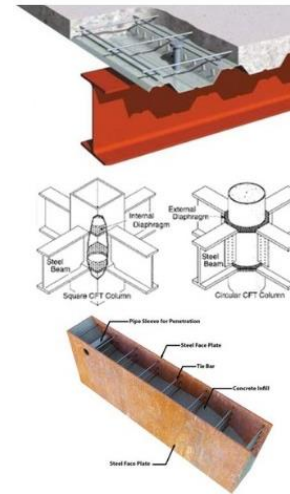


การออกแบบ โครงสร้างคอมโพสิต เหล็ก - คอนกรีต

We  Steel Construction
7th Mini Course
August 20, 2025



การออกแบบ โครงสร้างคอมโพสิต เหล็ก-คอนกรีต

#WeLoveSteelConstruction

คะแนน CPD
หน่วย 



SCAN ME

ฟรี มีนิคอร์ส ใครยังไม่ได้สมัคร
สมัครด่วน !

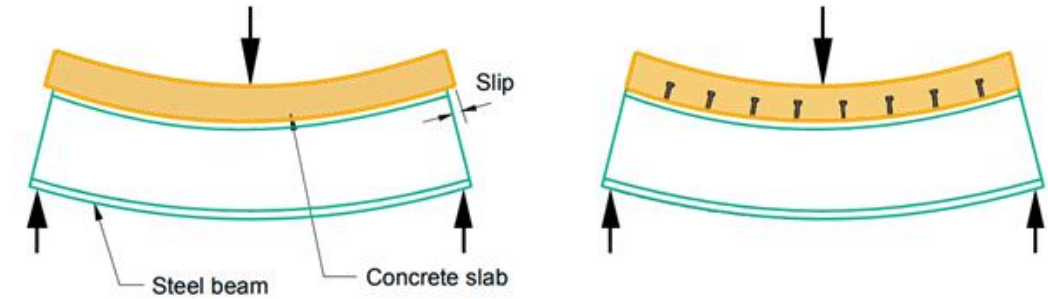
อบรมวัน
พุธที่ **20 สิงหาคม 2568**
เวลา **10.00-12.00 น.**

ผ่าน
ZOOM ONLINE 

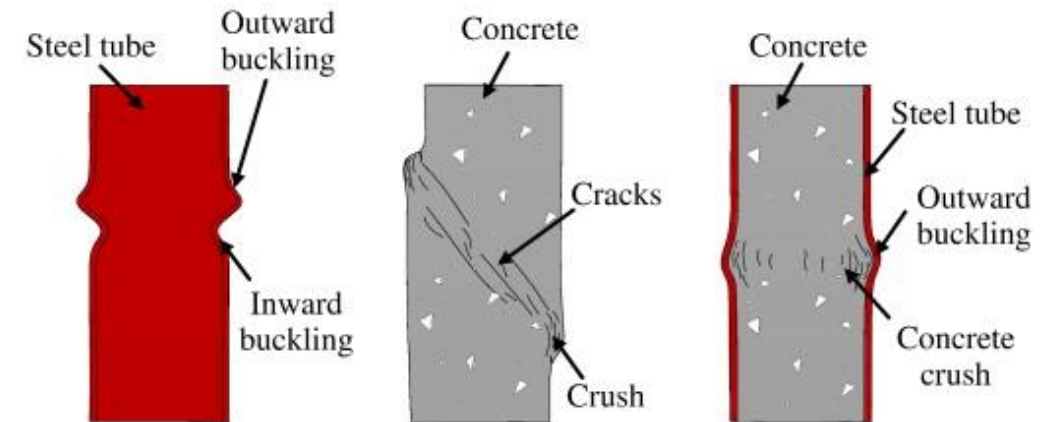
Composite system

#WeLoveSteelConstruction

- ระบบ (โครงสร้าง) วัสดุผสม เป็นระบบที่ใช้วัสดุมากกว่า 1 ประเภท มาช่วยรับแรงภายในโครงสร้าง ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับทั้ง flexural member (คาน) หรือ compression member (เสา)
- สำหรับคานเหล็กคอมโพสิตกับพื้นคอนกรีต เมื่อคานรับแรงเกิดการดัดตัว จะเกิดส่วนที่รับแรงอัด และส่วนที่รับแรงดึง การออกแบบคานเหล็กคอมโพสิต ให้พิจารณาเหล็กเป็นส่วนรับแรงดึง และคอนกรีต (ซึ่งรับแรงดึงได้น้อยจนถือว่ารับไม่ได้) เป็นส่วนรับแรงอัด
- สำหรับเสาเหล็กคอมโพสิตกับคอนกรีต ในหลายประเทศ โดยเฉพาะญี่ปุ่นนิยมใช้เสาท่อเหล็กกรอกด้วยคอนกรีต เรียกว่าระบบ CFT = Concrete Filled Steel Tube โดยเหล็กมาช่วยเพิ่ม restraining ไม่ให้คอนกรีตระเบิดออก และคอนกรีตมาช่วยเพิ่ม confining ไม่ให้เหล็กเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ (local "inward" buckling)



Ref: <https://www.masterseries.com/blog/2019/calculating-the-shear-connection-of-a-composite-beam-to-eurocode-4>



Ref: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143974X14000996>

Composite Beam - 1

#WeLoveSteelConstruction

- การก่อสร้างคานเหล็กคอมโพสิตกับพื้นคอนกรีต โดยทั่วไปจะเริ่มจากการติดตั้งคานเหล็ก แล้ววางไม้แบบ ซึ่งอาจใช้ metal deck แล้วจึงติดตั้ง shear stud เพื่อถ่าย shear flow จากนั้นจึงเทคอนกรีตพื้น
- สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ “ลำดับการก่อสร้าง” หรือ construction sequence เพราะเมื่อคอนกรีตพื้นยังไม่แข็งตัว composite action ก็ยังไม่เกิดขึ้น เพราะคอนกรีตยังไม่สามารถรับแรงอัดได้ ดังนั้นในระหว่างการเทและการรอให้คอนกรีตพื้นแข็งตัว พฤติกรรมของคานเหล็กจะยังเป็น non composite
- นอกจากนี้ วิศวกรผู้ออกแบบยังต้องพิจารณา “จำนวนช่วงพาด” หรือ span ที่ metal deck วางบนคาน เพราะการวางพาดช่วงเดียว จะส่งผลต่อ moment และ deflection ที่สูงกว่า การวางพาดหลายช่วง



Ref: <https://www.shearstudwelding.com/design-and-testing-requirement-for-shear-connectors-studs-in-composite-construction/>



Ref: <https://www.structuremag.org/?p=12090>

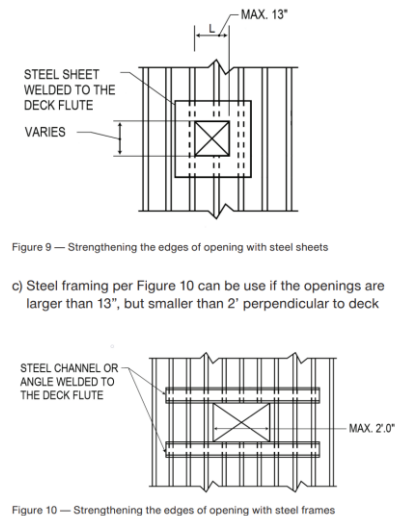
Composite Beam - 2

#WeLoveSteelConstruction

- การออกแบบ concrete metal deck composite steel beam ยังต้องพิจารณาถึง **ปริมาณเหล็กเสริม** **กันร้าว** ซึ่งปกติจะใช้ “ลวดตะแกรงเหล็ก” หรือ wire mesh ซึ่งทำหน้าที่ “ป้องกันการแตกร้าวจากการหดตัวของคอนกรีต (shrinkage crack)” ซึ่งแนวปฏิบัติทั่วไปแนะนำ **ปริมาณ reinforcement ไว้ราว 1.0 – 1.6%**
- และด้วยงานก่อสร้าง อาจต้องมีการรื้อยถ่อสายไป หรือทำ “ช่องเปิด” ทะลุผ่านแผ่นพื้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการทำ “box-out” ก่อนนการเทคอนกรีต และเมื่อคอนกรีตแข็งตัว จึงทำการตัด metal deck ออก โดย **ห้ามตัด metal deck ก่อนการเทคอนกรีต** เพราะ metal deck ซึ่งเป็น 1-way flexural member เมื่อถูกตัดออกจะสูญเสีย strength และ stiffness ไปมาก ทั้งนี้ ผู้ออกแบบอาจต้องพิจารณาเสริมกำลังรอบช่องเปิดตามสมควร หากต้องทำ floor opening



Ref: <https://smdltd.co.uk/what-is-mesh-reinforcement-for/>

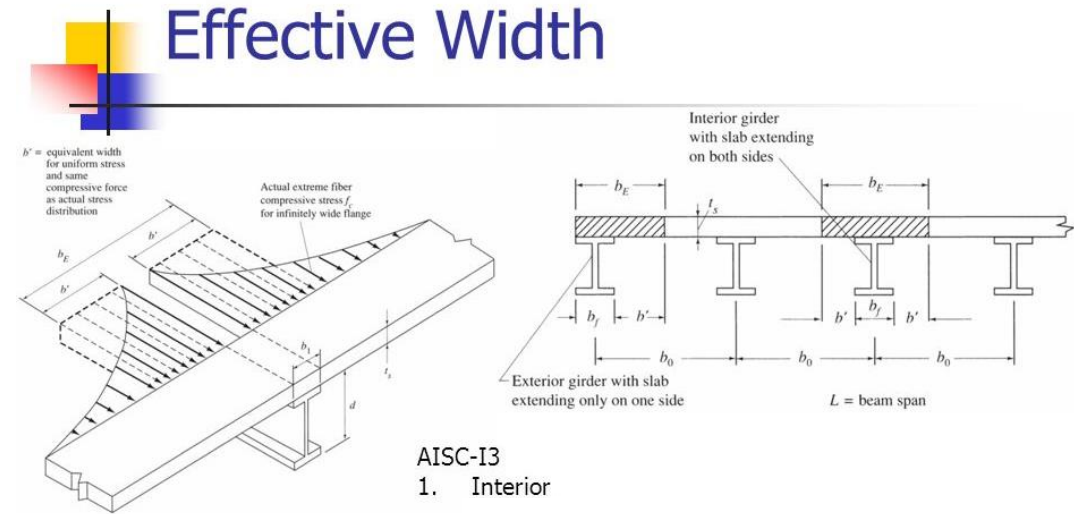


Ref: https://www.hilti.com/medias/sys_master/documents/hb7/h6f/9504602849310/Technical-information-ASSET-DOC-LOC-10811801.pdf

Composite Beam - 3

#WeLoveSteelConstruction

- ในส่วนของการคำนวณหากำลังรับแรงของ concrete composite steel beam วิศวกรผู้ออกแบบต้องมีความเข้าใจ ถึง
 - 1) วิธีการแปลง concrete ให้เป็น steel material ตามหลักของ compatibility ที่พิจารณาว่า composite beam เมื่อเกิดการดัดตัว เหล็กและคอนกรีตจะเสียรูปไปพร้อมๆ กัน โดยหลักในการพิจารณาต้องเทียบสัดส่วนของ elastic modulus (E) ของเหล็กเทียบกับคอนกรีต เรียกว่า modular ratio (E_s/E_c)
 - 2) เกณฑ์ในการพิจารณาขอบเขตของพื้นคอนกรีต เรียกว่า “ความกว้างประสิทธิภาพ (effective width)” โดยอ้างอิง AISC 360 จะพิจารณาจาก ค่าต่ำสุดของผลรวมในแต่ละด้านที่คิดจาก (a) 1/8 ของความยาวคานวัดจากศูนย์กลางของฐานรองรับ (b) 1/2 ของระยะห่างระหว่างคานเหล็กที่อยู่ติดกัน (c) ระยะจากกึ่งกลางคานถึงขอบพื้น



AISC-I3

1. Interior

$$B_E \leq b_0 \text{ (for equal beam spacing)}$$

2. Exterior

$$B_E \leq L/8 + (\text{dist from beam center to edge of slab})$$

$$B_E \leq b_0/2 + (\text{dist from beam center to edge of slab})$$

Ref: <https://slideplayer.com/slide/9424635/>

1a. Effective Width

The effective width of the concrete slab shall be the sum of the effective widths for each side of the beam centerline, each of which shall not exceed:

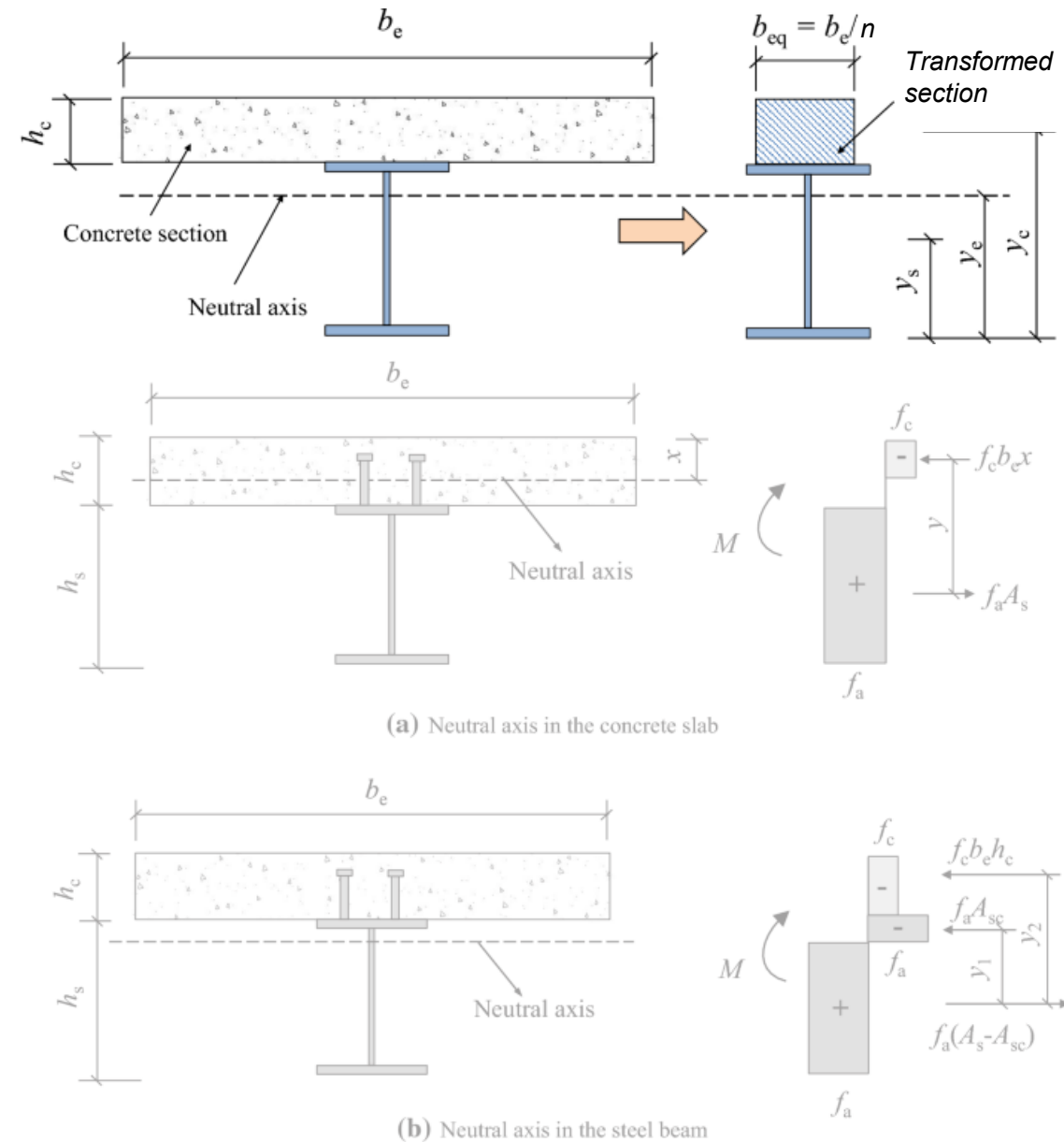
- (a) one-eighth of the beam span, center-to-center of supports;
- (b) one-half the distance to the centerline of the adjacent beam; or
- (c) the distance to the edge of the slab.

Ref: AISI 360 (2016), Chapter I3: Design of Composite Members – Flexure

Composite Beam - 4

#WeLoveSteelConstruction

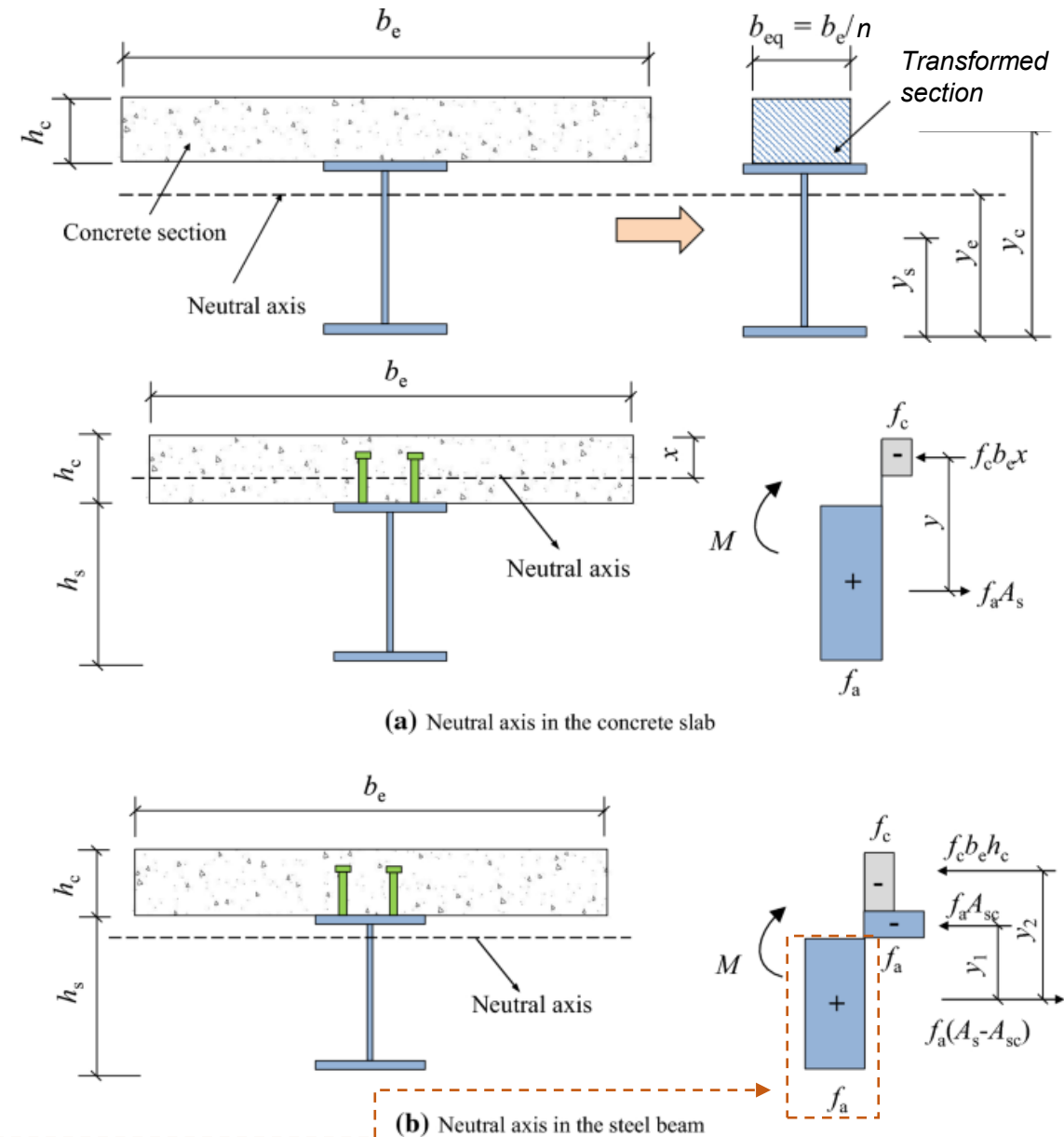
- เมื่อสามารถหา effective width, b_e ได้แล้ว ก็ทำการแปลงหน้าตัดจากคอนกรีตให้เป็นเหล็ก โดยหลักการคือ “เมื่อเกิดการดัดตัว คอนกรีตก็จะ remain plane เดียวกับคานเหล็ก” ตามหลักการของ beam theory
- การที่จะคงระนาบเดียวกันได้นั้น ส่วนของ concrete slab ต้องเกิด compressive strain ที่สอดคล้องกับการดัดตัวของ composite beam ดังนั้น เพื่อให้เกิด compatibility ของเหล็กกับคอนกรีต ก็ต้องแปลงพื้นที่คอนกรีต ที่กว้าง b_e ให้เล็กลงด้วยค่า modular ratio = $n = E_{\text{steel}}/E_{\text{concrete}} = E_s/E_c$ ทำให้ composite beam มีความกว้างตรงส่วนคอนกรีตเท่ากับ b_e/n
- จากนั้น จึงทำการคำนวณหา transformed section property เช่น moment of inertia ($I_{\text{transformed}}$) เพื่อหาค่าการแอ่นตัวที่สะท้อน stiffness ของคานต่อไป



Composite Beam - 5

#WeLoveSteelConstruction

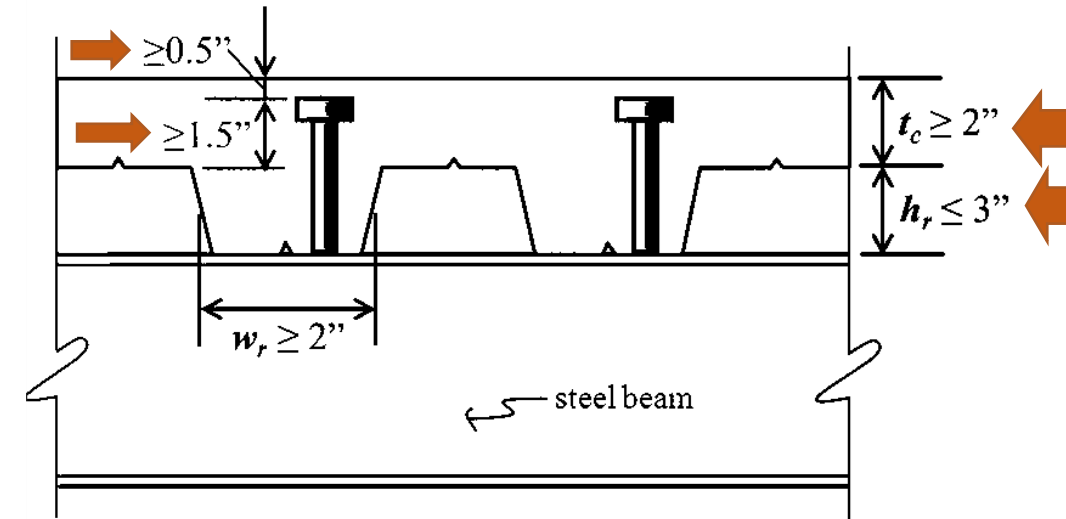
- การหาำลังรับโมเมนต์ดัดของ composite beam นั้น จะต้องพิจารณาบนเงื่อนไขสำคัญคือ concrete slab ต้องรับ compression (positive moment) โดยอาจเป็นไปได้ว่าตำแหน่งแกนสะเทิน neutral axis จะอยู่ที่ concrete หรือที่ steel ซึ่งหากอยู่ที่ concrete จะส่งผลให้ส่วนของ concrete ที่เกิด tension หายไป ด้วยเงื่อนไขคือ concrete ไม่รับ tension
- ทั้งนี้วิศวกรผู้ออกแบบต้องพิจารณา steel beam web slenderness = h/t_w โดยหากเป็น compact web หรือ $h/t_w \leq 3.76 \sqrt{E/F_y}$ ก็สามารถพิจารณา plastic stress distribution ได้เลย แต่หาก $h/t_w > 3.76 \sqrt{E/F_y}$ วิศวกรก็ต้องพิจารณา elastic stress distribution ในการคำนวณหา moment capacity ของ composite beam เพราะจะเกิด local buckling กับ compact web ส่งผลให้ web รับ stress ไม่ถึง F_y



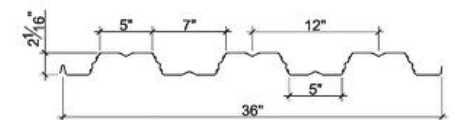
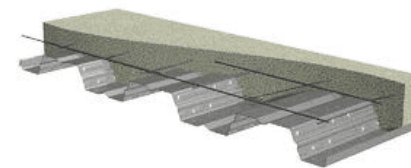
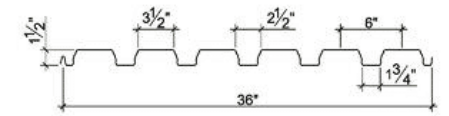
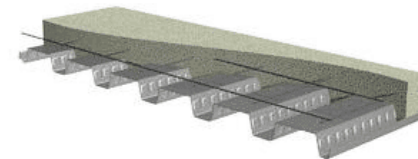
Composite Beam - 6

#WeLoveSteelConstruction

- การนำ metal deck มาใช้เพื่อเป็น composite beam นั้น จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้ (AISC 360-16)
 - a) ความสูงของลอน (h_r) ไม่เกิน 75 mm ความกว้างเฉลี่ยของลอน (w_r) ไม่น้อยกว่า 50 mm
 - b) ต้องติดตั้ง headed stud ด้วยการเชื่อมเข้ากับ steel beam โดยตรงหรือทะลุผ่าน metal deck เข้าไปที่ steel beam โดยต้อง สูงกว่าลอนอย่างน้อย 38 mm แต่ต่ำกว่าระดับผิวคอนกรีตอย่างน้อย 13 mm
 - c) คอนกรีตบน metal deck ต้องสูงเหนือระดับลอน (t_c) อย่างน้อย 50 mm
 - d) Metal deck ต้องเชื่อมติดเข้ากับฐานรองรับ โดยมี ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางการเชื่อม ไม่เกิน 450 mm โดยอาจเชื่อมด้วย headed stud หรือ เชื่อมแถมเข้ากับ คานโดยตรง



Ref: <https://slideplayer.com/slide/3544102/>



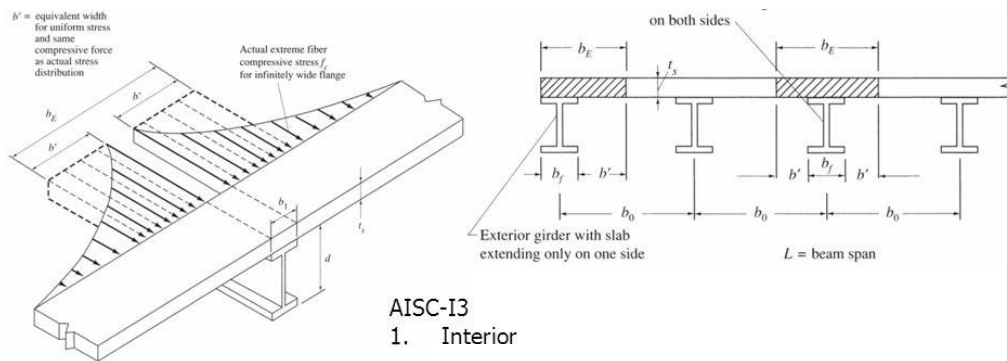
Ref: <https://blog.metaldeck.com/metal-deck-for-concrete>

Composite Beam - 7

#WeLoveSteelConstruction

- การถ่ายแรงแหว่าง concrete deck และ steel beam ซึ่งจะเกิดแรงเฉือนในแนวนอน V'

- เมื่อเกิด M^+ กับ composite beam แรงเฉือนระหว่าง concrete deck กับ steel beam จะถูกถ่ายโดย shear headed stud ตลอดช่วงที่ M^+ ถึง $M = 0$ ทั้งนี้ อาจเกิดการวิบัติ limit state ต่างๆ อันได้แก่ (1) การเกิด crushing ของคอนกรีต (2) การครากของคานเหล็ก และ (3) การเฉือนของ shear headed stud



AISC-I3

1. Interior

$$B_E \leq b_0 \text{ (for equal beam spacing)}$$

2. Exterior

$$B_E \leq L/8 + (\text{dist from beam center to edge of slab})$$

$$B_E \leq b_0/2 + (\text{dist from beam center to edge of slab})$$

Load Transfer Between Steel Beam and Concrete Slab

1. Load Transfer for Positive Flexural Strength

The entire horizontal shear at the interface between the steel beam and the concrete slab shall be assumed to be transferred by steel headed stud or steel channel anchors, except for concrete-encased beams as defined in Section I3.3. For composite action with concrete subject to flexural compression, the nominal shear force between the steel beam and the concrete slab transferred by steel anchors, V' , between the point of maximum positive moment and the point of zero moment shall be determined as the lowest value in accordance with the limit states of concrete crushing, tensile yielding of the steel section, or the shear strength of the steel anchors:

$V' = \text{average horizontal shear ระหว่าง } M^+_{\text{max}} \text{ กับ } M = 0$

(a) Concrete crushing

$$V' = 0.85f'_cA_c \quad (\text{I3-1a})$$

(b) Tensile yielding of the steel section

$$V' = F_yA_s \quad (\text{I3-1b})$$

(c) Shear strength of steel headed stud or steel channel anchors

$$V' = \sum Q_n \quad (\text{I3-1c})$$

where

A_c = area of concrete slab within effective width, in.² (mm²)

A_s = cross-sectional area of steel section, in.² (mm²)

$\sum Q_n$ = sum of nominal shear strengths of steel headed stud or steel channel anchors between the point of maximum positive moment and the point of zero moment, kips (N)

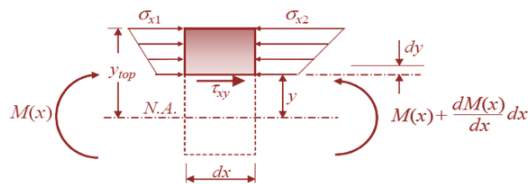
The effect of ductility (slip capacity) of the shear connection at the interface of the concrete slab and the steel beam shall be considered.

Ref: AISC 360 (2016), Chapter I3: Design of Composite Members - Flexure

Composite Beam - 7

#WeLoveSteelConstruction

เช่น หา shear flow ที่ $M = 0$ ได้ 5 T/m และที่ M^+_{max} ได้ 0
ตลอดช่วง 6 m จะได้ว่า $V' = 5 \cdot 6 / 2 = 15 \text{ T}$



ผลรวมของแรงในแนวแกน $x = 0$

$$+ \rightarrow \sum F_x = 0 = \int_y^{\text{top}} \sigma_{x1} t(y) dy - \int_y^{\text{top}} \sigma_{x2} t(y) dy + \tau_{xy} t(y) dx = 0$$

จัดฟอร์มสมการใหม่โดยแทนค่า $\sigma_{\text{ที่ระยะ } x} = M(x) \cdot y / I_x$

$$\int_y^{\text{top}} \frac{M(x)y}{I} t(y) dy - \int_y^{\text{top}} \frac{(M(x) + dM(x))y}{I} t(y) dy + \tau_{xy} t(y) dx = 0$$

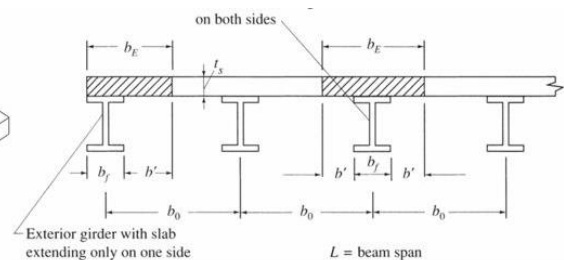
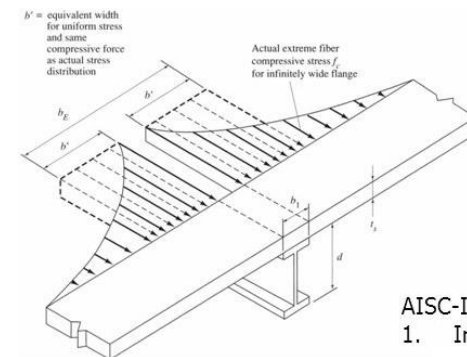
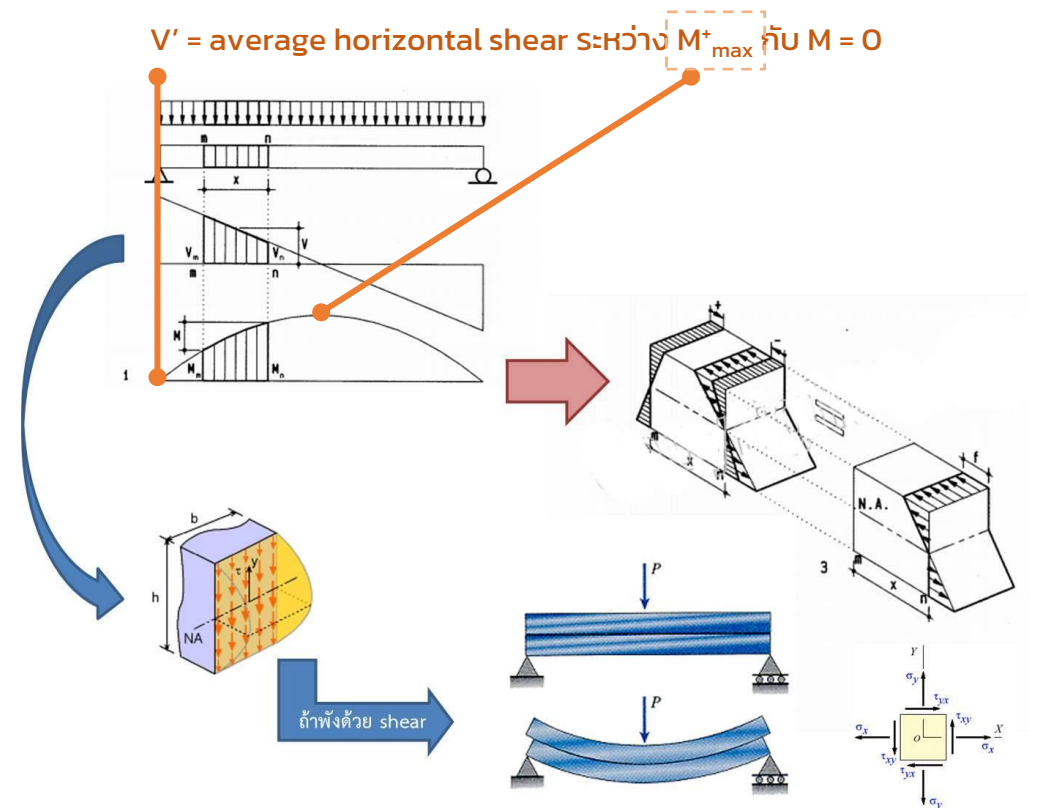
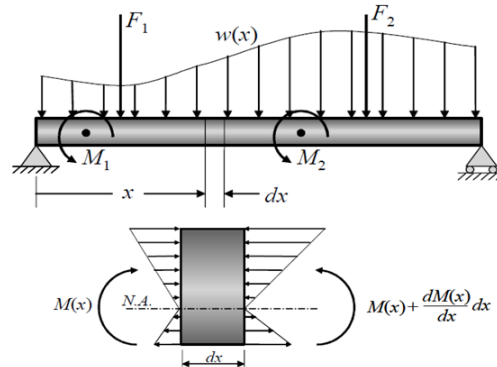
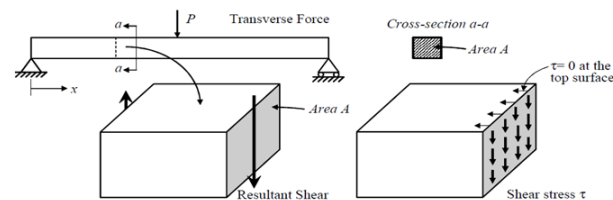
จัดฟอร์มสมการใหม่โดยหารค่าทั้งหมดด้วย dx และ $t(y)$

$$\tau_{xy} = \frac{dM(x)}{dx} \frac{1}{It(y)} \int_y^{\text{top}} y t(y) dy$$

แต่ $V(x) = dM(x)/dx$ จัดฟอร์มใหม่จะได้

$$\tau_{xy} = \frac{V(x)}{It(y)} \int_y^{\text{top}} y t(y) dy = \frac{V(x) Q(y)}{It(y)} = \frac{VQ}{It} \quad \text{โดยที่} \quad Q(y) = \int_y^{\text{top}} y t(y) dy = \bar{y}' A'$$

A' เป็นพื้นที่ที่พิจารณา และ
 y' เป็นระยะจาก centroid ของ A'
ไปยัง N.A. ของ cross section



AISC-I3

1. Interior

$$B_E \leq b_0 \text{ (for equal beam spacing)}$$

2. Exterior

$$B_E \leq L/8 + \text{(dist from beam center to edge of slab)}$$

$$B_E \leq b_0/2 + \text{(dist from beam center to edge of slab)}$$

Composite Beam - 7

#WeLoveSteelConstruction

- การถ่ายแรงระหว่าง concrete deck และ steel beam ซึ่งจะเกิดแรงเฉือนในแนวนอน V'
 - a) เมื่อเกิด M^+ กับ composite beam แรงเฉือนระหว่าง concrete deck กับ steel beam จะถูกถ่ายโดย shear headed stud ตลอดช่วงที่ M^+_{max} ถึง $M = 0$ ทั้งนี้ อาจเกิดการวิบัติ limit state ต่างๆ อันได้แก่ (1) การเกิด crushing ของคอนกรีต (2) การครากของคานเหล็ก และ (3) การเฉือนของ shear headed stud
 - b) เมื่อเกิด M^- กับ composite beam เช่น บริเวณจุดต่อ continuous beam ซึ่งมีการเสริมเหล็ก rebar ใน concrete deck สามารถพิจารณาให้เป็น composite ได้ โดยตลอดช่วงที่ M^-_{max} ถึง $M = 0$ จะต้องพิจารณา limit state ต่างๆ อันได้แก่ (1) การครากของ rebar = $F_{ysr} A_{sr}$ (2) การเฉือนของ shear headed stud

Load Transfer Between Steel Beam and Concrete Slab

1. Load Transfer for Positive Flexural Strength

The entire horizontal shear at the interface between the steel beam and the concrete slab shall be assumed to be transferred by steel headed stud or steel channel anchors, except for concrete-encased beams as defined in Section I3.3. For composite action with concrete subject to flexural compression, the nominal shear force between the steel beam and the concrete slab transferred by steel anchors, V' , between the point of maximum positive moment and the point of zero moment shall be determined as the lowest value in accordance with the limit states of concrete crushing, tensile yielding of the steel section, or the shear strength of the steel anchors:

(a) Concrete crushing

$$V' = 0.85f'_c A_c \quad (I3-1a)$$

(b) Tensile yielding of the steel section

$$V' = F_y A_s \quad (I3-1b)$$

(c) Shear strength of steel headed stud or steel channel anchors

$$V' = \Sigma Q_n \quad (I3-1c)$$

where

A_c = area of concrete slab within effective width, in.² (mm²)

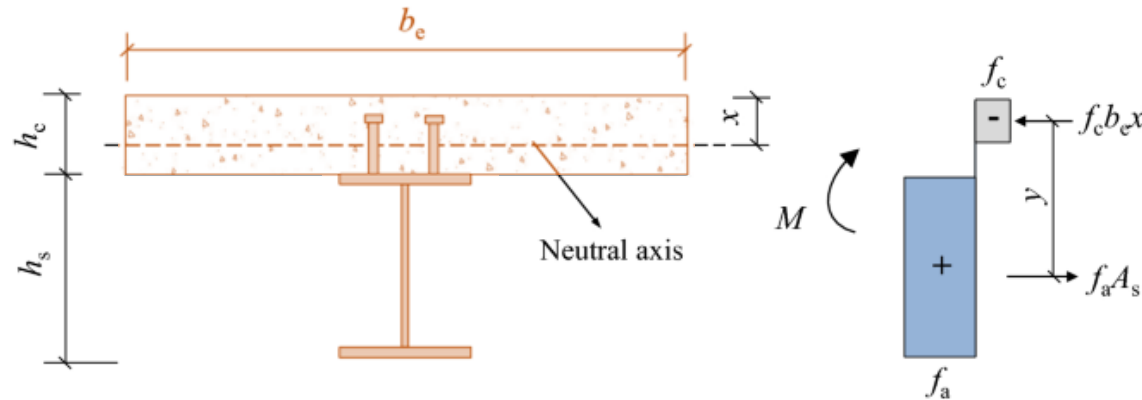
A_s = cross-sectional area of steel section, in.² (mm²)

ΣQ_n = sum of nominal shear strengths of steel headed stud or steel channel anchors between the point of maximum positive moment and the point of zero moment, kips (N)

The effect of ductility (slip capacity) of the shear connection at the interface of the concrete slab and the steel beam shall be considered.

Composite Beam - 7

#WeLoveSteelConstruction



Strength of Steel Headed Stud Anchors

The nominal shear strength of one steel headed stud anchor embedded in a solid concrete slab or in a composite slab with decking shall be determined as follows:

$$Q_n = 0.5 A_{sa} \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sa} F_u \quad (\text{I8-1})$$

where

A_{sa} = cross-sectional area of steel headed stud anchor, in.² (mm²)

E_c = modulus of elasticity of concrete

= $w_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$, ksi ($0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f'_c}$, MPa)

F_u = specified minimum tensile strength of a steel headed stud anchor, ksi (MPa)

Load Transfer Between Steel Beam and Concrete Slab

User Note: The table below presents values for R_g and R_p for several cases. Available strengths for steel headed stud anchors can be found in the AISC *Steel Construction Manual*.

Condition	R_g	R_p
No decking	1.0	0.75
Decking oriented parallel to the steel shape $\frac{w_r}{h_r} \geq 1.5$ $\frac{w_r}{h_r} < 1.5$	1.0 0.85 ^[a]	0.75 0.75
Decking oriented perpendicular to the steel shape Number of steel headed stud anchors occupying the same decking rib: 1 2 3 or more	1.0 0.85 0.7	0.6 ^[b] 0.6 ^[b] 0.6 ^[b]

h_r = nominal rib height, in. (mm)

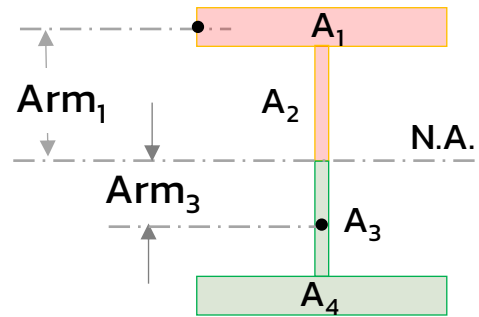
w_r = average width of concrete rib or haunch (as defined in Section I3.2c), in. (mm)

^[a] For a single steel headed stud anchor

^[b] This value may be increased to 0.75 when $e_{mid-ht} \geq 2$ in. (50 mm).

จากการคำนวณ Plastic section modulus

#WeLoveSteelConstruction



$$M_p = F_y * A_1 * Arm_1 + F_y * A_2 * Arm_2 + F_y * A_3 * Arm_3 + F_y * A_4 * Arm_4$$

$$= F_y * \Sigma (Area * Arm) = F_y * Z_x$$

หน้าตัดสมมาตร $A_1 = A_4$ และ $A_2 = A_3$

หน้าตัดสมมาตร NA อยู่ที่กึ่งกลางความลึกคาน

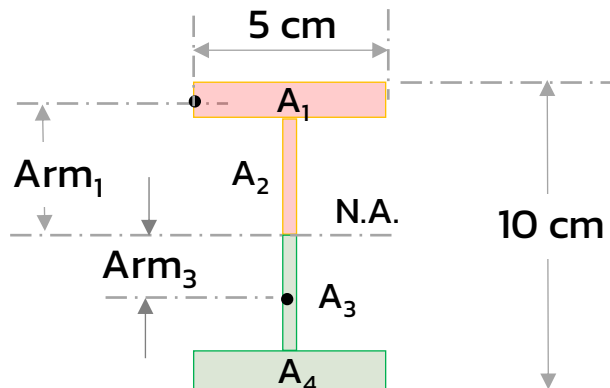
$$A_1 = 5 * 0.7 = 3.5 \text{ cm}^2 = A_4$$

$$A_2 = (10 - 2 * 0.7) / 2 * 0.5 = 2.15 \text{ cm}^2 = A_3$$

$$Arm_1 = (10 / 2 - 0.7 / 2) = 4.65 \text{ cm} = Arm_4$$

$$Arm_2 = [(10 - 2 * 0.7) / 2] / 2 = 2.15 \text{ cm} = Arm_3$$

- ตัวอย่าง 1: H 100 x 50 ($t_f = 7 \text{ mm}$ $t_w = 5 \text{ mm}$)



$$Z_x = \Sigma (Area * Arm) = 2 * (A_1 * Arm_1 + A_2 * Arm_2)$$

$$= 2 * (3.5 * 4.65 + 2.15 * 2.15)$$

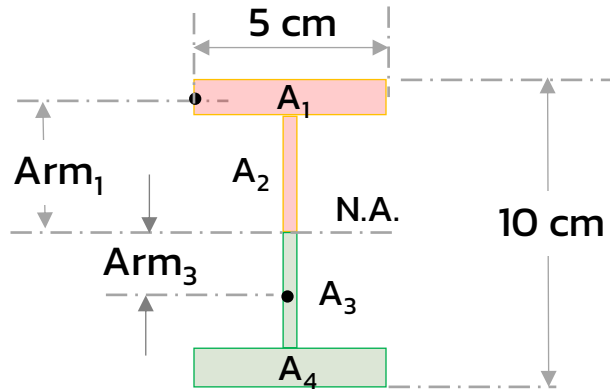
$$= 2 * (16.275 + 4.6225) = 41.8 \text{ cm}^3$$

ขนาด mm	ความหนา mm	รัศมีส่วนโค้ง mm	พื้นที่หน้าตัด cm ²	มวลต่อเมตร kg/m	โมเมนต์ความเฉื่อย cm ⁴		รัศมีจายเรชั่น cm		โมดูลัสภาคตัด cm ³	
H x B	t ₁	t ₂	r	a	I _x	I _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
100 x 50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.9	3.98	1.12	37.5
100 x 100	6	8	10	21.90	17.2	383	134	4.18	2.47	76.5

เทียบกับ Z_x มอก. = 37.5 cm³

Noncomposite beam moment capacity

#WeLoveSteelConstruction



$$M_p = F_y * \Sigma (\text{Area} * \text{Arm}) = F_y * Z_x$$

H 100 x 50 ($t_f = 7 \text{ mm}$ $t_w = 5 \text{ mm}$)
หาก $Z_x = 41.8 \text{ cm}^3$ และ $F_y = 370 \text{ MPa}$

$$M_p = 3700(41.8) = 154,660 \text{ kg-cm} = 1,547 \text{ kg-m}$$

$$\phi M_n = \phi M_p = 0.9(1,547) = 1,392 \text{ kg-m}$$

ขนาด	ความหนา	รัศมีส่วนโค้ง	พื้นที่หน้าตัด	มวลต่อเมตร	โมเมนต์ความเฉื่อย	รัศมีจายเรชั่น	มอดุลัสภาคตัด
mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³
H x B	t ₁	t ₂	r	a	I _x	I _y	i _x i _y Z _x Z _y
100 x 50	5	7	8	11.85	9.30	187	14.9 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

สมมติ คานตัวนี้ ยาว 3 m มีการค้ำยันทางข้างตลอดความยาว (fully braced laterally) รับพื้นคอนกรีตหนา 10 cm ระยะห่างระหว่างคานที่อยู่ติดกัน 2 m รับ Live load 200 kg/sqm.

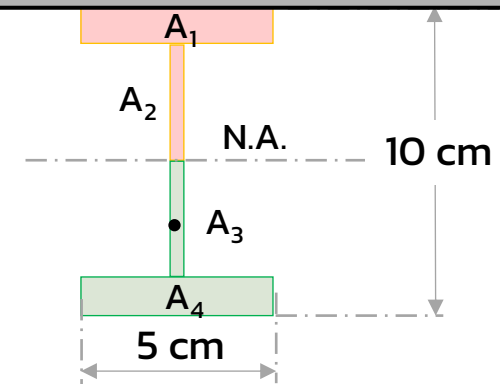
$$\text{จะได้ } DL = (10/100 \text{ m}) * (2,400 \text{ kg/cum.}) * (2 \text{ m}) = 480 \text{ kg/m}$$

$$LL = (200 \text{ kg/sqm}) * (2 \text{ m}) = 400 \text{ kg/m}$$

$$1.2DL + 1.6LL = 1,216 \text{ kg/m}$$

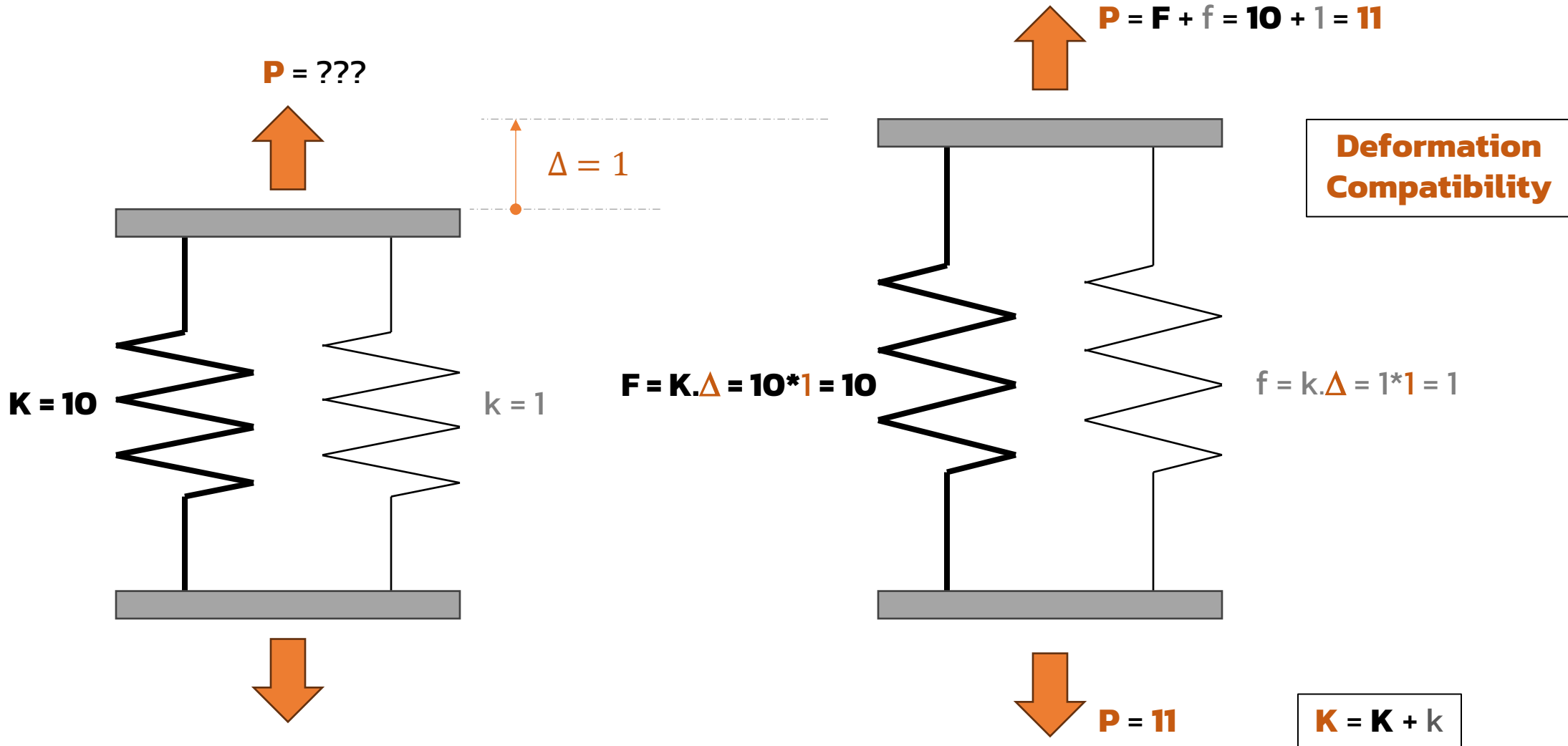
$$\gamma M_{TL} = wL^2/8 = (1,216) * (3^2/8) = 1,368 \text{ kg-m} < \phi M_n \quad \text{OK}$$

ถ้าหากเกิด full composite กับ แผ่นพื้น concrete $f_c' = 300 \text{ ksc}$ หนา 10 cm Fully composited beam จะมี bending stiffness และ moment capacity เท่าใด



Transformed section ... Why?

