การให้รายละเอียดเหล็กเสริมสำหรับพื้นไร้คาน

ศ.ดร. อมร พิมานมาศ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

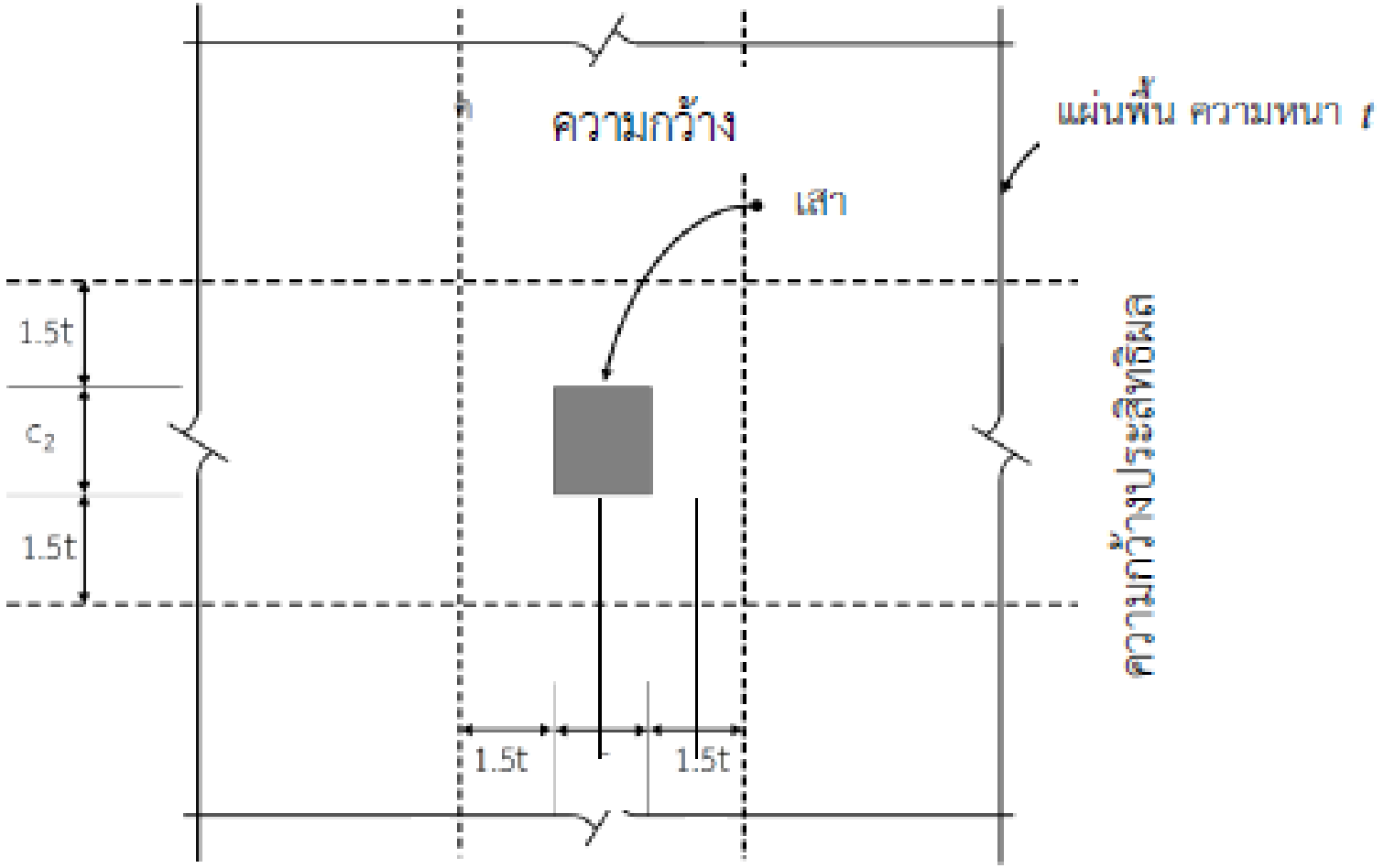
โครงการพัฒนาหลักสูตรการเรียนรู้เรื่องการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) พ.ศ. 2568

รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

การออกแบบเหล็กเสริมในแผ่นพื้นไร้คาน :
สำหรับแผ่นพื้นที่พิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของระบบโครงสร้าง (รูปหน้าถัดไป)

1. ปริมาณเหล็กเสริมที่คำนวณได้จากโมเมนต์ดัด (M_s) ที่แผ่นพื้นถ่ายให้กับจุดรองรับจะต้องอยู่ในแถบเสาทั้งหมด
2. ปริมาณเหล็กเสริมสำหรับต้านทานสัดส่วนโมเมนต์ $g_f M_s$ จะต้องอยู่ในความกว้างประสิทธิผล
3. ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมในแถบเสาบริเวณจุดรองรับจะต้องวางอยู่ภายในความกว้างประสิทธิผลของแผ่นพื้น

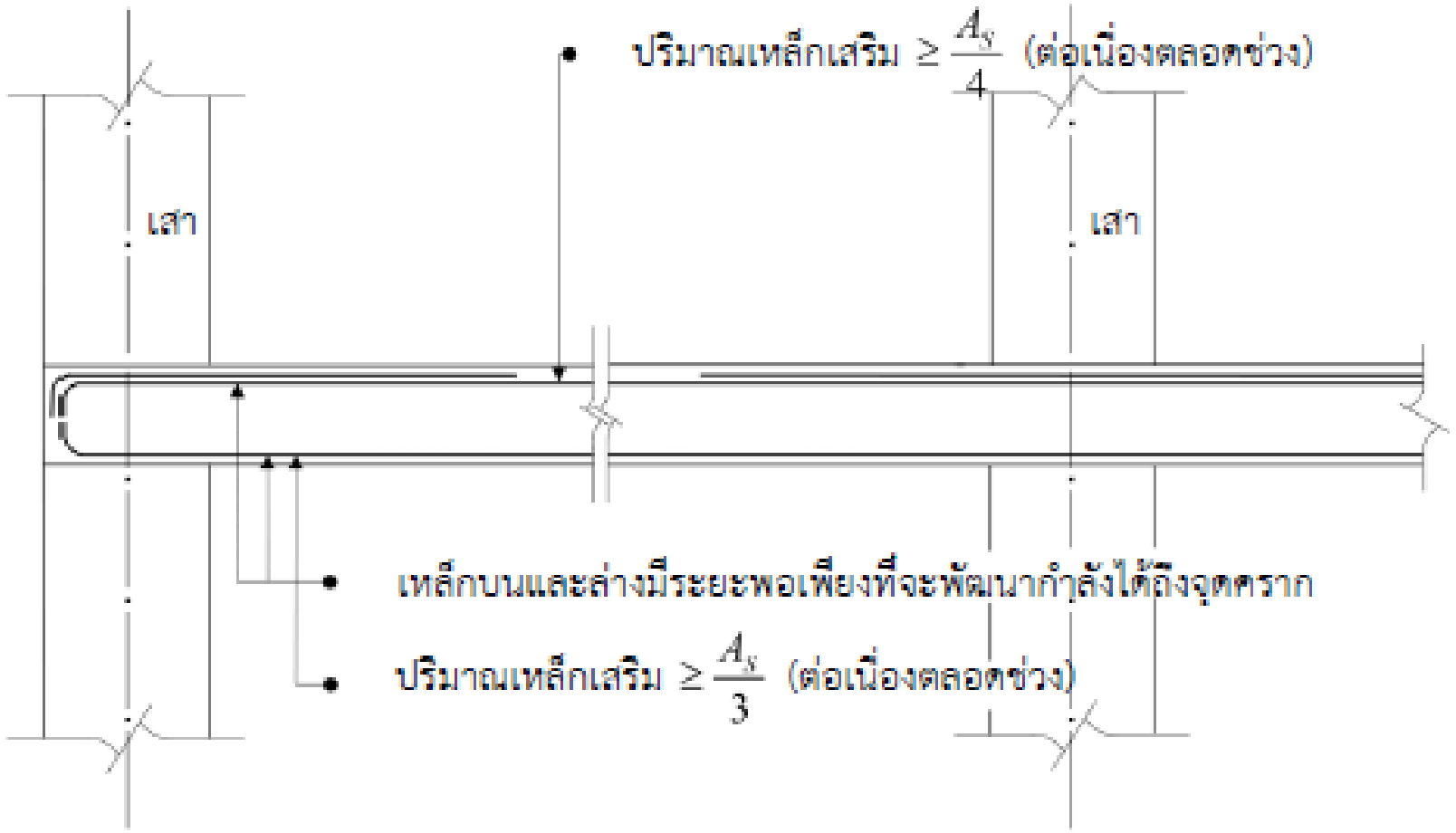
รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด



(ก) ความกว้างประสิทธิผล

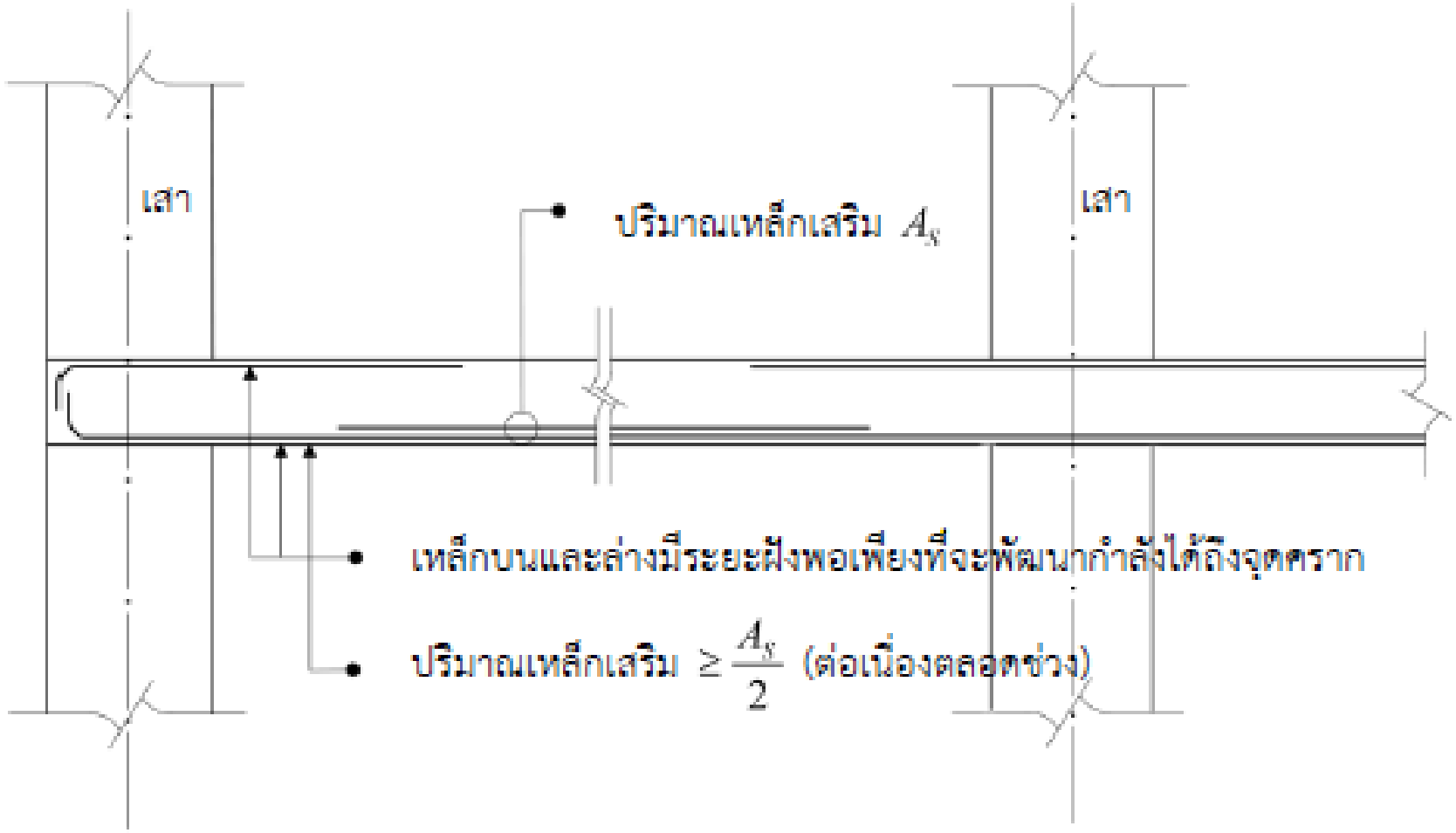
รูปที่ ๓ รายละเอียดการเสริมเหล็กในแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คาน

รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด



(ข) รายละเอียดการเสริมเหล็กในแถบเสา

รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด



(ค) รายละเอียดการเสริมเหล็กในแถบกลาง

การออกแบบเหล็กเสริมในแผ่นพื้นไร้คาน : สำหรับแผ่นพื้นที่พิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของระบบโครงสร้าง

4. ปริมาณเหล็กเสริมต้องไม่น้อยกว่า 1 ใน 4 ของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับจะต้องต่อเนื่องตลอดความยาวช่วงและจะต้องมีเหล็กเสริมบนไม่น้อยกว่า 2 เส้นวางผ่านแนวเสาในแต่ละทิศทาง
5. เหล็กเสริมล่างในแถบเสาที่มีความต่อเนื่องจะต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 ของเหล็กเสริมบนในแถบเสาบริเวณจุดรองรับ
6. ปริมาณเหล็กเสริมไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของเหล็กเสริมล่างที่กึ่งกลางช่วงจะต้องยื่นต่อเนื่อง และสามารถพัฒนาให้เกิดกำลังครากที่ขอบของจุดรองรับได้
7. ที่ขอบของแผ่นพื้นที่ไม่ต่อเนื่อง เหล็กเสริมบนและเหล็กเสริมล่างที่จุดรองรับจะต้องสามารถพัฒนากำลังครากที่ขอบของจุดรองรับได้

แรงเฉือนทะลุแผ่นพื้นไร้คาน

1. การคำนวณให้มาตรฐานการออกแบบของ วสท. โดยวิธีกำลัง
2. แรงเฉือนที่เกิดจากน้ำหนักแนวดิ่งซึ่งเท่ากับ 1.2D+1.0L จะต้องไม่เกิน 0.4fVc โดยตัวคูณเพิ่มสำหรับ L สามารถลดจาก 1.0 เป็น 0.5 ได้ ยกเว้นในกรณีที่จอดรถ พื้นที่ชุมชนและพื้นที่ๆรับน้ำหนักบรรทุกจรมากกว่า 4.90 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร เมื่อ f ใช้เท่ากับ 0.75 และ Vc คำนวณดังนี้

สำหรับ RC $$V_c = Min\left\{2 + \frac{4}{\beta_c},\ \frac{\alpha_s d}{b_0} + 2,\ 4\right\}\frac{\sqrt{f_c'}bd}{12}$$

โดยที่ a_s = 40 สำหรับเสาภายใน 30 สำหรับเสาภายนอกและ 20 สำหรับเสามุม

สำหรับ PC $$V_c = (\beta_p\sqrt{f_c'} + 0.3f_{pc})b_0 d + V_p$$

โดยที่ b_p = Min{0.29, ($a_s d/b_0$ + 1.5)/12}

แรงเฉือนทะลุแผ่นพื้นไร้คาน

3. ข้อกำหนดสำหรับ Vc ข้างต้น ไม่จำเป็นต้องพิจารณาหาก Factored Two-Way shear stress ณ ตำแหน่งที่ให้ค่าสูงสุดมีค่าไม่เกินครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงเฉือน ϕV_n ซึ่งคำนวณดังนี้

(ก) สำหรับองค์อาคารที่ไม่ได้เสริมเหล็กรับแรงเฉือน

$$\varphi V_n = \varphi V_c/(b_0 d)$$

(ก) สำหรับองค์อาคารที่เสริมเหล็กรับแรงเฉือนอกเหนือจาก Shearhead

$$\varphi V_n = \varphi(V_c + V_s)/(b_0 d)$$

➢ การวิบัติอย่างต่อเนื่อง (Progressive Collapse) :

เพื่อป้องกันการวิบัติอย่างต่อเนื่องจุดรองรับในแต่ละทิศทางต้องมีเหล็กเสริมอย่างน้อย

$$A_{sm} = \frac{0.5 w_u L_1 L_2}{0.9 f_y}$$



Pancake Collapse

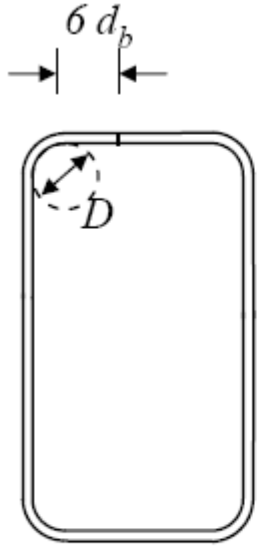
1. เมื่อ w_u เป็นน้ำหนักบรรทุกปรับค่า แต่ทั้งนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกใช้งาน
2. จุดรองรับที่ขอบหรือที่มุม เหล็กเสริมล่างที่จัดวางผ่านหรือฝังเข้าไปในแกนเสาจะต้องมากกว่า 1 ใน 2 ของปริมาณ ที่กำหนดไว้ข้างต้น
3. เหล็กเสริมดังกล่าวจะต้องวางผ่านเข้าไปในเสา ทั้งนี้สามารถนำเหล็กเสริมตามข้อ 5 (*การออกแบบเหล็กเสริมในแผ่นพื้นไร้คาน*) มาเป็นส่วนหนึ่งของ A_{sm} ได้

(Ref.: Earthquake-induced pancake-type progressive collapse (Islamabad, 2005)

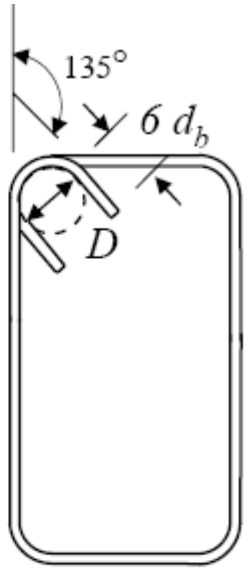
รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

➢ ของอ (Hook) :

จะต้องใช้ของอ 90 องศาและ 135 องศา สำหรับอาคารทั่วไปและอาคารสาธารณะตามลำดับ



(ก) ของอ 90 องศา
(สำหรับอาคารทั่วไป)



(ข) ของอ 135 องศา
(สำหรับอาคารสาธารณะ)

รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

➢ ข้อกำหนดสำหรับพื้นไร้คานที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบรับแรงด้านข้าง ตาม มยผ.1301/1302-61

5.2.12.1.4 สำหรับข้อต่อพื้นเสาในระบบแผ่นพื้นสองทางแบบไร้คานที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบรับแรงด้านข้าง จะต้องจัดให้มีเหล็กเสริมต้านแรงเฉือนในแผ่นพื้นโดยที่กำลังต้านแรงเฉือนของเหล็กเสริม (V_s) จะต้องไม่น้อยกว่า $0.3\sqrt{f'_c}b_0d$ (หรือไม่น้อยกว่า $0.93\sqrt{f'_c}b_0d$ ในหน่วยเมตริก) และต้องวางเหล็กเสริมดังกล่าวออกไปจากขอบของที่รองรับเป็นระยะไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนาแผ่นพื้น แต่ข้อกำหนดข้างต้นอาจยกเว้นได้ หากการออกแบบเป็นไปตามข้อ (1) หรือข้อ (2) เพียงข้อหนึ่งข้อใด

รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

➢ ข้อกำหนดสำหรับพื้นไร้คานที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบรับแรงด้านข้าง ตาม มยผ.1301/1302-61

(1) หน่วยแรงเฉือนเจาะทะลุบนหน้าตัดวิกฤตรอบเสาที่เกิดจากแรงเฉือนปรับค่า V_u ร่วมกับหน่วยแรงเฉือนที่เกิดจากโมเมนต์ไม่สมดุลที่ส่งถ่ายระหว่างเสาและพื้นภายใต้การเคลื่อนตัวด้านข้างออกแบบจะต้องไม่เกินกำลังต้านแรงเฉือนที่กำหนดไว้ในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

(2) ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ด้านข้างระหว่างชั้นออกแบบ (Design Story Drift) จะต้องไม่เกินกว่าค่าที่มากกว่าระหว่าง 0.005 ของความสูงระหว่างชั้น และ $\left[0.035-0.05(V_u/\phi V_c)\right]$

รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

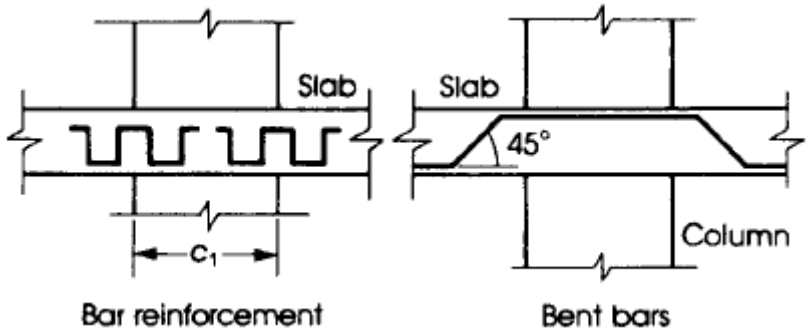
➢ ข้อกำหนดสำหรับพื้นไร้คานที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของระบบรับแรงด้านข้าง ตาม มยผ.1301/1302-61

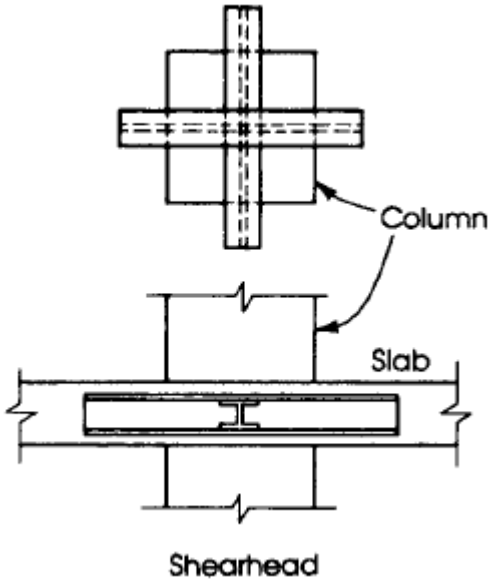
กรณีที่ใช้การคำนวณแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวตามกฎกระทรวง ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างออกแบบให้คำนวณจากการเคลื่อนตัวในระบบรับแรงด้านข้างภายใต้แรงดังกล่าวคูณด้วยอัตราส่วน $3/K$ เมื่อ K เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบตามที่กำหนดในกฎกระทรวง ส่วนกรณีที่ใช้การคำนวณแรงสั่นสะเทือนในสถานะจำกัดด้านกำลัง (Strength Limit State) และใช้การวิเคราะห์แบบยืดหยุ่น (Elastic Analysis) ค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างออกแบบให้คำนวณจากการเคลื่อนตัวในระบบรับแรงด้านข้างภายใต้แรงดังกล่าวคูณด้วยตัวประกอบขยายค่าการโก่งตัวที่เหมาะสม

การคำนวณค่า V_u และ ϕV_c ให้เป็นไปตามข้อ 5.2.12.1.2

รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

กำลังต้านทานแรงเฉือนจากเหล็กเสริม





1) เมื่อแรงเฉือน V_u มีค่าเกินกว่า fV_c แผ่นพื้นต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน โดยเหล็กเสริมดังกล่าวต้องรับแรงซึ่งมีค่าเท่ากับ

2) $V_s = V_u/f - V_c$ ...(13)

