วิชา 203352 การออกแบบฐานราก

กำแพงกันดิน

รศ.ดร.วรากร ไม้เรียง

เนื้อหา

1. กำแพงกันดิน (Earth Retaining Structures)
   - ลักษณะการใช้งานของกำแพงกันดิน
   - ชนิดของโครงสร้างกันดิน
   - พฤติกรรมและการพิบัติที่เกี่ยวข้อง
   - แรงดันดินด้านข้าง
   - กำแพงกันดินแบบคอนกรีตถ่วงน้ำหนัก
   - กำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Cantilever Wall
   - กำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Counterfort Wall
   - ผนังกันดินแบบเข็มพืดและSlurry Wall
   - ระบบค้ำยันบ่อขุด
   - กำแพงกันดินรูปแบบอื่นๆ

เนื้อหา

2. **การออกแบบลาดดิน**
   - ลักษณะการพิบัติของลาดดิน
   - ความแข็งแรงของดินเพื่อการวิเคราะห์และการกำหนดค่าแรงดันน้ำ
   - วิธีการวิเคราะห์ความมั่นคงด้วยวิธี Swedish Circle
   - การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
   - การเพิ่มความมั่นคงของลาดดิน
   - การวิเคราะห์การทรุดตัวของคันดิน
   - การติดตามตรวจวัดพฤติกรรมของลาดดิน

3. **งานอุโมงค์และโครงสร้างใต้ดิน**
   - แนะนำลักษณะงานอุโมงค์และโครงสร้างใต้ดิน
   - แนวทางการคำนวณออกแบบและก่อสร้าง

โครงสร้างคะแนน

1.	สอบย่อย + การบ้าน+ การเข้าชั้นเรียน	10%
2.	สอบปลายภาค	40%
	รวม	50%

เอกสารอ้างอิง

1. วรากร ไม้เรียง (2529) วิศวกรรมฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
2. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2530) การสัมนาทางวิชาการเรื่องการออกแบบและก่อสร้าง Sheetpile
3. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (2539) การสัมนาทางวิชาการ งานก่อสร้างใต้ดิน 39
4. วันชัย เทพรักษ์ และ ณรงค์ ทัศนนิพันธ์ (2549) การออกแบบและก่อสร้างชั้นใต้ดินลึกในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ
5. Geotechnical Engineering Office (2000) Guide to Retaining Wall Design, The Government of Hong Kong
6. Canadian Geotechnical Society (1985) Canadian Foundation Engineering Manual, 2nd Edition

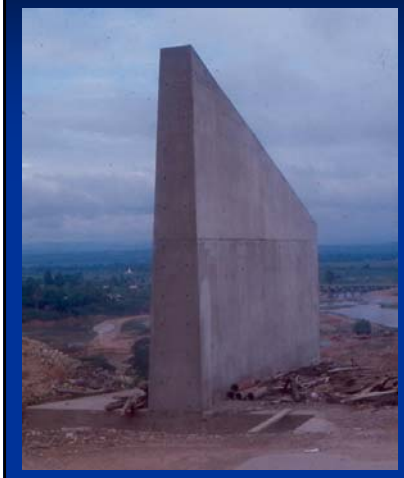
บทนำ

เมื่อมีการก่อสร้างหรือสภาพธรรมชาติที่เปลี่ยนแปลงไปที่ทำให้เกิดระดับดินที่ต่างกันและมีความลาดชันมากกว่าที่ดินจะคงตัวอยู่ได้ด้วยตัวเองอย่างปลอดภัย ก็จะเกิดการเคลื่อนพังทะลายของมวลดินและถ้าหากมีผลต่อการใช้งานของลาดดิน เช่น บ่อก่อสร้างฐานราก ลาดดินตัดหรือดินถม ช่องทางระบายน้ำล้นของเขื่อน ริมตลิ่งแม่น้ำ เป็นต้น

วิศวกรต้องทำการออกแบบ**โครงสร้างกันดิน**แบบต่างๆที่เหมาะสมเพื่อที่จะป้องกันการพังทะลายหรือการเคลื่อนตัวที่มากเกินไปเพื่อให้ สิ่งก่อสร้างที่เกี่ยวข้องสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ โดยต้องเลือกรูปแบบและชนิดของโครงสร้างกันดินให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ ลักษณะการใช้งาน ทำการก่อสร้างได้และยังต้องประหยัด

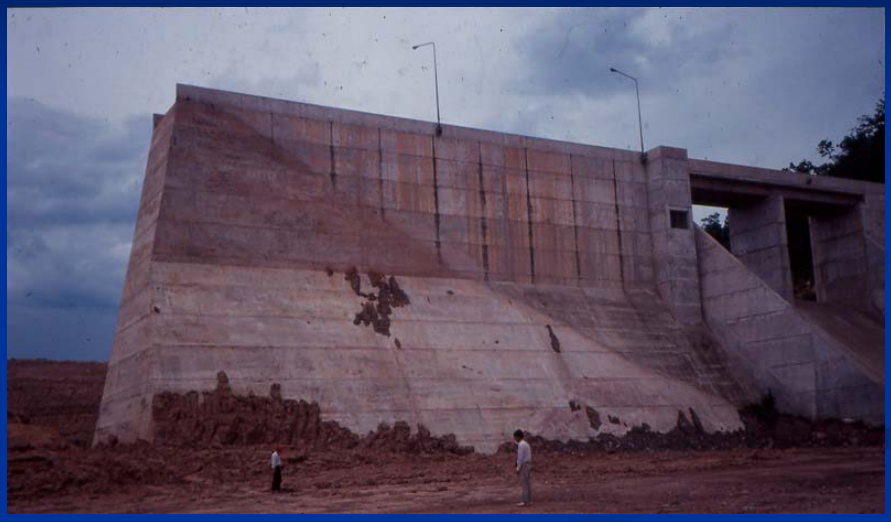
ลักษณะการใช้งานของกำแพงกันดิน

หน้าที่และการใช้งาน

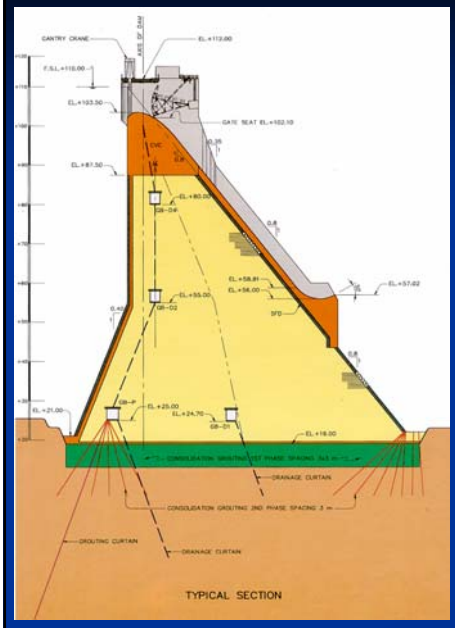


Spillway Retaining Wall

Spillway Retaining Wall



Concrete Gravity Dam

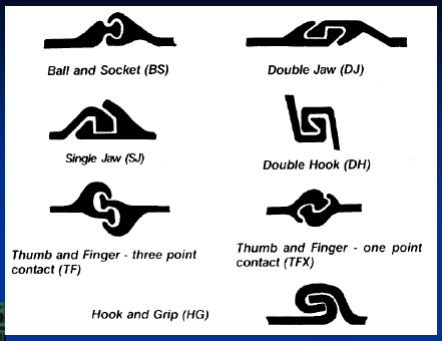


กำแพงท่าเทียบเรือ

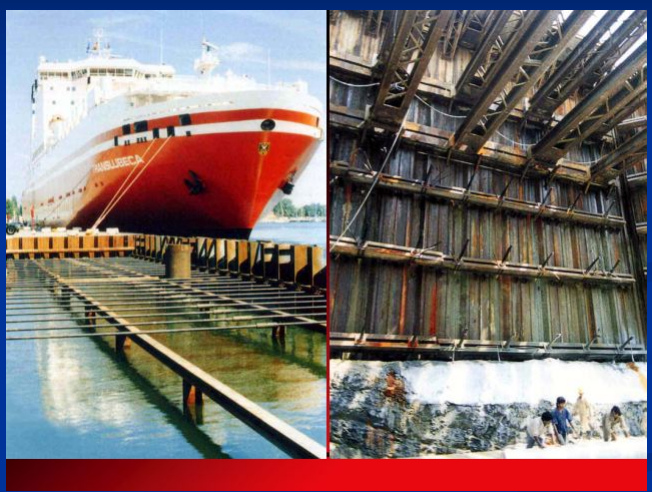
บ่อเจาะอุโมงค์

(Tunnelling Shaft)

Sheet Pile Installation



Sheet Pile Structures



4 17

MRTA Thiam Ruammit Station
ภาพได้รับการเอื้อเฟื้อจากบริษัท SEAFCO (มหาชน)
SEAFCO
MRTA Cut-and Cover Tunnel
21 สิงหาคม 2550
การออกแบบฐานราก บทที่ 4
18

Thammasat Library Building

Basement Excavation in Progress

ภาพได้รับการเอื้อเฟื้อจากบริษัท SEAFCO (มหาชน)

Column Tower Project

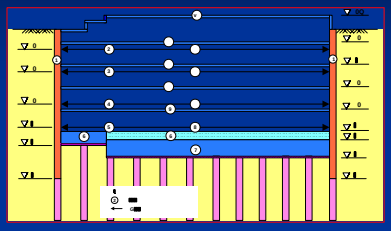
ภาพได้รับการเอื้อเฟื้อจากบริษัท SEAFCO (มหาชน)

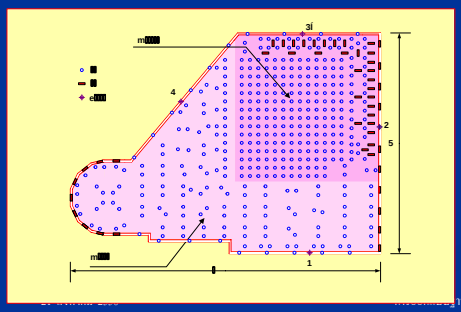
Bored Pile, Barrette and Diaphragm Wall Works

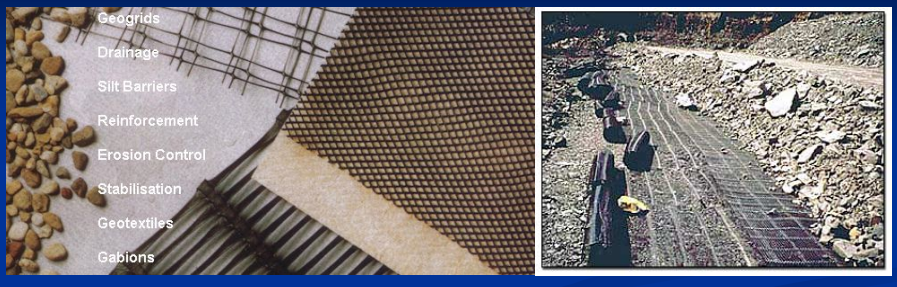
Sathorn Complex

ภาพได้รับการเอื้อเฟื้อจากบริษัท SEAFCO (มหาชน)

Bored Pile, Barrette and Diaphragm Wall







ชนิดของโครงสร้างกันดิน

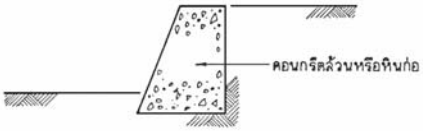
กลุ่มของกำแพงกันดินหรือโครงสร้างกันดิน

ผนังกันดิน หรือโครงสร้างกันดิน คือ โครงสร้างที่รับแรงดันดินด้านข้าง ซึ่งเกิดจากระดับดินที่ต่างกัน แบ่งเป็นกลุ่มของโครงสร้าง 4 ประเภท คือ

1. กำแพงกันดิน (Retaining Wall)
2. เข็มพืด หรือแผ่นผนังกันดิน (Sheet Pile Structures)
3. ผนังค้ำยันการขุด (Excavation Bracing)
4. ผนังดินเสริมแรง (Earth Reinforcement)

กำแพงกันดินแบบถ่วงน้ำหนัก (Gravity Walls)

- กำแพงหินก่อ
- กำแพงกันดินอิฐก่อ

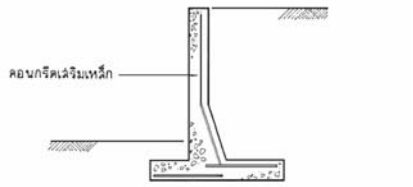


ก. ผนังกันดินคอนกรีตล้วน

กำแพงหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู ต้องมีขนาดและน้ำหนักมากพอที่จะต้านทานแรงดันดิน ไม่ให้เกิดการเลื่อนไถล (Sliding) ที่ฐาน และไม่ให้เกิดการพลิกคว่ำด้วยน้ำหนักตัวเอง

- ส่วนมากจะใช้ในกรณีความสูงอยู่ในช่วง 1-5 เมตร
- ต้องการความกว้างของฐานประมาณ 0.5 – 0.7 เท่าของความสูงของกำแพง

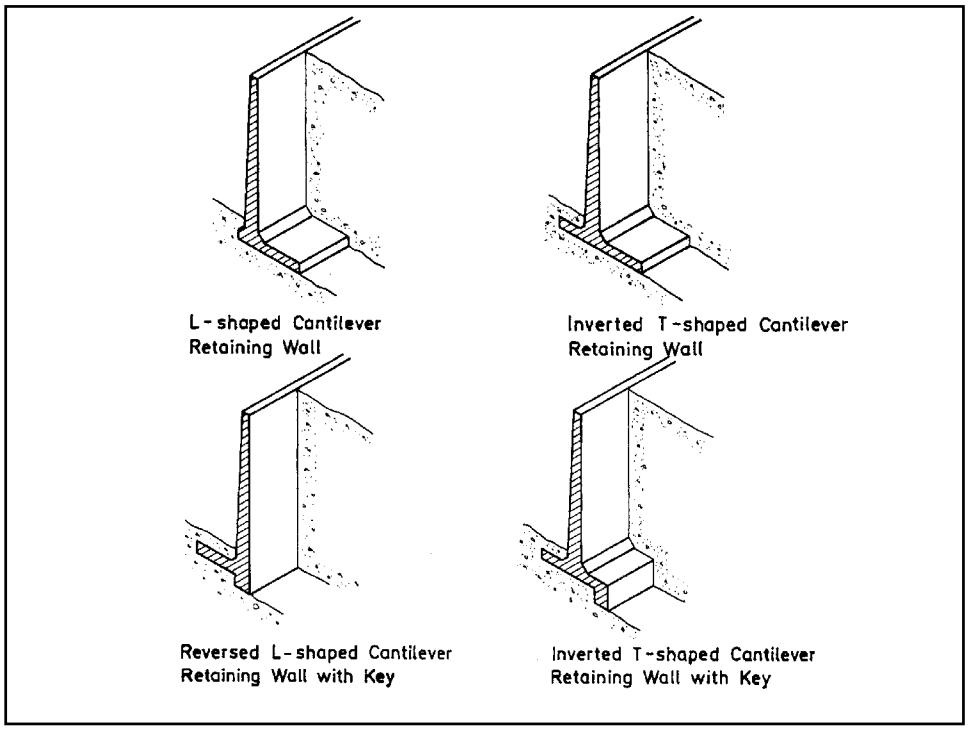
ผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Cantilever Wall

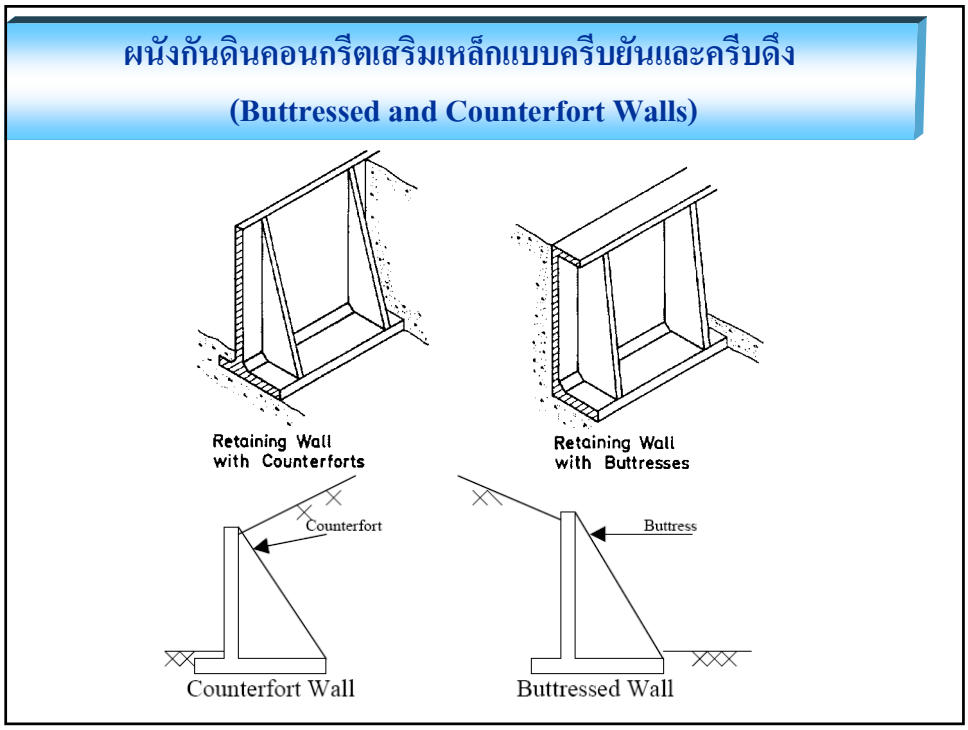


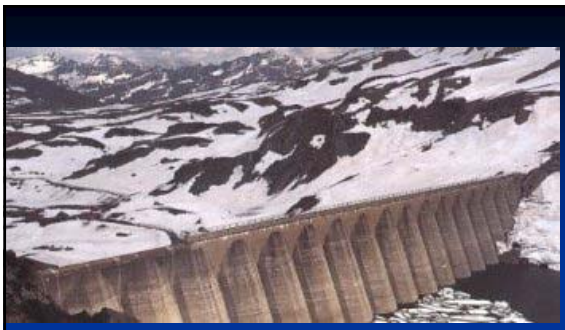
ข. ผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก

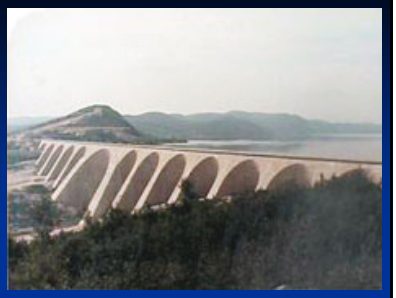
กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัว T คว่ำ ผนังและฐานคอนกรีตบาง ต้องรับแรงดันโดยโมเมนต์และกำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดเอง ส่วนการเกิดการเลื่อนไถล (Sliding) ที่ฐาน และการพลิกคว่ำต้านทานด้วยน้ำหนักของคอนกรีตและดินที่อยู่เหนือฐานขึ้นไป

- ส่วนมากจะใช้ในกรณีความสูงอยู่ในช่วง 2-10 เมตร
- ต้องการความกว้างของฐานประมาณ 0.5 – 0.7 เท่าของความสูงของกำแพง


L-shaped Cantilever Retaining Wall
Inverted T-shaped Cantilever Retaining Wall
Reversed L-shaped Cantilever Retaining Wall with Key
Inverted T-shaped Cantilever Retaining Wall with Key

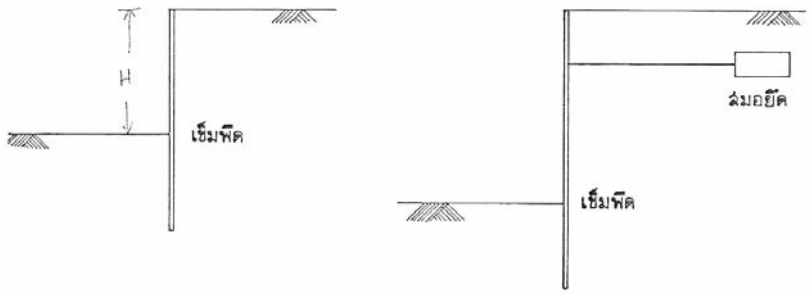

ผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กแบบครีบยันและครีบดึง
(Buttressed and Counterfort Walls)
Retaining Wall with Counterforts
Retaining Wall with Buttresses
Counterfort
Buttress
Counterfort Wall
Buttressed Wall



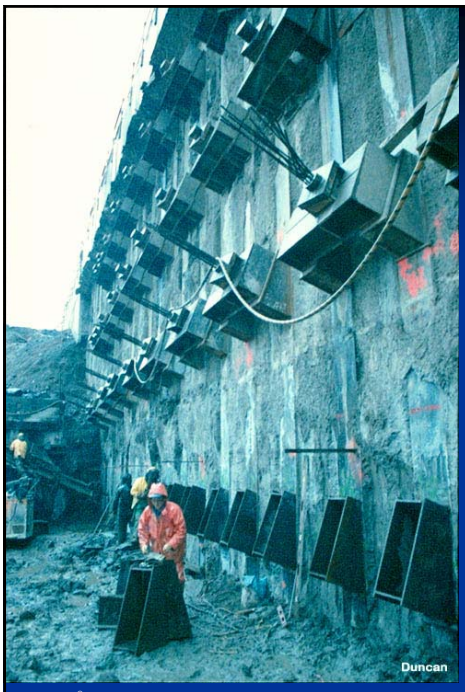


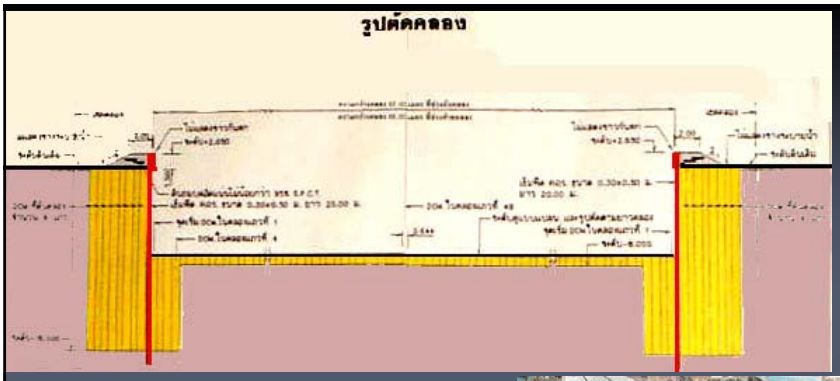
ผนังหรือเขื่อนกันดินแบบ Arch

Cantilever and Anchored Sheet Piles



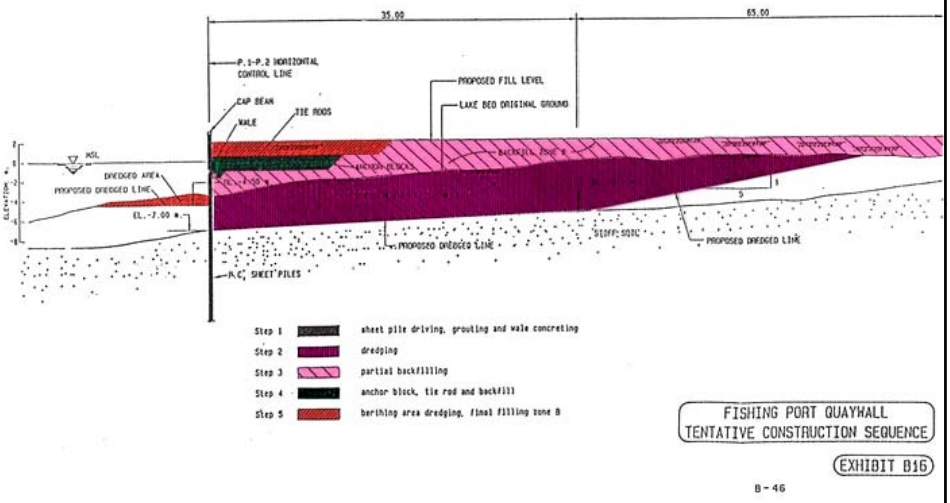
ก. เข็มพืดกันดิน



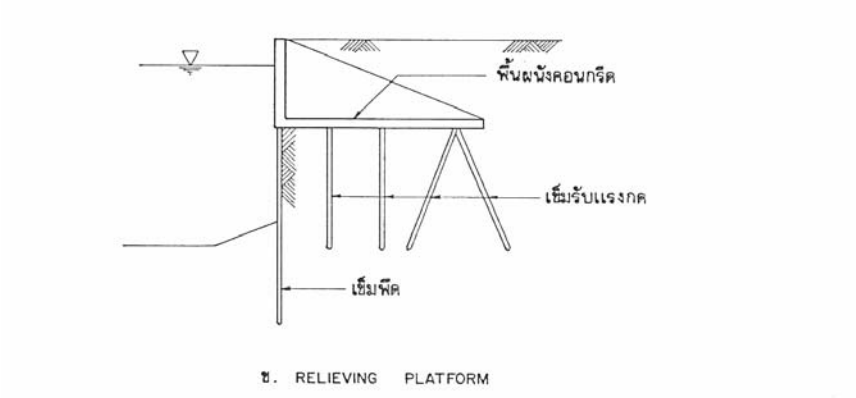


เข็มพืด ค.ส.ล. 0.30 x 0.50 ม.