#WeLoveSteelConstruction

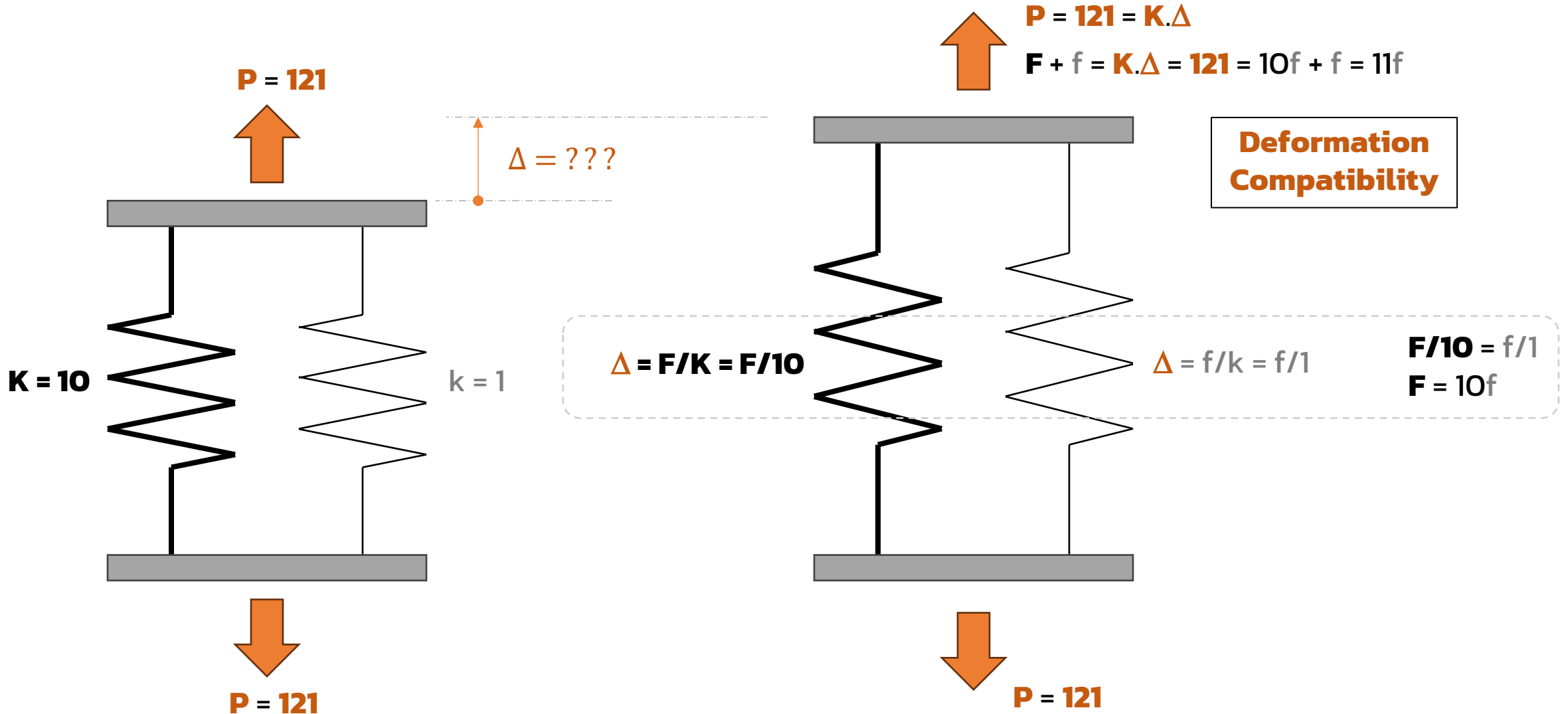


Transformed section ... Why?

#WeLoveSteelConstruction

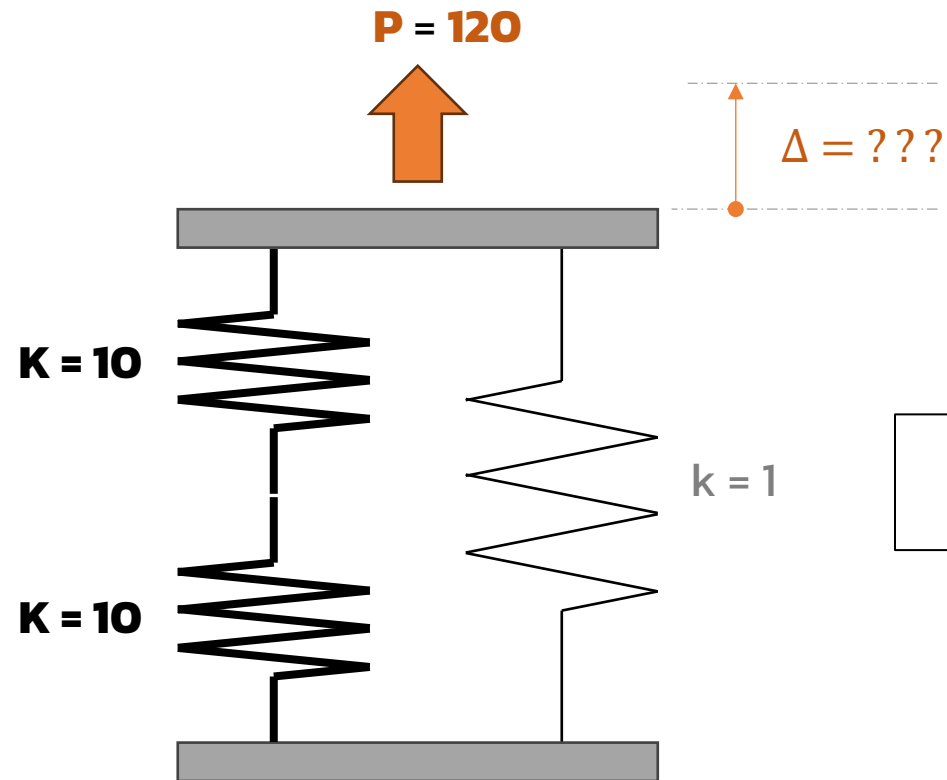
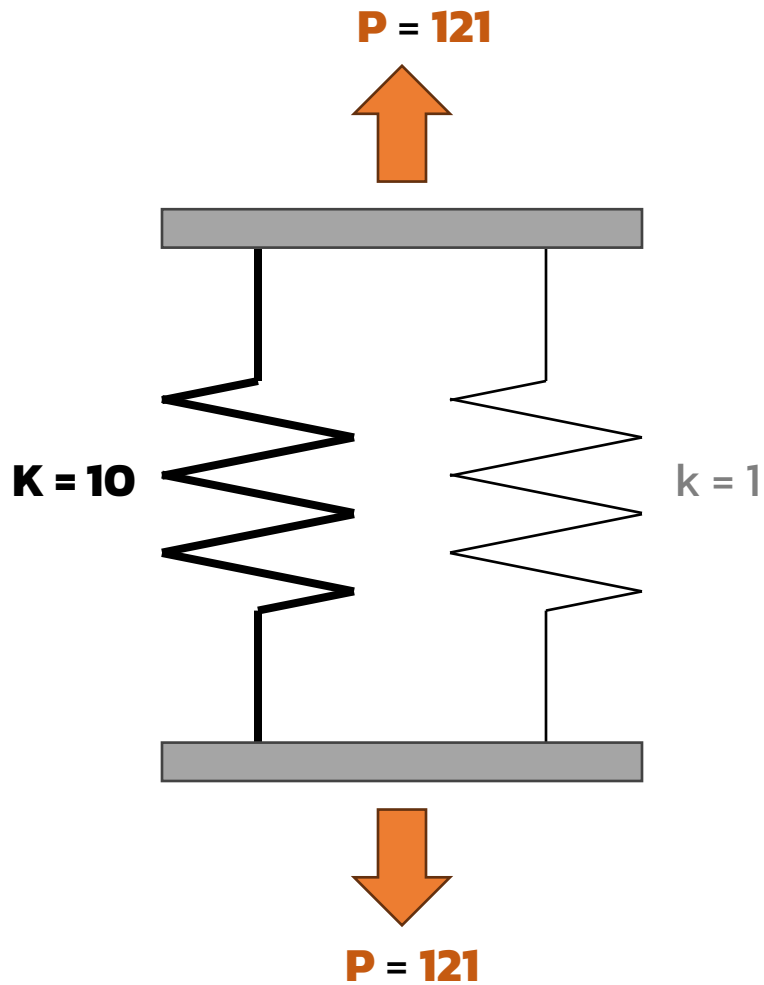
Transformed
Stiffness

$$K = K + k = 11$$



Transformed section ... Why?

#WeLoveSteelConstruction



**Transformed
Stiffness ???**

Composite beam stiffness

#WeLoveSteelConstruction

$$n = E_s/E_c = 2,000,000/276,900 = 7.2$$

$$b_e/n = (300/8 \text{ cm})/7.2 = 5.2 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 0.043 \cdot (w_c)^{1.5} \cdot \sqrt{f'_c} \\ &= 0.043 \cdot (2,400)^{1.5} \cdot \sqrt{30} \text{ (MPa)} \\ &= 27,690 \text{ MPa} = 276,900 \text{ ksc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_e &= \min (L/8, \text{beam spacing}) \\ &= \min (3/8, 2) = 3/8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\bar{y} = \frac{y_1 A_1 + y_2 A_2}{A_1 + A_2} = \frac{(5)(11.85) + (10 + 5)(52)}{11.85 + 52} = 13.1 \text{ cm}$$

$$I_{x,1} = 187 \text{ cm}^4$$

$$I_{x,2} = \frac{1}{12} (5.2)(10^3) = 433 \text{ cm}^4$$

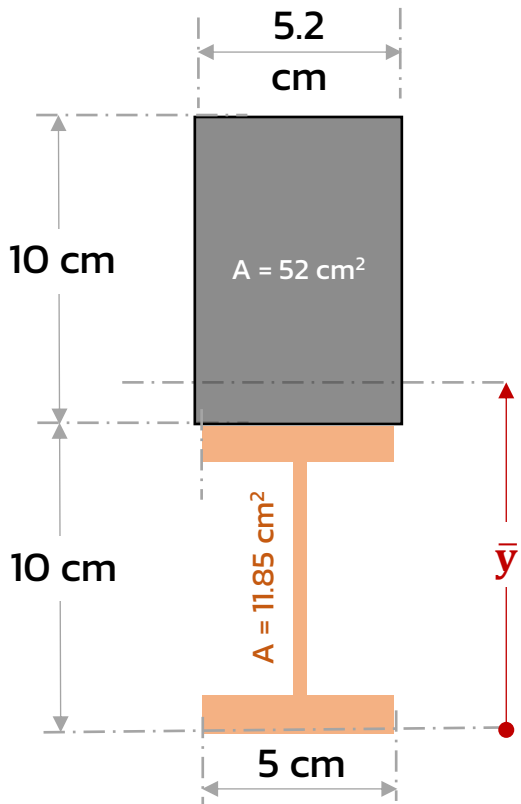
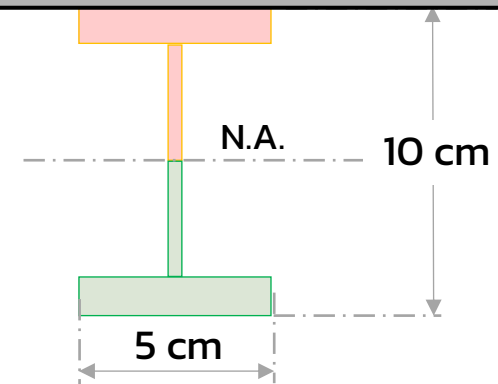
$$I_{x,t} = (I_{x,1} + A_1 d_1^2) + (I_{x,2} + A_2 d_2^2)$$

$$= [187 + 11.85(13.1 - 5)^2] + [433 + 52(15 - 13.1)^2]$$

$$= 973 + 612 = 1,585 \text{ cm}^4$$

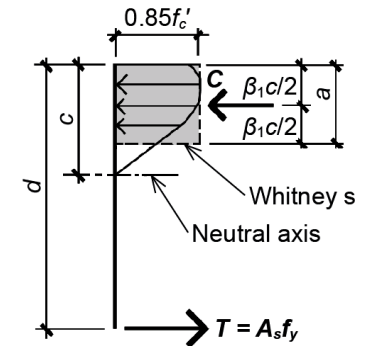
Composite beam จะมี **STIFFNESS**
 $1,585/187 = 8.5$ เท่า จาก Noncomposite beam

ถ้าหากเกิด full composite กับ แผ่นพื้น
 concrete $f'_c = 300 \text{ ksc}$ หนา 10 cm
 Fully composited beam จะมี bending
 stiffness เท่าใด



Composite beam moment capacity

#WeLoveSteelConstruction



หาตำแหน่ง Plastic neutral axis ของ Composite beam

เหล็กรับแรงดึง = $3,700(11.85) = 43,845 \text{ kg}$

คอนกรีตรับแรงอัด = $(0.85 \times 300)(37.5 \times 10) = 95,625 \text{ kg}$

ดังนั้น Plastic neutral axis อยู่ในพื้นคอนกรีต

ด้วยคอนกรีตไม่รับแรงดึง ดังนั้นสามารถหาตำแหน่งที่เกิดสมดุลของแรงอัดจากพื้นคอนกรีตกับแรงดึงจากคานเหล็ก

$$(0.85 \times 300)(37.5 \times 0.85y') = 43,845$$

$$y' = 5.4 \text{ cm}$$

$$M_p = C(\text{Arm}_C) + T(\text{Arm}_T)$$

$$= (0.85 \times 300 \times 37.5 \times 0.85 \times 5.4) \times (5.4 - 0.85 \times 5.4/2) + 43,845 \times (20 - 5 - 5.4)$$

$$= 136,284 + 420,912 = 557,196 \text{ kg-cm}$$

$$= 5,572 \text{ kg-m}$$

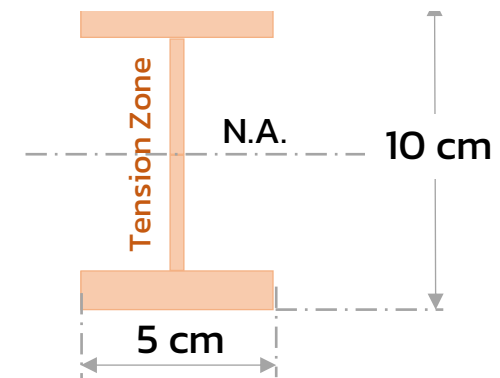
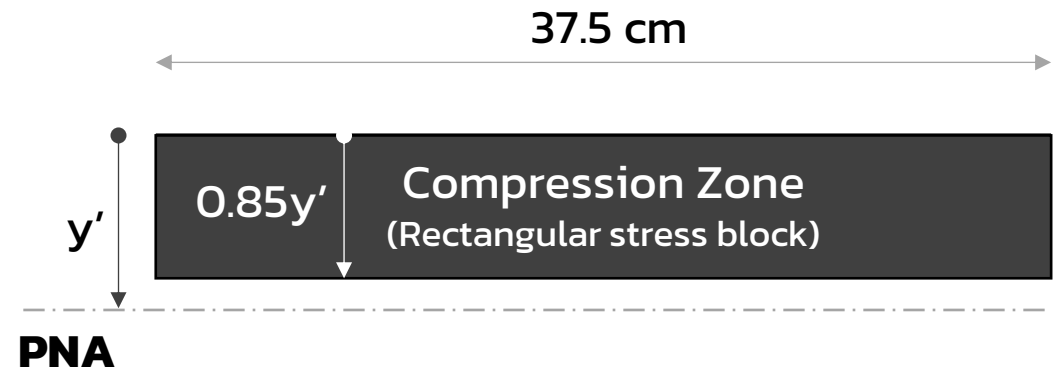
$$\phi M_n = \phi M_p = 0.9(5,572)$$

$$= 5,014 \text{ kg-m}$$

Composite beam จะมี **STRENGTH**
 $5,014/1,392 = 3.6$ เท่า จาก Noncomposite beam

$$b_e = \min (L/8, \text{beam spacing})$$

$$= \min (3/8, 2) = 3/8 \text{ m}$$





การคำนวณหา ปริมาณสลักรับ แรงเฉือน ของ คานคอมโพสิต

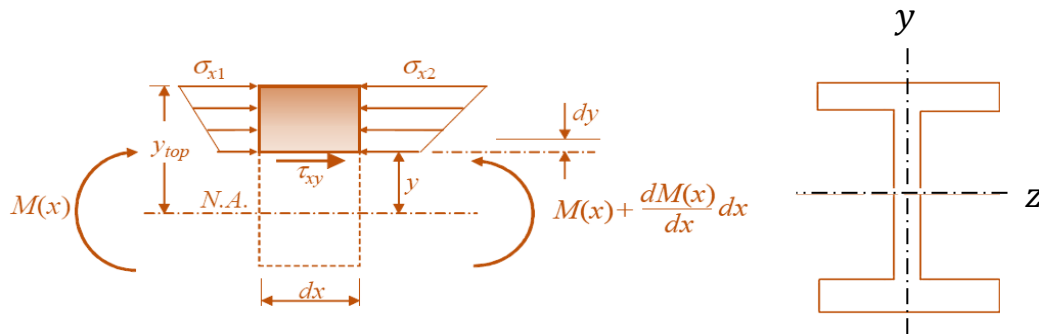
#WeLoveSteelConstruction



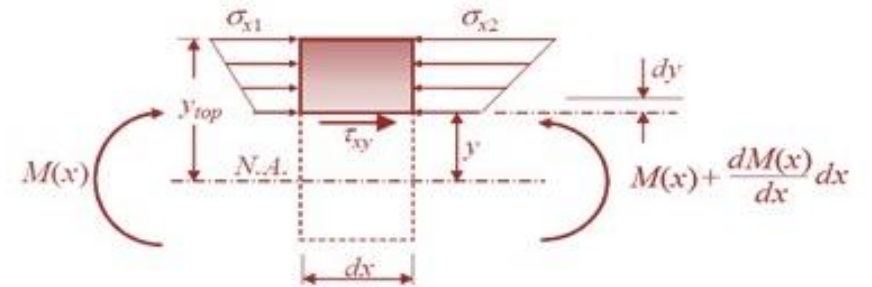
Required Strength for Shear Connector

#WeLoveSteelConstruction

- เช่นเดียวกับการคำนวณรอยเชื่อมของ built-up beam คือ เมื่อมี แรงภายนอกกระทำกับ flexural member ก็จะทำให้เกิดแรง ภายใน ทั้ง moment shear และ axial load ซึ่งส่งผลให้เกิด stress หรือ ความเค้น ซึ่งมี 2 ชนิดคือ (1) normal stress ความเค้นตั้งฉาก กับหน้าตัด และ (2) shear stress ความเค้นเฉือน
- ค่า shear stress (τ) จะสัมพันธ์กับขนาดของแรงเฉือนใน shear force diagram (V) โดยจาก equilibrium equation



- $\tau_{xy} = \frac{V(x) \cdot Q_z(y)}{I_z(x) \cdot b(y)}$ โดยที่ $Q_z(y) = \int_y^{y_{top}} y \cdot b(y) dy = \sum \bar{y}' A'$



ผลรวมของแรงในแนวแกน $x = 0$

$$+ \rightarrow \sum F_x = 0 = \int_y^{y_{top}} \sigma_{x1} t(y) dy - \int_y^{y_{top}} \sigma_{x2} t(y) dy + \tau_{xy} t(y) dx = 0$$

จัดฟอร์มสมการใหม่ โดยแทนค่า $\sigma_{x1} = \frac{M(x) \cdot y}{I_x}$

$$\int_y^{y_{top}} \frac{M(x) y}{I} t(y) dy - \int_y^{y_{top}} \frac{(M(x) + dM(x)) y}{I} t(y) dy + \tau_{xy} t(y) dx = 0$$

จัดฟอร์มสมการใหม่ โดยหารค่าทั้งหมดด้วย dx และ $t(y)$

$$\tau_{xy} = \frac{dM(x)}{dx} \frac{1}{I t(y)} \int_y^{y_{top}} y t(y) dy$$

Required Strength for Shear Connector

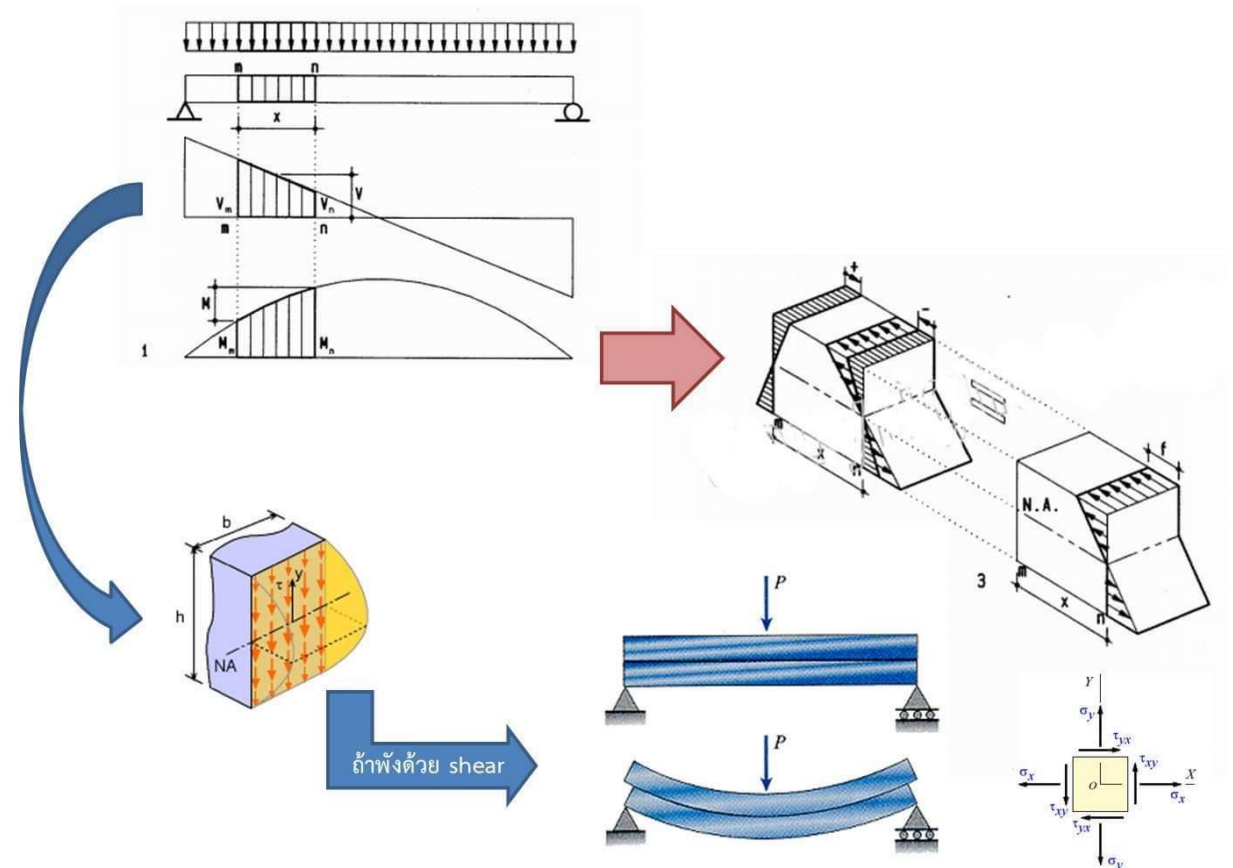
#WeLoveSteelConstruction

- $\tau_{xy} = \frac{V(x) \cdot Q_z(y)}{I_z(x) \cdot b(y)}$ shear stress

$v(x) = V(x) \cdot Q_z(y) / I_z(x)$ shear flow

โดยที่ $Q_z(y) = \int_y^{y_{top}} y \cdot b(y) dy = \sum \bar{y}' A'$

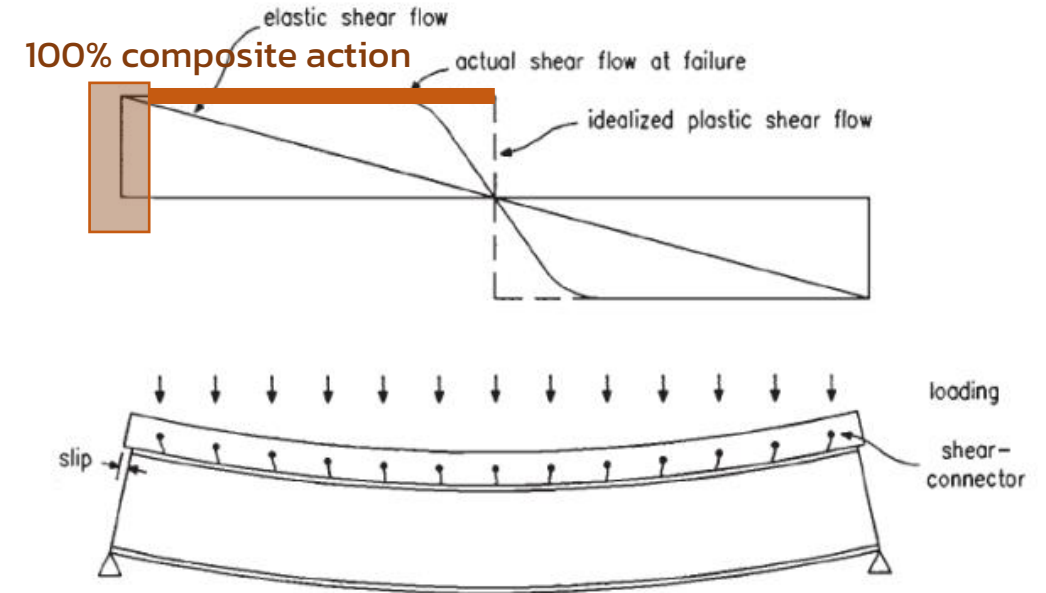
- แรงเฉือน หาได้จาก shear force diagram
 - คานเหล็กคอมโพสิต มักถูกออกแบบให้เป็น simple beam เพื่อให้ส่วนบนของคานที่รับแรงอัดนั้นถูกรับโดยพื้นคอนกรีตซึ่งรับแรงอัดได้ดีเมื่อแข็งตัวได้ strength ตามที่ต้องการ
 - การเชื่อมต่อ steel beam เข้ากับ concrete slab ด้วย shear connector จึงต้องมากเพียงพอต่อการถ่ายแรงเฉือนในแนวนอน หรือ shear flow (แรงต่อระยะทาง kg/m เป็นต้น)
 - จะรู้ shear flow ก็ต้องรู้ shear force ซึ่งหาได้จาก shear force diagram ปกติ



Required Strength for Shear Connector

#WeLoveSteelConstruction

- สำหรับ uniform load on simple beam จะส่งผลให้เกิด shear force diagram (SFD) รูปสามเหลี่ยม โดย shear force จะเกิดมากที่สุดที่ support และเป็นศูนย์ ที่กึ่งกลางคาน
- ถ้าหากติดตั้ง shear connector ให้ "ล้า" กับ SFD ปริมาณ หรือความถี่ในการติดตั้ง shear connector ก็จะมี (spacing น้อย) บริเวณใกล้ๆ support และ ห่างขึ้น (spacing มากขึ้น) เมื่อห่างจาก support ไปเป็น 0 บริเวณ กึ่งกลางคาน (นึกภาพการจัดเรียง stirrups ในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก)
- ในทางปฏิบัติ ด้วย shear connector ราคาไม่แพง จึงมัก generalize ให้ใช้ maximum shear ที่ support ในการ พิจารณา shear stress หรือ shear flow ซึ่ง conservative พอสมควร
- แต่หากผู้ออกแบบต้องการ optimize ต้นทุน ก็อาจ แบ่งโซน ติดตั้ง shear stud (discretize) ตามระดับของแรงเฉือนในแต่ละช่วง ซึ่งขึ้นกับดุลพินิจของวิศวกรผู้ออกแบบ



เช่น คำนวณ ได้ shear flow 3,000 kg/m (จาก shear max)
ถ้าจัดเรียง shear stud 1 แถว โดย shear stud แต่ละตัวรับแรง
เฉือนได้ปลอดภัยที่ 1,000 kg

พิจารณา "conservative" composite action จะต้องติดตั้ง
shear stud $1,000/3,000 = 0.33$ m หรือ spacing 30 cm



**The Most Economical
Simple Steel Beam**

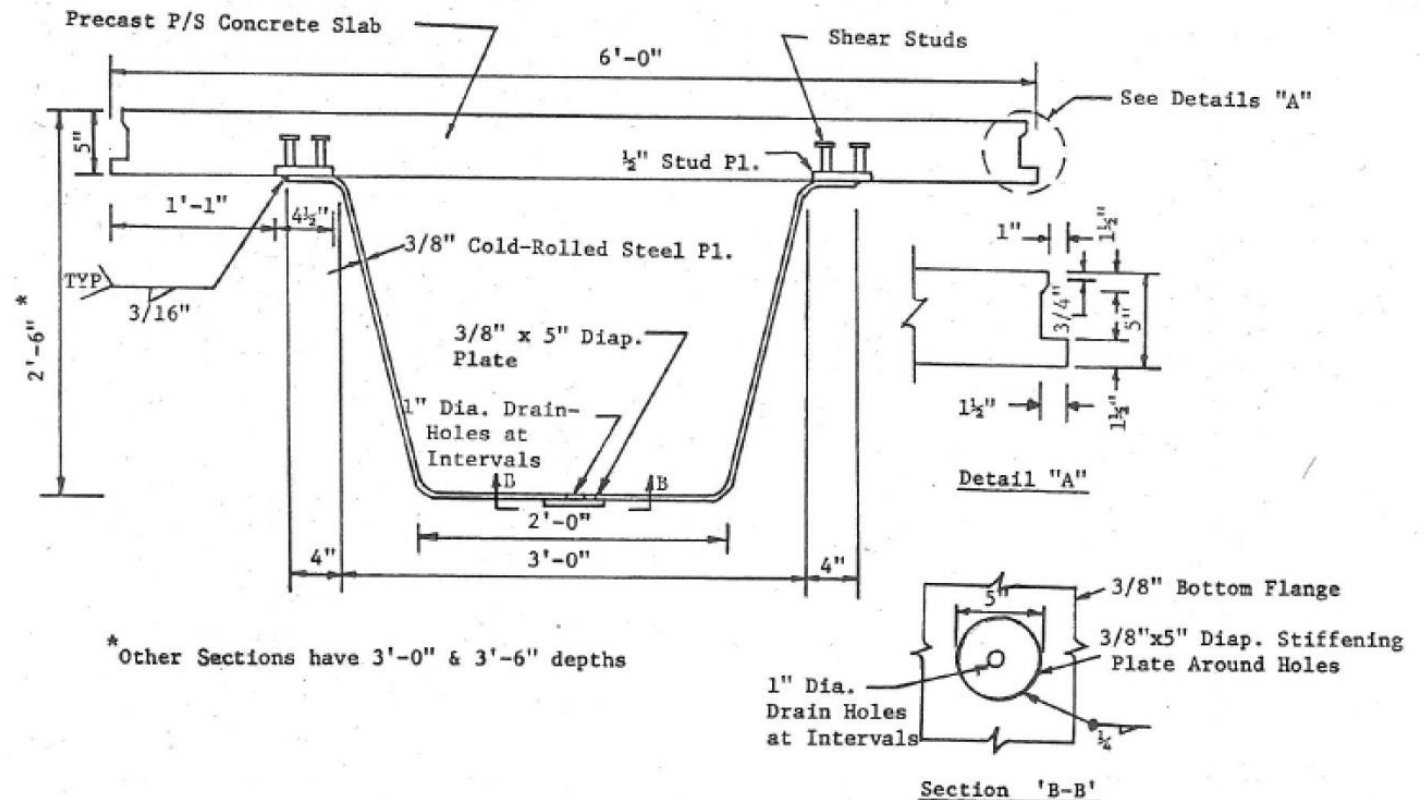
**ระบบคานเหล็กช่วงเดี่ยวที่
ประหยัดมากที่สุด**

#WeLoveSteelConstruction

Composite Cold-bent Tub Girder - 1

#WeLoveSteelConstruction

- ในอดีต ได้มีการใช้งานคานเหล็กที่ปราศจากการเชื่อม (welding) แต่ใช้การพับขึ้นรูปเย้น ให้เป็นทรงอ่าง (tub) โดยนำไปใช้ร่วมกับแผ่นคอนกรีตหล่อสำเร็จ (precast concrete) เชื่อมต่อกด้วย shear stud โดย Taly and Gangarao (1979) โดย precast concrete มีความหนาเพียง 12.5 cm

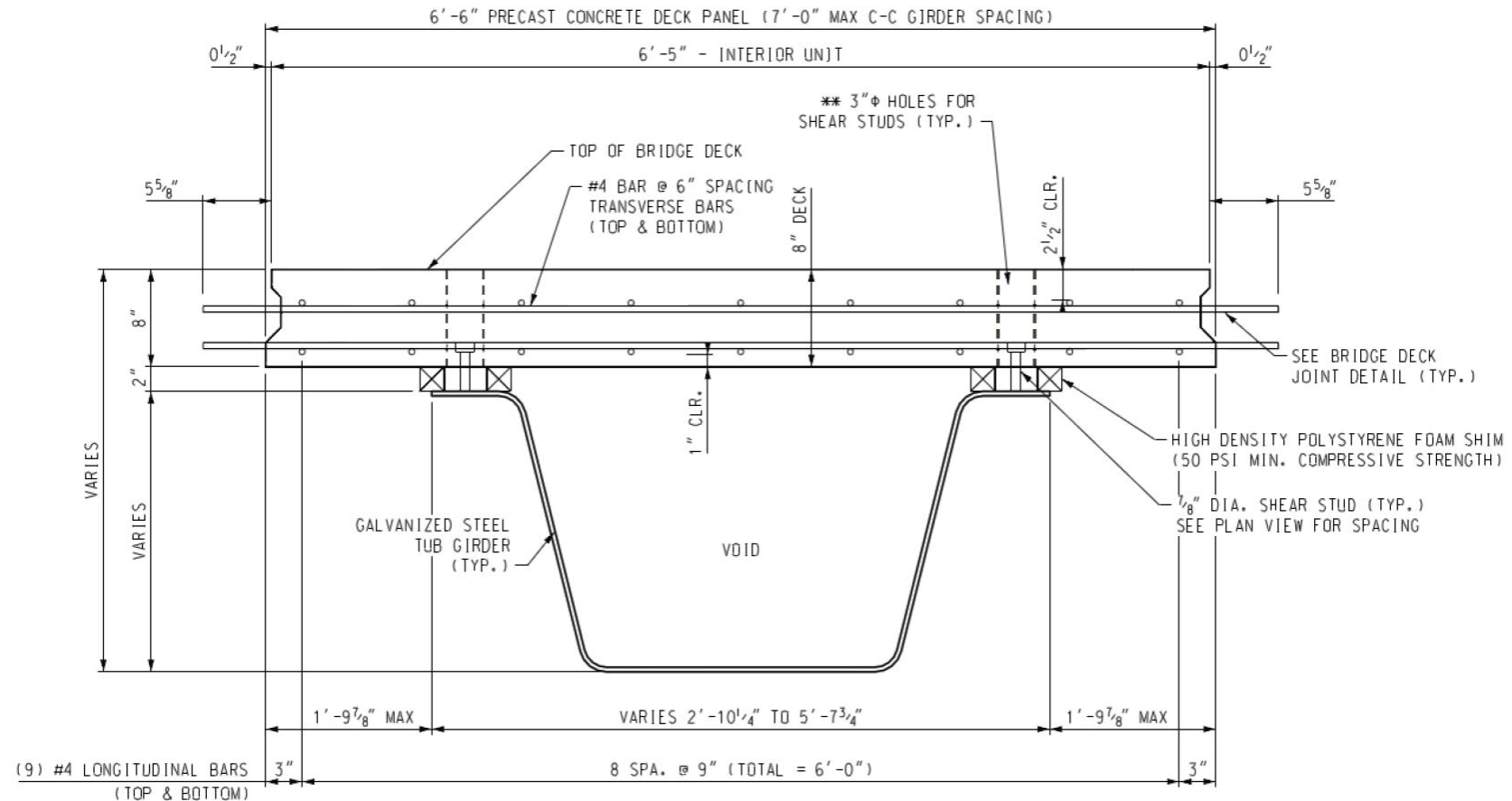


Ref: Taly and Gangarao's Composite Section (Taly and Gangarao, 1979)

Composite Cold-bent Tub Girder - 2

#WeLoveSteelConstruction

- ตั้งแต่ราวต้นปี 2000 งานก่อสร้างสะพานแบบเร่งด่วน Accelerated Bridge Construction (ABC) เป็นนโยบายสำคัญของงานก่อสร้างสะพาน ที่ต้องการลดผลกระทบต่อการจราจร
- Con-Struct Prefabricated Steel Bridge System ได้ถูกคิดค้นและนำออกสู่ตลาดในปี 2004 โดยสามารถทำความยาวช่วงได้ถึง 60 ฟุต (18 m) โดยนำไปใช้ที่ Minnesota, Missouri และ Michigan



Ref: Con-Struct Prefabricated Steel Bridge System

Composite Cold-bent Tub Girder – 3

#WeLoveSteelConstruction

- Cannelville Road Bridge โดยเป็นสะพานประเภท Composite Cold-bent Tub Girder (ปัจจุบันเรียกว่า Press-Break Tub Girder, PBTG) แห่งแรกของรัฐ Ohio
- การยกเป็นโมดูล ทำโดยการติดตั้ง PBTG 2 ชุด ที่ผ่านการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนแล้วเชื่อมต่อ เข้าด้วยกันกับ Sandwich Plate System (SPS) Deck ซึ่งน่าจะให้อายุการใช้งานได้สูงถึง 100 ปี
- การยกวางและการติดตั้ง 1 โมดูล ใช้เวลาเพียง 22 นาที ด้วยเครนขนาดปกติทั่วไป



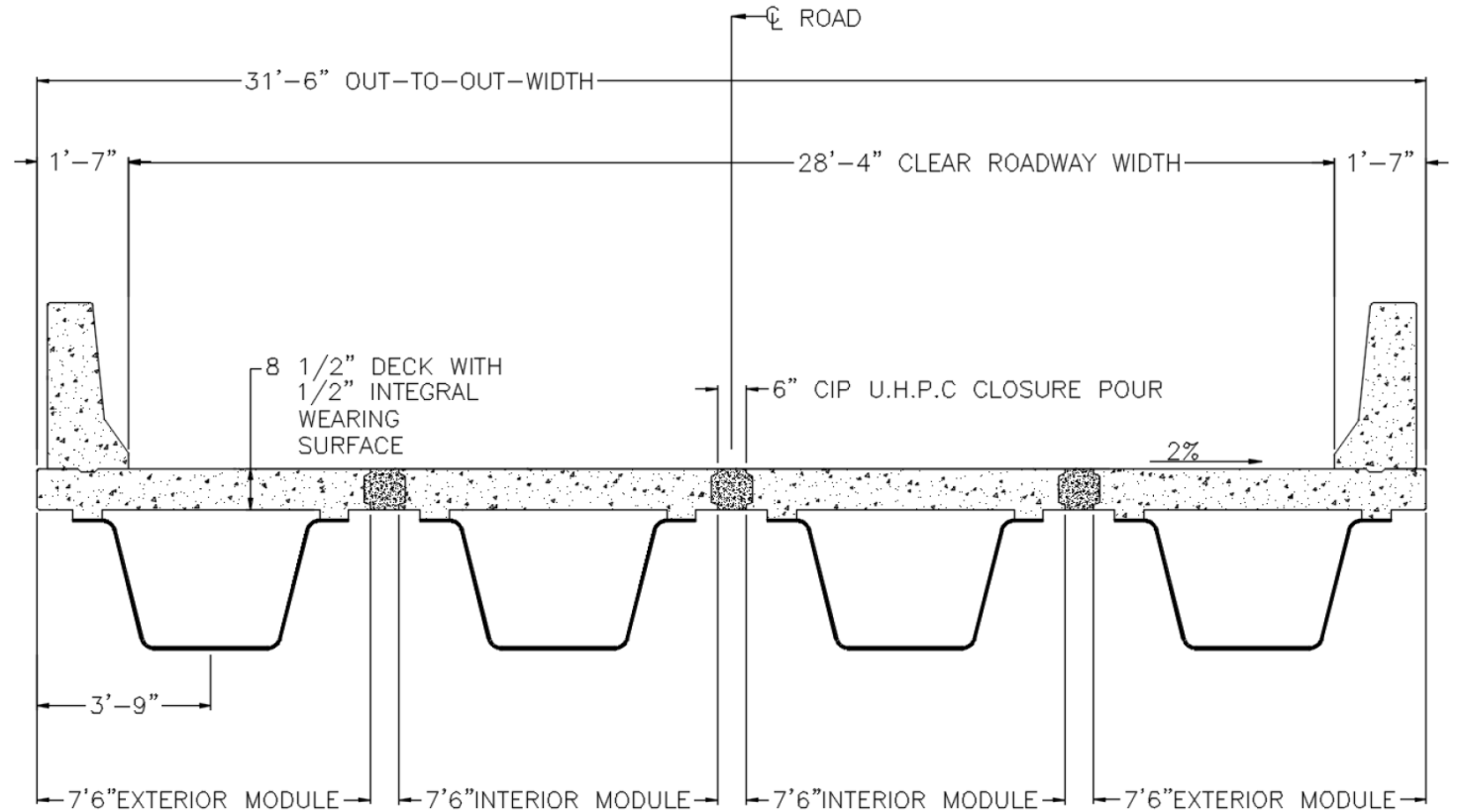
Cannelville Road Bridge in Muskingum County, Ohio

Ref: Barth et. al, "Development and Experimental Testing of Press-Break Formed Tub Girders for Short Span Bridge Application"

Composite Cold-bent Tub Girder - 4

#WeLoveSteelConstruction

- ถ้าแบ่ง 1 span ออกเป็น 2 โมดูล (2 ช่องจราจร Roadway กว้างราว 8.6 m) จะส่งผลให้แต่ละช่วง span ใช้เวลาในการยกวางเพียง 44 นาที (ไม่นับรวมเวลาเทคอนกรีตสมรรถนะสูงพิเศษ หรือ UHPC ตรงบริเวณ joint)
- ปกติ 10 m span ตามแบบมาตรฐานของหน่วยงานทางในประเทศ จะเป็นระบบคอนกรีตที่มีทั้งแบบหล่อในที่ และแบบ precast ที่หนารวม topping ราว 50 cm ซึ่งมีน้ำหนัก DL ประมาณ 1,250 kg/sqm เทียบกับระบบ PBTG ที่พื้นหนานาว 20 cm มีเหล็กแผ่นอีกประมาณ 100 kg/sqm ส่งผลให้ DL อยู่ที่ราว 600 kg/sqm หรือ DL ของระบบ PBTG คิดเป็นเพียง 50% ของ conventional system

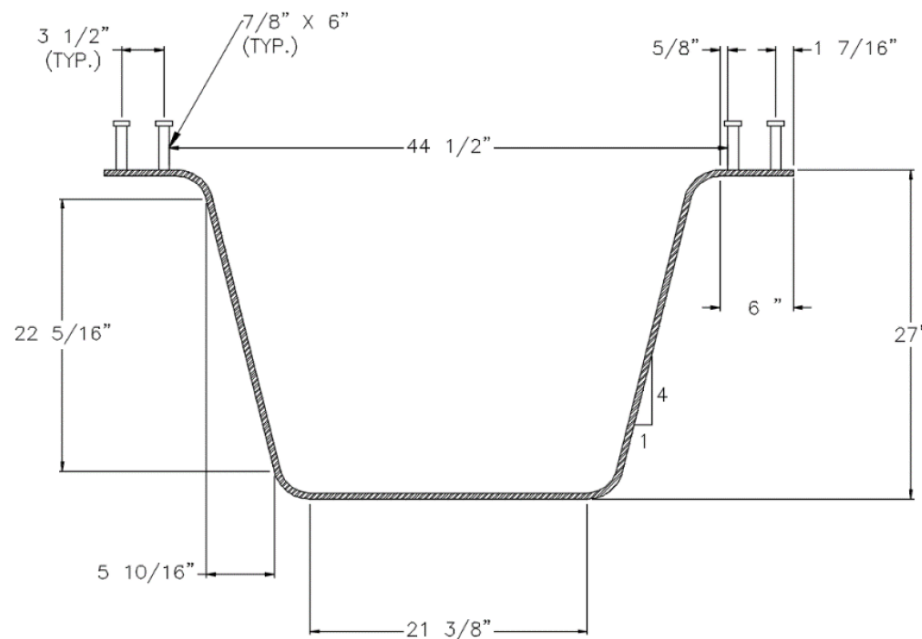


Typical Bridge Cross Section

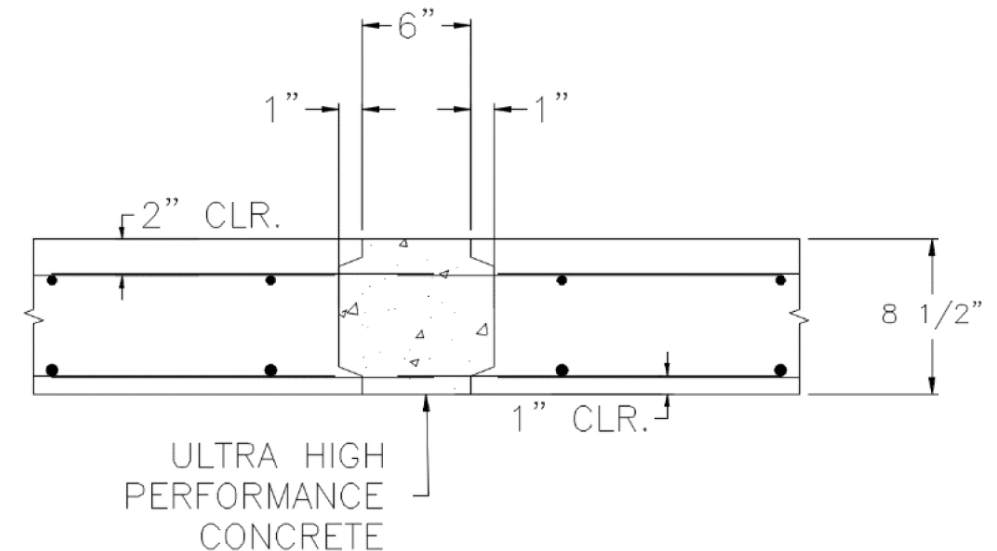
Composite Cold-bent Tub Girder - 5

#WeLoveSteelConstruction

- ในการพิจารณา composite system ระหว่างพื้นคอนกรีตกับคานเหล็ก จะพิจารณาว่า 1 ช่วงของ deck จะมี ส่วนรับ bending ร่วมกับคานเหล็ก ซึ่ง effective flange width เท่ากับ 240 cm



Typical Cross Section



Typical Joint Section



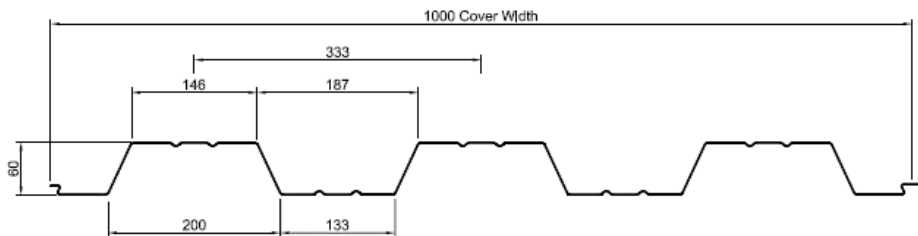
Basic things
you need to
know about
metal deck

#WeLoveSteelConstruction

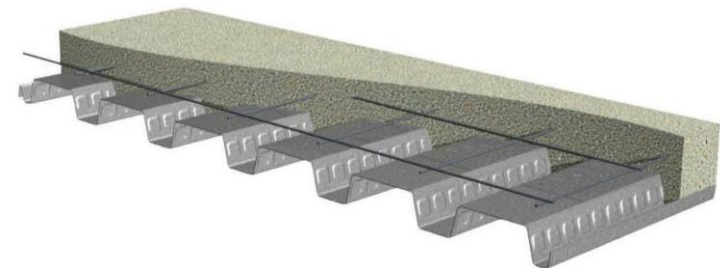
Metal deck in general (1)

#WeLoveSteelConstruction

- โดยปกติในทางปฏิบัติของประเทศไทย คำว่า “**metal deck**” จะใช้กับ “แผ่นเหล็ก**รีดเย็น**ชุบสังกะสี ที่ผ่านการขึ้นรูปเย็นให้เป็นลอน สำหรับรองรับการเทคอนกรีตด้านบน” ซึ่งแตกต่างจาก “**metal sheet**” ตรงที่ metal sheet จะไม่รองรับการเทคอนกรีต มักใช้เป็น แผ่นมุงหลังคาโลหะ
- กระบวนการผลิต จะเป็นการนำ **Cold**-rolled coil GL หรือ เหล็กแผ่นรีดเย็นชุบสังกะสีชนิดม้วน (หรืออาจเป็น **hot**-rolled GI) มาเข้ากระบวนการ **รีดขึ้นรูปเย็น (cold forming)** ให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการ ดังนั้นโดยทั่วไปแล้ว metal deck จะมีความบาง และมีความสามารถในการต้านทานการเกิดสนิมได้ดี
- โดยปกติ ความกว้างของเหล็กม้วน (coil) จะอยู่ที่ราว 1.2 – 1.4 m ดังนั้น เมื่อผ่านการ**รีดขึ้นรูปเย็น** จะมีความกว้างของ metal deck ประมาณ 1 เมตร (+/-) ขึ้นกับ “ความลึกของร่อง (flute)” ซึ่งโดยทั่วไป จะมีขนาดความลึก 2” (50 mm) – 3” (75 mm) โดยความหนาจะระบุเป็น ค่า gauge จาก gauge 16 หนา 0.05” (1.27 mm) gauge 18 หนา 0.04” (1.02 mm) ไปจน gauge 22 หนา 0.03” (0.76 mm)



Ref: Technical manual and guidance note by SMD



Ref: <https://blog.metaldeck.com/>

Metal deck in general (2)

#WeLoveSteelConstruction

- ด้วย metal deck ใช้สำหรับรองรับคอนกรีต ซึ่งยังไม่มีความสามารถในการรับแรงจนกระทั่งแข็งตัว metal deck จึงต้องมี (1) strength สามารถรับน้ำหนักคอนกรีต และ construction load ได้อย่างปลอดภัย และ (2) stiffness ไม่แอ่นตัวมากจนเกินไป โดยต้องพิจารณาประเภทคอนกรีตด้วยว่าเป็น **normal weight** หรือ **light weight concrete**
- การ secure strength performance จึงต้องพิจารณา (a) dimension ทั้งความลึกของร่อง (flute thickness) และความหนา (b) span length (c) grade วัสดุ สะท้อนกำลังคราก F_y และ (d) ลักษณะของ support เช่น วาง metal deck แบบ simple span หรือ continuous span
- ส่วนการ secure stiffness performance ก็ไม่ต่างกันมาก แต่จะพิจารณาในเชิง serviceability หรือการใช้งานได้ดี ไม่แอ่นมากจนไม่สวย หรืออาจเกิดน้ำขังในอนาคต ดังนั้นเกณฑ์การแอ่นตัวจึงต้องหารือกับ owner ให้ชัดเจนก่อน