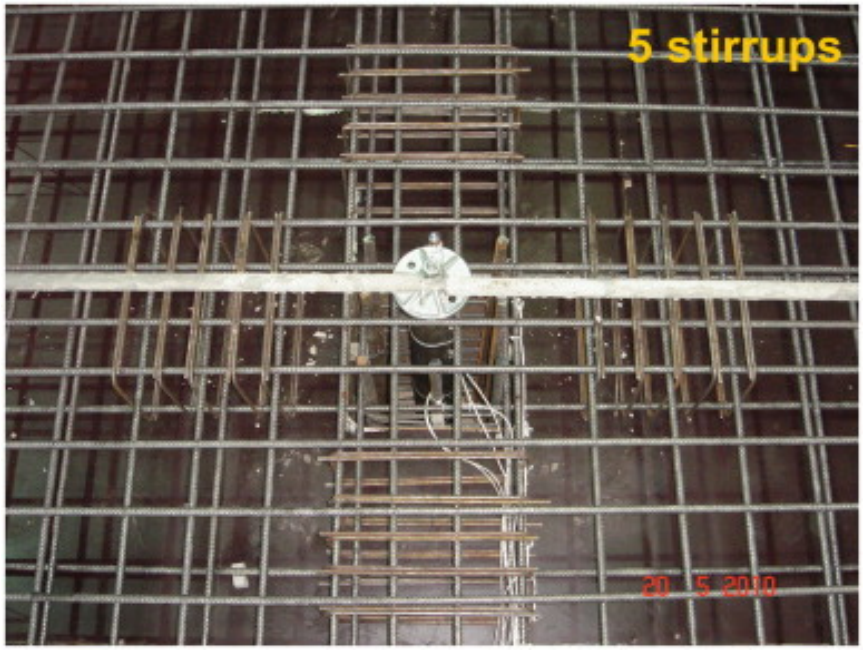
3) โดยใช้ V_c ตามสมการ (11)

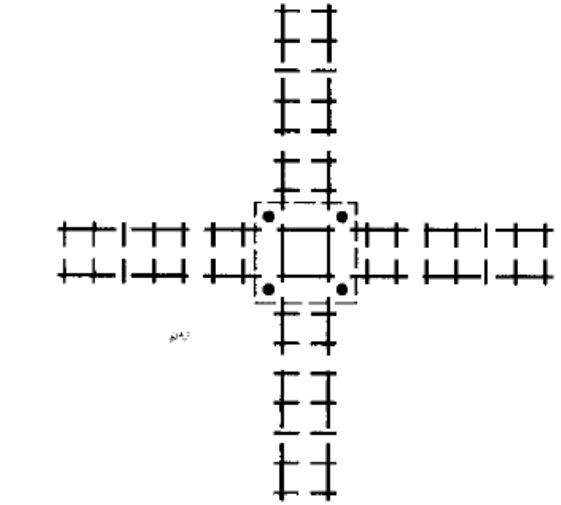
4) ทั้งนี้ $V_u \leq 1.6\sqrt{f_c'}b_0 d$

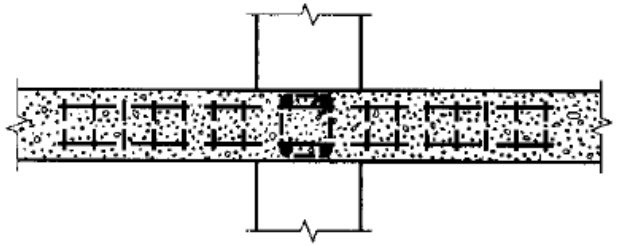
รายละเอียดเหล็กเสริมโครงต้านแรงดัดที่มีความเหนียวจำกัด

กำลังต้านทานแรงเฉือนจากเหล็กเสริม

โดยทั่วไปการเหล็กเสริมในแผ่นพื้นเพื่อต้านแรงเฉือนสามารถทำได้หลายวิธี อย่างไรก็ดีวิธีที่ง่ายในทางปฏิบัติคือ **การเสริมเหล็กปลอก** ผ่านแนวเสาทั้ง 2 ทิศทาง







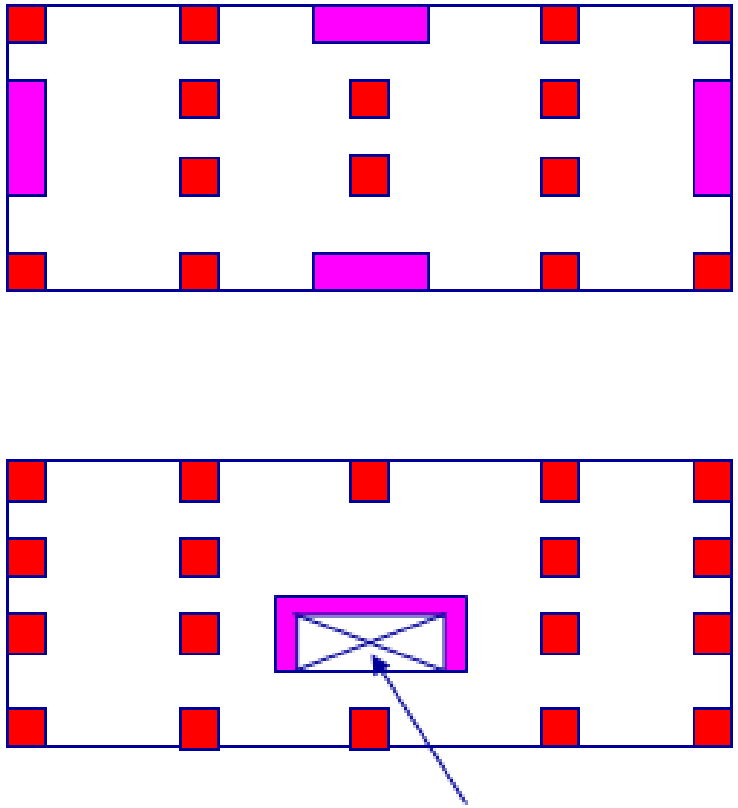
การออกแบบกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้มีความเหนียวพิเศษ

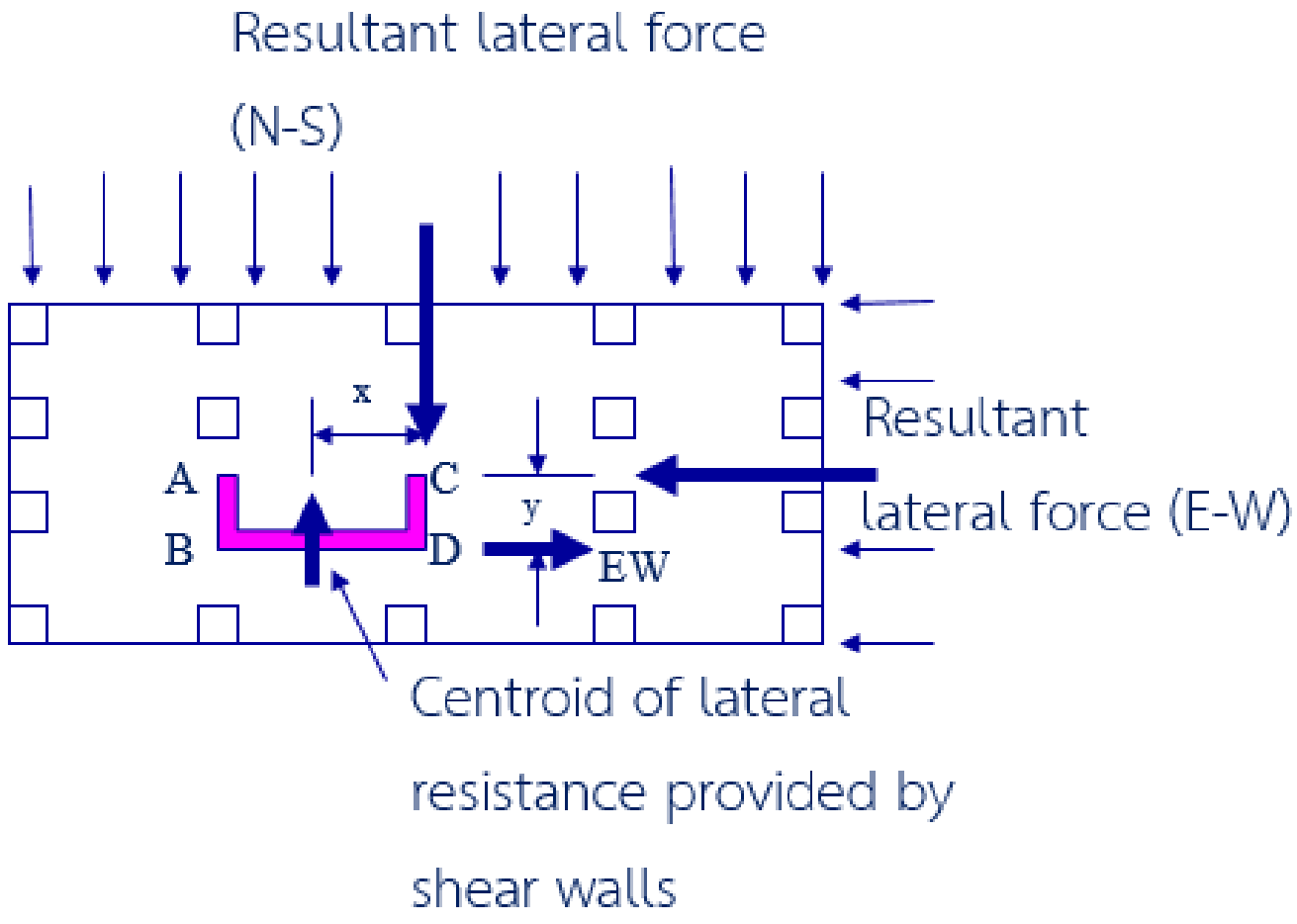
ศ.ดร. อมร พิมานมาศ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โครงการพัฒนาหลักสูตรการเรียนรู้เรื่องการออกแบบอาคารต้านทานแผ่นดินไหว
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) พ.ศ. 2568

1. ระบบต้านแรงด้านข้าง

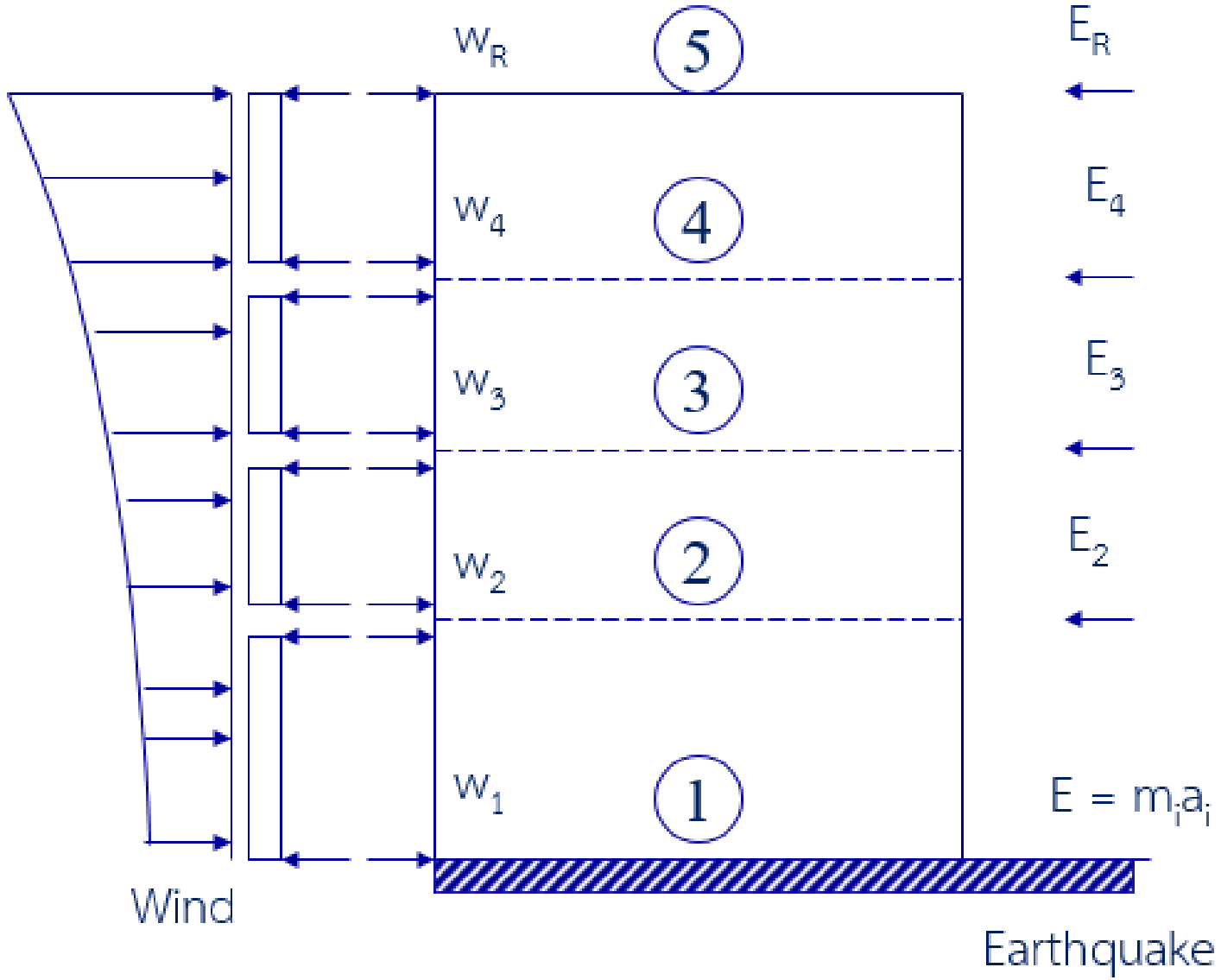
การวางตำแหน่งกำแพงเฉือน





1. ระบบต้านแรงด้านข้าง

แรงแนวราบที่กระทำต่ออาคาร (แรงลม และแผ่นดินไหว)



ลม

-ข้อบังคับกทม.

