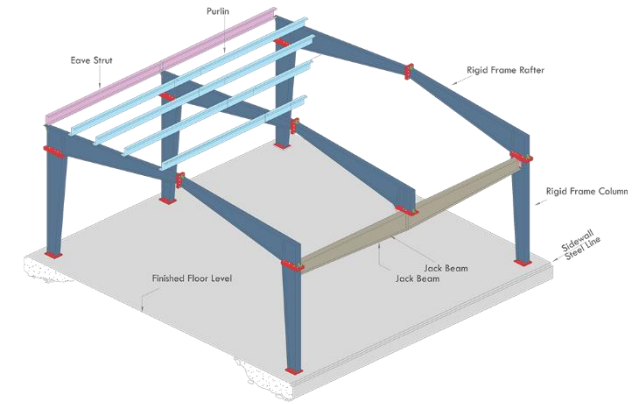
Factored Nominal Moment (ϕM_n)
43,095
kg-m

Factored Nominal Moment (ϕM_n)
35,818
kg-m

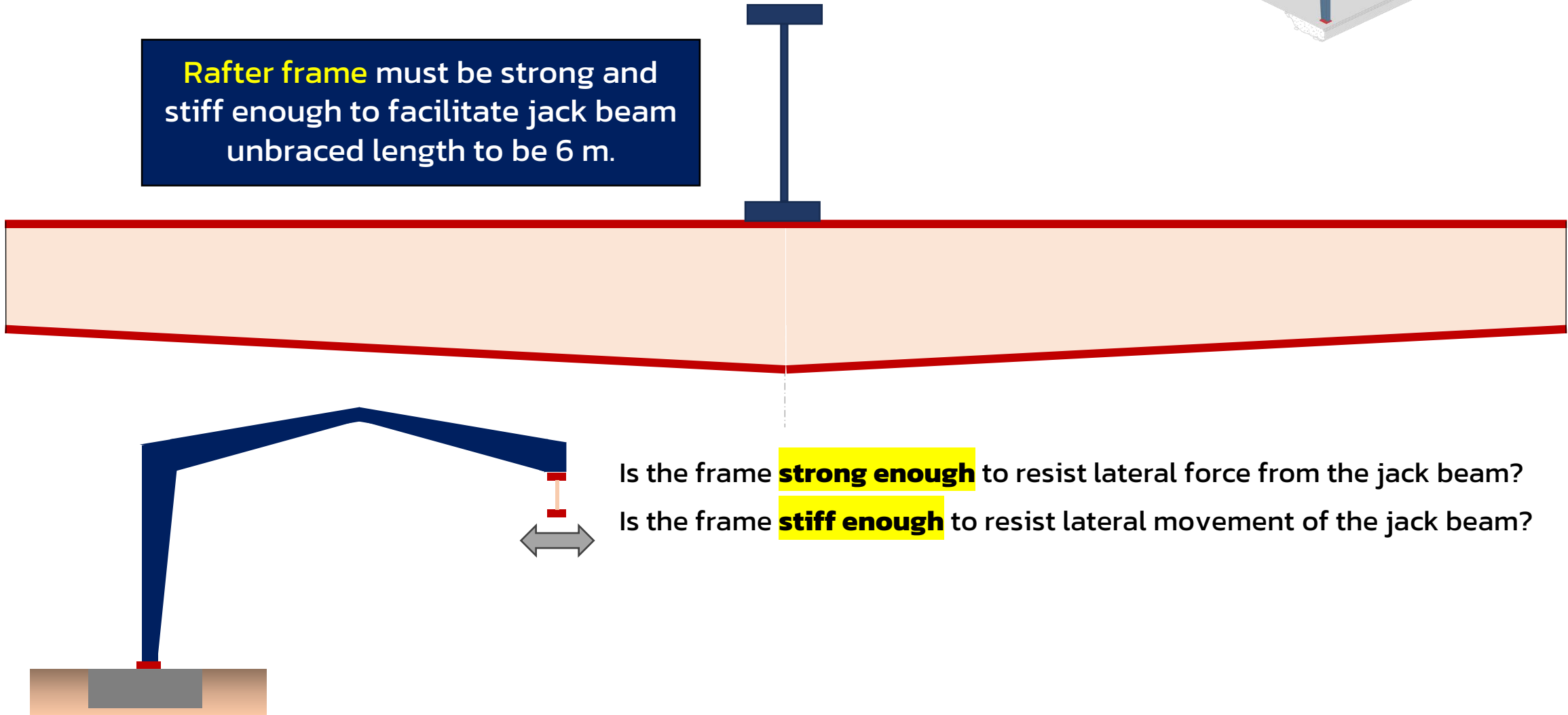
Factored Nominal Shear Strength (ϕV_n)
35,964
kg

Beam Lateral Bracing

#WeLoveSteelConstruction



Rafter frame must be strong and stiff enough to facilitate jack beam unbraced length to be 6 m.



Is the frame **strong enough** to resist lateral force from the jack beam?
Is the frame **stiff enough** to resist lateral movement of the jack beam?

การค้ำยันทาง
ข้างสำหรับคาน

Beam lateral bracing

#WeLoveSteelConstruction




ภาคผนวก ฉ การค้ำยันเพื่อเสถียรภาพขององค์อาคาร

ภาคผนวกนี้กล่าวถึงกำลังและสติฟเนสต่ำสุดที่จำเป็นเพื่อใช้กำหนดตำแหน่งที่ถูกค้ำยันในเสา คาน หรือคาน-เสา โดยเนื้อหาประกอบด้วย 4 ข้อหลัก คือ

ฉ.1 ข้อบังคับทั่วไป

ฉ.2 ค้ำยันในเสา

 ฉ.3 ค้ำยันในคาน

ฉ.4 ค้ำยันในคาน-เสา

หมายเหตุ: ข้อกำหนดด้านเสถียรภาพสำหรับระบบต้านแรงด้านข้างได้แสดงไว้ในบทที่ 3 ส่วนข้อบังคับในภาคผนวกนี้ให้ใช้สำหรับค้ำยันที่โดยทั่วไปแล้วไม่ได้รวมอยู่ในแบบจำลองการวิเคราะห์โครงสร้างโดยรวม แต่มีไว้เพื่อให้เสา คาน และคาน-เสามีเสถียรภาพ

ฉ.3 ค้ำยันในคาน

คานต้องถูกยึดรั้งด้านการหมุนรอบแกนตามยาวที่ตำแหน่งฐานรองรับ ในกรณีที่มีการออกแบบสมมติให้ตำแหน่งที่ถูกค้ำยันอยู่ระหว่างตำแหน่งฐานรองรับ การค้ำยันด้านข้าง การค้ำยันด้านการบิด หรือการค้ำยันทั้งสองแบบรวมกัน ต้องป้องกันไม่ให้เกิดการขจัดสัมพัทธ์ของปีกบนและล่าง (เพื่อป้องกันการบิด) สำหรับกรณีขององค์อาคารภายใต้การดัดโค้งคู่ (Double Curvature) จุดเปลี่ยนเว้าไม่ถือว่าเป็นตำแหน่งที่ถูกค้ำยันยกเว้นจะมีการค้ำยันที่บริเวณนั้น

ข้อกำหนดที่ระบุไว้ในข้อนี้ใช้สำหรับการค้ำยันองค์อาคารซึ่งมีเหลี่ยมรูปทรงตัว I ที่สมมาตรแกนเดียวและสมมาตรทั้งสองแกน ภายใต้การดัดในระนาบที่สมมาตรและไม่มีแรงกระทำตามแกน

ฉ.3.1 การค้ำยันด้านข้าง การค้ำยันเพื่อป้องกันไม่ให้ buckle ออกทางข้าง ??