R51 Load Span Tables (BS5950) Steel Grade S350 – Normal Weight Concrete

				Maximum Permissible Span (m)											
Span Type	Fire Rating (hours)	Slab Depth (mm)	Mesh	0.9mm Gauge				1.0mm Gauge				1.2mm Gauge			
				Total Unfactored Applied Load (kN/m ²)											
				3.5	5.0	7.5	10.0	3.5	5.0	7.5	10.0	3.5	5.0	7.5	10.0
Single Span 	1.0	101	A142	2.76	2.76	2.76	2.76	3.00	3.00	3.00	2.93	3.27	3.27	3.27	3.13
		130	A193	2.59	2.59	2.59	2.59	2.76	2.76	2.76	2.76	3.04	3.04	3.04	3.04
		150	A252	2.46	2.46	2.46	2.46	2.65	2.65	2.65	2.65	2.90	2.90	2.90	2.90
	1.5	110	A142	2.68	2.68	2.68	2.45	2.92	2.92	2.92	2.51	3.19	3.19	3.07	2.65
		130	A193	2.59	2.59	2.59	2.59	2.76	2.76	2.76	2.76	3.04	3.04	3.04	3.04
		150	A252	2.46	2.46	2.46	2.46	2.65	2.65	2.65	2.65	2.90	2.90	2.90	2.90
	2.0	125	A193	2.60	2.60	2.60	2.32	2.80	2.80	2.70	2.35	3.08	3.08	2.74	2.41
		150	A252	2.46	2.46	2.46	2.46	2.65	2.65	2.65	2.65	2.90	2.90	2.90	2.90
		175	A252	2.32	2.32	2.32	2.32	2.52	2.52	2.52	2.52	2.75	2.75	2.75	2.75
Double Span 	1.0	101	A142	3.23	3.23	3.03	2.67	3.47	3.47	3.13	2.76	3.78	3.78	3.32	2.93
		130	A193	3.05	3.05	3.05	3.05	3.30	3.30	3.30	3.30	3.51	3.51	3.51	3.51
		150	A252	2.89	2.89	2.89	2.89	3.14	3.14	3.14	3.14	3.44	3.44	3.44	3.44
	1.5	110	A142	3.22	3.13	2.67	2.38	3.39	3.22	2.75	2.44	3.69	3.38	2.89	2.57
		130	A193	3.05	3.05	3.05	2.74	3.30	3.30	3.17	2.81	3.51	3.51	3.32	2.94
		150	A252	2.89	2.89	2.89	2.89	3.14	3.14	3.14	3.14	3.44	3.44	3.44	3.35
	2.0	125	A193	3.09	2.94	2.52	2.25	3.33	2.98	2.56	2.29	3.45	3.05	2.63	2.35
		150	A252	2.89	2.89	2.89	2.65	3.14	3.14	3.01	2.68	3.44	3.44	3.07	2.74
		175	A252	2.72	2.72	2.72	2.72	2.98	2.98	2.98	2.84	3.26	3.26	3.26	2.91
Double Span (Proposed) 	1.0	101	A252	4.13	3.70	3.21	2.88	4.24	3.80	3.30	2.96	4.45	3.99	3.46	3.11
		130	A393	4.86	4.34	3.76	3.36	4.98	4.52	3.97	3.55	5.19	4.71	4.14	3.74
		150	2 x A252	5.10	4.59	4.00	3.59	5.38	4.84	4.22	3.79	5.66	5.18	4.58	4.15
	1.5	110	A252	3.76	3.38	2.94	2.64	3.84	3.45	3.01	2.70	4.00	3.59	3.13	2.81
		130	A393	4.39	3.97	3.49	3.15	4.47	4.05	3.55	3.21	4.62	4.18	3.67	3.32
		150	2 x A252	4.84	4.42	3.91	3.54	4.92	4.49	3.97	3.60	5.08	4.63	4.10	3.71
	2.0	125	A393	3.85	3.48	3.05	2.75	3.89	3.52	3.08	2.78	3.97	3.59	3.14	2.84
		150	2 x A252	4.35	3.96	3.50	3.17	4.39	4.00	3.53	3.20	4.46	4.07	3.60	3.26
		175	2 x A252	4.49	4.12	3.67	3.34	4.54	4.17	3.71	3.38	4.62	4.24	3.78	3.44

R51 Load Span Tables (BS5950) Steel Grade S350 – Lightweight Concrete

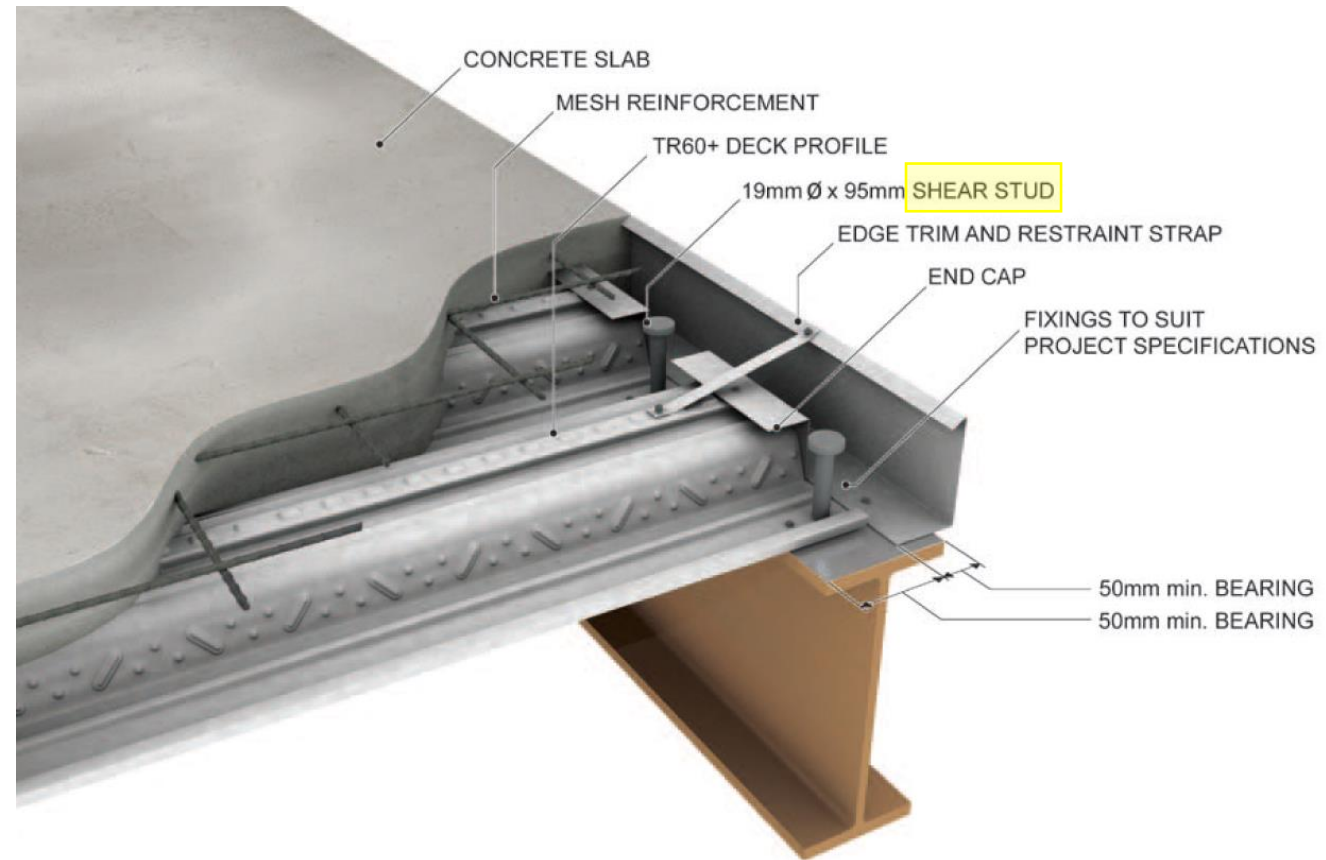
				Maximum Permissible Span (m)												
Span Type	Fire Rating (hours)	Slab Depth (mm)	Mesh	0.9mm Gauge				1.0mm Gauge				1.2mm Gauge				
				3.5	5.0	7.5	10.0	3.5	5.0	7.5	10.0	3.5	5.0	7.5	10.0	
Single Span 	1.0	101	A142	2.97	2.97	2.97	2.85	3.19	3.19	3.19	2.95	3.48	3.48	3.48	3.14	
		130	A193	2.74	2.74	2.74	2.74	2.99	2.99	2.99	2.99	3.26	3.26	3.26	3.26	
		150	A252	2.67	2.67	2.67	2.67	2.85	2.85	2.85	2.85	3.13	3.13	3.13	3.13	
	1.5	105	A142	2.93	2.93	2.84	2.45	3.16	3.16	2.91	2.52	3.44	3.44	3.06	2.64	
		130	A193	2.74	2.74	2.74	2.74	2.99	2.99	2.99	2.99	3.26	3.26	3.26	3.23	
		150	A252	2.67	2.67	2.67	2.67	2.85	2.85	2.85	2.85	3.13	3.13	3.13	3.13	
	2.0	115	A193	2.85	2.85	2.69	2.34	3.09	3.09	2.71	2.37	3.36	3.36	2.77	2.43	
		150	A252	2.67	2.67	2.67	2.67	2.85	2.85	2.85	2.85	3.13	3.13	3.13	3.06	
		175	A252	2.53	2.53	2.53	2.53	2.71	2.71	2.71	2.71	2.99	2.99	2.99	2.99	
	Double Span 	1.0	101	A142	3.43	3.43	3.09	2.71	3.69	3.69	3.19	2.81	4.02	4.02	3.39	2.98
			130	A193	3.26	3.26	3.26	3.26	3.51	3.51	3.51	3.37	3.76	3.76	3.76	3.56
			150	A252	3.12	3.12	3.12	3.12	3.37	3.37	3.37	3.37	3.68	3.68	3.68	3.68
1.5		105	A142	3.41	3.20	2.70	2.39	3.65	3.28	2.77	2.46	3.98	3.45	2.92	2.58	
		130	A193	3.26	3.26	3.21	2.83	3.51	3.51	3.29	2.90	3.76	3.76	3.43	3.03	
		150	A252	3.12	3.12	3.12	3.12	3.37	3.37	3.37	3.33	3.68	3.68	3.68	3.46	
2.0		115	A193	3.38	3.04	2.58	2.29	3.56	3.07	2.61	2.32	3.60	3.14	2.68	2.38	
		150	A252	3.12	3.12	3.12	2.78	3.37	3.37	3.18	2.81	3.68	3.68	3.24	2.87	
		175	A252	2.97	2.97	2.97	2.95	3.21	3.21	3.21	2.98	3.52	3.52	3.44	3.05	
Double Span (Proposed) 		1.0	101	A252	4.19	3.84	3.30	2.95	4.25	3.91	3.39	3.03	4.35	4.01	3.51	3.17
			130	A393	5.06	4.52	3.87	3.44	5.11	4.72	4.09	3.63	5.19	4.89	4.29	3.85
			150	2 x A252	5.39	4.80	4.14	3.69	5.54	5.06	4.36	3.89	5.64	5.35	4.76	4.27
	1.5	105	A252	3.93	3.50	3.02	2.69	4.01	3.57	3.08	2.75	4.17	3.71	3.20	2.86	
		130	A393	4.70	4.22	3.67	3.29	4.78	4.29	3.73	3.35	4.93	4.43	3.85	3.46	
		150	2 x A252	5.21	4.72	4.13	3.69	5.30	4.79	4.19	3.78	5.46	4.93	4.32	3.89	
	2.0	115	A393	4.12	3.68	3.18	2.85	4.16	3.71	3.21	2.88	4.23	3.78	3.27	2.93	
		150	2 x A252	4.76	4.30	3.76	3.39	4.80	4.34	3.80	3.42	4.88	4.41	3.86	3.48	
		175	2 x A252	4.91	4.47	3.94	3.56	4.96	4.51	3.97	3.59	5.05	4.59	4.05	3.66	

Refer to page 07 for notes associated with these load/span tables. For more comprehensive tables covering a wider range of slab depths, loadings, fire ratings and mesh sizes visit our website at www.smdtd.co.uk.

Metal deck in general (3)

#WeLoveSteelConstruction

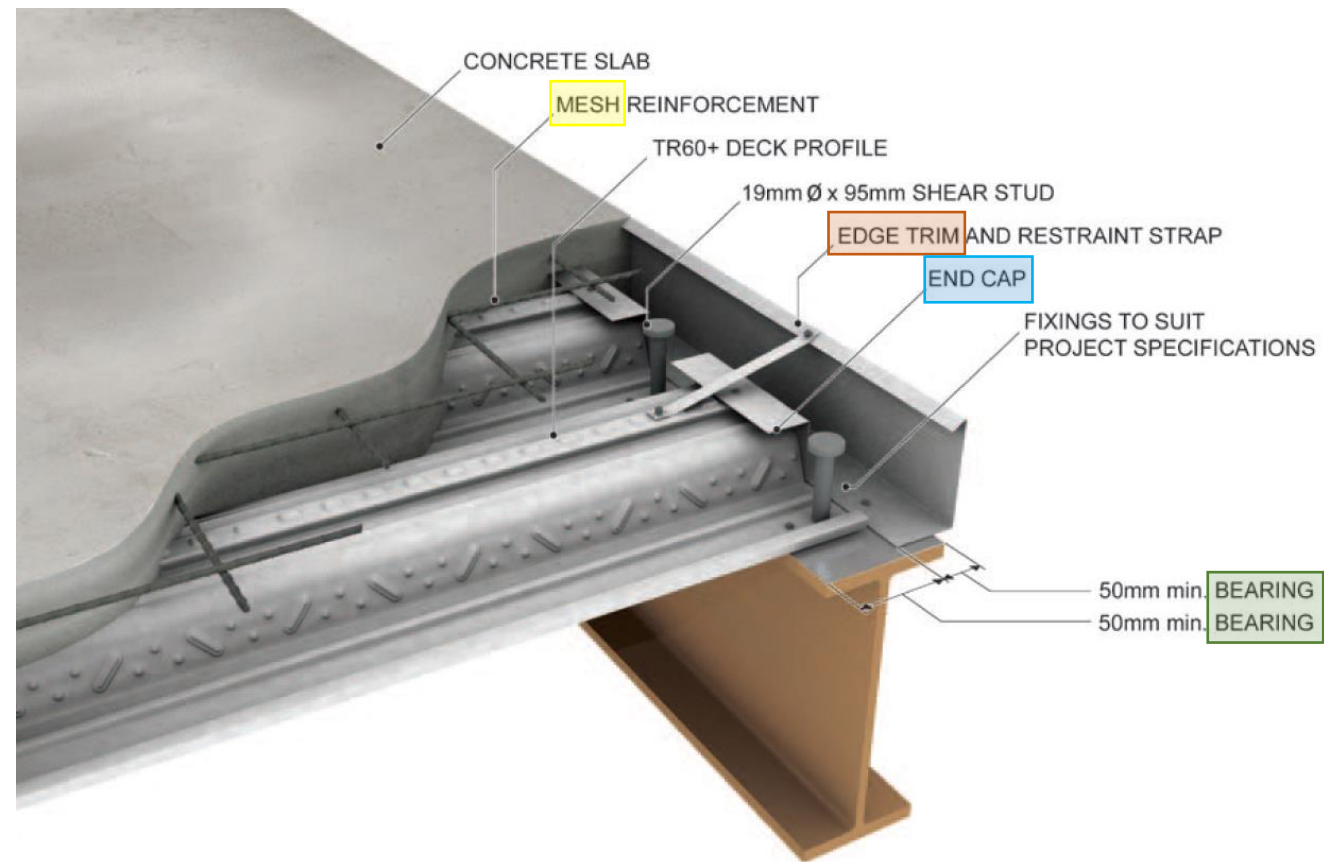
- เพื่อให้สามารถดึงศักยภาพของระบบในการรับแรง (strength) และลดการแอ่นตัว (stiffness) ได้สูงสุด metal deck จึงเป็นเสมือน “ไม้แบบ” เพื่อรองรับคอนกรีตที่อำนวยความสะดวก “เชื่อมพื้นคอนกรีตเมื่อแข็งตัวเข้ากับคานเหล็ก” กลายเป็น **composite concrete slab steel beam**
- ระบบ **composite beam** เป็นการ “เชื่อมพื้นคอนกรีตกับคานเหล็กให้รับแรงไปพร้อมกัน” โดย **พื้นคอนกรีตจะรับแรงอัด** และ **คานเหล็กจะรับแรงดึง** ซึ่งการประสานพื้นคอนกรีตและคานเหล็กให้ทำงานไปพร้อมกัน ต้องทำการ secure shear flow strength ระหว่างพื้นคอนกรีตกับคานเหล็ก ด้วยการใช้ **“shear stud”** ซึ่งสามารถติดตั้งที่หน้างานได้โดยง่าย



Metal deck detail (1)

#WeLoveSteelConstruction

- พึงตระหนักเสมอ ว่า metal deck เป็นส่วนของไม้แบบรับคอนกรีตสด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้อง “ปิดทางไหลออกของคอนกรีตสดในทุกช่องทาง” ด้วยการใช้อุปกรณ์เสริม เช่น **END CAP** ปิดรูจากร่อง (flute) หรือ **EDGE TRIM** ตามแนวขอบพื้น (slab edge)
- การวาง metal deck ควรให้มีระยะนั่ง หรือ **BEARING** width ไม่น้อยกว่า 50 mm เพื่อป้องกันการขยับตัวหลุดออกระหว่างการเทคอนกรีต และช่วย secure strength และ serviceability ไม่ให้อ่อนตัวมากจนเกินไป
- Concrete slab จำเป็นต้องมีเหล็กเสริม เพื่อป้องกันการร้าว โดยปกติผู้ผลิต metal deck จะแนะนำให้ใช้ลวดเหล็กตะแกรง wire **MESH** อันเป็นไปตามความหนาพื้นคอนกรีต



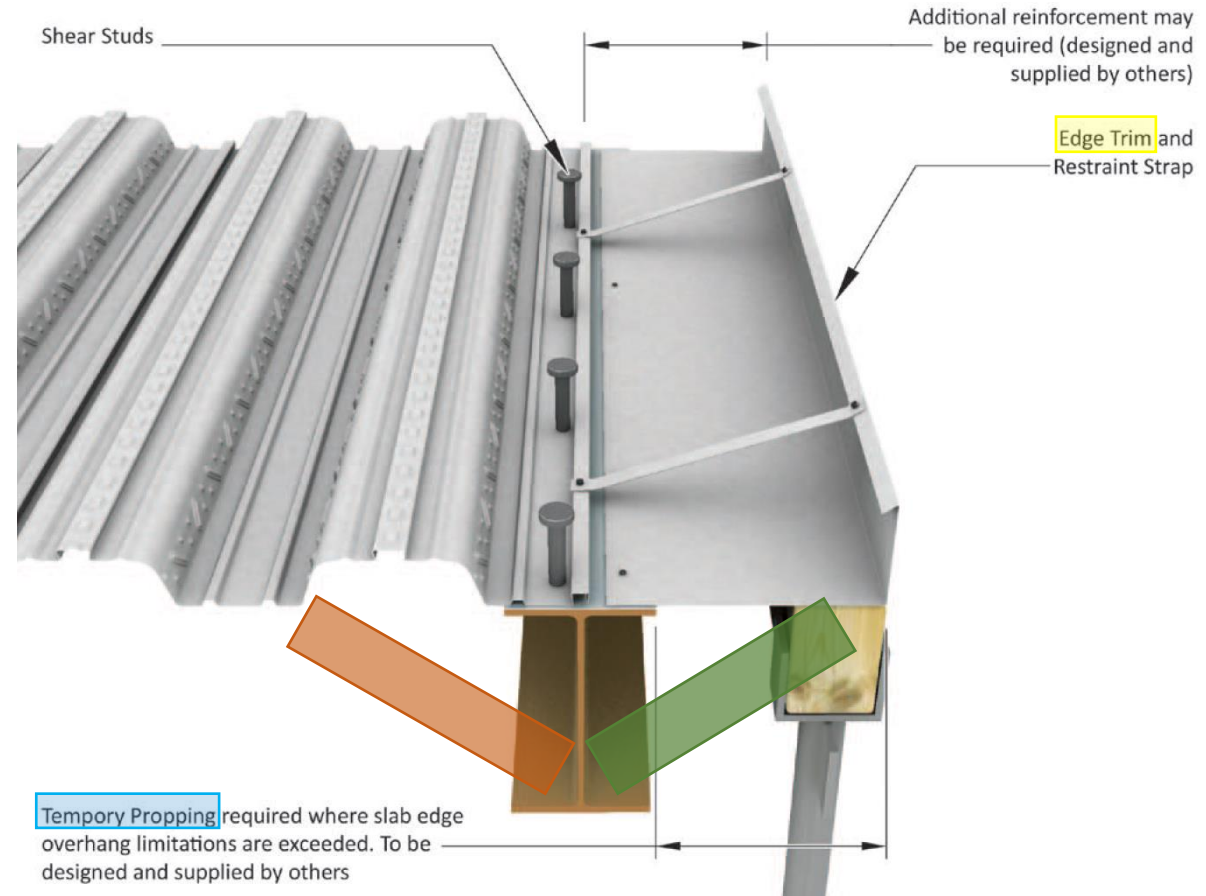
Ref: Technical manual and guidance note by SMD

Metal deck detail (2)

#WeLoveSteelConstruction

- ในกรณีที่แนวขอบพื้น (slab edge) อยู่เลยออกไปจากแนว centerline ของคาน มีความจำเป็นจะต้องขยายขนาด **Edge Trim** และมีแถบยึดเพิ่มเติม ซึ่งผู้รับเหมา จำเป็นจะต้องดำเนินการตามคำแนะนำของผู้ผลิตและติดตั้ง metal deck
- ทั้งนี้หากขอบยื่นเกินกว่ามาตรฐานที่ metal deck supplier ระบุ ผู้รับเหมาหลักอาจต้องพิจารณาติดตั้ง ค้ำยันชั่วคราว (**Temporary Propping**) บริเวณขอบที่ยื่นออกมา
- ระบบค้ำยันชั่วคราว อาจเป็นรูปแบบ diagonal **kicker** ใช้ไม้มายันที่ปีกล่างของคานเหล็ก (ตรวจสอบความปลอดภัยของคาน โดยวิศวกร ว่าคานสามารถรับ torsion ได้ มีเช่นนั้น อาจต้องทำ diagonal **kicker** ต่อยัง metal deck อีกด้าน

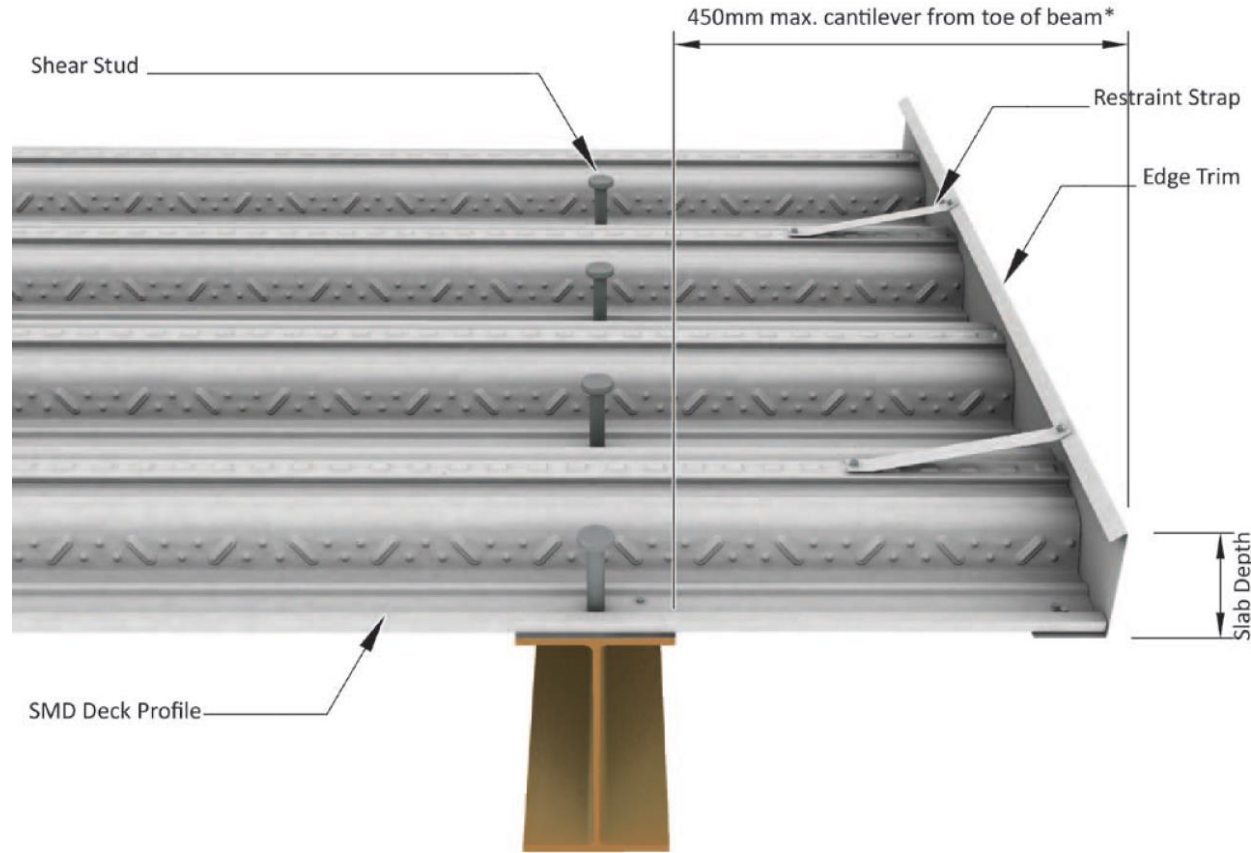
Overall Slab Depth	Edge Trim			
	Dimension from toe of Beam			
	1.0mm	1.2mm	1.6mm	2.0mm
130 mm	105mm	125mm	160mm	200mm
150 mm	95mm	115mm	150mm	185mm
175 mm	90mm	110mm	145mm	175mm
200 mm	85mm	100mm	135mm	165mm
250 mm	Propping Required			



Metal deck detail (3)

#WeLoveSteelConstruction

- Metal deck มีรับรับแรงทิศทางเดียว (1-way direction) คือถ่ายแรงตามแนวยาวของร่องไปสู่คานที่วางตัวในแนวตั้งฉาก (หรืออาจทำมุม skew) กับ metal deck ดังนั้นในกรณีที่ สามารถ “ยึด metal deck” ออกจาก beam centerline ไปสู่ slab edge ได้ วิธีการนี้จะ ประหยัดกว่าการใช้ kicker หรือค้ำยันชั่วคราว
- ระยะยื่น cantilevered length ขึ้นกับความ ลึกของร่อง (flute thickness) ของ metal deck ซึ่งสะท้อน section modulus (strength) และ moment of inertia (stiffness) ของ cantilevered metal deck
- ทั้งนี้ จะต้องติดตั้ง Edge Trim (ยึดด้วย Restraint Strap) เพื่อป้องกันการไหลออก ของคอนกรีต

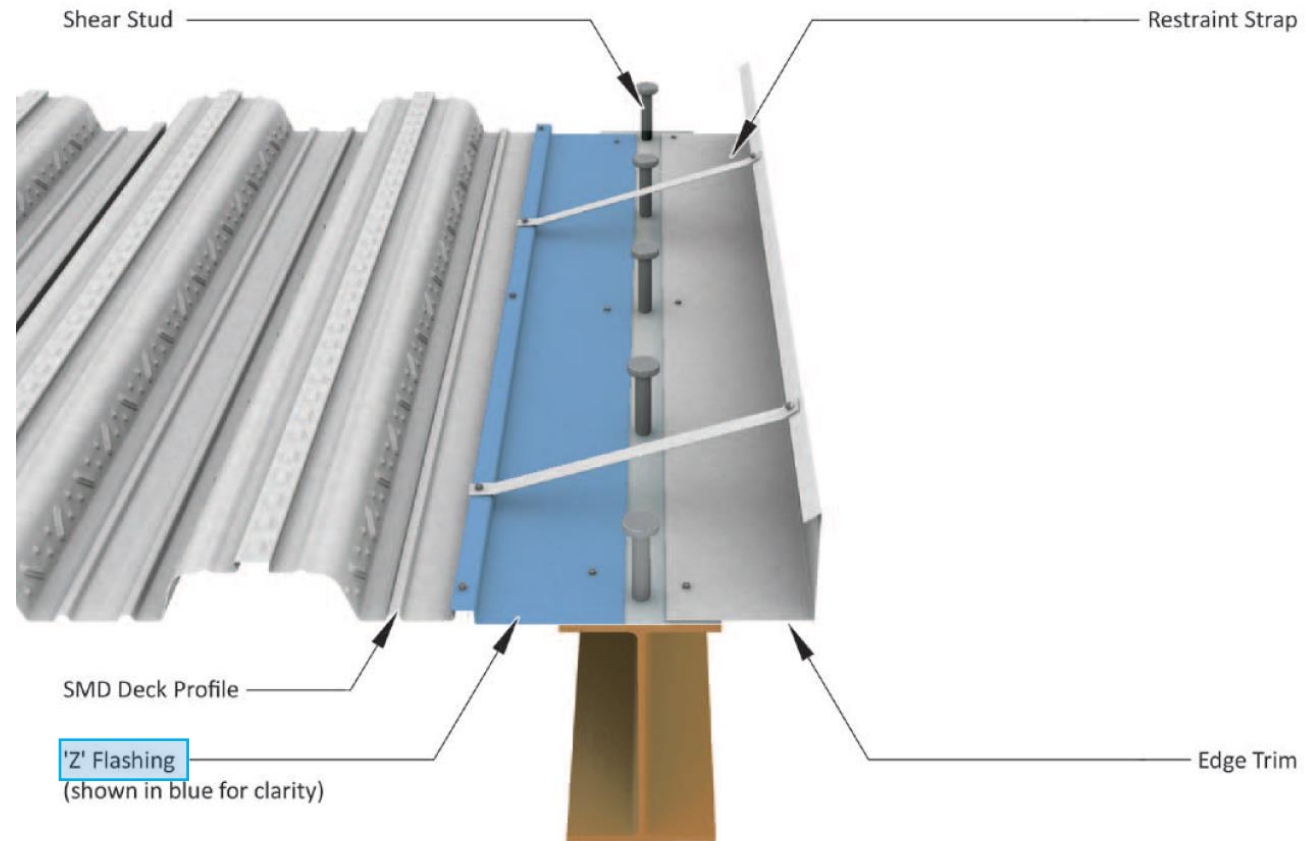


Ref: Technical manual and guidance note by SMD

Metal deck detail (4)

#WeLoveSteelConstruction

- ในกรณีที่แนว metal deck ขนานกับคาน ขอบอาคาร (ไม่ได้รับ metal deck) แต่ความกว้างแผ่น “ยาวไม่ถึงคานขอบ” ต้องทำการปิดด้วยแผ่นปิดตัวแซด **Z Flashing** เพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตไหลลงสู่เบื้องล่าง
- การยึดแผ่นบาง ทั้ง Metal deck, Flashing, Edge trim, Restraint strap ฯลฯ ใช้การยึดด้วย screw ปลายปล้อ
- การตัดแผ่นบาง สามารถดำเนินการที่หน้างานได้โดยง่ายด้วยการใช้กรรไกร ตัดแบบ manual

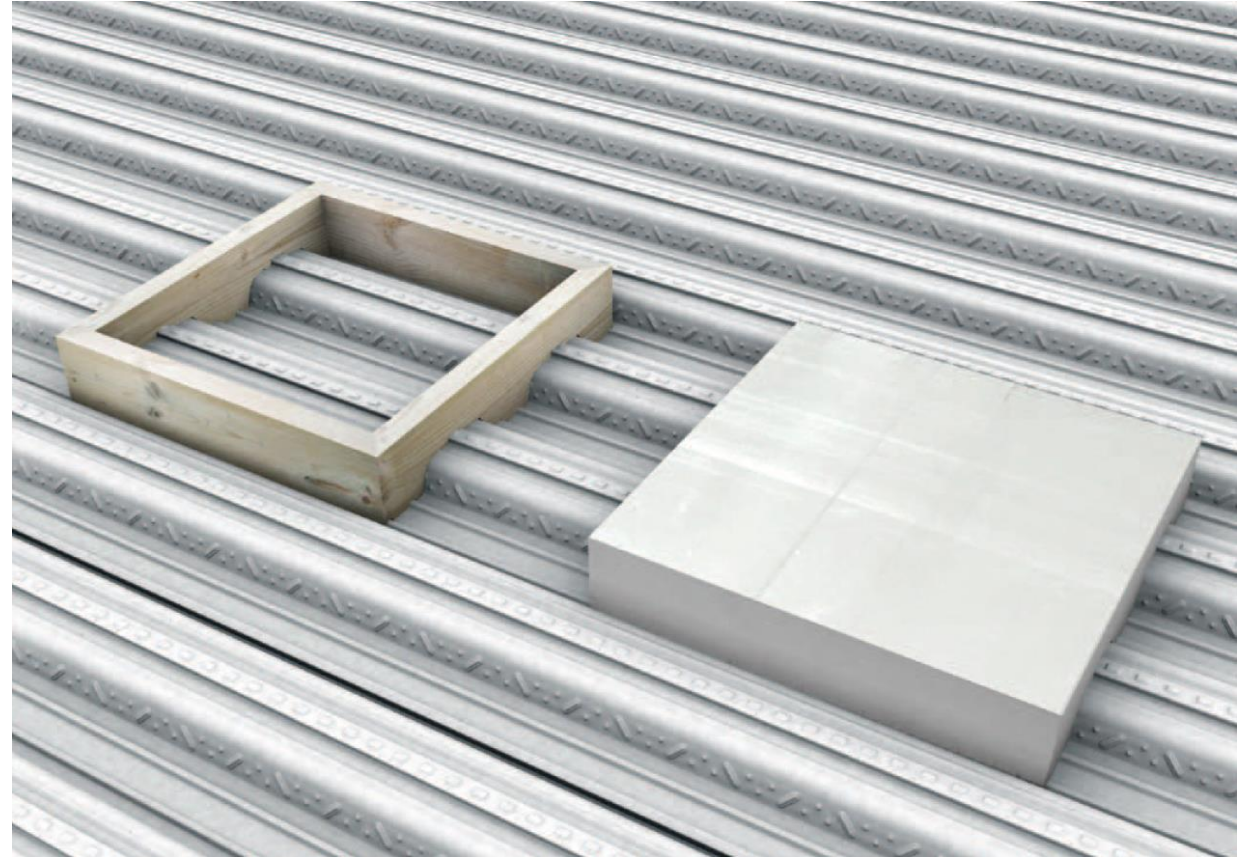


Ref: Technical manual and guidance note by SMD

Metal deck detail (5)

#WeLoveSteelConstruction

- ในกรณีที่ต้องการทำช่องเปิด ที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก (เช่น 25 cm ขึ้นกับคำแนะนำของผู้ผลิต) อาจพิจารณาตีเป็นกล่องด้วยไม้ หรือ โฟม box out ช่องเปิดไว้ดังรูป โดยไม่ต้องเสริมเหล็กเสริมใดๆ เพิ่มเติม และทำการตัด metal deck ออกเมื่อคอนกรีตแข็งตัว
- ในกรณีที่ช่องเปิดมีขนาดใหญ่ (แต่ไม่เกิน 70 cm) พิจารณาเสริมกำลังด้วยเหล็กเสริมบนในแนวทแยงบริเวณขอบ และเสริมด้วยเหล็กเสริมในแนวนานกับช่องเปิดทั้ง 4 ด้าน เพื่อป้องกันการฉีกบริเวณขอบ และลดความเสี่ยงการขาดหายไป (ความไม่ต่อเนื่อง) ของเหล็กเสริม
- กรณีช่องเปิดใหญ่มาก (กว่า 70 cm) อาจพิจารณาเสริมรอบด้วยคานชอย

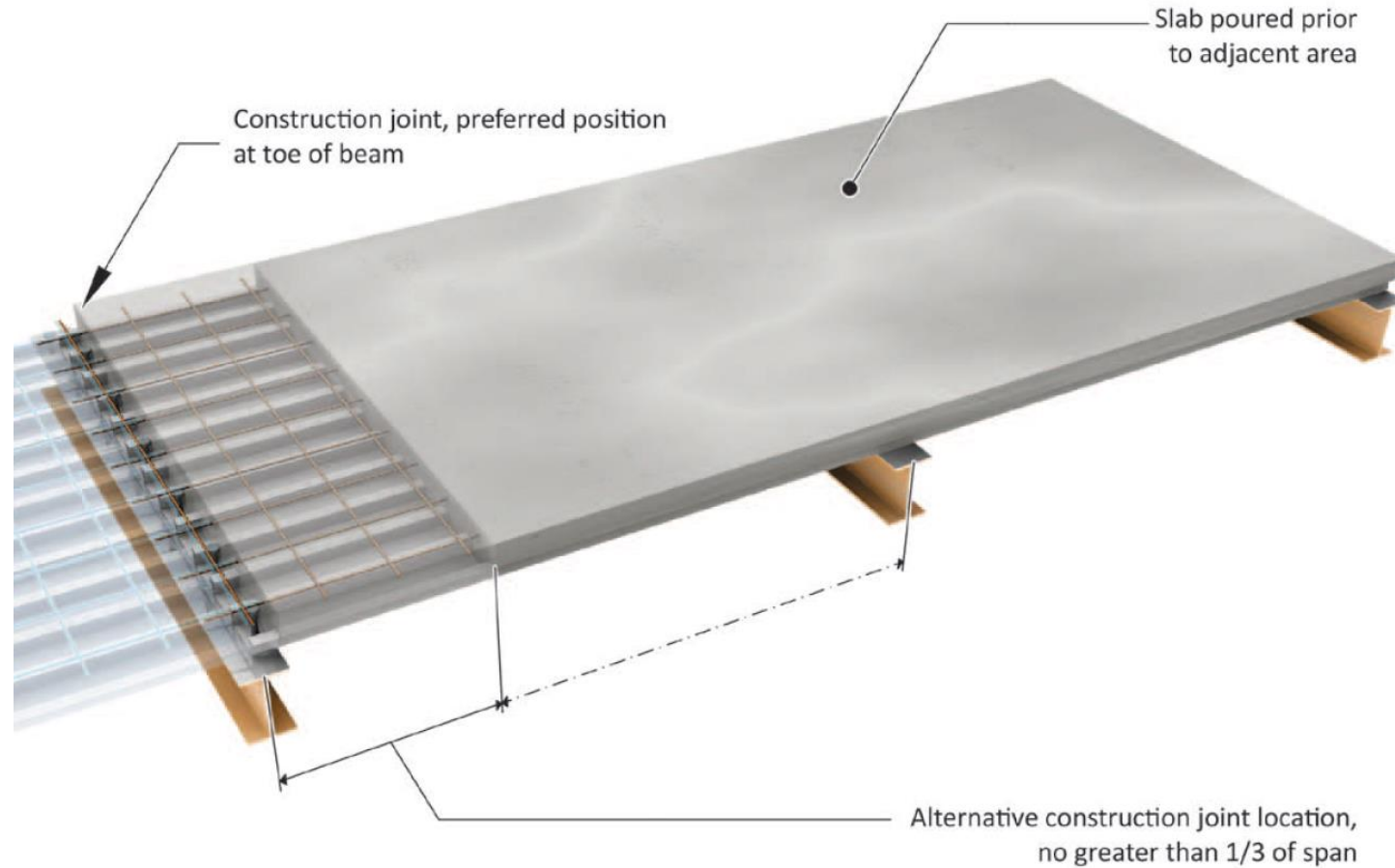


Ref: Technical manual and guidance note by SMD

Metal deck detail (6)

#WeLoveSteelConstruction

- ในกรณีที่ไม่สามารถเทคอนกรีตได้ตลอดแผ่นพื้น (เช่นเกินกว่า 1,000 m²) จำเป็นต้องพิจารณาตำแหน่งหรือแนวการหยุดการเทซึ่งในทางปฏิบัติ มักกำหนดให้เป็นระยะ 1/3 ของความยาวช่วงพาด (span) ของ metal deck เพื่อ optimize โมเมนต์ดัด และแรงเฉือน ไม่ให้ค่าใดค่าหนึ่งมากเกินไป

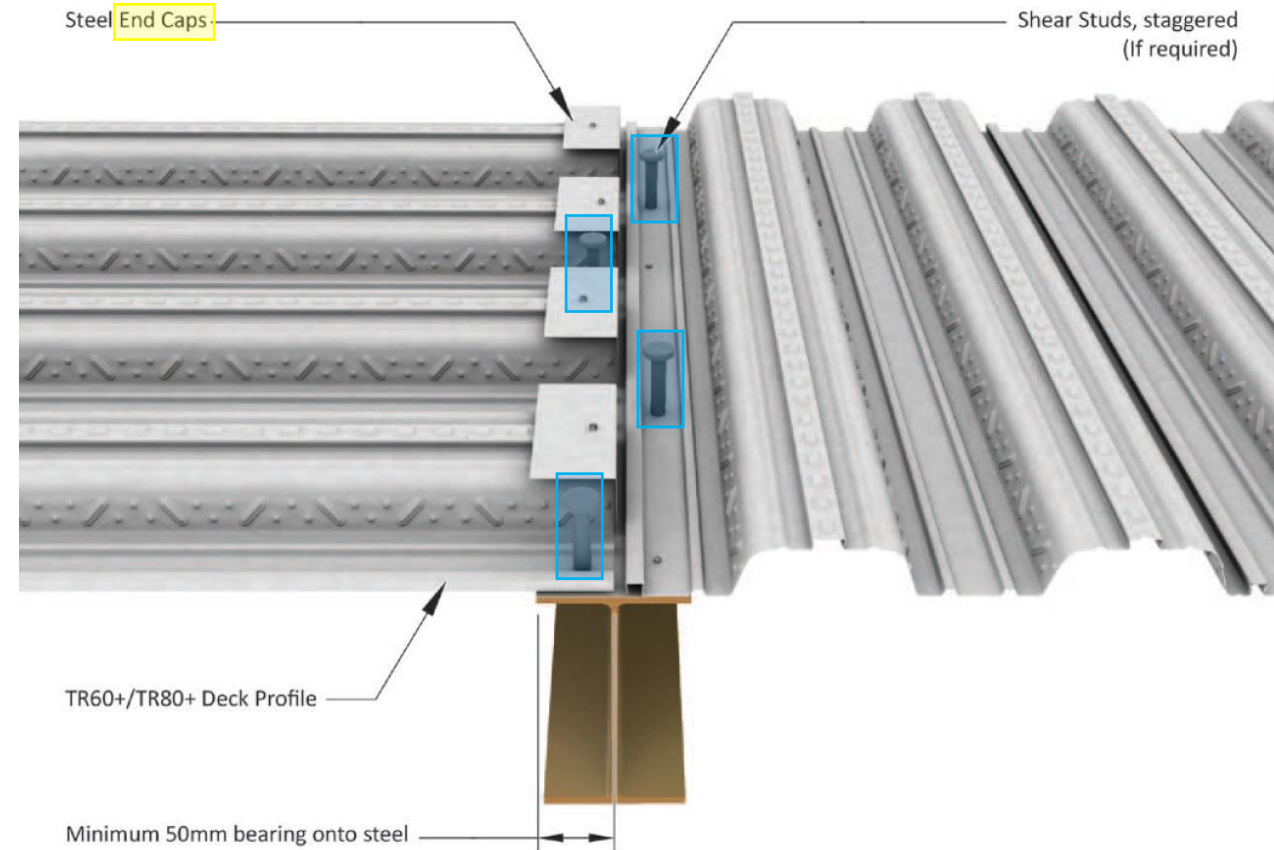


Ref: Technical manual and guidance note by SMD

Metal deck detail (7)

#WeLoveSteelConstruction

- ในกรณีที่ metal deck ที่จัดวางในทิศทางที่ตั้งฉากกันมาบรรจบกัน ณ ตำแหน่งของคาน ต้องเตรียมระยะ bearing อย่างน้อย 50 mm ของด้าน ที่รับน้ำหนัก (ตั้งฉากกับทิศทาง แนวการวางตัวของคาน) พร้อมทั้งติดตั้ง Steel End Cap เพื่อป้องกันการไหลออกของ คอนกรีตสด ส่วนในทิศทางที่ไม่ได้รับน้ำหนัก สามารถตัด metal deck ให้พอดี หรืออาจใช้ Z flashing ตาม detail (4) มาเสริมก็ได้
- การติดตั้ง Shear Stud อาจพิจารณาติดตั้งแบบ สลับหว่าง (stagger) เพื่อให้สามารถ เชื่อม concrete slab ทั้งสองด้านในการช่วย รับแรงของ composite beam

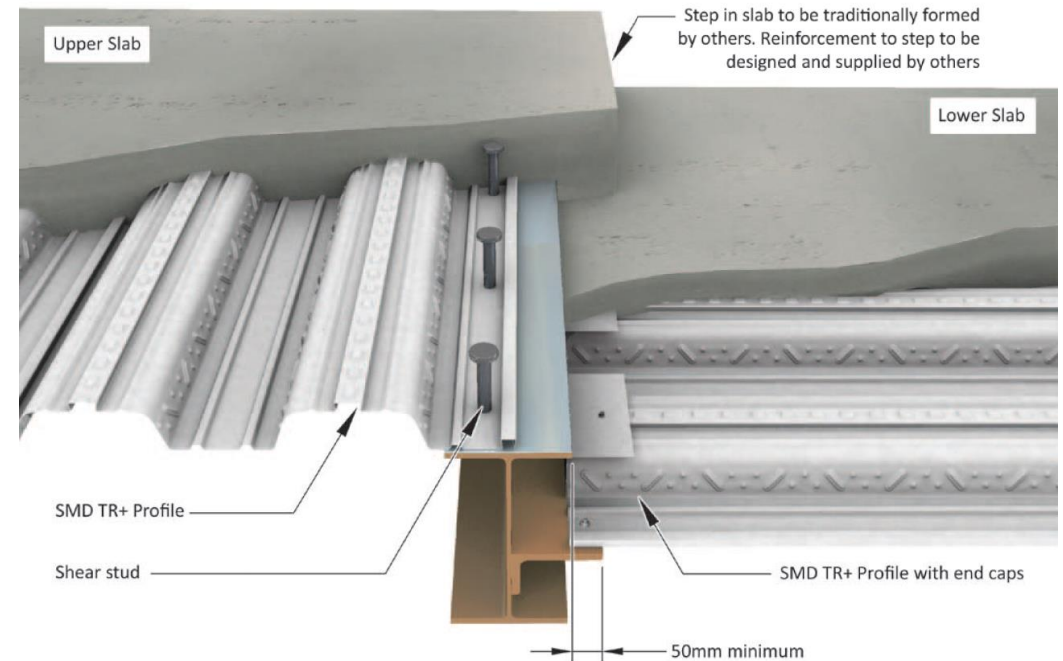
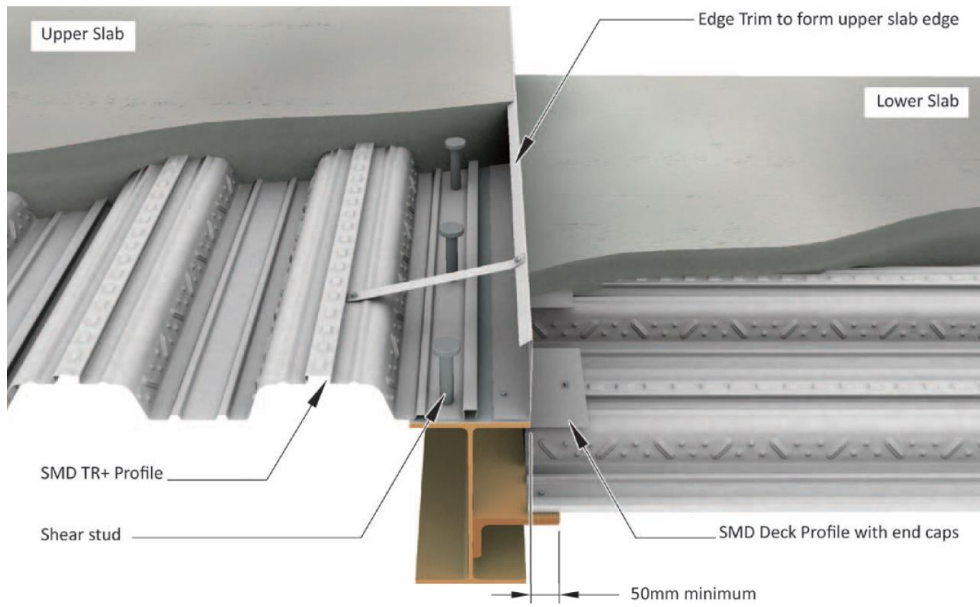


Ref: Technical manual and guidance note by SMD

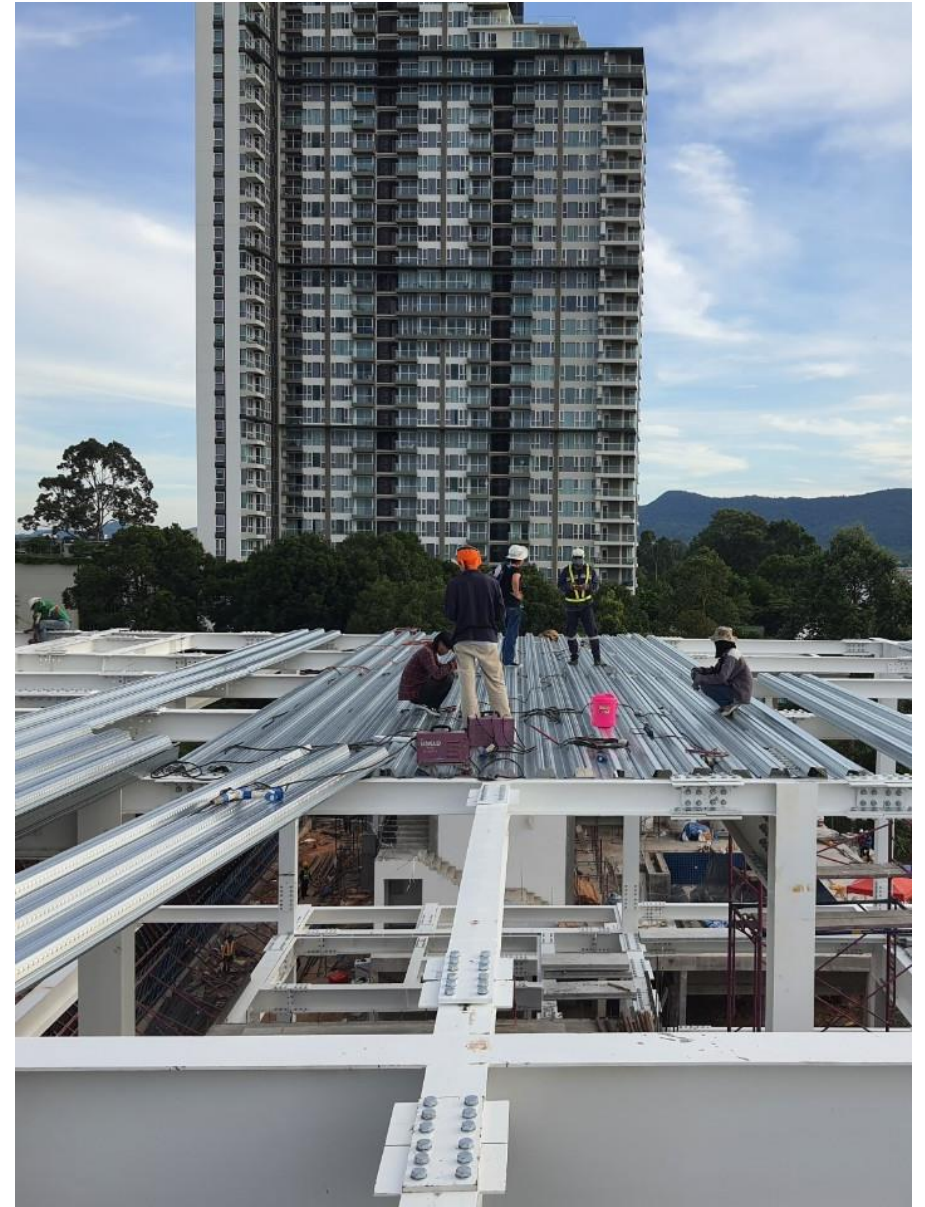
Metal deck detail (8)

