บทที่ 8
กำแพงกันดินแบบเสาเข็มพืด
(Sheet Pile Walls)

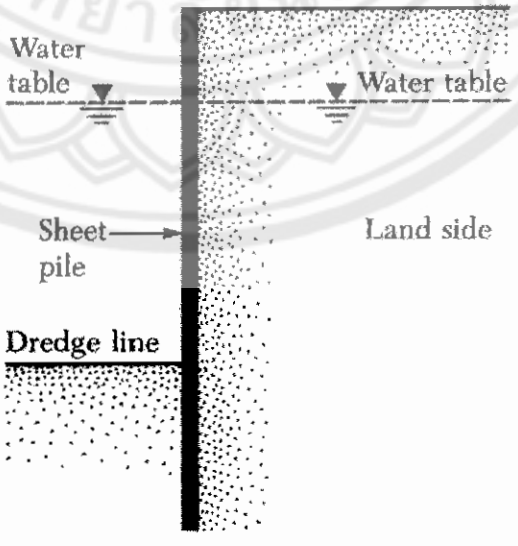
8.1 เนื้อหาโดยย่อ

กำแพงกันดินแบบเสาเข็มพืด เป็นโครงสร้างกันดินแบบหนึ่งที่ใช้แผ่นเหล็กหรือคอนกรีตเสริมเหล็กหรือไม้ตอกฝังลึกลงไปในดินต่อกันเป็นแนวยาวตามแนวดิน โดยทั่วไปมักจะใช้เป็นโครงสร้างกันดินและน้ำ ซึ่งเป็นงานก่อสร้างชั่วคราว หรือการขุดและถมดินที่มีความลึกไม่มากนัก

รูปแบบของ Sheet Pile Walls มีด้วยกันหลายแบบ คือ

8.1.1 Cantilever Sheet Pile Walls เป็นการตอกผนังกันดินให้จมลงไปในดินในระยะที่พอให้ปลายล่างของผนังยึดแน่นกับดิน

8.1.2 Anchored Sheet Pile Walls มีลักษณะคล้ายแบบ Cantilever Sheet Pile Walls แต่เพิ่มการใช้ Anchor หรือ Tie Rod เป็นตัวยึดส่วนบนของผนังเข้ากับดินหรือวัสดุที่มีน้ำหนักถ่วงเอาไว้ ซึ่งเรียกว่า Anchor Bulkhead



รูปที่ 8.1.1 Sheet Pile Walls

โดยทั่วไปในงานก่อสร้าง Sheet Pile Walls มักนิยมใช้ Granular Soil เป็นดินถมหลังกำแพง และดินส่วนที่อยู่ต่ำกว่าแนวดินขุด (Dredge Line) อาจเป็น Sandy หรือ Clayey Soil มักจะเรียกดินถมหลังกำแพง ตลอดจนดินเดิมหลังกำแพงว่า Land Side และบริเวณดินด้านหน้ากำแพงว่า Water Side โดยมีผิวดินขุดเรียกว่า Mud หรือ Dredge Line

ในงานก่อสร้าง Sheet Pile Walls มีลำดับขั้นตอนที่แตกต่าง 2 วิธี คือ

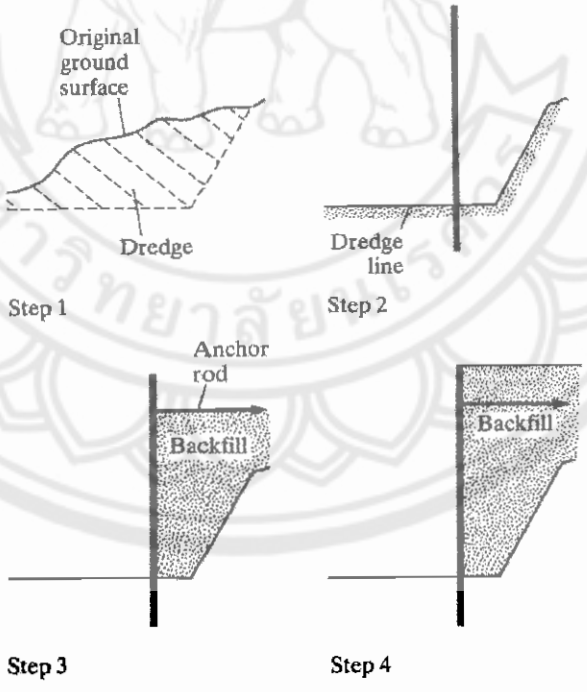
1 Backfilled Structures มีลำดับขั้นตอนในงานก่อสร้าง ตามรูปที่ 8.1.2 ดังนี้

1.1 ขุดดินเดิมด้านหน้าและด้านหลังของแบบ Sheet Pile Walls

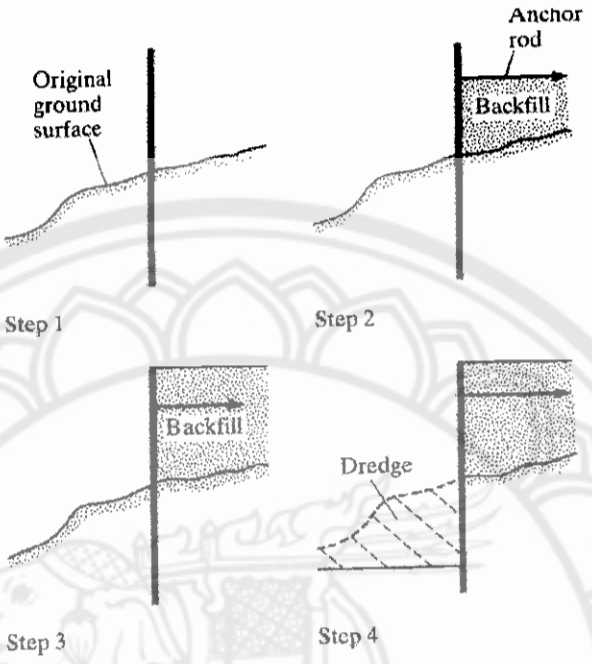
1.2 ตอกฝัง Sheet Pile ลงไปในดิน

1.3 ถมดินด้านหลังของกำแพงขึ้นมาจนถึงระดับ Anchored Bulkhead และ ดำเนินการติดตั้ง Anchor

1.4 ถมดินด้านหลังกำแพงขึ้นมาจนถึงระดับผิวบนของกำแพง และถ้าเป็น Cantilever Sheet Pile Walls มีเพียงขั้นตอนที่ 1.1 , 1.2 และ 1.4



รูปที่ 8.1.2 แสดงขั้นตอนในการสร้าง Sheet Pile Walls โดยวิธี Backfilled Structure



รูปที่ 8.1.3 แสดงขั้นตอนในการสร้าง Sheet Pile Walls โดยวิธี Dredged Structure

2 Dredged Structure มีลำดับขั้นตอนในงานก่อสร้างตามรูปที่ 8.1.3 ดังนี้

2.1 ตอกฝัง Sheet Pile Walls ลงไปในดินเดิม

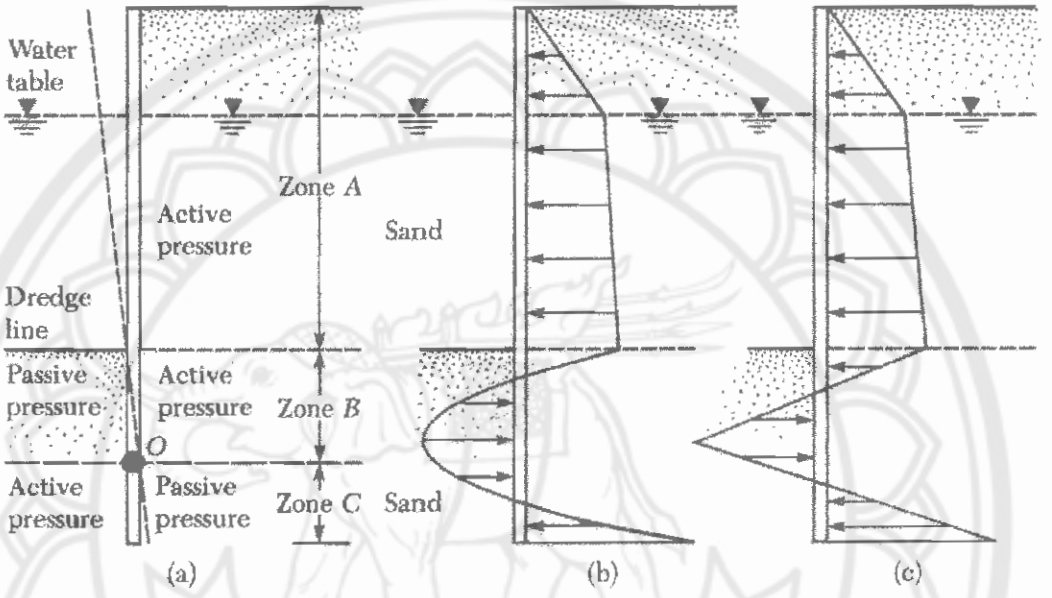
2.2 ถมดินด้านหลังกำแพงขึ้นมาจนถึงระดับของ Anchor และดำเนินการติดตั้ง Anchor