ยาว 20.00 ม.



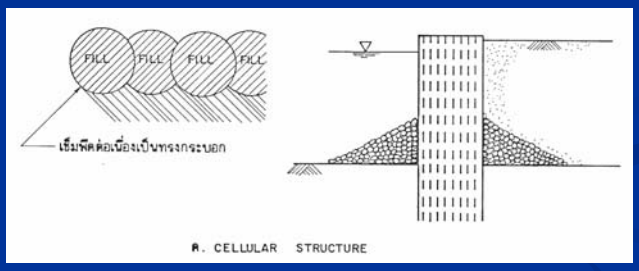
Relieving Platform



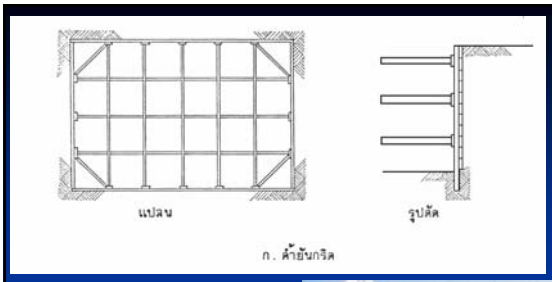
ข. RELIEVING PLATFORM

เข็มพืด หรือแผ่นผนังกันดิน (Sheet Pile Structures)

Cellular Structures



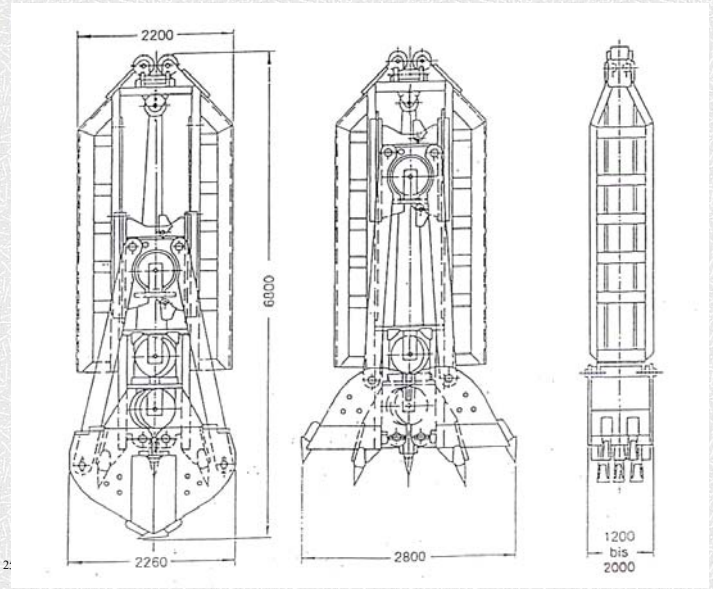
B. CELLULAR STRUCTURE



ก. ค้ำยันกริด

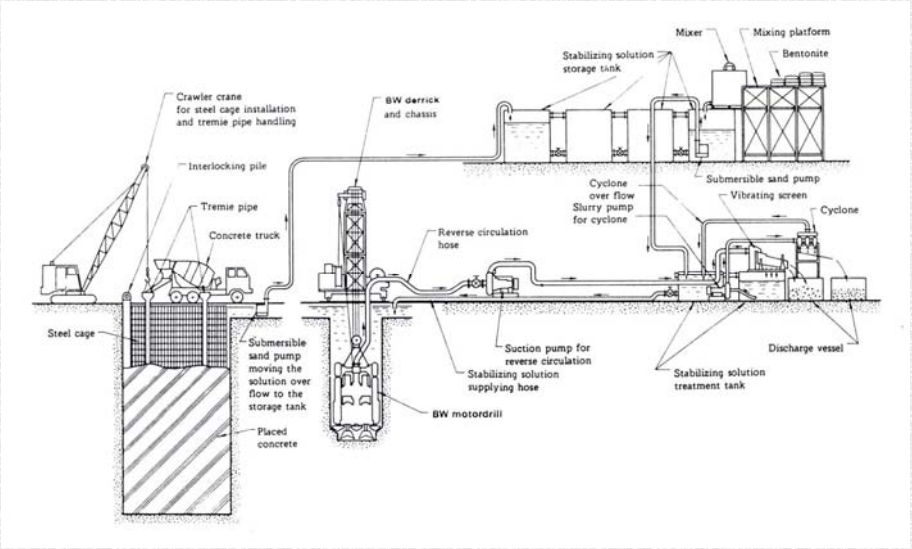
Braced Sheet Pile

Clamshell สำหรับการขุดร่องกำแพง

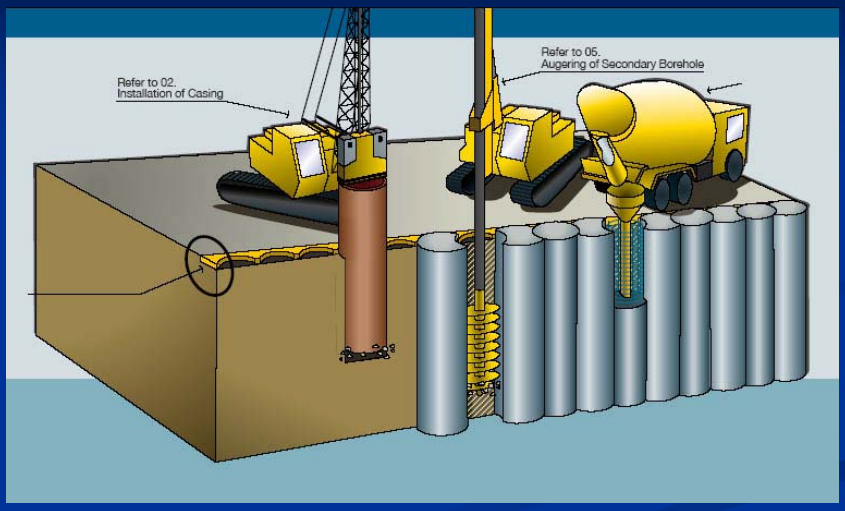


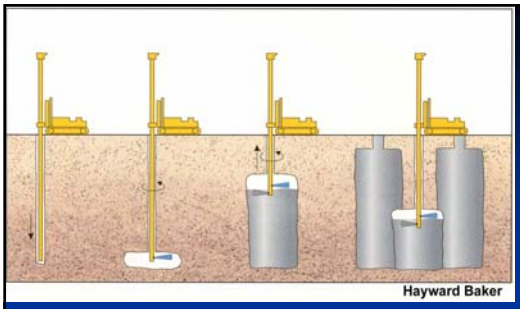
37

ขั้นตอนการกรองทรายและน้ำโคลนมาใช้ใหม่

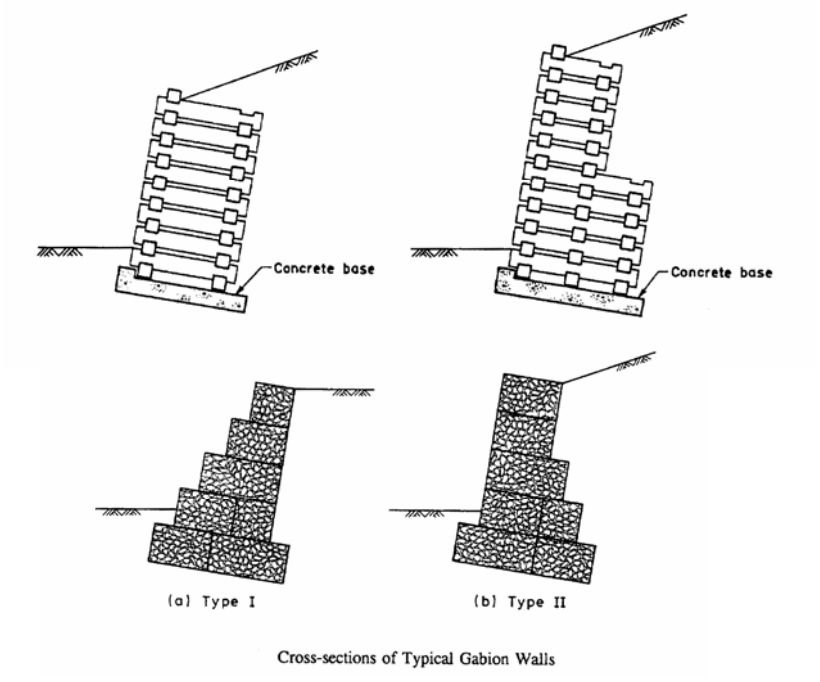


Secant Pile Wall

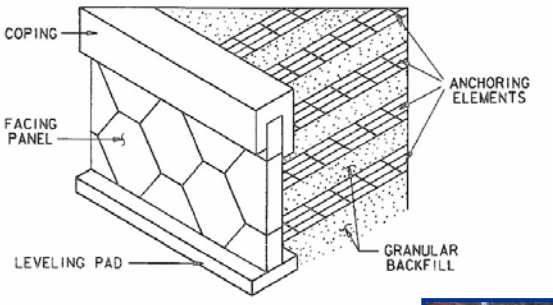




JET GROUTING WALL



Cross-sections of Typical Gabion Walls

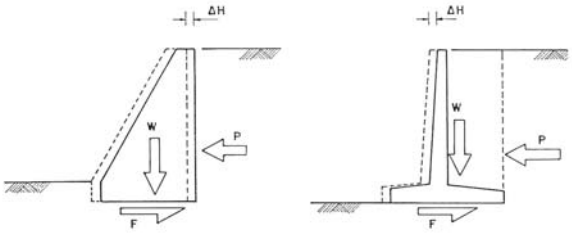


MECHANICALLY STABILIZED BACKFILL

พฤติกรรมและการพิบัติที่เกี่ยวข้อง

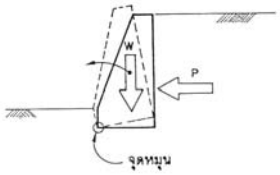
การเลื่อนของฐาน (Base Sliding)

เกิดกับผนังกันดินคอนกรีตเป็นส่วนมาก เนื่องจากแรงดันดินด้านข้าง
มากกว่าแรงต้านที่ฐานอันเกิดจากความเหนียวหรือความฝืดของดินที่สัมผัสกับฐาน



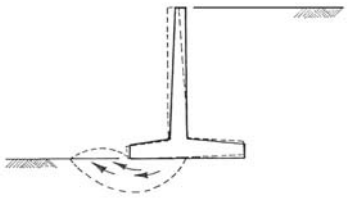
การพลิกคว่ำ (Overturning)

เนื่องจากโมเมนต์ที่เกิดจากแรงดันดินมากกว่าโมเมนต์ เนื่องจากน้ำหนักที่ต้านไว้



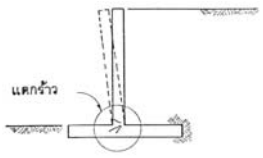
แรงต้านที่ฐานไม่เพียงพอ (Bearing Failure)

เนื่องจากชั้นดินใต้ฐานอ่อนจนไม่สามารถรับแรงกดจากน้ำหนักและแรงดันด้านข้าง ทำให้เกิดการทรุดจมของฐาน โดยเฉพาะริมนอก



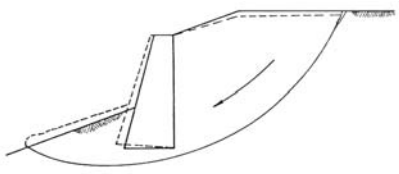
การพิบัติของโครงสร้าง (Structural Failure)

เกิดเนื่องจากการออกแบบความแข็งแรงของตัวโครงสร้างไม่แข็งแรงพอที่จะรับโมเมนต์หรือแรงเฉือนได้เพียงพอ



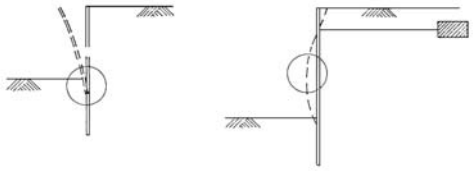
การเลื่อนพังของทั้งระบบ (Overall Sliding)

มักจะเกิดในกรณีดินที่กันไว้มีความลาดเอียง หรือมีชั้นดินอ่อนอยู่ที่ระดับลึกใต้ฐานลงไป จึงอาจเกิดผิวเคลื่อนของดินที่ไม่ผ่านตัวผนังแต่อย่างใด



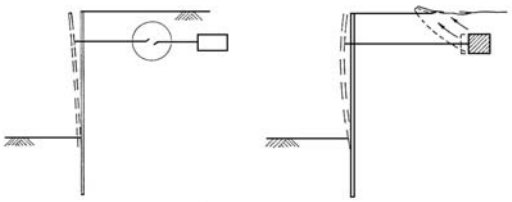
การโค้งงอหรือหักของเข็มพืด (Bending Failure)

ในเข็มเมื่อโมเมนต์ดัดมาก อาจเกิดการโค้งงอในตำแหน่งวิกฤตต่างๆ

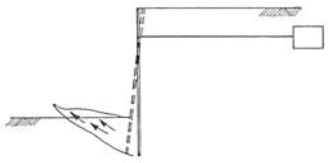


การเคลื่อนพังของระบบสมอยึด (Failure of Anchorage System)

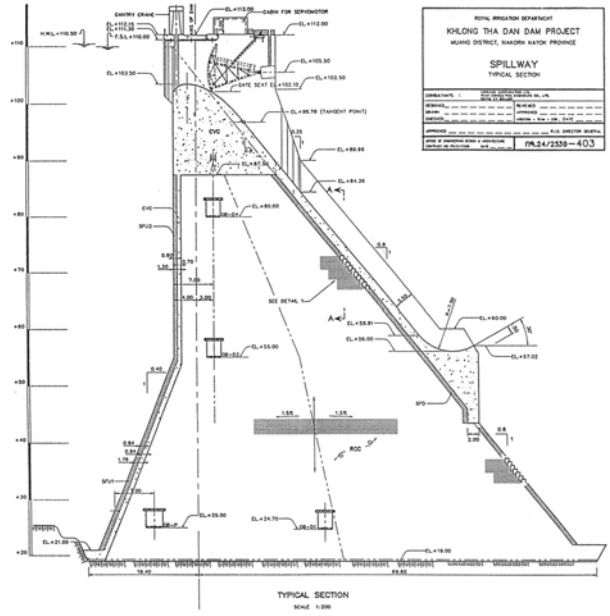
เนื่องจากสายสมอขาด หรือการเลื่อนของสมอยึด



การเคลื่อนตัวของปลายล่างของเข็มพืด (Toe Passive Failure)



Spillway Khlong Tha Dan Dam



แรงดันดินด้านข้าง

สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างโดยวิธี Rankine

สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างบริเวณกำแพงกันดิน

กำแพงกันดินมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อรับแรงดันดินด้านข้างให้ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณแรงดันดินด้านข้างในสภาพต่างๆ ณ จุดใดๆ ใต้ดิน อัตราส่วนของแรงดันดินด้านข้างต่อแรงดันในแนวดิ่ง ในสภาพการเคลื่อนตัวต่างๆ คือ“สัมประสิทธิ์ ของแรงดันดินด้านข้าง” (K)

$$K = \frac{\bar{\sigma}_h}{\bar{\sigma}_v} \qquad \text{---(1)}$$

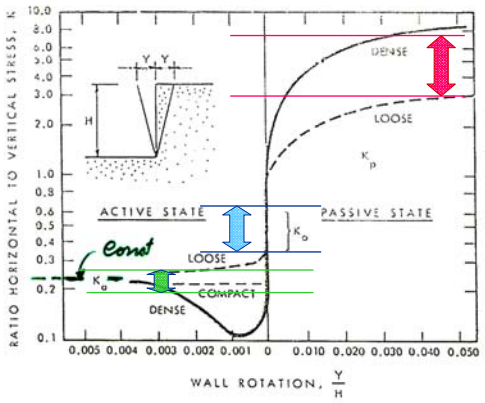
Effect of wall movement on earth pressure in sand

Magnitude of Wall Rotation to Reach Failure

Soil Type and Condition	Rotation, Y/H*	
	Active	Passive
Dense cohesionless	0.001	0.02
Loose cohesionless	0.004	0.06
Stiff cohesive	0.010	0.02
Soft cohesive	0.020	0.04

Y = Horizontal displacement

H = Height of wall



ค่า K ที่ใช้ในการคำนวณแบ่งเป็น 3 ลักษณะหลักคือ

ก. เมื่อมวลดินอยู่กับที่ (At Rest Condition) เมื่อมวลดินไม่มีการเคลื่อนตัว

$$K = K_o \approx 1 - \sin\bar{\phi} \qquad \text{---(2)}$$

สำหรับดินเหนียวที่กดทับปกติ (N.C.) และดินทราย และ

$$K_o \approx (1 - \sin\bar{\phi}) \cdot \sqrt{(OCR)} \qquad \text{---(3)}$$

สำหรับดินเหนียวที่กดทับเกินปกติ (O.C.)

ส่วนมากแรงดันดินในสภาพ K_o จะไม่ค่อยได้ใช้ในการออกแบบ นอกจากกรณีพิเศษ เช่น กำแพงกันดินที่ Massive หรือแกร่ง ไม่มีการเคลื่อนตัว หรือออกแบบให้มีการเคลื่อนตัวน้อยมาก

ข. เมื่อกำแพงกันดินเคลื่อนตัวออกจากมวลดิน (Active Pressure)

มวลดินจะเคลื่อนตัวตามมา และจะมีแรงดันน้อยกว่า K_o สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างลักษณะนี้คือ K_a-Active earth pressure coefficient

- ถ้าดินด้านในของกำแพง อยู่ในแนวระดับ, ผนังกันดินอยู่ในแนวดิ่ง และไม่มีความฝืดระหว่างผิวกำแพงและดิน จะใช้ทฤษฎีแรงดันดินของ Rankinc

$$K_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = \tan^2(45-\frac{\phi}{2}) \qquad \text{---(4)}$$

สำหรับดินทราย (ϕ Soil)

$$\overline{\sigma}_H = K_a.\overline{\sigma}_v \qquad \text{---(5)}$$

สำหรับดินเหนียว (c-ϕ Soil)

$$\overline{\sigma}_H = K_a.\overline{\sigma}_v - 2c.\sqrt{K_a} \qquad \text{---(6)}$$

ค. เมื่อกำแพงกันดินเคลื่อนตัวเข้าหามวลดิน (Passive Pressure)

มวลดินจะถูกกำแพงอัดให้เคลื่อนตัวทะลักขึ้น จึงมีแรงด้านด้านข้างมากกว่า กรณีของ K_o และสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างลักษณะนี้ คือ

K_p-Pasive earth pressure coefficient ตามทฤษฎีของ Rankine

$$K_p = \frac{1}{K_a} = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = \tan^2(45+\frac{\phi}{2}) \qquad \text{---(7)}$$

สำหรับดินทราย (ϕ Soil)

$$\therefore \bar{\sigma}_H = K_p.\bar{\sigma}_v \qquad \text{---(8)}$$

สำหรับดินเหนียว (c-ϕ Soil)

$$\bar{\sigma}_H = K_p.\bar{\sigma}_v + 2c.\sqrt{K_p} \qquad \text{---(9)}$$

วิธีการคำนวณการกระจายของแรงดันดินด้านข้าง

จากหน่วยแรงดันด้านข้าง ถ้าต้องการหาแรงดันด้านข้างรวม ให้ดำเนินการดังนี้

1. Plot การกระจายของ $\bar{\sigma}_H$ ตามความลึก ซึ่งได้จาก $\bar{\sigma}_v$ และ K_a / K_p, c

2. Plot กราฟแรงดันน้ำแยกต่างหาก ($p_w = \gamma_w h.$)

3. ในกรณีที่เป็นดินที่มีทั้งค่า c และ ϕ ให้เขียนกราฟเป็น 2 ส่วน คือ

ก. $K_a.\overline{\sigma}_v$ หรือ $K_p.\overline{\sigma}_v$ หรือ ส่วนที่แปรผันตามความลึก

ข. $2c.\sqrt{K_p}$ หรือ $2c.\sqrt{K_a}$ หรือ ส่วนที่คงที่ตามความลึก

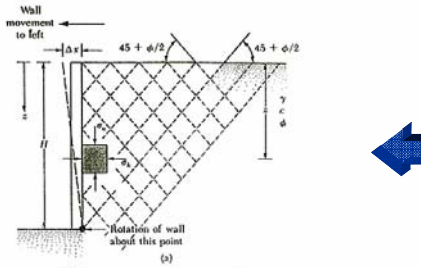
4. ให้รวมพื้นที่ในแต่ละส่วนเป็นแรงดันด้านข้าง คือ

$$\begin{Bmatrix} P_a \\ P_p \end{Bmatrix} = \int_0^H \overline{\sigma}_h .\, dh \qquad \text{---(10)}$$

5. ตำแหน่งที่แรงดันด้านข้างกระทำก็คือ Centroid ของพื้นที่ต่างๆ หรือ

$$\overline{Z} = \frac{\sum\left(P_i \,.\, \overline{Z}_i\right)}{\sum P_i} \qquad \text{---(11)}$$