#WeLoveSteelConstruction

- ในกรณีที่มีการเปลี่ยนระดับ top of slab ณ ตำแหน่งคาน ที่รองรับ metal deck ระดับพื้นที่อยู่ต่ำกว่า ให้ติดตั้งเหล็กฉากเพื่อรองรับ metal deck โดยให้มีระยะห่าง ของ metal deck ไม่น้อยกว่า 5 cm ทั้งนี้หาก Lower Slab อยู่ต่ำกว่า Upper Slab มาก อาจพิจารณาติดตั้ง Edge Trim เพิ่มเติม



Ref: Technical manual and guidance note by SMD







PostConnex ตัวอย่างที่ 1

ทดสอบ large cap plate โดยไม่มี headed stud ขนาดประมาณ 2.3 เท่าของขนาด
เสาต่อเหล็ก และ 2.5 เท่า เทียบกับความหนาพื้นคอนกรีต

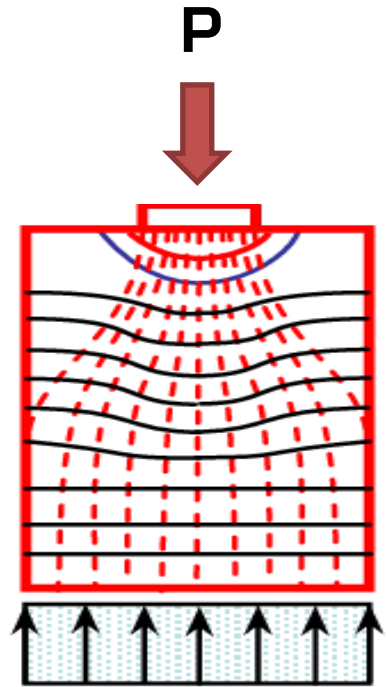
ผลการทดสอบปรากฏการวิบัติแบบ punching shear ใกล้เคียงกับที่ประมาณการ



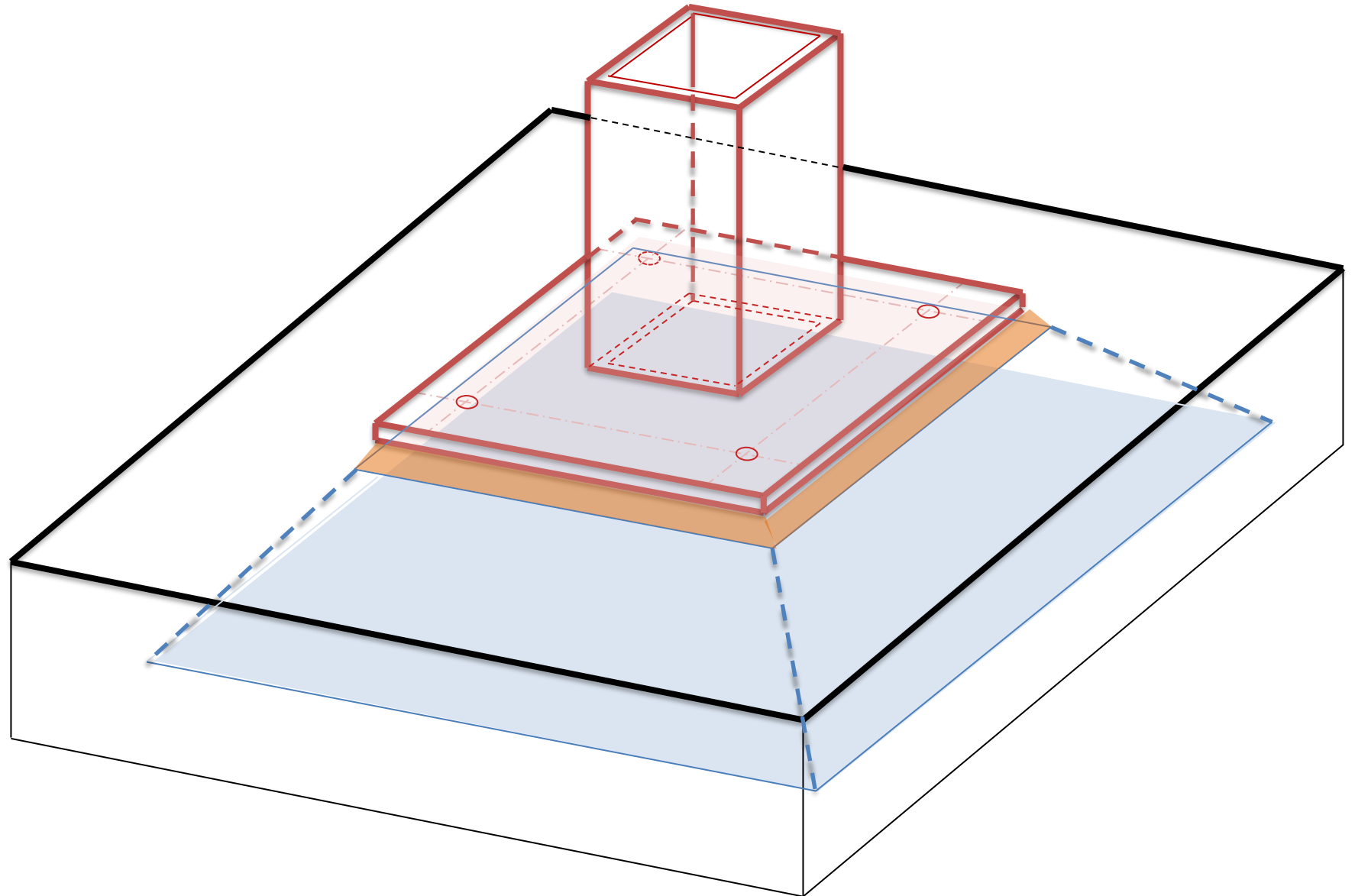
จุดต่อ คอมโพสิท

#WeLoveSteelConstruction

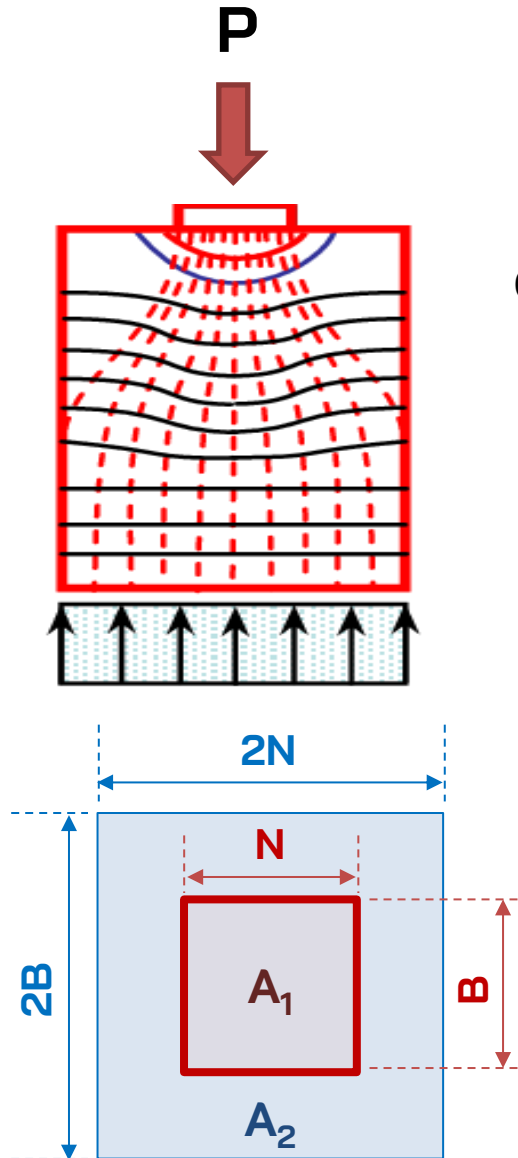
Composite Connection



Actual
Stress Field



Composite Connection



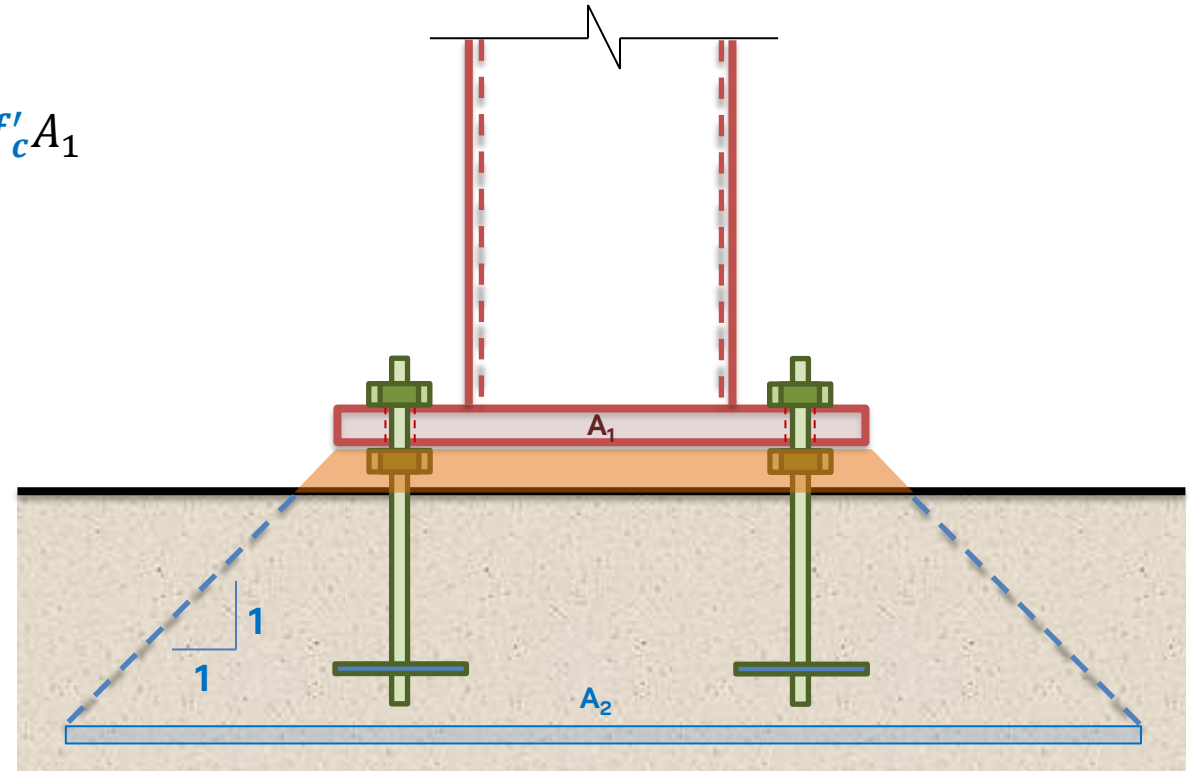
Check concrete bearing strength ($0.85f'_c$)

$$\phi_c P_p = \phi_c (0.85f'_c) A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq \phi_c 1.7f'_c A_1$$

$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$ มากสุด 2 ... หรือ

$\frac{A_2}{A_1}$ มากสุด 4 ... หรือ

พื้นที่ concrete รับแรง ไปแต่
ละด้านมากที่สุด $2N$ และ $2B$



Composite Connection

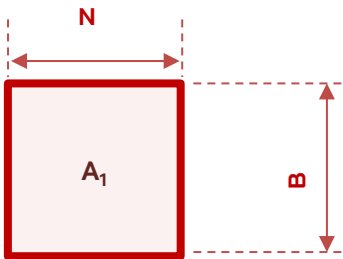
Calculate base plate thickness

Uniform load តែ base plate = P_u / BN

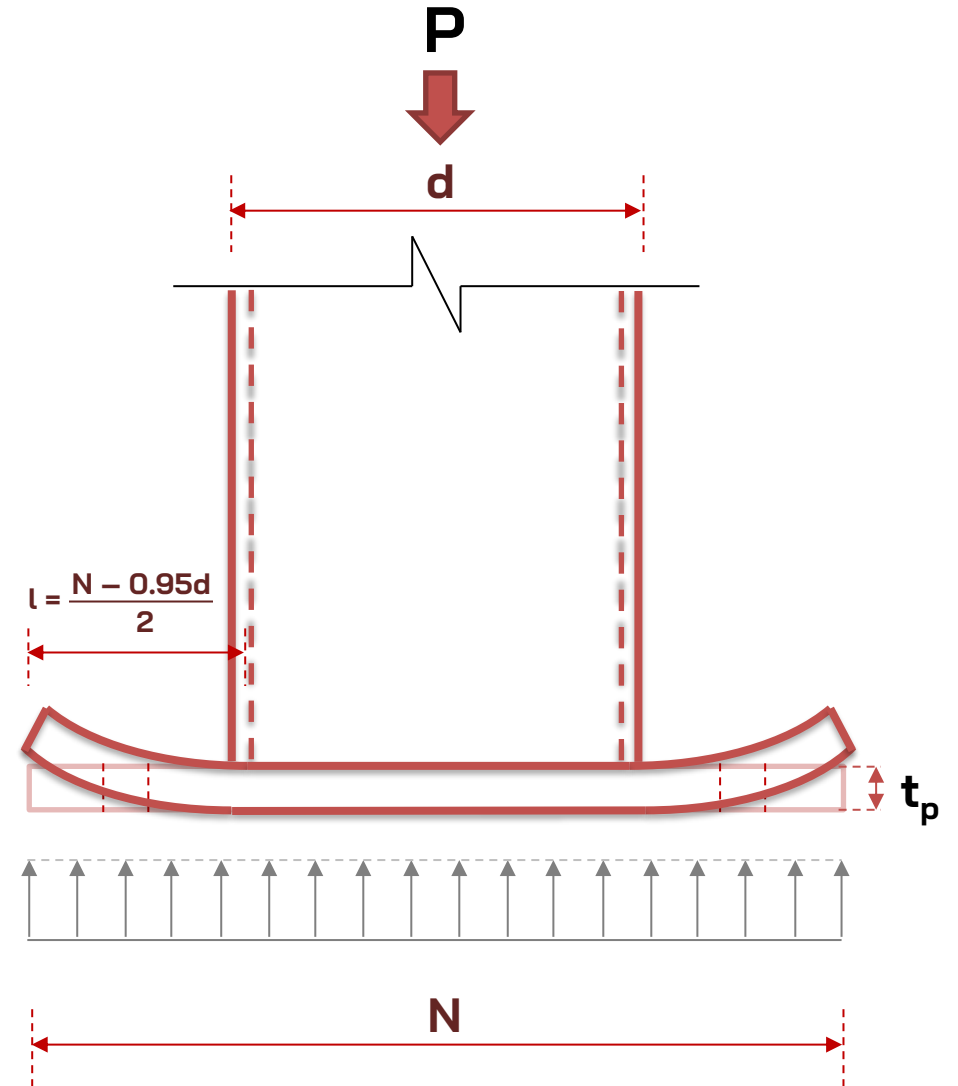
Moment ក្នុង Uniform load = $\frac{1}{2} * (P_u / BN) * l^2$

Moment capacity របស់ base plate = $\phi F_y Z_x$

តែងតែ $\phi = 0.9$ គេ $Z_x = \frac{1}{4} t_p^2$



$$\text{គេតែងតែ } t_p = l \sqrt{\frac{2P_u}{\phi F_y BN}}$$



Base Plate Design Limit State

Limit State 1

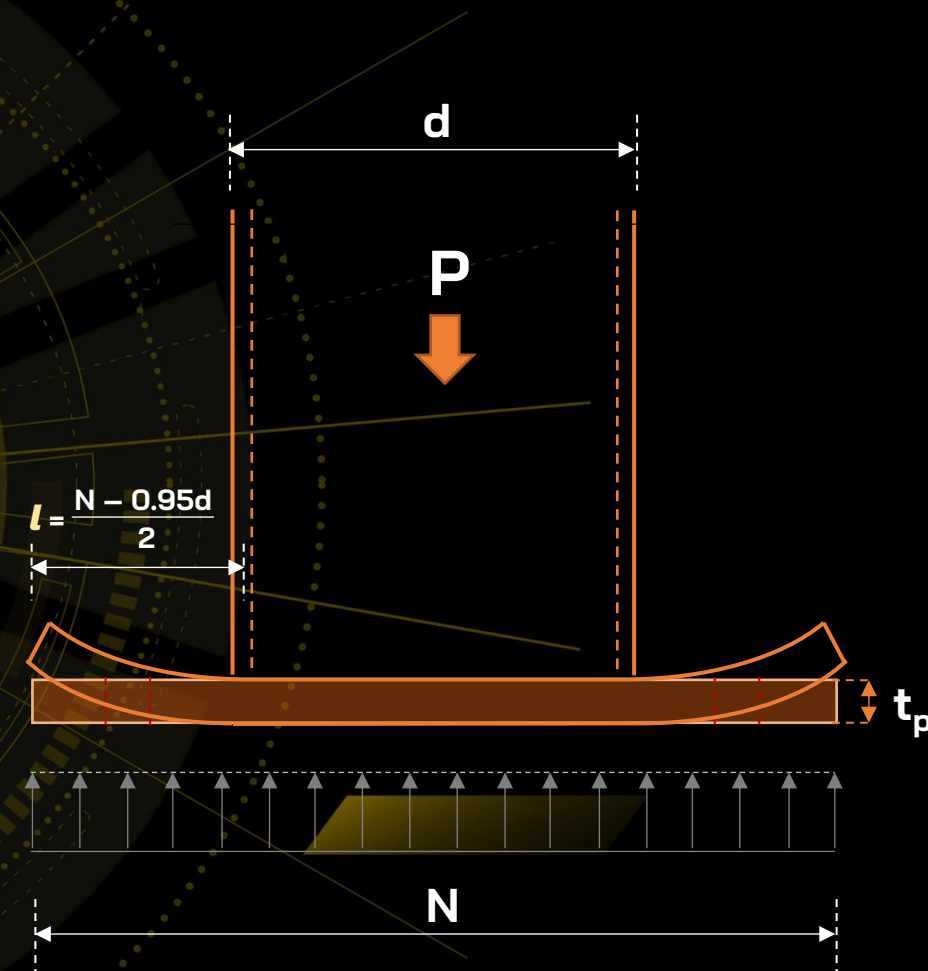
Concrete Bearing ($A_1 = N * B$)

- $R_n = (0.85f'_c) * \sqrt{A_2/A_1} * A_1 \leq (\phi = 0.65) * (1.7f'_c) * A_1$
- $\phi = 0.65$ LRFD Base plate ทำหน้าที่กระจายแรงลงสู่ตอม่อคอนกรีต ยิ่ง Base plate ขนาดใหญ่ ยิ่งกระจายแรงได้ดี (concrete ยิ่งปลอดภัย)
- $\Omega = 2.31$ ASD

Limit State 2

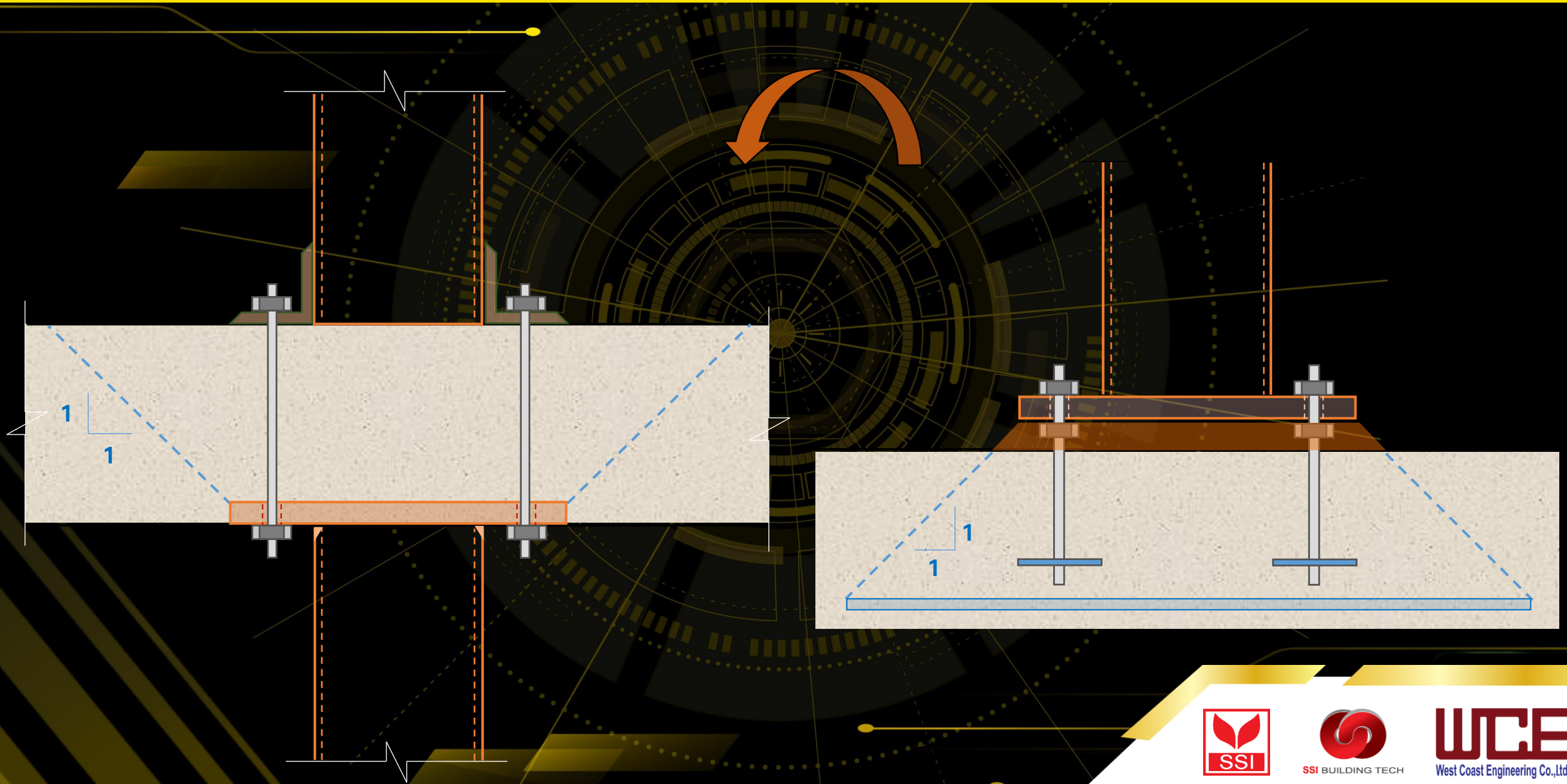
Base Plate Yielding (Bending or Flexure)

- $t_p = l * \sqrt{2P_u / (\phi F_y B N)}$ LRFD
 - $t_p = l * \sqrt{2\Omega P_a / (F_y B N)}$ ASD
 - **For H Column:** $l = \min [\{ (N-0.95d)/2, (B - 0.80b_f)/2, l/4 \sqrt{(db_f/4)} \}]$
 - **For HSS Column:** $l = \min [(N-0.95d)/2, (B - 0.95b_f)/2]$
 - $R_n = t_p^2 / 2l^2 * F_y B N$
- Base plate ต้องแข็งแรงเพียงพอที่จะรับ pressure จากตอม่อคอนกรีตได้ ยิ่ง Base plate มีขนาดใหญ่ยื่นออกจากขอบเสามากเท่าไร (l มาก) ยิ่งต้องเพิ่มเกรด หรือความหนามากขึ้นเท่านั้น



Inverted Thinking of Simple Innovation

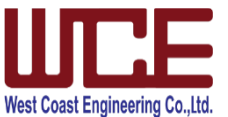
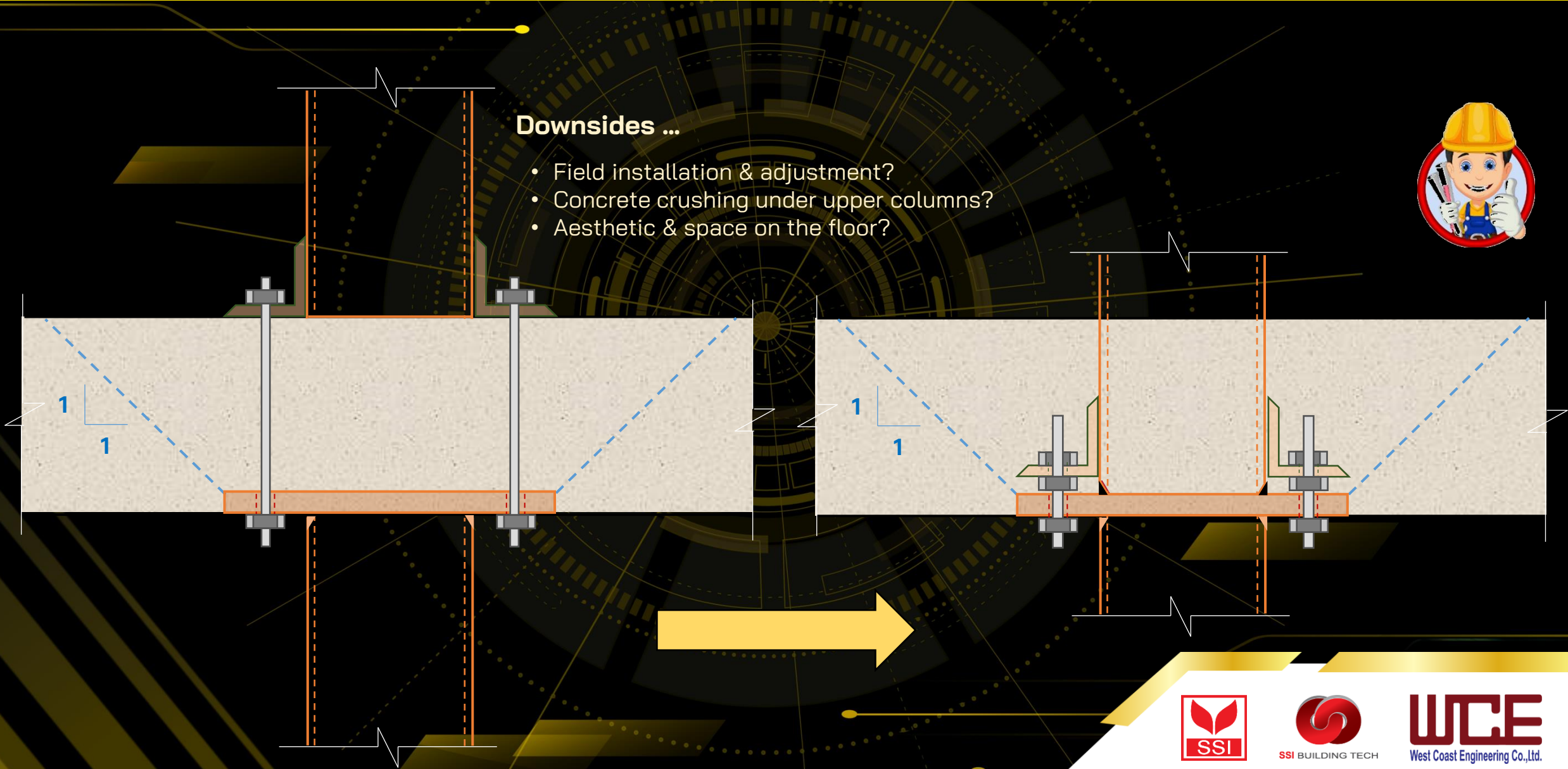
Base Plate → Cap Plate



Base Plate → Cap Plate

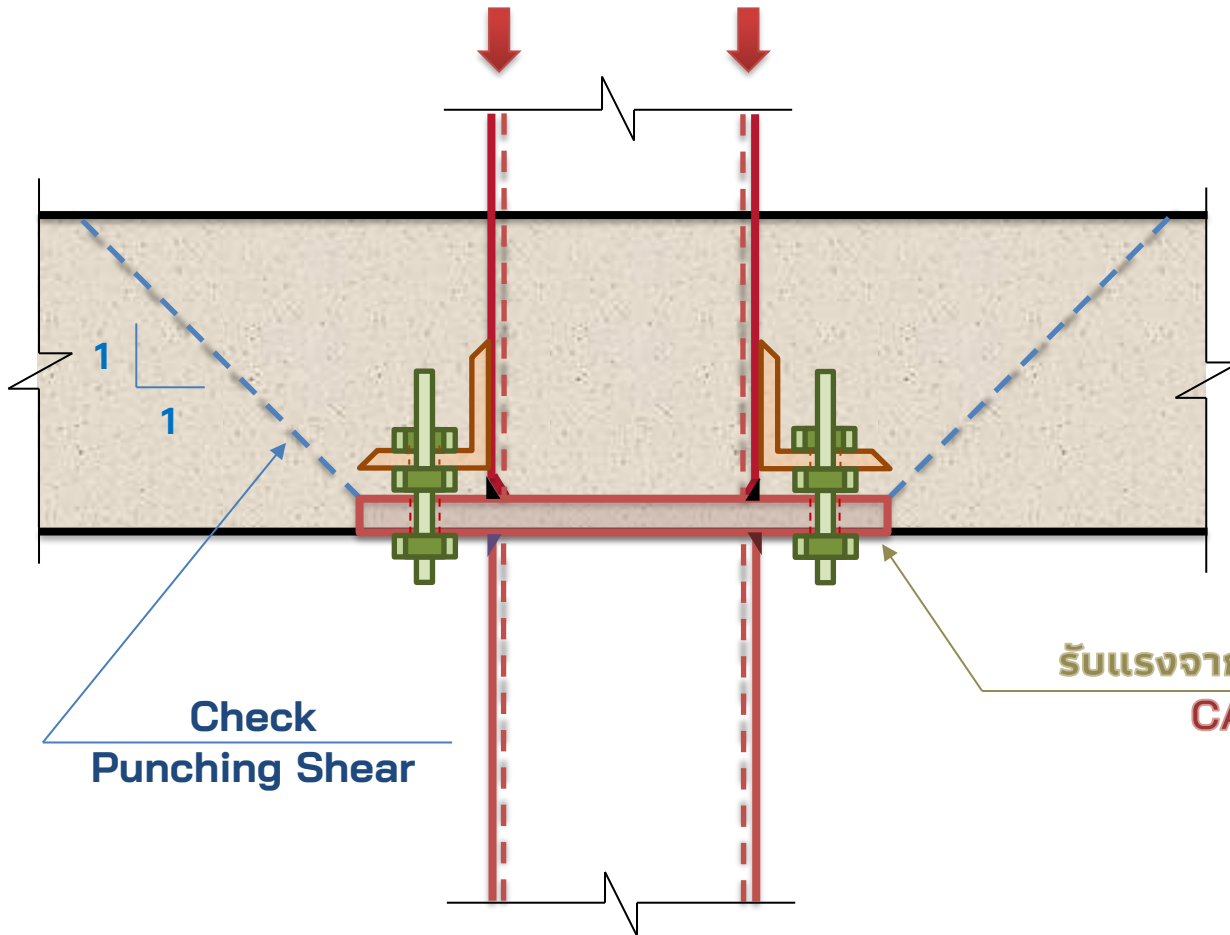
Downsides ...

- Field installation & adjustment?
- Concrete crushing under upper columns?
- Aesthetic & space on the floor?

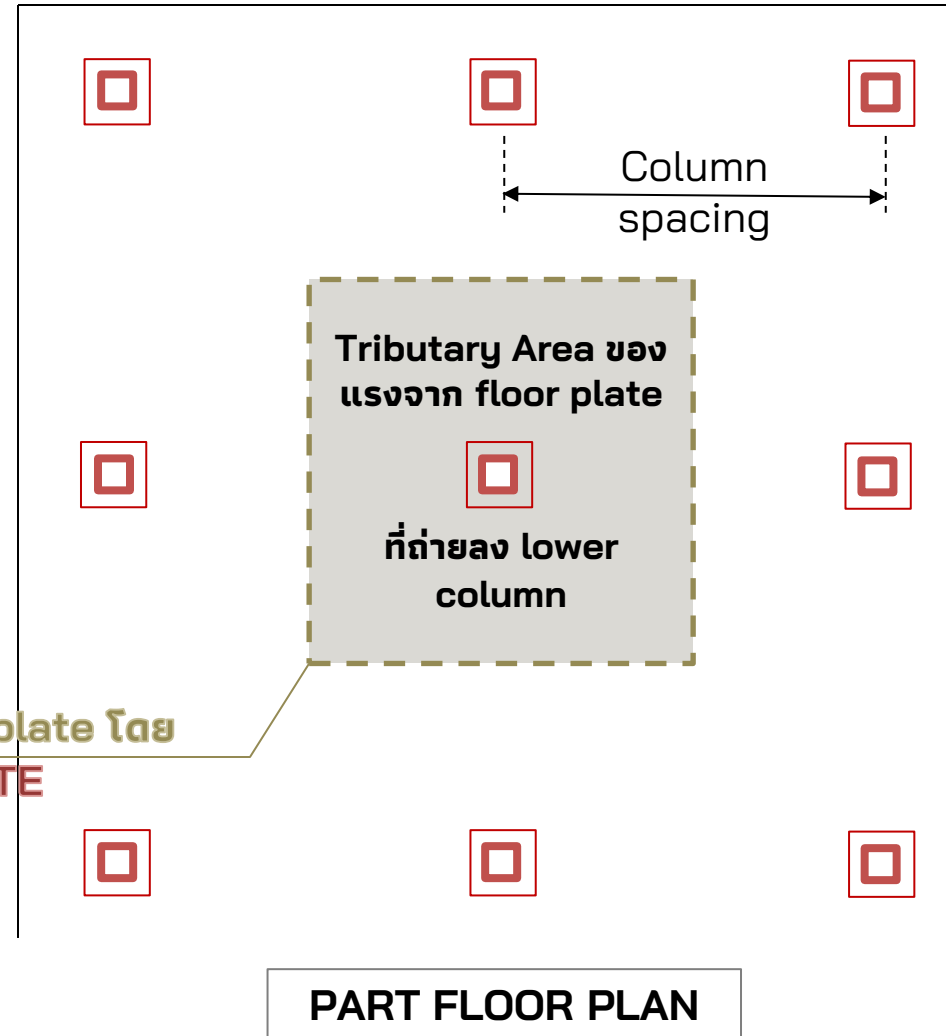


Composite Connection - 6

แรงที่ถ่ายลง column จาก upper floor
ถ่ายเข้าสู่ lower column โดยตรง

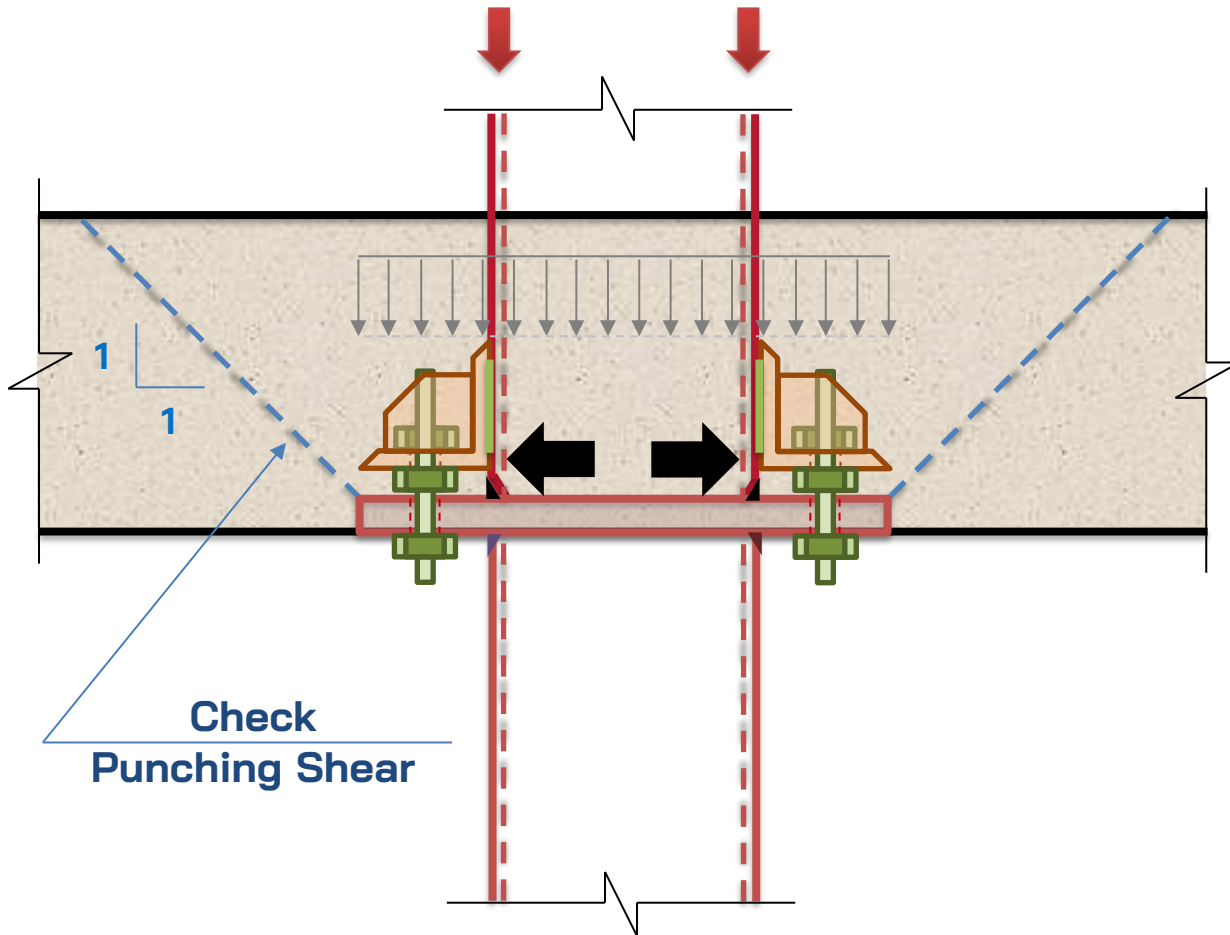


รับแรงจาก floor plate โดย
CAP PLATE



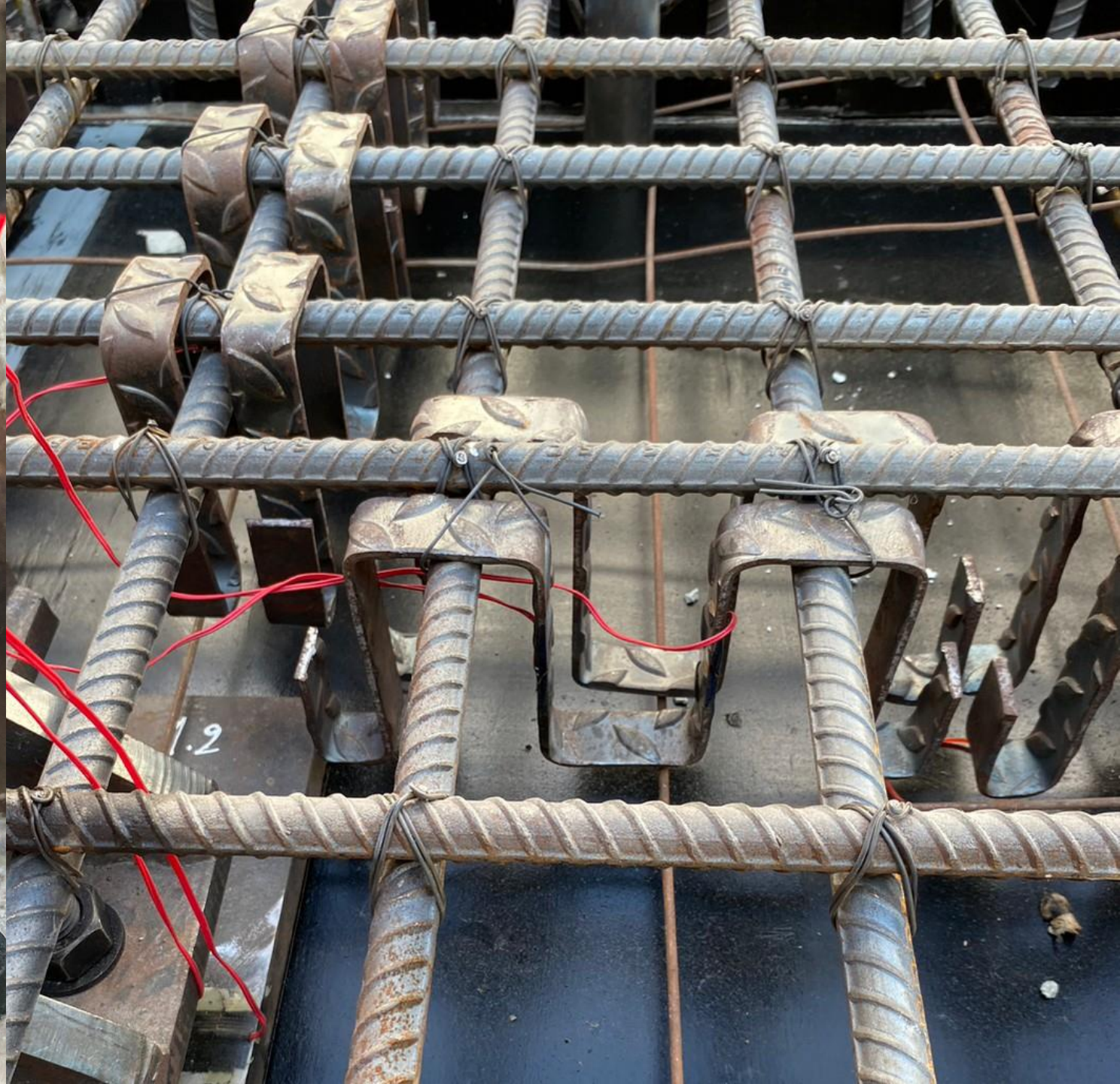
Composite Connection - 7

แรงที่ถ่ายลง column จาก upper floor
ถ่ายเข้าสู่ lower column โดยตรง



Ideal Load Path

1. **Column load จาก Upper column ถ่ายเข้า Cap plate (bearing) ไปยัง Lower column**
2. **Floor plate ถ่ายแรงเข้าสู่ Column โดย**
 - 2.1 Cap plate (bending)
 - 2.2 Bolt รับแรงดึงจาก Cap plate
 - 2.3 Horizontal plate ของ Triangular bracket รับแรงจาก Bolt
 - 2.4 Horizontal plate ถ่ายแรงสู่ Triangular bracket
 - 2.5 Triangular bracket ถ่ายแรงในแนวตั้งสู่ Upper column ผ่าน weld
 - 2.6 Triangular bracket ถ่ายแรงในแนวนอนสู่ Upper column เข้า diaphragm plate ที่อยู่ด้านใน upper column



Introduction to POSTCONNEX and XSHEAR

• Timeline

Timeline 2021

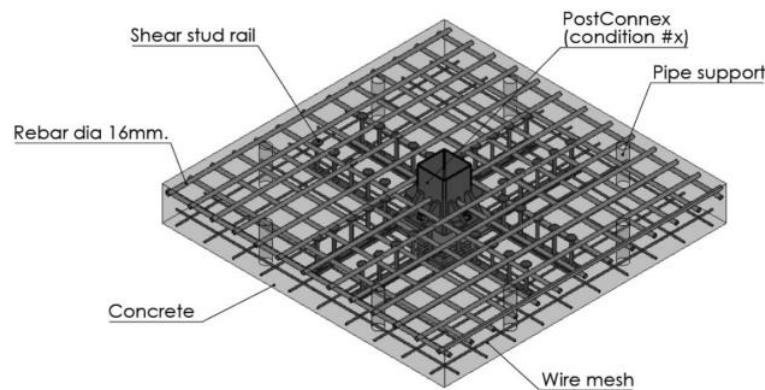
2022

2023

2024

Present

การทดสอบ punching shear สำหรับ POSTCONNEX



Introduction to POSTCONNEX and XSHEAR

• Timeline

Timeline 2021

2022

2023

2024

Present

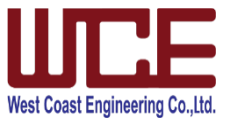
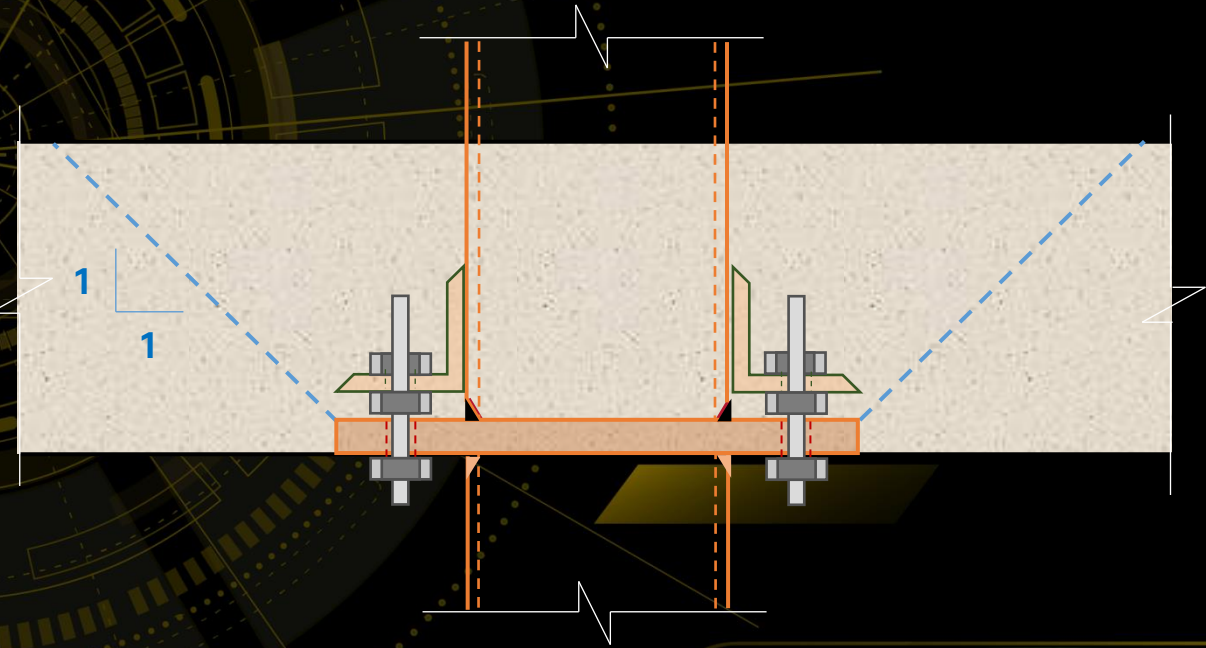
**SSI Steel
Construction
Forum 2021**



Ref : https://www.youtube.com/results?search_query=postconnex



Cap Plate Laboratory Testing



Cap Plate Laboratory Testing

Laboratory Testing

1.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
HY370

Without shear
headed studs

2.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
SS400

Without shear
headed studs

3.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
HY370

With shear
headed studs



POSTCONNEX



Cap Plate Laboratory Testing

Laboratory Testing

1.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
HY370

Without shear
headed studs

2.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
SS400

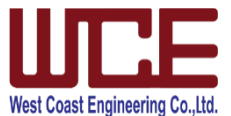
Without shear
headed studs

3.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
HY370

With shear
headed studs



Cap Plate Laboratory Testing

Laboratory Testing



1.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
HY370

Without shear
headed studs



2.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
SS400

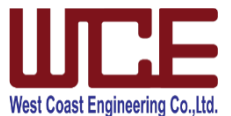
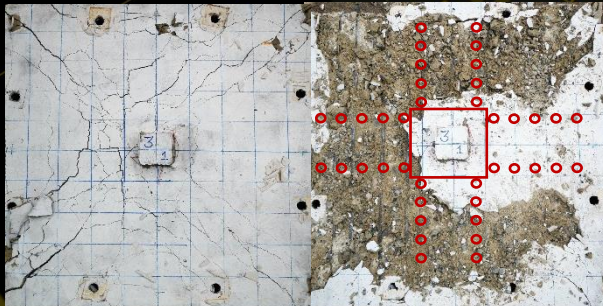
Without shear
headed studs

3.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
HY370

With shear
headed studs



Cap Plate Laboratory Testing

Laboratory Testing

1.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
HY370

Without shear
headed studs

2.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
SS400

Without shear
headed studs

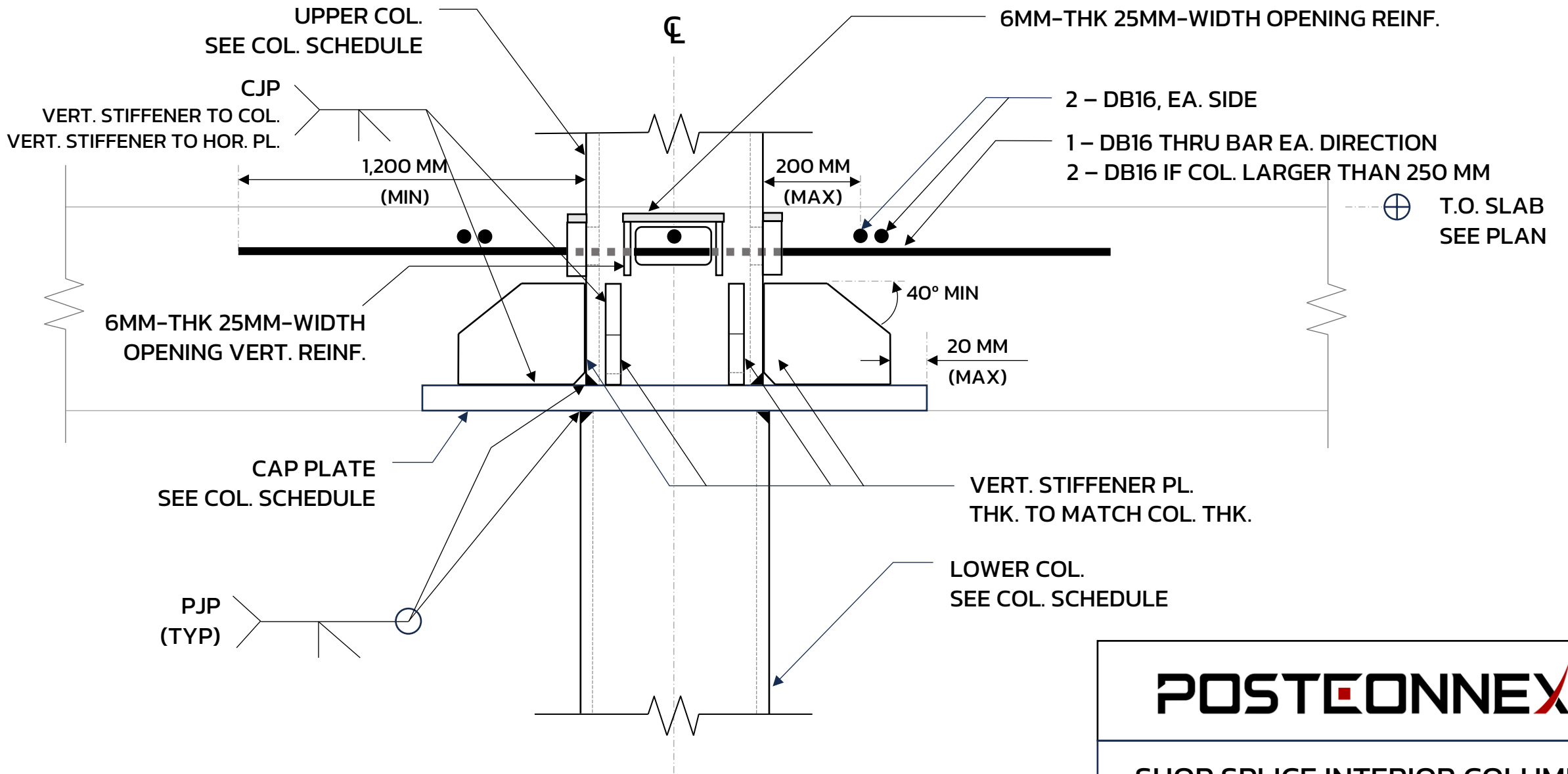
3.