2.3 ถมดินด้านหลังของกำแพงขึ้นมาจนถึงระดับบนของกำแพง

2.4 ขุดดินด้านหน้าของกำแพงลงมาจนถึงระดับ Dredge Line ถ้าเป็น Cantilever Sheet Pile Walls มีเพียงขั้นตอนที่ 2.1 , 2.3 และ 2.4 เท่านั้น

8.1.1 การออกแบบ Cantilever Sheet Pile Walls

Cantilever Sheet Pile Walls เป็นแบบของผนังกันดินในระดับความสูงของกำแพงกันดินส่วนที่เหนือ Dredge Line ไม่มากกว่า 6 เมตร และมีลักษณะเป็นเหมือนคานยื่นบน Dredge Line



รูปที่ 8.1.4 แสดงลักษณะของ Cantilever Sheet Pile ในดินทราย (c = 0)

รูปที่ 8.1.4 แสดงถึงลักษณะของ Net Lateral Pressure หรือแรงดันด้านข้างสุทธิของดินบน Cantilever Sheet Pile Walls ฝังใน Sandy Soil โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. เนื่องจากระดับน้ำทั้งในด้าน Land Side และ Water Side เท่ากัน จึงไม่คิดแรงดันน้ำใน Net Lateral Pressure บน Sheet Pile Walls แต่สำหรับในงานจริงระดับน้ำทั้งสองด้านไม่อาจจะเท่ากันได้ ดังนั้นจึงควรคิดแรงดันน้ำใน Net Lateral Pressure บน Sheet Pile Walls ด้วย
2. กำแพงหมุนรอบจุด O
3. พิจารณา Stress เป็น Effective Stress
4. บริเวณ zone A พิจารณาแรงดันด้านข้างของดินหลังกำแพงเป็น Active Earth Pressure
5. บริเวณ zone B พิจารณาแรงดันด้านข้างของดินด้าน Land Side หรือหลังกำแพงเป็น Active Earth Pressure และด้าน Water Side หรือหน้ากำแพงเป็น Passive Earth Pressure

6. บริเวณ zone C พิจารณาแรงดันด้านข้างของดินด้าน Land Side หรือหลังกำแพงเป็น Passive Earth Pressure และด้าน Water Side หรือหน้ากำแพงเป็น Active Earth Pressure โดยที่จะเปลี่ยนสภาพจาก zone B เป็น zone C ที่จุด O

ลักษณะของ Net Lateral Earth Pressure Distribution ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติดังแสดงในรูปที่ 8.1.4 (b) และสำหรับงานออกแบบจะตามรูปที่ 8.1.4 (c) แต่ควรจะระวังในการคำนวณ Lateral Earth Pressure ที่ระดับของน้ำใต้ดินซึ่งจะต้องให้มีระดับคงที่เสมอ ซึ่งในงานจริงแล้วเป็นไปไม่ได้ที่ระดับน้ำจะเท่ากันเสมอ

สรุปขั้นตอนการออกแบบ Cantilever Sheet Pile Walls แบบที่ระดับน้ำไม่เท่ากัน มีดังนี้ คือ

ขั้นตอนที่ 1 สมมติค่า Pile Length

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่า $K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$

$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า $\sigma_{v1} = \gamma_1 H_1$

$\sigma_{v2} = (\gamma_1 H_1) + (\gamma_2 H_2)$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่า $U_1 = \gamma_w H_1$

$U_2 = \gamma_w H_1 + \gamma_w H_2$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่า $\sigma'_{v1} = \sigma_{v1} - U_1$

$\sigma'_{v2} = \sigma_{v2} - U_2$

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่า $\sigma'_{h1} = \sigma'_{ha} = \sigma'_{v1}K_a - 2CK_a^{1/2}$

หรือ $\sigma'_{hp} = \sigma'_{v1}K_p + 2CK_p^{1/2}$

$\sigma'_{h2} = \sigma'_{ha} = \sigma'_{v1}K_a - 2CK_a^{1/2}$

หรือ $\sigma'_{hp} = \sigma'_{v1}K_p + 2CK_p^{1/2}$

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณค่า $\sigma_{h1} = \sigma'_{h1} + U_1$

$\sigma_{h2} = \sigma'_{h2} + U_2$

ขั้นตอนที่ 8 นำค่า σ_h ของ LHS และ RHS มารวมกัน โดย LHS จะมีค่าติดลบ แล้วจะได้เป็น Net P

ขั้นตอนที่ 9 นำ Net P ไปเขียนเป็น Pressure Diagram แล้วคำนวณหา Area จะได้เป็น Net Force

ขั้นตอนที่ 10 คำนวณหา Net Moment จาก Pressure Diagram

ขั้นตอนที่ 11 คำนวณค่า D โดย D ที่ได้จากการคำนวณจะต้องคูณด้วย Factor of Safety ประมาณ 1.2-1.4

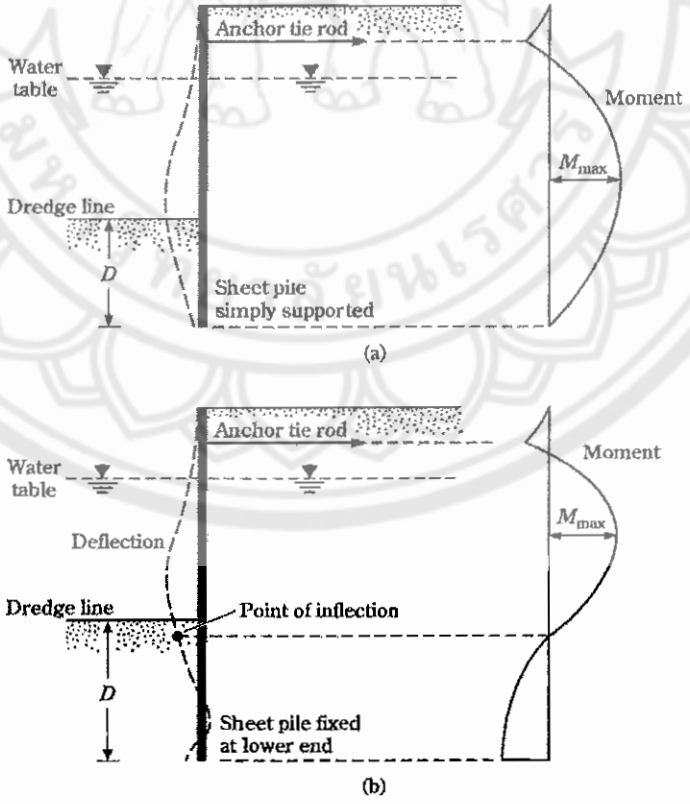
ขั้นตอนที่ 12 เขียน Load Diagram , Shear Force Diagram , Bending Moment Diagram จะได้ M_{max}

ขั้นตอนที่ 13 คำนวณค่า S = Section Modulus = M_{max}/σ_{all} แล้วนำไปเลือก Section Modulus

เมื่อ σ_{all} = Allowable Flexural Stress ของ Sheet Pile Walls

8.1.2 การออกแบบ Anchored Sheet Pile Walls

Anchored Sheet Pile Walls เป็นผนังกันดินแบบหนึ่งที่มีลักษณะเหมือน Cantilever Sheet Pile Walls แต่มีการเพิ่ม Tie Rod ยึดกำแพงส่วนบนเข้ากับ Anchor Plates หรือ Anchor Walls หรือ Anchor Piles ทำให้ระยะที่ฝังในดินได้มากกว่า 6 เมตร และจากการออกแบบระบบ Anchor นี้ ทำให้ลดขนาดกับน้ำหนักของ Sheet Pile และลดระยะที่ฝังในดินด้วย วิธีการในการออกแบบ มี2วิธี ดังนี้