21 สิงหาคม 2550 การออกแบบฐานราก บทที่ 4 61

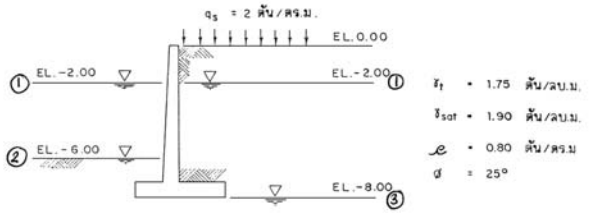


Failure Zone

Change of Mohr's Circles

Lateral Earth Pressure Diagram

ตัวอย่างการคำนวณแรงดันดิน

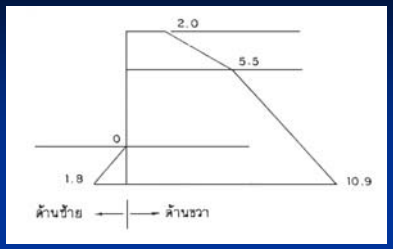


1. หาสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินด้านข้าง

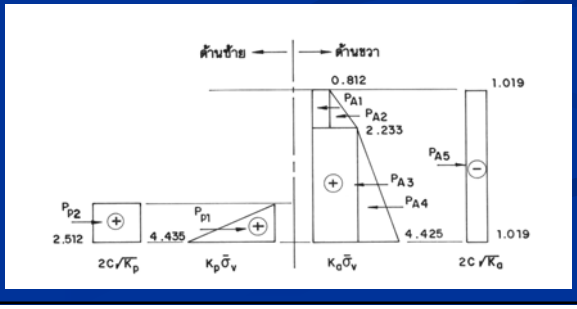
$$K_a = \frac{1 - \sin 25^o}{1 + \sin 25^o} = 0.406 \quad , \quad \sqrt{K_a} = 0.637$$

$$K_p = \frac{1 + \sin 25^0}{1 - \sin 25^0} = 2.464 \quad , \quad \sqrt{K_p} = 1.570$$

2. หาค่าหน่วยแรงกดในแนวดิ่งประสิทธิผล, $\bar{\sigma}$ ได้ผลดังในรูปต่อไปนี้



3. หาค่าหน่วยแรงดันด้านข้าง ทางด้านขวามือเป็นแรงดันเชิงรุก ทางซ้ายเป็นแรงดันเชิงรับ



21 สิงหาคม 2550

64

4. หาแรงดันรวมต่อความยาว 1 ม. ของผนัง

แรงดัน	ปริมาณแรง	ตำแหน่งกระทำจากฐาน	โมเมนต์
P_{A1}	1.624 ตัน	7.00 ม.	11.368 ตัน/ม.
P_{A2}	1.418	6.67	9.453
P_{A3}	13.398	3.00	40.194
P_{A4}	6.576	2.00	13.152
P_{A5}	-8.152	4.00	-32.608
P_{p1}	4.435	0.67	2.957
P_{p2}	5.024	1.00	5.024

$\therefore$ แรงดันเชิงรุกรวมด้านขวามือ = 14.864 ตัน

$\therefore$ แรงดันเชิงรับรวมด้านขวามือ = 9.459 ตัน

5. หาตำแหน่งที่รวมแรงกระทำ จากระดับฐาน

ตำแหน่งแรงดันเชิงรุก $(\bar{z}_a) = \frac{\Sigma M_a}{\Sigma P_a} = 2.796 \quad m.$

ตำแหน่งแรงดันเชิงรับ $(\bar{z}_p) = \frac{\Sigma M_p}{\Sigma P_p} = 0.844 \quad m.$

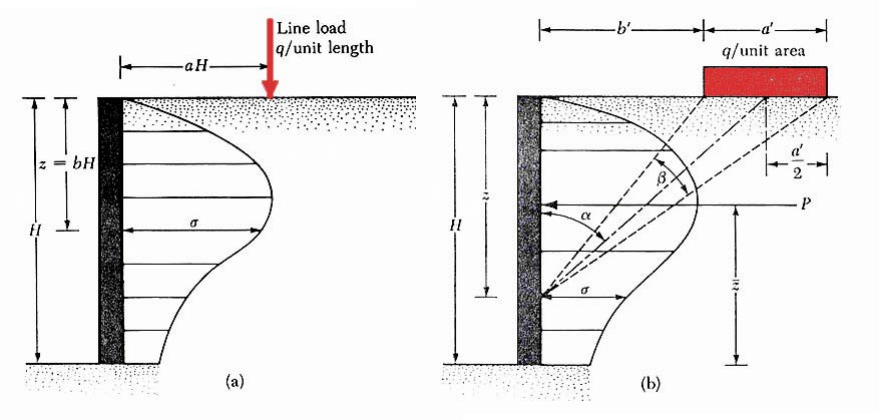
แรงดันดินด้านข้างเนื่องจาก Surcharge Loading (qs)

1. สม่ำเสมอต่อเนื่องตลอดพื้นที่ $\bar{\sigma}_H = K_a.q_s$ (Active)

$\bar{\sigma}_H = K_p.q_s$ (Passive)

2. Line Load หรือ Strip Load

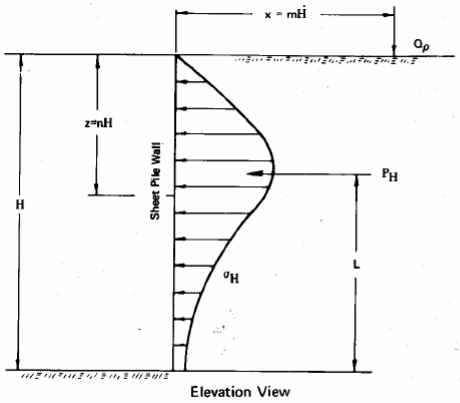
ให้ใช้สมการ (5.35), (5.36) และ (5.38) ของ DAS หน้า 279



Lateral earth pressure caused by (a) line load; (b) strip load

Principles of Foundation Engineering, 2nd Edition by B.M. Das

Point Load



$$\sigma_H = 0.28 \frac{Q_\rho}{H^2} \cdot \frac{n^2}{(0.16 + n^2)^3} \quad (\text{for } m \leq 0.4)$$

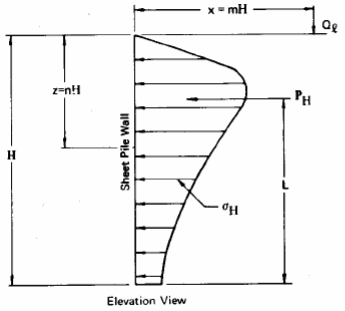
$$P_H = 0.78 \frac{Q_\rho}{H} \quad (\text{see Fig. 11})$$

$$\sigma_H = 1.77 \frac{Q_\rho}{H^2} \cdot \frac{m^2 n^2}{(m^2 + n^2)^3} \quad (\text{for } m > 0.4)$$

$$P_H = 0.45 \frac{Q_\rho}{H} \quad (\text{see Fig. 11})$$

Fig. 8(a) — Lateral pressure due to point load (after Terzaghi[22])

Line Load



$$\sigma_H = 0.20\frac{Q_\ell}{H}\cdot\frac{n}{(0.16+n^2)^2} \quad (\text{for } m \leq 0.4)$$

$$P_H = 0.55 Q_\ell, \text{ resultant force}$$

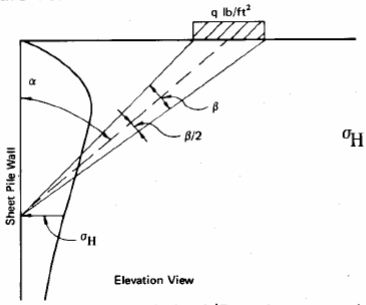
$$\sigma_H = 1.28\frac{Q_\ell}{H}\cdot\frac{m^2 n}{(m^2+n^2)^2} \quad (\text{for } m > 0.4)$$

$$P_H = \frac{0.64\, Q_\ell}{(m^2+1)} \text{ resultant force}$$

Fig. 9 — Lateral pressure due to line load (Boussinesq equation modified by experiment) (after Terzaghi[22])

Strip Load

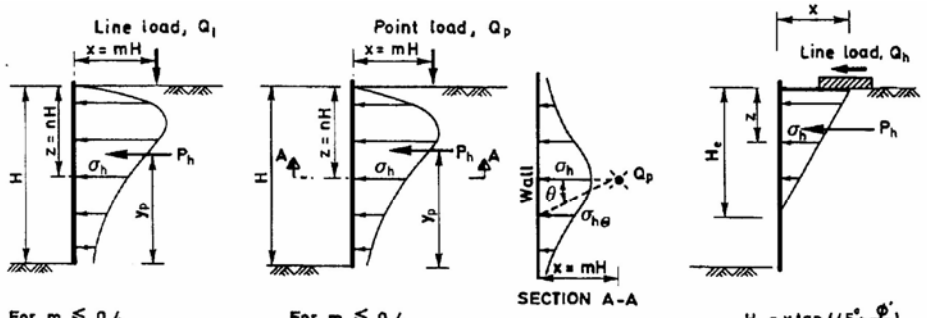
Strip Loads — Highways and railroads are examples of strip loads. When they are parallel to a sheet pile wall, the lateral pressure distribution on the wall may be calculated as shown in Figure 10.



$$\sigma_H = \frac{2q}{\pi}[\beta - \sin\beta\cos 2\ \alpha\ ]$$

Fig. 10 — Lateral pressure due to strip load (Boussinesq equation modified by experiment) (after Teng[1])

Lateral Pressure due to Surcharge



For $m \leq 0.4$

$$\sigma_h\left(\frac{H}{Q_l}\right) = \frac{0.20n}{(0.16 + n^2)^2}$$

$$P_h = 0.55 Q_l$$

For $m > 0.4$

$$\sigma_h\left(\frac{H}{Q_l}\right) = \frac{1.28m^2n}{(m^2 + n^2)^2}$$

$$P_h = \frac{0.64 Q_l}{(1 + m^2)}$$

For $m \leq 0.4$

$$\sigma_h\left(\frac{H^2}{Q_p}\right) = \frac{0.28n^2}{(0.16 + n^2)^3}$$

$$P_h = 0.69 Q_p$$

For $m > 0.4$

$$\sigma_h\left(\frac{H^2}{Q_p}\right) = \frac{1.77m^2n^2}{(m^2 + n^2)^3}$$

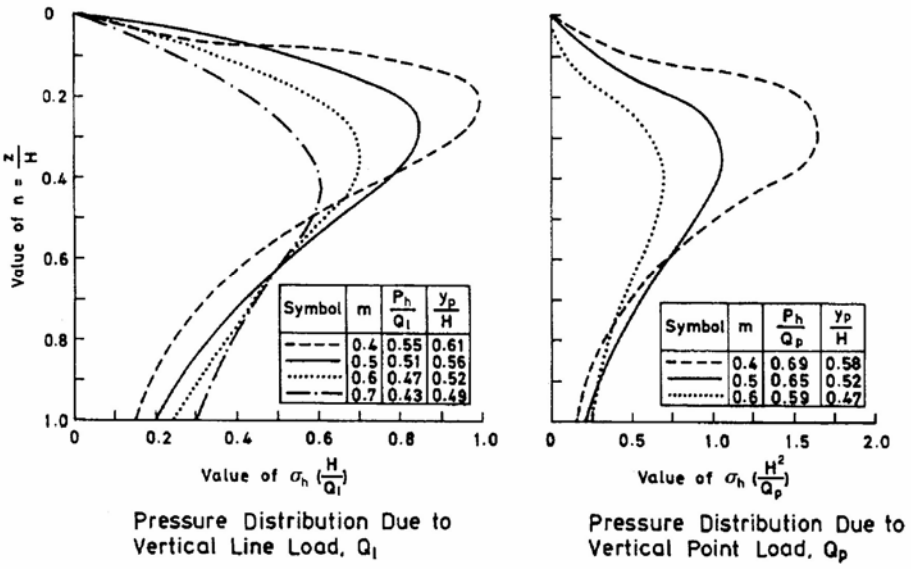
$$P_h = 0.48 Q_p\left[\frac{m(1 - m^2)}{(1 + m^2)^2} + \tan^{-1}\left(\frac{1}{m}\right)\right]$$

$$\sigma_{h\theta} = \sigma_h \cos^2(1.1\theta)$$

$$H_e = x \tan\left(45^\circ + \frac{\phi'}{2}\right)$$

$$\sigma_h\left(\frac{H_e}{Q_h}\right) = 2\left(1 - \frac{z}{H_e}\right)$$

Resultant $P_h = Q_h$



Pressure Distribution Due to Vertical Line Load, Q_l

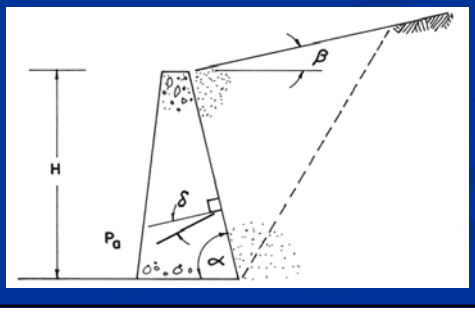
Pressure Distribution Due to Vertical Point Load, Q_p

แรงดันดินด้านข้างโดยวิธี Coulomb

Coulomb (1776) เสนอวิธีคำนวณแรงดันด้านข้าง โดยคำนึงถึงอิทธิพลของสิ่งเหล่านี้ เข้าร่วมด้วย

- ความฝืดของผิวผนังกันดิน(Wall friction), δ
- มุมเอียงของผนังกันดิน(Wall slope), α
- ความลาดของดินเหนือผนัง(Back slope), β

โดยคิดว่าวัสดุที่นำมาถมเหนือผนังจะเป็น กรวด หรือทราย ซึ่งไม่มีความเหนียว ดังแสดงในรูป



21 สิงหาคม 2550 73

ในกรณีดินเป็นเนื้อเดียวกันตลอด แรงดันเชิงรุก และเชิงรับ อาจเขียนได้เป็น

$$\left\{\frac{P_a}{P_p}\right\} = \frac{1}{2}\left\{\frac{K_a}{K_p}\right\} \gamma \cdot H^2 \qquad \text{---(12)}$$

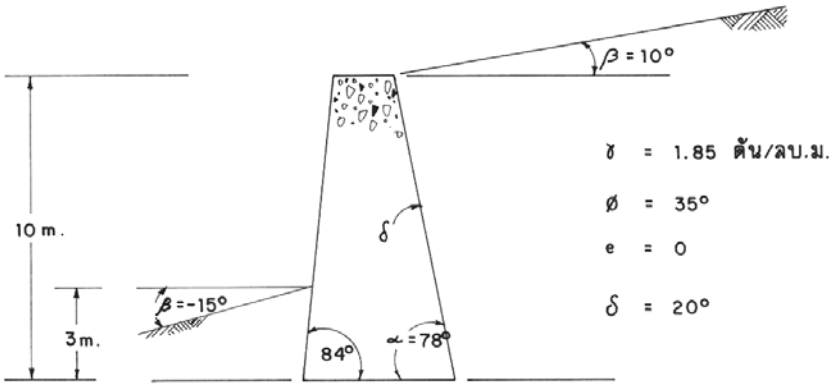
เมื่อ K_a และ K_p = สัมประสิทธิแรงดันดินด้านข้างมีค่าดังนี้

$$\left\{\frac{K_a}{K_p}\right\} = \frac{\sin^2(\alpha \pm \phi)}{\sin^2\alpha \cdot \sin(\alpha \mp \delta)\left[1 \pm \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi \mp \beta)}{\sin(\alpha \mp \delta)\sin(\alpha+\beta)}}\right]^2} \qquad \text{---(13)}$$

21 สิงหาคม 2550 การออกแบบฐานราก บทที่ 4 74

ตัวอย่างการคำนวณแรงดันดินด้านข้างโดยวิธี Coulomb

วิธีการคำนวณหาแรงดันดินเชิงรุกทางขวามือของผนัง และเชิงรับทางซ้ายมือของผนัง



1. คำนวณหาค่า K_a และ K_p

$$K_a = \frac{\sin^2(78+35)}{\sin^2 78 \cdot \sin(78-20)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(35+20)\sin(35-10)}{\sin(78-20)\sin(78+10)}}\right]^2} = 0.389$$

$$K_p = \frac{\sin^2(84-35)}{\sin^2 84 \cdot \sin(84+20)\left[1-\sqrt{\frac{\sin(35+20)\sin(35-15)}{\sin(84+20)\sin(84-15)}}\right]^2} = 0.992$$

2. คำนวณหาค่า P_a และ P_p

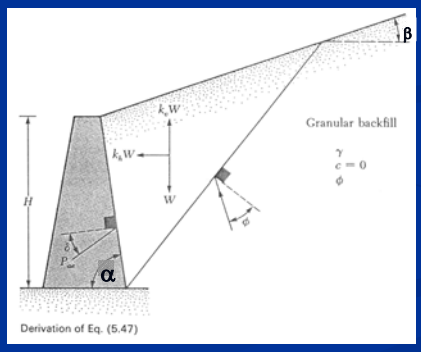
$$P_a = \frac{1}{2}(0.389)\ 1.85(10)^2 = 35.98 \quad \text{ตัน/ ม.}$$

$$P_p = \frac{1}{2}(0.992)\ 1.85(3)^2 = 33.23 \quad \text{ตัน/ ม.}$$

Active Earth Pressure with Earthquake Forces

$$k_h = \frac{\text{horizontal earthquake acceleration component}}{\text{acceleration due to gravity, } g}$$

$$k_v = \frac{\text{vertical earthquake acceleration component}}{\text{acceleration due to gravity, } g}$$



$$P_{ae} = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 (1 - k_v) K_{ae}$$

K_{ae} = active earth pressure coefficient

$$= \frac{\sin^2(\phi + \beta - \theta')}{\cos\theta' \sin^2\alpha \sin(\alpha - \delta - \theta') \left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi - \beta - \theta')}{\sin(\alpha - \delta - \theta')\sin(\alpha + \beta)}}\right]^2}$$

$$\theta' = \tan^{-1}\left[\frac{k_h}{1 - k_v}\right]$$

การระบายน้ำและควบคุมแรงดันน้ำบริเวณกำแพงกันดิน

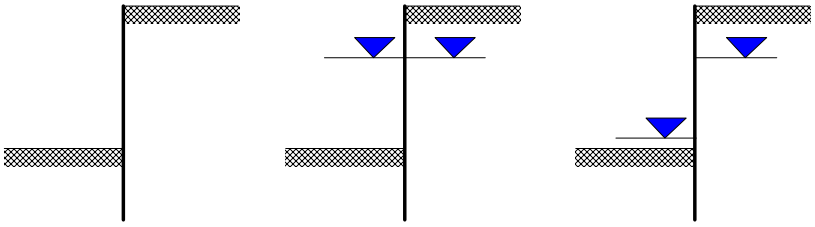
อิทธิพลของน้ำโดยรอบของกำแพงกันดิน

- เพิ่มแรงดันด้านข้างโดยไม่มีความจำเป็น
- มีโอกาสเกิดการกัดเซาะและพัดพาเม็ดดินจากกำแพง
- เกิดแรงยกตัวและลดความมั่นคงด้านการเลื่อนไถลและการพลิกคว่ำ
- เกิดการรั่วซึมลอดใต้กำแพงกันดิน
- เกิดการดีดและทรายดูดที่ตีนกำแพง

ดังนั้นจึงต้องมีมาตรการการออกแบบป้องกันโดยใช้

1. การปิดกั้นการรั่วซึม
2. ระบบกรอง
3. ท่อระบายน้ำ

Effective Lateral and Water Pressures



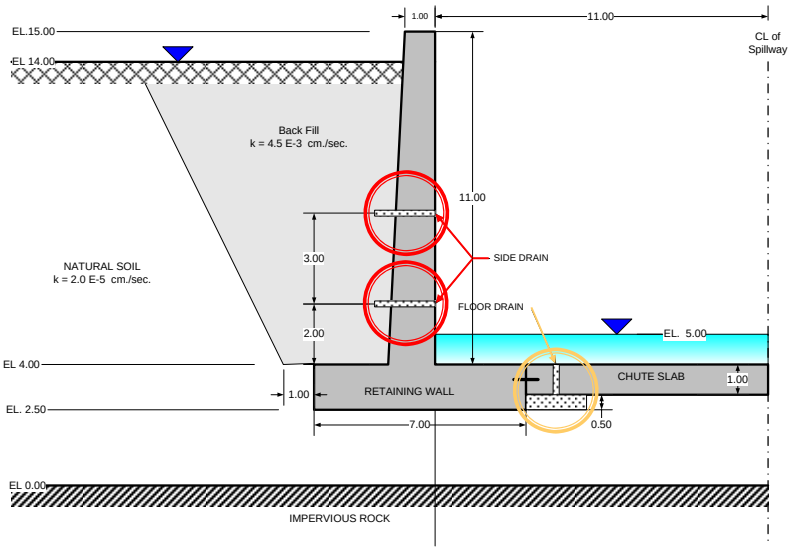
No Seepage | Balanced W.L. | Unbalanced W.L.