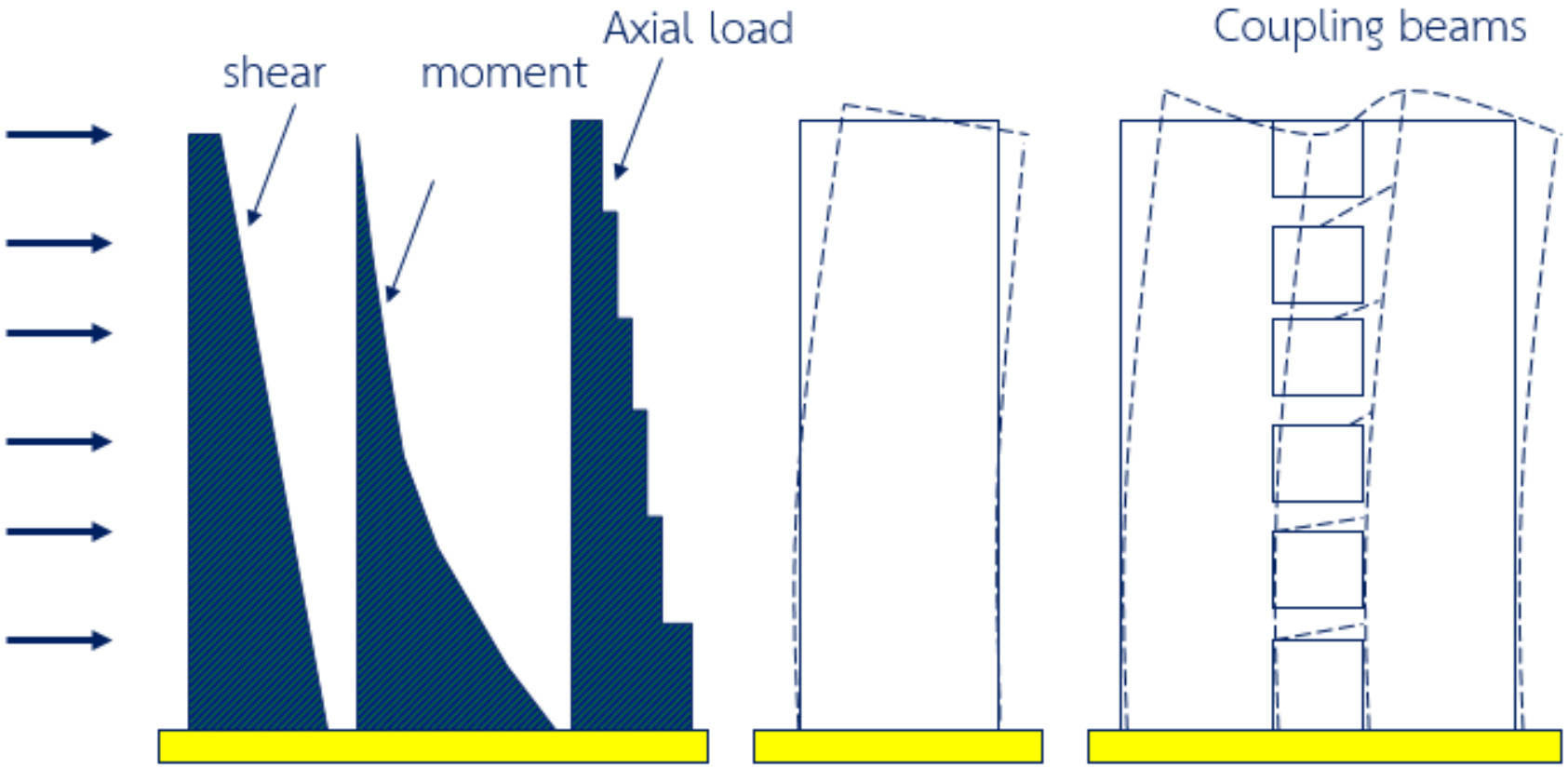
-มยผ.1311

แผ่นดินไหว

- มยผ. 1301/1302-61

1. ระบบต้านแรงด้านข้าง

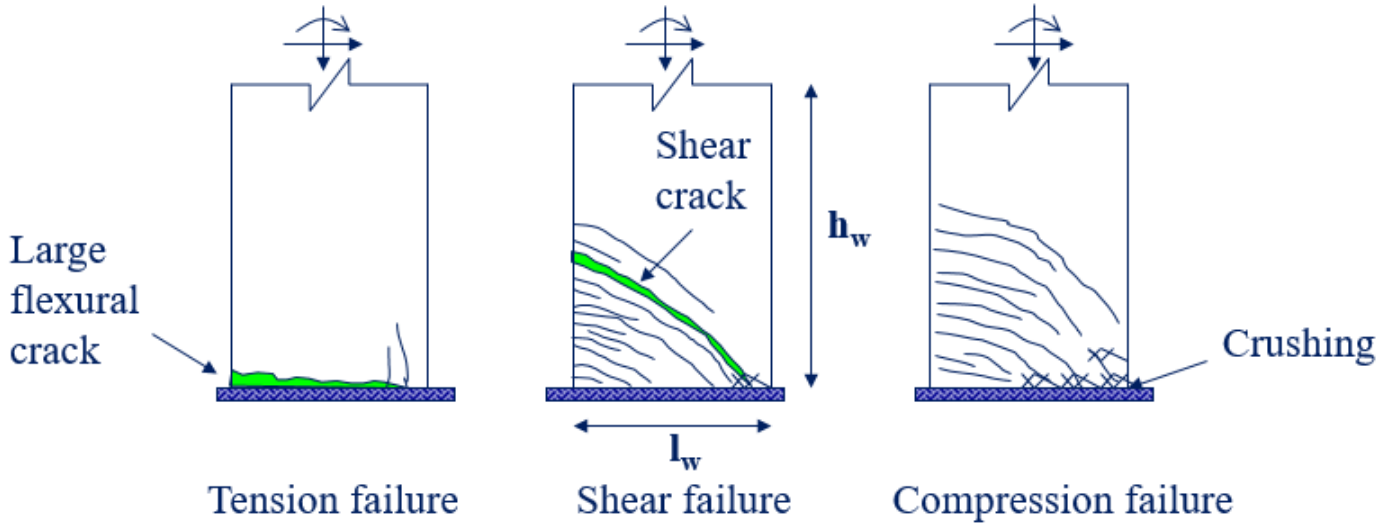
➢ พิจารณากำแพงเฉือนเสมือนคานยื่นจากพื้นขึ้นไป



1. แรงเฉือน ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ฐานกำแพง
2. โมเมนต์ ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ฐานกำแพง
3. แรงอัดบนหน้าตัดกำแพง

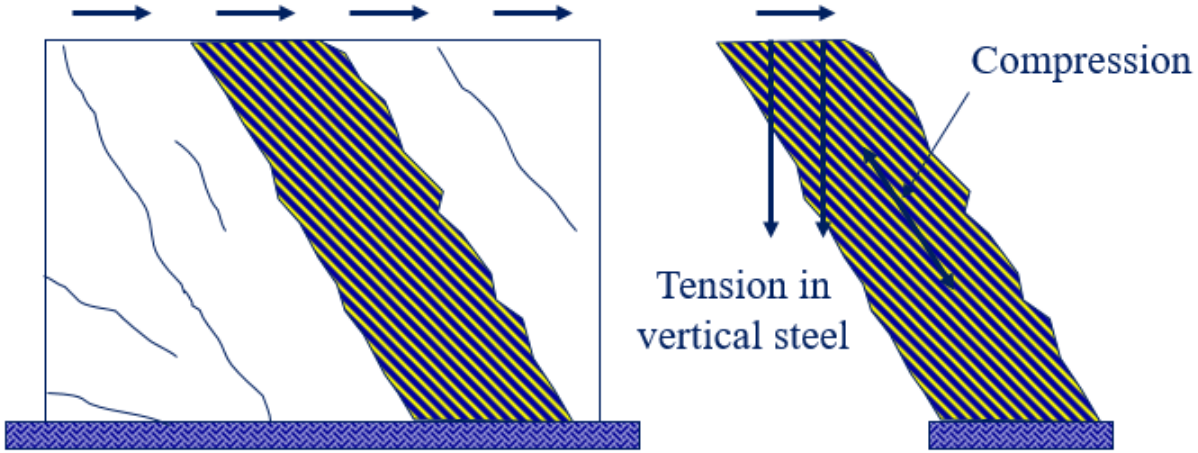
1. ระบบต้านแรงด้านข้าง

การวิบัติที่เกิดขึ้นกับกำแพงเฉือน



กำแพงสูง: $h_w/l_w > 2.0$

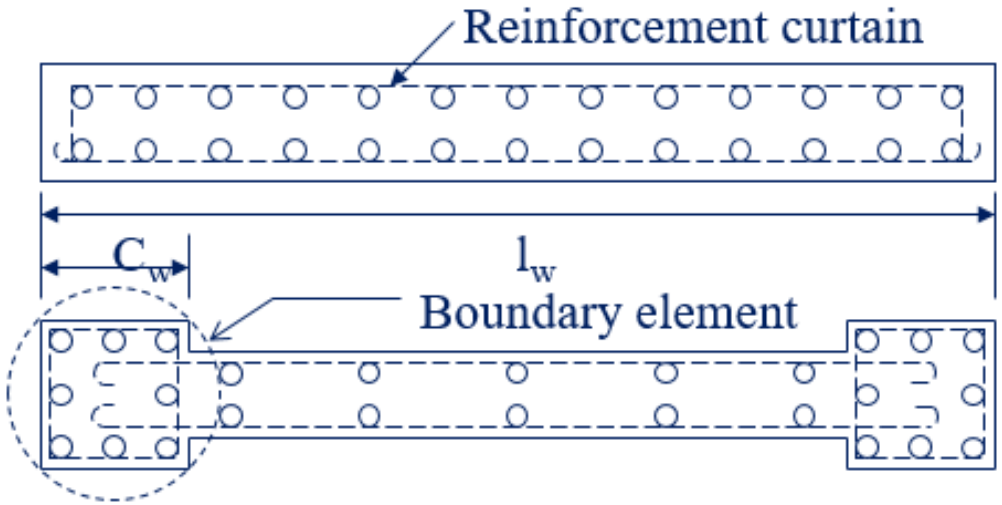
กำแพงเตี้ย: $h_w/l_w < 2.0$

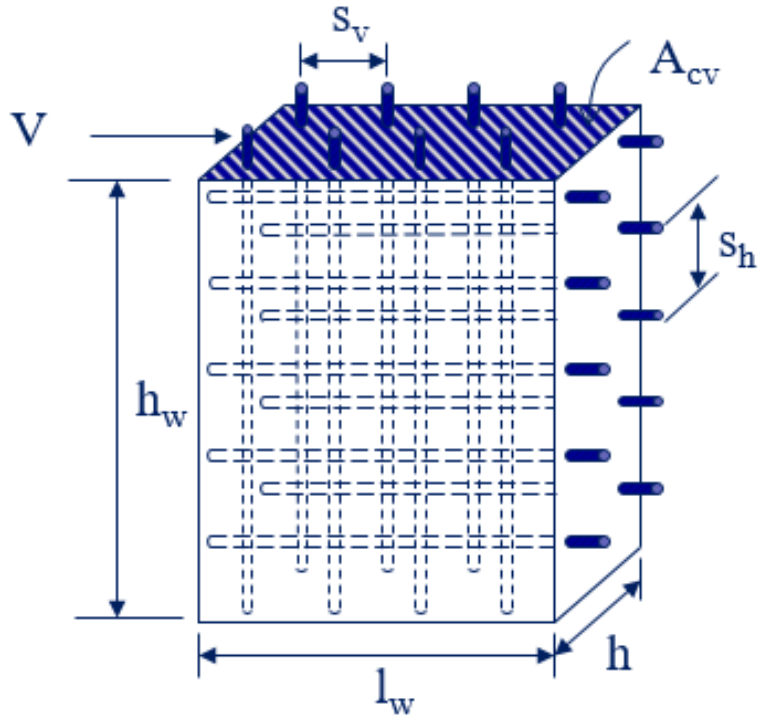


1. ระบบต้านแรงด้านข้าง

ขั้นตอนการออกแบบกำแพงเฉือน

1. การออกแบบรับแรงอัด: ตรวจสอบว่าต้องใช้ boundary element เสริมความแข็งแรงที่ปลายหรือไม่
2. การออกแบบรับแรงเฉือน: คำนวณหาเหล็กแนวนอนและแนวดิ่ง
3. การออกแบบโมเมนต์ดัดร่วมกับแรงตามแนวแกน: ใช้ Interaction diagram ของเสา





