บทที่ 9

Braced Cuts

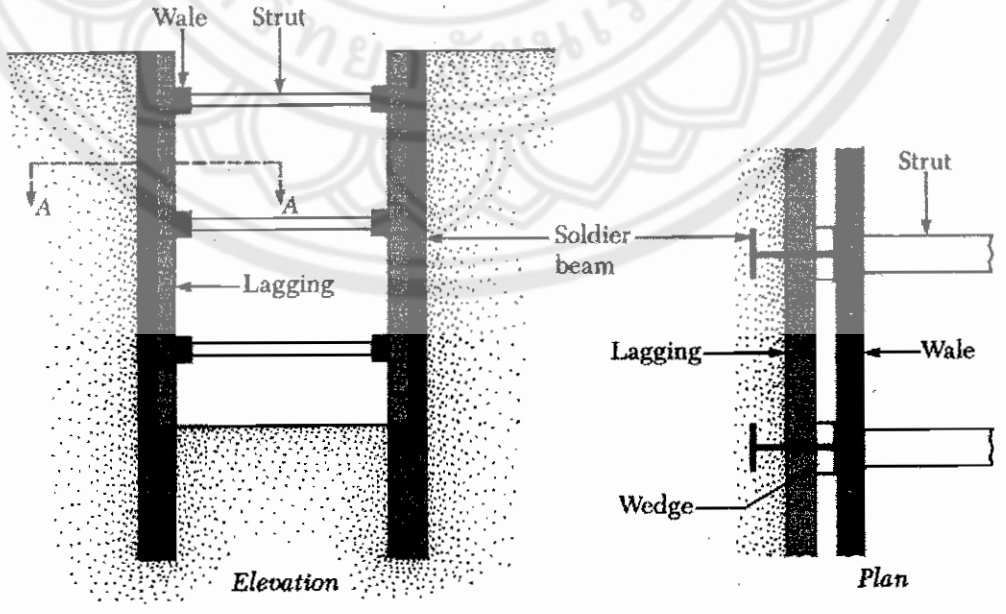
9.1 เนื้อหาโดยย่อ

ในงานก่อสร้างบางครั้งจะต้องทำการขุดดินลงไปในลักษณะแนวดิ่งหรือใกล้เคียงกับแนวดิ่ง (vertical or near-vertical) ตัวอย่าง เช่น ชั้นใต้ดินของอาคารใน developed area หรือ ในระบบการขนส่งใต้ดิน โดยที่ระยะความลึกจากผิวดินลงไป การป้องกันแนวการตัดในแนวดิ่งของดินจะทำได้โดยใช้ระบบการค้ำยันชั่วคราวเพื่อหลีกเลี่ยงการวิบัติและอาจรวมถึงการพิจารณาในเรื่องของการทรุดตัวหรือการวิบัติทางด้านกำลังแบกทานของดินที่อยู่ใกล้กับฐานราก

Braced Cuts มีอยู่ 2 ประเภท คือ

1. Soldier beam type

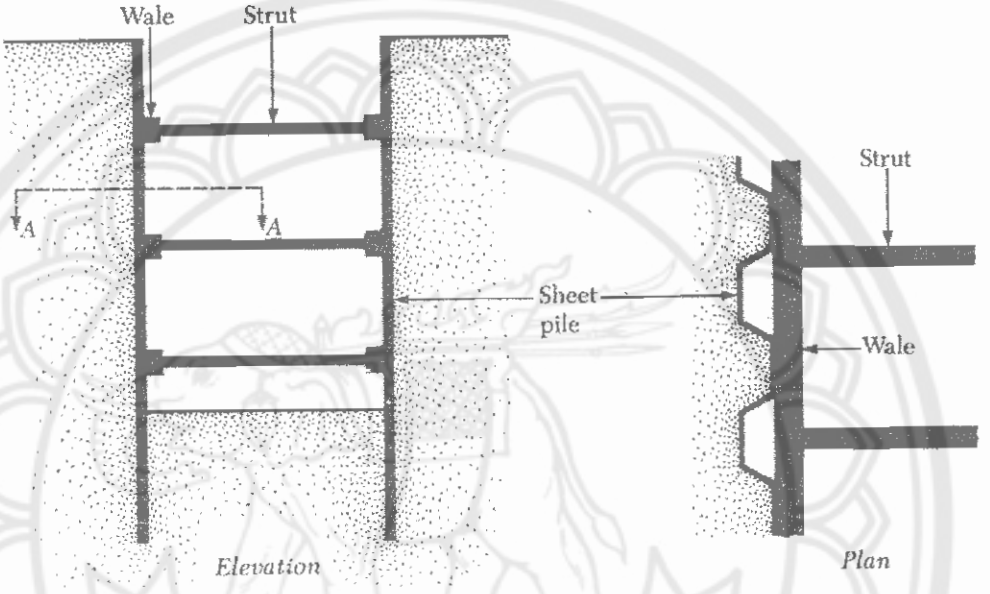
Soldier beam type จะทำการตอกลงไปก่อนทำการขุดหลุม จากนั้นจะทำการดาดผนังอุโมงค์บริเวณช่องว่างระหว่าง Soldier beam ขั้นตอนการขุดหลุมจะเริ่มเมื่อทราบระยะความลึกที่ต้องการ เมื่อเสร็จแล้วจึงนำ wales และ struts มาติดตั้ง



รูปที่ 9.1.1 Soldier beam type

2. Interlocking sheet piles

Interlocking sheet piles จะทำการตอกลงไปก่อนขุดหลุม เมื่อถึงระดับความลึกที่ต้องการจะนำ wales และ struts มาติดตั้งทันทีที่ทำการขุดหลุมเสร็จสิ้น



รูปที่ 9.1.2 Interlocking sheet piles

9.1.1 Pressure Envelope for Braced Cuts Design

แรงดันดินด้านข้าง(Lateral earth pressure) ในโครงสร้างกันดินประเภท Braced Cuts ขึ้นอยู่กับ

1.ชนิดของดิน (type of soil)

2.วิธีการก่อสร้าง (construction method)

3.ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ (equipment used)