การค้ำยันด้านข้างต้องติดตั้งที่หรือบริเวณที่ใกล้กับปีกคานที่รับแรงอัด ยกเว้นในกรณีดังต่อไปนี้

- (1) ที่ปลายอิสระของคานยื่น ค้ำยันด้านข้างต้องติดตั้งที่หรือบริเวณที่ใกล้กับปีกบนของคานที่รับแรงดึง
- (2) สำหรับคานที่ถูกค้ำยันภายใต้การดัดสองโค้ง ค้ำยันต้องติดตั้งที่หรือบริเวณที่ใกล้กับปีกทั้งสองที่ตำแหน่งที่ใกล้กับจุดเปลี่ยนเว้ามากที่สุด

สำหรับการค้ำยันด้านข้างของคาน อนุญาตให้ใช้การค้ำยันแบบแผงหรือการค้ำยันแบบจุดก็ได้

ฉ.3.1.1 การค้ำยันแบบแผง อะไรคือการค้ำยันแบบแผง??

ระบบการค้ำยันแบบแผงต้องมีกำลังและสติฟเนสตามที่ระบุไว้ในข้อนี้ รอยต่อของระบบค้ำยันกับองค์อาคารต้องมีกำลังตามที่ระบุไว้ในข้อ ฉ.3.1.2 สำหรับจุดค้ำยัน ณ บริเวณดังกล่าว

หมายเหตุ: ผลกระทบของสติฟเนสของรอยต่อที่มีต่อระบบการค้ำยันแบบแผงต้องประเมินตามที่ระบุไว้ใน

หมายเหตุของข้อ ฉ.2.1 กำลังรับแรงเฉือนของโครงสร้างระบบค้ำยันคิดอย่างไร??

กำลังรับแรงเฉือนที่ต้องการของระบบค้ำยันคำนวณจาก

ต้องเช็คทั้ง กำลังและ สติฟเนส??

$$V_{br} = 0.01 \left(\frac{M_r C_d}{h_o} \right) \quad (ฉ-5)$$

สติฟเนสแบบเดือของโครงสร้างระบบค้ำยันคิดอย่างไร??

และสติฟเนสแบบเดือที่ต้องการของระบบค้ำยันคำนวณจาก

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{4M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \text{ (LRFD)} \quad (ฉ-6ก)$$

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{4M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \text{ (ASD)} \quad (ฉ-6ข)$$

โดยที่

- C_d = 1.0 ในทุกกรณียกเว้น
- = 2.0 สำหรับค้ำยันที่อยู่ใกล้จุดเปลี่ยนเร็วมากที่สุด สำหรับกรณีคานภายใต้การดัดสองโค้ง
- L_{br} = ระยะที่ปราศจากการค้ำยันภายในแผงที่พิจารณา (มม.)
- M_r = กำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการของคานภายในแผงที่พิจารณา โดยใช้การจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกใน LRFD หรือ ASD (นิวตัน-มม.)
- h_o = ระยะระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของปีกคาน (มม.)

$$\phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

ฉ.3.1.2 การค้ำยันแบบจุด อะไรคือการค้ำยันแบบจุด ต่างจากการค้ำยันแบบแผลงอย่างไร??

กำลังที่ต้องการของค้ำยันแบบจุดที่ปลายและที่ตำแหน่งภายใน ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนตามยาวของคานคำนวณจาก

ทำไมคิดกำลังต้านทานแรงในแนวแกน??

$$P_{br} = 0.02 \left(\frac{M_r C_d}{h_o} \right) \quad (ฉ-7)$$

และสตีฟเนสที่ต้องการของค้ำยันคำนวณจาก

ทำไมคิดคิดสตีฟเนสการต้านทานแรงในแนวแกน??

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{10M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \text{ (LRFD)} \quad (ฉ-8ก)$$

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{10M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \text{ (ASD)} \quad (ฉ-8ข)$$

$$\phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega = 2.00 \text{ (ASD)}$$

โดยที่

L_{br} = ความยาวที่ปราศจากการค้ำยันที่อยู่ติดกับจุดค้ำยัน (มม.)

M_r = ค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการสูงสุดของคานในช่วงความยาวที่ปราศจากการค้ำยันที่อยู่ติดกับจุดค้ำยัน โดยใช้การจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกทุกใน LRFD หรือ ASD (นิวตัน-มม.)

ฉ.3.2 การค้ำยันต้านการบิด กรณีไหนเป็นการค้ำยันต้านทานการบิด??

ค้ำยันต้านการบิดอนุญาตให้ติดตั้งที่บริเวณใดของหน้าตัดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งที่บริเวณใกล้กับปีกคานรับแรงอัด

ฉ.3.2.1 การค้ำยันแบบจุด กรณีไหนเป็นการค้ำยันต้านทานการบิด แบบเป็นจุด??

กำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการของค้ำยัน รอบแกนตามยาวของคานคำนวณจาก

$$M_{br} = 0.02M_r \quad (ฉ-9)$$

และสติฟเนสแบบดัดที่ต้องการของค้ำยันคำนวณจาก

$$\beta_{br} = \frac{\beta_T}{\left(1 - \frac{\beta_T}{\beta_{sec}}\right)} \quad (ฉ-10)$$

โดยที่

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \frac{2.4L}{nEI_{yeff}} \left(\frac{M_r}{C_b}\right)^2 \quad (\text{LRFD}) \quad (ฉ-11ก)$$

$$\beta_{br} = \Omega \frac{2.4L}{nEI_{yeff}} \left(\frac{M_r}{C_b}\right)^2 \quad (\text{ASD}) \quad (ฉ-11ข)$$

$$\beta_{sec} = \frac{3.3E}{h_0} \left(\frac{1.5h_0t_w^3}{12} + \frac{t_{st}b_s^3}{12}\right) \quad (ฉ-12)$$

- $\frac{M_r}{C_b}$ = ค่าสูงสุดของกำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการหารด้วยตัวคูณเกรเดียนต์ของโมเมนต์ ภายในช่วงความยาวที่ปราศจากการค้ำยันที่อยู่ติดกับจุดค้ำยันโดยใช้การจัดกลุ่มน้ำหนักบรรทุกใน LRFD หรือ ASD (นิวตัน-มม.)
- b_s = ความกว้างของแผ่นเสริมสติฟเนส สำหรับแผ่นเสริมสติฟเนสแบบด้านเดียว (มม.)
- = สองเท่าของความกว้างของแผ่นเสริมสติฟเนสแต่ละชั้น สำหรับแผ่นเสริมกำลังแบบสองด้าน (มม.)
- c = ระยะจากแกนสะเทินถึงจุดที่รับหน่วยแรงอัดสูงสุด (มม.)
- n = จำนวนของตำแหน่งที่ถูกค้ำยันตลอดความยาวช่วง
- t = ระยะจากแกนสะเทินถึงจุดที่รับหน่วยแรงดึงสูงสุด (มม.)
- t_w = ความหนาของเอวคาน (มม.)
- t_{st} = ความหนาของแผ่นเสริมสติฟเนส (มม.)
- β_T = สติฟเนสที่ต้องการของระบบค้ำยันโดยรวม (นิวตัน-มม./เรเดียน)
- β_{sec} = สติฟเนสต้านการบิดเบี้ยวของเอว ซึ่งรวมผลของแผ่นเสริมกำลังตามขวางของเอวด้วย (นิวตัน-มม./เรเดียน)

ฉ.3.2.2 การค้ำยันแบบต่อเนื่อง กรณีไหนเป็นการค้ำยันต้านทานการบิด แบบต่อเนื่อง??