ขั้นตอนการออกแบบกำแพงเฉือน

1. การออกแบบรับแรงอัด

1) ตรวจสอบว่าต้องการ Boundary element

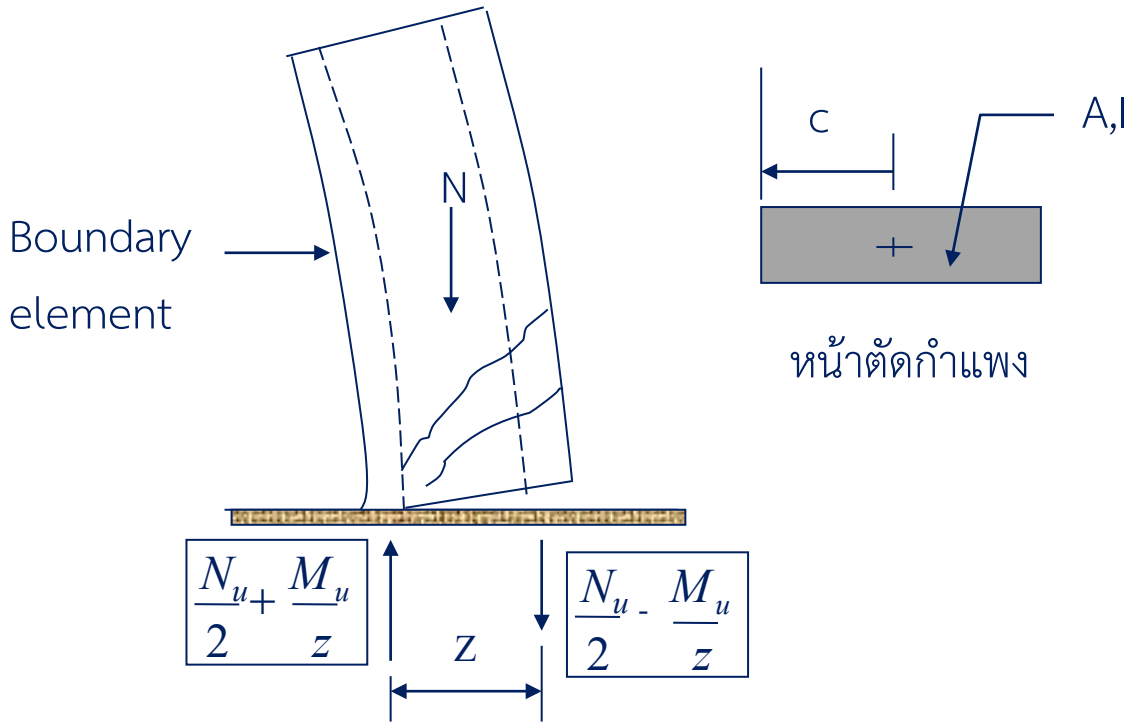
หน้าตัดกำแพงจำเป็นต้องมีการเสริมกำลังที่ปลายกำแพงโดยทำเป็น boundary element หาก

$$f_c = \frac{N_u}{A} + \frac{M_u c}{I} \geq 0.2 f_c'$$

A = พื้นที่หน้าตัดของกำแพง

I = โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดกำแพง

c = ระยะจากจุดศูนย์กลางของกำแพงถึงขอบปลายสุดของกำแพง



หน้าตัดกำแพง

ขั้นตอนการออกแบบกำแพงเฉือน

1. การออกแบบรับแรงอัด

2) คำนวณปริมาณเหล็กยืนใน Boundary element

$$P_u \leq \varphi P_n$$

Pu เป็นแรงอัดที่กระทำที่ปลายและคำนวณได้จาก

$$P_u = \frac{N_u}{2} + \frac{M_u}{Z}$$

ϕPn เป็นกำลังต้านทานแรงอัดคำนวณได้จาก

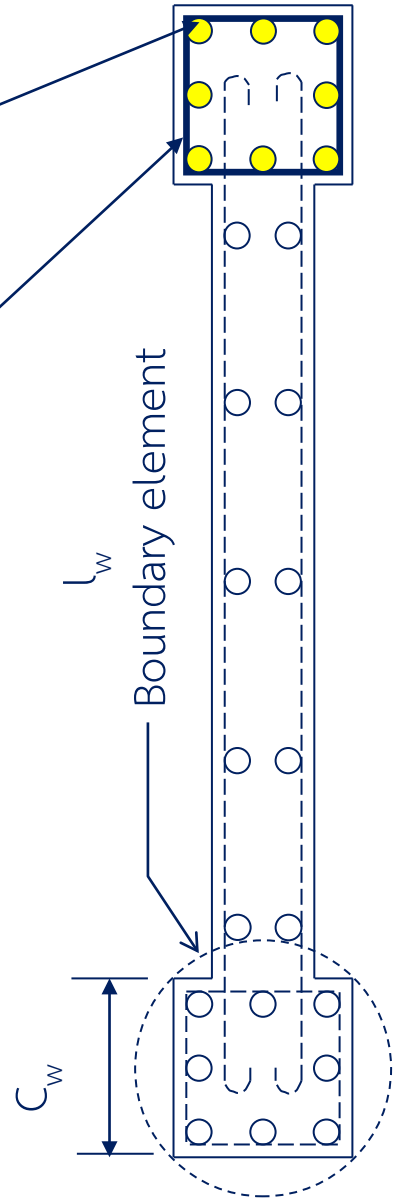
$$\varphi P_n = 0.8\varphi[0.85 f'_c A_g + f_y A_{st}]$$

3) คำนวณปริมาณเหล็กปลอกรัดเหล็กยืนใน Boundary element

$$A_{sh1} = 0.09 s h_c \frac{f_c}{f_{yh}}$$

$$A_{sh2} = 0.3 s h_c \left[\frac{A_g}{A_{ch}} - 1\right] \frac{f'_c}{f_y}$$

$$S < \tfrac{1}{4}\, Cw\,,\ S < 6 d_b$$



2. การออกแบบรับแรงเฉือน

1) ตรวจสอบว่าต้องใช้ตะแกรงเหล็กแนวนอนและแนวดิ่ง 2 ชั้นหรือไม่

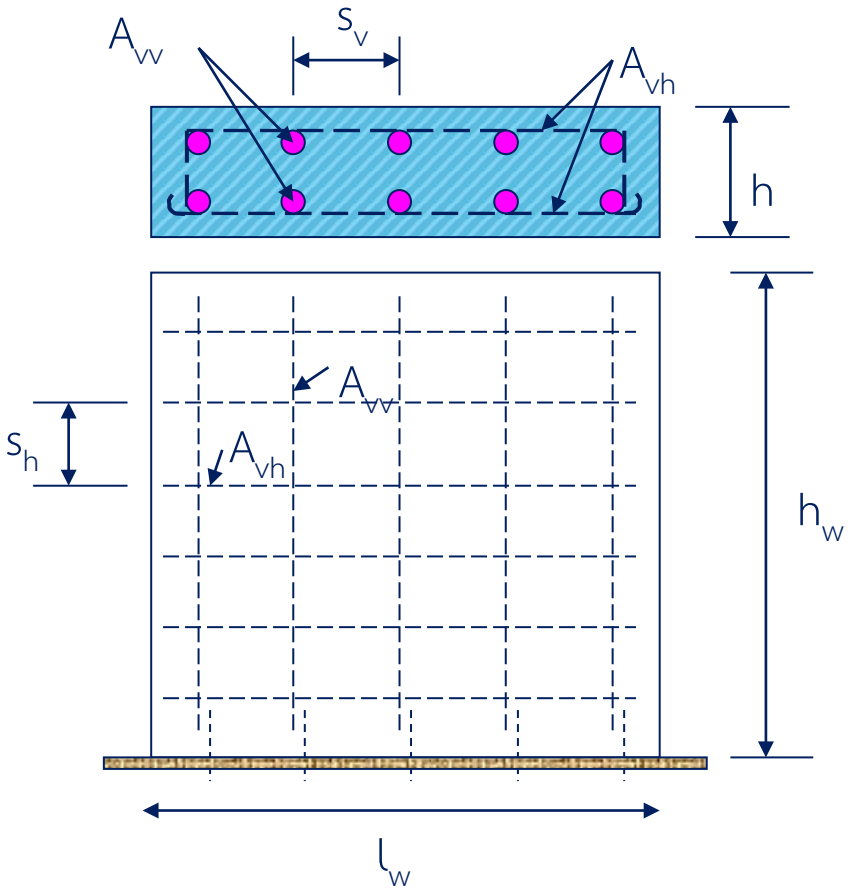
ACI กำหนดให้ต้องใส่เหล็กในแนวนอนและแนวดิ่งในผูกกันเป็นตะแกรง 2 ชั้นวางชิดหน้ากำแพงในแต่ละด้าน หาก

$$V_u \geq \varphi V_c$$

V_c คำนวณได้จาก

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c'}A_{cv}$$

A_{cv} คือพื้นที่หน้าตัดของกำแพง



2. การออกแบบรับแรงเฉือน

2) สมการต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัด

$$V_u \le \varphi V_n$$

ϕ เป็นตัวคูณลดกำลัง = 0.60

ในกรณีที่เป็นกำแพงในอาคารสูงที่มีอัตราส่วน h_w/l_w มากกว่า 2.0

$$V_n = A_{cv}(0.53\sqrt{f_c'} + \rho_n f_y) \qquad \rho_n = A_{vh}/(h \cdot s_h)$$