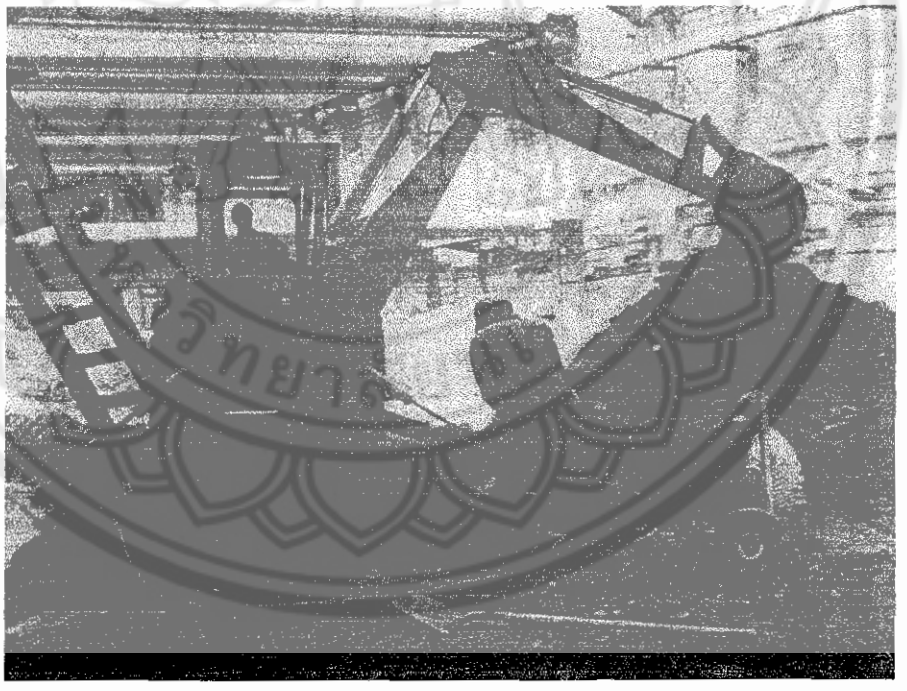
โดยแรงดันดินด้านข้างนี้จะเปลี่ยนแปลงจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง Strut แต่ละตัวจะถูกออกแบบมาสำหรับน้ำหนักสูงสุดที่กระทำ ดังนั้น Braced Cuts จึงถูกออกแบบโดยใช้ apparent-pressure diagram ในรูปแสดงถึงวิธีการสำหรับหาค่า apparent-pressure diagram ที่หน้าตัดจาก strut load ในรูปค่า P1, P2, P3, P4 , ... คือ measured strut loads ค่า apparent horizontal pressure สามารถคำนวณหาได้จาก

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{(s)(d_1 + d_2/2)}$$

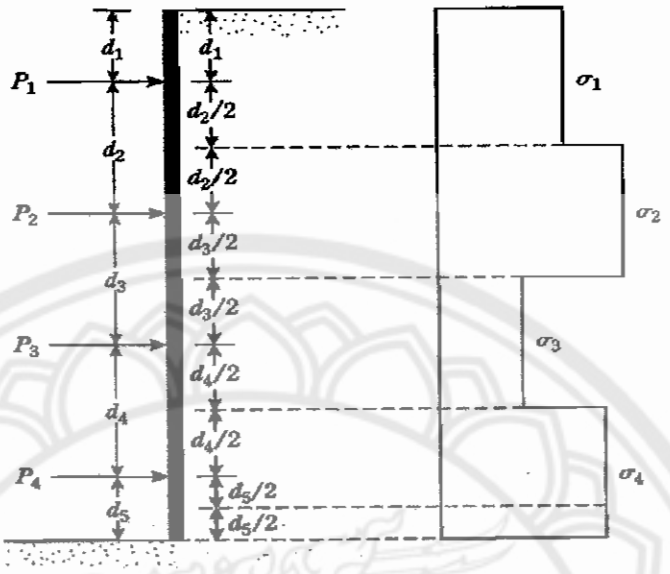
$$\sigma_2 = \frac{P_2}{(s)(d_2 + d_3)/2}$$

$$\sigma_3 = \frac{P_3}{(s)(d_3 + d_4)/2}$$

$$\sigma_4 = \frac{P_4}{(s)(d_4 + d_5)/2}$$



รูปที่ 9.1.3 การก่อสร้าง Braced cut



รูปที่ 9.1.4 Procedure for calculating apparent-pressure diagram from measured strut loads

Peck (1969) ให้สมการ envelope ของ apparent-lateral-pressure diagrams สำหรับออกแบบในชั้นดินทราย envelope แสดงในรูปที่ 9.1.5 และในสมการ

$$\sigma_a = 0.65\,\gamma H K_a$$

where γ = unit weight

H = height of the cut

K_a = Rankine active pressure coefficient

Ø = effective friction angle of sand

Cuts in Clay

ในทำนองเดียวกัน Peck (1969) ให้ envelope ของ apparent-lateral-pressure diagrams สำหรับ soft to medium clay และใน stiff clay ด้วย แรงดัน envelope สำหรับ soft to medium clay แสดงใน รูปที่9.1.6 โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไข

$$\gamma H/C > 4$$

เมื่อ C = undrained cohesion (ø = 0)

ค่าแรงดัน, σ_a, จะใช้ค่าที่มากกว่าระหว่าง

$$\sigma_a = \gamma H \left[1 - (4C/\gamma H)\right]$$

และ

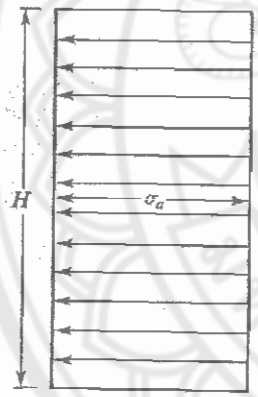
$$\sigma_a = 0.3\gamma H$$

เมื่อ γ = unit weight of clay

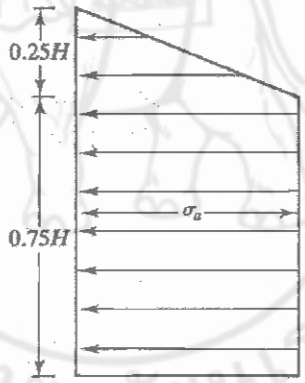
แรงดัน envelope สำหรับ cuts ใน stiff clay ซึ่งแสดงในรูปที่ 9.1.7 หาได้จาก

$$\sigma_a = 0.2\gamma H \text{ to } 0.4\gamma H \text{ (เฉลี่ย } 0.3\gamma H)$$

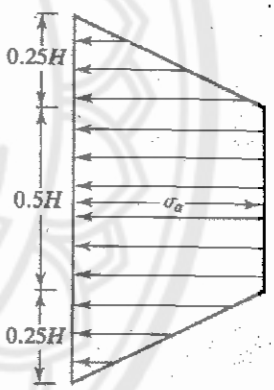
ภายใต้เงื่อนไข $\gamma H/C \leq 4$



รูปที่ 9.1.5 for cuts in sand



รูปที่ 9.1.6 for cuts in soft to medium clay



รูปที่ 9.1.7 for cuts in stiff clay

9.1.2 Pressure Envelope for Cuts in Layered Soil

ในบางครั้งอาจมีชั้นดินสองชนิดที่มาเจอกัน เช่นชั้นดินที่เป็น sand เจอกับชั้นดินที่เป็น clay และเมื่อมีการก่อสร้าง Braced cuts ในกรณี Peck (1943) ได้เสนอให้ใช้ equivalent value ของค่าความเชื่อมแน่น (ø=0) ซึ่งจะได้ดังนี้

$$C_{av} = (1 / 2H)\left[\gamma_s K_s H^2_s \tan \phi_s + (H - H_s) n' q_u\right]$$