สำหรับการค้ำยันต้านทานการบิดแบบต่อเนื่อง ให้เป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

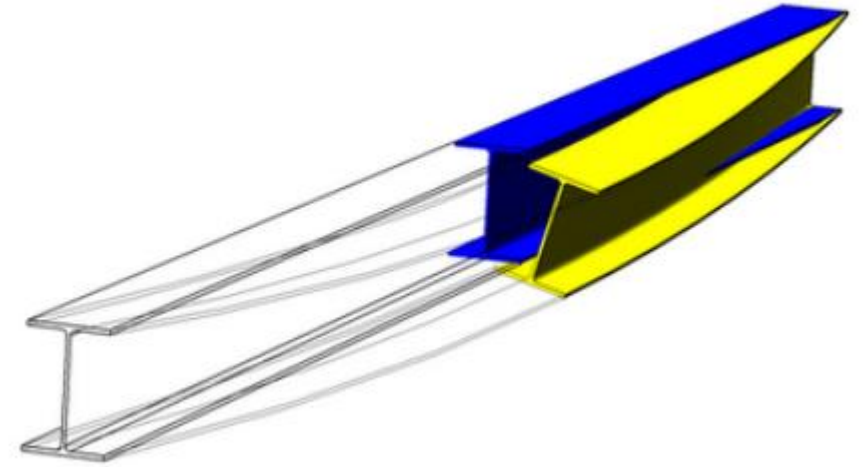
- (1) กำลังของค้ำยันที่ต้องการต่อหนึ่งหน่วยความยาวของคานคำนวณจากสมการที่ ฉ-9 ทหาร ด้วยความยาวที่ปราศจากการค้ำยันสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้กับคานซึ่งขึ้นอยู่กับค่ากำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการ M_r โดยกำลังรับโมเมนต์ดัดที่ต้องการ M_r ต้องใช้ค่าที่สูงที่สุดตลอดความยาวช่วงของคาน
- (2) สติฟเนสของค้ำยันที่ต้องการต่อหนึ่งหน่วยความยาวของคานคำนวณจากสมการที่ ฉ-10 และ ฉ-11 โดยใช้ค่า $L/n = 1.0$
- (3) สติฟเนสต้านทานการบิดเบี้ยวของเอวคำนวณจาก

$$\beta_{sec} = \frac{3.3Et_w^3}{12h_o} \quad (\text{ฉ-13})$$

Beam lateral bracing - 1

#WeLoveSteelConstruction

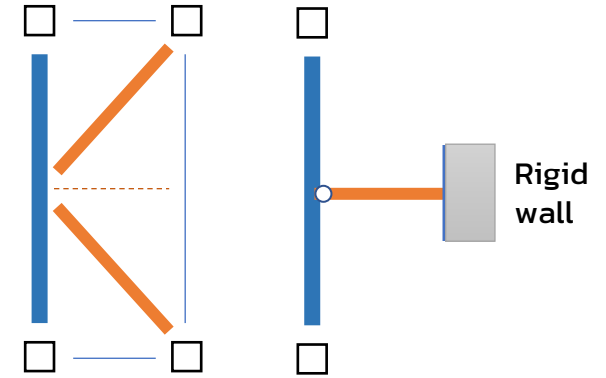
- เมื่อคานเกิดการดัดตัวจากโมเมนต์บวก (M^+) คานจะเกิด compression zone ด้านบนและ tension zone ด้านล่างซึ่ง compression zone ด้านบนนี้ ก็พยายามจะ buckling รอบแกนอ่อน
- โมเมนต์ (M^+) มาก compression ที่ top chord ยิ่งมาก ขนาดของ lateral bracing ยิ่งต้องมาก ทั้งมิติของความสามารถต้านทานแรง strength และความสามารถต้านทานการเสี้ยวรูป stiffness
- การพิจารณา เริ่มจากจำแนกประเภทการค้ำยัน ทางข้างสำหรับคาน AISC 360-16: Appendix 6 จำแนกออกเป็น 2 ประเภท



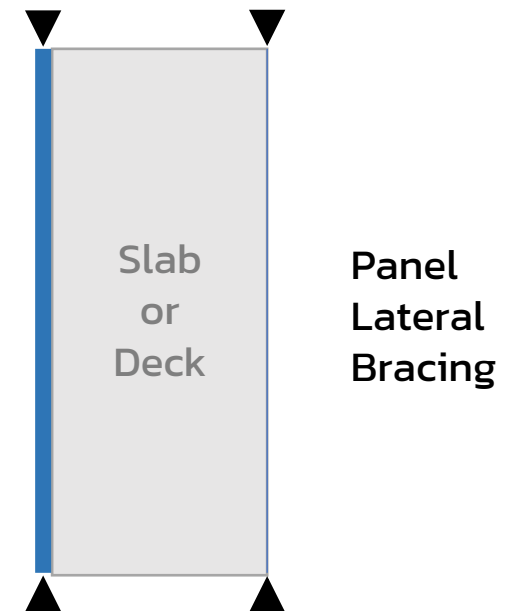
Beam lateral bracing - 2

#WeLoveSteelConstruction

- การค้ำยันทางข้างสำหรับคาน ประเภทที่ 1
Lateral bracing
- ขณะที่เกิด beam buckling คานจะไม่ buckle ออกทางข้าง ระบบ bracing มีความสามารถต้าน “lateral translation” (แต่คานหลัก สีฟ้า อาจ บิด ตัวเกิด torsion ได้)
- 1a) Panel lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย slab/deck ที่เชื่อมเข้ากับจุดที่แถบจะไม่เคลื่อนตัวออกทางข้าง
- 1b) Point lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานชอยที่ต่อเข้ากับ rigid wall



Point Lateral Bracing



Beam lateral bracing - 3

#WeLoveSteelConstruction

The required shear strength of the bracing system is

$$V_{br} = 0.01 \left(\frac{M_r C_d}{h_o} \right) \quad (\text{A-6-5})$$

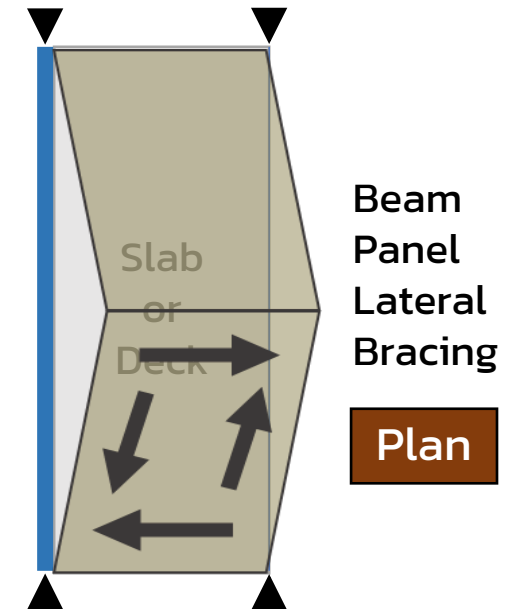
and, the required shear stiffness of the bracing system is

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{4M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \quad (\text{LRFD}) \quad (\text{A-6-6a})$$

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{4M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (\text{A-6-6b})$$

- 1a) Panel lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วย slab/deck ที่เชื่อมเข้ากับจุดที่แทบจะไม่เคลื่อนตัวออกทางข้าง

- **Strength:** ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยพิจารณาที่ 1% ของแรงอัดใน compression flange = $0.01M_r/h_o$
- **Stiffness:** ตรวจสอบความสามารถต้านทานการเสยรูปจากแรงเฉือนของ Slab/Deck



Beam lateral bracing - 4

#WeLoveSteelConstruction

In the direction perpendicular to the longitudinal axis of the beam, the required strength of end and intermediate point braces is

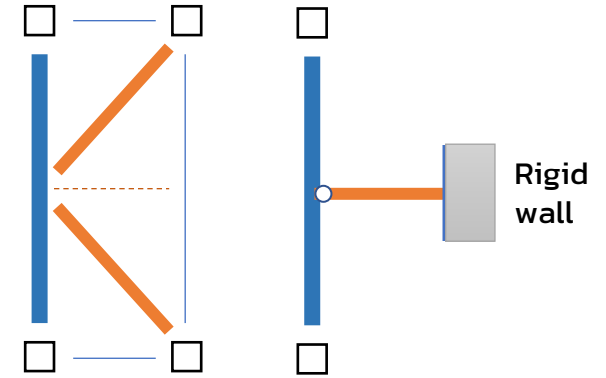
$$P_{br} = 0.02 \left(\frac{M_r C_d}{h_o} \right) \quad (\text{A-6-7})$$

and, the required stiffness of the brace is

$$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{10 M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \quad (\text{LRFD}) \quad (\text{A-6-8a})$$

$$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{10 M_r C_d}{L_{br} h_o} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (\text{A-6-8b})$$

1b) Point lateral bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานชอยที่ต่อเข้ากับ rigid wall