แต่ต้องไม่เกินกว่า

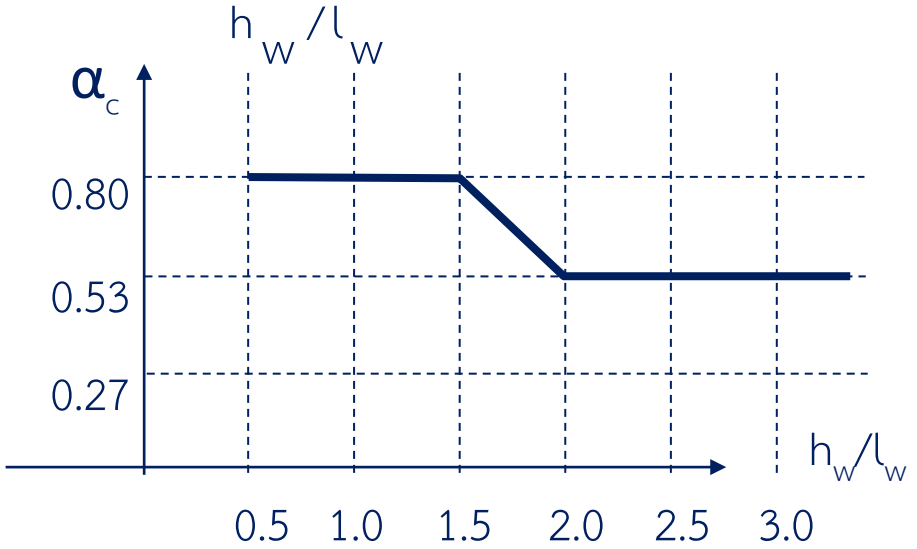
$$V_{n\,max} = 2.1\sqrt{f_c'}\,A_{cv}$$

ในกรณีที่เป็นกำแพงในอาคารสูงที่มีอัตราส่วน h_w/l_w น้อยกว่า 2.0

$$V_n = A_{cv}(\alpha_c\sqrt{f_c'} + \rho_n f_y)$$

แต่ต้องไม่เกินกว่า

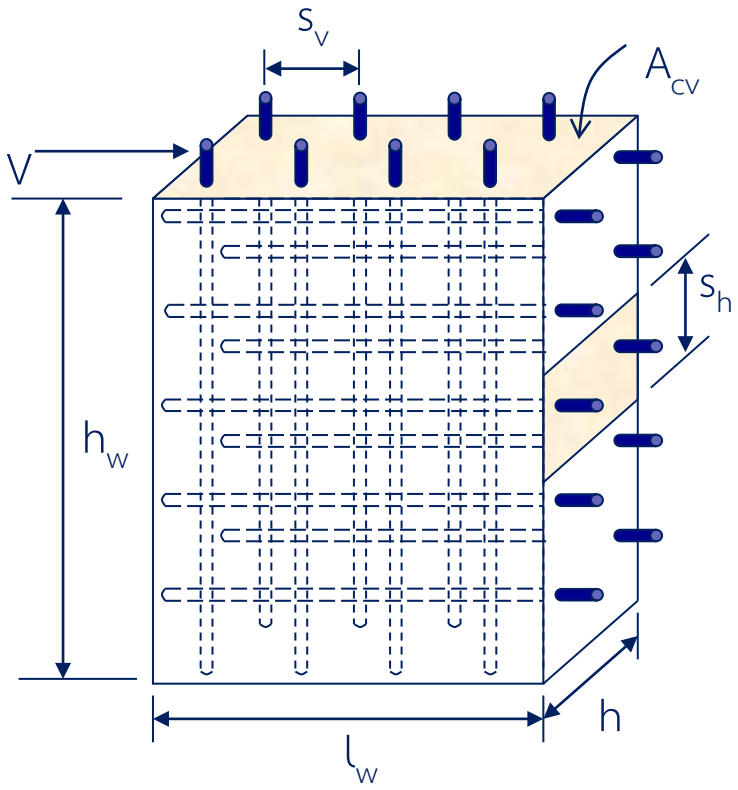
$$V_{n\,max} = 2.1\sqrt{f_c'}\,A_{cv}$$



2. การออกแบบรับแรงเฉือน

3) ปริมาณเหล็กแนวนอนและแนวดิ่งขั้นต่ำ

เพื่อป้องกันการวิบัติแบบเฉือนเปราะ



A_{vh} : area of horizontal R/F in spacing s_h

A_{vv} : area of vertical R/F in spacing s_v

หาก $V_u \geq \varphi V_c/2 = \varphi 0.53\sqrt{f'_c}A_{cv}/2$

$$\rho_v = \frac{A_{vv}}{h \cdot s_v}$$

ไม่น้อยกว่า 0.0025

$$\rho_n = \frac{A_{vh}}{h \cdot s_h}$$

หาก $V_u < \varphi V_c/2 = \varphi 0.53\sqrt{f'_c}A_{cv}/2$

$$\rho_v = \frac{A_{vv}}{h \cdot s_v}$$ ไม่น้อยกว่า 0.0012 for dia. < DB16

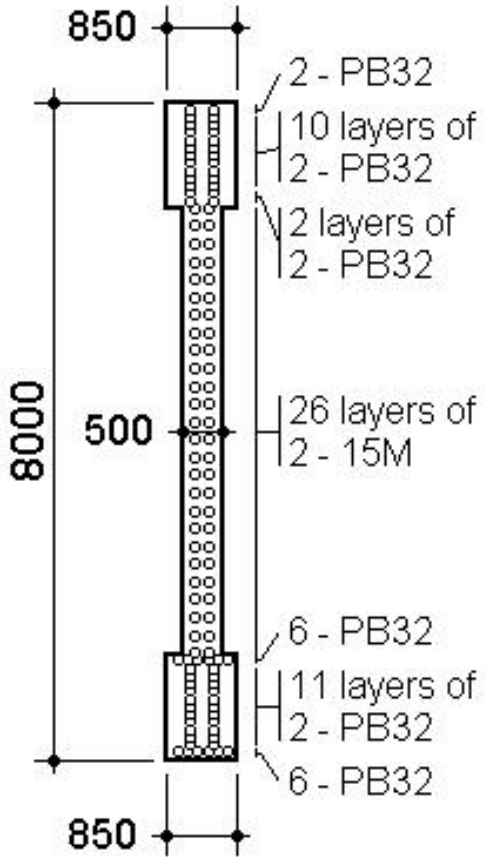
$$\rho_v = \frac{A_{vv}}{h \cdot s_v}$$ ไม่น้อยกว่า 0.0016 for dia. > DB16

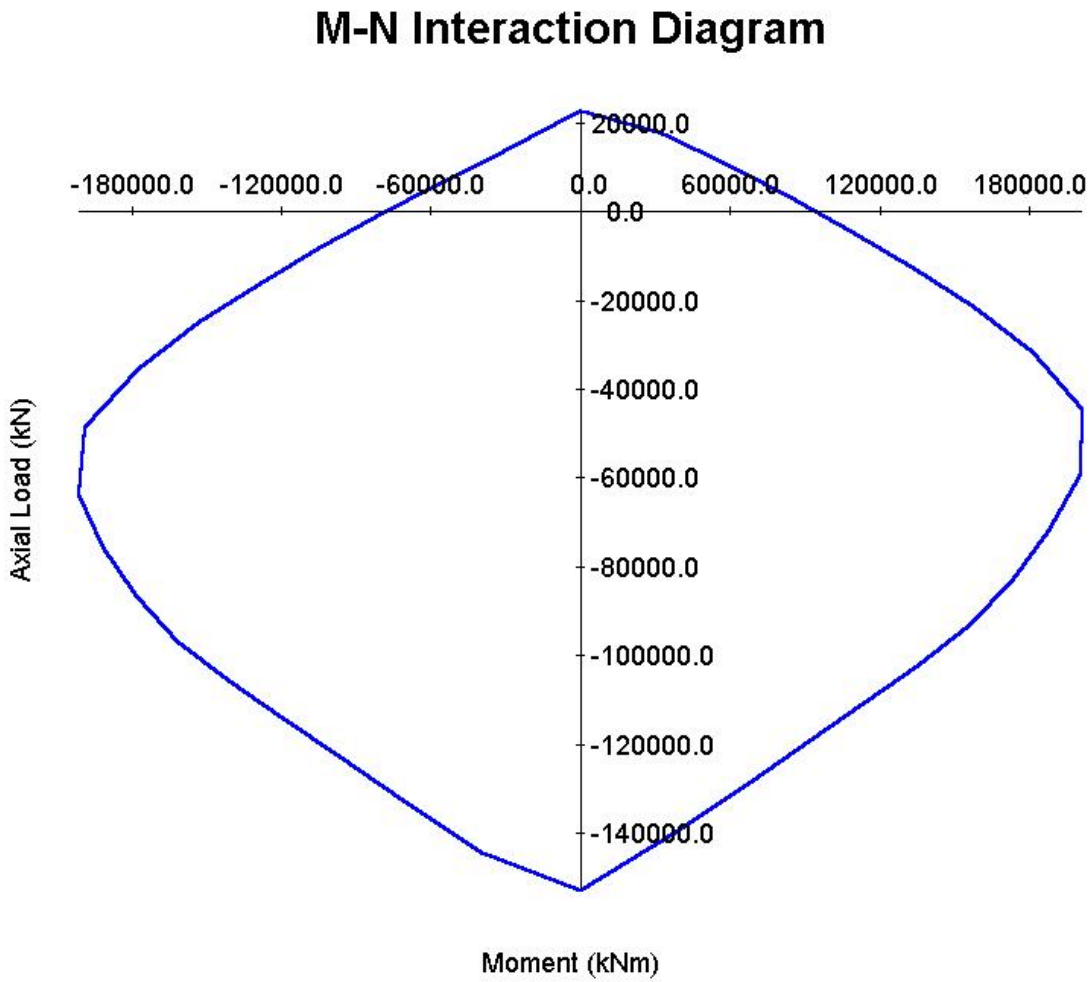
$$\rho_n = \frac{A_{vh}}{h \cdot s_h}$$ ไม่น้อยกว่า 0.0020 for dia. < DB16

$$\rho_n = \frac{A_{vh}}{h \cdot s_h}$$ ไม่น้อยกว่า 0.0025 for dia. > DB16

ขั้นตอนการออกแบบกำแพงเฉือน

2. การออกแบบรับแรงเฉือน





2. การออกแบบรับแรงเฉือน

จงออกแบบกำแพงรับแรงเฉือน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอาคารค.ส.ล. 12 ชั้น ที่มีความสูงทั้งหมด h_w= 45 ม. น้ำหนักบรรทุกตายตัวเพิ่มค่า W_u= 2200 ตัน จากการวิเคราะห์แรงกระทำด้านข้างต่ออาคารได้โมเมนต์ดัดเพิ่มค่าที่ฐานกำแพง M_u=5670 ตัน-ม. แรงตามแนวแกนเพิ่มค่า N_u=120 ตัน และ แรงเฉือนเพิ่มค่า V_u= 400 ตัน กำหนดให้ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต $f'_c = 275$ กก./ซม.^{2} และ กำลังครากของเหล็ก f_y= 4000 กก./ซม.^{2} ความยาวกำแพง l_w= 8.00 ม. ความหนาของกำแพง = 0.50 ม.

3. การออกแบบโมเมนต์ดัดร่วมกับแรงตามแนวแกน

1) ตรวจสอบว่าต้องการ boundary element หรือไม่

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = \frac{50(800)^3}{12} = 2.13 \times 10^9 \quad cm^4$$

$$A_g = 50 \times 800 = 4 \times 10^4 \quad cm^4$$

$$f_c = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}, \; c = 400 \; cm$$

หน่วยแรงอัดสูงสุดบนหน้าตัดกำแพงเท่ากับ

$$f_c = \frac{2320(1000)}{4(10^4)} + \frac{5670(1000)(100) \times 400}{2.13 \times 10^9} = 58 + 106.5 = 164.5 \; kg/cm^2$$

เนื่องจากหน่วยแรงอัดสูงสุดที่ยอมให้ $= 0.2f_c = 0.2 \times 275 = 55 \; kg/cm^2$ ดังนั้นต้องใช้ boundary element