Cap Plate Size
320 x 320 mm

Cap Plate Grade
HY370

With shear
headed studs





ELEVATION

POSTCONNEX

SHOP SPLICE INTERIOR COLUMN
SUPPORTING FLAT SLAB
TYPICAL DETAIL

UPPER COL. SEE COL. SCHEDULE

CJP
VERT. STIFFENER TO COL.
VERT. STIFFENER TO HOR. PL.



6MM-THK 25MM-WIDTH OPENING REINF.

200 MM
(MAX)

2 – DB16, EA. SIDE

1 – DB16 THRU BAR EA. DIRECTION

2 – DB16 IF COL. LARGER THAN 250 MM

40° MIN



T.O. SLAB
SEE PLAN

10 MM
(MIN)

20 MM
(MAX)

TYP
U.N.O.

6MM

M24 CLASS 10.9
BOLT (TYP) U.N.O.

CAP PLATE
SEE COL. SCHEDULE

VERT. STIFFENER PL.
THK. TO MATCH COL. THK.

PJP
(TYP)

LOWER COL.
SEE COL. SCHEDULE

ELEVATION

POSTCONNEX

FIELD SPLICE INTERIOR COLUMN
SUPPORTING FLAT SLAB
TYPICAL DETAIL

Introduction to POSTCONNEX and XSHEAR

- Timeline

Timeline 2021

2022

2023

2024

Present

ขอจดสิทธิบัตร
POSTCONNEX

เลขที่คำขอสิทธิบัตร
2001005013





POSTEONNEX

PCT Approval

Ensuring world-class

- (1) Novelty
- (2) Inventive Step
- (3) Industrial Applicability

Introduction to POSTCONNEX and XSHEAR

• Timeline

Timeline 2021

2022

2023

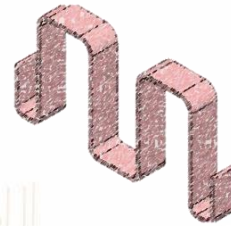
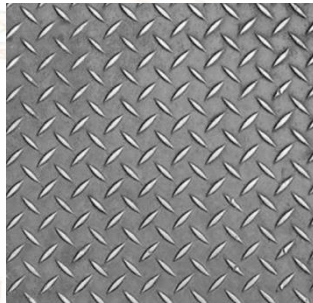
2024

Present

แนวความคิดการสร้างผลิตภัณฑ์ทดแทน Headed stud



Ref : www.jordahlusa.com



Introduction to POSTCONNEX and XSHEAR

- Timeline

Timeline 2021

2022

2023

2024

Present



การทดสอบ punching shear สำหรับ
POSTCONNEX และ XSHEAR



Introduction to POSTCONNEX and XSHEAR

- Timeline

Timeline

2021

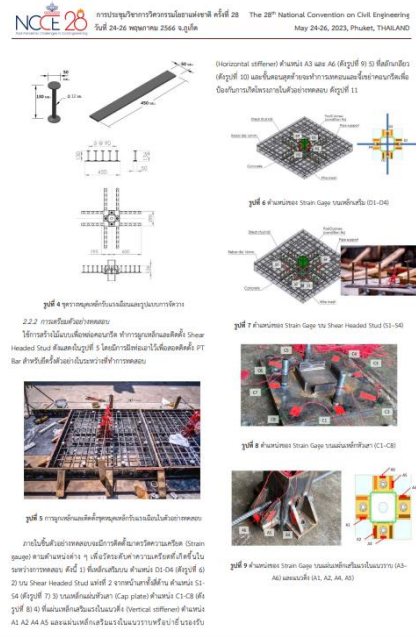
2022

2023

2024

Present

ตีพิมพ์การทดสอบ POSTCONNEX งานโยธาแห่งชาติครั้งที่ 28



Introduction to POSTCONNEX and XSHEAR

• Timeline

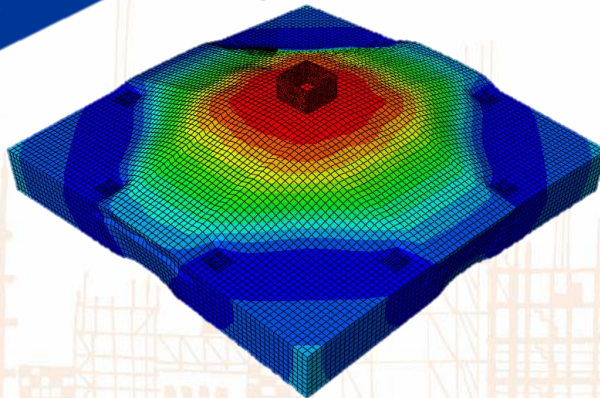
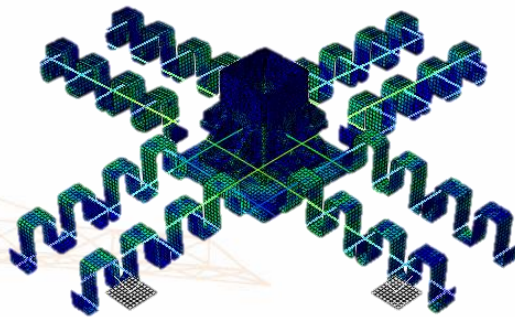
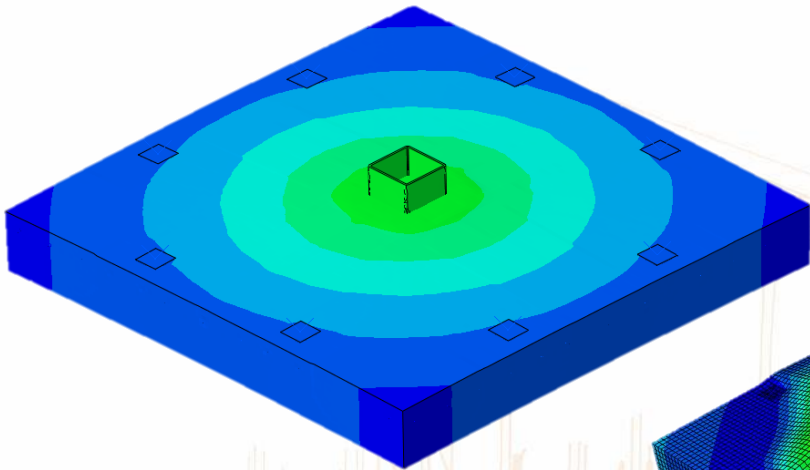
Timeline 2021

2022

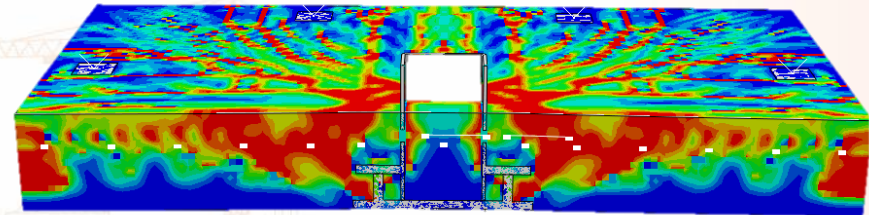
2023

2024

Present



ร่วมมือกับบริษัท SYNTERRA
ในการ ศึกษา FEM เพื่อหากำลัง
สูงสุดที่ได้รับได้



Introduction to POSTCONNEX and XSHEAR

• Timeline

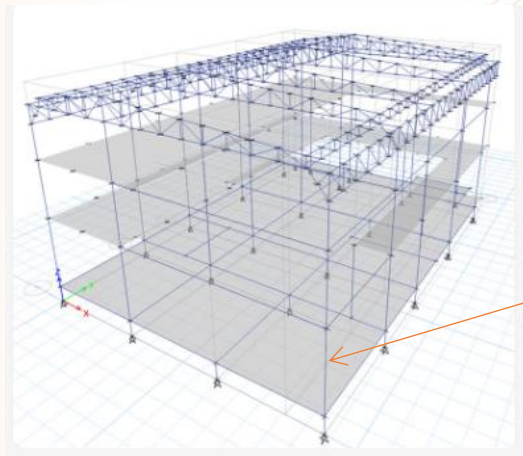
Timeline 2021

2022

2023

2024

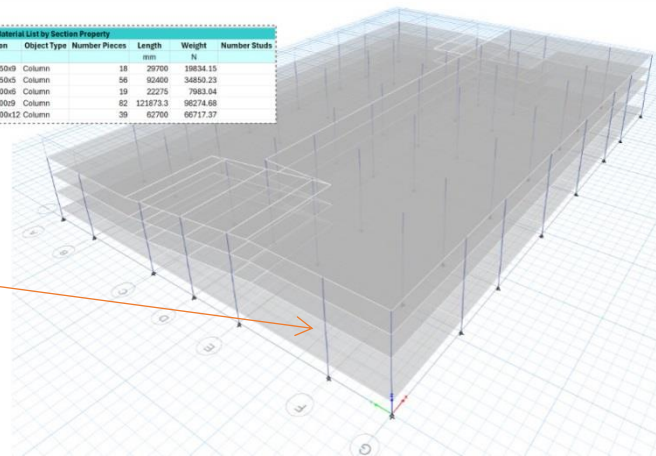
Present



อาคารสำนักงาน 3 ชั้น



TABLE: Material List by Section Property					
Section	Object Type	Number Places	Length mm	Weight N	Number Studs
RF-250x250x8	Column	18	29700	19834.15	
RF-250x250x5	Column	56	92400	34850.23	
RF-300x300x8	Column	19	22275	7963.84	
RF-300x300x5	Column	82	121873.3	96274.68	
RF-300x300x12	Column	39	62700	66717.37	



อาคารจอดรถ

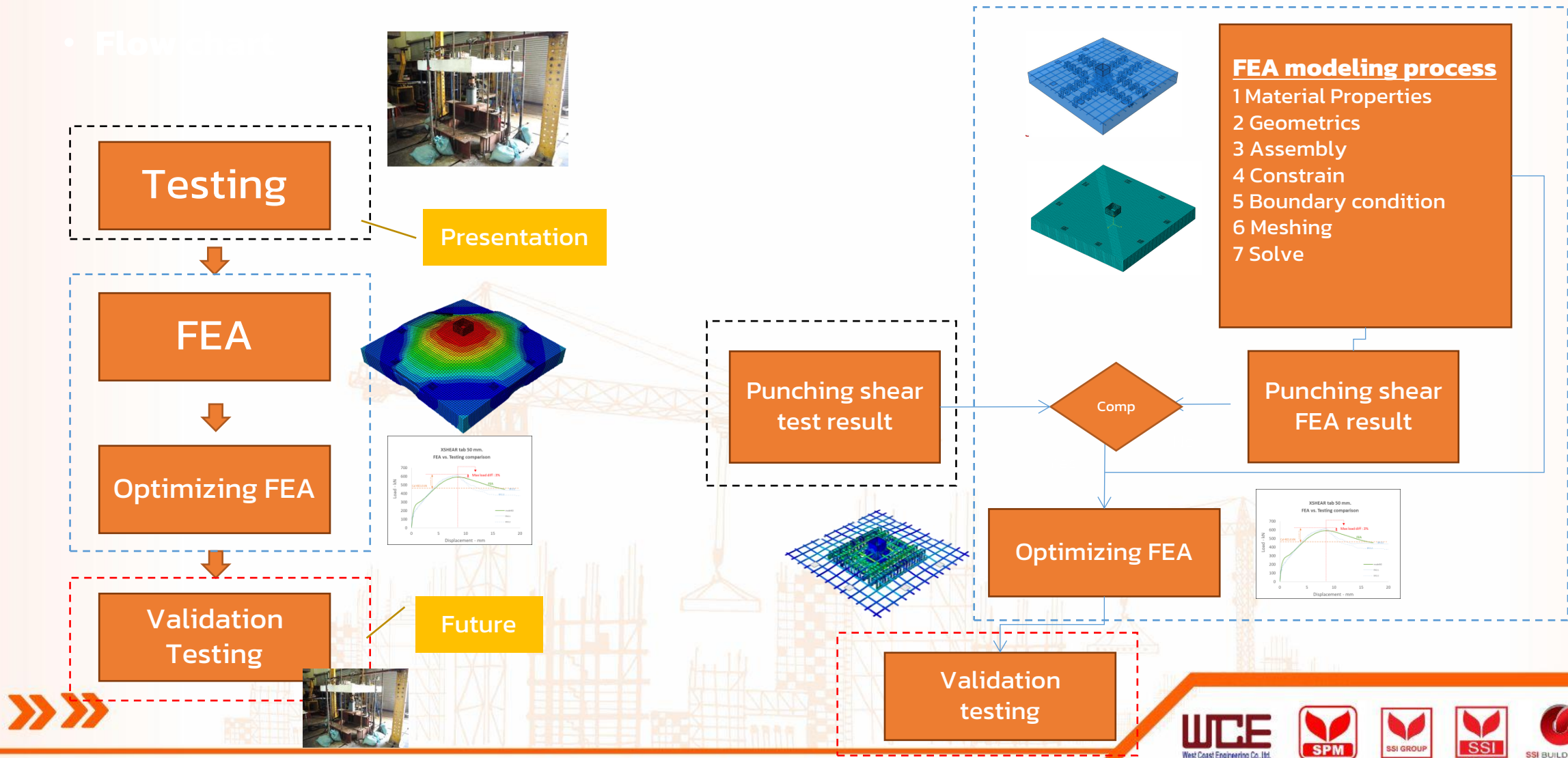
ออกแบบอาคาร
สำนักงาน 3 ชั้น

ออกแบบอาคารจอดรถ

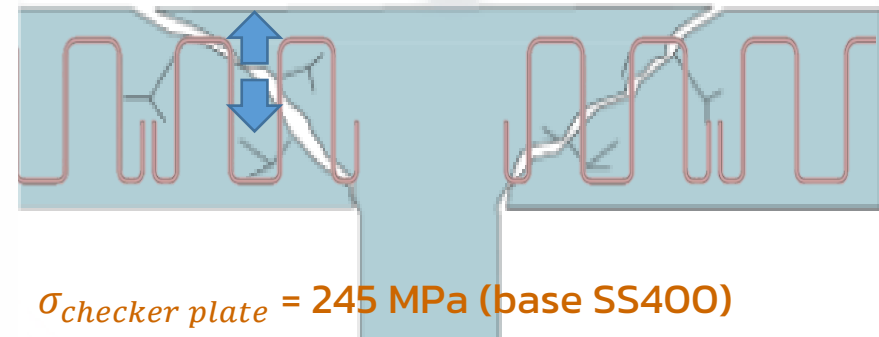
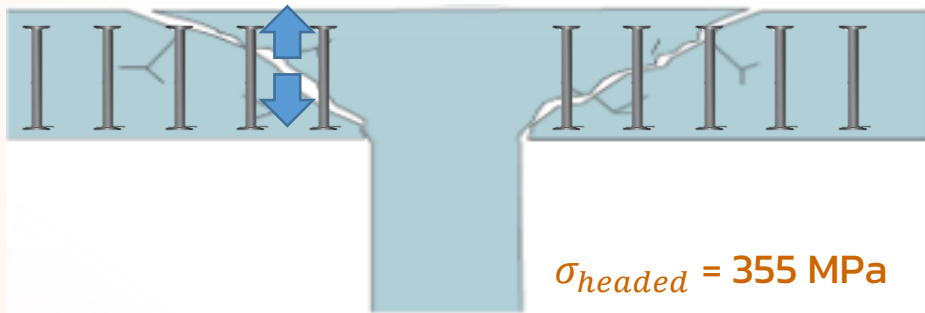


Study and Research for POSTCONNEX and XSHEAR

• Flow



Study and Research for POSTCONNEX and XSHEAR

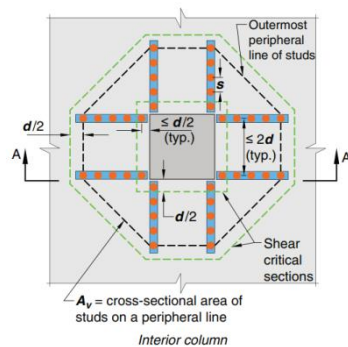


คำนวณตามมาตรฐาน ACI 318-19

$$F_{headed} = F_{XSHEAR}$$

$$\sigma_{headed} * A_{headed} = \sigma_{XSHEAR} * A_{XSHEAR}$$

$$\sigma_{headed} * A_{headed} = \sigma_{XSHEAR} * n (\text{thickness} * \text{width})_{XSHEAR}$$



Remark:

n = number XSHEAR

Thickness = ควาทมม (mm)

Width = หน้ากว้าง (mm)



Study and Research for POSTCONNEX and XSHEAR

• Testing Condition

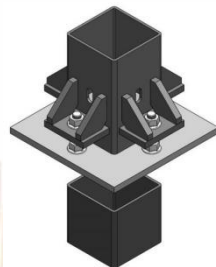
ตารางที่ 1 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบจุดต่อระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตและเสาเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

No	Column	Concrete Slab		Punching	Cap Plate			Bolt Size	Angle Plate	Horizontal Plate		Stiff. To Top Column	
	SS400	WxH	Thk	Xshear	W	Thk	Grade	A490	Stiff. Thk.	Thk	WxD	Weld L	Leg Size
	m x m	m x m	m	mm	mm	mm			mm	mm	mm x mm	mm	mm
2023-No1	0.15x0.15	1.50x1.50	0.18	แบบ 50	320	16	HY370	M18	16	16	120x80	120	6
2023-No2	0.15x0.15	1.50x1.50	0.18	แบบ 25	320	16	HY370	M18	16	16	120x80	120	6
2023-No3	0.15x0.15	1.50x1.50	0.18	-	320	16	HY370	-	-	-	-	-	-

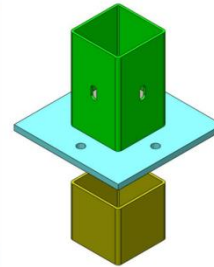
Define

Ex1-1 and Ex1-2 50 mm tab
Ex2-1 and Ex2-2 25 mm tab
Ex3-1

Setup 3 conditions
5 ตัวอย่างการทดสอบ



Ex 1-1 and Ex1-2
Ex2-1 and Ex2-2



Ex3-1



ส่วนประกอบ
POSTCONNEX

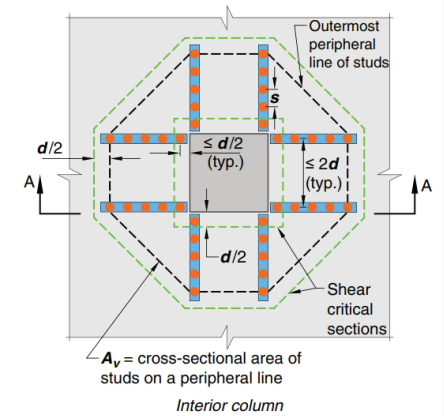


XSHEAR thickness 4 mm

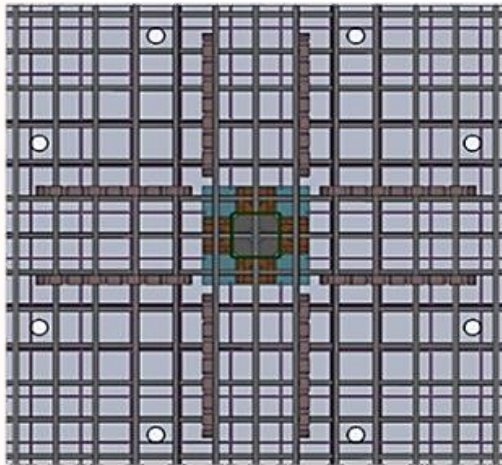


Lab Testing for POSTCONNEX and XSHEAR

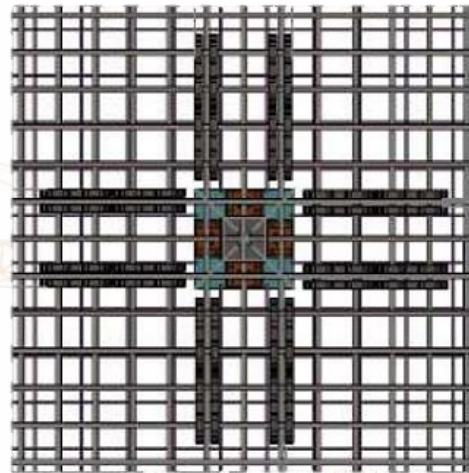
- Condition comparison



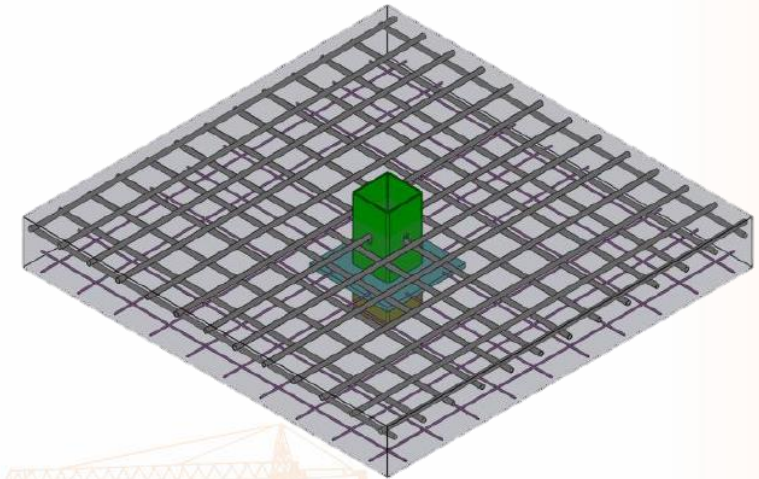
ACI318 -19 page124



Ex1-1 and Ex1-2
2 samples



Ex2-1 and Ex2-2
2 samples

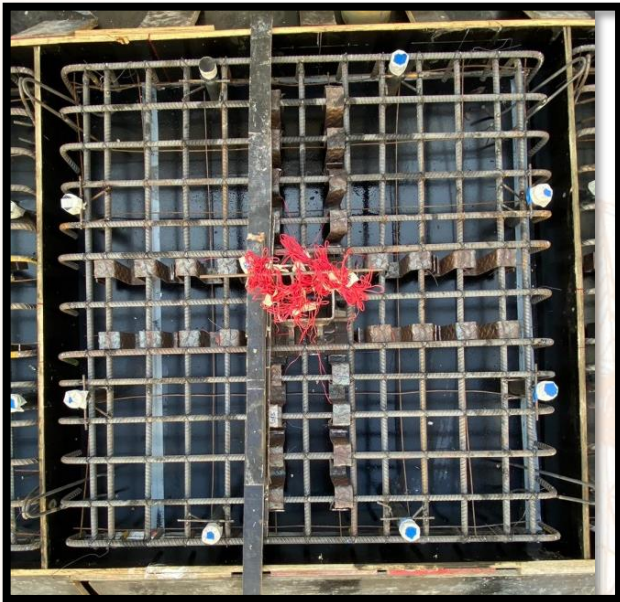


Ex3-1
1 sample

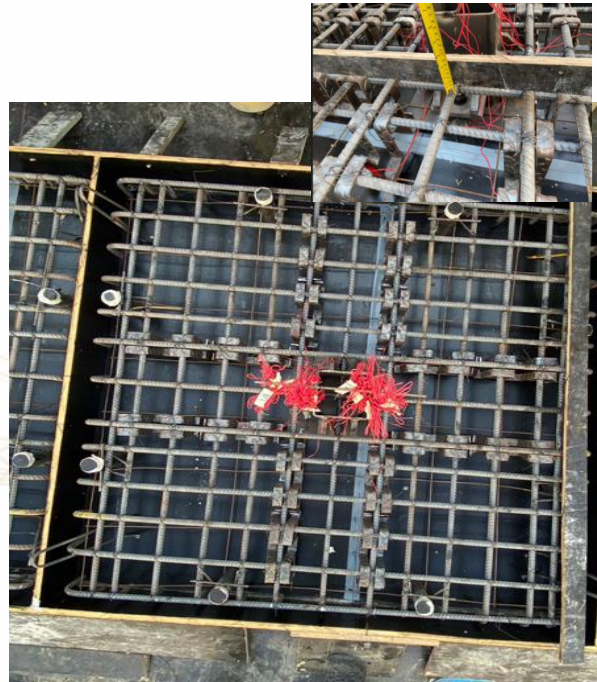


Lab Testing for POSTCONNEX and XSHEAR

- Testing conditions



Ex1-1 and Ex1-2



Ex2-1 and Ex2-2



Ex3-1



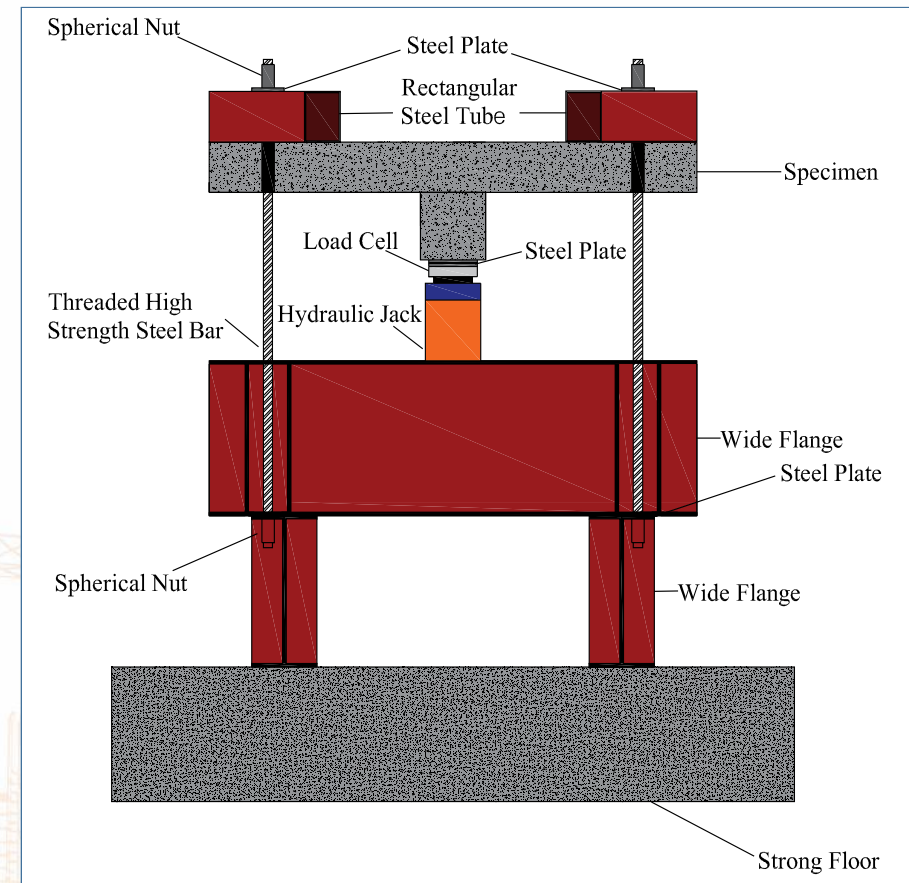
Lab Testing for POSTCONNEX and XSHEAR

- Testing samples



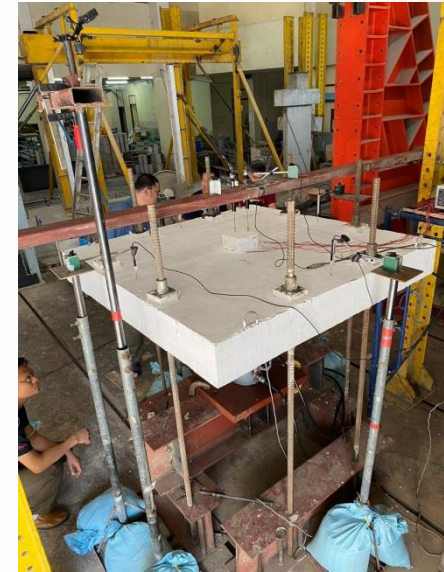
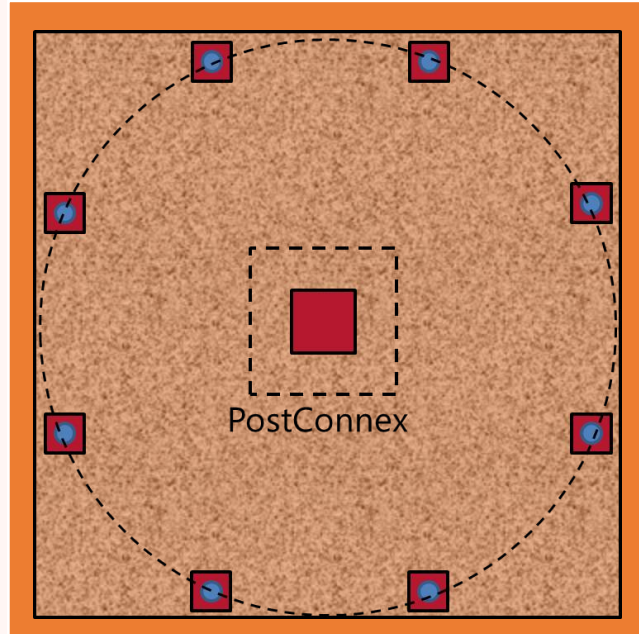
Lab Testing for POSTCONNEX and XSHEAR

- Test setup



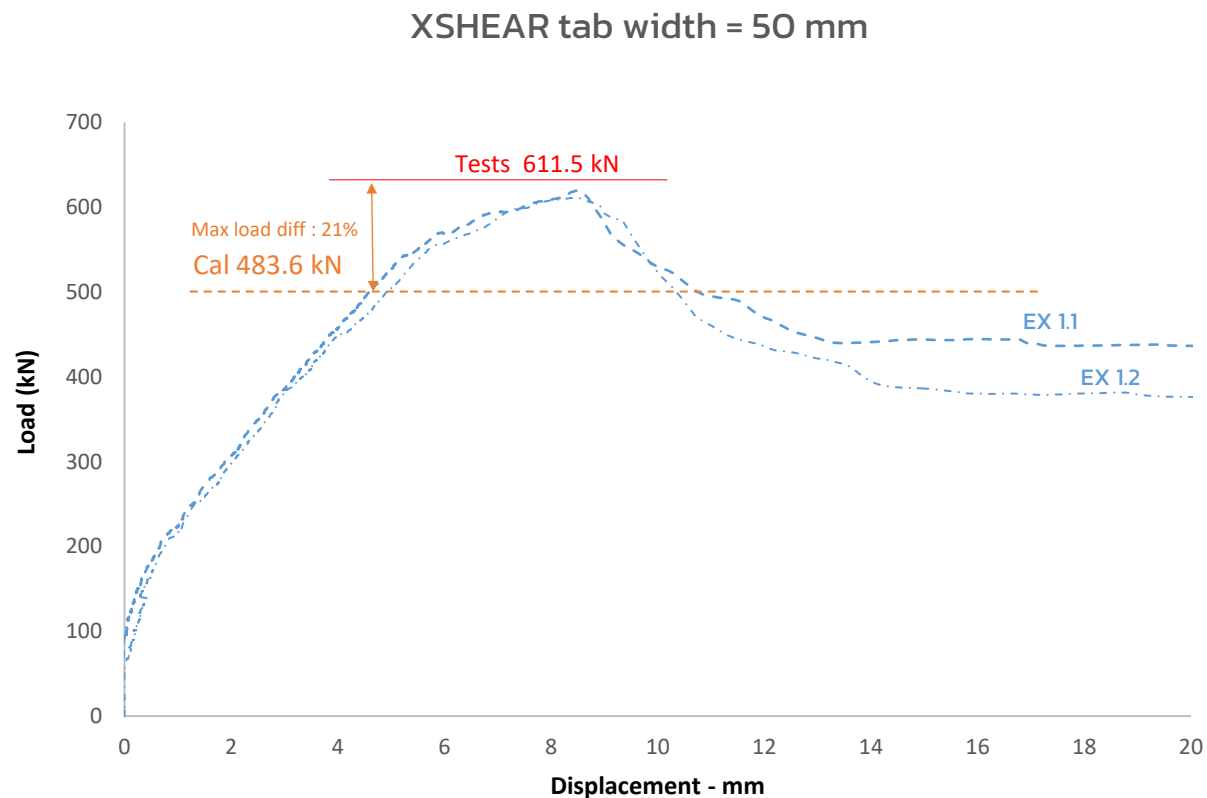
Lab Testing for POSTCONNEX and XSHEAR

- Test setup



Lab Testing for POSTCONNEX and XSHEAR

- Result (Ex 1-1 and Ex 1-2)

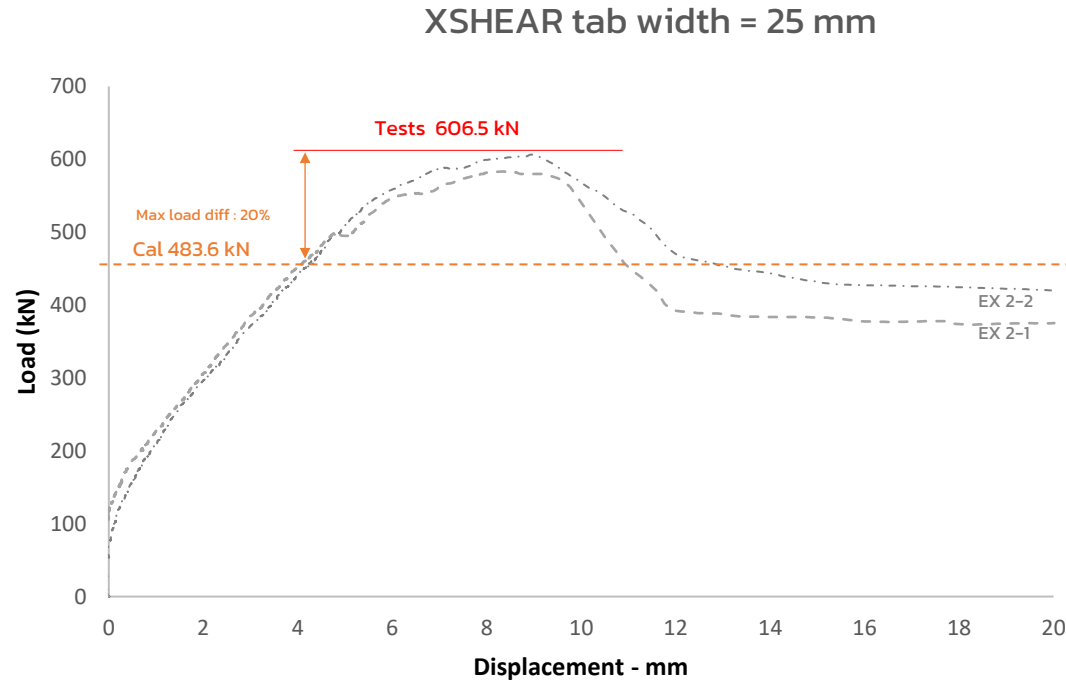


Test Case	Max Load (kN)
2023-No1-1	611.53
2023-No1-2	619.56
2023-No2-1	606.39
2023-No2-2	586.23
2023-No3	487.23

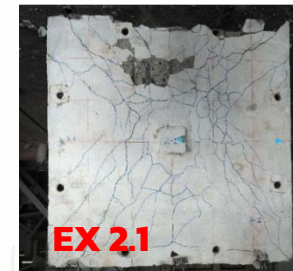


Lab Testing for POSTCONNEX and XSHEAR

- Result (Ex 2-1 and Ex 2-2)

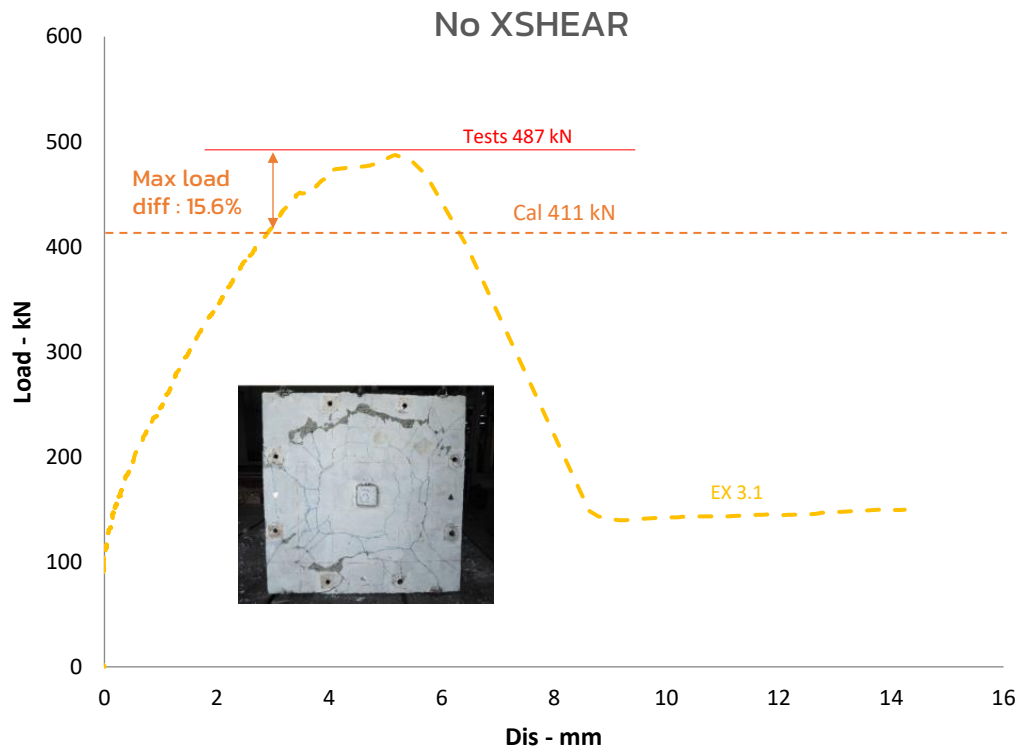


Test Case	Max Load (kN)
2023-No1-1	611.53
2023-No1-2	619.56
2023-No2-1	606.39
2023-No2-2	586.23
2023-No3	487.23



Lab Testing for POSTCONNEX and XSHEAR

- Result (Ex 3-1)

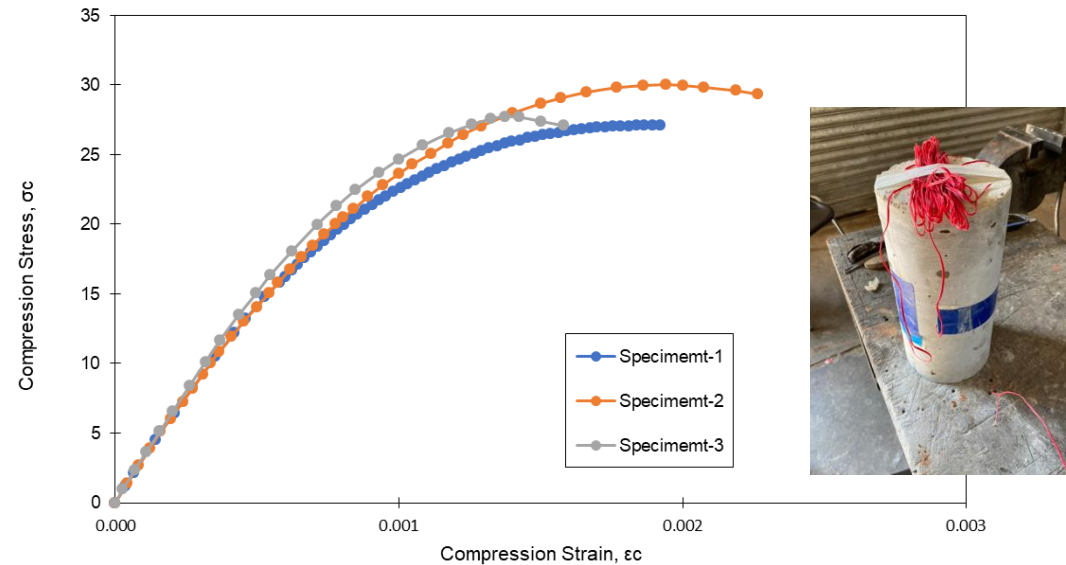


Test Case	Max Load (kN)
2023-No1-1	611.53
2023-No1-2	619.56
2023-No2-1	606.39
2023-No2-2	586.23
2023-No3	487.23



Lab Testing for POSTCONNEX and XSHEAR

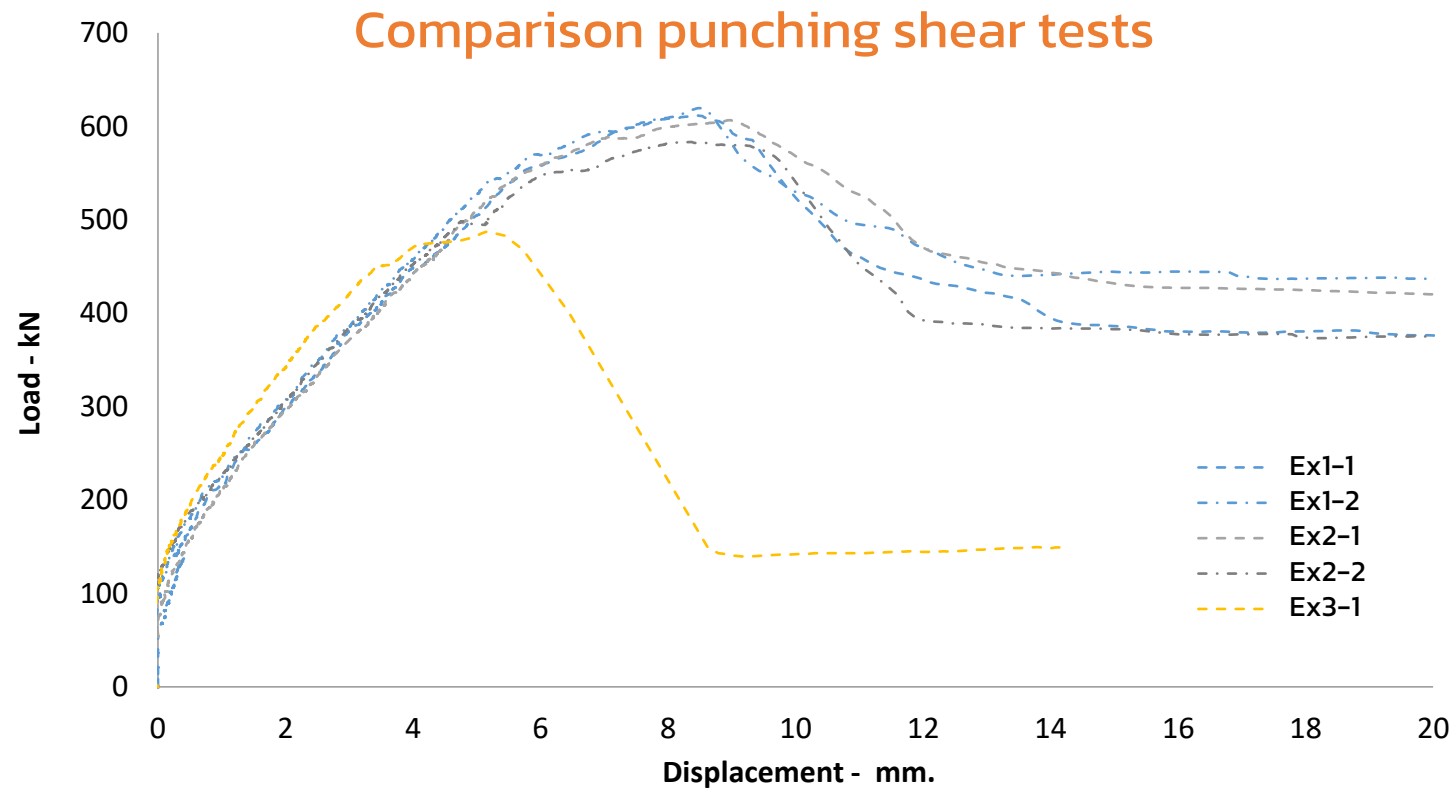
- Concrete compressive strength test results



Compression tests



Lab Testing for POSTCONNEX and XSHEAR



Lab Testing for POSTCONNEX and XSHEAR

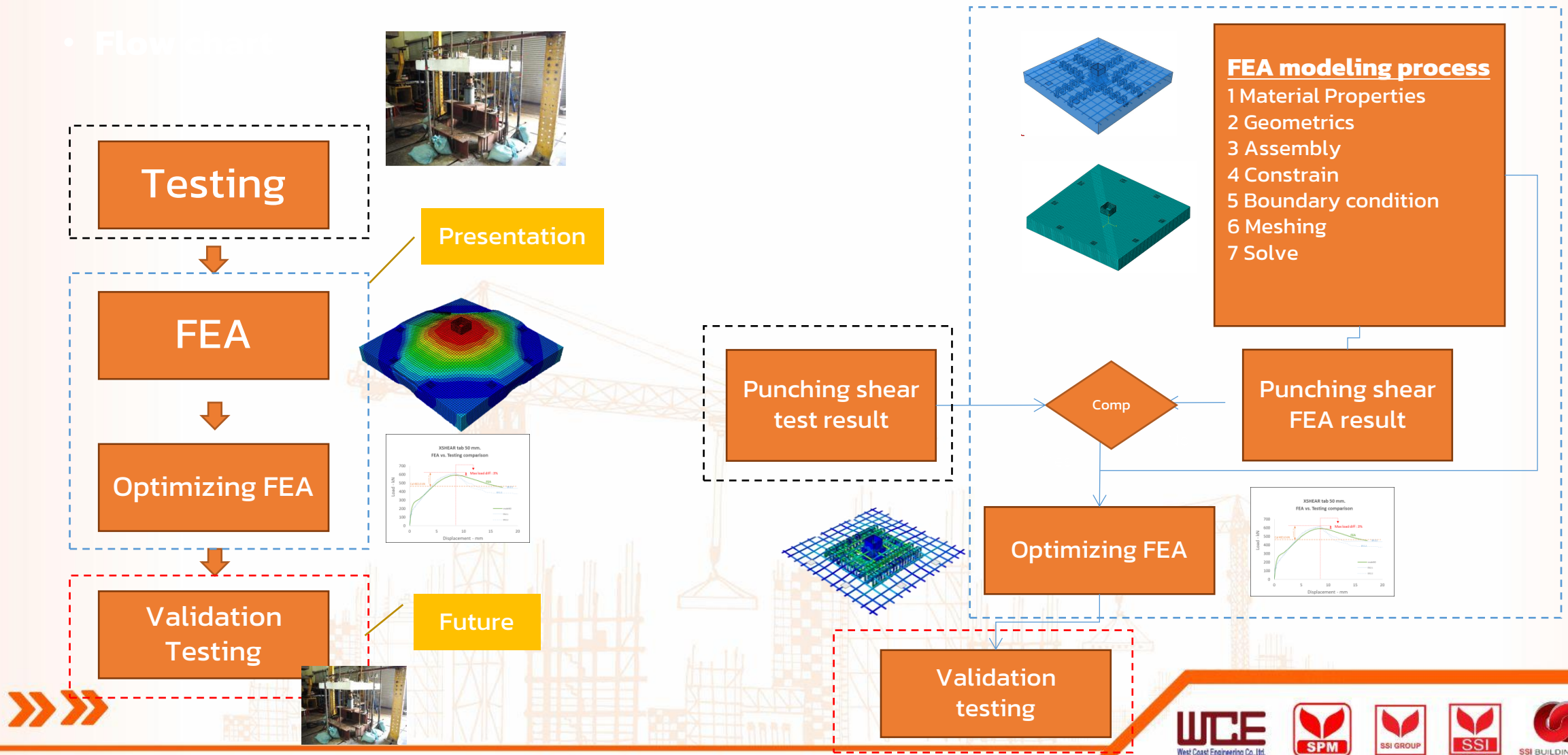
วิเคราะห์ผลการทดสอบ

- การใช้ XSHEAR สามารถใช้เสริมแรงเพื่อป้องกันการเกิดแรงเฉือนทะลุได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณอ้างอิง ACI 318-19 ที่ประมาณการไว้
- ตัวอย่างทดสอบ EX 3-1 การไม่มีอุปกรณ์ยึดโคนเสาและ XSHEAR ทำให้การต้านทานแรงเฉือนทะลุต่ำกว่ากรณี EX 1 และ EX 2 ซึ่งมี XSHEAR ที่ช่วยในการต้านทานแรงเฉือนทะลุ
- การรับแรงเฉือนทะลุของ XSHEAR แถบกว้าง 50 mm. มีกำลังรับแรงใกล้เคียงกับ XSHEAR แถบกว้าง 25 mm. (พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนทะลุหรือ punching shear เท่าๆ กัน)
- ทั้ง 5 ตัวอย่าง พฤติกรรมการรับแรง 3 ช่วง ช่วงที่ 1 load ที่ 0 – 140 kN (ยังไม่เกิด micro crack) / ช่วงที่ 2 load ที่ 140 kN – กำลังสูงสุด (เกิด micro crack) และ ช่วงที่ 3 load ลดลงจากกำลังสูงสุด (เกิด large crack)



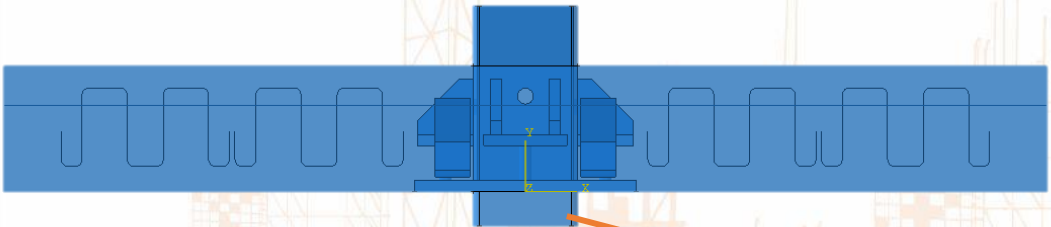
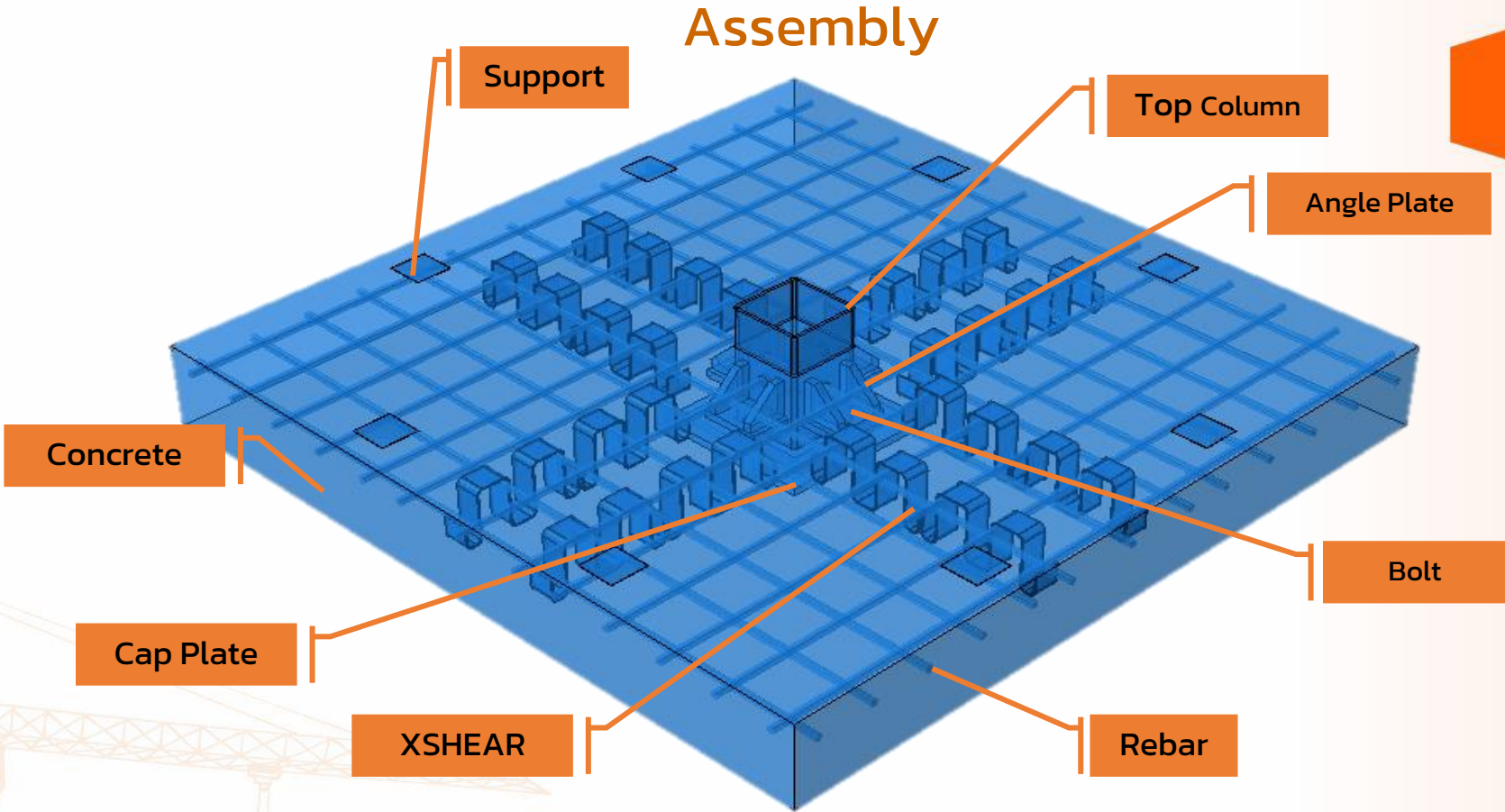
Finite Element Modeling