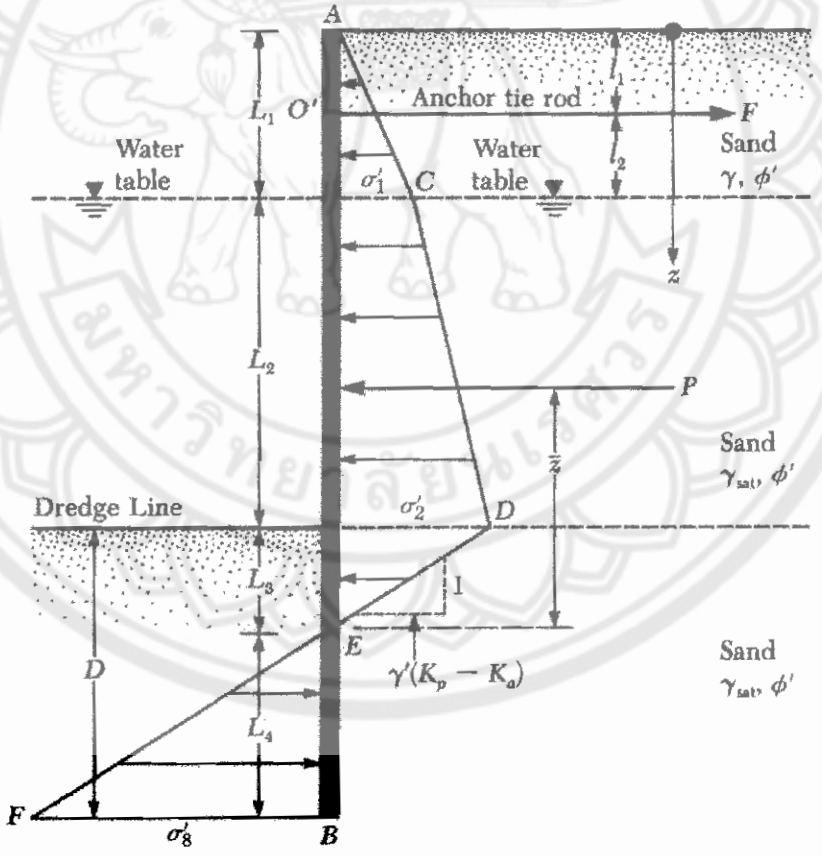
รูปที่ 8.1.5 ลักษณะของการเกิดโมเมนต์ และการโก่งตัวบน Anchored Sheet Pile Walls เมื่อวิเคราะห์โดย (a) วิธี Free Earth Support และ (b) วิธี Fixed Earth Support

8.1.2.1 วิธี Free Earth Support

รูปที่ 8.1.5 (a) แสดงถึง Moment Diagram และลักษณะการโก่งตัวของ Anchored Sheet Pile Walls ด้วยFree Earth Support Method ซึ่งเป็นวิธีการที่จะลดระยะที่ฝังลงไปในดิน และไม่มี pivot point ในระดับที่ต่ำกว่า Dredge Line

8.1.2.1.1 กรณีฝังในดินประเภท Sandy หรือ Granular Soil (c = 0)

รูปที่ 8.1.6 แสดงถึง Net Earth Pressure Diagram ของดิน Granular Soil ซึ่งเป็นดินถม หลังกำแพง และมีค่า cohesion เท่ากับศูนย์กับดินต่ำกว่า Dredge Line เป็น Sandy หรือ Granular Soil ที่มีค่า cohesion เท่ากับศูนย์ โดยยึดกำแพงเข้ากับ Anchor ด้วย Tie Rod ที่ระยะต่ำกว่าผิวของดินถม เท่ากับ l_1



รูปที่ 8.1.6 แสดง Net Pressure Diagram บน Anchored Sheet Pile ในดินทราย (c = 0)

รายละเอียดของสมการที่ใช้ในการคำนวณ จากวิธี Free Earth Support มีดังนี้

(1) **ที่ระดับความลึกเท่ากับ** L_1

$$P_1 = \gamma L_1 K_a$$

(2) ที่ระดับความลึกเท่ากับ $L_1 + L_2$

$$P_2 = (\gamma L_1 + \gamma_{sub} L_2) K_a$$

เมื่อ $\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$

(3) ระยะที่ต่ำกว่า Dredge Line ลงมาเท่ากับ L_3 ค่า Net Earth Pressure มีค่าเท่ากับศูนย์

$$L_3 = p2/\gamma'(K_p - K_a)$$

(4) ที่ระดับความลึก $L_1 + L_2 + L_3 + L_4$

$$P_8 = \gamma'(K_p - K_a) L_4$$

เมื่อความลาดชันของเส้นตรง DEF คือ $1/\gamma'(K_p - K_a)$

(5) จาก Static Equilibrium

Σ Horizontal Forces = 0

พื้นที่ของ Pressure Diagram รูป ACDE – พื้นที่ EBF –F = 0

$P - \frac{1}{2} p_8 L_4 - F = 0$

หรือ $F = P - \frac{1}{2} [(\gamma'(K_p - K_a))] L_4^2$

เมื่อ P = พื้นที่รูป ACDE

F = Tension ใน Tie Rod ต่อหน่วยความยาวของกำแพง

(6) จาก Static Equilibrium

Σ Moment รอบ O' ที่จุด Tie Rod = 0

$$-P[(L_1 + L_2 + L_3) - (z + l_1)] + \tfrac{1}{2} [\gamma'(K_p - K_a)] L_4^2 (l_2 + L_2 + L_3 + 2/3\, L_4) = 0$$

หรือ $L_4^3 + 1.5 L_4^2 (l_2 + L_2 + L_3) - 3P[(L_1 + L_2 + L_3) - (z + l_1)] / [\gamma'(K_p - K_a)] = 0$

(7) **ระยะฝังในดิน, D, ตามทฤษฎี**

$$D = L_3 + L_4$$

แต่ตามความเป็นจริง มักจะเพิ่มระยะ D อีก 30-40% คือ

D_{actual} = 1.3 ถึง 1.4 D

ถ้าหาค่า Kp ด้วย Factor of safety เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาระยะไม่ต้องเพิ่มค่า D จากการคำนวณ

(8) การหาค่า Maximum Bending Moment ที่เกิดขึ้น

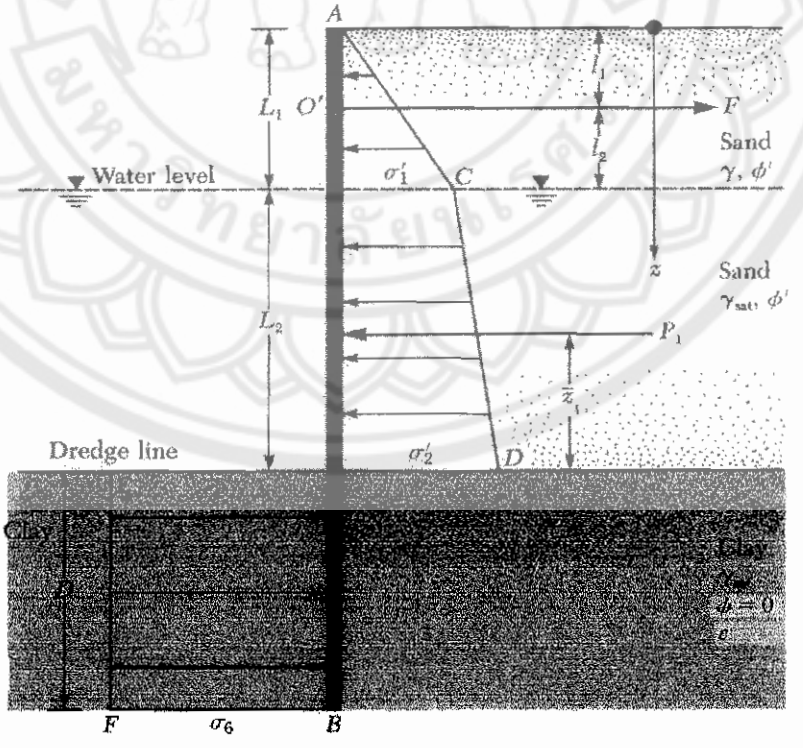
สำหรับ Anchored Sheet Pile Walls ตามวิธี Free Earth Support ตำแหน่งที่เกิดค่าโมเมนต์สูงสุดอยู่ที่ระหว่างระดับความลึก L_1 และระดับความลึก $(L_1 + L_2)$ จากหลักการที่ตำแหน่ง Shear Force เท่ากับศูนย์ คือ ตำแหน่งของ Maximum Bending Moment นั่นคือ

$$\tfrac{1}{2} p_1 L_1 - F + p_1(z - L_1) + \tfrac{1}{2} K_a \gamma'(z - L_1)^2 \quad = \quad 0$$