Where H = total height of cut

γ_s = unit weight of sand

H_s = height of sand layer

K_s = a lateral earth pressure coefficient for sand layer (≈ 1)

ϕ_s = angle of friction

q_u = unconfined compression strength of clay

n' = a coefficient progressive failure (ranges from 0.5 to one ; average value 0.75)

ค่าหน่วยน้ำหนักเฉลี่ย (The average unit weight), γ_a, ของชั้นดินสามารถหาได้ ดังนี้

$$\gamma_a = (1/H)\left[\gamma_s H_s + (H - H_s)\gamma_c \right]$$

Where γ_c = saturated unit weight of clay layer

หากว่าต้องการหาค่าความเชื่อมแน่นเฉลี่ยและหน่วยน้ำหนักเฉลี่ย (Average values of cohesion and unit weight) เพื่อใช้หาค่า pressure envelopes ในดินเหนียวสำหรับการออกแบบ cuts

$$C_{av} = (1/H)(C_1H_1 + C_2H_2 + \ldots + C_nH_n)$$

Where $C_1, C_2, \ldots, C_n$ = undrained cohesion in layers 1,2,...,n

$H_1, H_2, \ldots, H_n$ = thicknesses of layers 1,2,...,n

ค่าหน่วยน้ำหนักเฉลี่ย (The average unit weight), γ_a, ของชั้นดินสามารถหาได้ ดังนี้

$$\gamma_a = (1/H)(\gamma_1H_1 + \gamma_2H_2 + \ldots + \gamma_nH_n)$$

9.1.3 Design of Various Components of a Braced Cut

Struts

ในงานก่อสร้าง struts จะมีระยะห่างในแนวดิ่งอย่างน้อย 2.75 เมตร (ประมาณ 9 ฟุต) struts ทำหน้าที่เป็นเสาที่วางในแนวราบซึ่งจะรับโมเมนต์แอ่นตัว(Bending moment) ความสามารถในการรับน้ำหนักของ struts จะขึ้นอยู่กับค่า slenderness ratio, l/r สำหรับ cuts ที่มีความกว้างมากจำเป็นต้องมีการต่อประกบ struts เข้าด้วยกัน และสำหรับในกรณีที่ต้องทำ Braced cuts ใน clayey soils จะต้องกำหนดให้ struts ชิ้นแรกอยู่ต่ำกว่าผิวดินน้อยกว่าความลึกของ tensile crack, z_c

จากสมการ

$$\sigma a = \gamma Z K_a - 2cK_a^{1/2}$$

Where K_a = coefficient of Rankine active pressure

ซึ่งค่าของ tensile crack, z_c เป็นดังนี้

$$\sigma a = \gamma Z K_a - 2cK_a^{1/2}$$

หรือ

$$Z_c = 2c/\gamma K_a^{1/2}$$

เมื่อ $\phi = 0$, $K_a = \tan^2 (45 - \phi/2) = 1$ ดังนั้น

$$Z_c = 2c/\gamma$$

ขั้นตอนง่ายๆที่เน้นความปลอดภัย (a simplified conservative procedure) สามารถนำมาใช้ในการหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับ struts วิธีการนี้จะขึ้นอยู่กับวิศวกรที่เกี่ยวข้องกับโครงการ(the engineers involved in the project) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการวาด pressure envelope สำหรับ Braced cuts ที่ได้ทำการวางระดับ struts แล้ว รูปที่ 9.1.8a แสดง pressure envelope สำหรับ sandy soil อย่างไรก็ตามเราสามารถนำไปใช้ใน clay ได้โดยใช้ pressure envelope สำหรับ clayey soil ซึ่งในรูปนี้ระดับของ struts จะกำกับด้วยอักษร A, B, C และ D โดยที่ sheet piles (หรือ soldier beams)สามารถทำการสมมุติให้เป็นจุดหมุน (hinge) ที่ระดับ struts ต่างๆ ยกเว้น struts ตัวที่อยู่บนสุดและตัวที่อยู่

ล่างสุดของ cuts ใน รูปที่ 9.1.8a นี้ จุดหมุน (hinge)จะอยู่ที่ระดับ B และ C ของ struts (นักออกแบบบางท่านอาจจะสมมุติให้ sheet piles หรือ soldier beams เป็นจุดหมุน (hinge)ที่ struts ทุกระดับ ยกเว้นตัวบนสุด)

2.หาค่าแรงปฏิกิริยาที่กระทำกับ strutsโดยพิจารณาในลักษณะของคานยื่นอย่างง่าย (simple cantilever beams) คือ ช่วงบนกับช่วงล่าง และให้พิจารณา struts ที่เหลือในลักษณะของคานอย่างง่าย (simple beam) ใน รูปที่ 9.1.8b แสดงภาพของแรงปฏิกิริยา A, B_1, B_2, C_1, C_2 และ D

3. น้ำหนักบรรทุกของ struts (struts load) ใน รูปที่ 9.1.8 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P_A = (A)(s)$$