γ_t = *Total Density*

γ_{sat} = *Saturated Density*

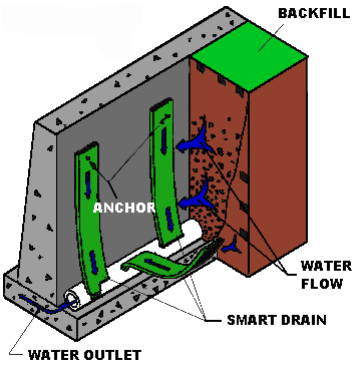
γ_w = *Water Density*

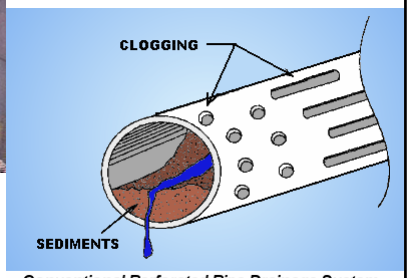
γ_b = *Bounyancy Density*



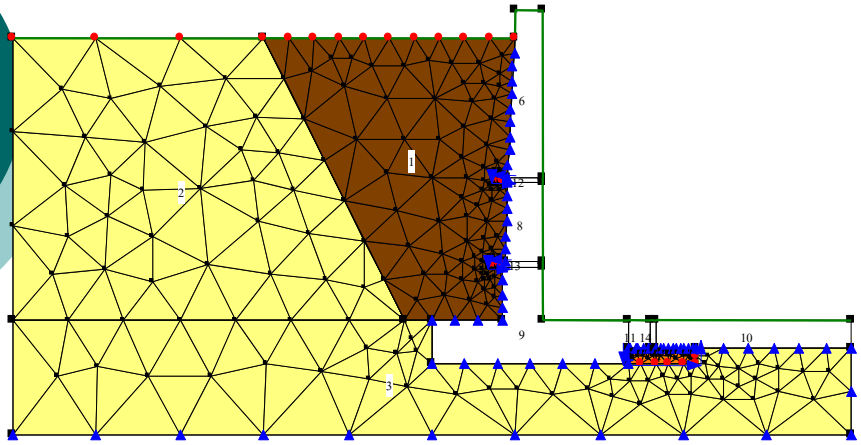
Spillway : Sketch

Drainage System

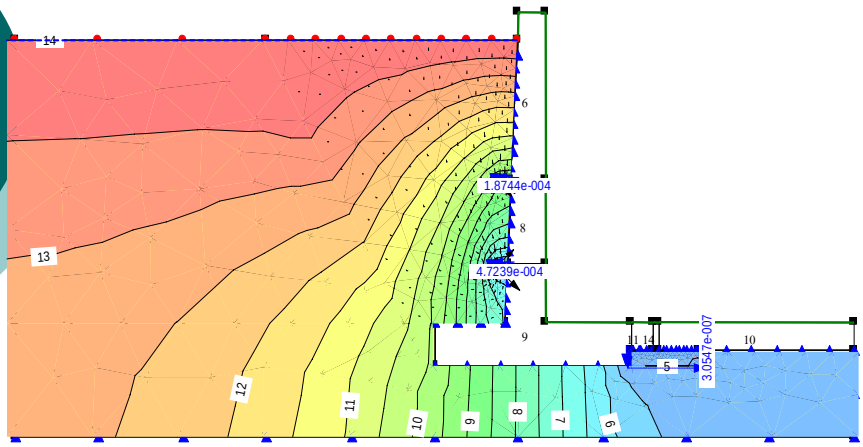




Conventional Perforated Pipe Drainage System



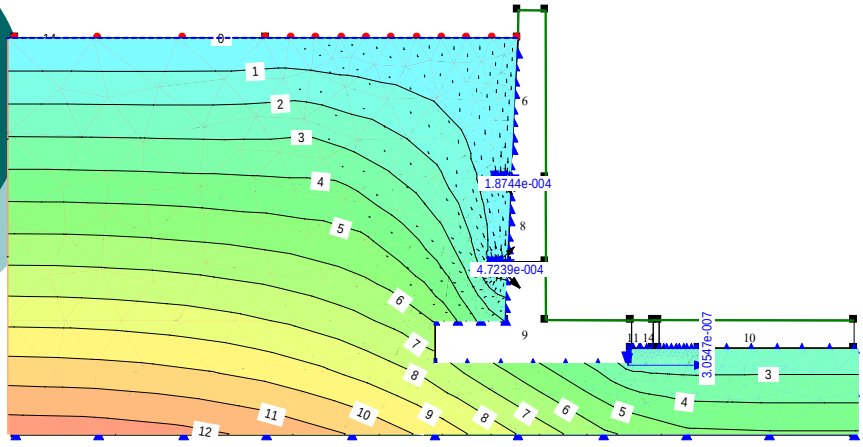
Spillway : Modeling



Unit in meter

Spillway : Result in Total Head

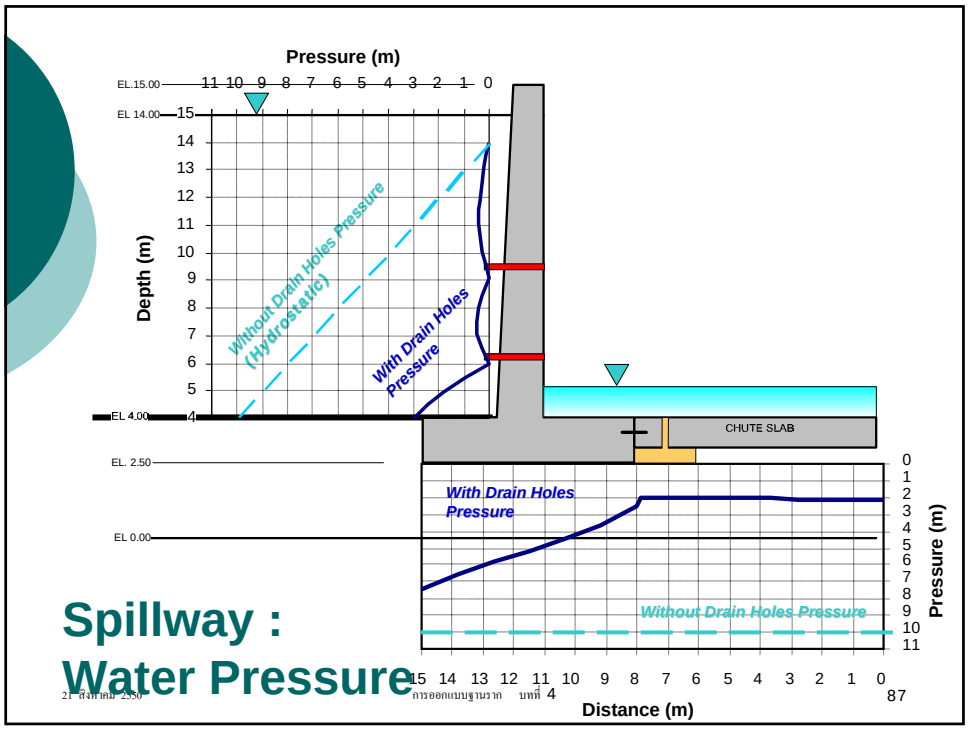
85



Unit in meter

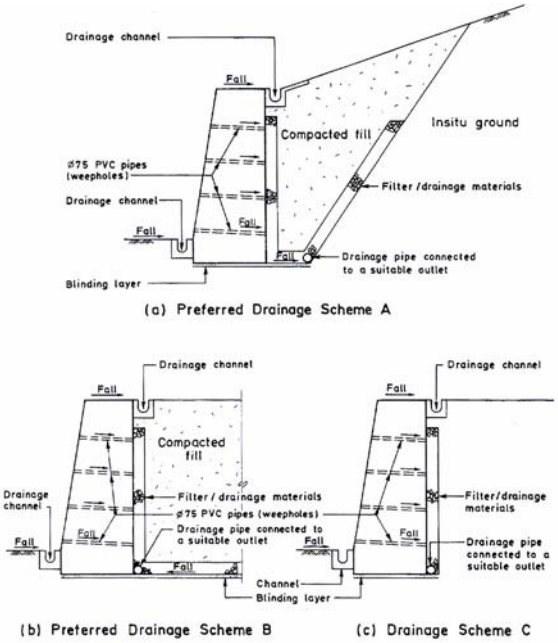
Spillway : Result in Pressure Head

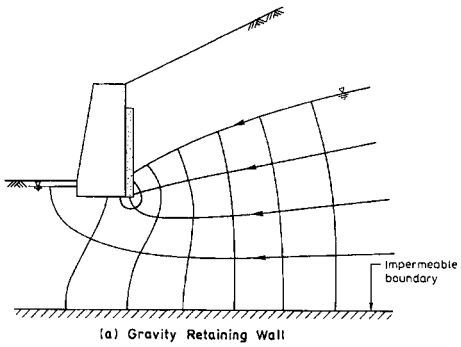
86



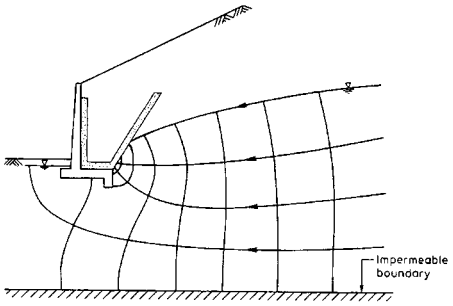
Spillway : Water Pressure

หลักการของการควบคุมแรงดันน้ำบริเวณกำแพงกันดิน



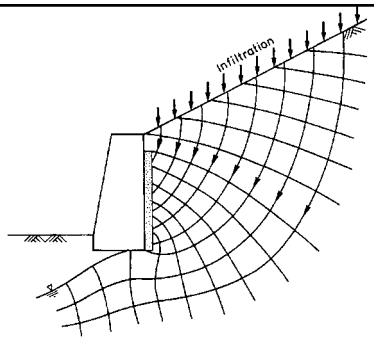


(a) Gravity Retaining Wall

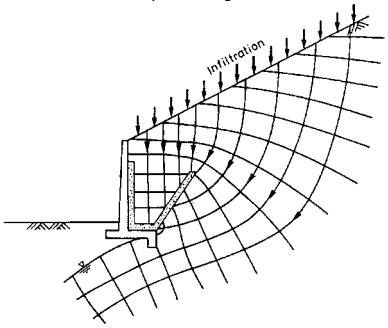


(b) Inverted T-shaped Retaining Wall with Shear Key

การเขียนFlownet ของการไหลเข้าสู่กำแพงกันดิน จากระดับน้ำใต้ดิน

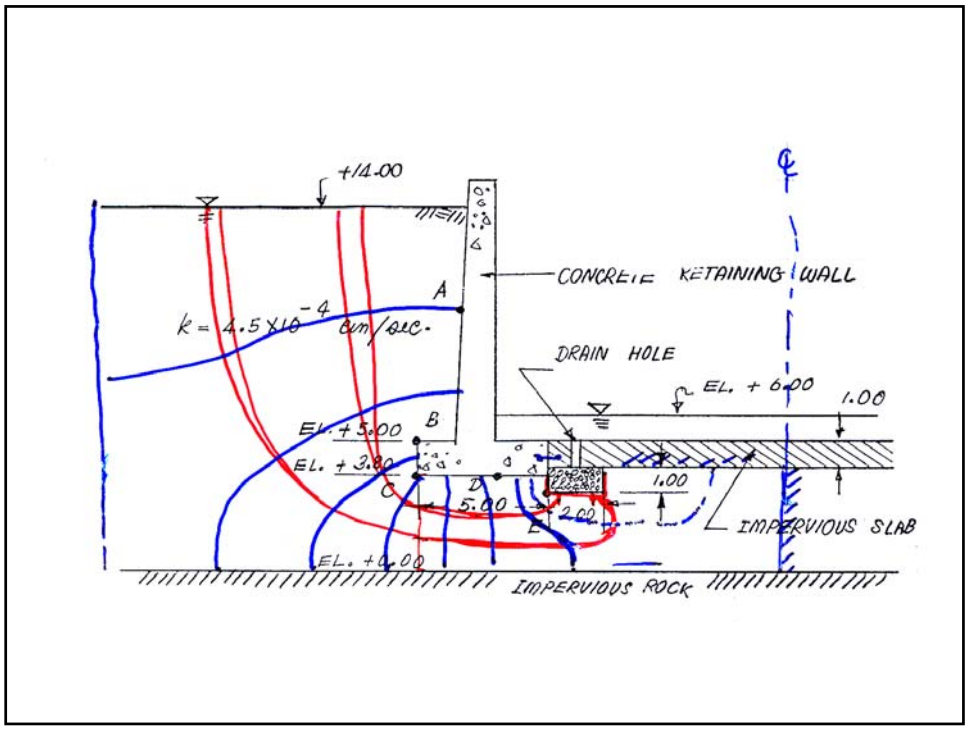


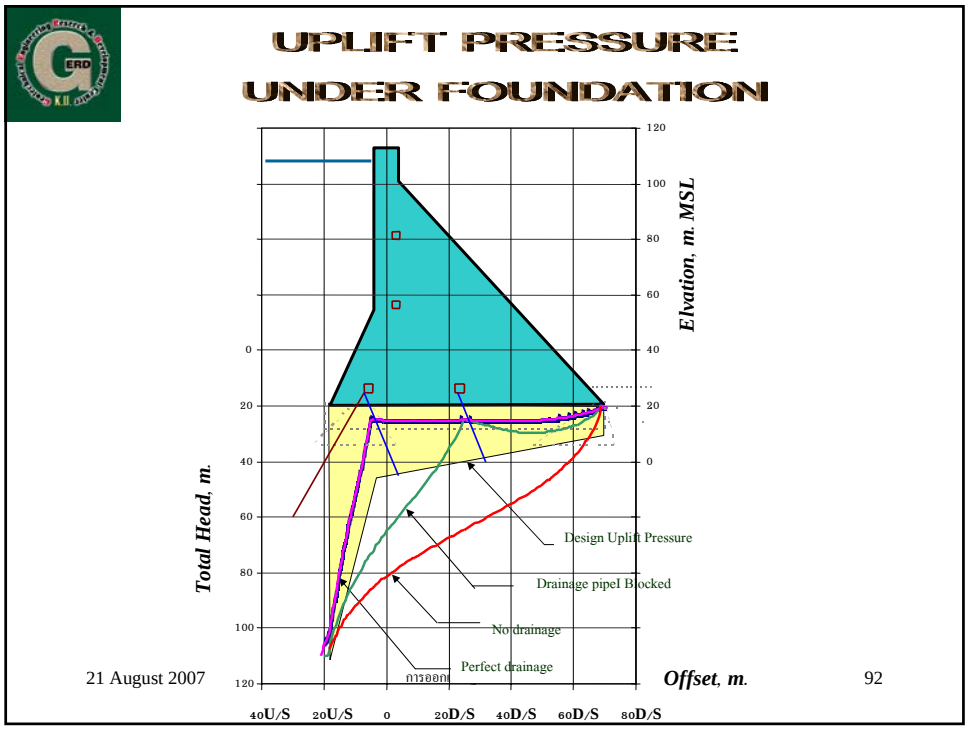
(a) Gravity Retaining Wall



(b) Inverted T-shaped Retaining Wall with Shear Key

การเขียนFlownet ของการไหลเข้าสู่กำแพงกันดิน จากการไหลฉงจากผิวดิน


+14.00
CONCRETE RETAINING WALL
A
k = 4.5 X 10 -4 cm/sec.
DRAIN HOLE
EL. + 6.00
1.00
EL. + 5.00
B
EL. + 3.80
C
D
5.00
2.00
1.00
E
IMPERVIOUS SLAB
EL. + 0.00
IMPERVIOUS ROCK


UPLIFT PRESSURE
UNDER FOUNDATION
Total Head, m.
Elvation, m. MSL
Design Uplift Pressure
Drainage pipeI Blocked
No drainage
Perfect drainage
Offset, m.
40U/S
20U/S
0
20D/S
40D/S
60D/S
80D/S
21 August 2007
92

Civil Engineering Department Kasetsart University

www.eng.ku.ac.th/~ce

แรงดันด้านข้างจากน้ำหนักกดทับบนผิวดิน

$$\sigma = \frac{2q}{\pi H}\cdot\frac{a^2 b}{\left(a^2+b^2\right)^2}$$

$$\sigma = \frac{4q}{\pi H}\frac{a^2 b}{\left(a^2+b^2\right)^2} \quad for \quad a > 0.4$$

$$\sigma = \frac{q}{H}\frac{0.203b}{\left(0.16+b^2\right)^2} \quad for \quad a \le 0.4$$

$$\sigma = \frac{q}{H}\left(\beta - \sin\beta\cdot\cos 2\alpha\right)$$

$$\sigma = \frac{2q}{H}\left(\beta - \sin\beta\cdot\cos 2\alpha\right)$$

กำแพงกันดิน(2)

วิชา 203352 การออกแบบฐานราก

รศ.ดร.วรากร ไม้เรียง

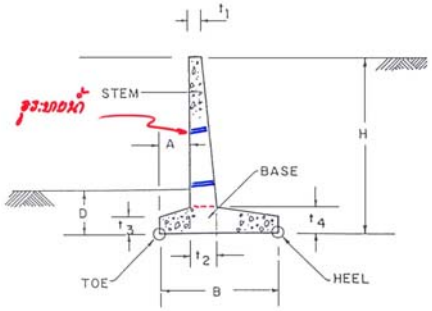
www.eng.ku.ac.th/~ce

หลักการออกแบบผนังกันดินแบบ Cantilever

เมื่อความต่างของผิวดินอยู่ในระหว่าง 2-8 เมตร และดินฐานรากมีคุณภาพดี รับแรงกดได้เกิน 15 ตันต่อตารางเมตรขึ้นไป ผนังกันดินควรออกแบบให้เป็นแบบ Cantilever ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังในรูป คือ

ก. **ส่วนแผงหรือผนัง (Stem)** เป็นแผงคอนกรีตเสริมเหล็กในแนวดิ่งหรือเอียงเพียงเล็กน้อย และต้องแข็งแรงพอจะรับโมเมนต์ และแรงเฉือนที่เกิดจากแรงดันดินได้เพียงพอ ดังนั้นจึงมักทำให้บางในส่วนบน และหนาในส่วนโคน

ข. **ส่วนฐาน (Base)** นอกจากจะทำหน้าที่รองรับผนังแล้ว ยังต้องช่วงป้องกันการเลื่อนไถลของโครงสร้างทั้งหมดด้วย จึงอาจมีครีบด้านล่าง (Key) เพื่อช่วยยึดกับดินฐานรากถ้าจำเป็น ตัวฐานเองจะต้องรับโมเมนต์อันเกิดจากแรงดันดินด้านล่าง และน้ำหนักดินด้านบนได้ด้วย



การจัดสัดส่วนที่เหมาะสมของกำแพง

ในการออกแบบผนังกันดิน บางครั้งจำเป็นต้องมีการสมมติค่าสัดส่วนต่างๆ เพื่อเป็นการเริ่มต้นการออกแบบ หลักเกณฑ์ดังกล่าวอาจเป็นดังนี้

ส่วนประกอบของผนังกันดินแบบ Cantilever

B มีหน้าที่เพิ่ม Sliding Resistance

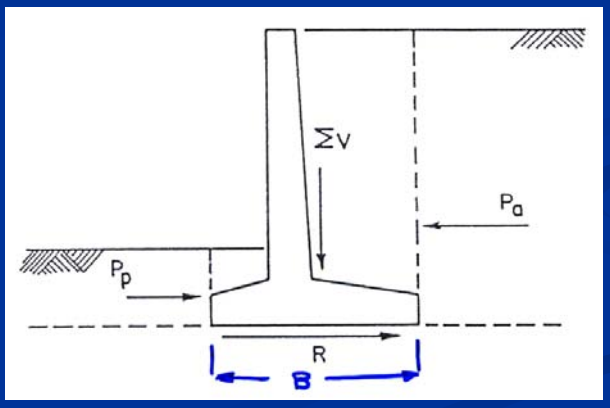
A มีหน้าที่เพิ่ม Resisting Moment ของการพลิกคว่ำ

เมื่อทราบ H

B	≈	0.5H – 0.7H	t_2	=	t_4 ≈ 0.08H – 0.12H
A	≈	0.10H – 0.20H	t_1	>	20 ซม.
t_2	>	30 ซม.			
D	≥	0.5 ม. หรือระดับที่คาดว่าจะเกิดการกัดเซาะ			
t_3	≥	20 ซม. หรือ 0.01H			

ขั้นตอนการออกแบบ (1-2)

1. หาขนาดและสัดส่วนเบื้องต้น
2. ตรวจสอบการเลื่อนของฐาน (Base Sliding) โดยมีอัตราส่วนความปลอดภัยดังนี้



$$F.S. = \frac{R}{\left(P_a - P_p\right)}$$

เมื่อ R = แรงต้านทานการเลื่อน = $c.B. + \Sigma V. \tan\phi$

ΣV = ผลรวมแรงในแนวดิ่งที่ลงมาที่ฐาน

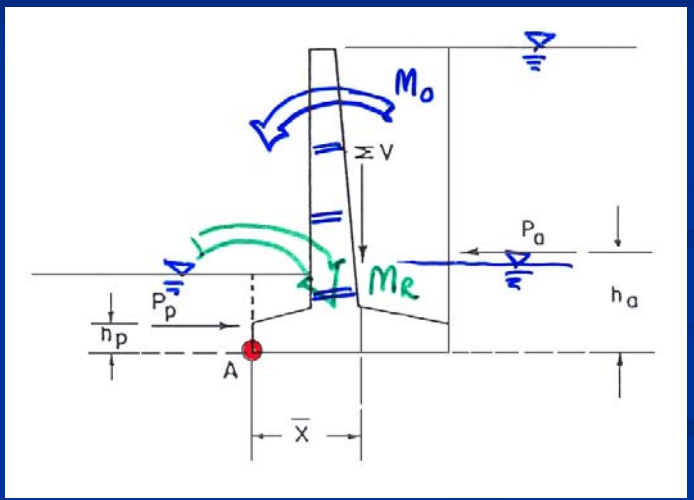
F.S. > 1.5 สำหรับดินทราย

> 2.0 สำหรับดินเหนียว

ในกรณีที่ F.S. น้อยเกินไป ควรแก้ไขโดยการเพิ่มความกว้างของฐาน หรือทำ HEEL KEY ด้านริมในของฐานเพื่อเพิ่มแรงต้าน

ขั้นตอนการออกแบบ (3)

3. ตรวจสอบการพลิกคว่ำของโครงสร้าง (Overtuning)



$$F.S. = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_o} = \frac{P_p \cdot h_p + \bar{x} \cdot \Sigma v}{P_a \cdot h_a}$$

เมื่อ ΣM_R = ผลรวมของโมเมนต์ต้านทานการพลิกรอบจุด A มักเกิดจากน้ำหนักผนัง, น้ำหนักดินเหนือฐาน, แรงดันดินเชิงรับด้านนอกเขื่อน

ΣM_O = ผลรวมของโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกรอบจุด A มักเกิดจากแรงดันดินเชิงรุกของดินด้านใน

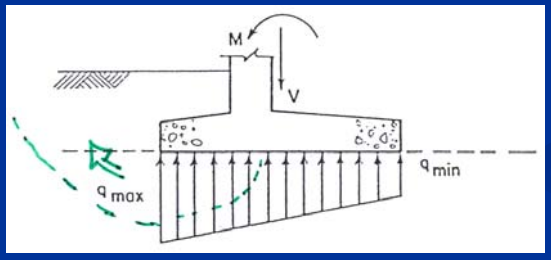
F.S. > 1.5 สำหรับดินทราย

> 2.0 สำหรับดินเหนียว

ขั้นตอนการออกแบบ 4

4. ตรวจสอบหน่วยแรงกดใต้ฐาน (Bearing Stress)

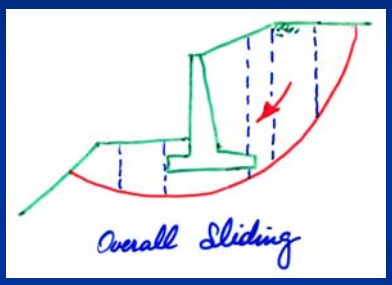
ฐานของผนังกันดินจะคล้ายกับฐานแผ่ ซึ่งรับน้ำหนักในแนวดิ่งและโมเมนต์ ดังนั้นจะเกิดหน่วยแรงกดมากที่สุดที่ฐานด้านนอก (Toe) และน้อยที่สุดที่ด้านใน (Heel)



$q_{max} \not> q_a$ $q_{min} \not< 0$

ขั้นตอนการออกแบบ 5

5. ตรวจสอบความมั่นคงของทั้งระบบ (Overall Sliding)