• Flow



Material

No.	Part	Material
1	Concrete	Concrete
2	Top Column	SS400
3	Bottom Column	Rigid Body
4	XSHEAR	SS400
5	Angle Plate	HY370
6	Column Plate	HY370
7	Rebar	SD40T
8	Support	Rigid Body
9	Bolt	Grade 10.9



Steel : SS400 / HY370 / SD40T/ Grade 10.9
Concrete : C25



Finite Element Modeling

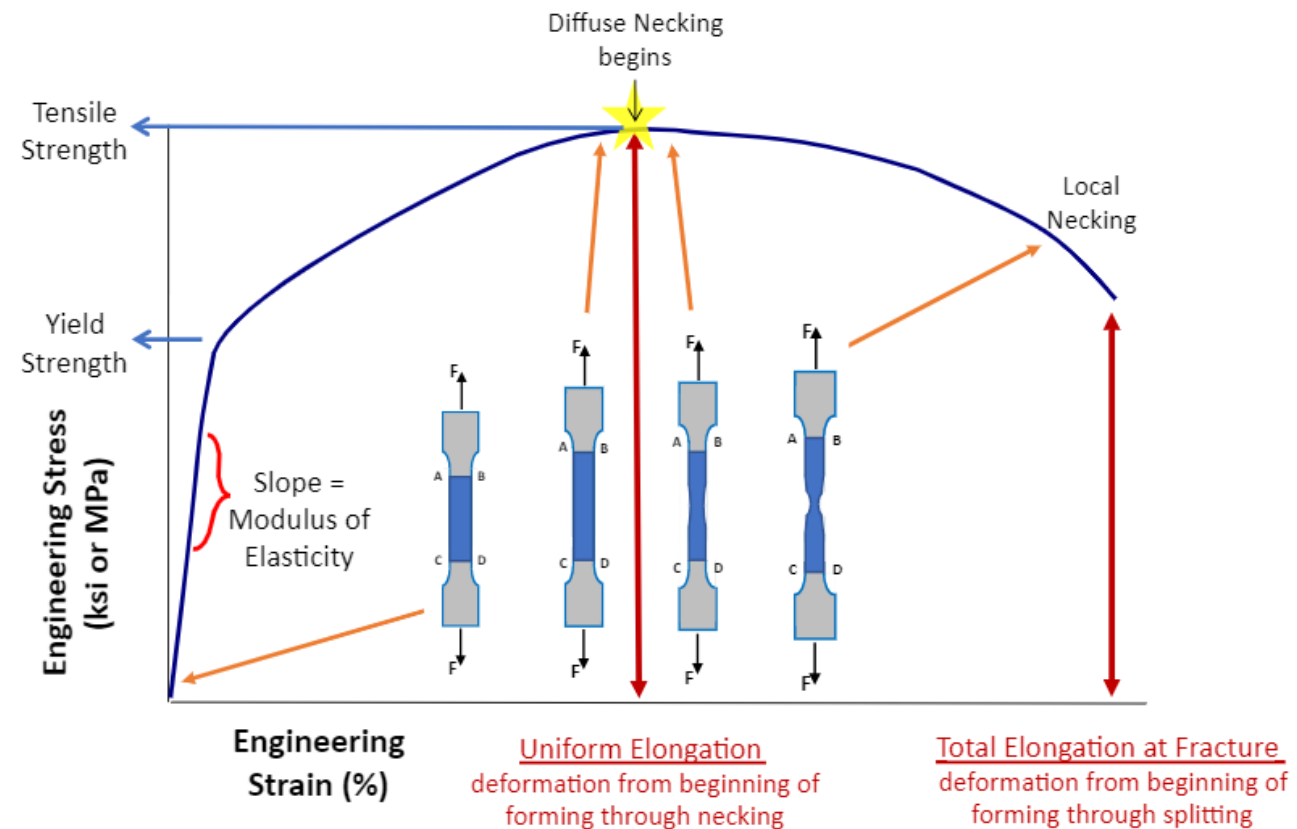
Material Mechanical Properties (steel)

Elastic-Plastic Behavior

- SS400
- HY370
- SD40T
- Bolt grade 10.9



Tensile testing



Ref: <https://ahssinsights.org/forming/mechanical-properties/uniform-elongation/>



Finite Element Modeling

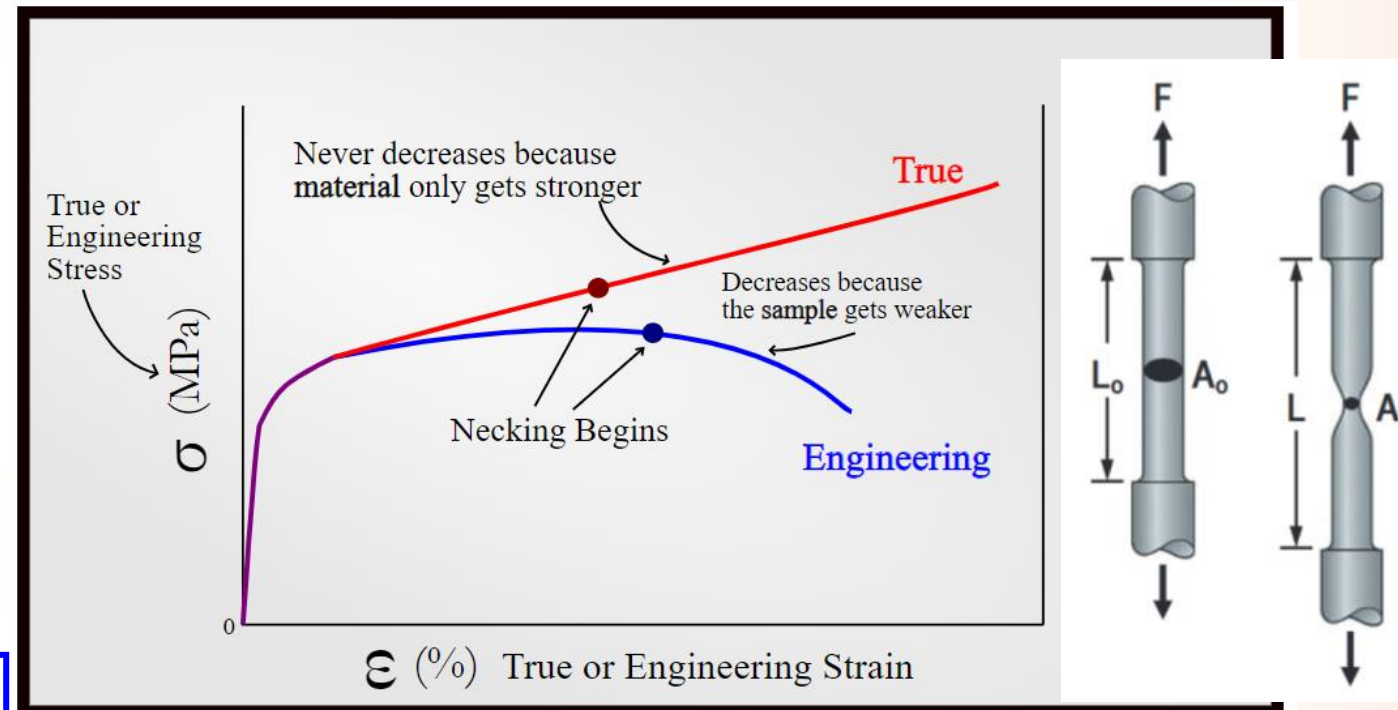
Material Mechanical Properties (steel)

True Stress and Engineering Stress

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{\left(\frac{A_0 l_0}{l}\right)} = \frac{P}{A_0} \cdot \frac{l}{l_0}$$
$$= \sigma_0 \left(\frac{l_0 + \Delta l}{l_0} \right) = \sigma_0 \left(1 + \frac{\Delta l}{l_0} \right) = \sigma_0 (1 + e)$$

True Strain and Engineering Strain

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \left(\frac{l_0 + \Delta l}{l_0} \right) = \ln(1 + e)$$



<https://msestudent.com/true-stress-strain-vs-engineering-stress-strain/>



Finite Element Modeling

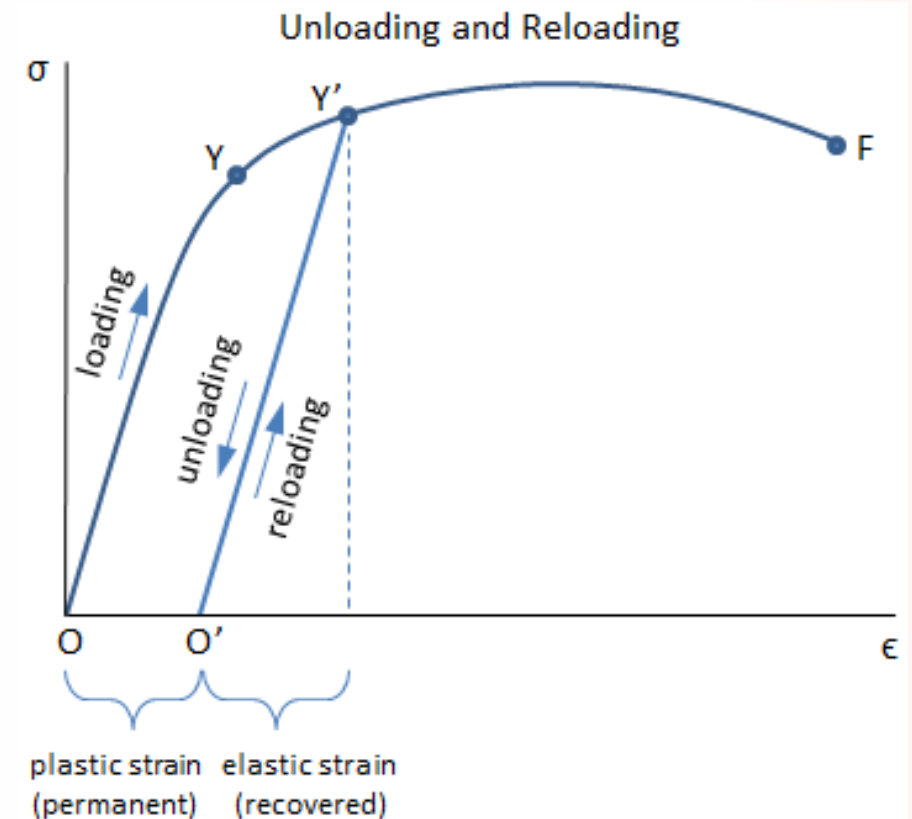
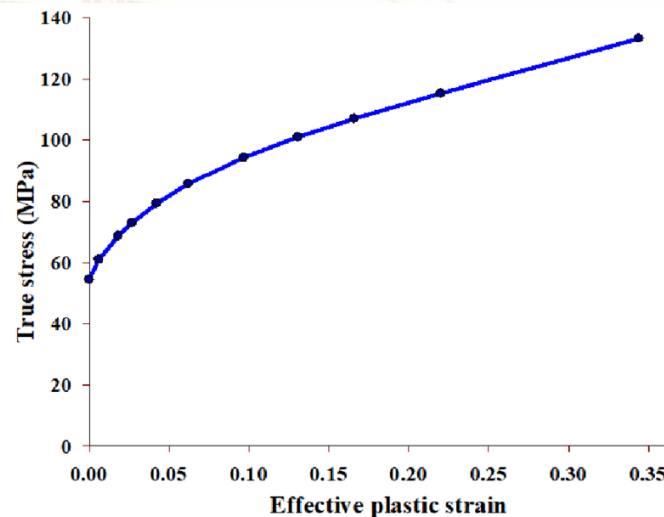
Material Mechanical Properties (steel)

Elastic-Plastic Behavior

Plastic Strain

$$\varepsilon^p = \varepsilon - \varepsilon^e = \varepsilon - \frac{\sigma}{E}$$

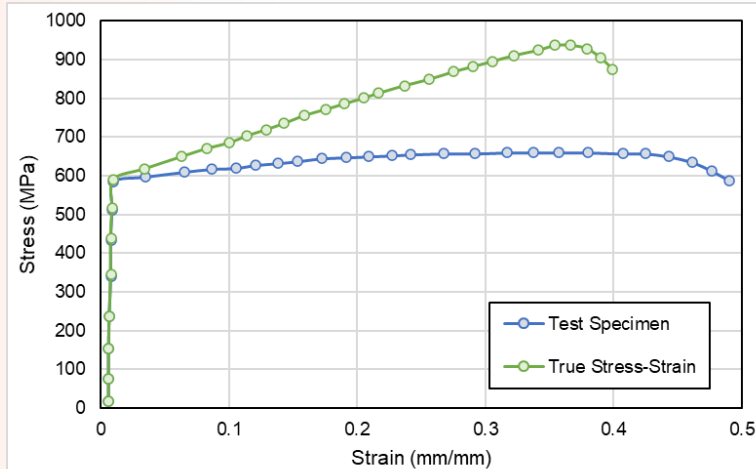
Isotropic Hardening in ABAQUS



Finite Element Modeling

Material Mechanical Properties (steel)

Rebar SD 40T



Steel Plate SS400

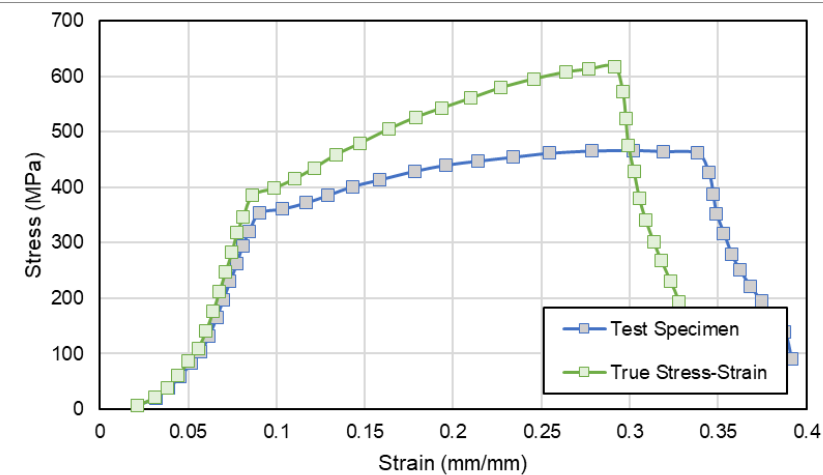
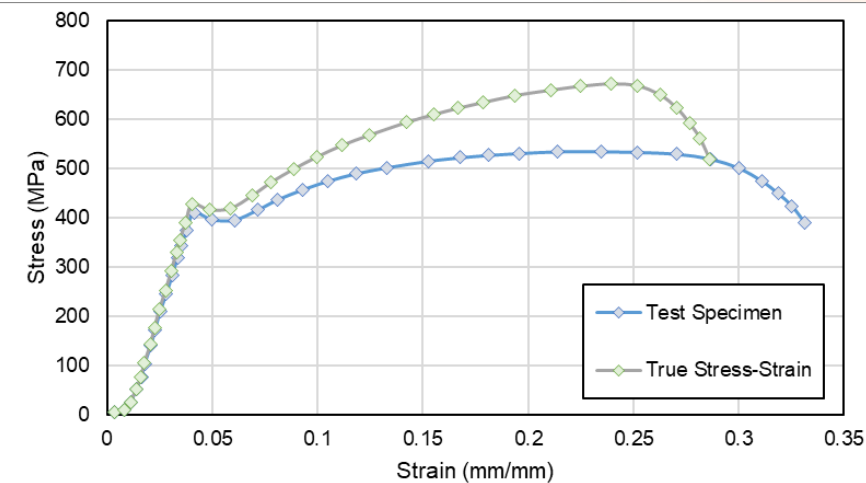


Plate HY370



Finite Element Modeling

Mechanical properties : Bolt grade10.9

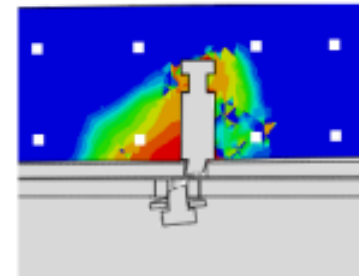
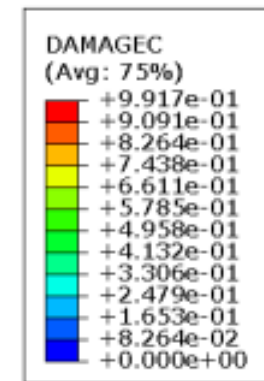
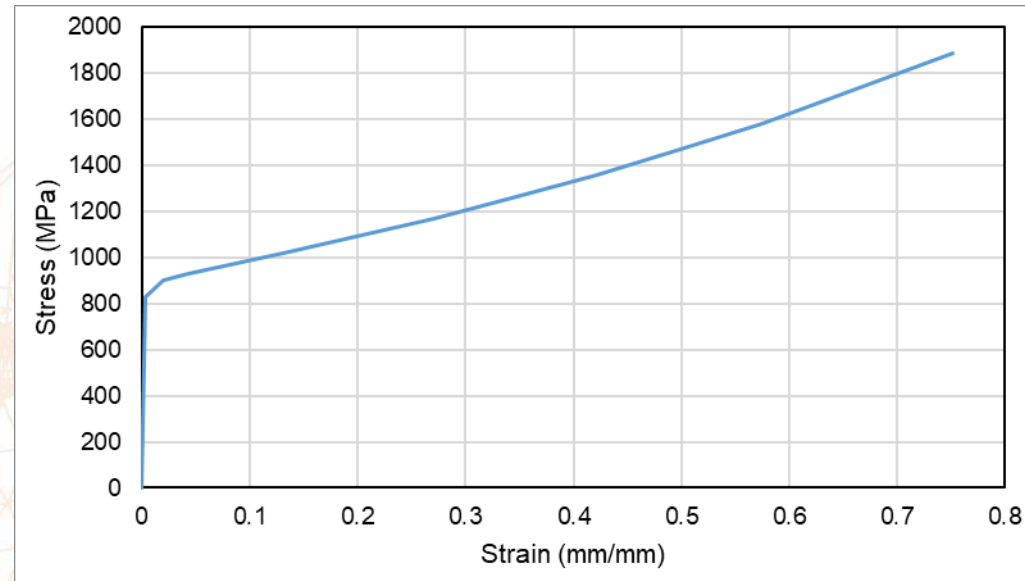
Bolt 10.9

Table A.37: Density and Elastic for bolt 10.9

Density:	7.8e-006
Elastic:	
Young's modulus	Poisson's ratio
210000	0.3

Table A.38: Plastic for bolt 10.9

Yield Stress	Plastic strain
830.7	0
854.8	0.0029
876.4	0.0071
900.7	0.016
916.7	0.0237
924.5	0.0296
932	0.0378
971.2	0.0789
1017.7	0.1257
1076.3	0.1816
1169.7	0.2649
1262.2	0.341
1314.6	0.3817
1358.7	0.4147
1372.1	0.4245
1467.8	0.4919
1582.7	0.5673
1720.5	0.6508
1885.9	0.7426



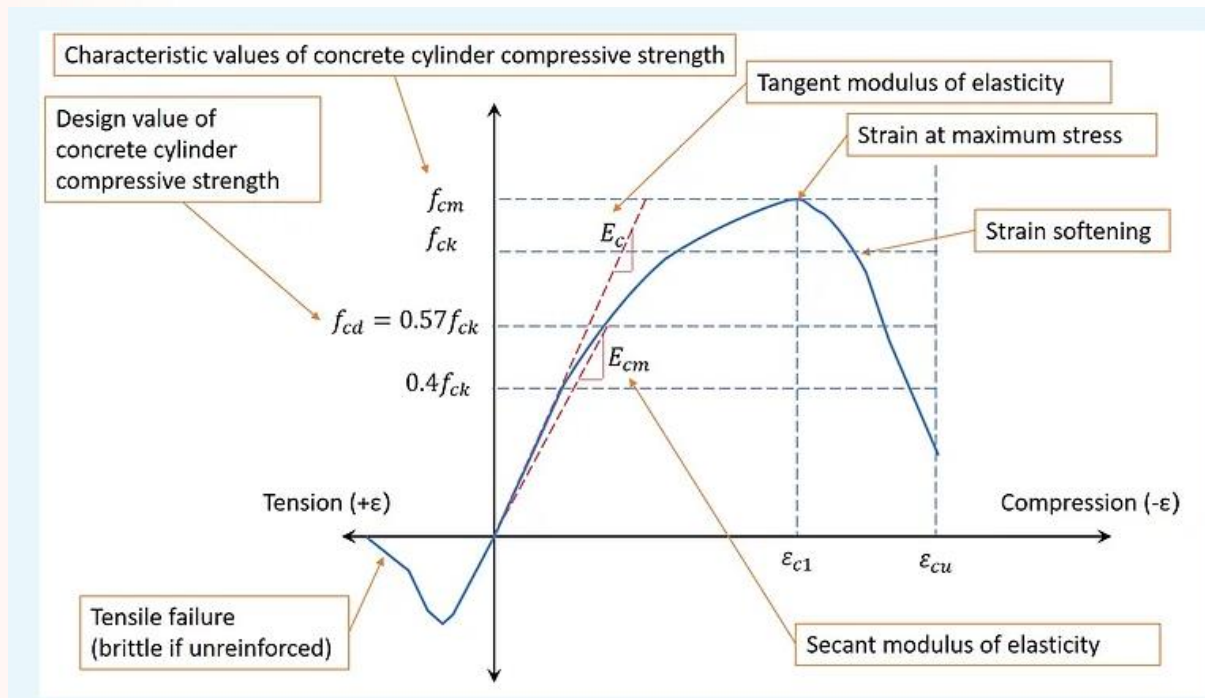
a) M16

Ref.: Alkyoni Sarri (2019) _The Delft University of Technology

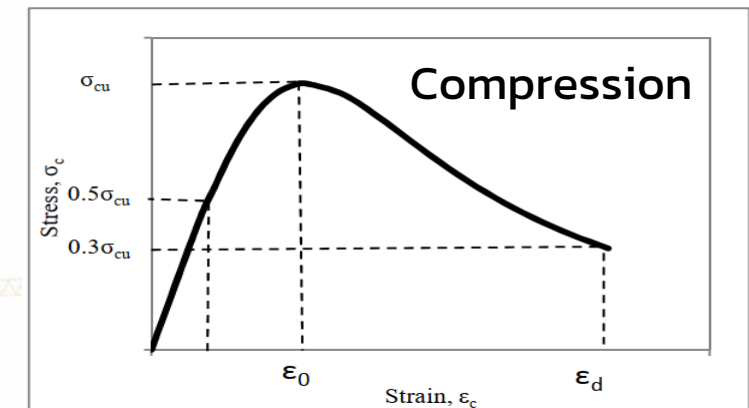
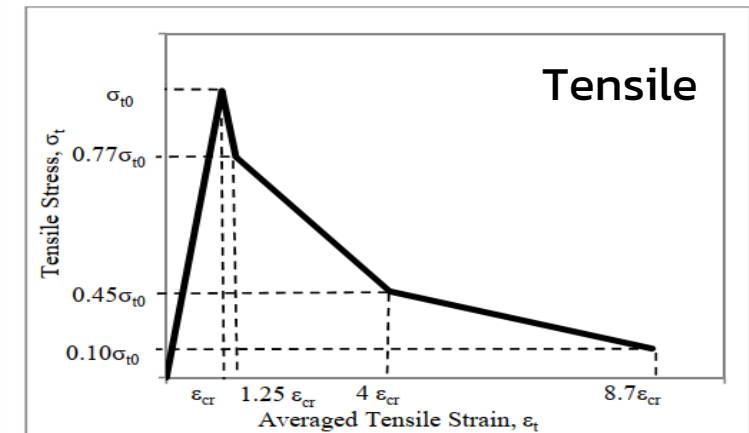


Finite Element Modeling

Material Mechanical Properties (concrete)



Simplifier for FEA

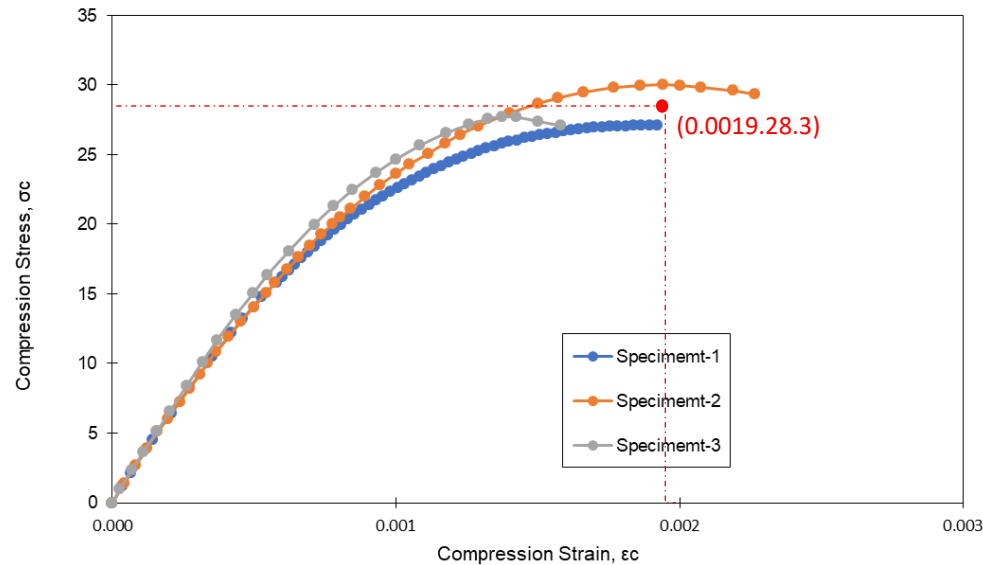


Ref: 1. <https://www.si-eng.org/post/a-step-by-step-anatomy-of-concrete-stress-strain-curve-2>. A
2. MATERIAL MODEL FOR FLEXURAL CRACK SIMULATION IN REINFORCED CONCRETE ELEMENTS USING ABAQUS
by WAHALATHANTRI_2011



Finite Element Modeling

Ultimate compressive stress / Ultimate compressive strain



Avg. compression stress (max) = 28.2 MPa

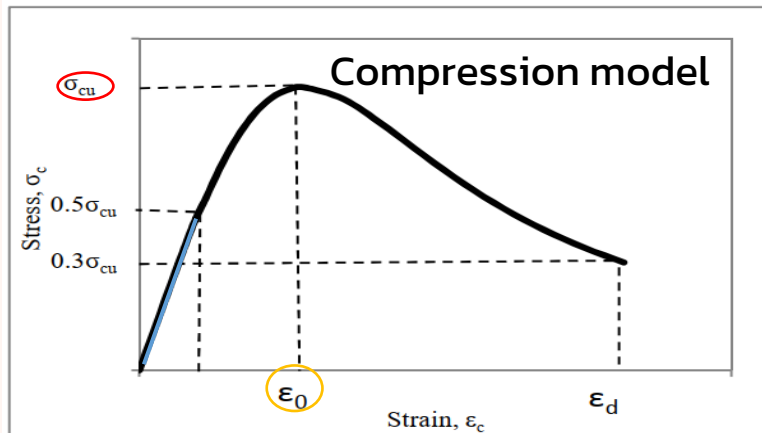
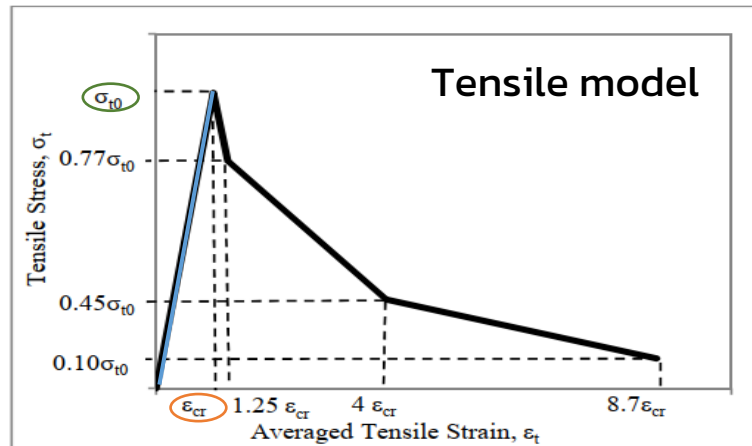


Compression tests

Ref: H. M. Afefy 2017



Finite Element Modeling



Parameter request list for input material model

Description	Equation/Symbol	Unit	Value	REF (Determine Value)
Elastic Modulus	E0	MPa	27330	CEB-Fib Bulletin 65
Poisson's Ratio	ν	-	0.2	CEB-Fib Bulletin 65
Maximum Tensile Stress	σ_{t0}	MPa	2.22	CEB-Fib Bulletin 65
Critical Tensile Strain	ε_{cr}	%	0.15%	CEB-Fib Bulletin 65
Ultimate Compressive Strength	σ_{cu}	MPa	28.2	Compression tests
Ultimate Compressive Strain	ε_0	-	0.20%	Compression tests
Parameter	$\beta=1/(1-(\sigma_{cu}/(\varepsilon_0 \cdot E0)))$		2.10	Equation

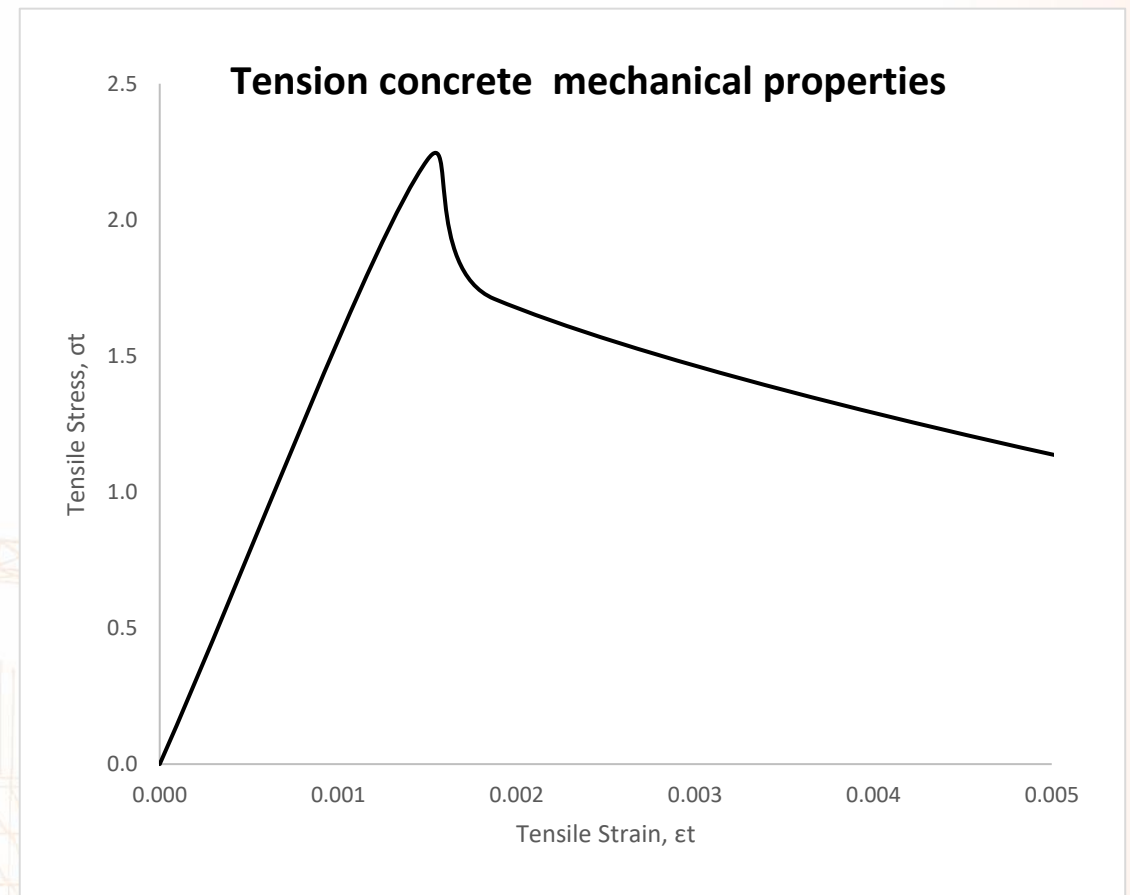
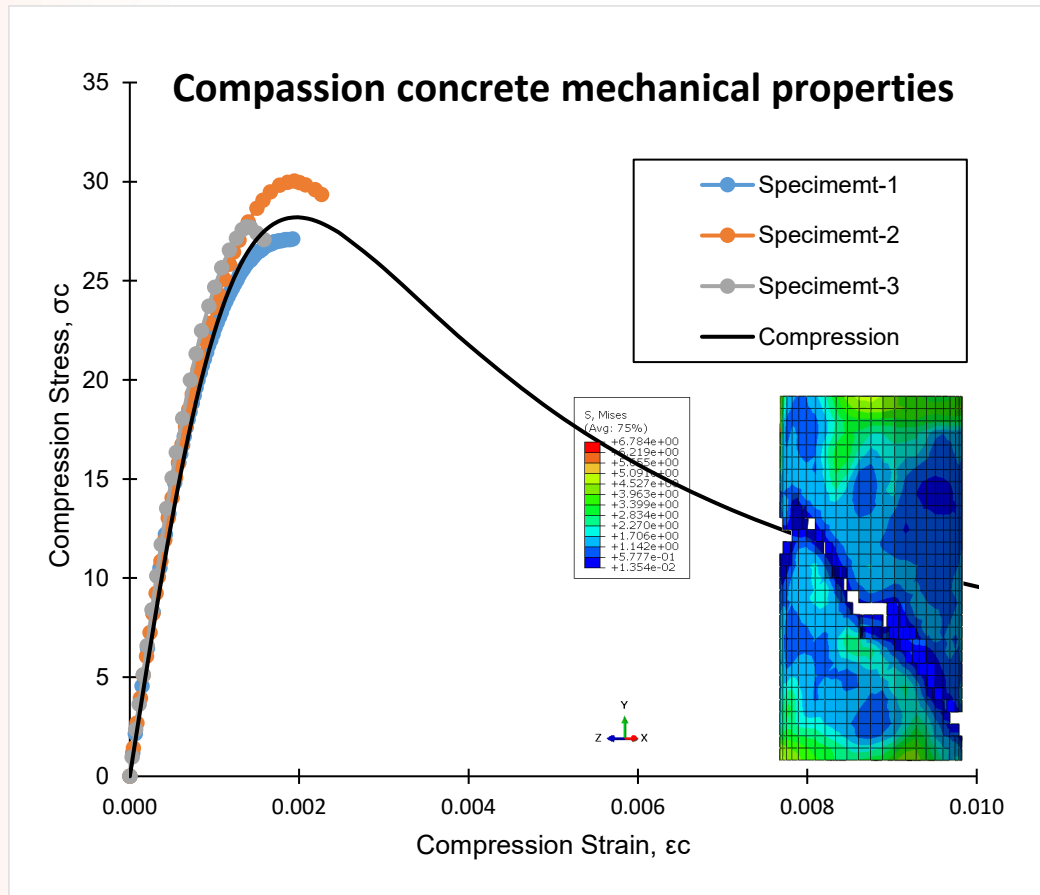
Ref: 1. A MATERIAL MODEL FOR FLEXURAL CRACK SIMULATION IN REINFORCED CONCRETE ELEMENTS USING ABAQUS

by WAHALATHANTRI_2011

2. CEB -FIB Bulletin 65 Volume 1/ Model Code 2010



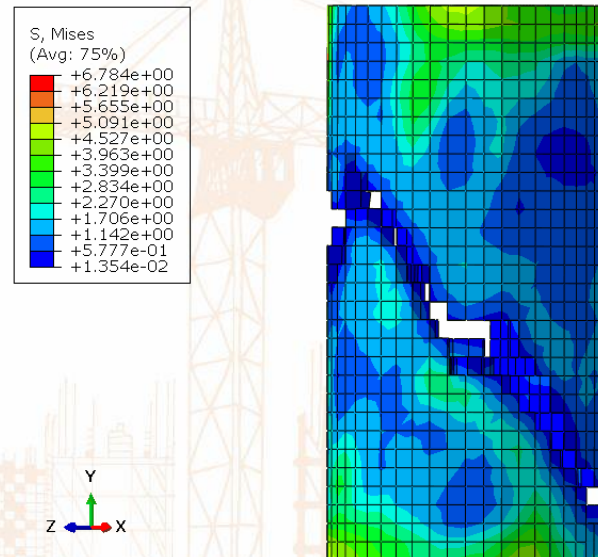
Finite Element Modeling



Finite Element Modeling

Concrete damaged plasticity in ABAQUS

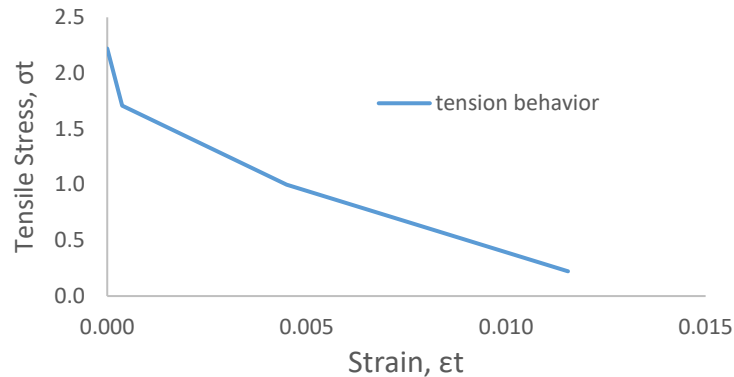
- Plastic Flow
- Yield Function
- Viscoplastic regularization



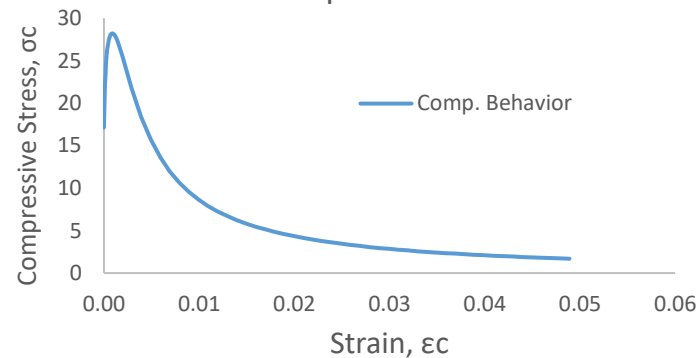
Finite Element Modeling

Summary of concrete material properties

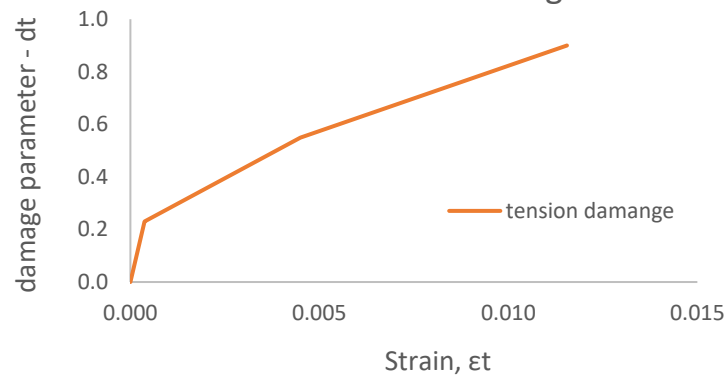
Concrete tension behavior



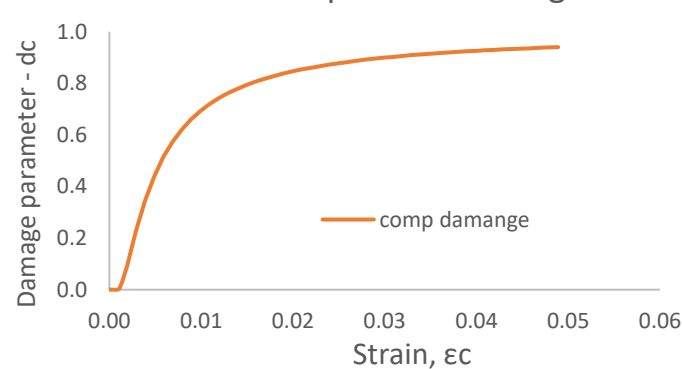
Concrete compression behavior



Concrete tension damage



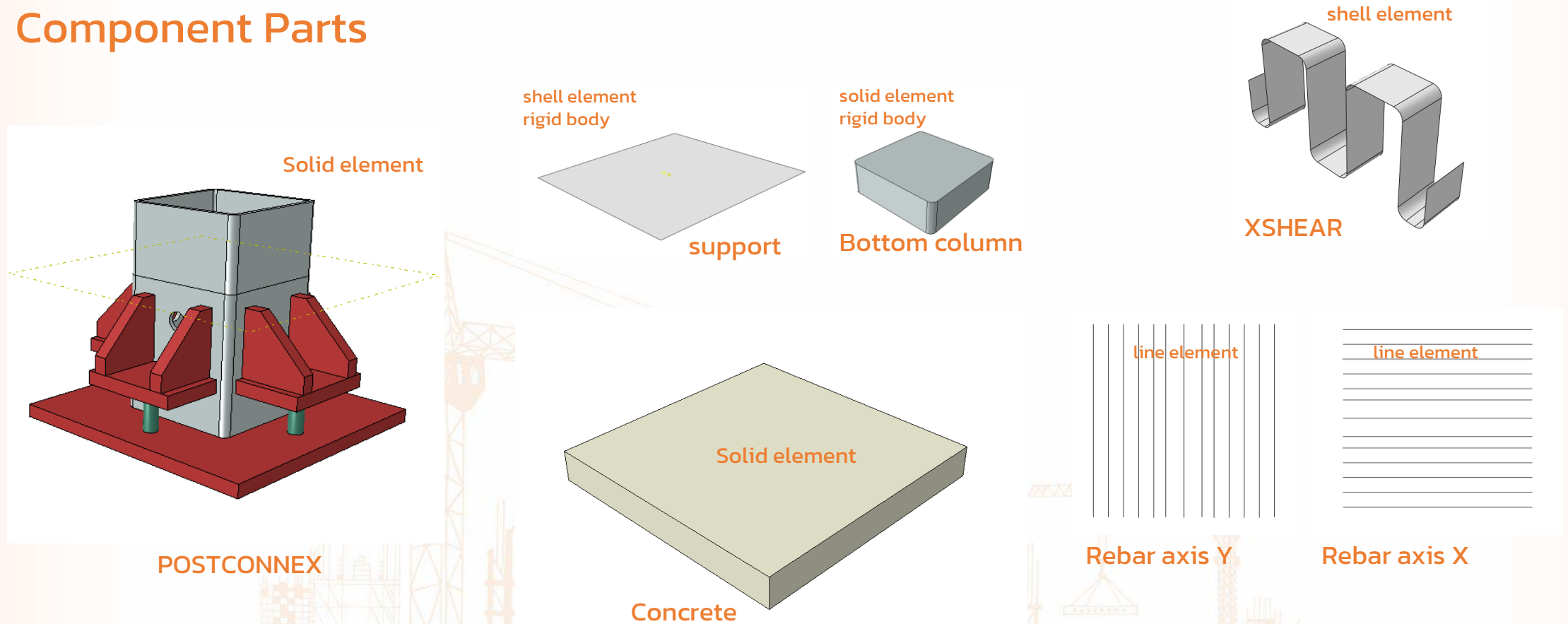
Concrete compression damage



Parameter	Value	Units
Young's modulus	27,330	MPa
Poisson's ration	0.2	
Dilation Angle	35°	
Eccentricity	0.1	
FbO/fcO	1.16	
K	2/3	
Viscosity	0.0001	

Finite Element Modeling

Component Parts



Finite Element Modeling

- FEA condition

ตารางที่ 1 รายละเอียดตัวอย่างทดสอบจุดต่อระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตและเสาเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ

No	Column	Concrete Slab		Punching	Cap Plate			Bolt Size	Angle Plate	Horizontal Plate		Stiff. To Top Column	
	SS400	WxH	Thk	Xshear	W	Thk	Grade	A490	Stiff. Thk.	Thk	WxD	Weld L	Leg Size
	m x m	m x m	m	mm	mm	mm			mm	mm	mm x mm	mm	mm
2023-No1	0.15x0.15	1.50x1.50	0.18	แบบ 50	320	16	HY370	M18	16	16	120x80	120	6
2023-No2	0.15x0.15	1.50x1.50	0.18	แบบ 25	320	16	HY370	M18	16	16	120x80	120	6
2023-No3	0.15x0.15	1.50x1.50	0.18	-	320	16	HY370	-	-	-	-	-	-