$$P_B = (B_1+B_2)(s)$$

$$P_c = (C_1+C_2)(s)$$

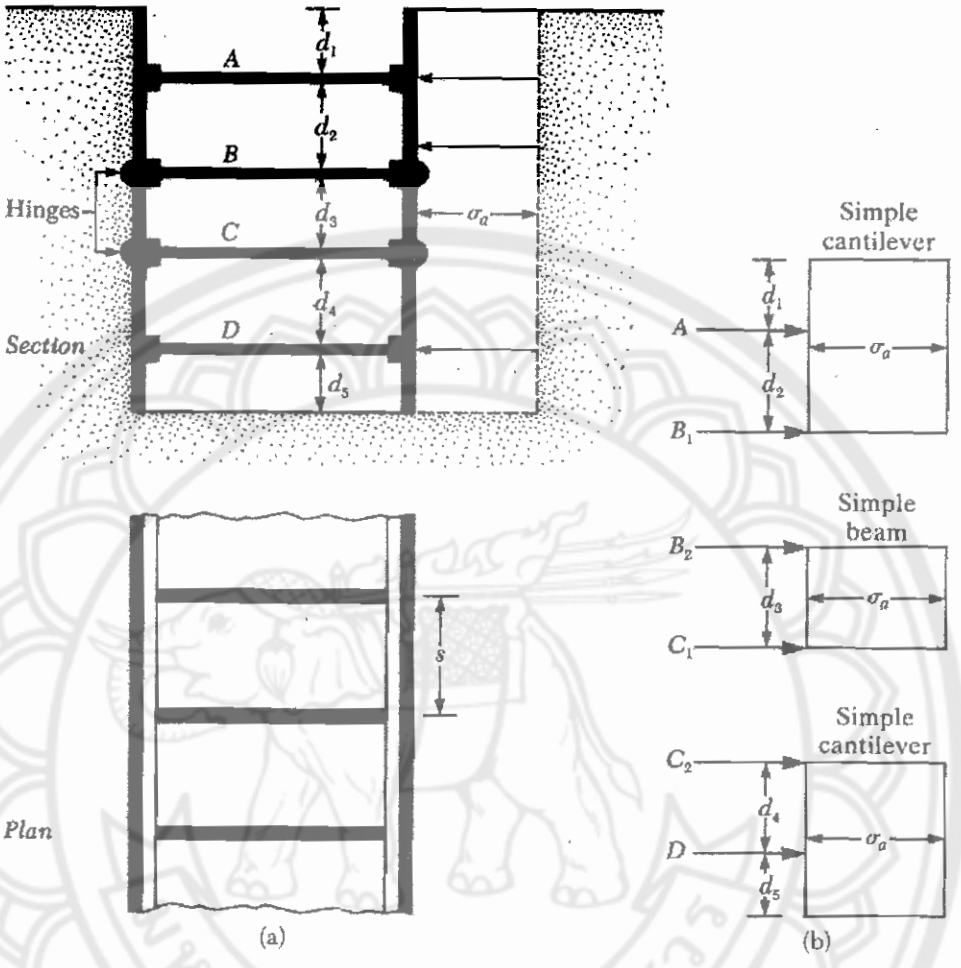
$$P_D = (D)(s)$$

เมื่อ P_A, P_B, P_c, P_D = น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับ struts แต่ละตัว ที่ระดับ A, B, C, และ D

A, B_1, B_2, C_1, C_2 และ D = ค่าแรงปฏิกิริยาที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 2 (หน่วยของแรงให้เป็น แรงต่อหนึ่งหน่วยความยาวของ Braced cuts)

S = ระยะห่างในแนวราบของ struts (ดูได้จากภาพด้านบนใน 9.1.8a)

4. เมื่อทราบน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อ struts แต่ละระดับแล้ว ภายใต้เงื่อนไขของการค้ำยันระหว่างกลาง (The intermediate bracing conditions) สามารถเลือกหน้าตัดของเหล็กได้โดยใช้คู่มือการก่อสร้างโครงสร้างเหล็ก (steel construction manual)



รูปที่ 9.1.8 Determination of strut loads

Sheet Piles

ในการออกแบบ Sheet Piles ควรทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.ให้หาค่าโมเมนต์สูงสุด (Maximum bending moment) สำหรับแต่ละหน้าตัดที่แสดงในรูปที่ 9.1.8b

2.พิจารณาเลือกใช้ค่ามากที่สุดเท่านั้นจากค่าโมเมนต์สูงสุดที่ได้จากขั้นตอนที่ 1

3.คำนวณค่า section modulus ของ sheet piles จากสมการ

$$S = M_{max} / \sigma_{all}$$

เมื่อ σ_{all} = allowable flexural stress ของ sheet pile material

4. sheet piles ที่นำมาใช้จะต้องมี section modulus มากกว่าหรือเท่ากับ section modulus ที่ต้องการ

Wales

1. Wales เป็นชิ้นส่วนที่มีลักษณะเป็นคานต่อเนื่องและสามารถรักษาสภาพดังกล่าวได้ถ้ามีการต่อประกบกันอย่างเหมาะสม โดยลักษณะทั่วไปแล้ว Wales จะมีจุดหมุน (pinned) ที่ struts สำหรับหน้าตัดที่แสดงใน รูปที่ 9.1.8a ค่าโมเมนต์สูงสุด (Maximum bending moment) สำหรับ Wales จะได้ดังนี้

$$\text{at level A, } M_{max} = \frac{(A)(s^2)}{8}$$

$$\text{at level B, } M_{max} = \frac{(B1+B2)(s^2)}{8}$$

$$\text{at level C, } M_{max} = \frac{(C1+C2)(s^2)}{8}$$

$$\text{at level D, } M_{max} = \frac{(D)(s^2)}{8}$$

เมื่อ A, B_1, B_2, C_1, C_2 และ D = ค่าแรงปฏิกิริยาที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 2 ของการออกแบบ struts (หน่วยของแรงให้เป็น แรงต่อหนึ่งหน่วยความยาวของ Braced cuts)

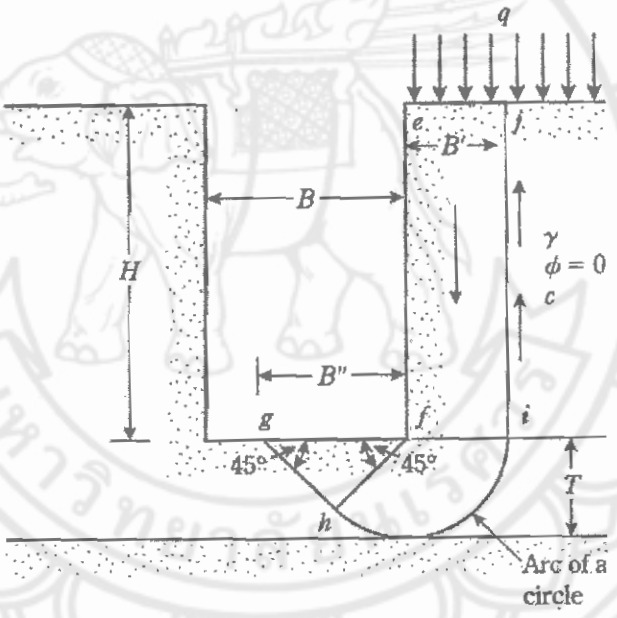
2. คำนวณค่า section modulus ของ Wales จากสมการ

$$S = M_{max} / \sigma_{all}$$

3.เลือกใช้ Wales ที่มี section modulus มากกว่าหรือเท่ากับ section modulus ที่ต้องการ

9.1.4 Bottom Heave of a Cut in Clay

Braced cuts ในชั้นดินเหนียวอาจจะเกิดภาวะไร้เสถียรภาพ (unstable) เนื่องมาจากผลของการปูดตัวของดินด้านล่างของงานดินขุด (heaving of the bottom of the excavation) ดังนั้น Terzaghi (1943) จึงได้ทำการวิเคราะห์ถึงค่าความปลอดภัย (factor of safety) ตลอดความยาวของงานดินขุดเพื่อต้านการการปูดตัวของดินด้านล่าง cuts โดยพื้นผิวการวิบัติของกรณีเช่นนี้จะเป็นลักษณะ homogeneous soil ซึ่งแสดงได้ในใน รูปที่ 9.1.9 ดังกล่าวจะใช้สัญลักษณ์ดังต่อไปนี้: B = ความกว้างของ cuts, H = ความลึกของ cuts, T= ความหนาของชั้นดินเหนียวใต้ฐานงานดินขุด และ q= น้ำหนักบรรทุกสมทบที่มีความสม่ำเสมอซึ่งอยู่ใกล้กับงานดินขุด