เมื่อ z คือ ระยะความลึกต่ำกว่าผิวของดินถมที่เกิดค่า Shear Force เท่ากับศูนย์

8.1.2.1.2 กรณีฝังในดินเหนียว หรือ Clayey Soil ที่มีค่า ϕ เท่ากับศูนย์

รูปที่ 8.1.7 แสดง Net Earth Pressure Diagram ของ Granular หรือ Sandy Soil ซึ่งเป็นดินถมหลังกำแพงที่มีค่า Cohesion เท่ากับศูนย์ และของ Clayey Soil ซึ่งเป็นดินส่วนที่ต่ำกว่า Dredge Line รายละเอียดของสมการในการคำนวณออกแบบ มีดังนี้



รูปที่ 8.1.7 แสดง Net Earth Pressure Diagram บน Anchored Sheet Pile ในดินทราย (c = 0) และดินเหนียว (ϕ = 0)

(1) ค่าของ Earth Pressure

$p_1 = \gamma L_1 K_a$

$p_2 = (\gamma L_1 + \gamma_{sub} L_2) K_a$

(2) ดินส่วนที่อยู่ที่ระดับต่ำกว่า Dredge Line ลงมาเท่ากับ D

ดินด้าน Land Side, Active Earth Pressure $p_a = (\gamma L_1 + \gamma' L_2 + \gamma_{sat} D) - 2c$

ดินด้าน Water Side, Passive Earth Pressure $p_p = \gamma_{sat} D + 2c$

$P_6 = p_p - p_a = 4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$

(3) จาก Static Equilibrium

Σ Horizontal Forces = 0

$P_1 - p_6 D$ = F

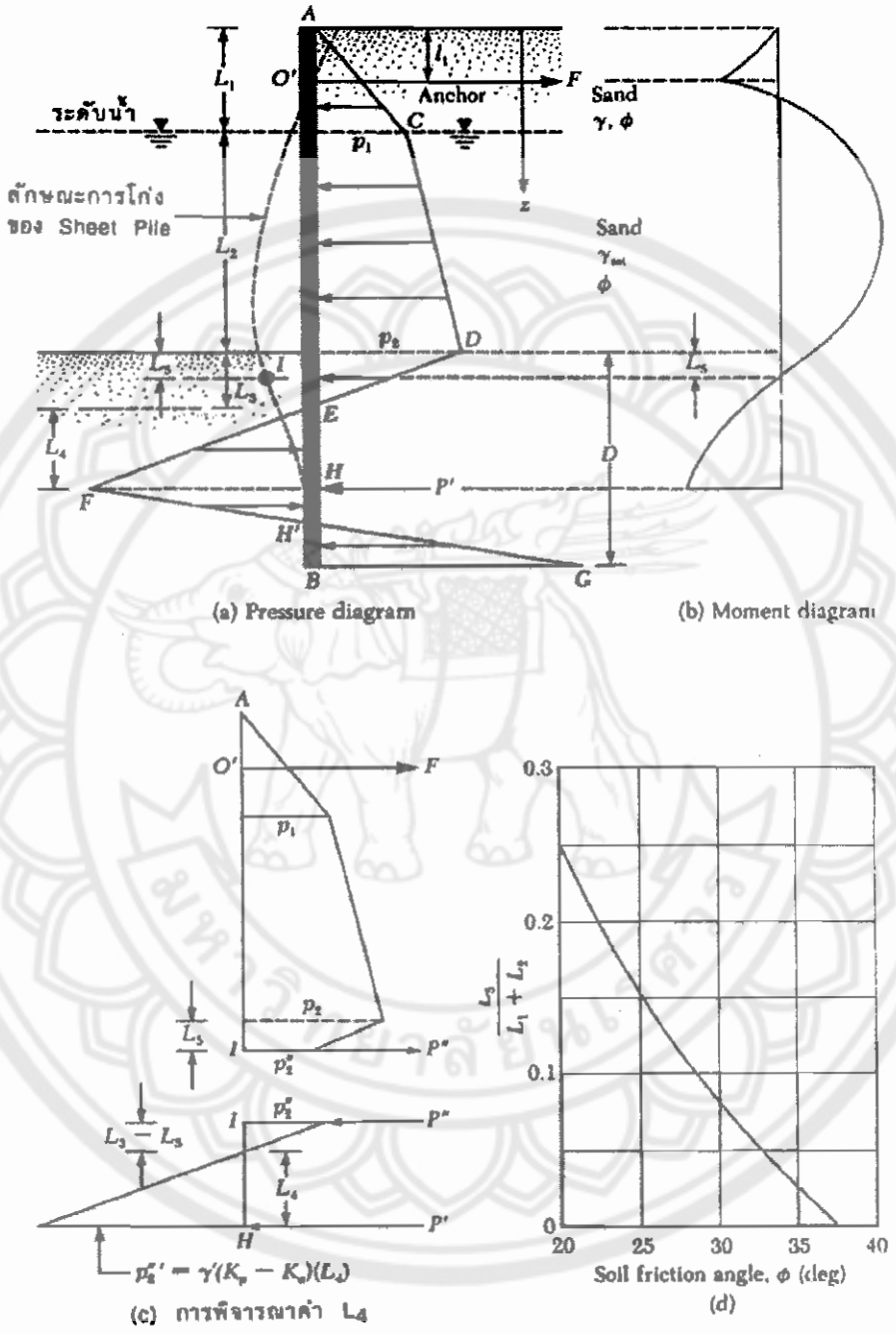
เมื่อ P_1 = พื้นที่รูป ACD

(4) จาก Static Equilibrium

Σ Moment รอบ O' = 0

$P_1(L_1 + L_2 - l_1 - z_1) - p_6 D(l_2 + L_2 + D/2)$ = 0

(5) ในทำนองเดียวกับของ Sandy Soil ตำแหน่งของโมเมนต์สูงสุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่งในระดับความลึกระหว่าง L_1 และ $(L_1 + L_2)$



รูปที่ 8.1.8 แสดงหลักการของวิธี Fixed Earth Support สำหรับการวิเคราะห์ใน Anchored Sheet Pile ใน Sand Soil

8.1.2.2 วิธี Fixed Earth Support สำหรับกำแพงฝังใน Sandy Soil

หลักการของวิธี Fixed Earth Support มีข้อสมมุติให้ที่ปลายของ Sheet Pile Walls ไม่มีการหมุน ดังแสดงในรูปที่ 8.1.8 (a) ซึ่งแสดงใน Net Earth Pressure Diagram ของดินบน Anchored Sheet Pile Wall จะได้ว่า

(1) พื้นที่ Pressure Diagram รูป HFH' BG มีค่าเท่ากับแรง P'

(2) จาก Equivalent Beam Solution กำหนดเป็น Hing ที่จุด I เพื่อให้ค่าโมเมนต์เท่ากับศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 8.1.8 (b) และสามารถคำนวณระยะ L_4 ได้ โดยเริ่มจากการหาค่า L_5 ซึ่งเป็นระยะแนวดิ่งจาก Dredge Line ถึงจุด I และ L_5 เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับค่า $(L_1 + L_2)$ และ Angle of Friction ϕ ดังแสดงในรูปที่ 8.1.8 (d) เมื่อได้ค่า L_5 แล้วมาพิจารณา Beam ส่วนที่อยู่เหนือจุด I ซึ่งประกอบด้วยแรง Anchor F, แรง Shear P" และ Net Earth Pressure ดังแสดงในรูปที่ 8.1.8 (c) ค่าของแรง Shear P" คำนวณได้จากการคิดโมเมนต์รอบจุด O' เมื่อได้ค่า P" แล้วก็สามารถคำนวณค่า L_4 จากการคิดโมเมนต์รอบจุด H

(3) ระยะความลึกที่ฝัง Sheet Pile Walls ในดินต่ำกว่า Dredge Line ที่แท้จริง เท่ากับ 1.2-1.4 ของ $(L_3 + L_4)$

สรุปขั้นตอนในการคำนวณหา D_{actual} ในรูปที่ 8.1.8 (a) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณค่า K_a , K_p

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่า p_1 , p_2

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า L_3 โดยที่ $L_3 = p_2/\gamma'(K_p - K_a)$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่า L_5 จากรูปที่ 8.1.8 (d)

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่า $p"_2$ โดยที่ $p"_2 = p_2(L_3 - L_5)/L_3$

ขั้นตอนที่ 6 เขียนรูป Net Earth Pressure Diagram ของดินส่วนที่อยู่เหนือจุด I ดังแสดงในรูปที่ 8.1.8 (c)

ขั้นตอนที่ 7 จากขั้นตอนที่ 6 คิดโมเมนต์รอบจุด O' เพื่อคำนวณค่า P"