Check Stability Analysis by

Swedish Circle Method or

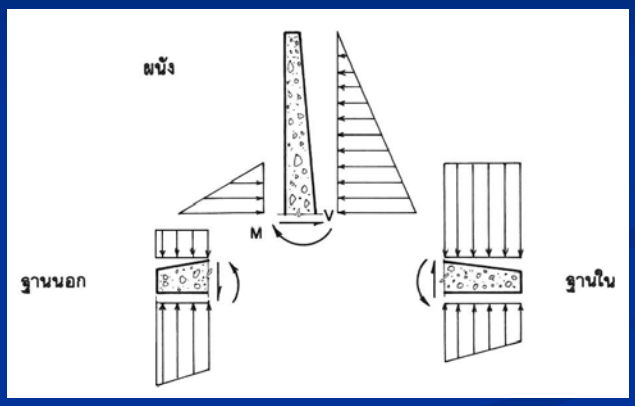
Simplified Bishop Method

โดยวิธี Method of Slices โดยมากมักใช้ผิวเลื่อนเป็นส่วนโค้งของวงกลม รายละเอียดนอกขอบข่ายของบทนี้จะมีการสอนภายหลัง โดยอัตราส่วนปลอดภัยจะต้องมากกว่า 1.5

F.S. > 1.5

ขั้นตอนการออกแบบ (6-7)

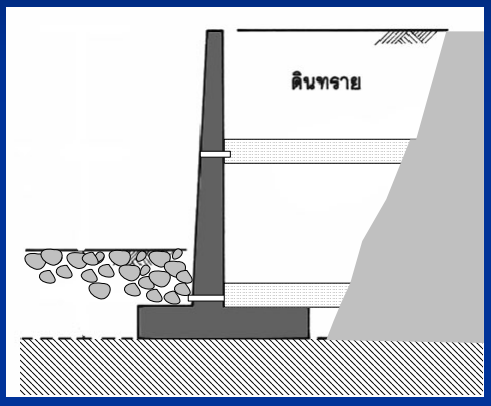
6. ออกแบบโครงสร้างของส่วนประกอบของผนังกันดิน โดยแยกส่วนออกไปคำนวณโมเมนต์ และแรงเฉือนดังในรูป แล้วจึงออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ โดยใช้ทฤษฎีคอนกรีตเสริมเหล็ก



7. เขียนรายละเอียดทางโครงสร้าง และส่วนประกอบที่จำเป็น เช่น การระบายน้ำ

ตัวอย่าง(ต่อ) แรงดันและการจัดสัดส่วนเบื้องต้น

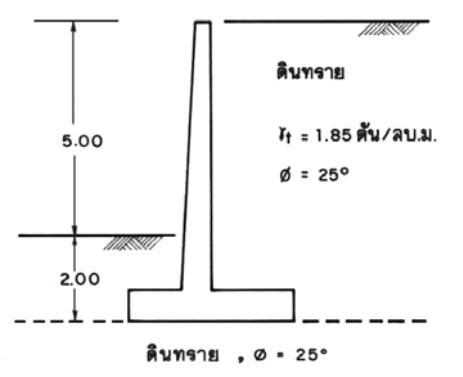
ข้อควรพิจารณาพิเศษในการออกแบบจากสภาพสนามจริง



1. ระดับที่วางฐานของ R.W
2. ดินถม / หินป้องกันการกัดเซาะด้านหลังและด้านหน้า R.W.
3. ระบบระบายน้ำออกจากผนังกันดิน
4. ระดับน้ำที่วิกฤตระหว่างใช้งาน
5. แรงกระทำวิกฤตในระหว่างการใช้งาน

ตัวอย่างการออกแบบ Cantilever Retaining Wall

ให้ออกแบบผนังกันดิน ค.ส.ล. แบบ Cantilever ซึ่งมีระดับต่างกัน 5 เมตร ดังในรูป



คุณสมบัติเหล็กและคอนกรีต

คอนกรีต	$f'_c = 165$	กก./ ตร.ซม.
	$f_c = 2.4$	ตัน/ ค.บ.ม.
เหล็กเสริม	$f_s = 1800$	กก./ ตร.ซม.
	$n = 10$	
	$k = 0.292$	
	$j = 0.903$	
	$R = 9.79$	

ตัวอย่าง(ต่อ) แรงดันและการจัดสัดส่วนเบื้องต้น

1. หาสัมประสิทธิแรงดันดินด้านข้างเชิงรุกและเชิงรับ

$$K_a = \frac{1-\sin 25^\circ}{1+\sin 25^\circ} = 0.406$$

$$K_p = \frac{1}{k_1} = 2.464$$

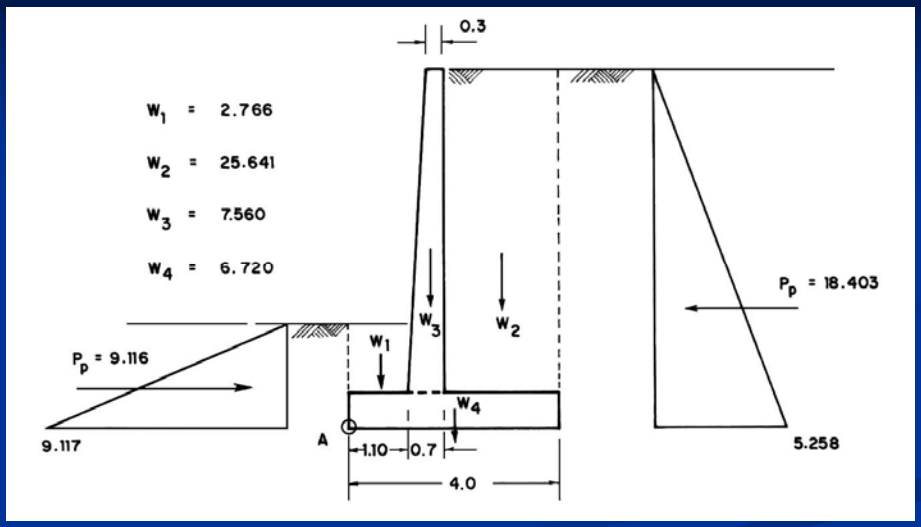
2. จัดขนาดเบื้องต้น

H = 7.0 ม. ให้ B = 0.6 H = 4.2 ม. ใช้ 4.0 ม.

และ $t_2 = t_4$ = 0.1 H = 0.7 ม.

A = 0.15H = 1.05 ม. ใช้ 1.10 ม.

ตัวอย่าง(ต่อ) แรงดันและการจัดสัดส่วนเบื้องต้น



ตัวอย่าง(ต่อ) แรงดันและการจัดสัดส่วนเบื้องต้น

3. ตรวจสอบการเลื่อนของฐาน จากสมการ (12)

$\Sigma V = 2.766 + 25.641 + 7.560 + 6.720 = 42.687$ ตัน

$R = \Sigma V.\tan 25^{o} = 19.905$ ตัน

$\Sigma P = 18.403 - 9.116 = 9.287$ ตัน

$\therefore F.S. = \frac{19.905}{9.287} = 2.143 > 1.5$ สำหรับดินทรายใช้ได้

ถ้าเป็นดินเหนียวให้ใช้ F.S. (allow) ≯ 1.7 - 2.0

ตัวอย่าง(ต่อ) แรงดันและการจัดสัดส่วนเบื้องต้น

4. ตรวจสอบการพลิก จากสมการ (3) พิจารณาโมเมนต์รอบจุด (A)

$\Sigma M_R = 9.166(0.67) + 2.766(0.58) + 25.641(2.90) + 7.560\ (1.55) + 6.720(2.00)$

$= 107.22$ ตัน-ม.

$\Sigma M_o = 18.403(2.33)$

$= 42.94$ ตัน-ม.

$\therefore F.S. = \frac{107.22}{42.94} = 2.497 > 1.5$ สำหรับดินทรายใช้ได้

ดินเหนียว F.S. (a) ≯ 1.7-2.0

ตัวอย่าง(ต่อ) แรงดันและการจัดสัดส่วนเบื้องต้น

5. ตรวจสอบหน่วยแรงกดบนชั้นดิน

$$q_u = qNq + \frac{\gamma B}{2} N_\gamma$$

เมื่อ $\phi = 25$ $N_\gamma = 7.0$, $N_q = 10$

$$\therefore q_u = 1.85(2)(10) + \frac{1.85(4.0)(7)}{2} = 62.90 \quad \text{ตัน / ตร.ม.}$$

$$\therefore q_a = \frac{62.90}{2.5} = 25.16 \quad \text{ตัน / ตร.ม.}$$

ตัวอย่าง(ต่อ) แรงดันและการจัดสัดส่วนเบื้องต้น

หา Eccentric Moment รอบ N.A. ของฐาน

$\Sigma M = 18.403(2.33) + 2.766(1.42) + 7.560(0.45) - 9.116(0.67) - 25.641(0.90)$

$= 21.024$ ตัน / ม.

$\Sigma V = 42.687$ ตัน / ม.

$$\therefore q_{max} = \frac{\Sigma V}{BL} + \frac{6M}{BL^2} = \frac{42.687}{4\times1} + \frac{6(21.024)}{1(4)^2} = 18.55 \quad \text{ตัน / ตร.ม.}$$

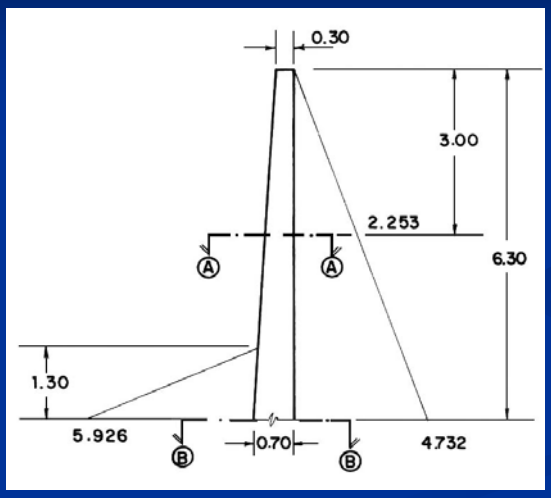
$< q_a$

$$q_{min} = \frac{\Sigma V}{BL} - \frac{6M}{BL^2} = 2.79 \quad \text{ตัน/ ตร.ม.}$$

> 0

หมายเหตุ : หากเป็นโครงการใหญ่ ควรตรวจสอบอย่างละเอียดโดยการคำนวณ qu โดยมี Correction Factors สำหรับฐานแผ่ ให้ครบถ้วน

6. ออกแบบความหนา และเหล็กเสริมของตัวผนัง



$M_{A\text{-}A}$ = 3.379 ตัน- ม.

$V_{A\text{-}A}$ = 3.379 ตัน

$M_{B\text{-}B}$ = 31.302 - 1.699

= 29.633 ตัน-ม.

$V_{B\text{-}B}$ = 11.055 ตัน

ที่ section A-A $d = \sqrt{\frac{3379}{9.79\times 1}} = 18.58$ ใช้ 42 ซม. โดยมี Covering 7 ซม.

$\therefore A_s = \frac{3379}{1800\times 0.903\times 0.42} = 4.95$ ตร.ซม. ใช้ A_t

$A_t = 0.0025(50\times 100) = 12.5$ ตร.ซม.

ที่ section B-B $d = \sqrt{\frac{29633}{9.79\times 1}} = 55.02$ ใช้ 62 ซม.

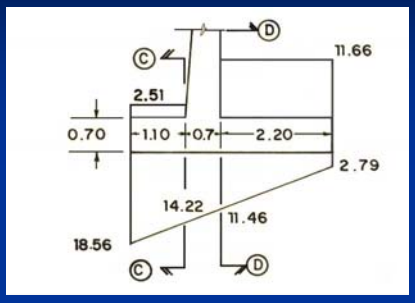
$\therefore A_s = \frac{29633}{1800\times 0.903\times 0.62} = 29.41$ ตร.ซม.

ตรวจสอบหน่วยแรงเฉือนที่ section B-B

$v = \frac{11055}{62\times 100} = 1.783$

$v_a = 0.292\sqrt{f'_c} = 3.75 > 1.783$ ใช้ได้

7. ออกแบบความหนาและเหล็กเสริมของฐาน



ที่ Section C-C

$M_{C\text{-}C}$ = 7.819 ตัน/ ม.

$V_{C\text{-}C}$ = 13.420 ตัน

$$d = \sqrt{\frac{7819}{9.75\times 1}} = 28.26 \text{ ซม. ใช้ 60 ซม.}$$

$$A_S = \frac{7819}{1800\times 0.903\times 0.60} = 8.02 \text{ ตร.ซม. ใช้ } A_t$$

At = **0.0025(60x100)** **= 15.0** ตร.ซม.

ตรวจสอบแรงเฉือน

$$v = \frac{13420}{60\times 100} = 2.24 < 3.75$$ **ใช้ได้**

ที่ section D-D

M_{DD} = 19.173 ตัน / ตร.ซม.

V_{DD} = 13.673 ตัน

$$d = \sqrt{\frac{19{,}173}{9.75\times 1}} = 44.34$$ ใช้ 60 ซม.

$$A_s = \frac{19173}{1800\times 0.903\times 60} = 19.66 \text{ ตร.ซม.}$$

$$v = \frac{13673}{60\times 100} = 2.279 < 3.75$$ **ใช้ได้**

กำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Counterfort Wall

หลักการออกแบบผนังกันดินแบบ Counterfort Wall

1. หลักการตรวจสอบ Base Sliding, Overturning, Bearing, Capacity, Overall Stability เหมือนกับ Cantilever R.W.
2. การออกแบบชิ้นส่วนขององค์ประกอบ

2.1 แผ่นผนังและแผ่นฐานยัน

- → ใช้การวิเคราะห์ Moment จากทฤษฎี Plate (โครงสร้างเปลือกบาง)
- → การออกแบบโดยปรับให้ง่ายขึ้นใช้ Standard BMD.

2.2 ครีบ Cownterfort

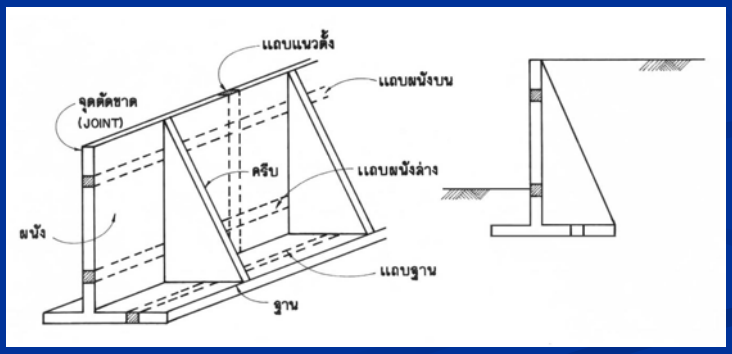
- → T-Beam (Deep Beam)
- → Compression member (ทะแยง) (Tension member)

2.3 แผ่นฐานด้านนอก

- → Cantilever slab เหมือน Cantilever R.W.

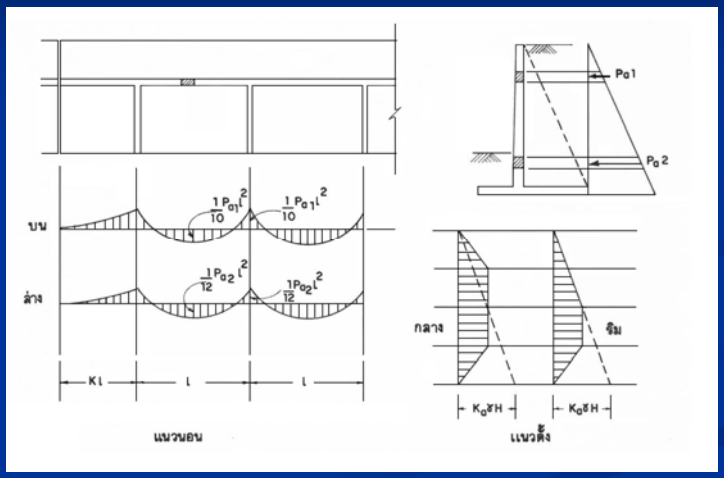
องค์ประกอบของ Counterfort Wall

เมื่อความต่างของระดับดินมากกว่า 8 เมตร การออกแบบผนังกันดินแบบ Counterfort จะทำให้ประหยัดกว่าแบบ Cantilever ทั้งนี้เพราะมีครีบ ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างผนังและฐานเป็นช่วงๆ ช่วยให้เพิ่มความแข็งแรงขึ้น ส่วนประกอบของผนังกันดินแบบนี้ จึงประกอบด้วย ผนัง, ฐาน และครีบ

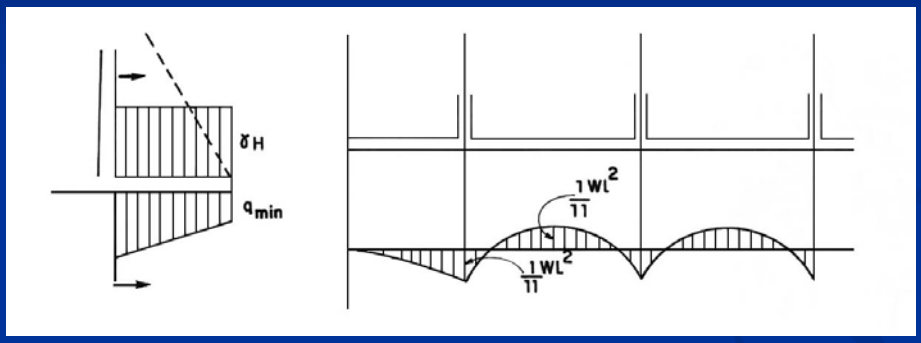


ส่วนประกอบของผนังกันดินแบบ Counterfort

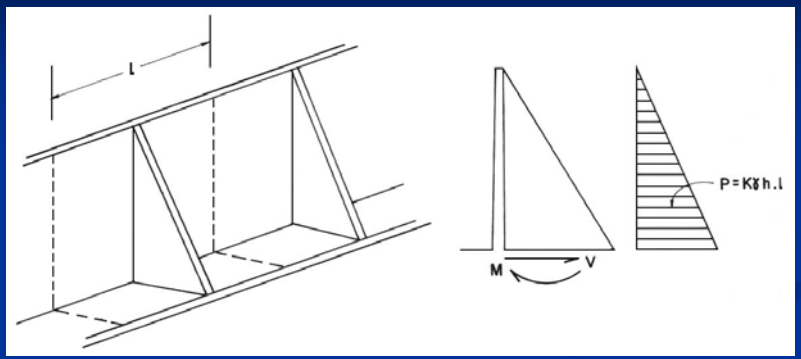
การคำนวณโมเมนต์บนผนัง Counterfort



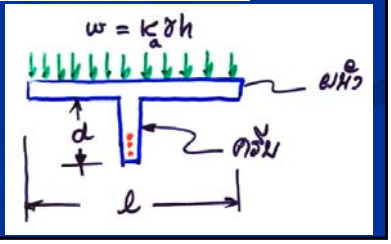
การคำนวณโมเมนต์บนฐาน Buttress Wall



การคำนวณโมเมนต์ในครีบยัน



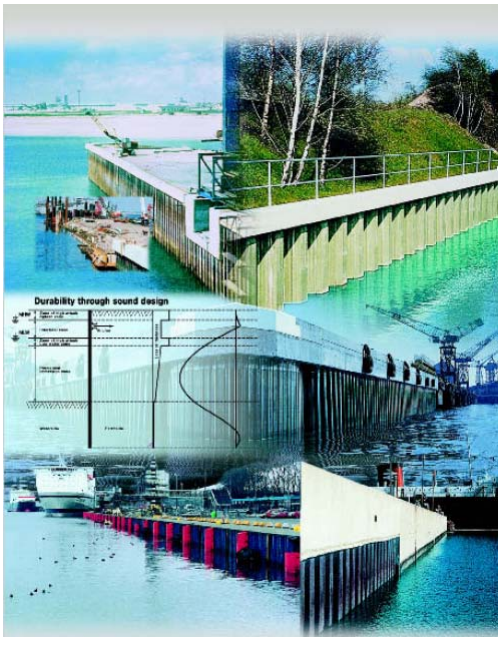
T-Beam Assumption

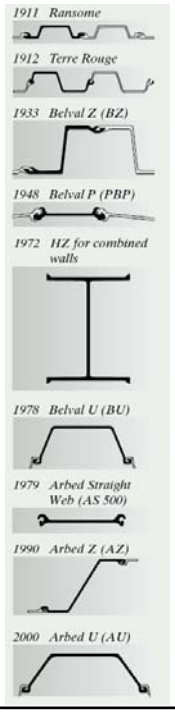


ตัวอย่างการออกแบบ Counterfort Wall

ตัวอย่างการออกแบบ Counterfort Wall

ผนังกันดินแบบเข็มพืดและ Slurry Wall





There are many installation methods for sheet piles but the most common remains vibro-driving. Depending on the geotechnical properties of the soil and the type of sheet piles, the piling contractor can also select a high-speed double acting hammer or, in certain cases, an impact hammer. Jacking – static action which involves pressing the sheet pile into

the ground by means of a press – represents an efficient solution for certain specific sections. Installation may be facilitated by driving assistance techniques, the most well known of which are pre-drilling and jetting. The latter operation involves injecting water under pressure at the toe of the sheet pile during driving.

For other questions about driving methods please contact the technical department of Arcelor Long Commercial Sheet Piling.

ลักษณะการใช้งานของเข็มพืด

ข้อดี 1. ตอกก่อนที่จะมีการขุดดิน

2. หน้าตัดบางจึงไม่กระทบกระเทือนดิน

ข้อเสีย 1. Section Modulus น้อย จึงมีการแอ่นโก่งง่าย ทำให้พื้นดินโดยรอบเคลื่อนตัว

2. ต้องมีสมอยึด หรือค้ำยัน เมื่อมีความลึกมาก

U.S. Steel Sheet Pile (US-Standard)

STANDARD SHEET PILING
Dimensions and Properties for Designing

Designation	Profile*	Weight Per Foot lb	Weight Per Sq Ft of Wall lb	Area A in.²	Driving Width in.	Surface Area Including Interlock ft²/ft	Surface Area Coating** Area ft²/ft
PZ38		57.0	38.0	16.77	18	5.52	5.06
PZ32		56.0	32.0	16.47	21	5.52	5.06
PZ27		40.5	27.0	11.91	18	4.94	4.48
PDA27		36.0	27.0	10.59	16	4.52	3.86
PMA22		36.0	22.0	10.59	19-5/8	4.54	3.88
PSA28 †		37.3	28.0	10.98	16	3.74	3.06
PSA23 †		30.7	23.0	8.99	16	3.76	3.08
PS32 †		40.0	32.0	11.76	15	3.66	2.82
PS28 †		35.0	28.0	10.29	15	3.70	2.86

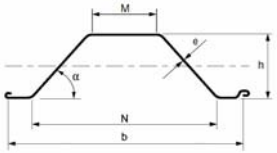
Normal material specifications: ASTM A328, ASTM A572 grades 42 through 55.
* Sections produced by different manufacturers may not interlock properly. Consult the manufacturer.
** Excludes bowl and ball of interlock (Divide value by 2 for area on one side of pile.)
† These sections generally used in applications involving interlock strength rather than section modulus. Section properties shown for information purposes only.