3. การออกแบบโมเมนต์ดัดร่วมกับแรงตามแนวแกน

2) ออกแบบ Boundary element

ก.) ออกแบบเหล็กยืนใน boundary element

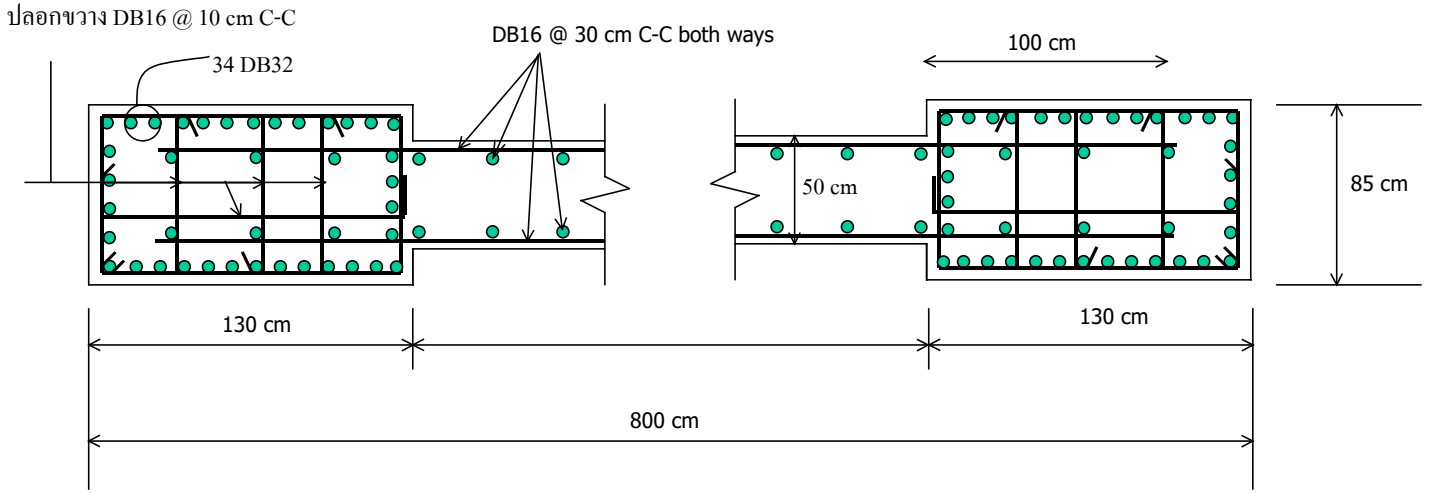
คำนวณแรงอัดเพิ่มค่าที่กระทำต่อ Boundary element

สมมุติขนาดของ boundary element เท่ากับ ดังนั้นระยะระหว่างศูนย์ถึงศูนย์ของ Boundary element (l)

= 800-130 = 670 cm

$$P_u = \frac{W_u}{2} + \frac{M_u}{z} + \frac{N_u}{2}$$

$$P_u = \frac{2200}{2} + \frac{5670}{6.7} + \frac{120}{2} \quad = 2006.3 \text{ ตัน}$$



3. การออกแบบโมเมนต์ดัดร่วมกับแรงตามแนวแกน

หาปริมาณเหล็กยืนที่ต้องการใน boundary element

$$P_u = \varphi P_n = 0.8\varphi[0.85f_c'(A_g\text{-}A_{st}) + f_y A_{st}]$$

$$2006(1000) = 0.8 \times 0.7 \times [0.85 \times 275 \times (85 \times 130\text{-}A_{st}) + 4000A_{st}$$

$$A_{st} = 265.3\ cm^2, \quad \text{ใช้ 34-DB32 } (A_s = 273.44\ cm^2)$$

อัตราส่วนเหล็กเสริม = $\dfrac{273.44}{85 \times 130} = 2.47\% \begin{matrix} > 1\% \\ < 6\% \end{matrix}$

ระยะเรียงว่าง = 6.11 cm (ด้านยาว) > $1.5d_b$ = 1.5(3.2) = 4.8 cm

= 9.16 cm (ด้านสั้น) > $1.5d_b$ = 1.5(3.2) = 4.8 cm

3. การออกแบบโมเมนต์ดัดร่วมกับแรงตามแนวแกน

ข.) ออกแบบเหล็กปลอกโอบรัด

$$A_{sh} > \begin{cases} 0.09sh_c \dfrac{f_c'}{f_{yh}} \\ 0.3sh_c \left[\dfrac{A_g}{A_{ch}} - 1\right] \dfrac{f_c'}{f_y} \end{cases}$$

สมมุติใช้เหล็ก DB16 และให้มีระยะเรียง s = 10 cm

$$< 1/4 \times c_w = 1/4 \times 85 = 20\ cm$$
$$< 6d_b = 6 \times 3.2 = 19.2\ cm$$

ขั้นตอนการออกแบบกำแพงเฉือน

- ออกแบบด้านสั้น

$$h_c = 130 - 2 \times (5.9 + 0.8) = 116.6\ cm$$

$$b_c = 85 - 2 \times (5.9 + 0.8) = 71.6\ cm$$

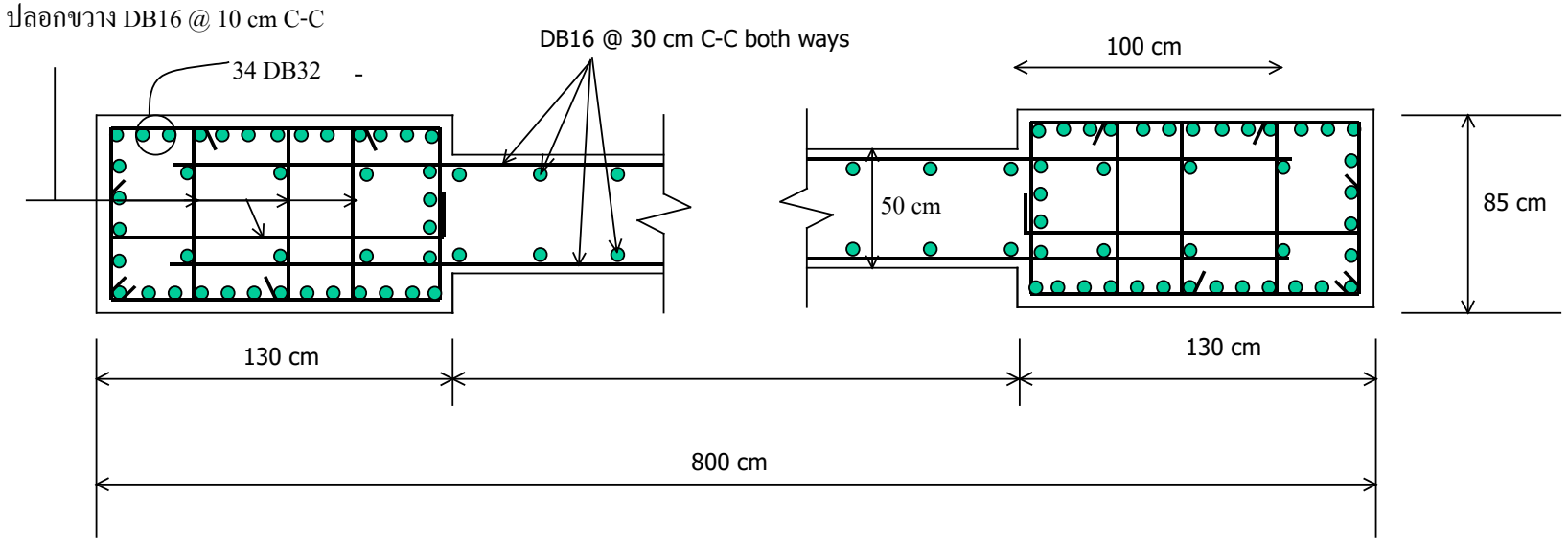
$$A_{ch} = 116.6 \times 71.6 = 8348.56\ cm^2$$

$$A_{sh1} = 0.09 \times 10 \times 116.6 \times \frac{275}{4000} = 7.21\ cm^2$$

$$A_{sh2} = 0.3 \times 10 \times 116.6 \times \left[\frac{130 \times 85}{8348.56} - 1\right] \times \frac{275}{4000} = 7.78\ cm^2$$

ใช้ เหล็กปลอกขวาง DB16 จำนวน 3 เส้น ร่วมกับ เหล็กปลอกโอบ DB16

$A_v = 5 \times 2.01 = 10.05 > 7.78\ cm^2$) ดูภาพประกอบ



ขั้นตอนการออกแบบกำแพงเฉือน

- ออกแบบด้านยาว

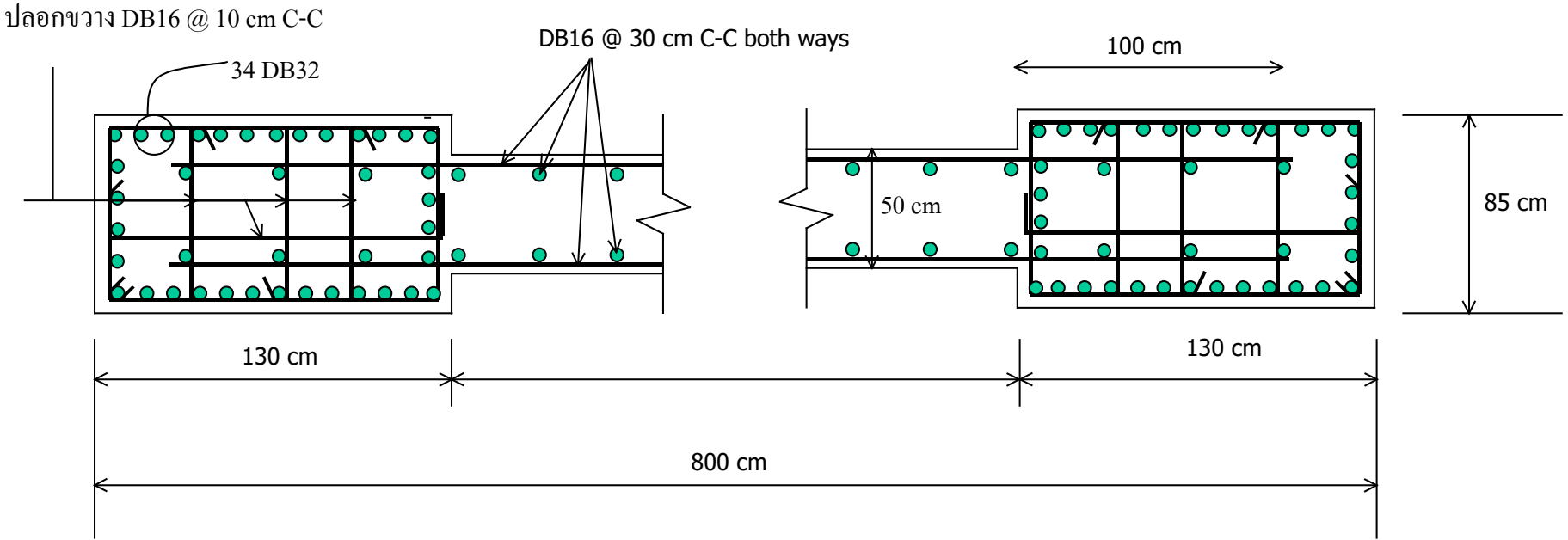
$$h_c = 85 - 2 \times (5.9 + 0.8) = 71.6\ cm$$

$$A_{sh1} = 0.09 \times 10 \times 71.6 \times \frac{275}{4000} = 4.43\ cm^2$$

$$A_{sh2} = 0.3 \times 10 \times 71.6 \times \left[\frac{130 \times 85}{8348.56} - 1\right] \times \frac{275}{4000} = 4.77\ cm^2$$

ใช้ เหล็กปลอกขวาง DB16 จำนวน 1 เส้น ร่วมกับ เหล็กปลอกโอบ DB16

$A_v = 3 \times 2.01 = 6.03 > 4.77\ cm^2$) ดูภาพประกอบ



4.ออกแบบการเสริมเหล็กแนวนอนและแนวดิ่งในส่วนกำแพง

ก) ตรวจสอบว่าต้องวางเหล็ก 2 ชั้น หรือไม่

$V_u = 400$ ตัน

$A_{cv} = 50 \times 800 = 4 \times 10^4 \quad cm^4$

$0.53A_{cv}\sqrt{f_c} = 0.53 \times 4(10^4)\sqrt{275} = 351.56$ ตัน $V_u = 400$ ดังนั้นต้องวางเหล็ก 2 ชั้น โดยอัตราส่วนเหล็กเสริมที่วางต้องไม่น้อยกว่า 0.0025 และมีระยะเรียงไม่เกิน 45 ซม. ในแต่ละทิศทาง

$min \quad \rho_v = \frac{A_{sv}}{A_{cv}} = 0.0025$

A_{cv} ต่อ ความยาวกำแพง 1 ม. $=50 \times 100 = 5000 \ cm^2$

A_{sv} ที่ต้องการในแต่ละทิศทาง $= 0.0025 \times 5000 = 12.5 \ cm^2/m$

ใช้เหล็ก DB16 @ 30 ซม. โดยจัดเรียง 2 ชั้น $A_{sv} = 13.4 \ c\,m^2/m$ และ ระยะเรียง < 45 cm