รูปที่ 9.1.9 Heaving in braced cuts

ความสามารถในการรับแรงแบกทานประลัย (The ultimate bearing capacity) ที่ฐานของ soil column ที่ความกว้าง B' ซึ่งสามารถหาได้โดย

$$q_u = cN_c$$

เมื่อ $N_c = 5.7$ (สำหรับฐานรากที่มีขรุขระสมบูรณ์)

น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งต่อหนึ่งพื้นที่ตลอดแนว *fi* คือ

$$q = \gamma H + q - cH/B'$$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัยที่ต้านการปูดตัว คือ

$$FS = q_u/q = \frac{cN_c}{\gamma H + q - (cH/B')}$$

$$= \frac{cN_c}{(\gamma + q/H - c/B')\,H}$$

สำหรับงานดินขุดที่มีช่วงความยาวจำกัด (limited length, L) สามารถปรับค่าสัดส่วนความปลอดภัย ได้ดังนี้

$$FS = \frac{cN_c\,(1 + 0.2\,B'/L)}{(\gamma + q/H - c/B')\,H}$$

เมื่อ B' = T หรือ $B / 2^{1/2}$ (ให้ใช้ค่าที่น้อยกว่า)

ในปี ค.ศ. 2000 Chang ได้เสนอแนะให้ปรับปรุงสมการในการหาค่าสัดส่วนความปลอดภัย ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการพิจารณาเพิ่มค่าความต้านทานแรงเฉือน (shearing resistance) ตามแนว ij อันจะทำให้เกิดการลดค่าน้ำหนักบรรทุกลงไป
2. ใน รูปที่ 9.1.9 เส้น fg คือความกว้าง B'' ที่ฐานของงานดินขุด ซึ่งรักษาสภาพ negatively footing ของฐานรากไว้
3. ค่าของ bearing capacity factor, N_c จะใช้ค่าเท่ากับ 5.14 (ไม่ใช่ 5.7) สำหรับฐานรากที่เป็นแบบราบเรียบสมบูรณ์ (perfectly smooth footing) ทั้งนี้ก็เนื่องจากไม่มีแรงเสียดทานบริเวณพื้นผิวที่ฐานของงานดินขุด

เมื่อทำการปรับปรุงสมการในการหาค่าสัดส่วนความปลอดภัยแล้วจะได้สมการรูปใหม่ดังนี้

$$FS = \frac{5.14c\,(1 + 0.2\,B''/L) + cH/B'}{\gamma H + q}$$

เมื่อ $B' = T$ ถ้า $T \leq B/2^{1/2}$

$B' = B/2^{1/2}$ ถ้า $T > B/2^{1/2}$

$B'' = 2^{1/2}B'$

Bjerrum และ Eide (1956) ได้ทำการรวบรวมจำนวนของกรณีที่ได้ทำการบันทึกไว้สำหรับการปูดตัวของ cut ใน clay Chang (2000) ได้ใช้ข้อมูลจากบันทึกนี้ในการคำนวณ FS โดยวิธีการที่ได้เสนอมาแล้ว สิ่งที่

Chang ค้นพบได้ถูกสรุปไว้ใน ตารางที่ 9.1.1 สำหรับค่าความปลอดภัยที่ได้แนะนำไว้คือ 1.5

ตารางที่ 9.1.1 Calculated Factors of safety for Selected Case Records Compiled by Bjerrum and Eide and Calculated by Chang

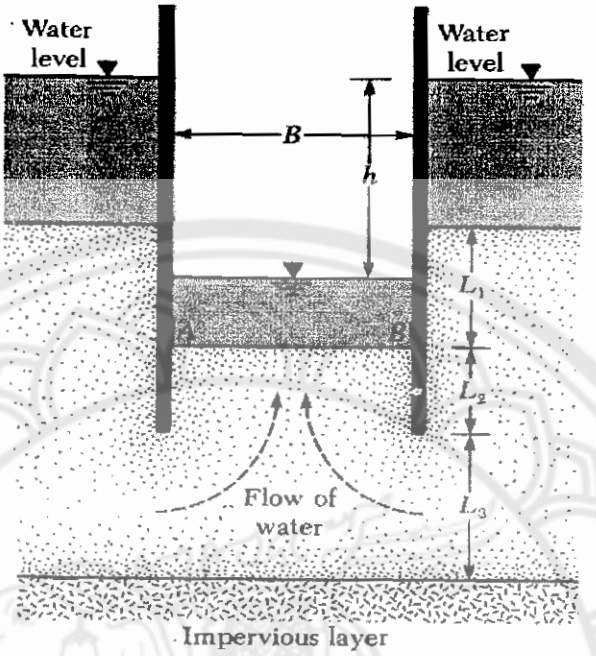
Site	B (m)	B/L	H (m)	H/B	γ (kN/m³)	c (kN/m²)	q (kN/m²)	FS [Eq. (10.14)]	Type of failure
Pumping station, Fornebu, Oslo	5.0	1.0	3.0	0.6	17.5	7.5	0	1.05	Total failure
Storehouse, Drammen	4.8	0	2.4	0.5	19.0	12	15	1.05	Total failure
Sewerage tank, Drammen	5.5	0.69	3.5	0.64	18.0	10	10	0.92	Total failure
Excavation, Grey Wedels Plass, Oslo	5.8	0.72	4.5	0.78	18.0	14	10	1.07	Total failure
Pumping station, Jernbanetorget, Oslo	8.5	0.70	6.3	0.74	19.0	22	0	1.26	Partial failure
Storehouse, Freia, Oslo	5.0	0	5.0	1.00	19.0	16	0	1.10	Partial failure
Subway, Chicago	16	0	11.3	0.70	19.0	35	0	1.00	Near failure

สำหรับดินเหนียวที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous clay) ถ้า FS มีค่าน้อยกว่า 1.5 ให้ทำการตอก sheet pile ให้ลึกลงกว่าเดิม โดยปกติแล้วค่าความลึก d จะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ B/2 ในกรณีค่าแรง(P) ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของการฝัง sheet pile (aa' และ bb') จะเป็นดังนี้ (U.S. Department of the Navy,1971)