STANDARD SHEET PILING
Dimensions and Properties for Designing

Section Properties: Axis X-X, Single Section I in.⁴	S in.³	r in.	Per Lineal Foot of Wall I in.⁴	S in.³	r in.	Axis Y-Y, Single Section I in.⁴	S in.³	Producers
421.2	70.2	5.01	280.8	46.8	5.01	471.0	49.6	B-U
385.7	67.0	4.84	220.4	38.3	4.84	705.0	63.9	B-U
276.3	45.3	4.82	184.2	30.2	4.82	340.0	36.0	B-U
53.0	14.3	2.24	39.8	10.7	2.24	327.0	39.1	U B
22.4 26.0	8.8	1.57	13.7 15.9	5.4	1.57	486.0	47.9	U B
6.0	3.3	0.74	4.5	2.5	0.74	332.0	39.8	B-U-W
5.5	3.2	0.78	4.1	2.4	0.78	288.0	34.5	B-U-W
3.6-4.6	2.4-3.0	0.55-0.63	2.9-3.7	1.9-2.4	0.55-0.63	—	—	B-U-W
3.5-4.6	2.4-3.0	0.58-0.67	2.8-3.7	1.9-2.4	0.58-0.67	—	—	B-U-W

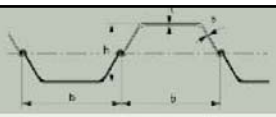
Producers: (Only AISI members included)
B - Bethlehem Steel Corporation
U - United States Steel Corporation
W - Weirton Steel Division of National Steel Corporation

U-Shape Steel Sheet Pile (EU-Standard)



Section	Width b	Heigth h	Thickness e	Sectional Area	Mass		Moment of Inertia	Elastic Section Modulus	Coating Area per Single Pile
	(mm.)	(mm.)	(mm.)	(cm^2/m.)	kg./m of single pile	kg./m^2 of wall	(cm^4/m.)	(cm^3/m.)	(m^2/m.)
PAL 30 30	**660**	**89**	**3**	**37.5**	**19.4**	**29.4**	**500**	**112**	**0.80**
PAL 30 40	**660**	**90**	**4**	**49.9**	**25.8**	**39.2**	**666**	**147**	**0.80**
PAL 30 50	**660**	**91**	**5**	**62.2**	**32.2**	**48.8**	**831**	**181**	**0.80**
PAL 31 30	**711**	**125**	**3**	**42.2**	**23.5**	**33.1**	**1,244**	**199**	**0.97**
PAL 31 40	**711**	**126**	**4**	**56.1**	**31.3**	**44.0**	**1,655**	**261**	**0.97**
PAL 31 50	**711**	**127**	**5**	**70.0**	**39.0**	**54.9**	**2,063**	**322**	**0.97**
PAL 32 60	**700**	**149**	**6**	**84.1**	**46.2**	**66.0**	**3,096**	**413**	**0.92**
PAL 32 70	**700**	**150**	**7**	**96.8**	**53.2**	**76.0**	**3,604**	**479**	**0.92**
PAL 32 80	**700**	**151**	**8**	**112.1**	**61.6**	**88.0**	**4,109**	**545**	**0.92**
PAL 32 90	**700**	**152**	**9**	**127.4**	**70.0**	**100.0**	**4,611**	**605**	**0.92**
PAU 22 40	**922**	**251.5**	**4**	**53.9**	**39.0**	**42.3**	**5,101**	**404**	**1.22**
PAU 22 50	**922**	**252.5**	**5**	**67.3**	**48.7**	**52.8**	**6,363**	**504**	**1.22**
PAU 22 60	**922**	**253.5**	**6**	**80.7**	**58.3**	**63.3**	**7,620**	**600**	**1.22**
PAU 24 40	**813**	**293**	**4**	**61.1**	**39.0**	**48.0**	**7,897**	**537**	**1.22**
PAU 24 50	**813**	**294**	**5**	**76.3**	**48.7**	**59.9**	**9,858**	**669**	**1.22**
PAU 24 60	**813**	**295**	**6**	**91.4**	**58.3**	**71.8**	**11,813**	**801**	**1.22**
PAU 27 70	**804**	**296**	**7**	**111.4**	**70.4**	**87.5**	**14,030**	**934**	**1.16**
PAU 27 80	**804**	**297**	**8**	**127.1**	**80.3**	**99.8**	**15,995**	**1,063**	**1.16**

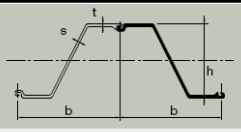
U-Shape Steel Sheet Pile (EU-Standard)



Section	Width b mm	Height h mm	Thickness t mm	Thickness s mm	Sectional area cm²/m	Mass kg/m of single pile	Mass kg/m² of wall	Moment of inertia cm⁴/m	Elastic section modulus cm³/m	Static moment cm³/m	Plastic section modulus cm³/m	Class* S 240	S 270	S 320	S 355	S 390	S 430
AU 14	750	408	10.0	8.3	132	77.9	**104**	28710	**1410**	820	1663	2	2	2	2	3	3
AU 16	750	411	11.5	9.3	147	86.3	**115**	32850	**1600**	935	1891	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**	**2**
AU 17	750	412	12.0	9.7	151	89.0	**119**	34270	**1665**	975	1968	2	2	2	2	2	2
AU 18	750	441	10.5	9.1	150	88.5	**118**	39300	**1780**	1028	2082	2	2	2	3	3	3
AU 20	750	444	12.0	10.0	165	96.9	**129**	44440	**2000**	1157	2339	2	2	2	2	2	3
AU 21	750	445	12.5	10.3	169	99.7	**133**	46180	**2075**	1200	2423	2	2	2	2	2	2
AU 23	750	447	13.0	9.5	173	102.1	**136**	50700	**2270**	1285	2600	2	2	2	2	2	3
AU 25	750	450	14.5	10.2	188	110.4	**147**	56240	**2500**	1420	2866	2	2	2	2	2	2
AU 26	750	451	15.0	10.5	192	113.2	**151**	58140	**2580**	1465	2955	2	2	2	2	2	2
PU 6	600	226	7.5	6.4	97	45.6	**76**	6780	**600**	335	697	3	3	4	4	4	4
PU 8	600	280	8.0	8.0	116	54.5	**91**	11620	**830**	480	983	3	3	3	4	4	4
PU 12	600	360	9.8	9.0	140	66.1	**110**	21600	**1200**	715	1457	2	2	2	2	2	2
PU 12 10/10	600	360	10.0	10.0	148	69.9	**116**	22580	**1255**	755	1535	2	2	2	2	2	2
PU 16	600	380	12.0	9.0	159	74.7	**124**	30400	**1600**	925	1878	2	2	2	2	2	2
PU 20	600	430	12.4	10.0	179	84.3	**140**	43000	**2000**	1165	2363	2	2	2	2	2	2
PU 25	600	452	14.2	10.0	199	93.6	**156**	56490	**2500**	1435	2899	2	2	2	2	2	2
PU 32	600	452	19.5	11.0	242	114.1	**190**	72320	**3200**	1825	3687	2	2	2	2	2	2
L 2 S	500	340	12.3	9.0	177	69.7	**139**	27200	**1600**	915	1871	2	2	2	2	2	2
L 3 S	500	400	14.1	10.0	201	78.9	**158**	40010	**2000**	1175	2389	2	2	2	2	2	2
L 4 S	500	440	15.5	10.0	219	86.2	**172**	55010	**2500**	1455	2956	2	2	2	2	2	2
JSP3	400	250	13.0	-	191	60	**150**	16800	**1340**	730	-						

The moment of inertia and section moduli values given assume correct shear transfer across the interlock.
*: Classification according to ENV 1993-5.
Class 1 is obtained by verification of the rotation capacity for a class 2 cross-section.
A set of tables with all the data required for design in accordance with ENV 1993-5 is available from our Technical Department.
All PU sections can be rolled-up or -down by 0.5 mm and 1.0 mm. Other sections on request.

Z-Shape Steel Sheet Pile (EU-Standard)



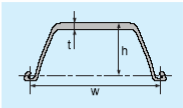
Section	Width b mm	Height h mm	Thickness t mm	Thickness s mm	Sectional area cm²/m	Mass kg/m of single pile	Mass kg/m² of wall	Moment of inertia cm⁴/m	Elastic section modulus cm³/m	Static moment cm³/m	Plastic section modulus cm³/m	Class* S 240	S 270	S 320	S 355	S 390	S 430
AZ 12	670	302	8.5	8.5	126	66.1	**99**	18140	**1200**	705	1409	2	3	3	3	3	3
AZ 13	670	303	9.5	9.5	137	72.0	**107**	19700	**1300**	765	1528	2	2	2	3	3	3
AZ 14	670	304	10.5	10.5	149	78.3	**117**	21300	**1400**	825	1651	2	2	2	2	2	3
AZ 17	630	379	8.5	8.5	138	68.4	**109**	31580	**1665**	970	1944	2	2	3	3	3	3
AZ 18	630	380	9.5	9.5	150	74.4	**118**	34200	**1800**	1050	2104	2	2	2	3	3	3
AZ 19	630	381	10.5	10.5	164	81.0	**129**	36980	**1940**	1140	2275	2	2	2	2	2	2
AZ 25	630	426	12.0	11.2	185	91.5	**145**	52250	**2455**	1435	2873	2	2	2	2	2	2
AZ 26	630	427	13.0	12.2	198	97.8	**155**	55510	**2600**	1530	3059	2	2	2	2	2	2
AZ 28	630	428	14.0	13.2	211	104.4	**166**	58940	**2755**	1625	3252	2	2	2	2	2	2
AZ 34	630	459	17.0	13.0	234	115.5	**183**	78700	**3430**	1990	3980	2	2	2	2	2	2
AZ 36	630	460	18.0	14.0	247	122.2	**194**	82800	**3600**	2100	4196	2	2	2	2	2	2
AZ 38	630	461	19.0	15.0	261	129.1	**205**	87080	**3780**	2210	4417	2	2	2	2	2	2
AZ 46	580	481	18.0	14.0	291	132.6	**229**	110450	**4595**	2650	5295	2	2	2	2	2	2
AZ 48	580	482	19.0	15.0	307	139.6	**241**	115670	**4800**	2775	5553	2	2	2	2	2	2
AZ 50	580	483	20.0	16.0	322	146.7	**253**	121060	**5015**	2910	5816	2	2	2	2	2	2
For minimum steel thicknesses of 10 mm:																	
AZ 13 10/10	670	304	10.0	10.0	143	75.2	**112**	20480	**1350**	795	1589	2	2	2	2	3	3
AZ 18 10/10	630	381	10.0	10.0	157	77.8	**123**	35540	**1870**	1095	2189	2	2	2	2	2	3
For minimum steel thicknesses of 12.7 mm:																	
AZ 26 + 0.5	630	428	13.5	12.7	204	101.1	**161**	57240	**2675**	1575	3155	2	2	2	2	2	2

*: Classification according to ENV 1993-5.
Class 1 is obtained by verification of the rotation capacity for a class-2 cross-section.
A set of tables with all the data required for design in accordance with ENV 1993-5 is available from our Technical Department.

U-Shape Steel Sheet Pile (Japanese-Standard)

1 U-shaped steel sheet pile

Select an appropriate type of U-shaped steel sheet pile based on the usage and load conditions.



■ **List of cross-sectional performance values**

Type	Dimensions			Per steel sheet pile				Per each meter of wall width			
	Effective width W (mm)	Effective height h (mm)	Thickness t (mm)	Cross section x 10^{-4} (m^2)	Geometrical moment of inertia x 10^{-8} (m^4)	Section modulus x 10^{-5} (m^3)	Unit weight (kg/m)	Cross section x 10^{-4} (m^2/m)	Geometrical moment of inertia x 10^{-8} (m^4/m)	Section modulus x 10^{-5} (m^3/m)	Unit weight (kg/m^2)
JFESP-2W	600	130	10.3	78.70	2,110	203	61.8	131.2	13,000	1,000	103
JFESP-3W	600	180	13.4	103.9	5,220	376	81.6	173.2	32,400	1,800	136
JFESP-4W	600	210	18.0	135.3	8,630	539	106	225.5	56,700	2,700	177
JFESP-1A	400	85	8.0	45.21	598	88	35.5	113.0	4,500	529	88.8
JFESP-2	400	100	10.5	61.18	1,240	152	48.0	153.0	8,740	874	120
JFESP-3	400	125	13.0	76.42	2,220	223	60.0	191.0	16,800	1,340	150
JFESP-4	400	170	15.5	96.99	4,670	362	76.1	242.5	38,600	2,270	190
JFESP-5L	500	200	24.3	133.8	7,960	520	105	267.6	63,000	3,150	210
JFESP-6L	500	225	27.6	153.0	11,400	680	120	306.0	86,000	3,820	240

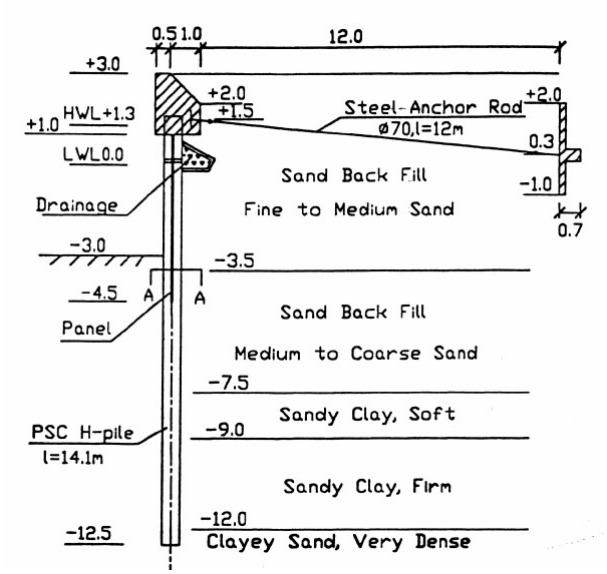
ประเภทของเข็มพืด

1. Cantilever Sheet Pile H = 2 – 5 เมตร

2. Anchored Sheet Pile H ≅ 3 – 10 เมตร

   - Free Earth Support

   - Fixed Earth Support

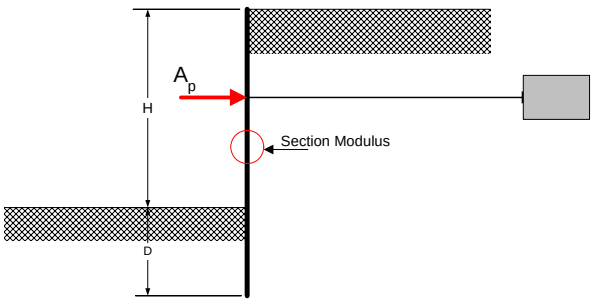


ความต้องการในการออกแบบ

1. ความยาวของเข็มพืด = ความต่างของชั้นดิน (H) + ระยะหยั่ง (D)

2. ขนาดหน้าตัดเข็มพืด = Section Modulus

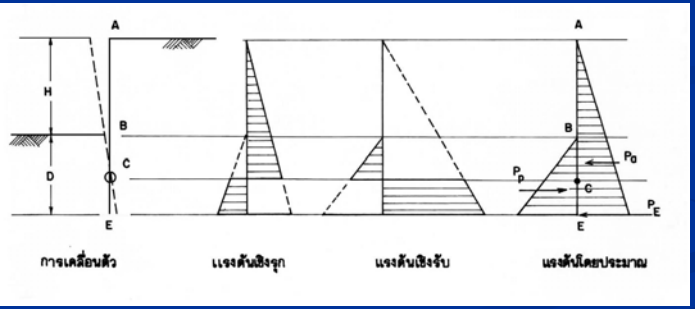
3. แรงค้ำยัน หรือแรงดึงในสมอ (A_p)



แรงดันดินกระทำต่อเข็มพืดแบบ Cantilever ในดินทราย

1. Cantilever Sheet Pile

ในกรณีที่ความต่างของชั้นดินไม่มากนัก อาจออกแบบเข็มพืดให้ปลายหยั่งลงไปในชั้นดินให้เพียงพอที่จะรับโมเมนต์ ในลักษณะ “Fixed End” โดยไม่ต้องมีสมอคอยช่วยรับแรงด้านบน และเมื่อใช้งานปลายเข็มด้านบน จะแอ่นตัวออกเล็กน้อย



Sheet Pile Structures.

1. Cantilever S.P.

2. Anchored S.P.

- Free Earth Support

- Fixed Earth Support

แรงดันดินด้านข้างต่อเข็มพืดแบบ Cantilever

จากรูปแรงดันดินด้านข้างต่อเข็มพืดแบบ Cantilever

$$P_a = \frac{1}{2} K_a . \gamma (H + D)^2 \qquad \text{---(1)}$$

$$P_p = \frac{1}{2} K_p . \gamma D^2 \qquad \text{---(2)}$$

$\Sigma M \ @ \ E = 0 \qquad P_p \cdot \frac{D}{3} - P_p \cdot \frac{(H+D)}{3} = 0$

หรือ

$$D = \frac{H \cdot \sqrt[3]{K_a / K_p}}{1 - \sqrt[3]{K_a / K_p}} \qquad \text{---(3)}$$

ถ้า $Kp = \frac{1}{K_a}$ แทนในสมการ (3)

$$D = H \cdot \left[\frac{K_a^{2/3}}{1 - K_a^{2/3}} \right] \qquad \text{---(4)}$$

ในทางปฏิบัติค่า D จะเผื่อไว้อีกประมาณ 20%

$\Sigma F_H = 0$

$$P_E = P_p - P_a \qquad \text{---(5)}$$

เมื่อทราบค่า D, P_E จะสามารถเขียน S.F.D. และ B.M.D. ได้

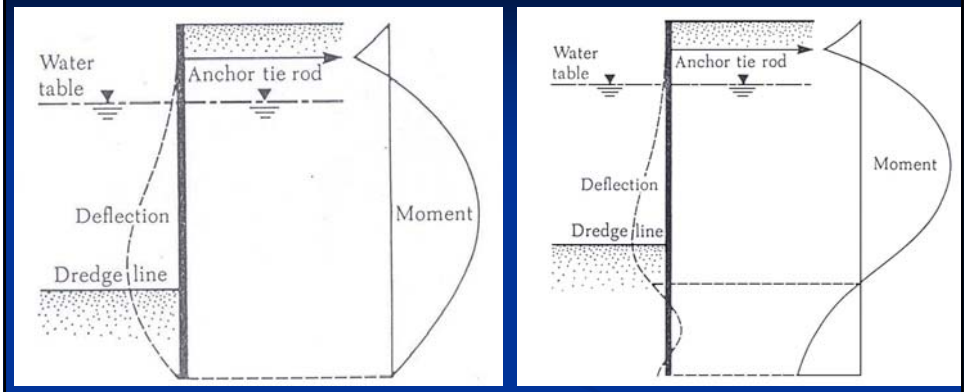
เข็มพืดมีสมอยึด (ANCHORED SHEET PILE WALL)

เมื่อความต่างระดับของระดับดินต่างกันมากกว่า 6 เมตร การออกแบบเข็มพืดที่มีการยึดด้วยระบบสมอที่ระดับบนของกำแพงจะมีความประหยัดกว่า ระบบนี้จะทำให้ความลึกในการฝังจมปลายล่างของเข็มลดลงและพื้นที่หน้าตัด(Section Modulus)ของเข็มพืดลดลง แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบเข็มพืดีสมอยึดก็ยุ่งยากขึ้นและต้องมีความระมัดระวังมากขึ้น

ตามปกติการออกแบบเข็มพืดลักษณะนี้ยังแบ่งย่อยออกเป็นสองแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะการจับยึดปลายด้านล่างของเข็มซึ่งจะเป็นปัจจัยกำหนดการเคลื่อนตัวของเข็ม คือ

ก) *Free earth support: เมื่อปลายล่างขยับตัวหรือหมุนตัวได้บ้าง เกิดจากดินโดยรอบไม่แข็งหรือแน่นมากและ/หรือการตอกหยั่งลงได้ไม่ลึกมากนัก*

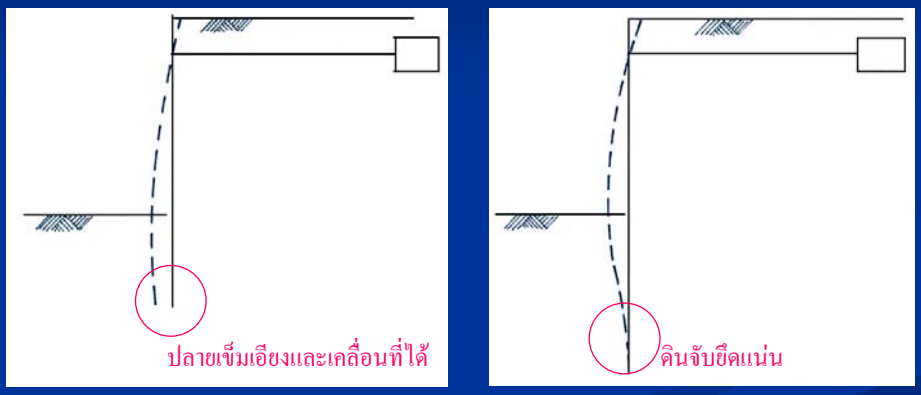
ข) *Fixed earth support: เมื่อปลายล่างถูกตรึงไม่ขยับตัวและไม่มีการหมุน เมื่อมีการตอกปลายหยั่งลงได้ลึก*



(a) free earth support method **(b) fixed earth support method**

Nature of variation of deflection and moment for anchored sheet piles

ลักษณะการโค้งของเข็มพืดแบบ Free Earth และ Fixed Earth Support

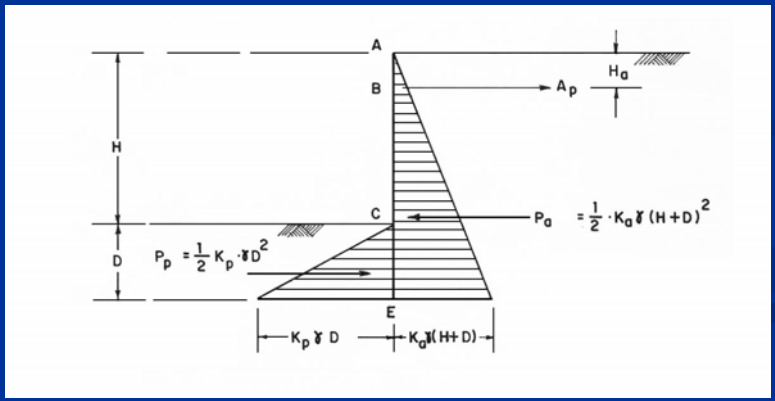


(a) free earth support method

(b) fixed earth support method

แรงดันดินกระทำต่อเข็มพืดแบบ Free Earth Support ในดินทราย

การวิเคราะห์โมเมนต์แบบ “Free Earth Support” จะเขียนการกระจายของหน่วยแรงดันด้านข้างได้เหมือนแบบ “Cantilever” ยกเว้นไม่มีแรงต้าน P_E ที่ปลายเข็ม เพราะชั้นดินไม่ได้ยึดปลายเข็มไว้แน่นมาก



การหาระยะฝังจมและโมเมนต์ในเข็มพืดแบบ Free Earth Support ในดินทราย

Unknown A_p, D.