ขั้นตอนที่ 8 เขียนรูป Net Earth Pressure Diagram ของดินส่วนที่อยู่เหนือจุด I และ H ดังแสดงในรูปที่ 8.1.8 (c) โดยที่

$$P"'_2 = \gamma'(K_p - K_a)L_4$$

ขั้นตอนที่ 9 จากขั้นตอนที่ 8 คิดโมเมนต์รอบจุด H เพื่อคำนวณค่า L_4

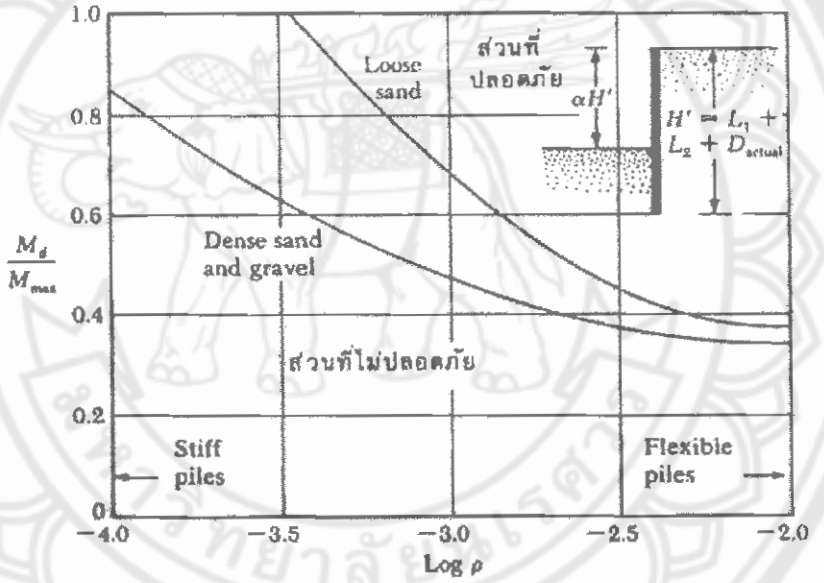
ขั้นตอนที่ 10 คำนวณค่า D_{actual} = 1.2-1.4 ของ $(L_3 + L_4)$

8.1.3 การพิจารณา Moment Reduction ใน Anchored Sheet Pile Walls

เนื่องจาก Sheet Pile Walls เป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นได้ จะทำให้เกิดการจัดการกระจาย Net Earth Pressure และมีผลต่อค่าของ Maximum Bending Moment ใน Anchored Sheet Pile Walls ที่คำนวณได้ด้วยวิธี Free Earth Support คือทำให้ค่าโมเมนต์มีค่าลดลง

จาก Rowe (1952, 1957) ได้เสนอวิธีการคำนวณค่าโมเมนต์ที่ลดลง (Maximum Design Moment) ซึ่งมีวิธีการที่แตกต่างกัน 2 แบบ ตามประเภทของดิน คือ

8.1.3.1 กรณีฝังลึกลงไปใน Sandy Soil



รูปที่ 8.1.9 กราฟระหว่าง Log ρ และ M_d/M_{max} สำหรับ Sheet Pile Wall ในดินทราย

จากรูปที่ 8.1.9 มีนิยามของแต่ละสัญลักษณ์ ดังนี้

H' = ระยะความสูงทั้งหมดของ Sheet Pile Walls = $L_1 + L_2 + D_{actual}$

ρ = Relative Flexibility of Pile

= $10.91 \times 10^{-7}(H'^4/EI)$

E = Young's Modulus ของวัสดุของ Sheet Pile Walls หน่วย MN/m^2

I = Moment of Inertia ของ Sheet Pile Walls หน่วย m^4/m ของความยาวกำแพง H' มีหน่วยเป็นเมตร

M_d = Design Moment

M_{max} = Maximum Moment จากการคำนวณด้วยวิธี Free Earth Support

ρ = H'^4/EI

โดยที่ E มีหน่วยเป็น lb/m^2, I มีหน่วยเป็น in^4/ft ของความยาวกำแพง และH' มีหน่วยเป็น ft

ลำดับขั้นตอนในการคำนวณ Design Moment โดย Moment Reduction Diagram ในรูปที่ 8.1.9 ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดขนาดหน้าตัดของ Sheet Pile Walls

ขั้นตอนที่ 2 หาค่า Section Modulus (S) ของ Sheet Pile Walls ตามขนาดหน้าตัดในขั้นตอนที่ 1 ต่อหน่วยความยาวของกำแพง

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาค่า Moment of Inertia (I) ต่อหน่วยความยาวของกำแพง

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่า H' ซึ่งเท่ากับ $L_1 + L_2 + D_{actual}$ โดยที่ D_{actual} คำนวณได้จากวิธี Free Earth Support และคำนวณค่า ρ

ขั้นตอนที่ 5 หาค่า log ρ

ขั้นตอนที่ 6 หาค่าโมเมนต์จากขนาดหน้าตัดของ Sheet Pile Walls ในขั้นตอนที่ 1 เมื่อโมเมนต์นั้น

$M_d = (\sigma_{all})(S)$

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณค่า M_d/M_{max} เมื่อ M_d ได้จากขั้นตอนที่ 6 และ M_{max} ได้จาก การคำนวณในวิธี Free Earth Support

ขั้นตอนที่ 8 เขียนจุดซึ่งแสดงตำแหน่งของค่า log ρ กับ M_d/M_{max} ในกราฟรูปที่ 8.1.10

ขั้นตอนที่ 9 กำหนดขนาดหน้าตัดของ Sheet Pile Walls เป็นจำนวนหลายหน้าตัดแล้วกระทำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 8 จะได้หลายจุดในกราฟรูปที่ 8.1.10 จุดเหนือ Curve แสดงว่าเป็นหน้าตัดที่ปลอดภัย และจุดใต้ Curve เป็นขนาดหน้าตัดที่ไม่ปลอดภัย พิจารณาขนาดหน้าตัดของ Sheet Pile Walls ที่ถูกที่สุดในบริเวณจุดเหนือ Curve ซึ่งมักจะมีค่า $M_d < M_{max}$

8.1.3.2 กรณีฝังลึกลงไปใน Clayey Soils

จากรูปที่ 8.1.10 มีนิยามของแต่ละสัญลักษณ์ ดังนี้

S_n = Stability Number

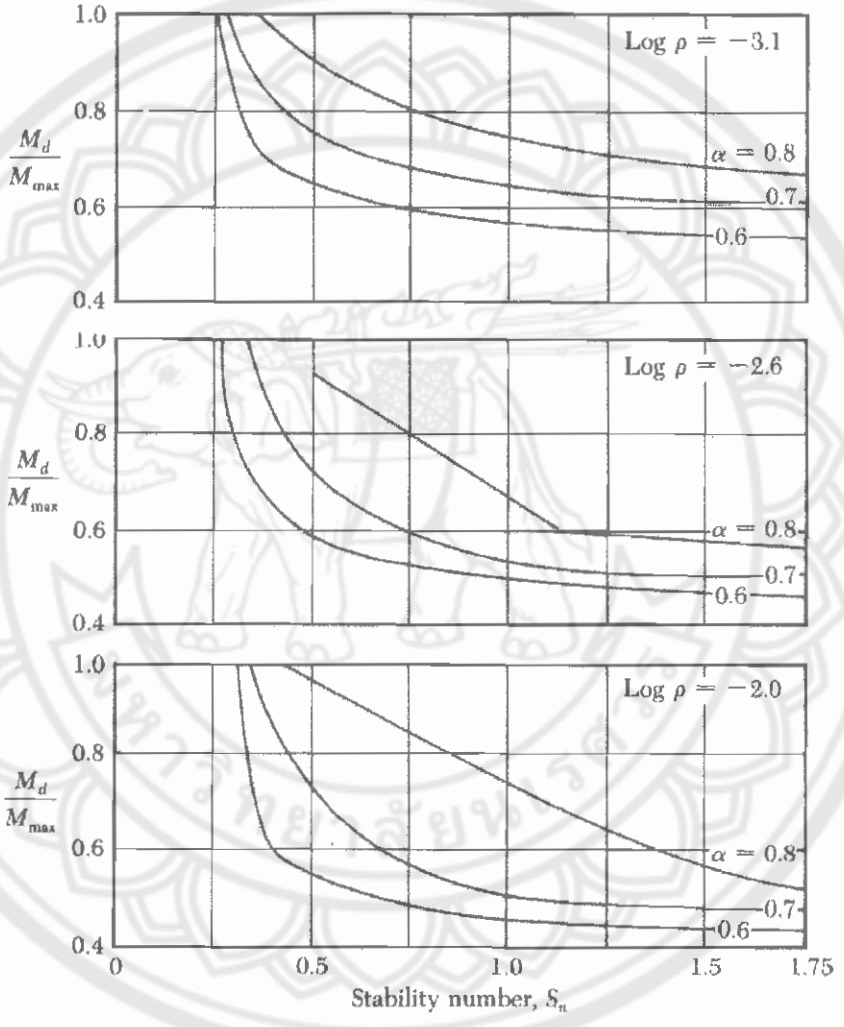
= $1.25\ C / (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$