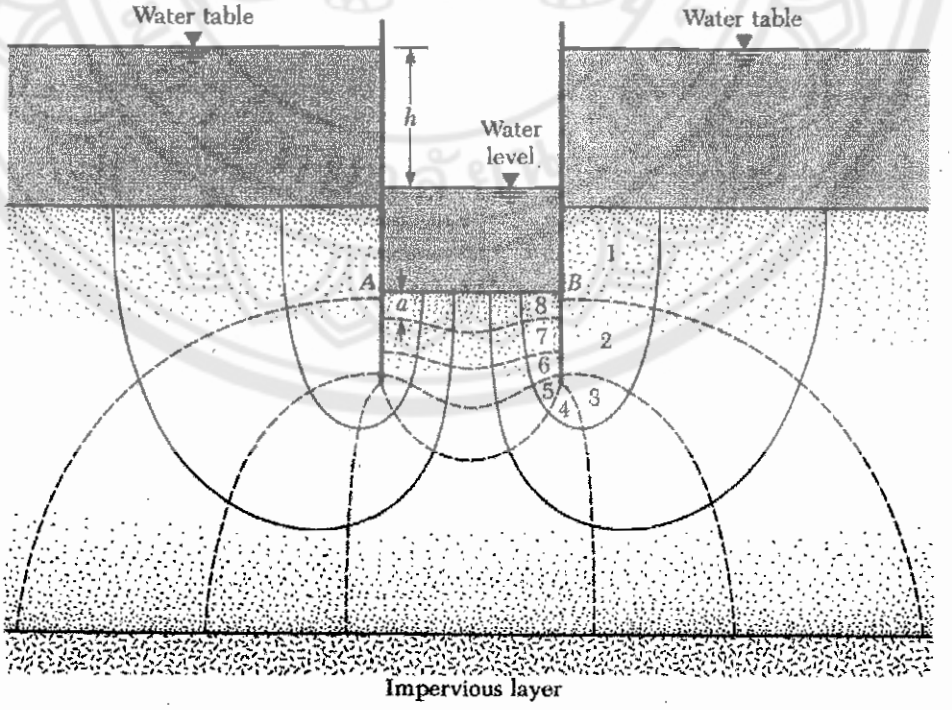
$$P = 0.7\,(\gamma HB - 1.4cH - \pi cB) \qquad \text{สำหรับ } d > 0.47B$$

และ

$$P = 1.5\,d\,(\gamma H - 1.4cH/B - \pi c) \qquad \text{สำหรับ } d < 0.47B$$



รูปที่ 9.1.10 Stability of the bottom of a cut in sand



รูปที่ 9.1.11 Determining the factor of safety against piping by drawing a flow net

9.2 โจทย์ทบทวนความรู้ ความเข้าใจในหลักการพื้นฐานของเนื้อหาที่เรียน

1. Braced cuts มีกี่ประเภท อะไรบ้าง

   ตอบ 2 ประเภท คือ Soldier beam type และ Interlocking sheet piles

2. แรงดันดินด้านข้างของการก่อสร้าง Braced cuts จะขึ้นอยู่กับสิ่งใดบ้าง

   ตอบ 1. ชนิดของดิน (type of soil)
   2. วิธีการก่อสร้าง (construction method)
   3. ชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ (equipment used)

3. หน้าที่ของ struts คืออะไร

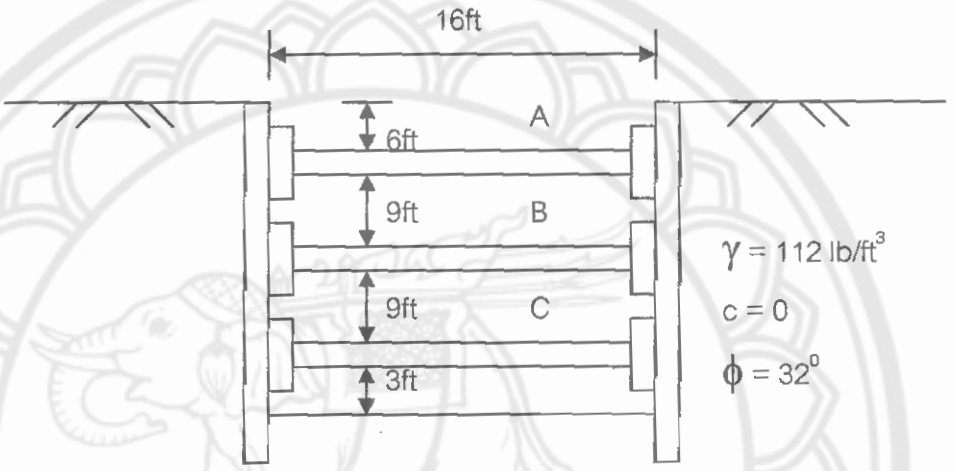
   ตอบ struts ทำหน้าที่เป็นเสาที่วางในแนวราบซึ่งจะรับโมเมนต์แอ่นตัว(Bending moment)

4. Wales คืออะไร มีลักษณะเป็นอย่างไร

   ตอบ Wales เป็นชิ้นส่วนที่มีลักษณะเป็นคานต่อเนื่องและสามารถรักษาสภาพดังกล่าวได้ถ้ามีการต่อประกบกันอย่างเหมาะสม

9.3 โจทย์ทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้ความรู้

1. ในการก่อสร้าง braced cuts ซึ่งแสดงตามรูป 9.3.1 ตำแหน่งของ struts วางห่างกัน 12 ft ในฐานะวิศวกรผู้ออกแบบ จงเขียน earth pressure envelope และหา strut loads ที่ระดับ A, B และ C.



รูปที่ 9.3.1 Cross-section ของ Braced Cuts

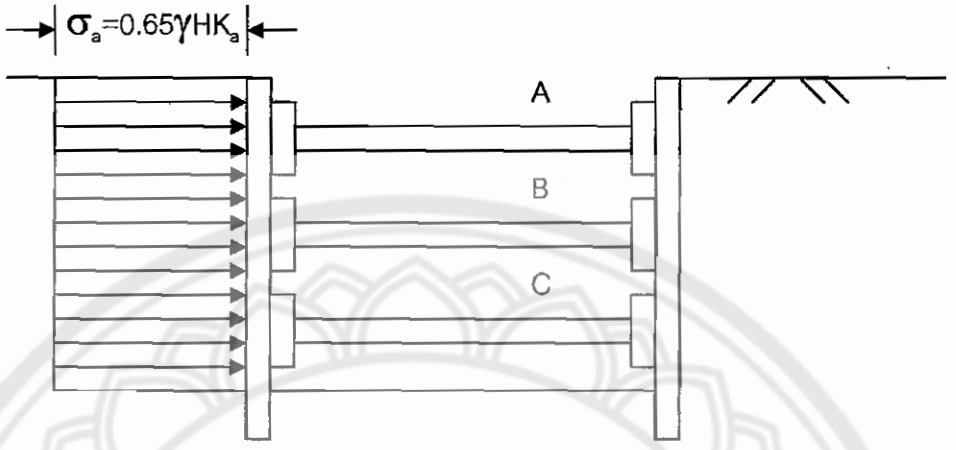
วิธีทำ

Step1 หา Soil Properties จะได้

$\gamma = 112\ lb/ft^3$, $c = 0$, $\phi = 32^0$

Step2 ตรวจสอบว่าชั้นดินเป็น medium to soft clay หรือ stiff clay หรือเป็น sand เนื่องจาก $c = 0$ ดังนั้นจึงใช้ earth pressure envelopes สำหรับ sand