$\Sigma F_H = 0 \qquad A_P = Pa - P_p$ ---(1)

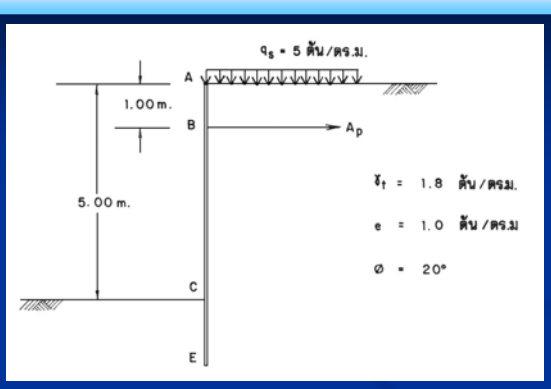
$\Sigma M @ B = 0 \quad P_a\left[\frac{2}{3}(H+D) - H_a\right] = Pp\left[\frac{2}{3}D + H - H_a\right]$ ---(2)

สมการ (2) มีค่าที่ไม่ทราบคือ D เพียงค่าเดียวจึงสามารถแก้สมการหาค่า D โดยแทนค่า P_a และ P_p ในเทอมของ D ในสมการที่ (2) เมื่อทราบค่า D (ในการออกแบบขั้นสุดท้ายให้เพิ่มระยะ D ขึ้นอีก 20% หรือลดค่า P_p ลงไป โดยใช้ F.S. = 2.0 หาร P_p เพื่อความปลอดภัย)

จากค่า D (เดิม) เมื่อนำไปหาค่า P_a และ P_p แล้วแทนในสมการ (1) ก็สามารถหาค่า A_p ออกมาได้

ขั้นตอนสุดท้ายคือการวิเคราะห์หา S.F.D. และ B.M.D. แล้วนำไปเลือกใช้ขนาดเข็มพืดที่เหมาะสมต่อไป

ตัวอย่างการออกแบบเข็มพืดแบบ Free Earth Support ในดินทราย



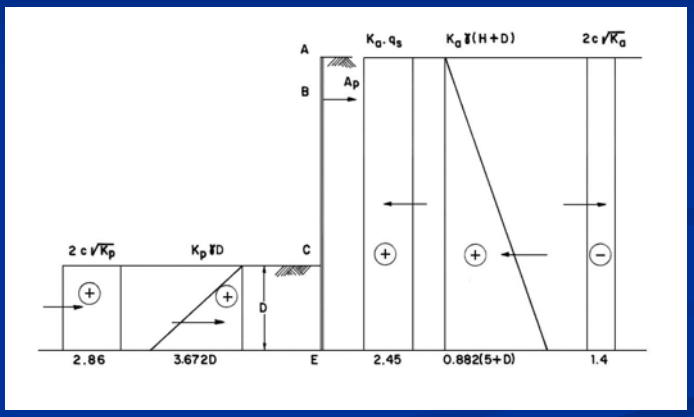
1. คำนวณหาสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง

$K_a = \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} = 0.490, \qquad \sqrt{K_a} = 0.700$

$K_p = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi} = 2.040, \qquad \sqrt{K_p} = 1.428$

ตัวอย่างการออกแบบเข็มพืดแบบ Free Earth Support ในดินทราย (ต่อ)

2. เขียน Diagram ของแรงดินด้านข้าง



ตัวอย่างการออกแบบเข็มพืดแบบ Free Earth Support ในดินทราย (ต่อ)

3. หาค่า D โดยพิจารณาโมเมนต์รอบจุด B

$\Sigma M \text{ @ } B = 0$

$$2.45(5+D)\left[\frac{5+D}{2}-1\right]+\frac{0.882}{2}(5+D)^2\cdot\left[\frac{2}{3}(5+D)-1\right]$$

$$=1.4(5+D)\left[\left(\frac{5+D}{2}\right)-1\right]+\frac{3.672}{2}(D)^2\left(\frac{2}{3}D+4\right)+2.856(D)\left(\frac{D}{2}+4\right) \quad \text{---(6)}$$

จากสมการ (6) หาค่า D โดยวิธี Trial หรือแก้สมการ จะได้ค่า

$D \approx 3.0$ ม.

ตัวอย่างการออกแบบเข็มพืดแบบ Free Earth Support ในดินทราย (ต่อ)

4. หาค่า A_p

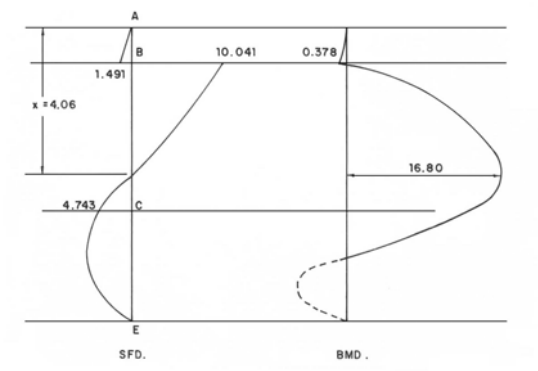
$$\Sigma F_H = 0$$

$$A_p = 2.45(5+D)+\frac{0.882}{2}(5+D)^2-1.4(5+D)-\frac{3.672D^2}{2}-2.856D \qquad \text{---(7)}$$

$$\therefore A_p = 11.532 \text{ ตัน}$$

ตัวอย่างการออกแบบเข็มพืดแบบ Free Earth Support ในดินทราย (ต่อ)

5. เขียน S.F.D. และ B.M.D.



หาค่า x ซึ่งเป็นจุด Max. B.M. โดยเป็นตำแหน่งที่แรงเฉือนเป็นศูนย์

$$1.05x+0.882\frac{x^2}{2}-11.532=0$$

X = 4.06 ม.

$\therefore$ โมเมนต์ดัดสูงสุดในเข็มพืด = 16.80 ตัน-ม.

ตัวอย่างการออกแบบเข็มพืดแบบ Free Earth Support ในดินทราย (ต่อ)

6. เลือกขนาดเข็มพืด

Section Modulus ที่ต้องการ $= \frac{M}{f_s} = \frac{1680000}{1400}$

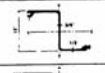
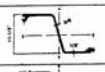
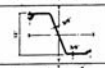
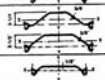
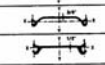
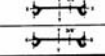
$= 1200$ ซม.^{3} / ม.

แปลงหน่วยเป็น fps $= 22.3$ นิ้ว.^{3} / ฟุต.

ใช้เข็มพืดขนาด PZ27, S = 30.2 นิ้ว^3 / ฟุต

U.S. Steel Sheet Pile (US-Standard)

STANDARD SHEET PILING
Dimensions and Properties for Designing

Designation	Profile*	Weight Per Foot lb	Weight Per Sq Ft of Wall lb	Area A in.^{2}	Driving Width in.	Surface Area Including Interlock ft^2/ft	Surface Area Coating** Area ft^2/ft
PZ38		57.0	38.0	16.77	18	5.52	5.06
PZ32		56.0	32.0	16.47	21	5.52	5.06
PZ27		40.5	27.0	11.91	18	4.94	4.48
PDA27		36.0	27.0	10.59	16	4.52	3.86
PMA22		36.0	22.0	10.59	19-5/8	4.54	3.88
PSA28 †		37.3	28.0	10.98	16	3.74	3.06
PSA23 †		30.7	23.0	8.99	16	3.76	3.08
PS32 †		40.0	32.0	11.76	15	3.66	2.82
PS28 †		35.0	28.0	10.29	15	3.70	2.86

Normal material specifications: ASTM A328, ASTM A572 grades 42 through 55.
* Sections produced by different manufacturers may not interlock properly. Consult the manufacturer.
** Excludes bowl and ball of interlock (Divide value by 2 for area on one side of pile.)
† These sections generally used in applications involving interlock strength rather than section modulus. Section properties shown for information purposes only.

STANDARD SHEET PILING
Dimensions and Properties for Designing

Section Properties: Axis X-X, Single Section I in.^{4}	S in.^{3}	r in.	Per Lineal Foot of Wall I in.^{4}	S in.^{3}	r in.	Axis Y-Y, Single Section I in.^{4}	S in.^{3}	Producers
421.2	70.2	5.01	280.8	46.8	5.01	471.0	49.6	B-U
385.7	67.0	4.84	220.4	38.3	4.84	705.0	63.9	B-U
276.3	45.3	4.82	184.2	30.2	4.82	340.0	36.0	B-U
53.0	14.3	2.24	39.8	10.7	2.24	327.0	39.1	U B
22.4 26.0	8.8	1.57	13.7 15.9	5.4	1.57	486.0	47.9	U B
6.0	3.3	0.74	4.5	2.5	0.74	332.0	39.8	B-U-W
5.5	3.2	0.78	4.1	2.4	0.78	288.0	34.5	B-U-W
3.6-4.6	2.4-3.0	0.55-0.63	2.9-3.7	1.9-2.4	0.55-0.63	—	—	B-U-W
3.5-4.6	2.4-3.0	0.58-0.67	2.8-3.7	1.9-2.4	0.58-0.67	—	—	B-U-W

Producers: (Only AISI members included)
B - Bethlehem Steel Corporation
U - United States Steel Corporation
W - Weirton Steel Division of National Steel Corporation

แรงดันดินกระทำต่อเข็มพืดแบบ Free Earth Support ในดินเหนียว

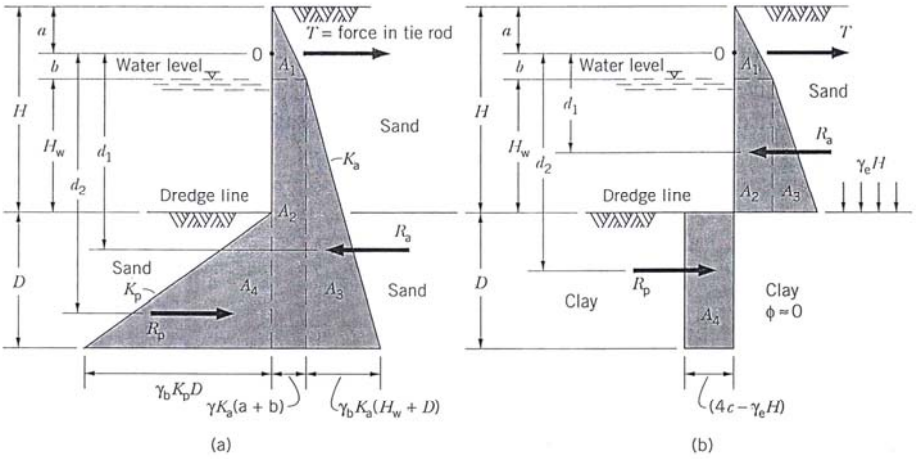
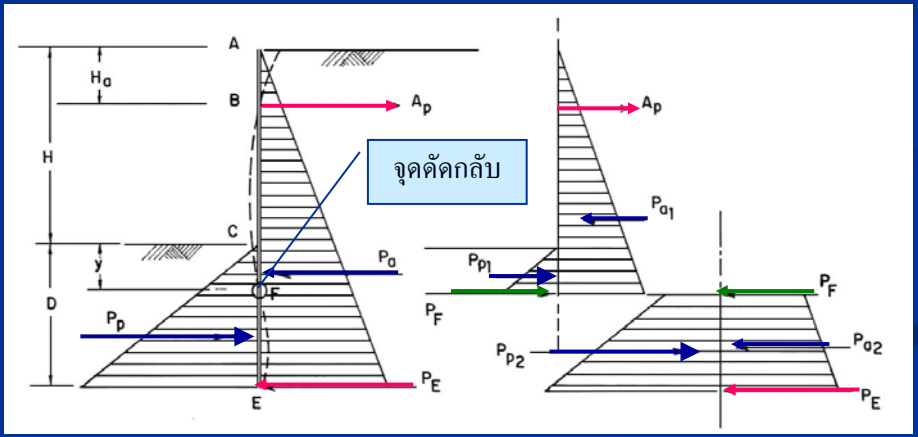


Figure 10.23 Design of anchored sheet piling by free-earth-support method. (a) Totally granular soil. (b) Granular backfill and cohesive soil below dredge line. $\gamma_e H$ = weight of backfill and surcharge. If $p_p \geq 0$, $4c - \gamma_e H \geq 0$, or $c \geq \gamma_e H/4$; unconfined compressive strength $q_u \geq \gamma_e H/2$.

แรงดันดินกระทำต่อเข็มพืดแบบ Fixed Earth Support ในดินทราย

การวิเคราะห์แบบ “Fixed Earth Support” การกระจายของหน่วยแรงดันด้านข้างจะเหมือนเข็มพืดแบบ “Free Earth Support” ทุกอย่าง และต้องเพิ่มแรงดัน P_E ที่จุดปลายล่างของเข็มพืดเข้าไปด้วย



เมื่อ Unknown มี 3 ค่า คือ

A_P, P_E, D

ในขณะที่มีสมการสมดุล 2 สมการ คือ

$\Sigma F_H = 0$, $\Sigma M = 0$

จึงทำให้เป็นปัญหาของ Structural Indeterminate จึงต้องหาทางแก้โดยการแยกเข็มออกเป็น 2 ส่วน โดยเลือกจุด F เป็นจุดแยกโดยที่จุดนี้เป็นจุดที่โมเมนต์เป็นศูนย์ ที่จุดดัดกลับ (Point of Contraflexure) จึงเปรียบเสมือนเป็นจุดหมุน (Hinge) คงมีการส่งผ่านเฉพาะแรง P_F เท่านั้น จากการทดลองและตรวจสอบในสนามพบว่า ระยะของจุด F อยู่ลึกจากผิวดินนอกเขื่อน ประมาณ 0.1 (H) เราจึงสามารถแยกเข็มออกเป็น 2 ส่วน ที่จุดนี้ โดยแต่ละส่วนจะมีค่าที่ไม่ทราบ เท่ากับจำนวนสมการพอดี จึงสามารถทำการวิเคราะห์ได้ดังนี้

Indeterminate Structures

3- Unknowns → A_P, P_E, D

2- Equations → $\Sigma F_H = 0$, $\Sigma M = 0$

ให้แยก Free body diagram ออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ส่วนเหนือจุด F (จุดโค้งกลับหรือจุดดัดกลับ) เป็นคานที่มีการถ่ายแรง Shear เท่านั้น โดยที่ปลายล่างมีแรงที่กระทำ = P_F ดังนั้น Unknown เป็น A_P, P_E
2. ส่วนต่ำกว่าจุด F เป็นคานที่มี D, P_F และ P_E เป็น Unknown

จากเข็มส่วนบน Unknown A_P, P_F

$\Sigma F_H = 0$ $A_P = P_{a1} - P_{p1} - P_F$ ---(3)

$\Sigma M @ B = 0$ $P_F[(1.1)H - H_a] = P_{a1}\left[1.1H\left(\frac{2}{3}\right) - H_a\right] - P_{p1}\left[H - H_a + 0.1H\left(\frac{2}{3}\right)\right]$ ---(4)

จากสมการที่ (4) จะหาค่า P_F ได้ แทนค่าในสมการ (3) จะหาค่า A_P ได้

จากเข็มส่วนล่าง Unknown D

$\Sigma M @ E = 0$ $P_F(D - 0.1H) + P_{a2}(h_{a2}) - P_{p2}(h_{p2}) = 0$ ---(5)

จากสมการ (5) ค่าที่ไม่ทราบคือ D ซึ่งสามารถแก้สมการหาได้เมื่อทราบค่า D แล้ว แล้วจึงนำไปวิเคราะห์ S.F.D. และ B.M.D. เพื่อการเลือกขนาดเข็มพืดที่เหมาะสมต่อไป

ในการออกแบบความยาวขั้นสุดท้ายให้เพิ่มขึ้นอีก 20% เพื่อความปลอดภัย

ขนาดและชนิดของสมอยึด

เมื่อผนังกันดินจำเป็นต้องมีสมอยึด การออกแบบเพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้ จะต้องประกอบส่วนสำคัญ 3 ประการ คือ

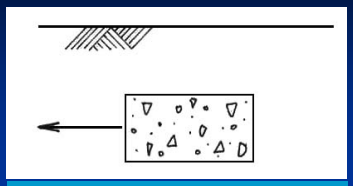
ก. ขนาดและชนิดของเหล็กเส้นยึดสมอ (Tie Rod)

ข. ขนาดและรูปร่างของตัวสมอ (Anchor Size)

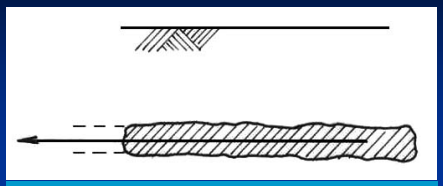
ค. ตำแหน่งของสมอ (Anchor Location)

ตัวสมอเองสามารถออกแบบได้หลายลักษณะตามความเหมาะสมของสถานที่ วัสดุ และวิธีการก่อสร้าง

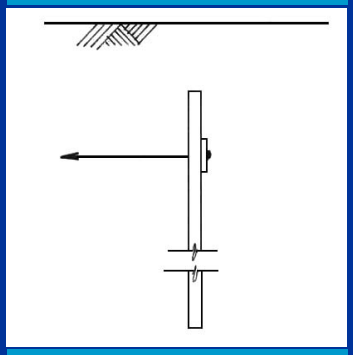
ลักษณะสมอยึด



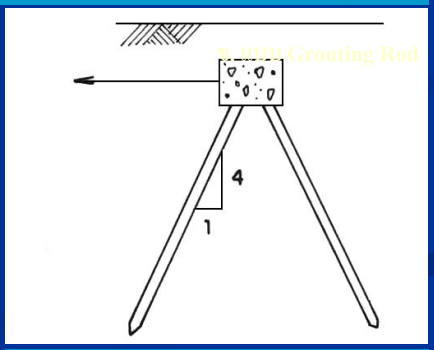
ก. แบบแท่งคอนกรีต



ข. แบบ Grouting Rod



ค. แบบพืดสมอ

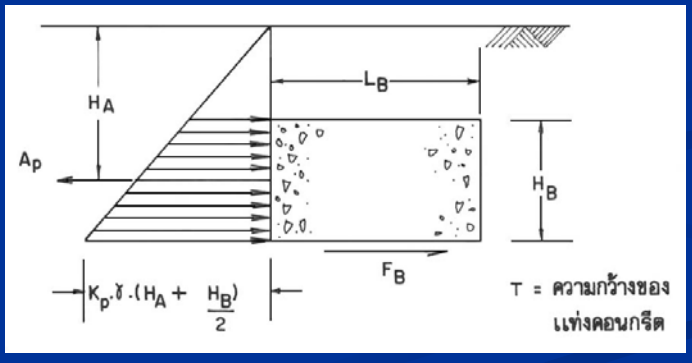


ง. แบบเข็มเอียง

การออกแบบฐานราก

การออกแบบก้อนคอนกรีตสมอยึด

แท่งคอนกรีต จะรับแรงดึงโดยอาศัยความหนัก และความใหญ่ของคอนกรีตเป็นตัวต้านทาน ดังนั้นจึงเรียกว่า “Dead Man” หรือ “Bulk Head” แรงดันดินด้านหน้าและความฝืดของดินด้านข้างจะนำมาคำนวณเป็นแรงต้าน



การออกแบบก้อนคอนกรีตสมอยึด (ต่อ)

∴ แรงต้านด้านหน้า $P_B = K_p.\gamma.H_A.H_B.T$ ---(8)

∴ แรงต้านจากความฝืดที่พื้นผิวด้านล่าง

$$F_B = \left[\gamma \cdot \left(H_A - \frac{H_B}{2}\right) + \gamma_c \cdot H_B\right] \cdot L_B \cdot T \cdot \tan\phi \quad \text{---(9)}$$

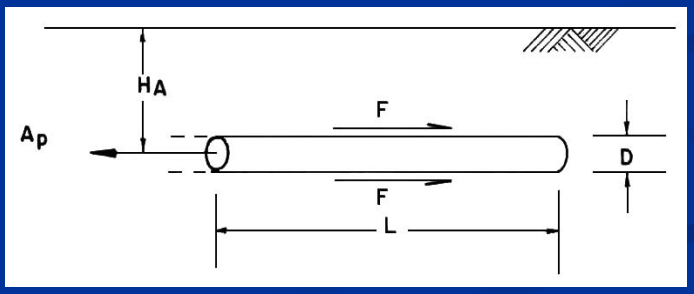
เมื่อ γ_c = ความหนาแน่นของคอนกรีต

$$\therefore F.S. = \frac{P_B + F_B}{A_P} \quad \text{---(10)}$$

ควรมากกว่า 2.0

การออกแบบสมอยึดแบบแท่งอัดฉีดน้ำปูน

Grouting Rod, มักจะใช้ในกรณีที่ไม่สามารถขุดดินลงไปก่อสร้างสมอในตำแหน่งที่ต้องการได้ เช่น มีถนน หรือสิ่งก่อสร้างอยู่ด้านบน หรืออยู่ในเขตที่ของผู้อื่น อาจต้องเจาะเข้าไปผนังกันดิน จนถึงตำแหน่งที่ต้องการสอดเหล็กหรือลวดรับแรงดึงแล้ว ฉีดน้ำปูนเข้าไปหุ้มยึดกับดินโดยรอบ และจะสามารถรับแรงดึงได้โดยความฝืดที่ผิวโดยรอบ



การออกแบบสมอยึดแบบแท่งอัดฉีดน้ำปูน (ต่อ)

สำหรับดินทราย

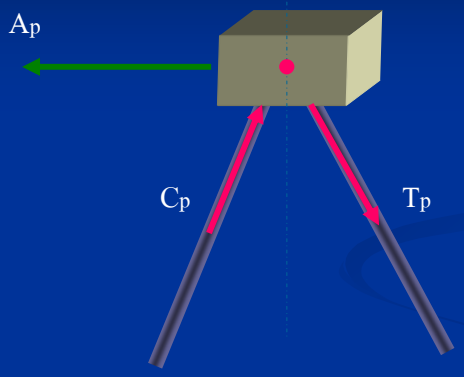
$$F = \pi DL \cdot \gamma \cdot H_A \cdot \tan\phi$$ ---(11)

สำหรับดินเหนียว

$$F = \pi DL \cdot c$$ ---(12)

$$\therefore F.S. = \frac{F}{A_P}$$ ต้องมากกว่า 2.5 ---(13)