โดยที่ C = Undrained Cohesion ซึ่งมีค่า $\phi = 0$

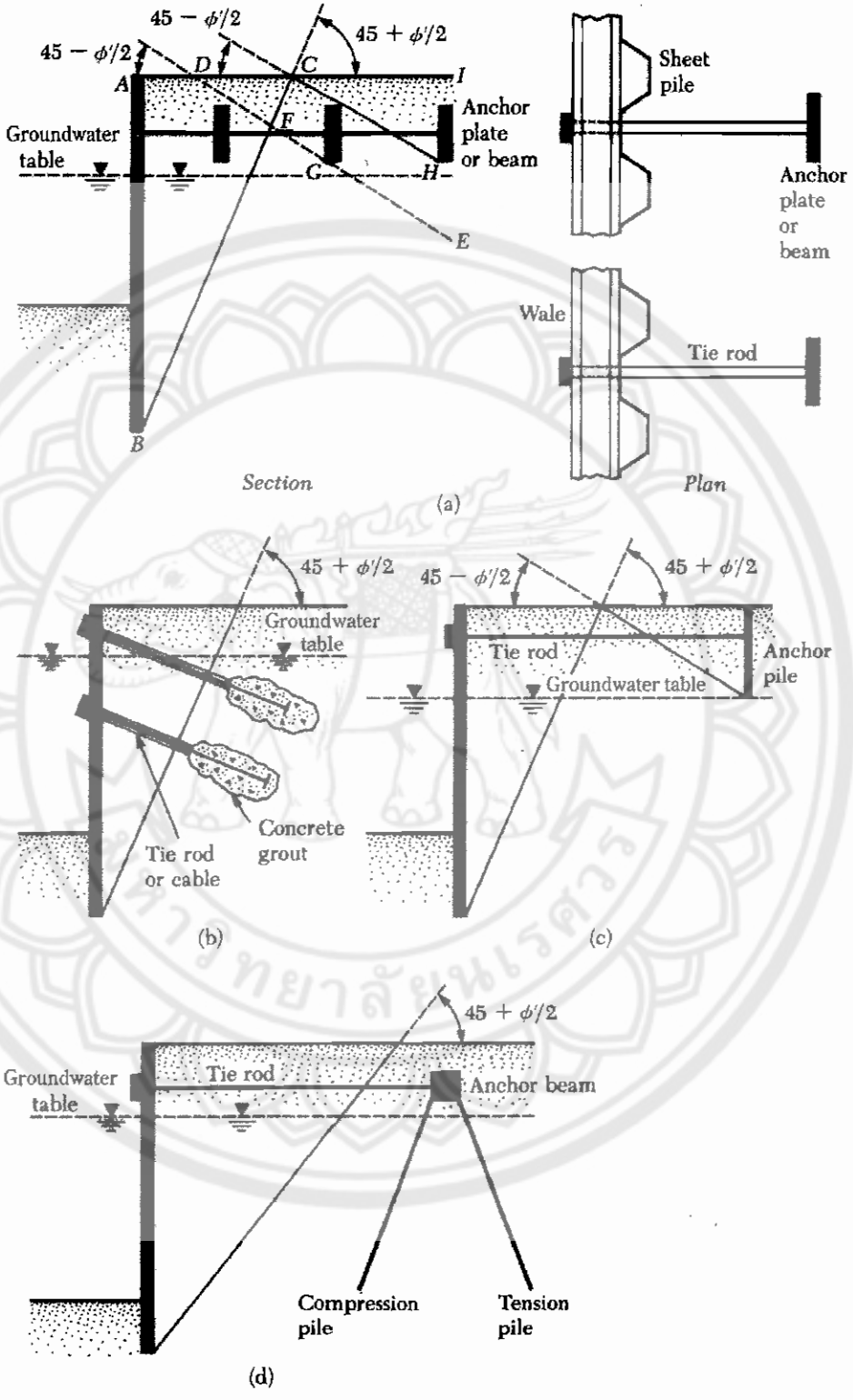
γ , L_1 , γ' , L_2 จากรูปที่ 8.1.7

α = $(L_1 + L_2) / (L_1 + L_2 + D_{actual})$

ρ = Relative Flexibility of Pile



รูปที่ 8.1.10 กราฟระหว่าง M_d/M_{max} และ Stability Number สำหรับ Sheet Pile Walls ในดินเหนียว



รูปที่ 8.1.11 รูปแบบต่างๆของสมอยึด สำหรับ Anchored Sheet Pile Walls มี (a) Anchor Plate หรือ Beam, (b) Tie Back, (c) Vertical Anchor Pile และ (d) Anchor Beam กับ Batter Pile

ลำดับขั้นตอนในการคำนวณ Design Moment โดยใช้ Moment Reduction Diagram ในรูปที่ 8.1.10 ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาค่า H' ซึ่งมีค่าเท่ากับ $L_1 + L_2 + D_{actual}$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่า $\alpha = (L_1 + L_2)/H'$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่า $S_n = 1.25\ C / (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$

ขั้นตอนที่ 4 จากค่า α และ S_n ในขั้นตอนที่ 2 และ 3 พิจารณาค่า M_d/M_{max} สำหรับค่า log ρ ต่างๆ จากรูปที่ 8.1.9 และนำค่า M_d/M_{max} และค่า log ρ มา plot กราฟ

ขั้นตอนที่ 5 เริ่มทำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 9 ของการฝังในดินทราย

8.1.4 สมอยึด (Anchors)

สมอยึด หรือ Anchors เป็นตัวยึดกำแพงกันดินไว้ โดยสามารถรองรับแรงปฏิกิริยาจากดินข้างหลังกำแพงกันดินแบบ Sheet Pile Walls ได้ สมอยึดมีหลายรูปแบบด้วยกัน คือ

1) Anchor Plates & Beams (Deadman) ดังแสดงในรูปที่ 8.1.11 (a)

มีลักษณะเป็นคอนกรีตบล็อก (Cast-Concrete Block) ที่ยึดกับ Sheet Pile Walls ด้วย Tie Rods โดยวาง Wales ไว้ที่ด้านหน้าหรือด้านหลังของ Sheet Pile Walls เพื่อทำให้ง่ายและสะดวกในการต่อ Tie Rods เข้ากับ Sheet Pile Walls นอกจากนี้ จะต้องมีการป้องกันการผุกร่อนของ Tie Rods โดยวิธีการทาสีหรือฉาบวัสดุพวก Asphalt ที่ผิวของ Tie Rods

2) Tie Backs

มีลักษณะเป็นคอนกรีตอัดเข้าไปในรูที่เจาะไว้แล้ว ดังแสดงในรูปที่ 8.1.11 (b) โดยมีวิธีการสร้าง Tie Backs, ท่อนเหล็กหรือสาย Cables สำหรับรับแรงดึงไว้ในรูที่เจาะแล้วจึงใช้คอนกรีตอัดให้เป็นสมอยึด