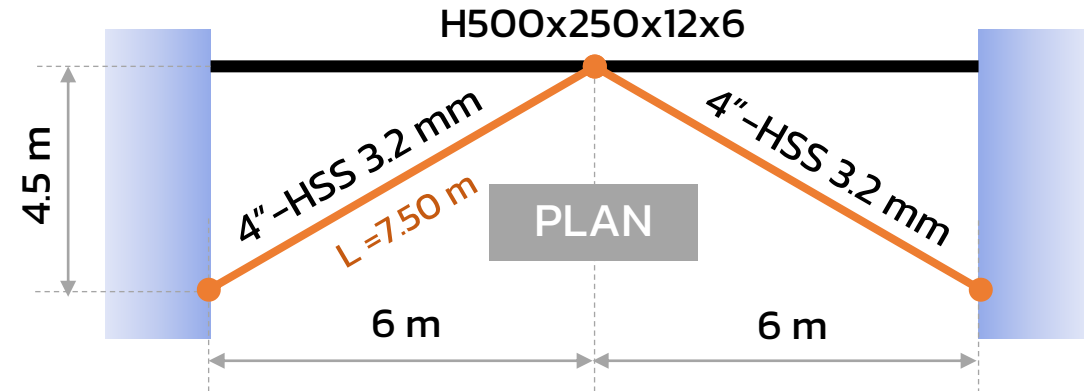
Point Lateral Bracing

- **Strength:** ตรวจสอบกำลังรับแรงอัดโดยพิจารณา ที่ 2% ของแรงอัดใน compression flange = $0.02M_r/h_o$
- **Stiffness:** ตรวจสอบความสามารถต้านทานการเสีรูปจากแรงอัดของคานชอยค้ำยันทางข้าง

Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของคานเหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อกลมกลวง HSS 4" หน้า 3.2 mm เกรด SS400
- **Step 1:** คำนวณ required strength
- **Step 2:** คำนวณ required bracing strength
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available bracing stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness



Step 1: คำนวณ required strength

ASD	LRFD
$W_a = DL+LL = 400+800$ $= 1,200 \text{ kg/m}$	$W_u = 1.2D + 1.6L = 1.2(400)+1.6(800)$ $= 1,760 \text{ kg/m}$
$M_a = W_a L^2/8$ $= 1,200 \cdot 12^2/8$	$M_u = W_u L^2/8$ $= 1,760 \cdot 12^2/8$
$M_r = 21,600 \text{ kg-m}$	$M_r = 31,680 \text{ kg-m}$
$P_{br} = 0.02 (M_r C_d / h_o)$ $= 0.02 (M_r / 47.6)$	$P_{br} = 0.02 (M_r C_d / h_o)$ $= 0.02 (M_r / 47.6)$

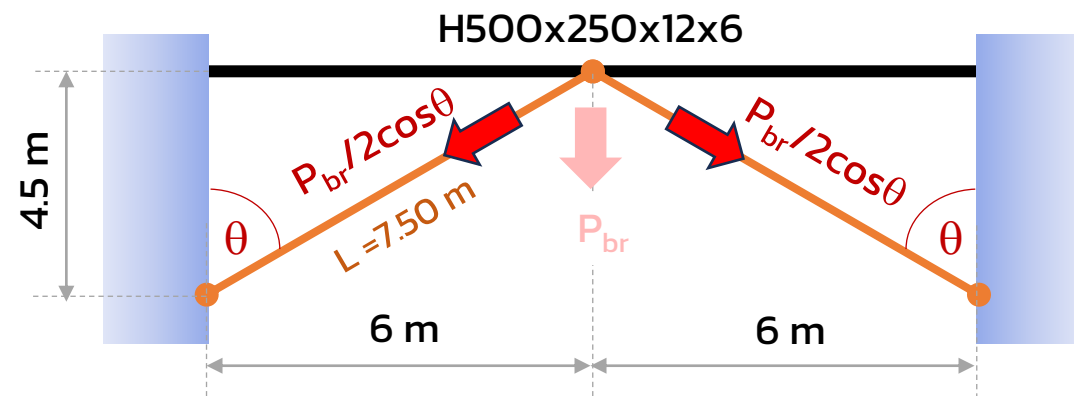
Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของคานเหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อกลมกลวง HSS 4" หนา 3.2 mm เกรด SS400
- **Step 1:** คำนวณ required moment
- **Step 2:** คำนวณ required brace force
- **Step 3:** คำนวณ required braced stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available brace strength
- **Step 5:** คำนวณ available brace stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Step 2: คำนวณ required brace force

ASD	LRFD
$P_{br} = 908 \text{ kg}$	$P_{br} = 1,331 \text{ kg}$
Required brace force = P_{brf}	Required brace force = P_{brf}
$P_{brf} = P_{br}/2\cos\theta$	$P_{brf} = P_{br}/2\cos\theta$
$= 908/2*(4.5/7.5)$	$= 1,331/2*(4.5/7.5)$
$= 756 \text{ kg}$	$= 1,109 \text{ kg}$

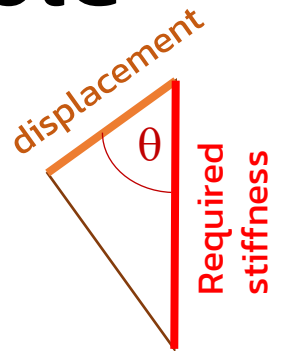
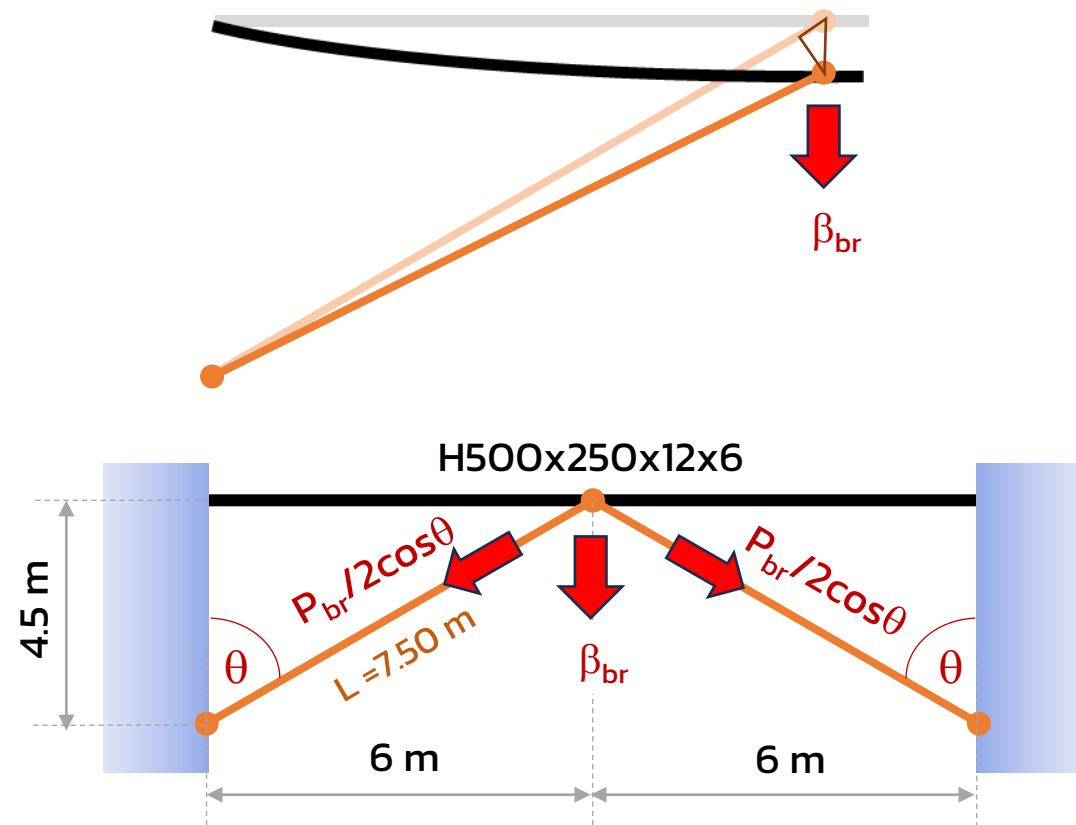


Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของคานเหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อกลมกลวง HSS 4" หนา 3.2 mm เกรด SS400
- **Step 1:** คำนวณ required moment
- **Step 2:** คำนวณ required brace force
- **Step 3:** คำนวณ required braced stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available brace strength
- **Step 5:** คำนวณ available brace stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness



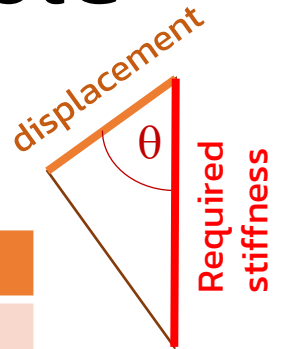
Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของคาน เหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดย คานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อกลมกลวง HSS 4" หนา 3.2 mm เกรด SS400
- **Step 1:** คำนวณ required moment
- **Step 2:** คำนวณ required brace force
- **Step 3:** คำนวณ required braced stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available brace strength
- **Step 5:** คำนวณ available brace stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$\Omega = 2.00$	$\phi = 0.75$
$M_r = M_a$	$M_r = M_a$
$\beta_{br} = \Omega \left(\frac{10M_r \cdot C_d}{L_{br} h_0} \right)$	$\beta_{br} = \frac{1}{\phi} \left(\frac{10M_r \cdot C_d}{L_{br} h_0} \right)$
$= 2.00 \left(\frac{10(21,600) \cdot 1.0}{6.0(0.476)} \right)$	$= \frac{1}{0.75} \left(\frac{10(31,680) \cdot 1.0}{6.0(0.476)} \right)$
$= 151,261 \text{ kg/m}$	$= 147,899 \text{ kg/m}$



Step 4: คำนวณ Available braced strength

ASD	LRFD
$\Omega = 1.67$	$\phi = 0.90$
$\frac{P_n}{\Omega} = 3,512/1.67 = 3.22 \text{ T}$	$\phi P_n = 0.90 \cdot 3,512 = 3.16 \text{ T}$



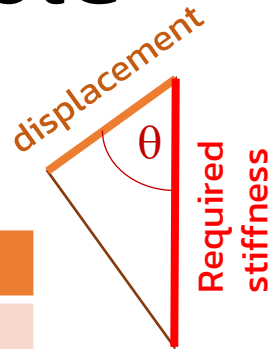
Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของคานเหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อกลมกลวง HSS 4" หนา 3.2 mm เกรด SS400
- **Step 1:** คำนวณ required moment
- **Step 2:** คำนวณ required brace force
- **Step 3:** คำนวณ required braced stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available brace strength
- **Step 5:** คำนวณ available brace stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$\beta_{br} = 151,261 \text{ kg/m}$	$\beta_{br} = 147,899 \text{ kg/m}$



Step 5: คำนวณ available brace stiffness

Stiffness ในทิศทางของ actual bracing = AE/L โดย $P_{brf} = AE/L * \Delta$

Required stiffness อยู่ในทิศทางตั้งฉากกับแนวยาวของคาน

แต่ $P_{brf} = P_{br}/2\cos\theta$ และ $P_{brf} = AE/L * \Delta = AE/L * \Delta_{br} \cos\theta$

หรือ $P_{br}/2\cos\theta = AE/L * \Delta_{br} \cos\theta$

$$P_{br} = \underbrace{[2AE/L \cos^2\theta]}_{\text{Available brace stiffness}} \Delta_{br}$$

Available brace stiffness

Beam lateral bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบค้ำยันทางขวาง ของคาน เหล็กเชื่อมประกอบ ขนาด 500x250x12x6 ยาว 12 เมตร ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่งกึ่งกลางคาน โดย คานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m ตามลำดับ ระบบค้ำยันทางขวาง เป็นท่อกลมกลวง HSS 4" หนา 3.2 mm เกรด SS400
- **Step 1:** คำนวณ required moment
- **Step 2:** คำนวณ required brace force
- **Step 3:** คำนวณ required braced stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available brace strength
- **Step 5:** คำนวณ available brace stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ brace strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required braced stiffness

ASD	LRFD
$\beta_{br} = 151,261 \text{ kg/m}$	$\beta_{br} = 147,899 \text{ kg/m}$



Step 5: คำนวณ available brace stiffness

$$\beta = \frac{2AE\cos^2\theta}{L} = \frac{2(11.17)(2 \times 10^7)\left(\frac{4.5}{7.5}\right)^2}{600}$$

$$= 26,808 \text{ kg/cm} = 2,680,800 \text{ kg/m} > \beta_{br} \quad \text{OK}$$

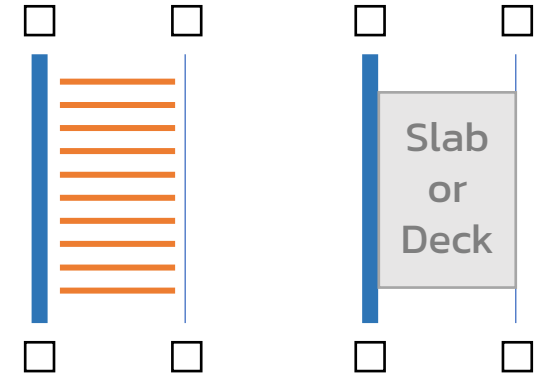
Step 6: ตรวจสอบ brace strength & stiffness

ASD	LRFD
$P_n/\Omega = 3.22 \text{ T} > P_{br} = 1.52 \text{ T} \quad \text{OK}$	$\phi P_n = 3.16 \text{ T} > P_{br} = 2.22 \text{ T} \quad \text{OK}$

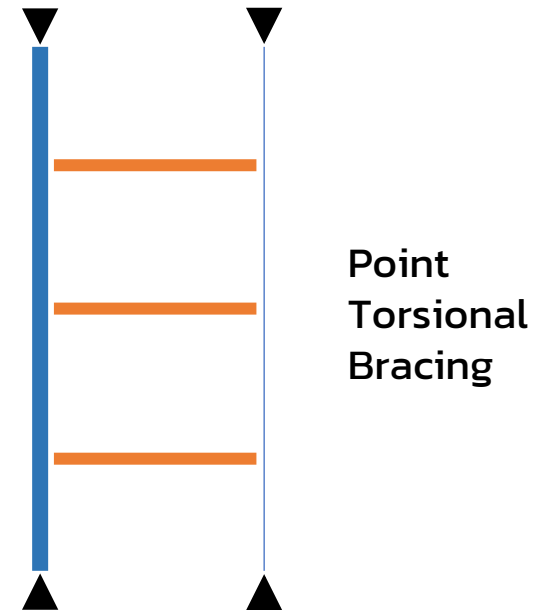
Beam lateral bracing - 5

#WeLoveSteelConstruction

- การค้ำยันทางข้างสำหรับคาน ประเภทที่ 2
Torsional bracing
- ขณะที่เกิด beam lateral buckling โดย
พฤติกรรม จะเกิดการบิด twist กลายเป็น
lateral torsional buckling ไปพร้อมๆ กัน
- 2a) Point torsional bracing: คานหลักถูกค้ำ
ยันทางข้างด้วยคานชอยที่ต่อเข้ากับคานหลักอีก
ตัวหนึ่งที่อยู่ถัดกัน
- 2b) Continuous torsional bracing: คานหลัก
ถูกค้ำยันทางข้างด้วย ตง (คานชอยวางถึ) หรือ
deck ที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ถัดกัน



Continuous Torsional Bracing



Beam lateral bracing - 6

#WeLoveSteelConstruction

About the longitudinal axis of the beam, the required flexural strength of the brace is:

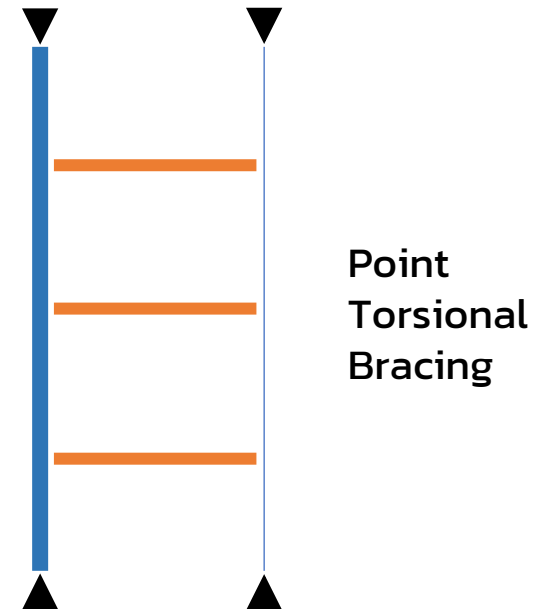
$$M_{br} = 0.02M_r \quad (\text{A-6-9})$$

and, the required flexural stiffness of the brace is:

$$\beta_{br} = \frac{\beta_T}{\left(1 - \frac{\beta_T}{\beta_{sec}}\right)} \quad (\text{A-6-10})$$

- 2a) Point torsional bracing: คานหลักถูกค้ำยันทางข้างด้วยคานชอยที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ถัดกัน

- **Strength:** ตรวจสอบกำลังรับโมเมนต์ของ คานชอยที่นำมาค้ำยัน โดยพิจารณา ที่ 2% ของโมเมนต์ดัดที่เกิดใน คาน = $0.02M_r$
- **Stiffness:** ตรวจสอบความสามารถต้านทานการเสีรูปจากโมเมนต์ ของ คานชอยที่นำมาค้ำยัน



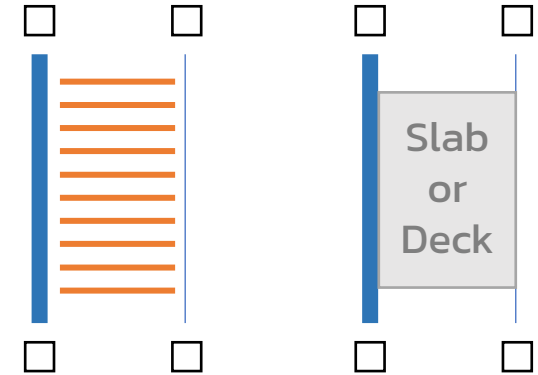
Beam lateral bracing - 7

#WeLoveSteelConstruction

- (a) The brace strength requirement per unit length along the beam shall be taken as Equation A-6-9 divided by the maximum unbraced length permitted for the beam based upon the required flexural strength, M_r . The required flexural strength, M_r , shall be taken as the maximum value throughout the beam span.
- (b) The brace stiffness requirement per unit length shall be given by Equations A-6-10 and A-6-11 with $L/n = 1.0$.
- (c) The web distortional stiffness shall be taken as:

$$\beta_{sec} = \frac{3.3Et_w^3}{12h_o} \quad (A-6-13)$$

2b) Continuous torsional bracing: คานหลัก ถูกค้ำยันทางข้างด้วย ตง (คานชอยวางถึ) หรือ deck ที่ต่อเข้ากับคานหลักอีกตัวหนึ่งที่อยู่ถัดกัน



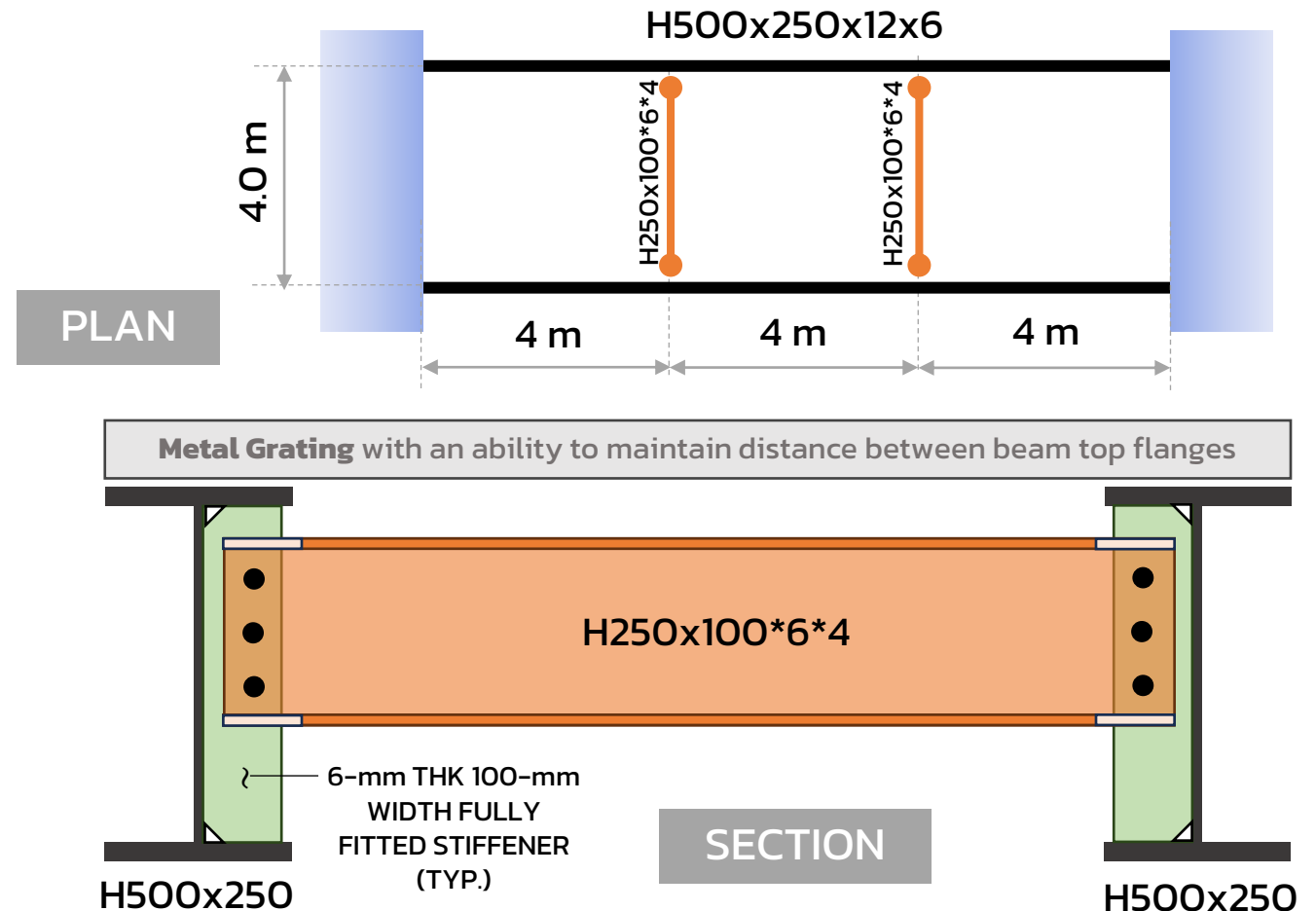
Continuous Torsional Bracing

- **Strength:** ตรวจสอบกำลังรับโมเมนต์ของ คานชอยที่นำมาค้ำยัน โดยพิจารณา ที่ 2% ของโมเมนต์ดัดที่เกิดในคาน = $0.02M_r$
- **Stiffness:** ตรวจสอบความสามารถต้านทานการบิดตัวของ web คานหลักจากโมเมนต์ ที่เกิดกับคานหลัก

Beam torsional bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ตรวจสอบระบบค้ำยันทางขวางที่เป็น built-up beam H250x100x6x4 เกรด SS400 ของ built-up simple beam ยาว 12 เมตร 2 ตัว ขนาด 500x250x12x6 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m² ตามลำดับ
- **Step 1:** คำนวณ required moment
- **Step 2:** คำนวณ required bracing strength
- **Step 3:** คำนวณ required total stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available total stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness



Beam torsional bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบระบบค้ำยันทางขวางที่เป็น built-up beam H250x100x6x4 เกรด SS400 ของ built-up simple beam ยาว 12 เมตร 2 ตัว ขนาด 500x250x12x6 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m² ตามลำดับ
- **Step 1:** คำนวณ required strength
- **Step 2:** คำนวณ required bracing strength
- **Step 3:** คำนวณ required total stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available total stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 1: คำนวณ required strength