การทดสอบ

Ex1-1, Ex1-2

Ex2-1, Ex2-2

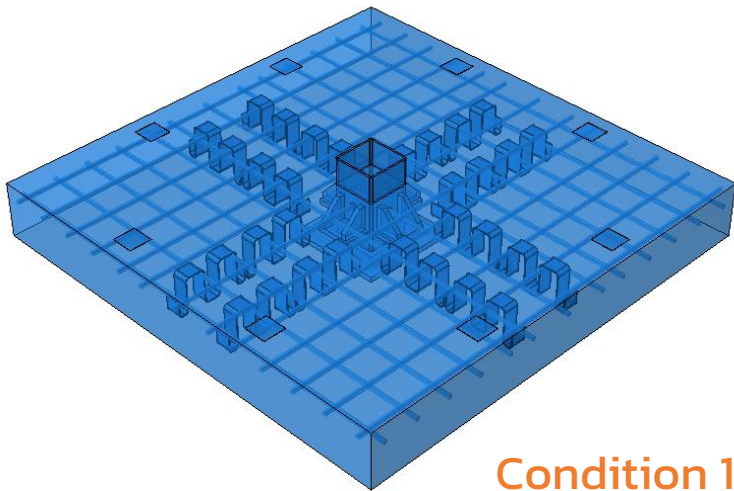
Ex3-1



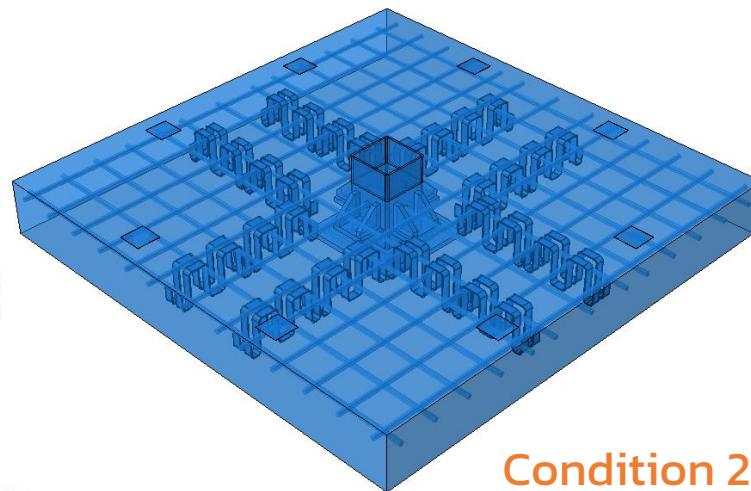
Finite Element Modeling

FEA modeling process

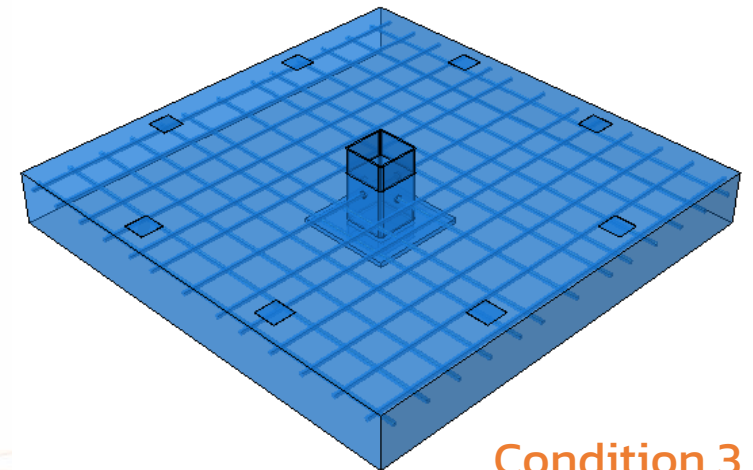
- Geometrics



Condition 1

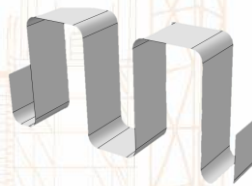


Condition 2

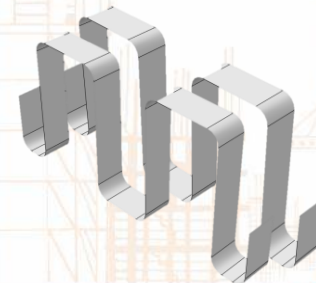


Condition 3

- Thickness 4 mm
- Width 50 mm



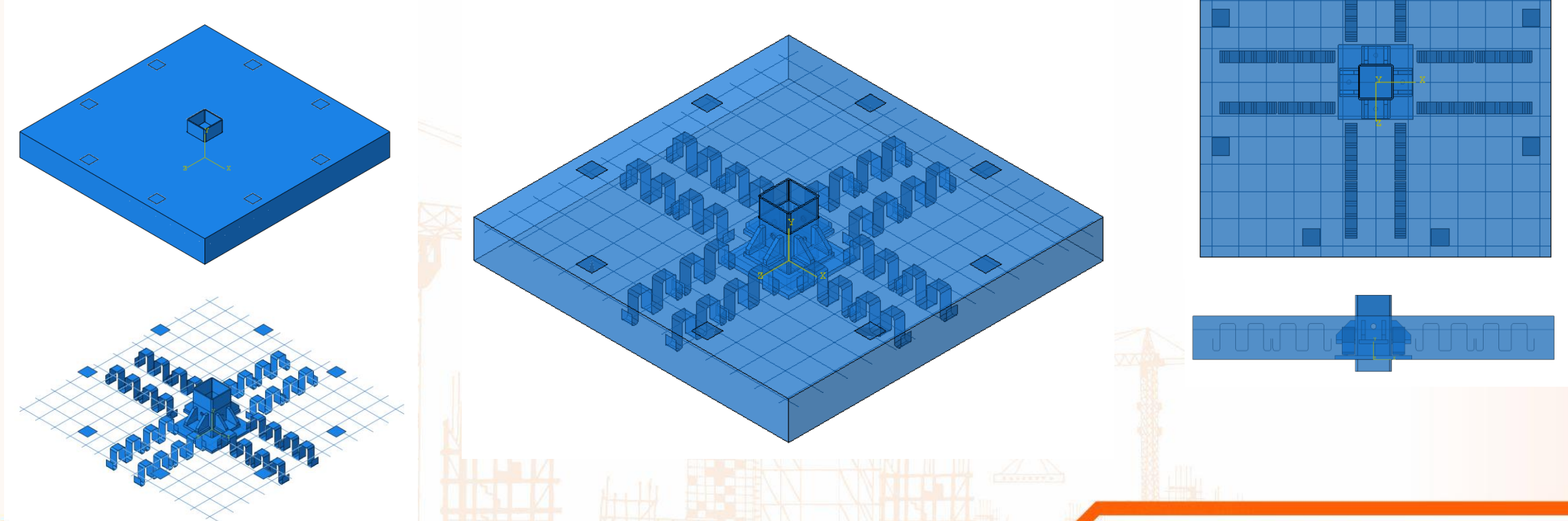
- Thickness 4 mm
- Width 25 mm



Finite Element Modeling

FEA modeling process

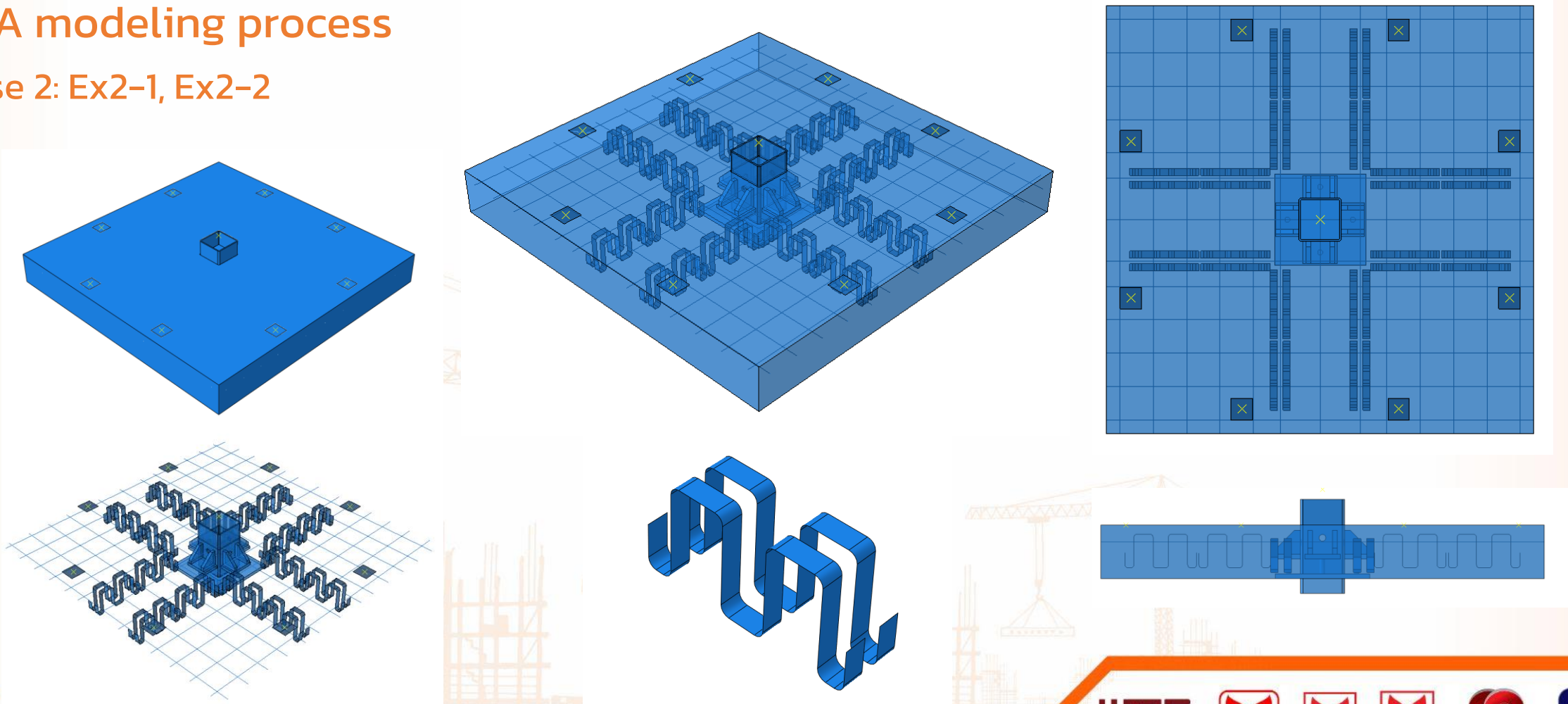
Case 1: Ex1-1, Ex1-2



Finite Element Modeling

FEA modeling process

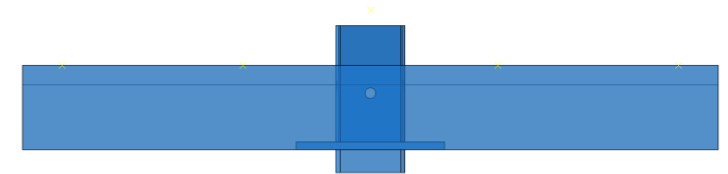
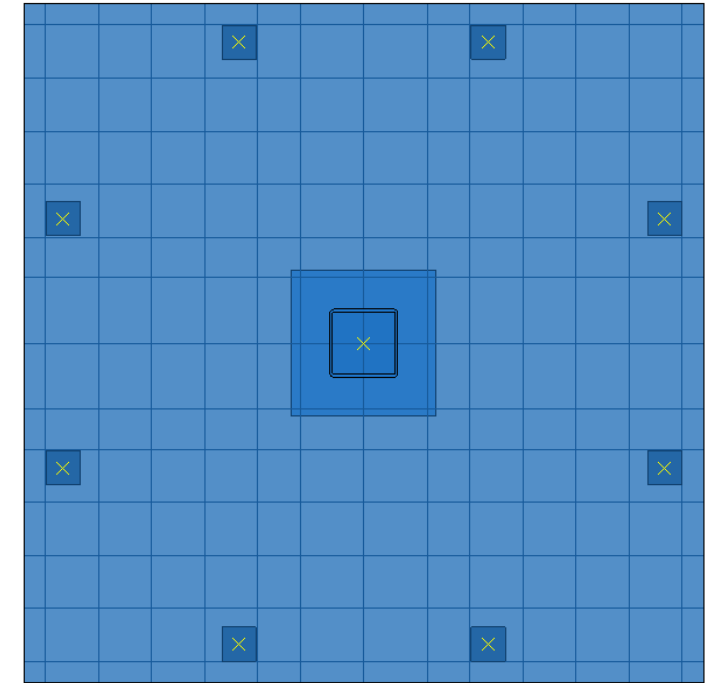
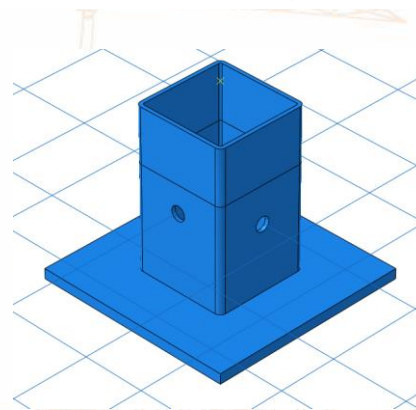
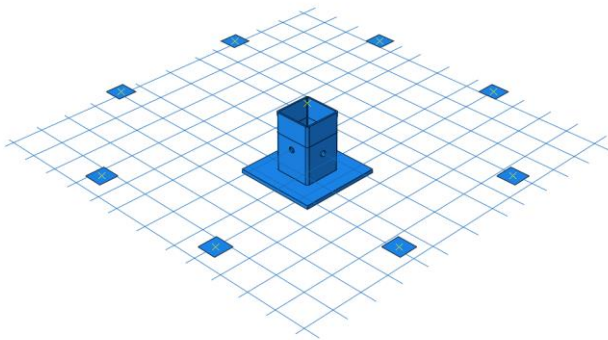
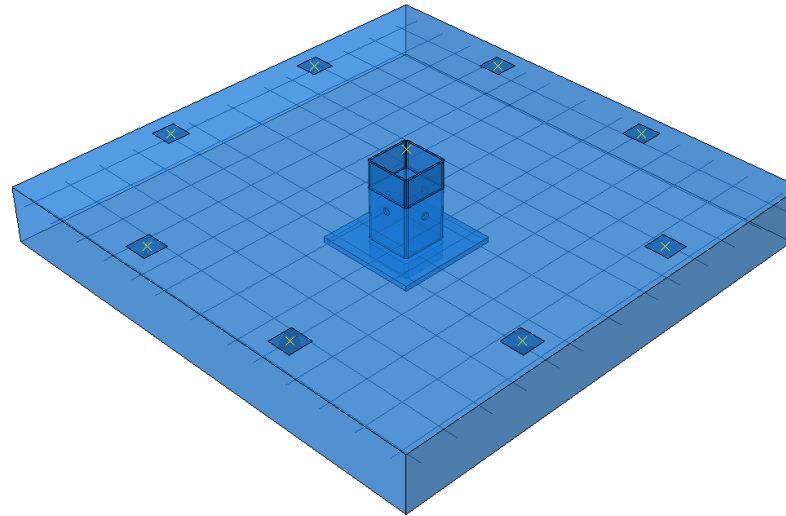
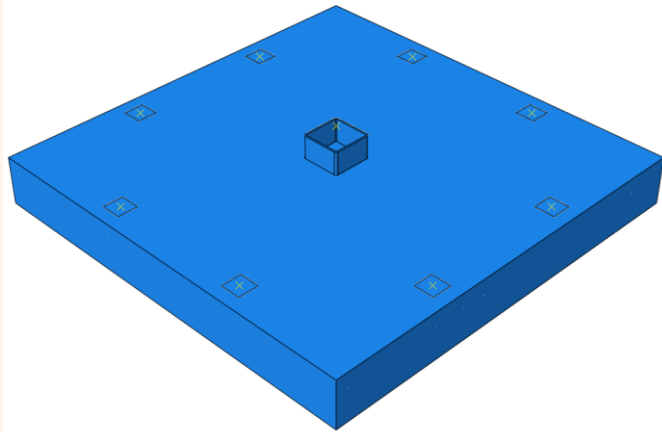
Case 2: Ex2-1, Ex2-2



Finite Element Modeling

FEA Modeling Process

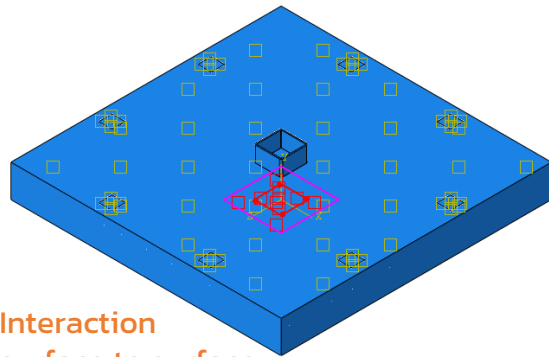
Case 3: Ex3-1



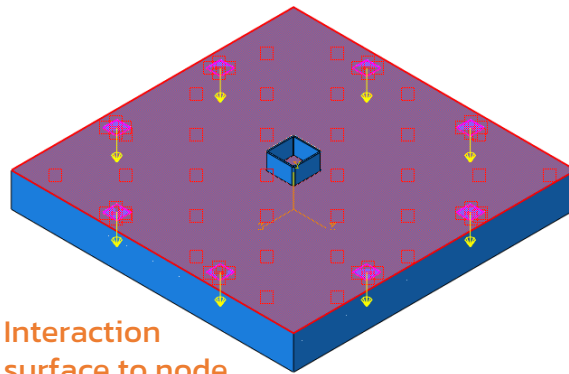
Finite Element Modeling

FEA Modeling Process

- Interaction and Constraint

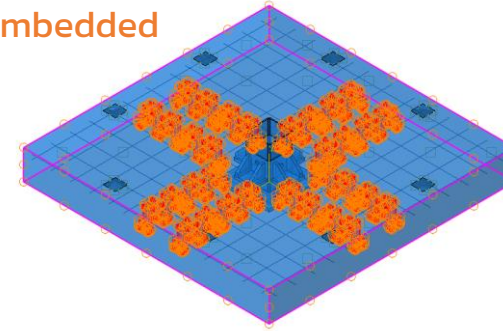


Interaction
surface to surface

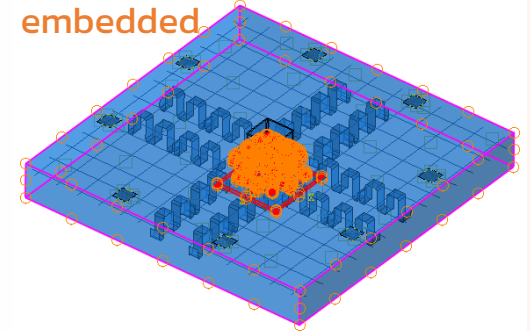


Interaction
surface to node

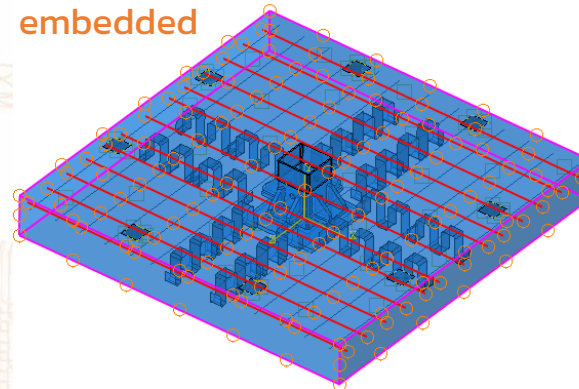
Constraint
embedded



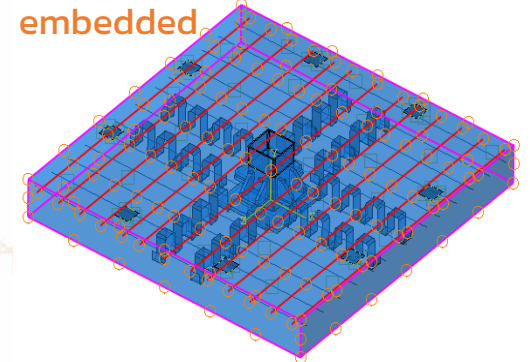
Constraint
embedded



Constraint
embedded



Constraint
embedded

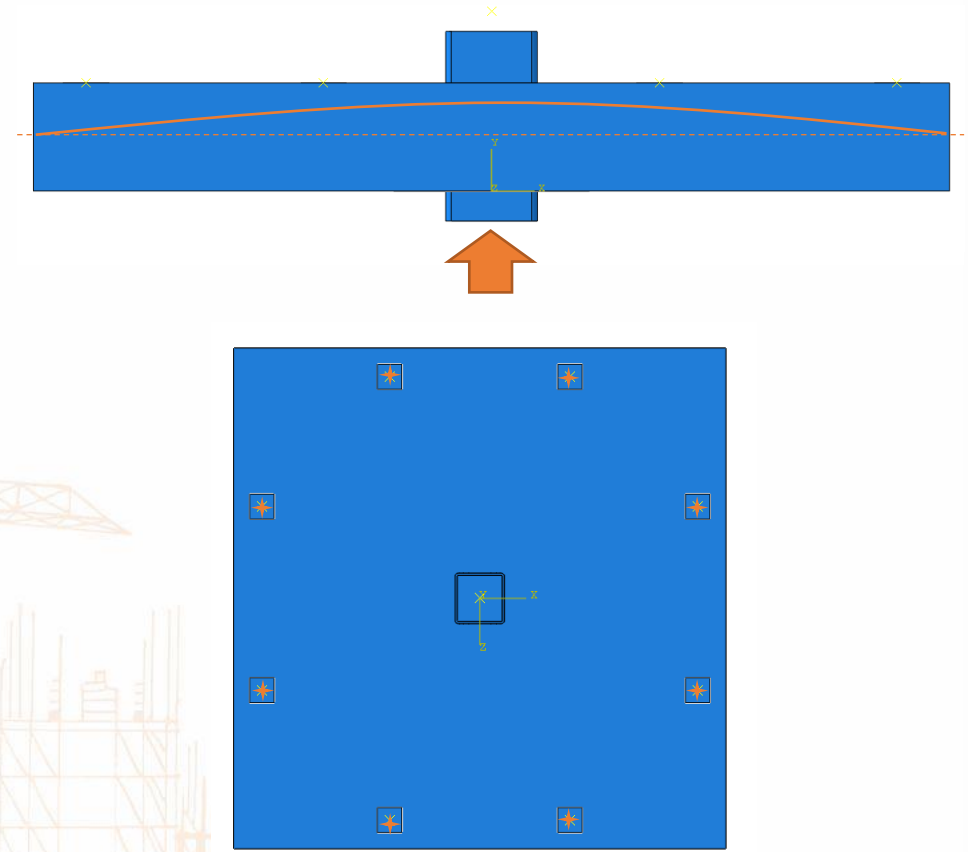
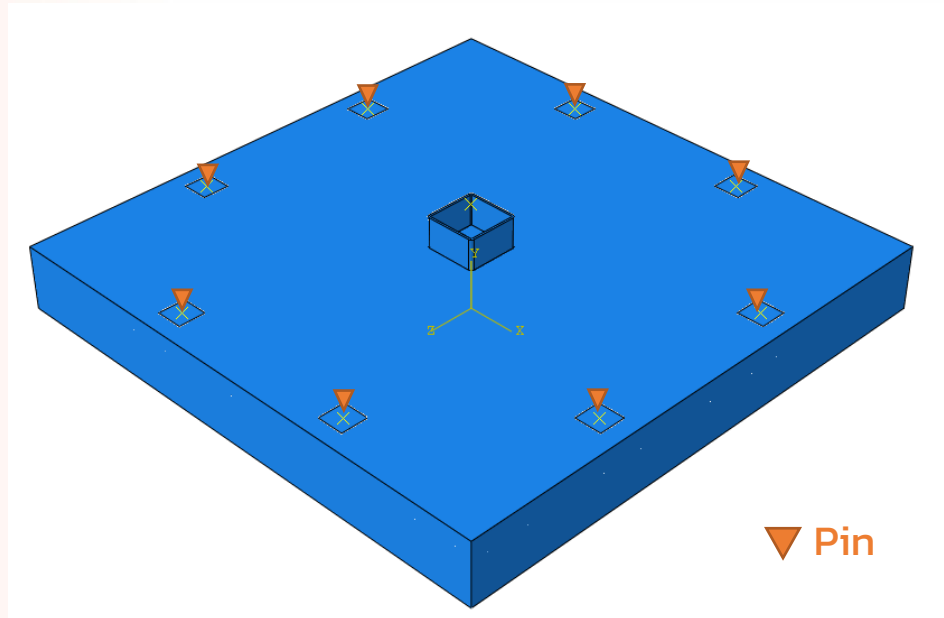


Ref : Paper J.L. Yu_2018 (friction coefficient 0.3)

Finite Element Modeling

FEA modeling process

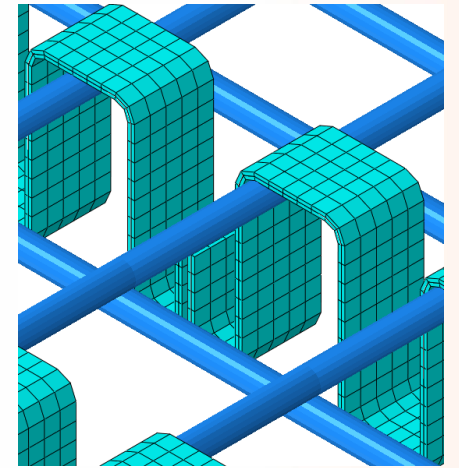
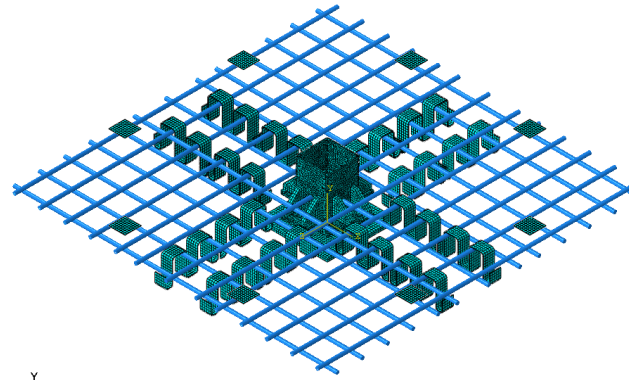
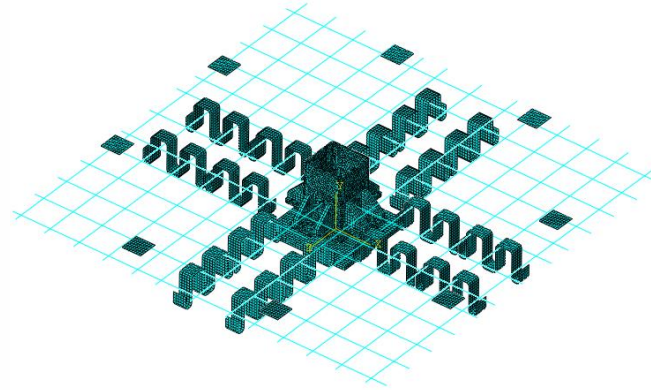
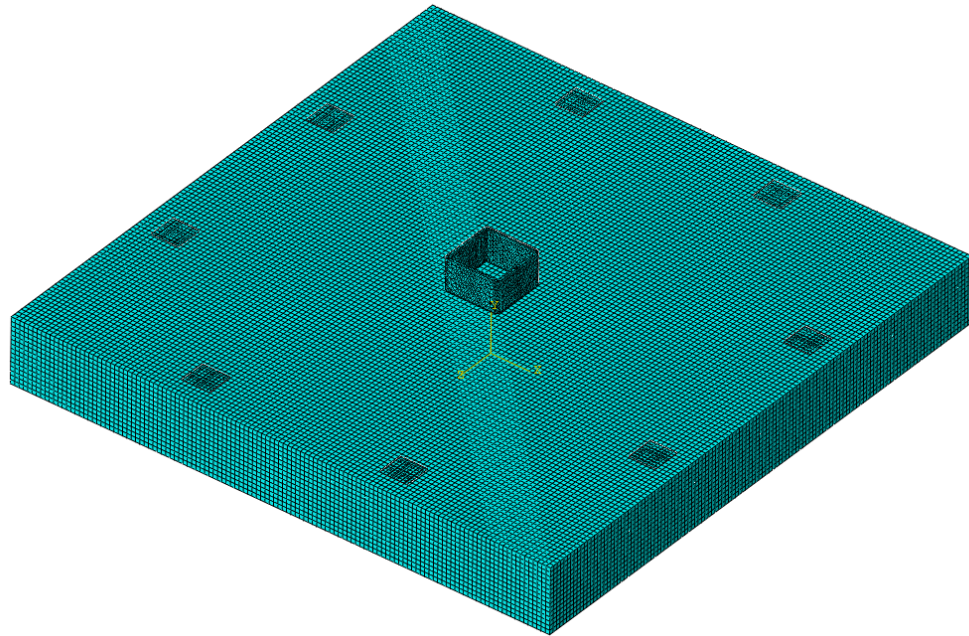
- Boundary condition



Finite Element Modeling

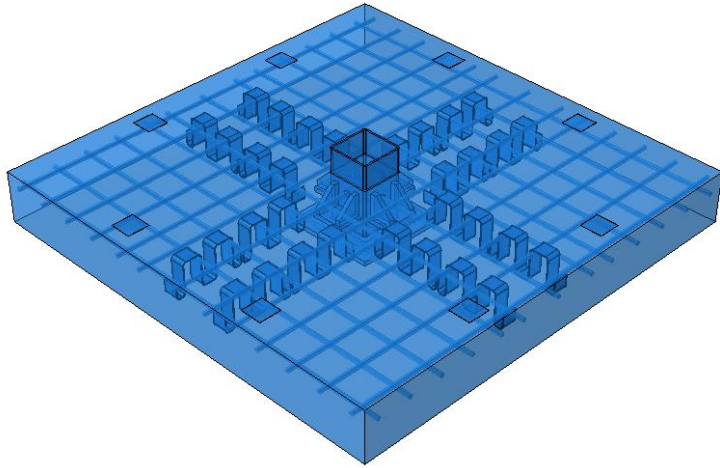
FEA Modeling Process

- Mesh

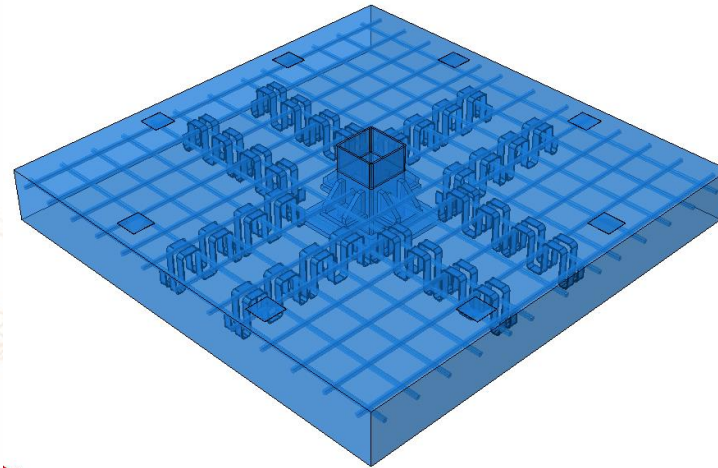


Analysis and Comparison of FEA Results

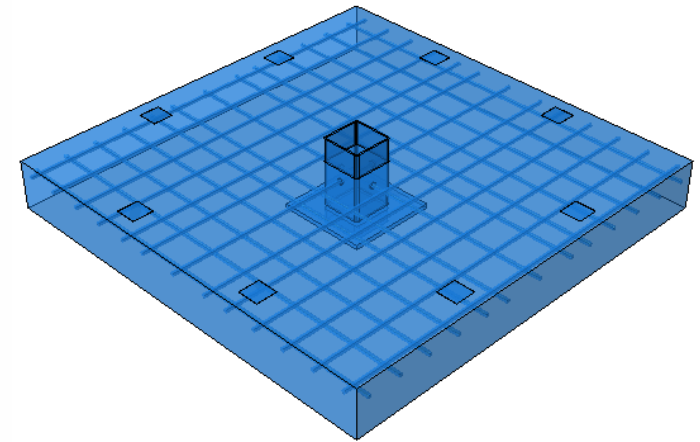
Simulation: 3 condition results



Condition 1



Condition 2

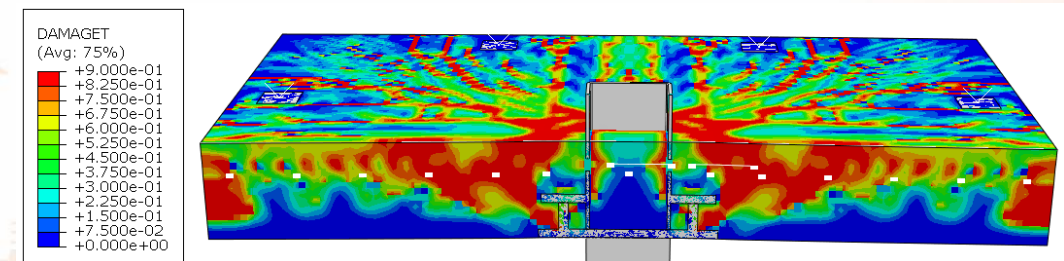
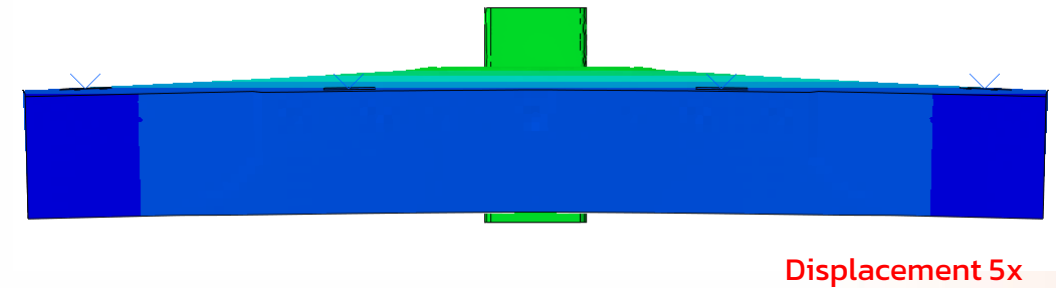
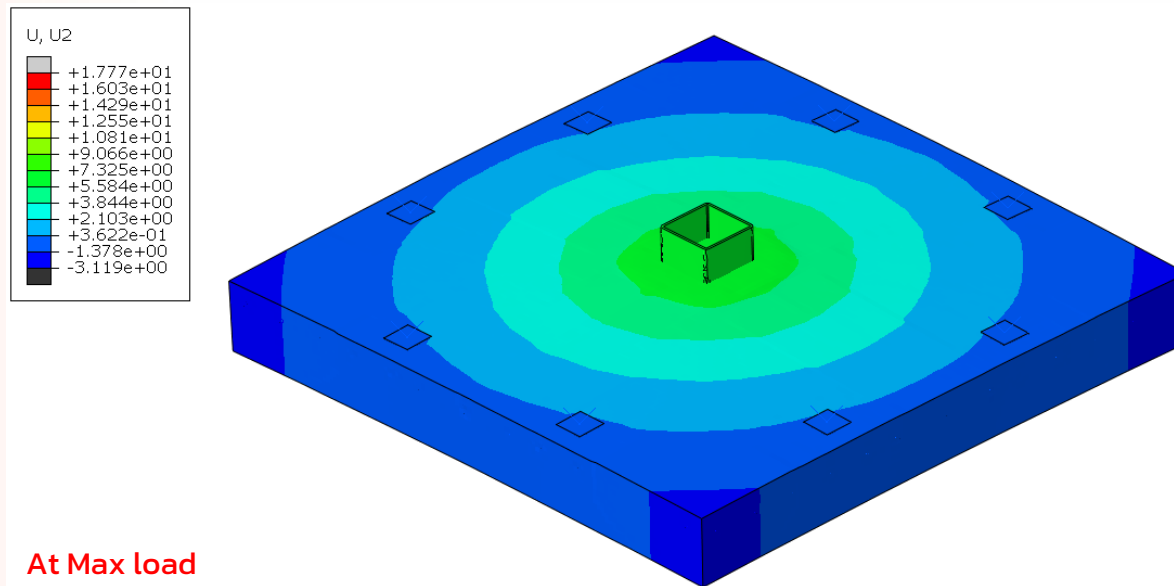


Condition 3

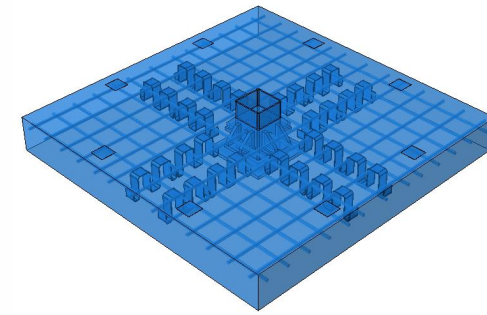


Analysis and Comparison of FEA Results

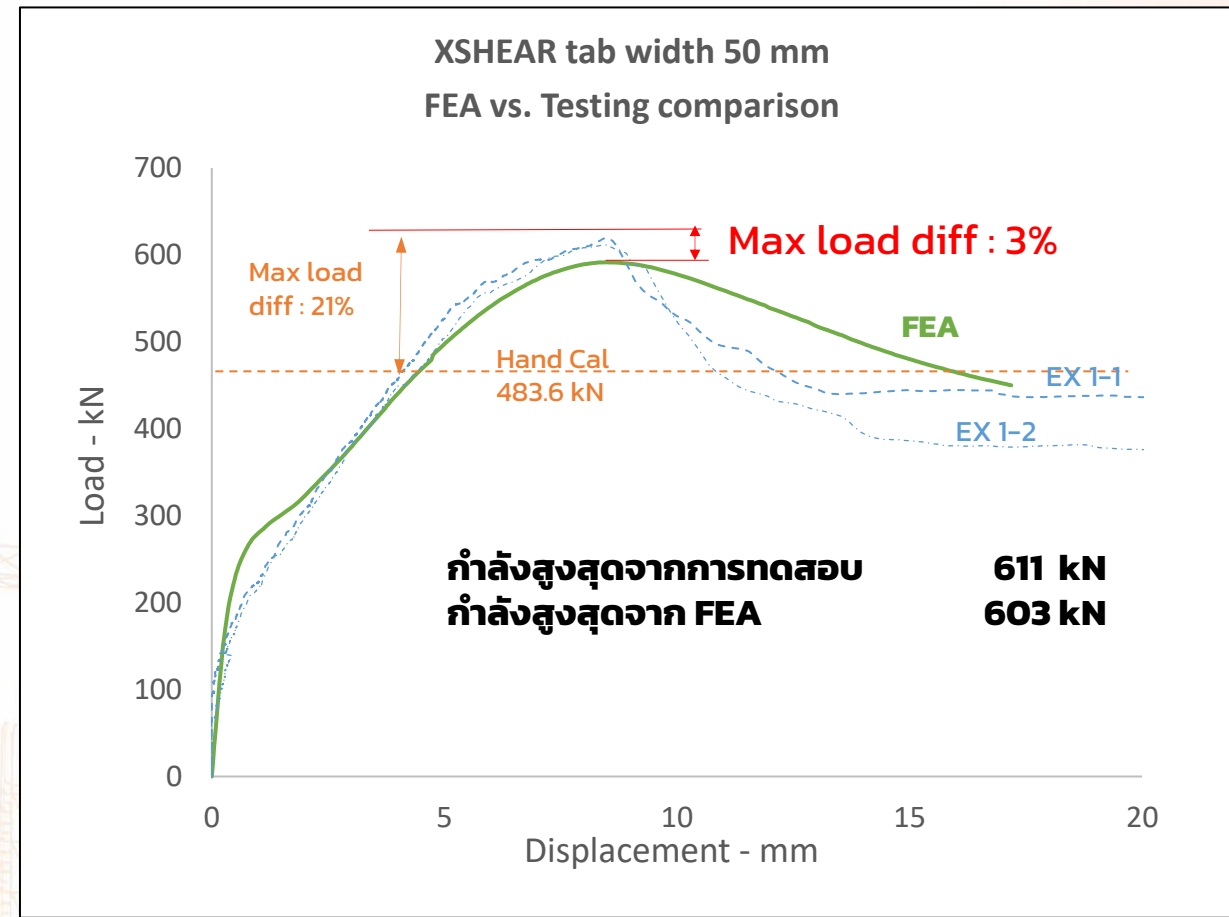
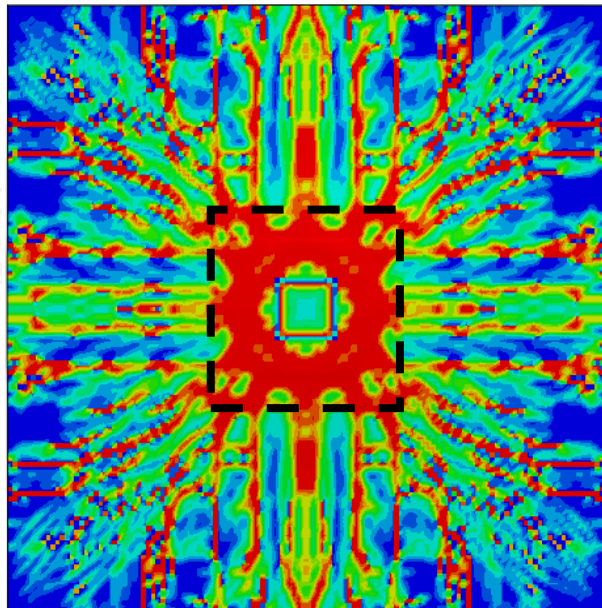
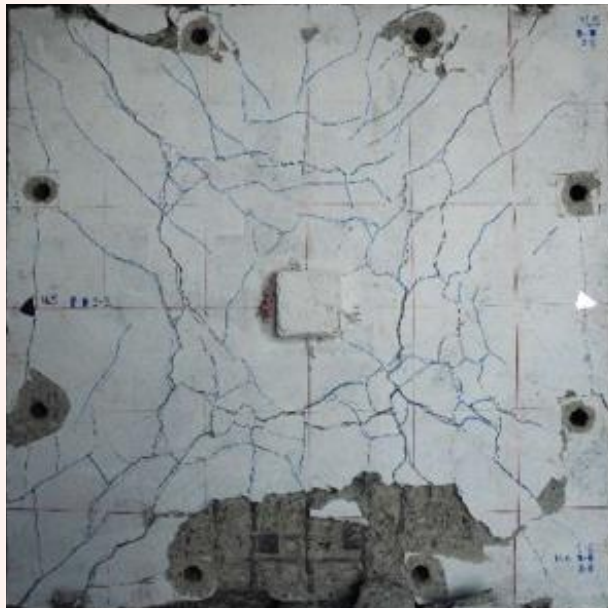
Condition 1 (XSHEAR tab width 50 mm)



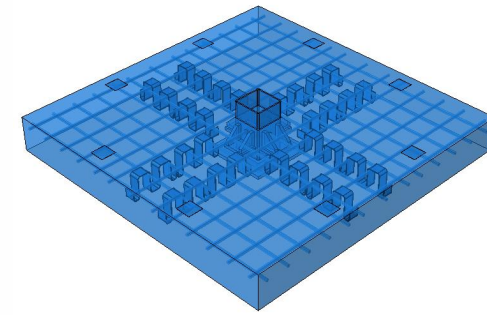
Analysis and Comparison of FEA Results



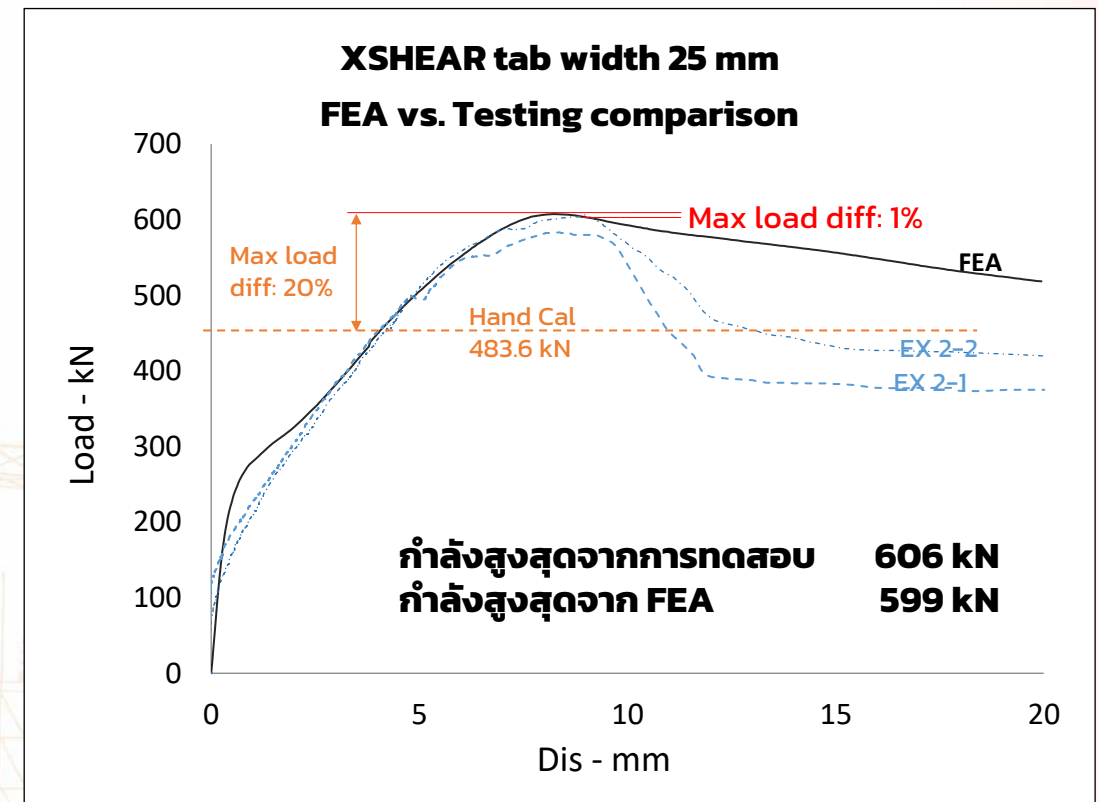
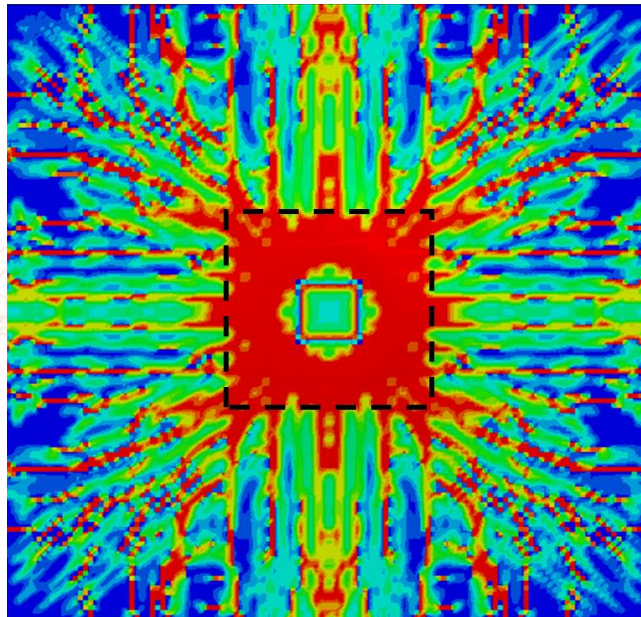
Condition 1 (XSHEAR tab width 50 mm)



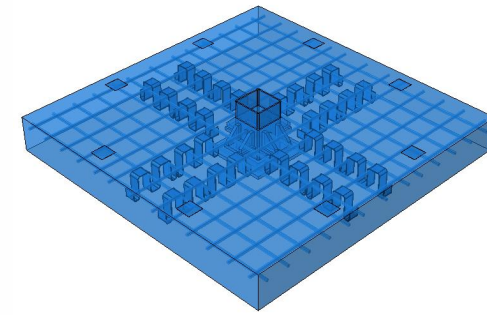
Analysis and Comparison of FEA Results



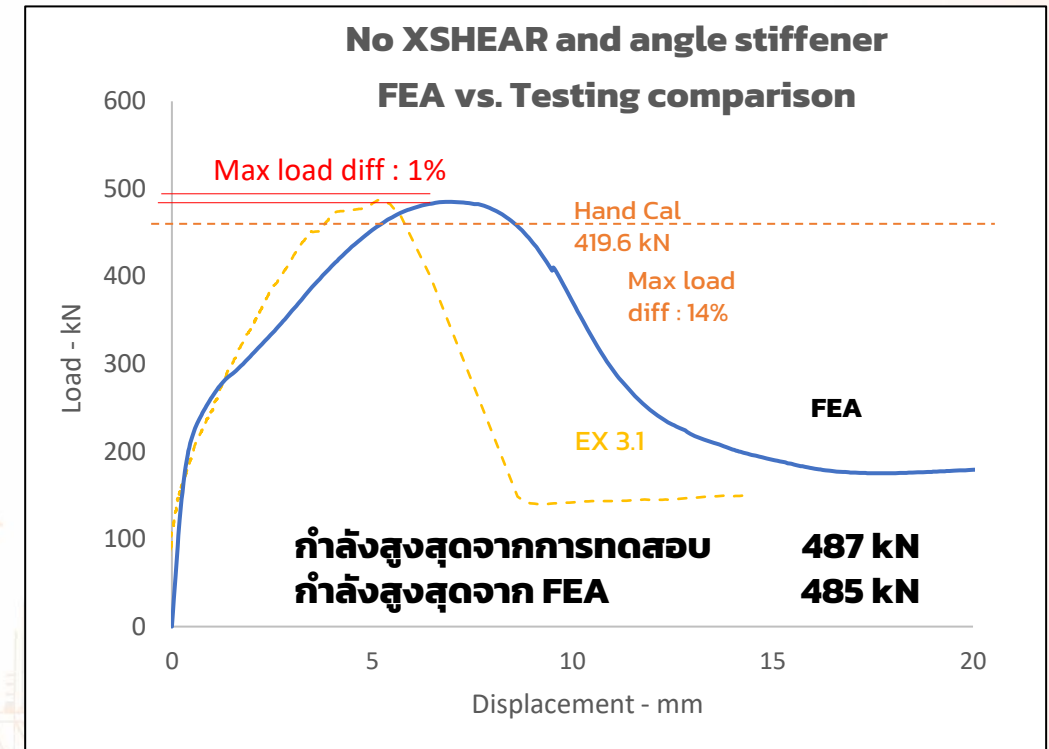
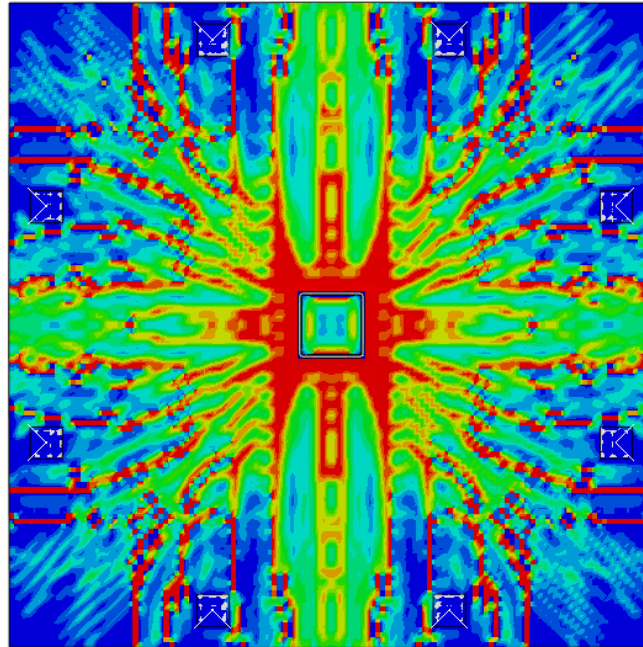
Condition 2 (XSHEAR tab width 25 mm)



Analysis and Comparison of FEA Results

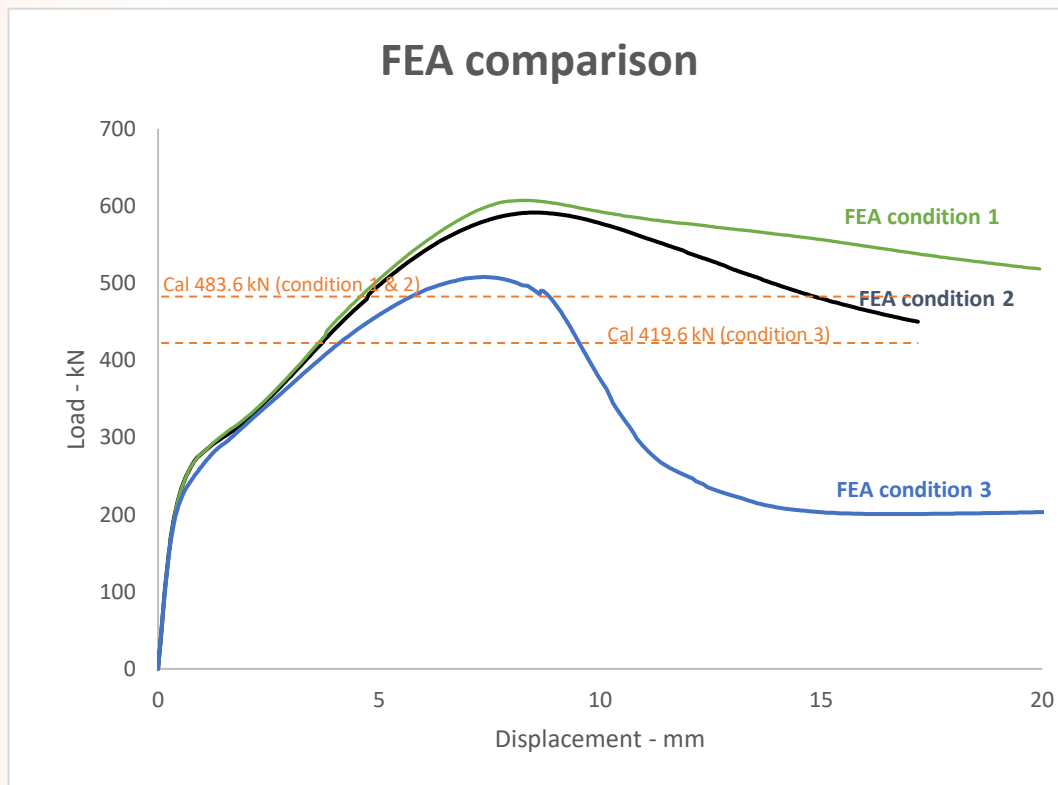


Condition 3 (No XSHEAR)



Analysis and Comparison of FEA Results

• Comparison result



วิเคราะห์ผลการทดสอบ

- condition 1 และ condition 2 ให้ผลการ simulation max load ที่ใกล้เคียงกัน โดย condition 2 ให้ค่าที่น้อยกว่าเพียงเล็กน้อย สะท้อนแนวโน้มของ simulation ที่สามารถทำนายผลการทดสอบจริงได้อย่างแม่นยำ
- simulation แสดงค่า max load ที่ได้จากทั้ง 3 condition มีความใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริงค่อนข้างมาก ($< 5\%$)