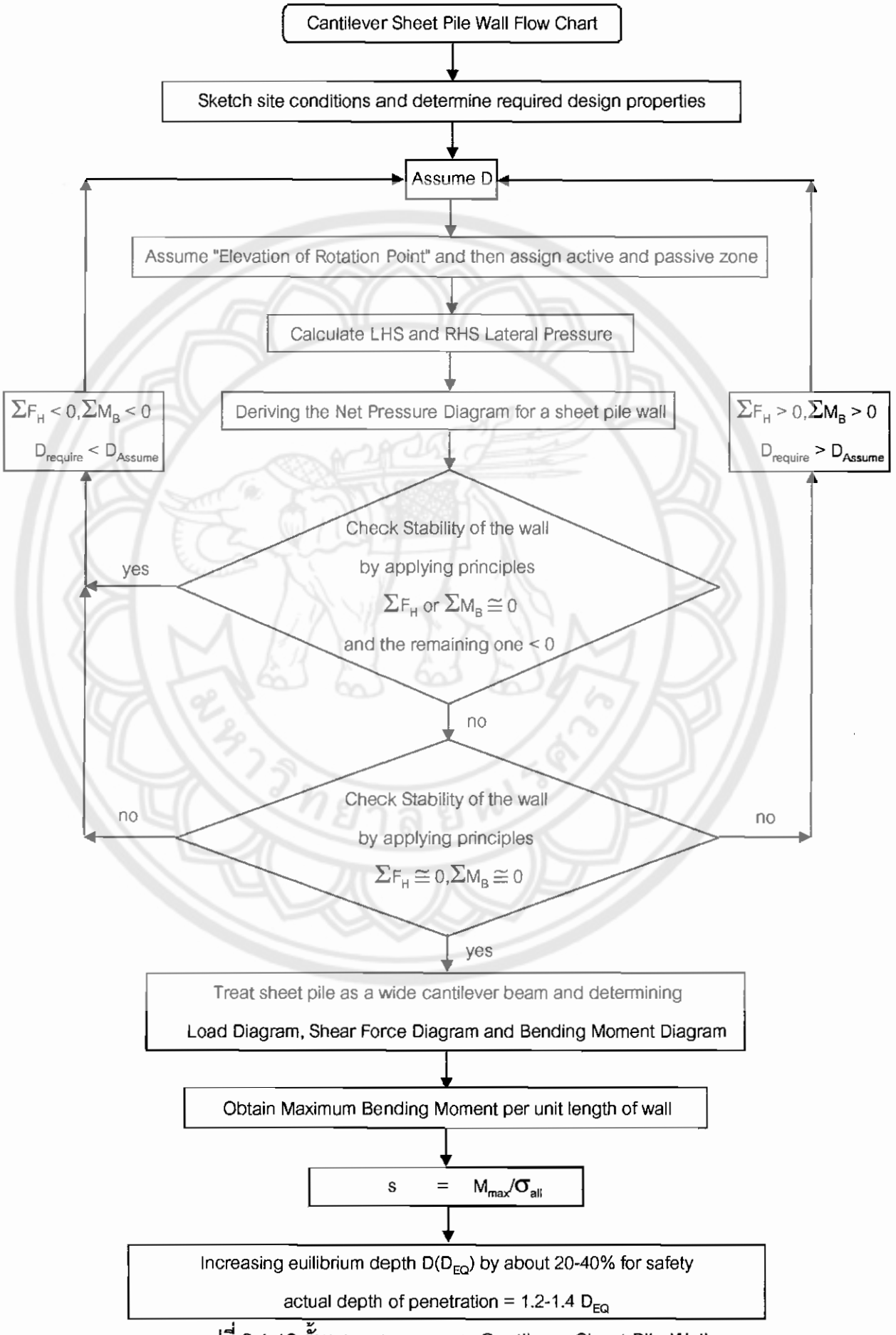
3) Vertical Anchor Piles ดังแสดงในรูปที่ 8.1.11 (c)

มีลักษณะเป็นเหมือนเสาเข็มที่ใช้เป็นสมอยึด Sheet Pile Walls โดยมี Tie Rods ที่ต่อเนื่องจากสมอยึดเข้าไปกับ Sheet Pile Walls

4) Anchor Beams พร้อม Batter Piles หรือเสาเข็มเอียงที่รับทั้ง Compression กับ Tension รองรับดังแสดงในรูปที่ 8.1.11 (d)

มีลักษณะคล้ายแบบที่ 1 แต่เพิ่มเสถียรภาพด้วยการยึดสมอกับดินด้วย Batter Piles

ตำแหน่งของสมอยึด ควรอยู่ในบริเวณที่สมอยึดสามารถต้านทานแรง Passive Earth Force ซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณด้านหน้าของสมอยึดได้ทั้งหมด ดังมีเป็นตัวอย่างในรูปที่ 8.1.11 (a)



รูปที่ 8.1.12 ขั้นตอนการออกแบบ Cantilever Sheet Pile Wall

8.2 โจทย์ทบทวนความรู้ ความเข้าใจในหลักการพื้นฐานของเนื้อหาที่เรียน

1. Cantilever Sheet Pile Walls ต่างกับ Anchored Sheet Pile Walls อย่างไร

   ตอบ Anchored Sheet Pile Walls มีลักษณะคล้ายแบบ Cantilever Sheet Pile Walls แต่เพิ่มการใช้ Anchor หรือ Tie Rod เป็นตัวยึดส่วนบนของผนังเข้ากับดินหรือวัสดุที่มีน้ำหนักถ่วงเอาไว้ ซึ่งเรียกว่า Anchor Bulkhead

2. ข้อดีของการออกแบบ Sheet Pile Walls เป็นแบบ Anchored Sheet Pile Walls คืออะไร

   ตอบ ทำให้ลดน้ำหนักของ Sheet Pile และลดระยะที่ฝังในดินด้วย

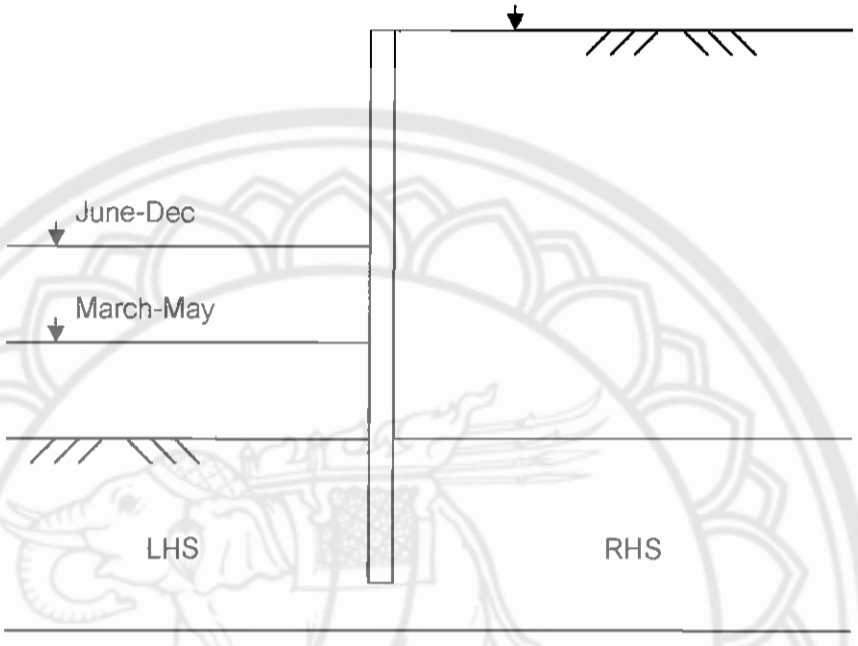
3. การก่อสร้าง Sheet Pile Walls ด้วยวิธี Backfilled Structure ต่างกับวิธี Dredged Structure อย่างไร

   ตอบ วิธี Backfilled Structure จะขุดดินเดิมออกก่อนแล้วค่อยฝัง Sheet Pile ลงไปในดิน ส่วนวิธี Dredged Structure จะฝัง Sheet Pile ลงไปในดินก่อนแล้วค่อยขุดดินด้านหน้าของกำแพงออก

4. ถ้าต้องการที่จะฝัง Sheet Pile Walls ลงไปในดินมากกว่า 6 เมตร ควรจะออกแบบ Sheet Pile Walls ให้เป็นแบบใด เพราะเหตุใด

   ตอบ Anchored Sheet Pile Walls เพราะมีAnchor หรือ Tie Rod เป็นตัวยึดส่วนบนของผนังเข้ากับดิน ซึ่งจะช่วยในการรับแรงดันด้านข้างของดินได้

8.3 โจทย์ทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้ความรู้



รูปที่ 8.3.1การสร้าง Sheet Pile Walls โดยมีระดับน้ำต่างๆกัน

1. จากรูปที่ 8.3.1 กรุณาให้ข้อคิดว่า ก่อนการก่อสร้าง วิศวกรควรออกแบบให้ระดับน้ำอยู่ที่ระดับใด เพราะเหตุใด