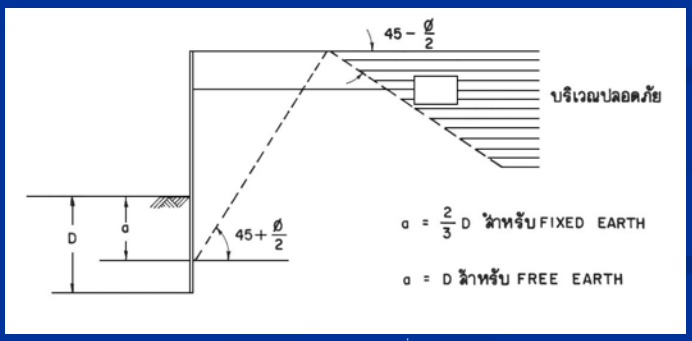
การออกแบบสมอยึดแบบเข็มทะแยง



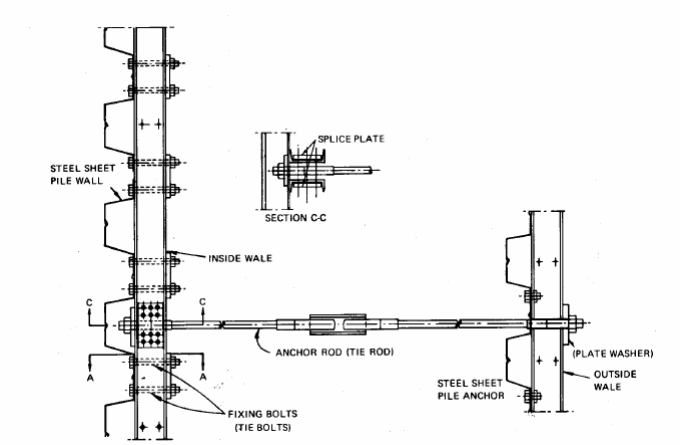
ตำแหน่งในการวางสมอยึด

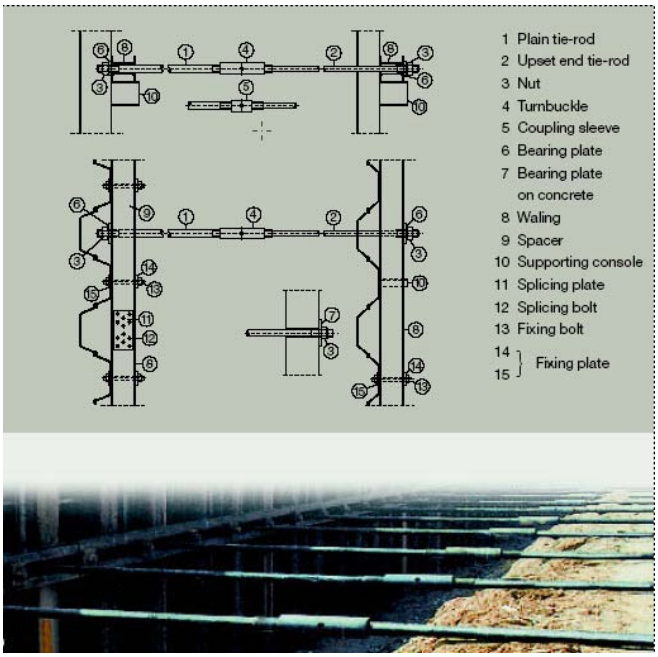
ตำแหน่งของสมอจะต้องไม่อยู่ใกล้กับเข็มพืดนัก จะทำให้สูญเสียแรงยึด จึงมีการเลือกตำแหน่งอยู่ 2 ลักษณะ คือ

- ความยาวของ Tie Rod ไม่น้อยกว่าความยาวเข็มพืด
- สมอจะอยู่เลยบริเวณที่ Passive Wedge หน้าแท่งสมอติดกับ Active Wedge ของเข็มพืด



21 สิงหาคม 2550 การออกแบบฐานราก บทที่ 4 71



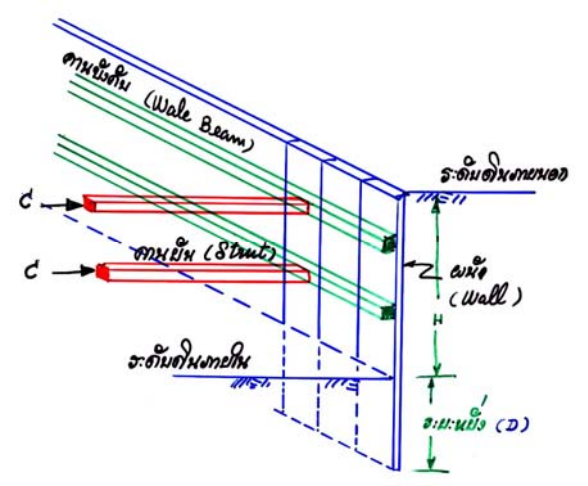


ระบบค้ำยันบ่อขุด

ลักษณะการพิบัติของระบบค้ำยันหลุมขุด

ในระหว่างการก่อสร้างฐานราก ชั้นใต้ดิน หรือโครงสร้างใต้ดินที่ไม่ลึกมากนึก มักทำการค้ำยันโดยปลายของแผงกันดินหรือผนังกันดิน ไม่ต้องหยั่งลงในชั้นดินลึกมากนัก โดยมากมักเป็นการค้ำยันชั่วคราว เมื่อการก่อสร้างเสร็จสิ้นแล้ว ก็จะรื้อถอนออกไป จึงไม่ต้องใช้อัตราส่วนปลอดภัย (F.S) สูงนัก มักจะอยู่ในช่วงประมาณ 1.2 ถึง 1.5 การพิบัติของการค้ำยันลักษณะนี้อาจเกิดขึ้นได้ ดังกรณีต่อไปนี้คือ

ชิ้นส่วนของระบบค้ำยัน

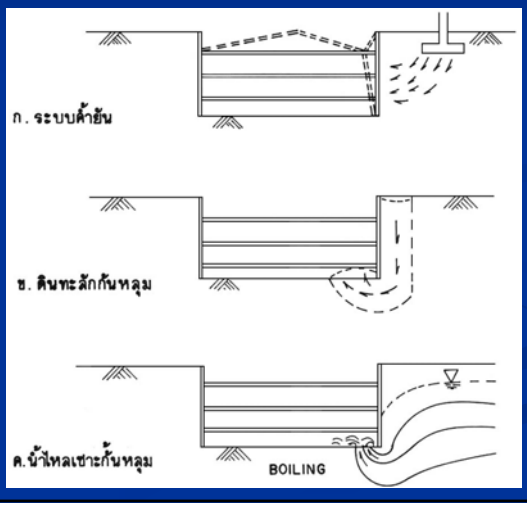


ในการออกแบบสิ่งที่ต้องการทราบ

1. ระยะหยั่ง (D)
2. Moment และ Shear ในผนัง
3. Moment และ Shear ใน Wall Beam
4. Compression ในคานยัน

ลักษณะการพิบัติของระบบค้ำยันหลุมขุด (ต่อ)

ก. การพิบัติของคาน เสา และผนังกันดิน เนื่องจากขนาดและความแข็งแรงไม่เพียงพอที่จะรับแรงดันดินด้านข้างได้



21 สิงหาคม 2550 77

ลักษณะการพิบัติของระบบค้ำยันหลุมขุด (ต่อ)

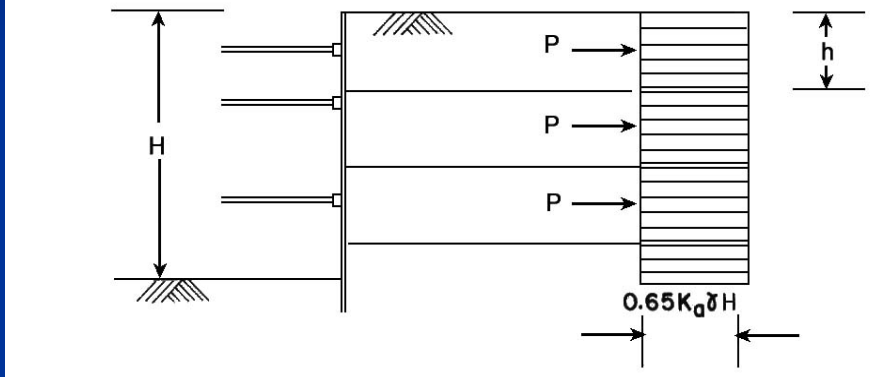
การออกแบบระบบค้ำยันให้สามารถรับแรงดันด้านข้างได้ จะต้องวิเคราะห์จากการกระจายของแรงในแต่ละกรณีไป ซึ่งแตกต่างไปจากแรงดันเชิงรุกในผนังกันดินทั่วไป เพราะมีการค้ำยันที่หลายระดับ และตัวแผงจะหยั่งลึกลงไปในดินข้างล่างไม่มากนัก จากการทดสอบในสนาม และในห้องทดลอง ได้แบบลักษณะแรงเป็น 3 แบบ คือ

- ชั้นดินทราย (Peak 1969)

Peak ได้เสนอให้คิดแรงดันที่กระทำต่อคานค้ำ (Strut) แต่ละตัวแยกกันออกไป โดยคิดแรงได้เพียง 65% ของหน่วยแรงเชิงรุกที่ก้นหลุม และกระจายเท่ากันหมดตั้งแต่ผิวดินลงไป ดังรูปซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาแรงในคานหรือผนังได้

21 สิงหาคม 2550 การออกแบบฐานราก บทที่ 4 78

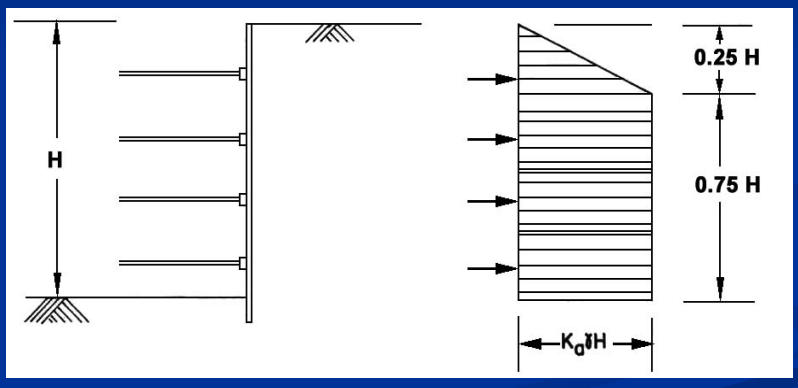
ลักษณะการพิบัติของระบบค้ำยันหลุมขุด (ต่อ)



แรงดันดินด้านข้างของหลุมขุดในชั้นทราย

ลักษณะการพิบัติของระบบค้ำยันหลุมขุด (ต่อ)

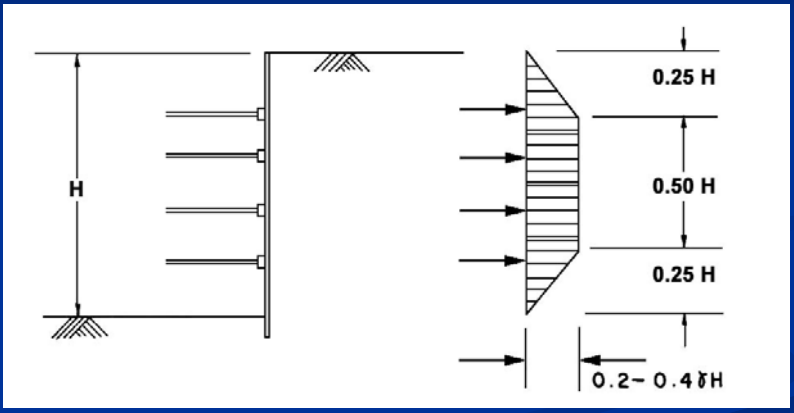
- **ชั้นดินเหนียวอ่อนและแข็งปานกลาง** (Terzaghi และ Pack 1967) ให้ใช้การกระจายของแรงตาม



แรงดันดินด้านข้างของหลุมขุดในชั้นดินเหนียวอ่อนและแข็งปานกลาง

ลักษณะการพิบัติของระบบค้ำยันหลุมขุด (ต่อ)

- **ชั้นดินเหนียวแข็ง** (Terzaghi และ Peck 1967) ให้ใช้การกระจายของแรง

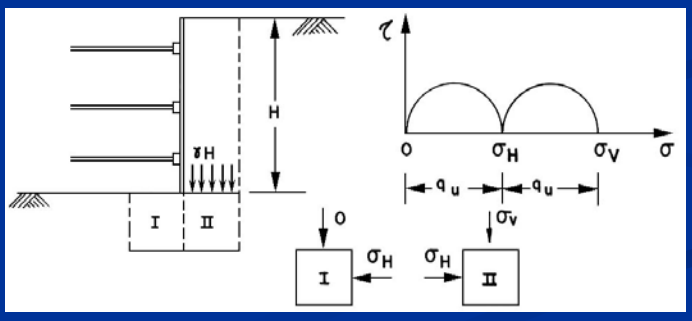


แรงดันดินด้านข้างของหลุมขุดในชั้นดินเหนียวแข็ง

BASE HEAVING

การตรวจสอบการทะลักของดินก้นหลุม (Heaving) เนื่องจากแรงดันของดินภายนอกมีแนวคิด 2 ลักษณะ คือ

1. การเคลื่อนตัวเกิดขึ้นในแนวดิ่งตามทิศทางหน่วยแรงหลัก (Principal Stresses) ดังนั้นอัตราส่วนปลอดภัยคือแรงต้านทานจากมวลดิน I และ II ส่วนด้วยแรงดันจากน้ำหนักดินสูงจากก้นหลุมถึงปากหลุม



BASE HEAVING (ต่อ)

หาแรงของดิน มวลที่ I , *ทฤษฎีของ UCS (Principal Stress)*

$$\sigma_H = q_u \quad \text{---(14)}$$

มวลที่ I I,

$$\sigma_v = 2q_u \quad \text{---(15)}$$

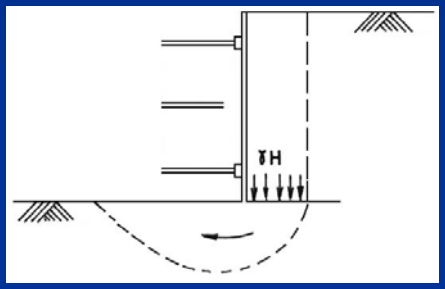
แรงกดของดินจากน้ำหนักดิน

$$q_s = \gamma H \quad \text{---(16)}$$

$$\therefore F.S. = \frac{\sigma_v}{\sigma_s} = \frac{2q_u}{\gamma H} \quad \text{---(17)}$$

BASE HEAVING (ต่อ)

2. การเคลื่อนตัวของดินกลับทิศทางกับฐานแผ่ เป็นส่วนโค้ง จึงใช้การวิเคราะห์บทกลับฐานแผ่ โดยคิดแรงดันของดินภายนอกกดลง เปรียบเทียบกับแรงต้านของชั้นดินระดับก้นหลุม



การทะลักของดินก้นหลุมเป็นส่วนโค้ง

แรงต้านของชั้นดิน

$$q_u = cNc \quad \text{---(18)}$$

แรงกดของดินเหนือระดับก้นหลุม

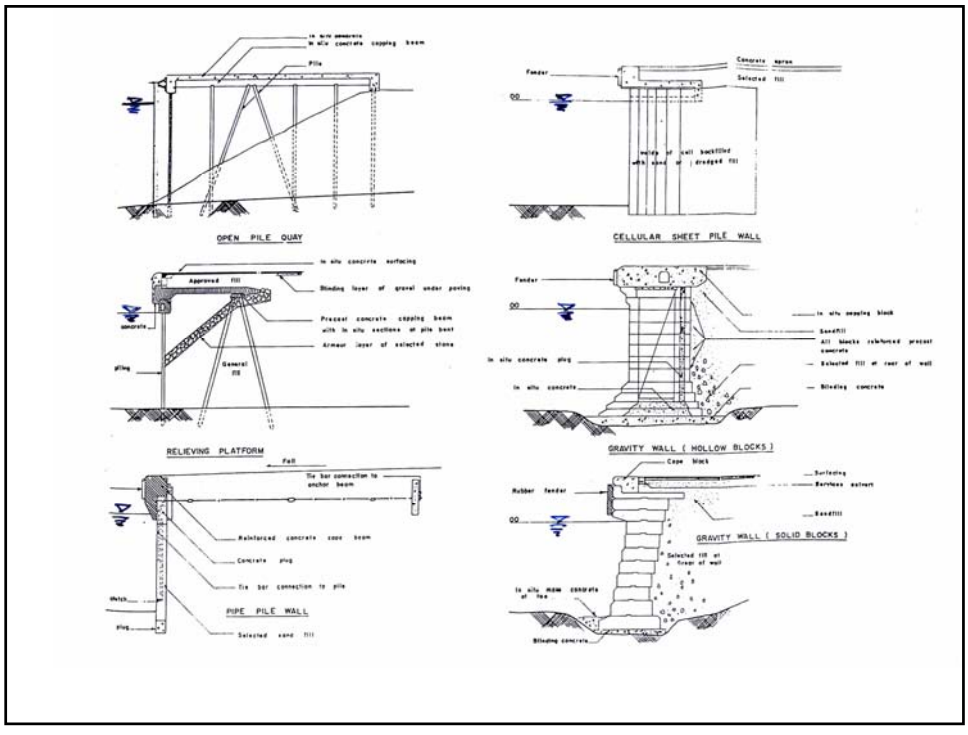
$$q_s = \gamma H \quad \text{---(19)}$$

$$\therefore F.S. = \frac{q_u}{q_s} = \frac{cNc}{\gamma H} \quad \text{---(20)}$$

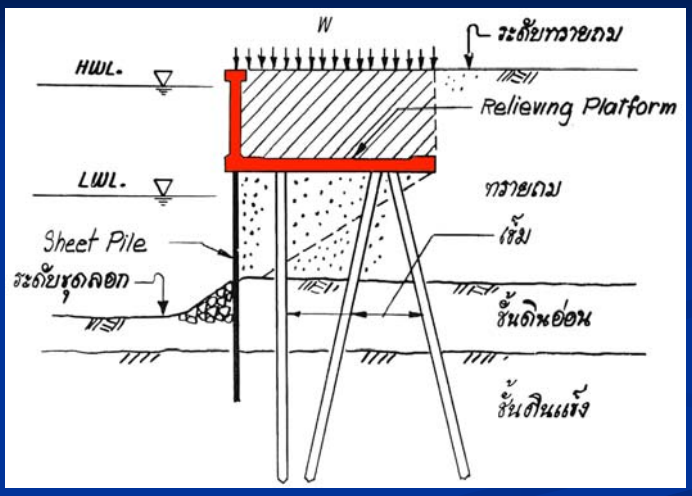
เมื่อ N_c = สัมประสิทธิ์แรงต้านของชั้นดินสำหรับดินเหนียว ≈ 5.14 $F.S. = \frac{5.14c}{\gamma H}$ ---(21)

สำหรับทั้ง 2 กรณี ควรมี F.S. มากกว่า 1.2 *(ทฤษฎีของ Bearing Capacity)*

กำแพงกันดินรูปแบบอื่น ๆ



หลักการออกแบบ Relieving Platform



ลักษณะโดยทั่วไปของ Relieving Platform

หลักการออกแบบ Relieving Platform (ต่อ)

ข้อได้เปรียบของ Relieving Platform ที่เห็นได้ชัดเจนคือ

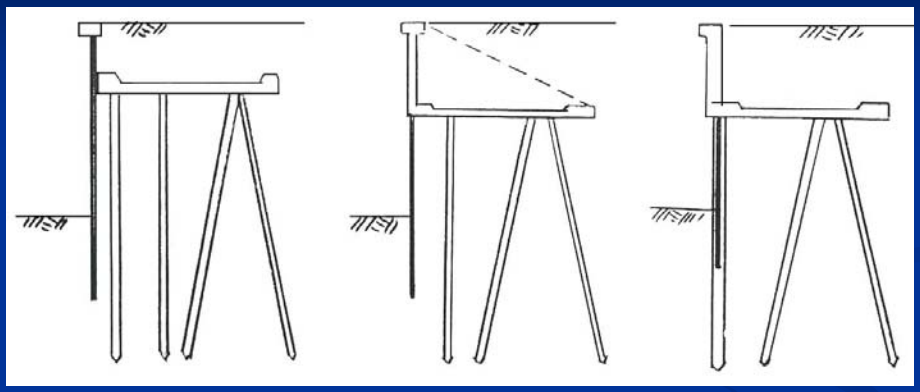
1. ทำให้ลดแรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อ Sheet Pile ลง โดยดินบางส่วนเหนือ Platform จะไม่ทำให้เกิดแรงดินด้านข้าง

2. ลดระดับของจุดกระทำของแรงดันด้านข้างให้ต่ำลง ในขณะที่เพิ่มน้ำหนักกดเนื่องจากดินและน้ำหนักบรรทุกที่อยู่เหนือ Platform ขึ้นไปทำให้โอกาสในการพลิกคว่ำ (Overturning) น้อยลงมาก

3. เนื่องจากเป็นโครงสร้างใหญ่ จึงไม่สามารถรับแรงกระแทกหรือแรงดึง จากเรือที่เข้าเทียบได้ดี

4. มีเข็มเป็นฐานรากที่รับน้ำหนักในแนวดิ่งได้ดี จึงรับน้ำหนักบรรทุกที่อยู่บนดินถม เช่น สินค้า และเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในการขนถ่าย

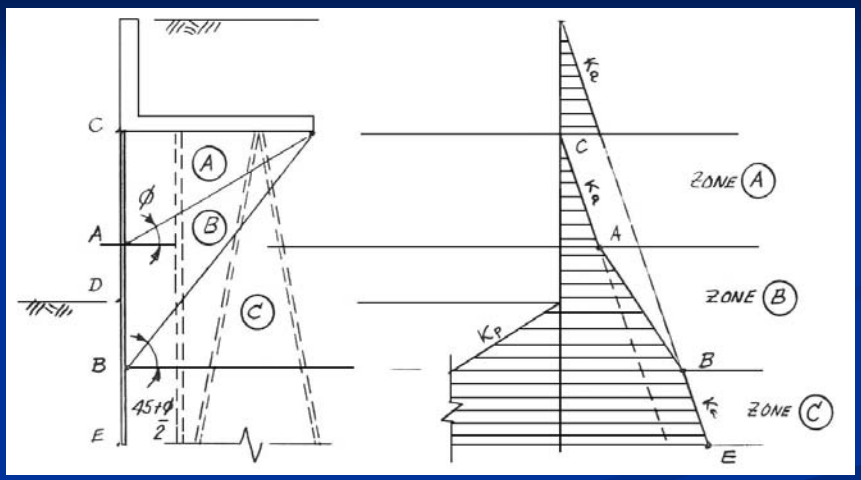
หลักการออกแบบ Relieving Platform (ต่อ)



ก. Sheet pile แยกอิสระ ข. Sheet pile ยึดกับ Platform ค. Sheet pile ยึดกับเข็ม

ลักษณะรูปแบบของ Relieving Platform

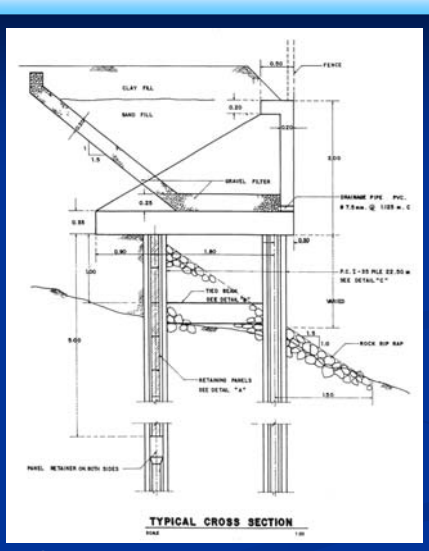
หลักการออกแบบ Relieving Platform (ต่อ)



Zoning ของดินหลังกำแพง Pressure Diagram

แรงดันดินด้านข้างโดยวิธีของ Tschebotarioff

หลักการออกแบบ Relieving Platform (ต่อ)



รูปตัดทั่วไปของตัวอย่างการออกแบบ Relieving Platform

Civil Engineering Department Kasetsart University

www.eng.ku.ac.th/~ce

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์