Step3 เขียน pressure envelopes for cuts in sand ได้

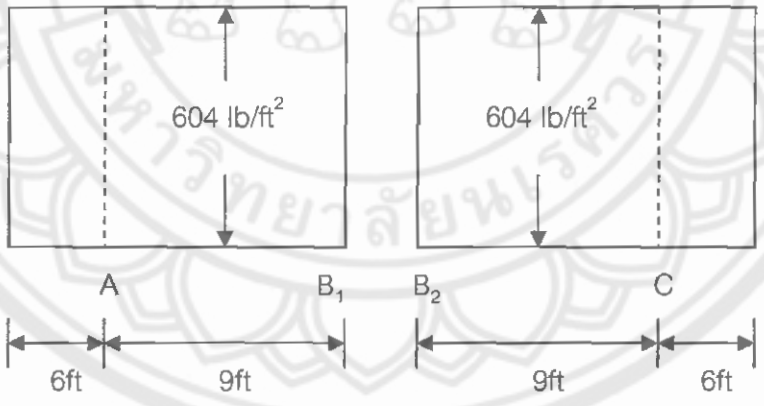


σ_a = $0.65\gamma HK_a$

= $0.65(112)(27)[\tan^2(45-32^0/2)]$

= 604 lb/ft^2

Step4 หาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ



Step5 หาผลรวมโมเมนต์รอบจุด B_1 ($\sum M_{B_1} = 0$) และ

$A(9)-(604)(6+9)(6+9)/2 = 0$

$A = 7550$ lb/ft

$B_1 = (604)(6+9)-7550$

$= 1510$ lb

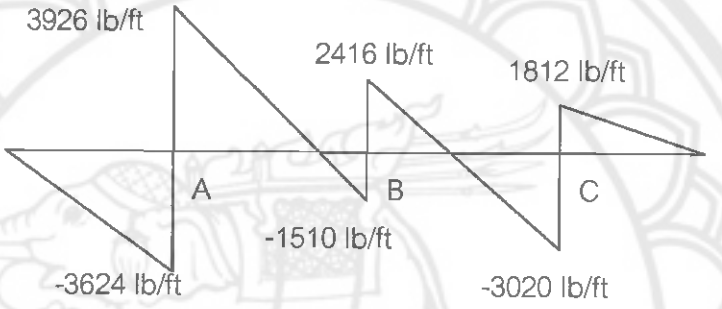
Step6 หาผลรวมโมเมนต์รอบจุด B_2

$C(9)-604(9+3)(9+3)/2 = 0$

$C = 4832$ lb/ft

$B_2 = (604)(6+3)-4832 = 2416$ lb/ft

Step7 เขียน shear force diagram



ดังนั้น

Strut load at A = (7550)(12)

= 90600 lb/ft

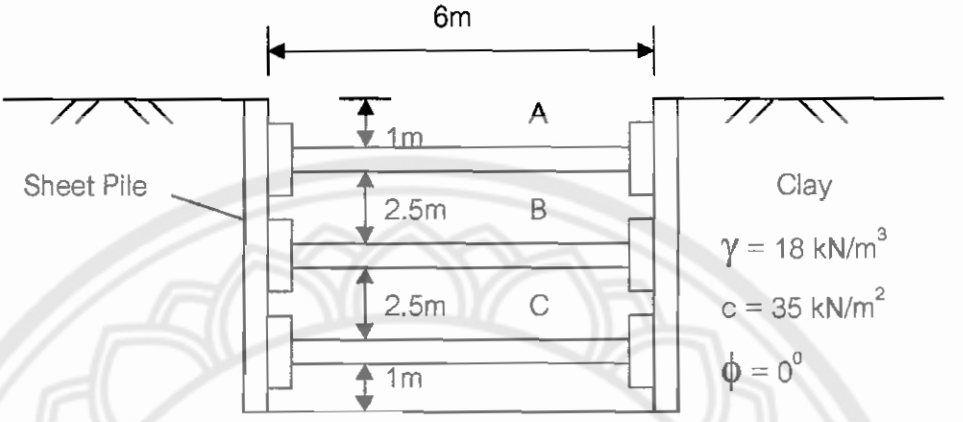
B = (1510+2416)(12)

= 47112 lb/ft

C = (4832)(12)

= 57984 lb/ft

9.4 โจทย์ทดสอบความสามารถในการนำความรู้ไปใช้ในการทำงานจริง



รูปที่ 9.4.1 รูปตัดด้านข้างของ Braced Cuts

1. โครงการก่อสร้างลานจอดรถใต้ดินแห่งนี้จำเป็นต้องมีการก่อสร้าง Braced Cuts จากหน้าตัดของ Braced Cuts ที่แสดงในรูป ในฐานะวิศวกรของบริษัท กรุณา
   a) จงวาด the earth pressure envelope.
   b) จงหาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับ strut ที่ระดับ A, B และ C
   c) จงหา section modulus ของ sheet pile ที่ต้องการ
   d) จงหา section modulus ที่ต้องการของ Wales ที่ระดับ B

   (หมายเหตุ struts วางห่างกัน 3 เมตร (center-to-center))