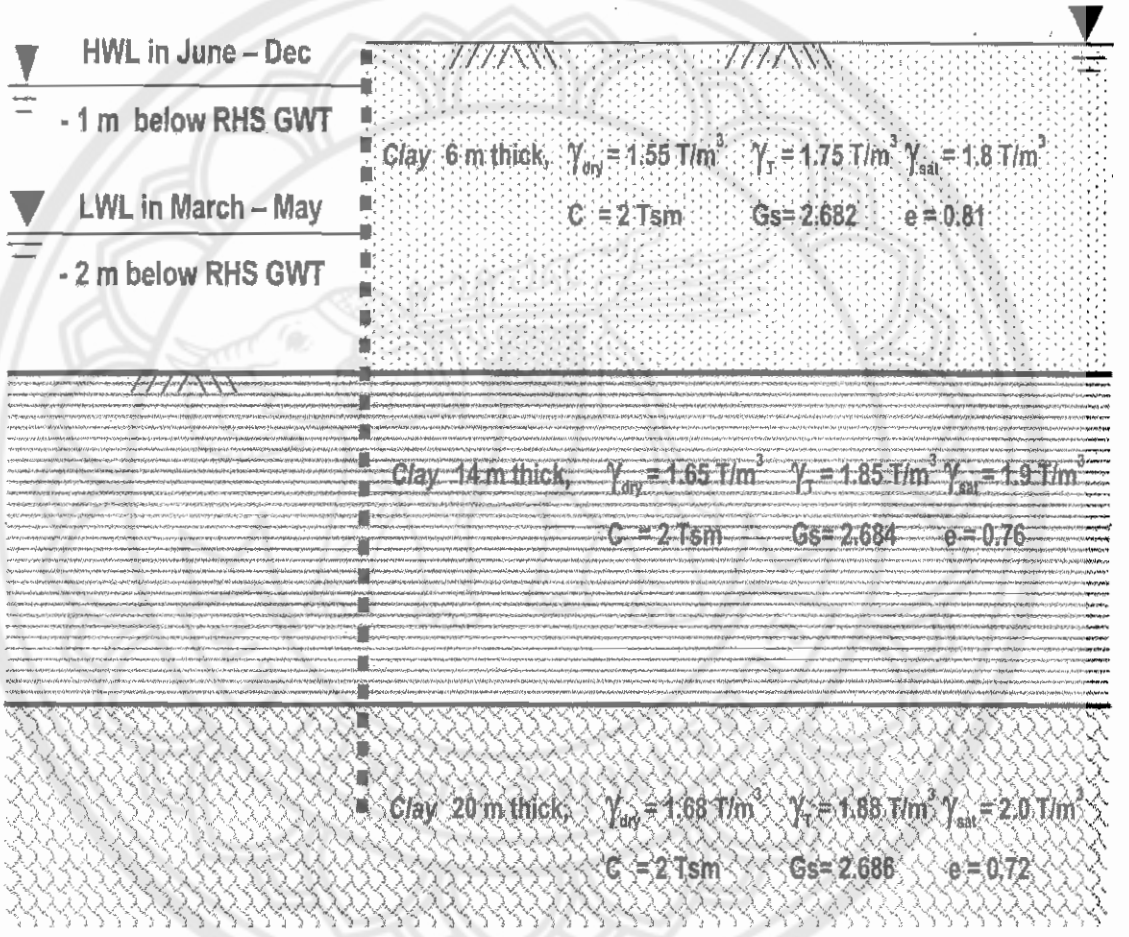
   ตอบ ระดับของเดือน March-May ซึ่งเป็นกรณีที่ระดับน้ำต่ำสุด เพราะถ้าคิดที่ระดับน้ำสูงสุดแล้ว เมื่อน้ำลดลงทำให้แรงดันของน้ำที่กระทำกับ Sheet Pile ลดลง มีผลทำให้ Sheet Pile พังได้

2. ดินระหว่าง Clay หรือ Sand ที่จะส่งผลให้ความลึกในการฝัง Sheet Pile มีค่าน้อยลง

   ตอบ Clay มีค่า $C \neq 0$ ส่วน Sand มีค่า $C = 0$ ซึ่งเมื่อคำนวณจากสูตร $\sigma_h' = \sigma_v' K_a - 2CK_a^{1/2}$ จะเห็นได้ว่า ถ้า $C \neq 0$ จะส่งผลให้ σ_h' มีค่าน้อยลง และ ถ้า $C = 0$ จะส่งผลให้ σ_h' มีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ Sand มีแรงดันด้านข้างมากกว่า Clay จึงทำให้Clay ฝังลงไปในดินน้อยกว่า Sand

8.4 โจทย์ทดสอบความสามารถในการนำความรู้ไปใช้ในการทำงานจริง

1. ในฐานะวิศวกรของบริษัท GB Construction กรุณาออกแบบ Sheet Pile Length of Cantilever Sheet Pile Wall ดังรูป



รูปที่ 8.4.1 ชั้นดินบริเวณพื้นที่โครงการขยายโรงงานไฟฟ้า

Step 1

Assume D = 3 m , จุดหมุนอยู่ที่ Bottom

ดังนั้น Pile Length = 3+6 = 9 m

Step 2 Calculate LHS and RHS Lateral Pressure

Table 1

El	LHS Depth	C	ϕ	γ	Ka	Kp	σV	u	$\sigma V'$	Active		Passive		SUM σh
										$\sigma h'$	σh	$\sigma h'$	σh	
0^-														
0^+														
-2^-														
-2^+	0	0	0	0	1	1	0	0	0	-	-	0	0	0
-6^-	4	0	0	0	1	1	4	4	0	-	-	0	4	-4
-6^+	4	2	0	1.9	1	1	4	4	0	-	-	4	8	-8
-9	7	2	0	1.9	1	1	9.7	7	2.7	-	-	6.7	13.7	-13.7

RHS Depth	C	ϕ	γ	Ka	Kp	σV	u	$\sigma V'$	Active		Passive		Net P	Net Force	M arm around OT Pt	Net M around OT Pt
									$\sigma h'$	σh	$\sigma h'$	σh				
0^-	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0
0^+	2	0	1.8	1	1	0	0	0	-4	-4	-	-	-4	-3.6	8.33	-30
-2^-	2	0	1.8	1	1	3.6	2	1.6	-2.4	-0.4	-	-	-0.4	-0.8	8	-6.4
-2^+	2	0	1.8	1	1	3.6	2	1.6	-2.4	-0.4	-	-	-0.4	-0.1	6.83	-0.683
-6^-	2	0	1.8	1	1	10.8	6	4.8	0.8	6.8	-	-	2.8	4.9	4.17	20.43
-6^+	2	0	1.9	1	1	10.8	6	4.8	0.8	6.8	-	-	-1.2	0	0	0
-9	2	0	1.9	1	1	16.5	9	7.5	3.5	12.5	-	-	-1.2	-3.6	1.5	-5.4
													SUM	-3.2< 0 O.K.	-	-22.05<0 O.K.

Example Calculation at El = 9 m

$K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$

$= 1$

$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$

$= 1$

$\sigma_v = (\gamma_1 H_1) + (\gamma_2 H_2)$

$= (4*1)+(3*1.9) = 9.7\ T/m^2$

$U = \gamma_w H$

$= (7*1) = 7\ T/m^2$

$\sigma'_v = \sigma_v - U$

$= 9.7 - 7 = 2.7\ T/m^2$

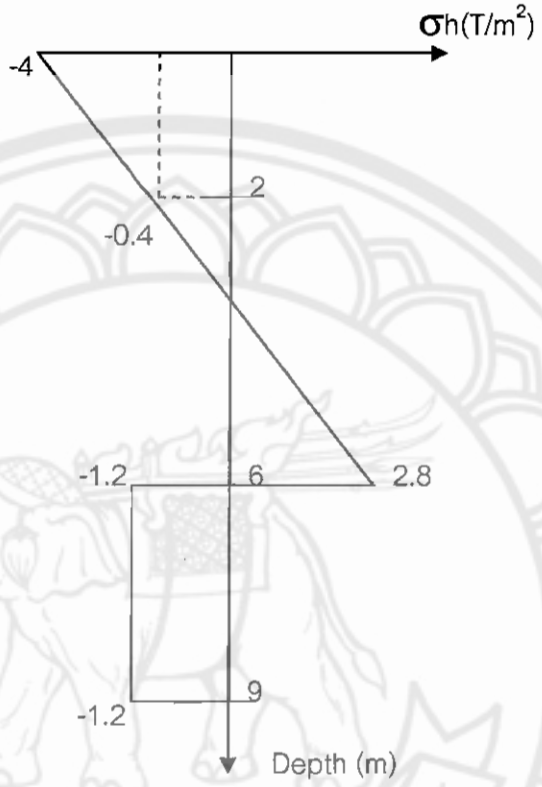
$\sigma'_{hp} = \sigma'_v K_p + 2C K_p^{1/2}$

$= (2.7*1)+(2*2*1^{1/2}) = 6.7\ T/m^2$

$\sigma_h = \sigma'_{hp} + U$

$= 6.7+7 = 13.7\ T/m^2$

Step 3 Draw Net Pressure Diagram



Step 4 Increasing equilibrium depth D(D_{EQ}) by about 20-40% for safety actual depth of penetration = 1.2-1.4 D_{EQ}

Use D = 3*1.3 = 3.9 m

And Pile length = 6+3.9 = 9.9 m