ASD	LRFD
$W_a = DL+LL$ $= 400+800$ $= 1,200 \text{ kg/m}^2$	$W_u = 1.2D + 1.6L$ $= 1.2(400)+1.6(800)$ $= 1,760 \text{ kg/m}^2$
$w_a = 2*1,200 = 2,400 \text{ kg/m}$	$w_u = 2*1,760 = 3,520 \text{ kg/m}$
$M_a = w_a L^2/8$ $= 2,400*12^2/8$	$M_u = w_u L^2/8$ $= 3,520*12^2/8$
$M_r = 43,200 \text{ kg-m}$	$M_r = 63,360 \text{ kg-m}$

Step 2: คำนวณ required bracing strength

ASD	LRFD
$M_{br} = 0.02M_r$ $= 0.02(43,200)$ $= 864 \text{ kg-m}$	$M_{br} = 0.02M_r$ $= 0.02(63,360)$ $= 1,267.2 \text{ kg-m}$

Beam torsional bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบระบบค้ำยันทางขวางที่เป็น built-up beam H250x100x6x4 เกรด SS400 ของ built-up simple beam ยาว 12 เมตร 2 ตัว ขนาด 500x250x12x6 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m² ตามลำดับ
- **Step 1:** คำนวณ required strength
- **Step 2:** คำนวณ required bracing strength
- **Step 3:** คำนวณ required total stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available total stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 3: คำนวณ required total stiffness

$$\text{จาก } I_{y\text{eff}} = I_{yc} + (t/c) \cdot I_{yt}$$

$$\text{Symmetry รอบแกน } y: I_{y\text{eff}} = I_y = 3,125.9 \text{ cm}^4$$



ASD	LRFD
$\Omega = 3$	$\phi = 0.75$
$\beta_T = \Omega \frac{2.4L}{n \cdot EI_{y\text{eff}}} \left(\frac{M_r}{C_b} \right)^2$	$\beta_T = \frac{1}{\phi} \frac{2.4L}{n \cdot EI_{y\text{eff}}} \left(\frac{M_r}{C_b} \right)^2$
$= 3 \frac{2.4(1200)}{2(2000000)(3125.9)} \left(\frac{4320000}{1} \right)^2$	$= \frac{1}{0.75} \frac{2.4(1200)}{2(2000000)(3125.9)} \left(\frac{6336000}{1} \right)^2$
$= 12,895,737 \text{ kg/cm}$	$= 12,328,961 \text{ kg/cm}$

User Note: $\Omega = 1.5^2/\phi = 3.00$ in Equations A-6-11a or A-6-11b, because the moment term is squared.

Beam torsional bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบระบบค้ำยันทางขวางที่เป็น built-up beam H250x100x6x4 เกรด SS400 ของ built-up simple beam ยาว 12 เมตร 2 ตัว ขนาด 500x250x12x6 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m² ตามลำดับ
- **Step 1:** คำนวณ required strength
- **Step 2:** คำนวณ required bracing strength
- **Step 3:** คำนวณ required bracing stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available total stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 4: คำนวณ available bracing strength

H250x100x6x4: $F_y = 2,400$ ksc

$S_x = 178.9$ cm³ $Z_x = 203.0$ cm³

$1.6 F_y S_x = 686.976$ kg-cm

$M_p = F_y Z_x = 487,200$ kg-cm < $1.6 F_y S_x$



ASD	LRFD
$M_p/\Omega = 4,872/1.67$ $= 2,917$ kg-m	$\phi M_p = 0.9(4,872)$ $= 4,385$ kg-m

Beam torsional bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบระบบค้ำยันทางขวางที่เป็น built-up beam H250x100x6x4 เกรด SS400 ของ built-up simple beam ยาว 12 เมตร 2 ตัว ขนาด 500x250x12x6 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m² ตามลำดับ
- **Step 1:** คำนวณ required strength
- **Step 2:** คำนวณ required bracing strength
- **Step 3:** คำนวณ required total stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available total stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 5: คำนวณ available total stiffness

รวมผลของ stiffness จาก girder web + stiffener และ beam

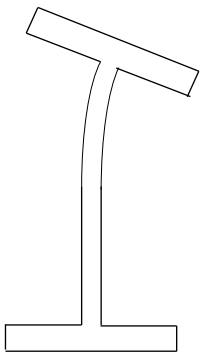
$$\frac{1}{\beta_T} = \frac{1}{\beta_{sec}} + \frac{1}{\beta_{br}}$$

β_T = Total available stiffness

β_{sec} = Stiffness of girder web & web stiffener

β_{br} = Stiffness of bracing beam

$$\begin{aligned}\beta_{sec} &= \frac{3.3E}{h_0} \left(\frac{1.5h_0t_w^3}{12} + \frac{t_{st}b_s^3}{12} \right) \\ &= \frac{3.3(2000000)}{47.6} \left(\frac{1.5(47.6)(0.6)^3}{12} + \frac{(0.6)(10)^3}{12} \right) \\ &= 178,200 + 6,932,773 = 7,110,973 \text{ kg} - \text{cm/radian}\end{aligned}$$



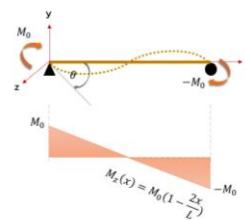
Beam torsional bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ตรวจสอบระบบค้ำยันทางขวางที่เป็น built-up beam H250x100x6x4 เกรด SS400 ของ built-up simple beam ยาว 12 เมตร 2 ตัว ขนาด 500x250x12x6 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m² ตามลำดับ
- **Step 1:** คำนวณ required strength
- **Step 2:** คำนวณ required bracing strength
- **Step 3:** คำนวณ required total stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available total stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 5: คำนวณ available total stiffness

รวมผลของ stiffness จาก girder web + stiffener และ beam



• เป้าหมายคือ การหา $\theta(x)$ ที่ $x = 0$

$$\frac{M_0}{EI_z} \left(\frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3L} - \frac{Lx}{6} \right) = y(x)$$

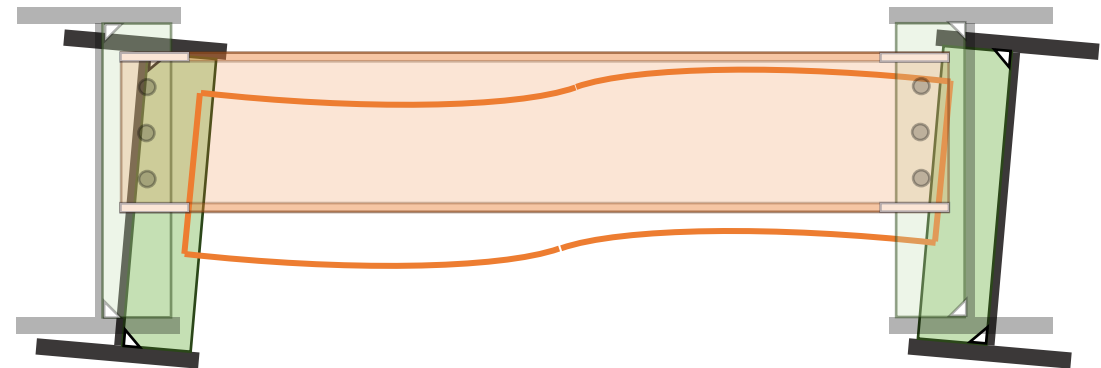
$$\frac{M_0}{EI_z} \left(\frac{2x}{2} - \frac{3x^2}{3L} - \frac{L}{6} \right) = \frac{dy}{dx} = \theta(x)$$

$$-\frac{M_0}{EI_z} \left(\frac{L}{6} \right) = \theta(x=0)$$

• ดังนั้น ถ้าใส่ End moment M_0 จะเกิด rotation $M_0L/6EI_z$ หรือ **beam stiffness ของระบบนี้** จะเท่ากับ **$6EI/L$**

ดังนั้น ถ้าใส่ End moment M_0 จะเกิด rotation $M_0L/6EI_z$ หรือ **beam stiffness ของระบบนี้** จะเท่ากับ **$6EI/L$**