4.ออกแบบการเสริมเหล็กแนวนอนและแนวดิ่งในส่วนกำแพง

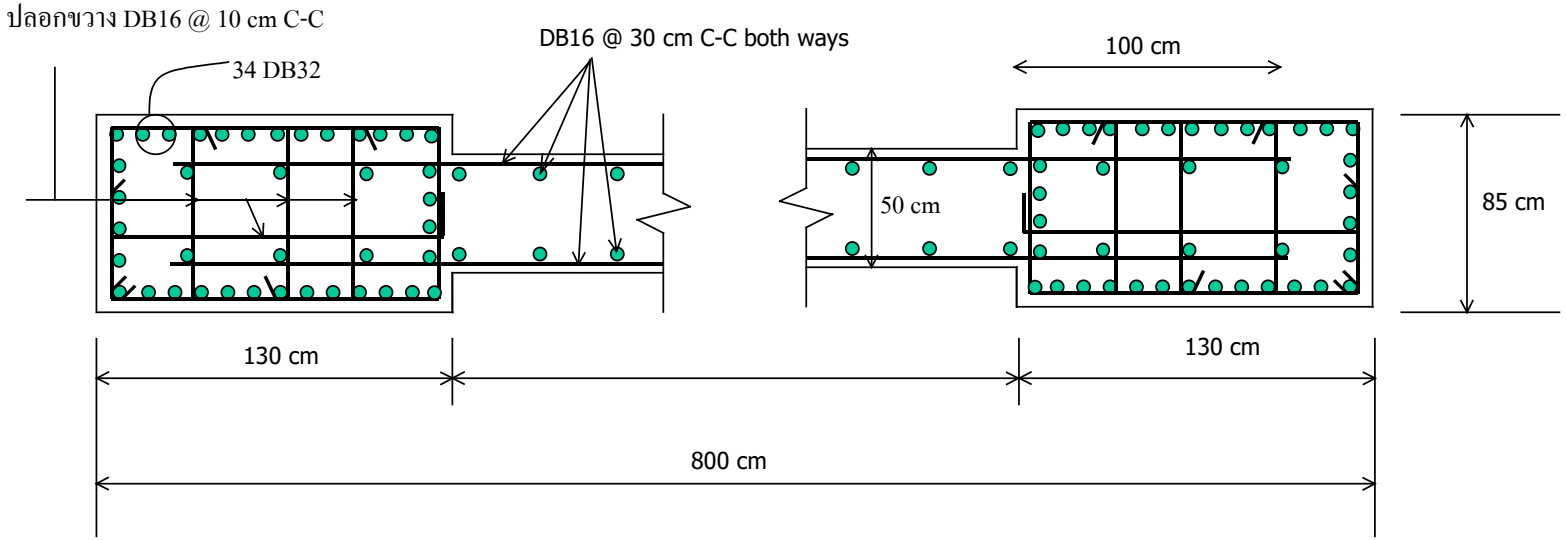
ข) ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือน

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{45}{8} = 5.63 > 2$$

$$\varphi V_n = \varphi A_{cv}\left(0.53\sqrt{f_c} + \rho_n f_y\right)$$

$$\varphi = 0.6, \rho_n = \frac{2\times 2.01}{50\times 30} = 0.00268$$

$\varphi V_n = 0.6(4\times 10^4)(0.53\sqrt{275} + 0.00268\times 4000) = 468.2$ ตัน $V_u = 400$ ดังนั้นการวางเหล็ก 2 ชั้น ข้างต้นพอเพียงต่อการต้านทานแรงเฉือน



4.ออกแบบการเสริมเหล็กแนวนอนและแนวดิ่งในส่วนกำแพง

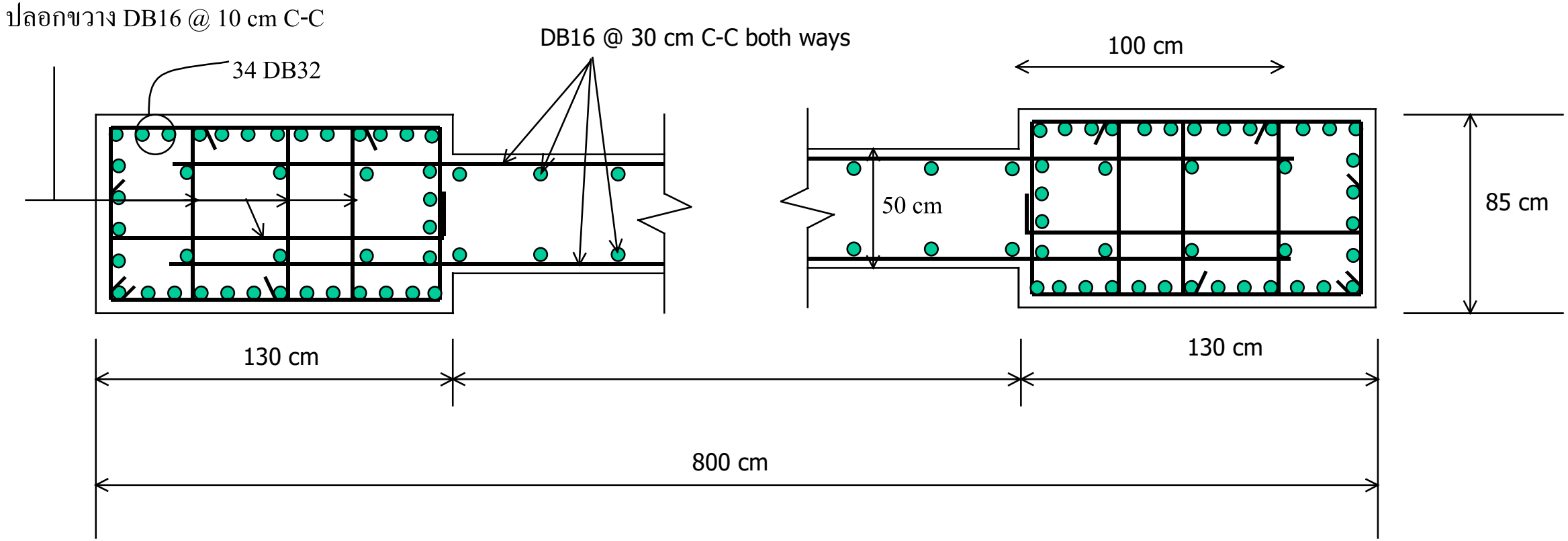
ค.) ระยะฝังเหล็กใน boundary element

$$l_{dh} = \frac{f_y d_b}{17\sqrt{f_c'}} = \frac{4000 \times 1.6}{17 \times \sqrt{275}} = 22.7\ cm \quad > \quad \begin{matrix} 8d_b = 8 \times 1.6 = 12.8\ cm \\ 15\ cm \end{matrix}$$

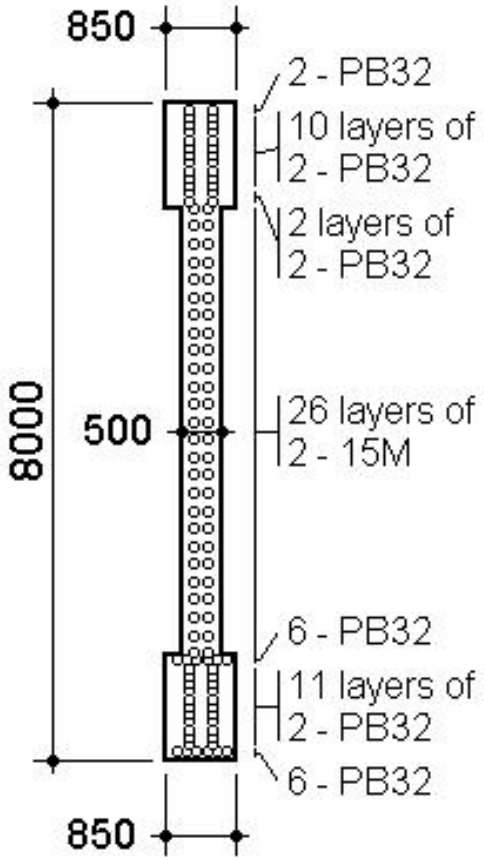
$$l_d = 3.5 l_{dh} = 3.5 \times 22.7 = 79.45\ cm$$

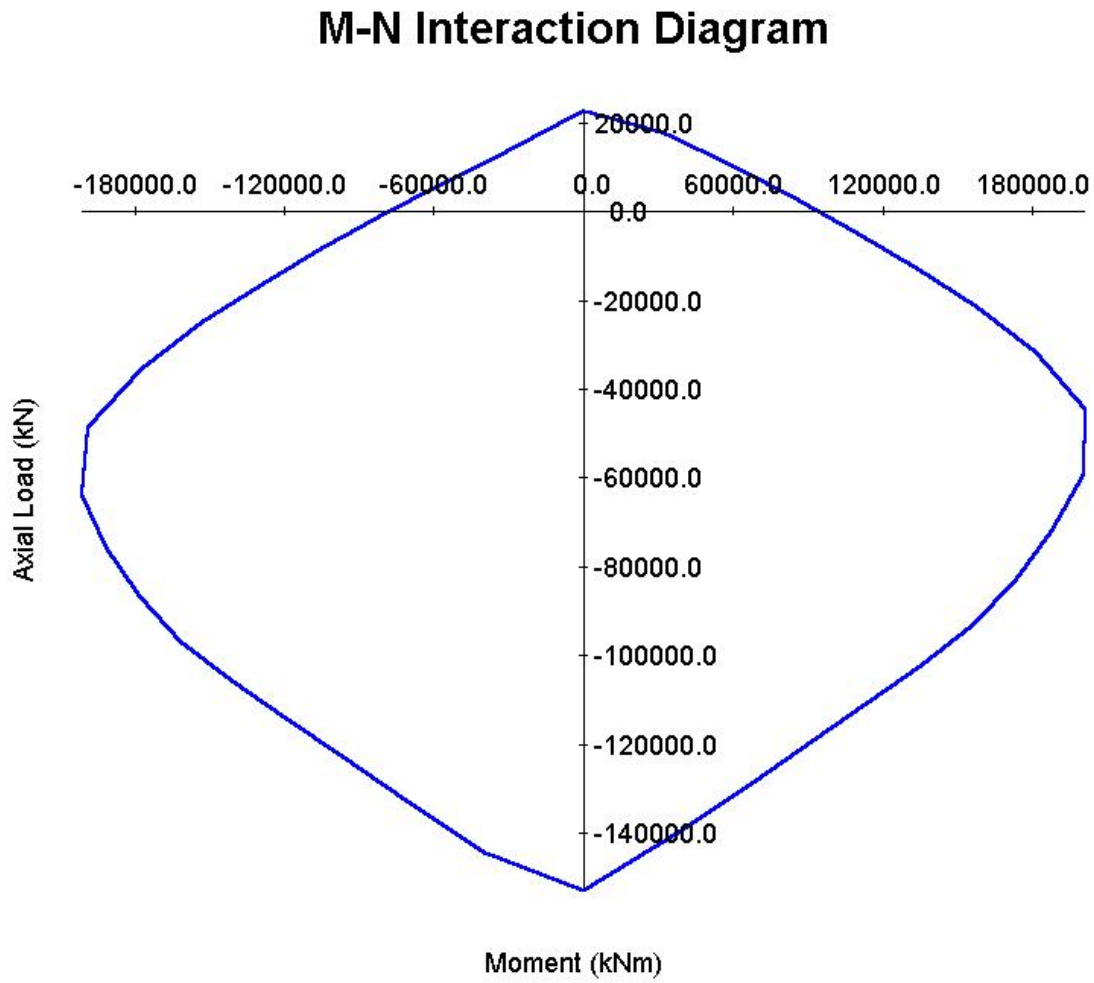
ให้ฝังเหล็กเข้าไปเป็นระยะไม่น้อยกว่า 80 cm ในที่นี้จะฝังลึกเข้าไปเป็นระยะ 100 cm

ขั้นตอนการออกแบบกำแพงเฉือน



ขั้นตอนการออกแบบกำแพงเฉือน





แรงอัดเพิ่มค่าทั้งหมด = 2200+120 = 2320 ตัน

โมเมนต์เพิ่มค่า = 5670 ตัน-ม.