Recheck

- จำนวน condition นำมาทำแบบจำลองเพียงพอไหม
- มั่นใจในแบบจำลองไหม



POSTCONNEX Lab Test in 2021

History

Timeline 2021

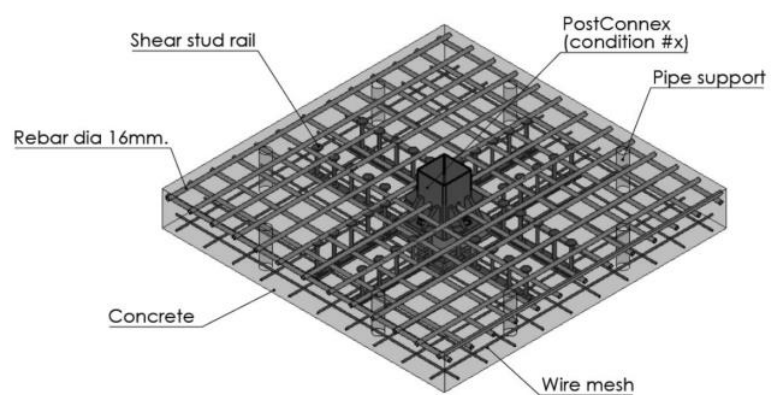
2022

2023

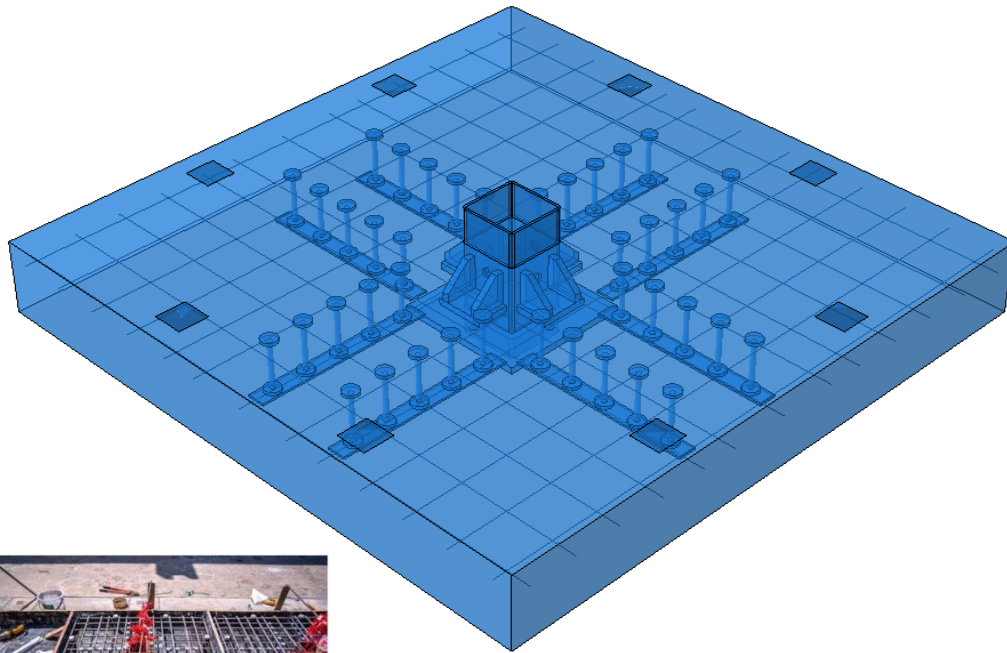
2024

Present

การทดสอบ Punching shear สำหรับ POSTCONNEX



Analysis and Comparison of FEA Results



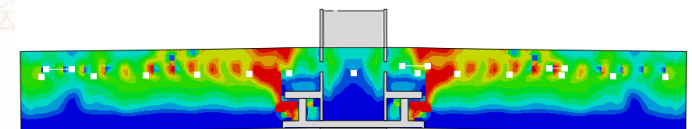
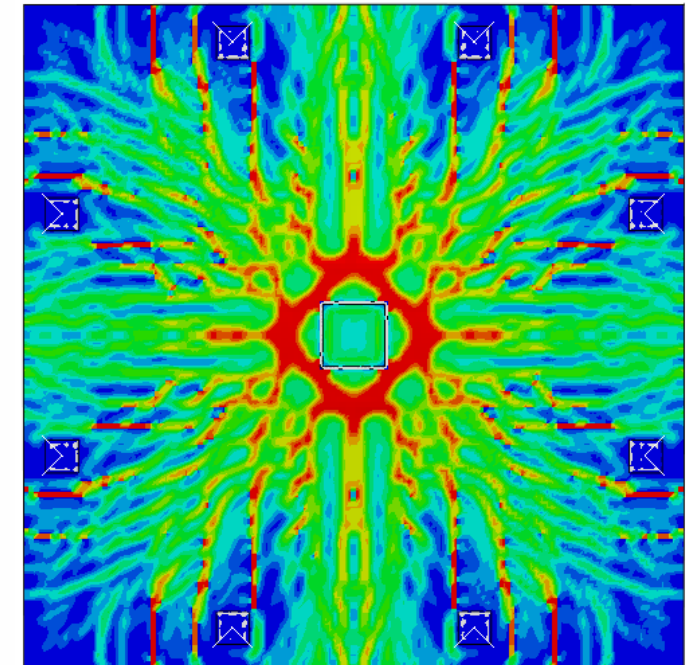
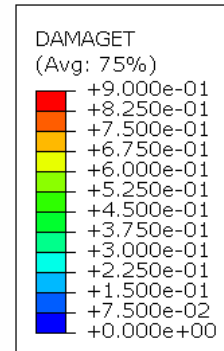
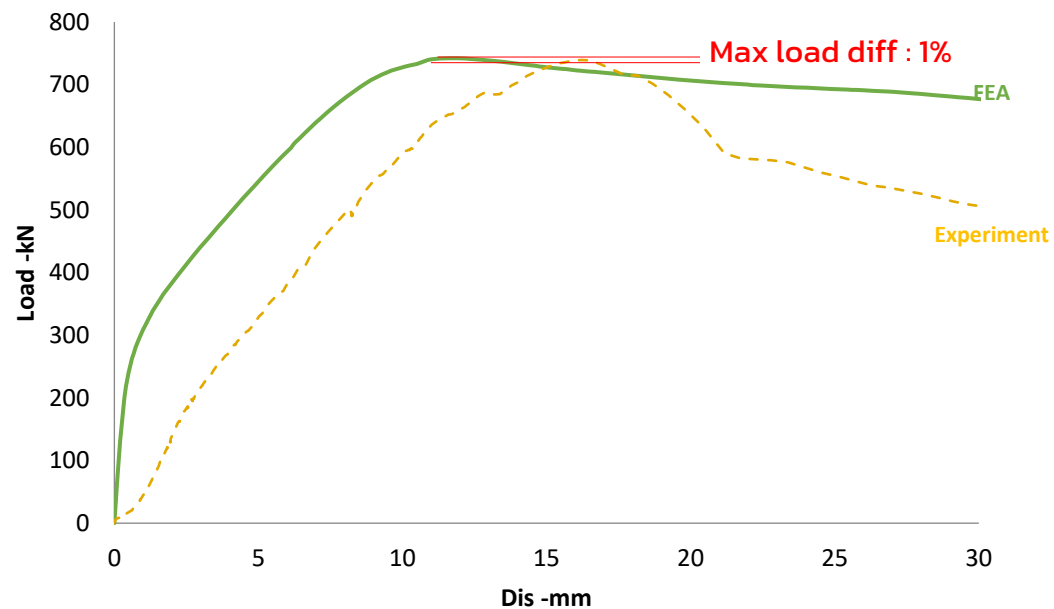
Parameter request list for concrete properties

Description	Equation/Symbol	Unit	Value	REF (Determine Value)
Elastic Modulus	E0	MPa	27582	Fib Bullet 65
Poisson's Ratio	v	-	0.2	Fib Bullet 65
Maximum Tensile Stress	σ_t	MPa	2.27	Fib Bullet 65
Critical Tensile Strain	ϵ_{cr}	%	0.15%	Fib Bullet 42
Ultimate Compressive Strength	σ_{cu}	MPa	28.74	Compression tests
Ultimate Compressive Strain	ϵ_0	-	0.20%	Paper: 2019Ali Naji Attiya
Parameter	$\beta = 1 / (1 - (\sigma_{cu} / (\epsilon_0 * E_0)))$		2.12	Equation



Analysis and Comparison of FEA Results

- Comparison result (headed stud)



At Max load

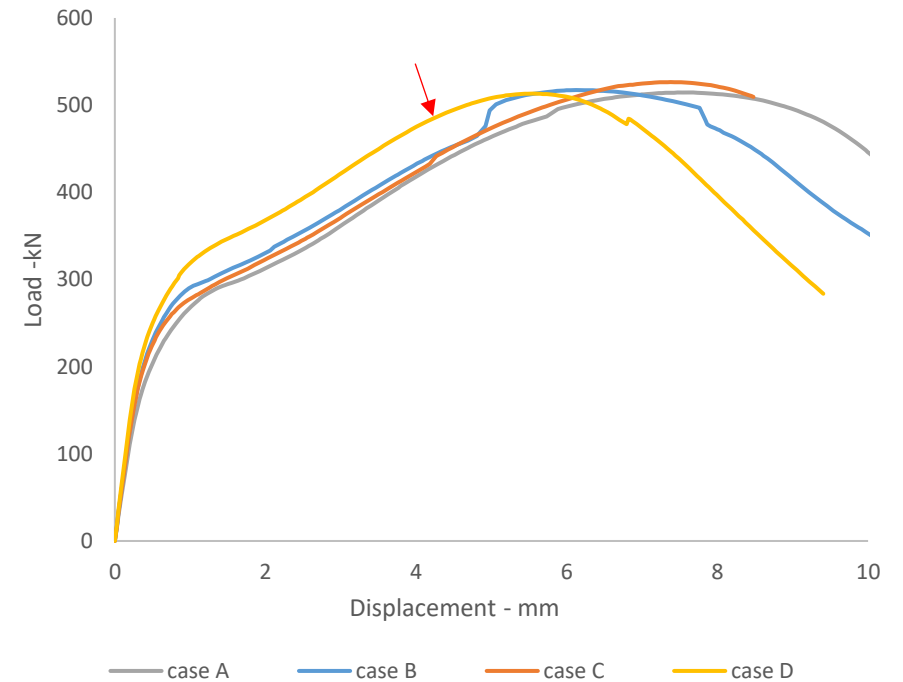
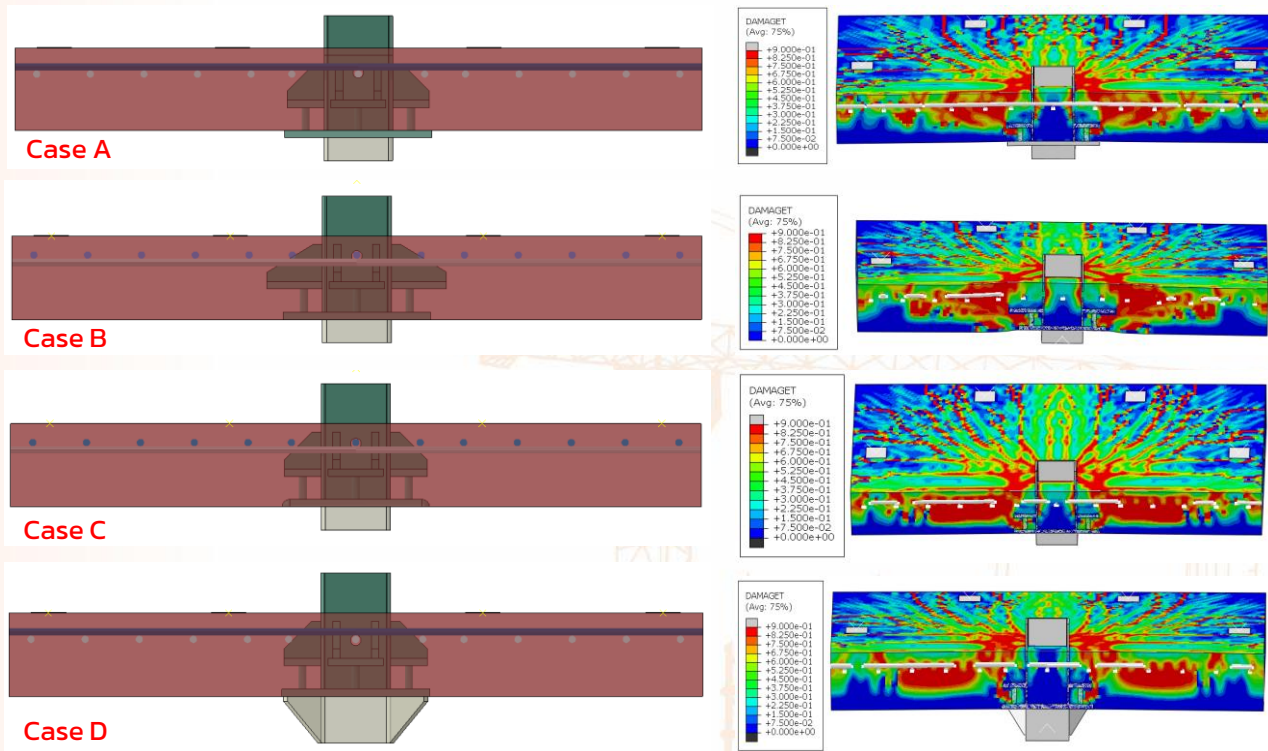
- ค่า max load สูงสุดที่ได้รับได้ ของ simulation กับผลการทดสอบ มีค่าแตกต่างกันเพียง 1%
- ค่า stiffness หรือ ความชันของกราฟ มีความแตกต่างกัน เนื่องจากการ slip ของการวัดค่าในระหว่างการทดสอบ



Prediction Extrapolation using FEA

Optimization of POSTCONNEX Different Details

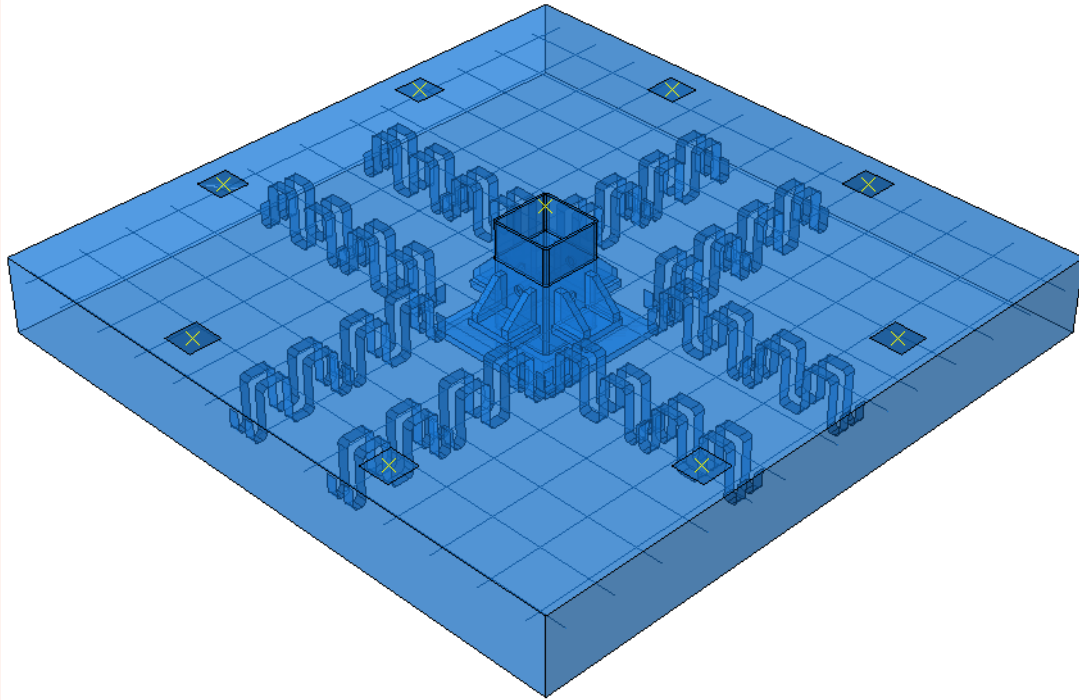
- ค่า max load สูงสุดที่รับได้ ของ simulation ใกล้เคียงกันแสดงว่าอาจเป็น punching shear control
- Case D เห็นได้ชัดเจนว่า Stiffness ของจุดต่อแข็งมากขึ้นช่วยเรื่อง การลด deflection หรือการแอ่น



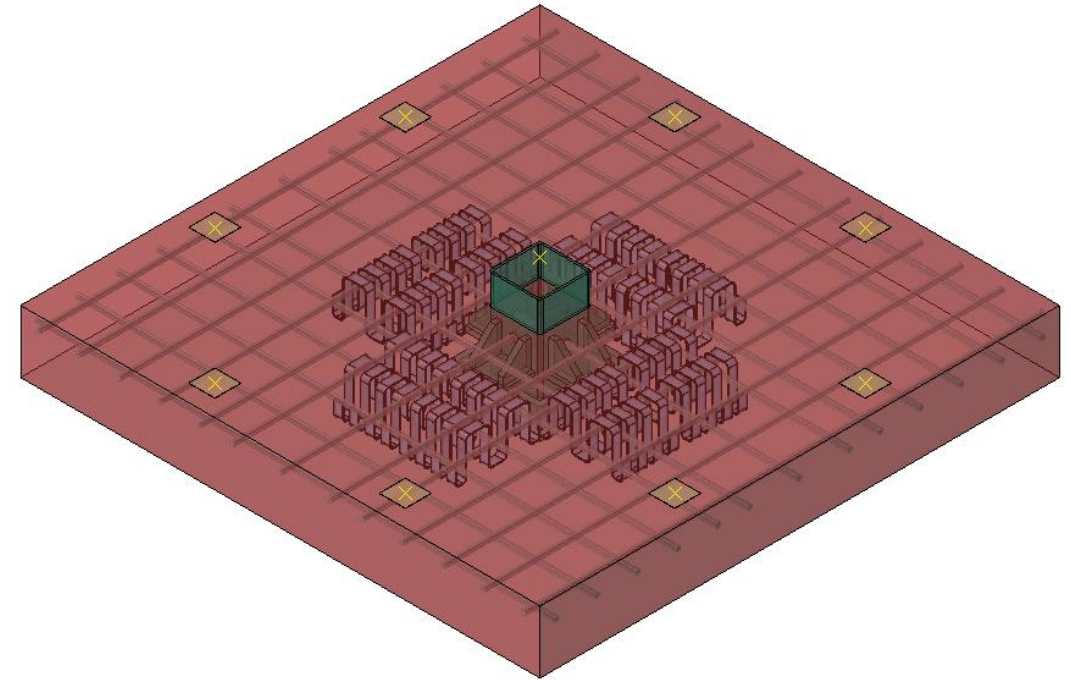
Prediction Extrapolation using FEA

Optimization of XSHEAR Re-arrangement

Condition 2 (XSHEAR tab width 25 mm)



Case E: Re-Arrangement of XSHEAR

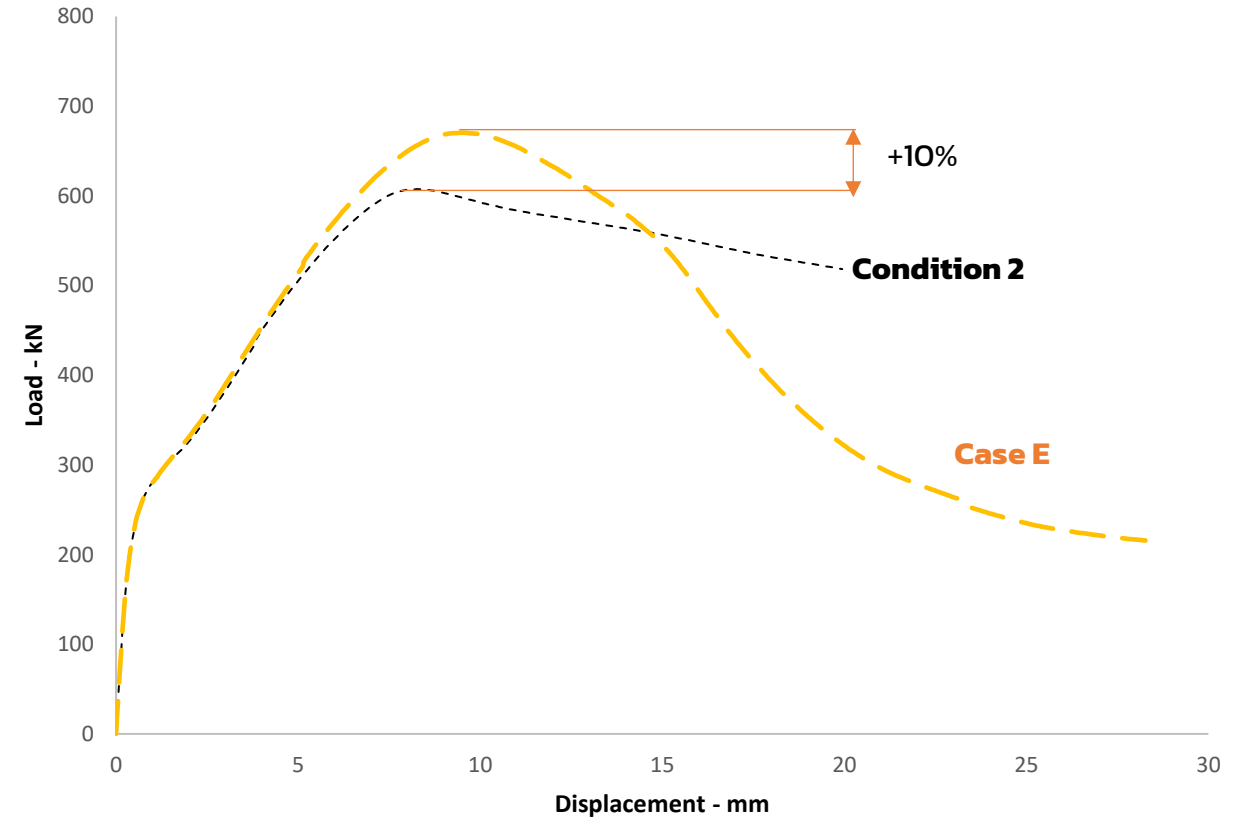
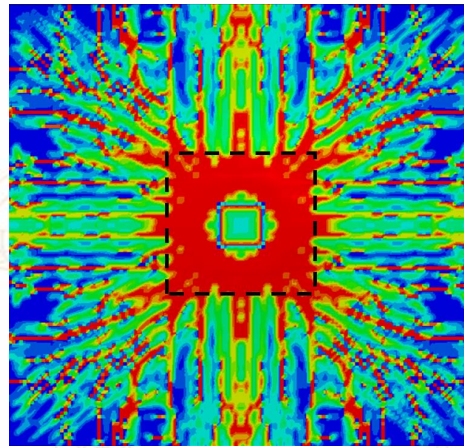
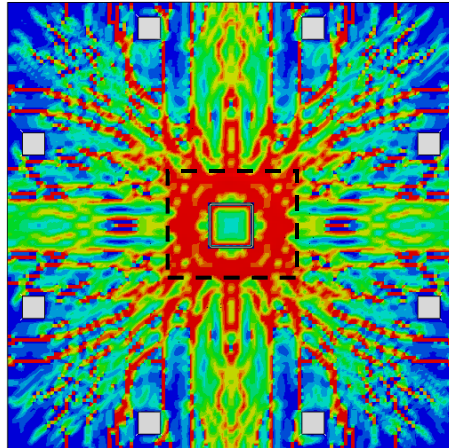
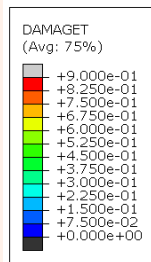


Prediction Extrapolation using FEA

Optimization of XSHEAR Re-arrangement

Case E: Re-Arrangement XSHEAR

Condition 2 (XSHEAR tab width 25 mm)

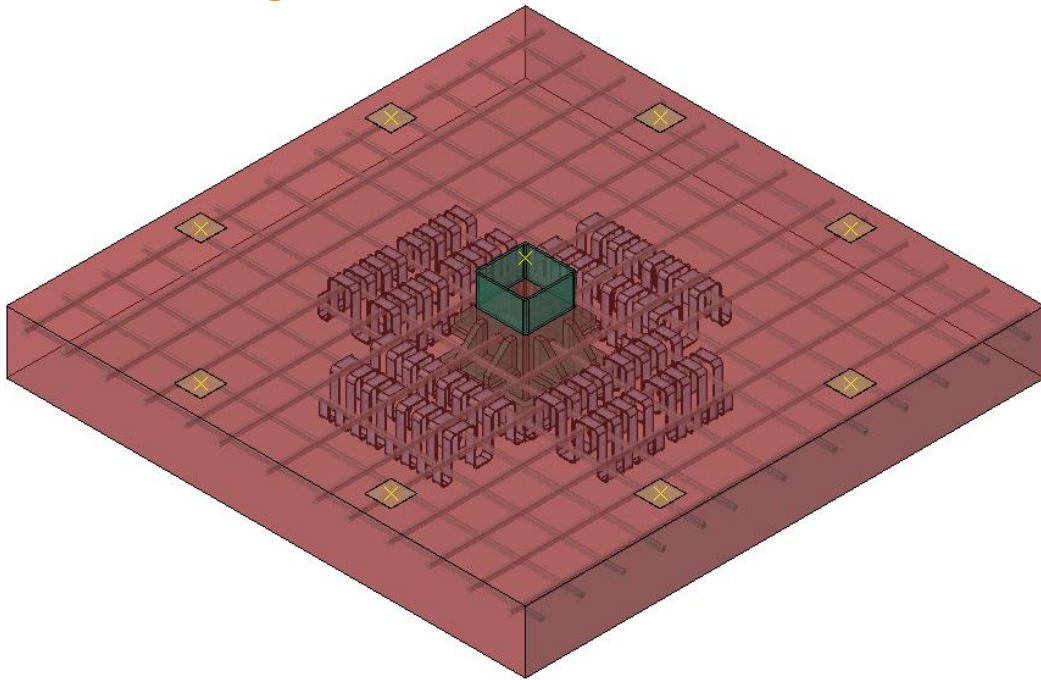


Prediction Extrapolation using FEA

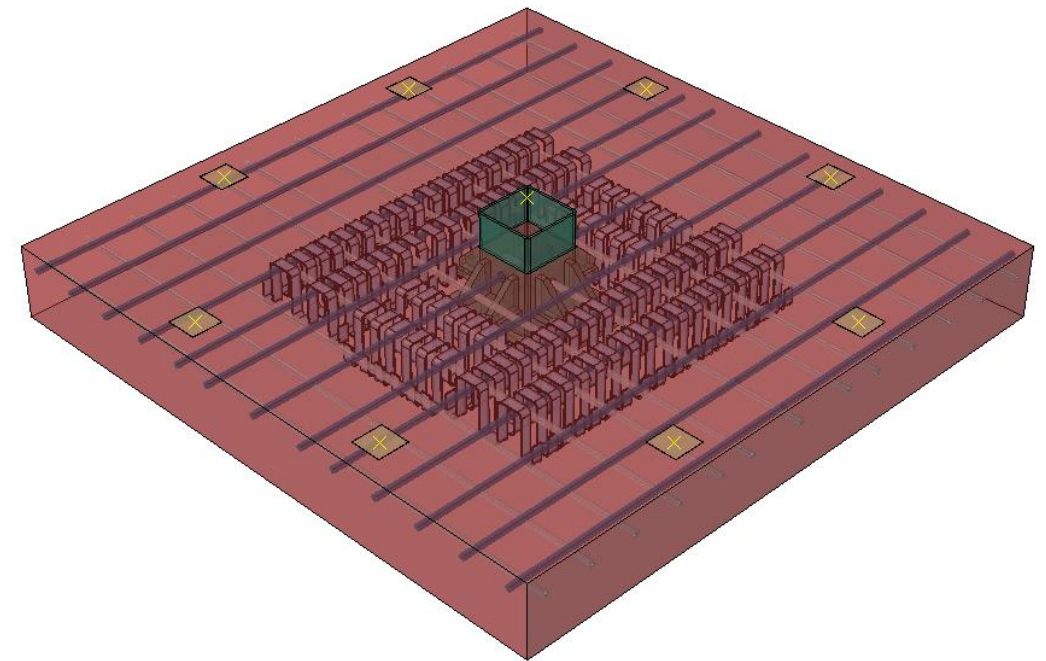
Optimization of XSHEAR Quantity

- **Case F:** XSHEAR ความหนาเท่าเดิม (4 mm) แต่เพิ่มจำนวนชั้น XSHEAR เป็น 2 เท่า ของ **Case E**

Case E: Re-Arrangement XSHEAR



Case F: เพิ่มจำนวน XSHEAR 2 เท่า



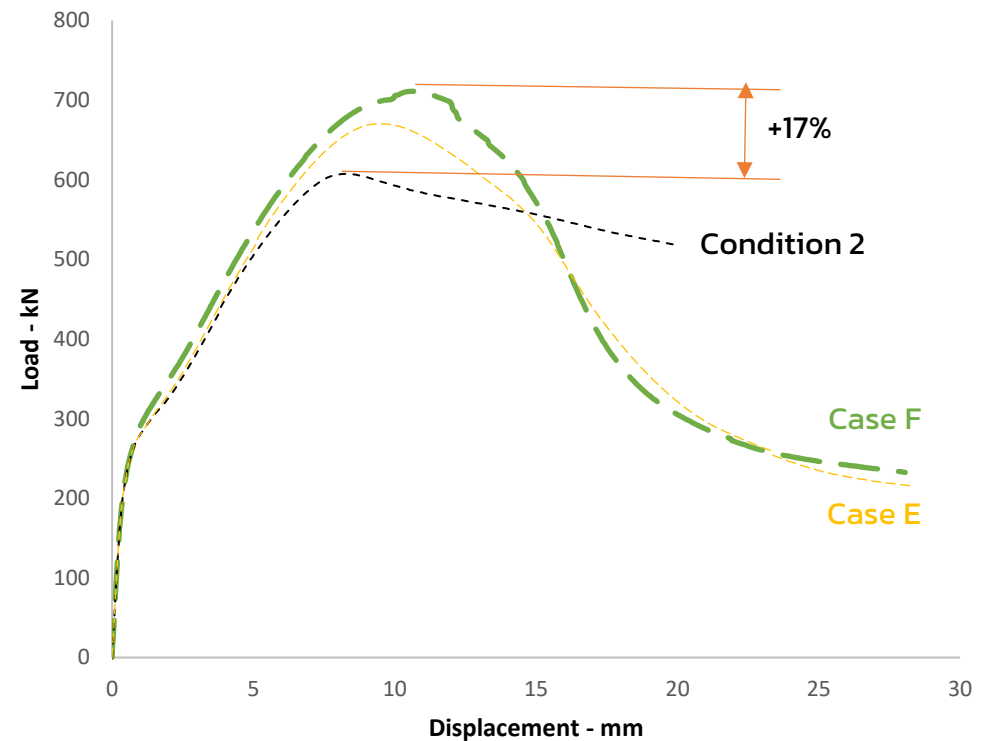
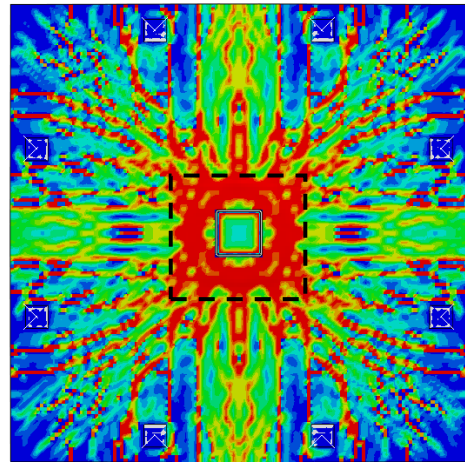
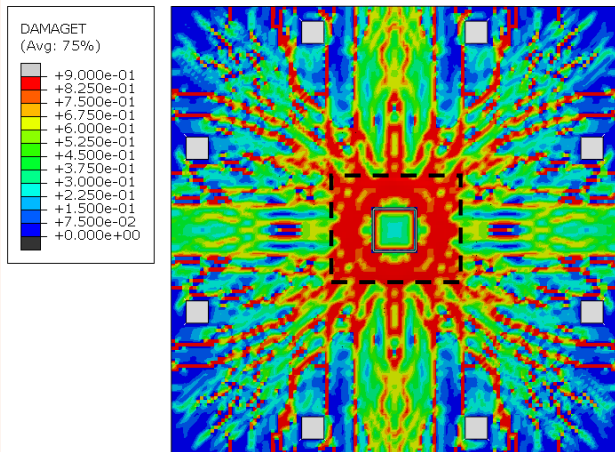
Prediction Extrapolation using FEA

Optimization of XSHEAR Quantity

- Case F:** XSHEAR ควบคุมหนาเท่าเดิม (4 mm) แต่เพิ่มจำนวนชั้น XSHEAR เป็น 2 เท่า ของ **Case E**

Case E: Re-Arrangement XSHEAR

Case F: เพิ่มจำนวน XSHEAR 2 เท่า

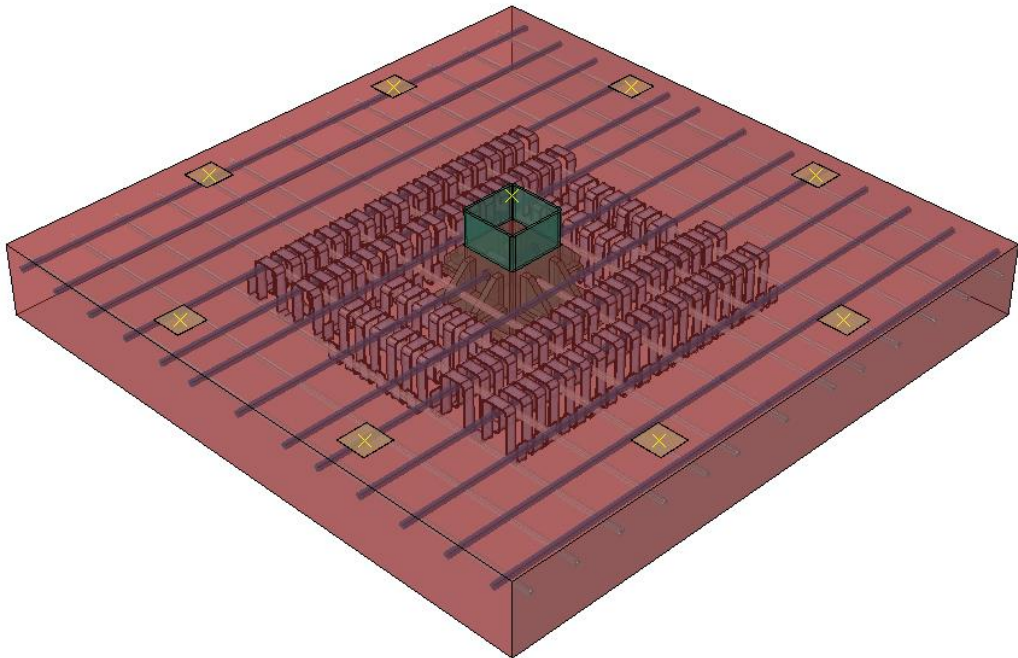


Prediction Extrapolation by FEA

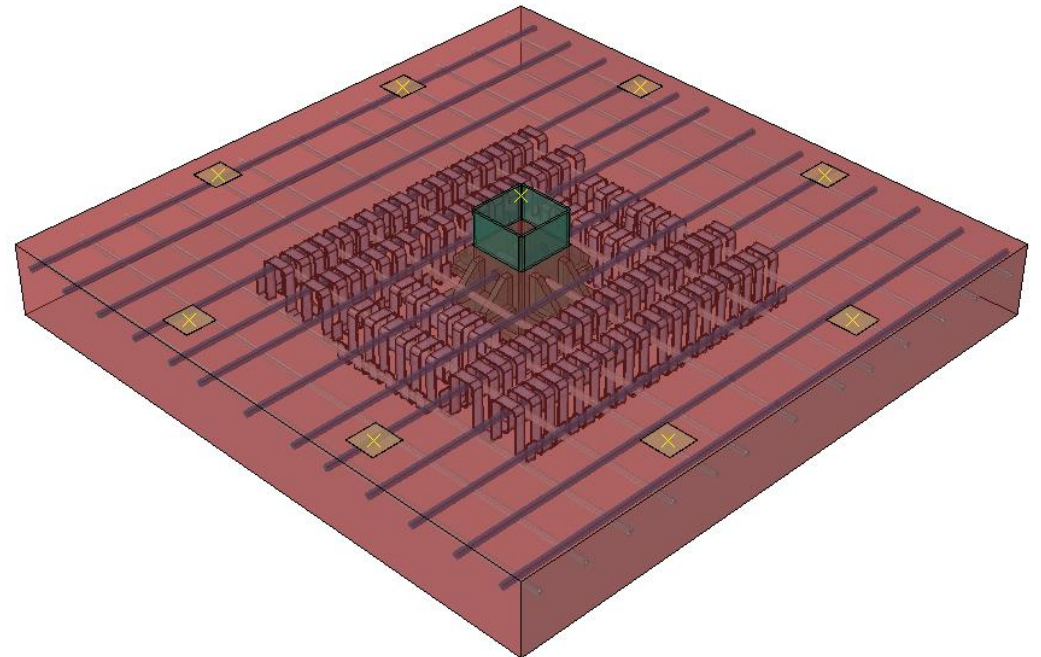
Optimization of XSHEAR Thickness

- **Case G:** ลดความหนา XSHEAR (เหลือ 2 mm) แต่เพิ่มจำนวนชั้น XSHEAR เป็น 2 เท่า ของ **Case E**

Case F: XSHEAR 4 mm เพิ่มจำนวน XSHEAR 2 เท่า



CASE G: XSHEAR 2 mm เพิ่มจำนวน XSHEAR 2 เท่า

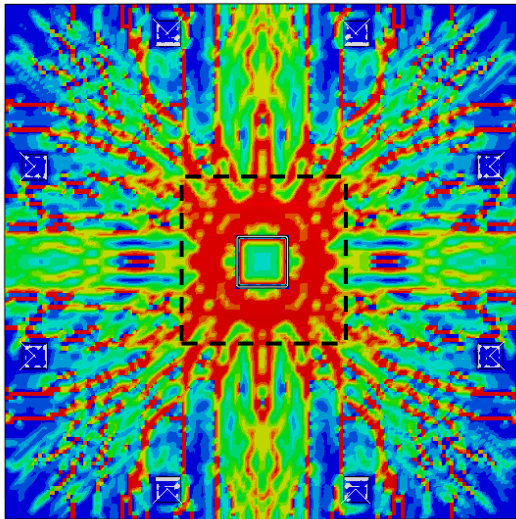
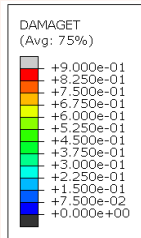


Prediction Extrapolation using FEA

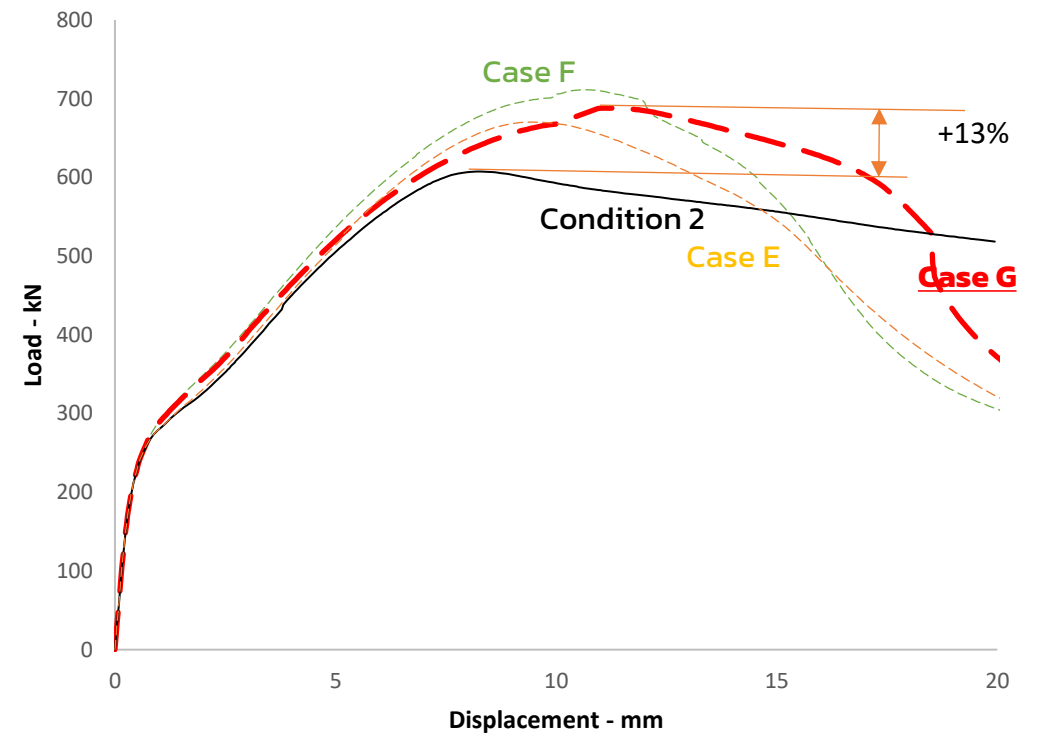
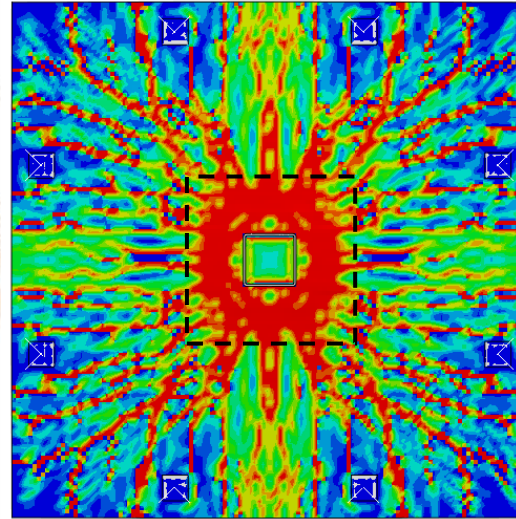
Optimization of XSHEAR Thickness

- Case G:** ลดความหนา XSHEAR (เหลือ 2 mm) แต่เพิ่มจำนวนชั้น XSHEAR เป็น 2 เท่า ของ **Case E**

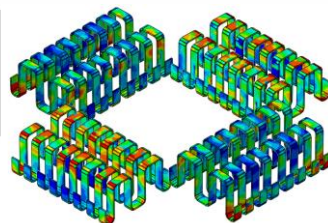
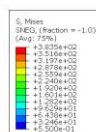
Case F: XSHEAR thickness 4 mm
เพิ่มจำนวน XSHEAR 2 เท่า



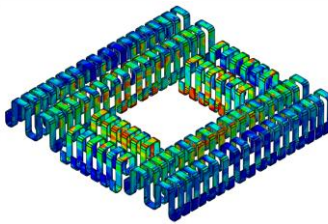
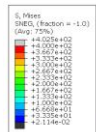
CASE G: XSHEAR thickness 2 mm
เพิ่มจำนวน XSHEAR 2 เท่า



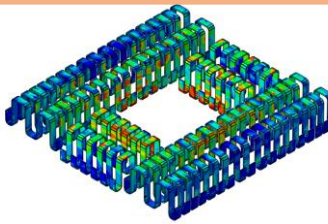
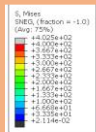
Prediction Extrapolation using FEA



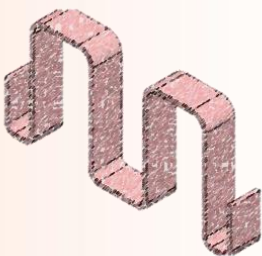
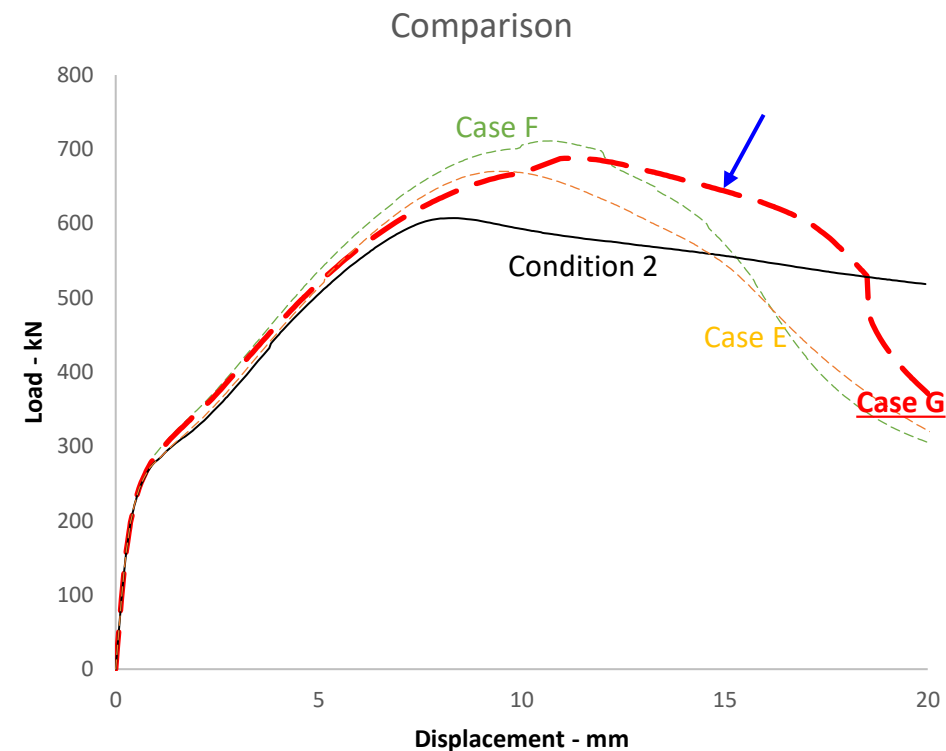
Case E
XSHEAR thickness 4 mm
24 Pcs >> 16 kg



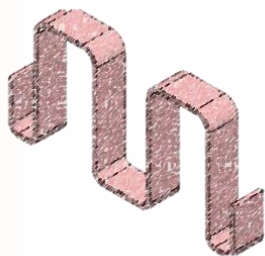
Case F
XSHEAR thickness 4 mm
48 Pcs >> 32kg



CASE G
XSHEAR thickness 2 mm
48 Pcs >> 16 kg



Thickness 4 mm
Width 25 mm
0.667 kg/ pc



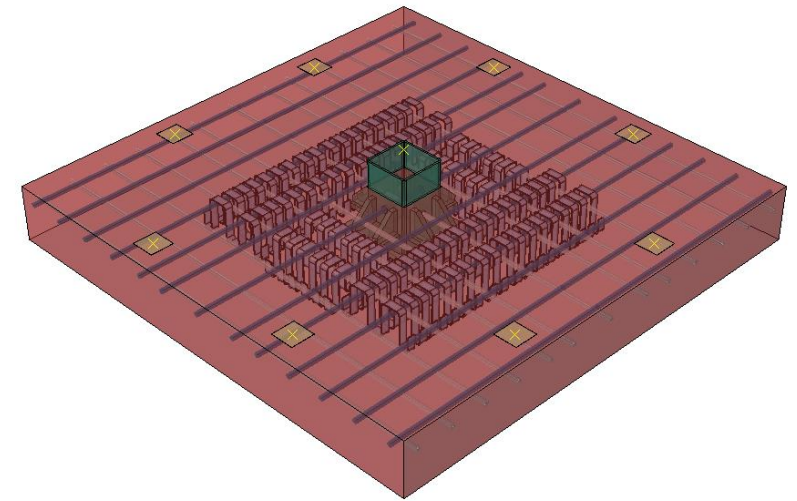
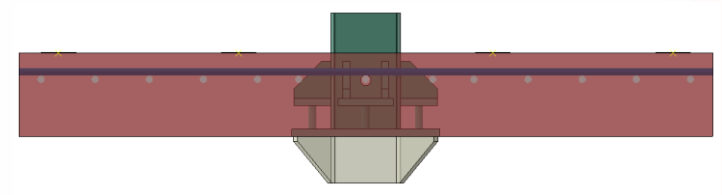
Thickness 2 mm
Width 25 mm
0.334 kg/ pc



Prediction Extrapolation using FEA

Conclusion

- Most Optimum POSTCONNEX Detail: **Case D**
- Most Optimum XSHEAR Quantity: **Case F**
- Most Optimum XSHEAR Thickness + Weight: **Case G**



Value Proposition of POSTCONNEX – ROI

- **POSTCONNEX** มีความปลอดภัยในการใช้งาน ผ่านการพิสูจน์จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และให้อัตราผลตอบแทนที่สูงจากพื้นที่ใช้สอยที่เพิ่มขึ้น

RC Column (4 m long)				POSTCONNEX (HY370 – 4 m long)						Space Gain	Salable Rate	Salable Gain	Net Profit
B (mm)	D (mm)	A _c (m ²)	Cost (B)	B (mm)	D (mm)	t (mm)	A _s (m ²)	Cost (B)	P _a (Ton)	(m ²)	(B/m ²)	(B/column)	(B/column)
300	300	0.090	2,520	175	175	6	0.0041	8,915	69	0.0594	120,000	7,125	730
350	350	0.123	3,430	200	200	6	0.0047	10,234	84	0.0825	120,000	9,900	3,096
400	400	0.160	4,480	250	250	6	0.0059	12,871	105	0.0975	120,000	11,700	3,309
450	450	0.203	5,670	300	300	6	0.0071	15,509	113	0.1125	120,000	13,500	3,661
500	500	0.250	7,000	300	300	9	0.0105	23,026	212	0.1600	120,000	19,200	3,174
550	550	0.303	8,470	300	300	12	0.0138	30,385	280	0.2125	120,000	25,500	3,585

Assume: สมมติราคางานคอนกรีต (วัสดุ+ค่าแรง) 7,000 baht /m³ และราคางานโครงสร้างเหล็ก (วัสดุ+ค่าแรง) 70 baht/kg (2,000 USD/Ton)



Value Proposition of POSTCONNEX – ROI

- **POSTCONNEX** มีความปลอดภัยในการใช้งาน ผ่านการพิสูจน์จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และให้อัตรากำไรผลตอบแทนที่สูงจากพื้นที่ใช้สอยที่เพิ่มขึ้น

Assume: ใช้ HSS 250x250x6 ทดแทน 400x400 RC columns

- **20 Columns per floor** ได้เงินทอนสุทธิ 66,000 บาทต่อชั้น
- **7 floors** ได้เงินทอนสุทธิ 462,000 บาท
- ยิ่งเสามีจำนวนมากยิ่งมีเงินทอนเยอะมาก

POSTCONNEX (HY370 – 4 m long)				Net Profit
B (mm)	t (mm)	Cost (B)	P _a (Ton)	(B/column)
250	6	12,871	105	3,309

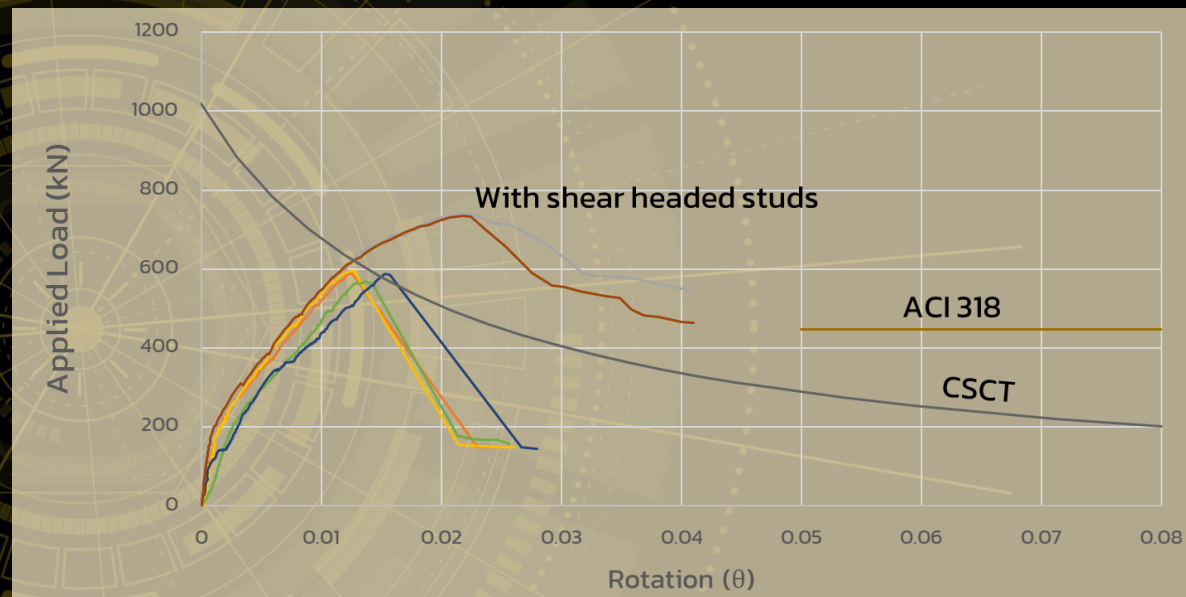
Very Conservative

Assume: สมมติราคางานคอนกรีต (วัสดุ+ค่าแรง) 7,000 baht /m³ และราคางานโครงสร้างเหล็ก (วัสดุ+ค่าแรง) 70 baht/kg (2,000 USD/Ton)



Value Proposition of POSTCONNEX – Proven Behavior

- **POSTCONNEX** ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการให้ผลที่สอดคล้องกับ **Critical Shear Crack Theory (CSCT)** ตามการคำนวณเสา RC Column ปกติ
- More in-depth behavioral investigation was conducted to observe different details of **POSTCONNEX** and **XSHEAR**



The mechanical model of the **Critical Shear Crack Theory (CSCT)** has been used in the past to investigate a number of shear-related problems, such as punching of slab-column connections with and without transverse reinforcement.

Ref: Muttoni et. al.



Value Proposition of POSTCONNEX – Strengthening

- **POSTCONNEX** สามารถกรอกคอนกรีตในภายหลังเพื่อเสริมกำลัง เรียกว่า CFT column, ซึ่งช่วยให้เสา แข็งแรงขึ้น และคงทนถาวรขึ้น ต้านทานการชนกระแทก เพิ่มสมรรถนะการต้านทานกัดกร่อน และการทนไฟ



Ref:

<https://infrastructure.eng.unimelb.edu.au/scs/research/concrete-filled-steel-tubular-cfst-columns>



**Ref: Gakuen Spiral Towers:
Nagoya, Japan**

<https://mymodernmet.com/modern-architecture/>



Value Proposition of POSTCONNEX – Green

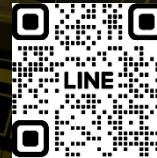
- นอกเหนือจากการใช้เสา prefabricated HSS จะใช้เวลาในการก่อสร้างที่สั้น ใช้แรงงานน้อย ได้คุณภาพที่ดี และอัตราผลตอบแทนการลงทุนที่สูง **POSTCONNEX** ยังผลิตจากเหล็กซึ่งสามารถนำมารีไซเคิลได้ทั้งหมด 100% ถือเป็น **GREEN materials** ที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ลด **GREEN House Gas (GHG)** ส่งผลต่อ **GREEN construction, GREEN buildings** และ **GREEN society**.



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.ssissteeldesign&hl=en&gl=US>