β_{br} = Stiffness of bracing beam



Beam torsional bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** ตรวจสอบระบบค้ำยันทางขวางที่เป็น built-up beam H250x100x6x4 เกรด SS400 ของ built-up simple beam ยาว 12 เมตร 2 ตัว ขนาด 500x250x12x6 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m² ตามลำดับ
- **Step 1:** คำนวณ required strength
- **Step 2:** คำนวณ required bracing strength
- **Step 3:** คำนวณ required total stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available total stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 5: คำนวณ available total stiffness

รวมผลของ stiffness จาก girder web + stiffener และ beam

$$\frac{1}{\beta_T} = \frac{1}{\beta_{sec}} + \frac{1}{\beta_{br}}$$

β_T = Total available stiffness

β_{sec} = Stiffness of girder web & web stiffener

β_{br} = Stiffness of bracing beam

$$\beta_{br} = \frac{6EI}{L} = \frac{6(2000000)(2235.8)}{(4 * 100)} = 67,074,000 \text{ kg – cm/radian}$$

$$\frac{1}{\beta_T} = \frac{1}{7,110,973} + \frac{1}{67,074,000}$$

$$\beta_T = 6,429,353 \text{ kg – cm/radian} < \text{required total stiffness}$$



Beam torsional bracing: Point Bracing Example

#WeLoveSteelConstruction

- **ตัวอย่าง** จงตรวจสอบระบบค้ำยันทางขวางที่เป็น built-up beam H250x100x6x4 เกรด SS400 ของ built-up simple beam ยาว 12 เมตร 2 ตัว ขนาด 500x250x12x6 ที่มีการค้ำยัน ณ ตำแหน่ง 1/3 ของความยาวคาน โดยคานตัวนี้ รับ DL และ LL 400 และ 800 kg/m² ตามลำดับ
- **Step 1:** คำนวณ required strength
- **Step 2:** คำนวณ required bracing strength
- **Step 3:** คำนวณ required total stiffness
- **Step 4:** คำนวณ available bracing strength
- **Step 5:** คำนวณ available total stiffness
- **Step 6:** ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

Step 6: ตรวจสอบ bracing strength & stiffness

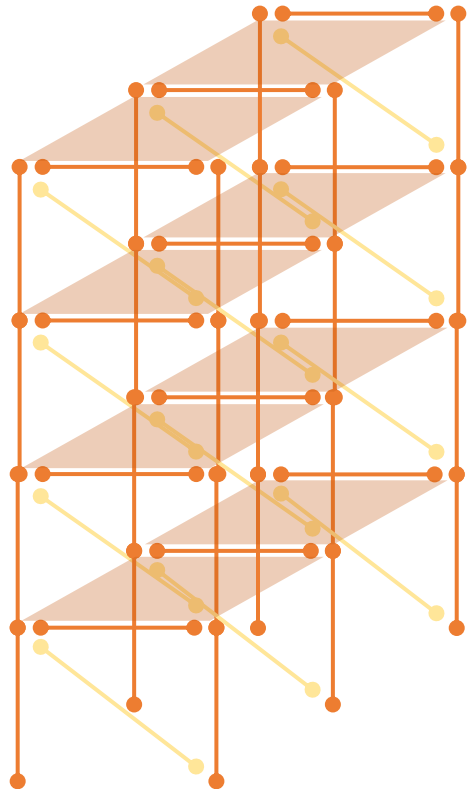
ASD	LRFD
$M_{br} = 864 \text{ kg-m}$	$M_{br} = 1,267.2 \text{ kg-m}$
$M_p / \Omega = 4,872 / 1.67$ $= 2,917 \text{ kg-m} > M_{br}$ OK	$\phi M_p = 0.9(4,872)$ $= 4,385 \text{ kg-m} > M_{br}$ OK

เพิ่มความหนา stiffener เป็น 13 mm จะได้ $\beta_{sec} = 16,833,533 \text{ kg-cm/rad}$.
และได้ $\beta_T = 13,456,389 \text{ kg-cm/rad}$. > required total stiffness **OK**

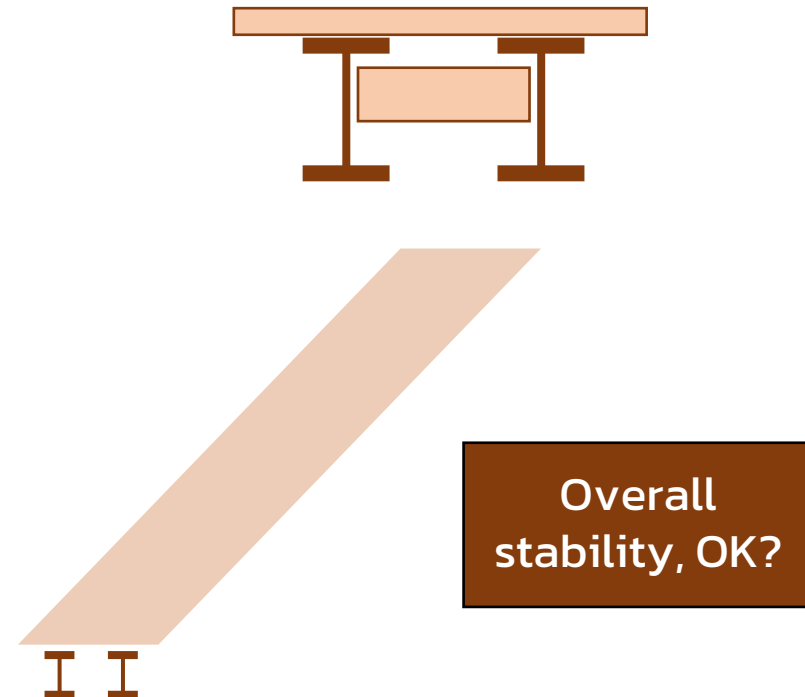
Overall stability of system

#WeLoveSteelConstruction

ทั้งนี้ ผู้ออกแบบควรต้องเข้าใจด้วยว่า เสถียรภาพในภาพรวม (overall stability) ก็มีความจำเป็นจะต้องพิจารณาด้วย ไม่เฉพาะ compression member (เสา) หรือ flexural member (คาน) ตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น



Overall
stability, OK?



Overall
stability, OK?

Purlin Lateral Bracing

#WeLoveSteelConstruction

- Purlin หรือ แปะ เมื่อรับแรง จะเกิดการดัดตัว (flexure) โดยถ้าจุดต่อ purlin เป็นแบบ pin end ปีกบนจะเกิด compression
- การค้ำยัน purlin ใช้ metal sheet เป็น Panel lateral bracing ซึ่งต้องตรวจสอบ shear strength และ stiffness ของ metal sheet ว่าเพียงพอไหม เทียบกับ moment ที่เกิดกับ purlin
- ในกรณีเกิด reverse moment จากความดันลมภายใน อาจ brace purlin ด้วย tie rod ที่ปีกล่าง ซึ่ง จะเกิด compression



Truss or Rigid Frame Lateral Bracing

#WeLoveSteelConstruction

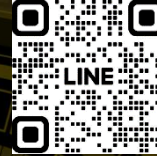
- ปกติ Truss girder หรือ Rigid frame มักจะถูกออกแบบให้ต้องรับแรง gravity load และ uplift จาก internal pressure อันเนื่องมาจากแรงลม
- การกลับทิศไปมาของ tension / compression ส่งผลให้การค้ำยันทางข้างต้องค้ำทั้งปีกบนด้วย purlin และปีกล่างด้วย fly brace
- ลักษณะการค้ำเป็น Point lateral bracing โดยต้องพิจารณาทั้ง axial strength และ stiffness ของ purlin (เหมือนพิจารณาเสาที่ถูกค้ำยันด้วย metal sheet)



Be friend with us via ...



LINE ID **WeLoveSteelConstruction**: @O60tlizi



<https://www.facebook.com/WeLoveSteelConstruction>



<https://www.youtube.com/c/WeLoveSteelConstruction>



<https://construction-forum.ssi-steel.com/>



iOS: <https://apps.apple.com/th/app/ssi-steel-design/id1474838160>

Android:

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ssibdt.ssiesteeldesign&hl=en&gl=US>