   σ_{all} = $170*10^3$ kN/m^2

วิธีทำ Part a

Step 1 Find Soil Properties

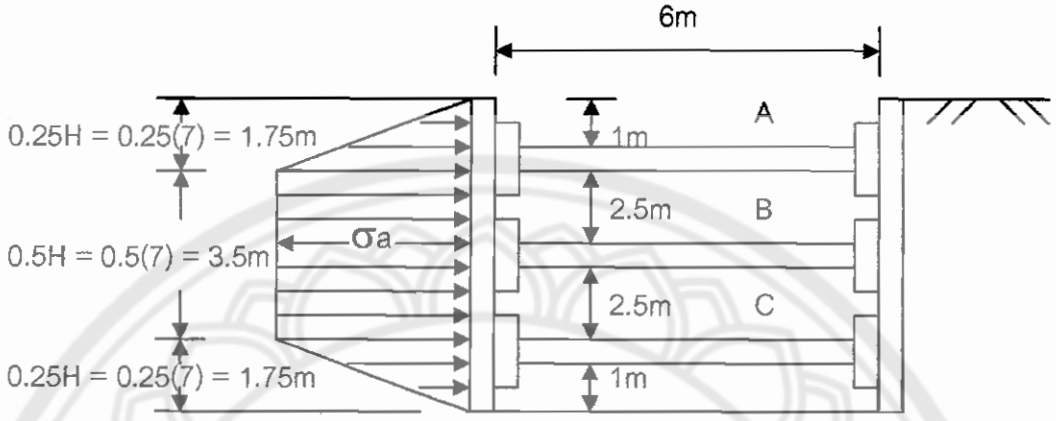
เราได้ γ = 18 kN/m^3

C = 35 kN/m^2

Step 2 ตรวจสอบว่าเป็น Medium หรือ Stiff Clay จากสมการ (เมื่อ H = 7m)

$\gamma H/c$ = (18)(7)/35 = 3.6 < 4 เป็น stiff clay

Step 3 ดังนั้น Earth pressure envelope จึงเขียนได้ดังนี้

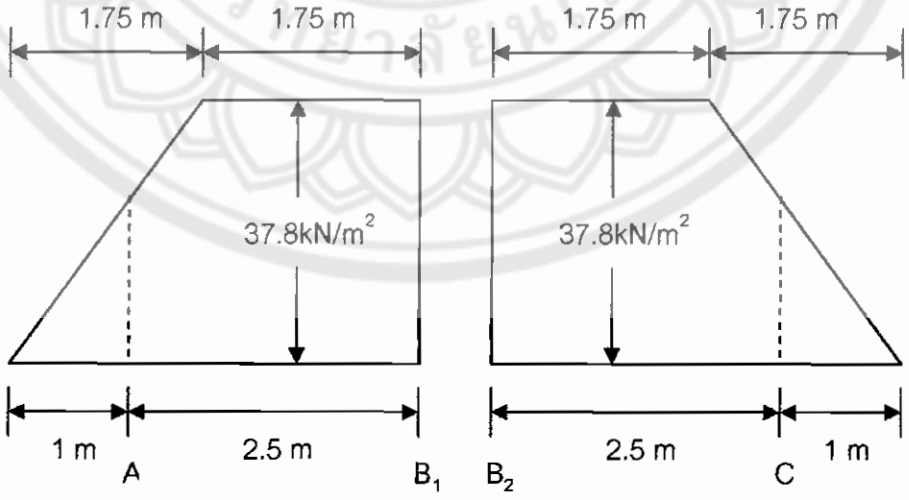


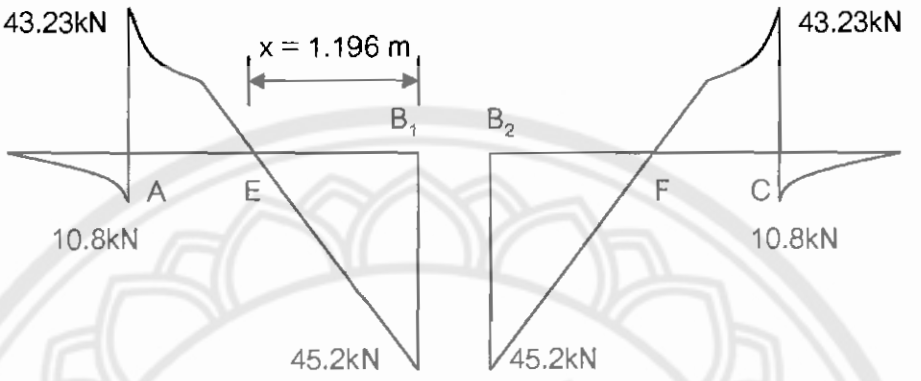
$\sigma a = 0.3\gamma H$

$= 0.3(18)(7) = 37.8\ kN/m^2$

Part b

Step 1 ในการคำนวณหาค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำบน strut ให้ใส่โมเมนต์รอบจุด B_1 เราได้ $\Sigma M_{B1} = 0$





A(2.5)-(1/2)(37.8)(1.75)(1.75+1.75/3)-(1.75)(37.8)(1.75/2) = 0

เราได้ A = 54.02 kN/m

รวมแรงในแนวดิ่ง (Σvertical forces = 0) ดังนั้น

½(1.75)(37.8)+(37.8)(1.75) = $A+B_1$

B_1 = 33.08 + 66.15 –A

B_1 = 45.2 kN/m

เนื่องจาก Shear Diagrams มีลักษณะสมมาตร

B_2 = 45.2 kN/m

และ

C = 54.02 kN/m

Step 2 ดังนั้น น้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับ struts ที่แต่ละระดับ

P_A = 54.02 x horizontal spacing, s = 54.02*3 = 162.06 kN

P_B = $(B_1+B_2)3$ = (45.2+45.2)3 = 271.2 kN

P_c = 54.02*3 = 162.06 kN

Part c ที่ด้านซ้ายมือของรูป สำหรับที่ตำแหน่งโมเมนต์สูงสุดแผนภาพแรงเฉือนจะเป็นศูนย์ โดยทั่วไปแล้วแผนภาพแรงเฉือนที่จุด E สามารถหาได้โดย

x = reaction at B_1/37.8

= 45.2/37.8 = 1.196m

ขนาดของโมเมนต์ที่ตำแหน่ง A = ½(1)(37.8*1/1.75)(1/3)

= 3.6 kN-m/meter of wall

และ ขนาดของโมเมนต์ที่ตำแหน่ง E = (45.2*1.196)-(37.8*1.196)(1.196/2)

= 54.06-27.03

= 27.03 kN-m/meter of wall

เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจากหน้าตัดจากซ้ายไปขวาจะเหมือนกันดังนั้นขนาดของโมเมนต์ที่ F และ C จะเหมือนกัน กับขนาดของโมเมนต์ที่ตำแหน่ง E และ A ดังนั้นค่าโมเมนต์สูงสุด จะเท่ากับ 27.03 kN-m/meter of wall

นั่นคือ section modulus ของ sheet piles จะเท่ากับ

$S = M_{max}/\sigma_{all} = 27.03 \text{ kN-m}/170*10^3 \text{ kN/m}^2$

$= 15.9*10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}$ of the wall

Part d ค่าแรงปฏิกิริยาที่ระดับ B ที่ได้ทำการคำนวณจาก Part b ดังนั้น

$Mmax = (B_1+B_2)s^2/8$

$= (45.2+45.2)3^2/8$

= 101.7 kN-m

และ Section modulus, $S = 101.7/\sigma_{all}$

$= 101.7/(170*1000)$

$= 0.593*10^{-3} \text{ m}^3$