

บทที่ 7 กำแพงกันดิน (Retaining Walls)

7.1 เนื้อหาโดยย่อ

Retaining Walls หรือกำแพงกันดินหมายถึงโครงสร้างกันดินชนิดที่มีจุดประสงค์เบื้องต้นคือการป้องกันการเคลื่อนตัวด้านข้างของดิน โดยทั่วไปแล้ว Retaining Walls จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ 1) conventional retaining walls และ 2) mechanically stabilized earth wall

Conventional retaining walls สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ

1. Gravity Retaining Walls
2. Semi gravity Retaining Walls
3. Cantilever Retaining Walls
4. Counter fort Retaining Walls

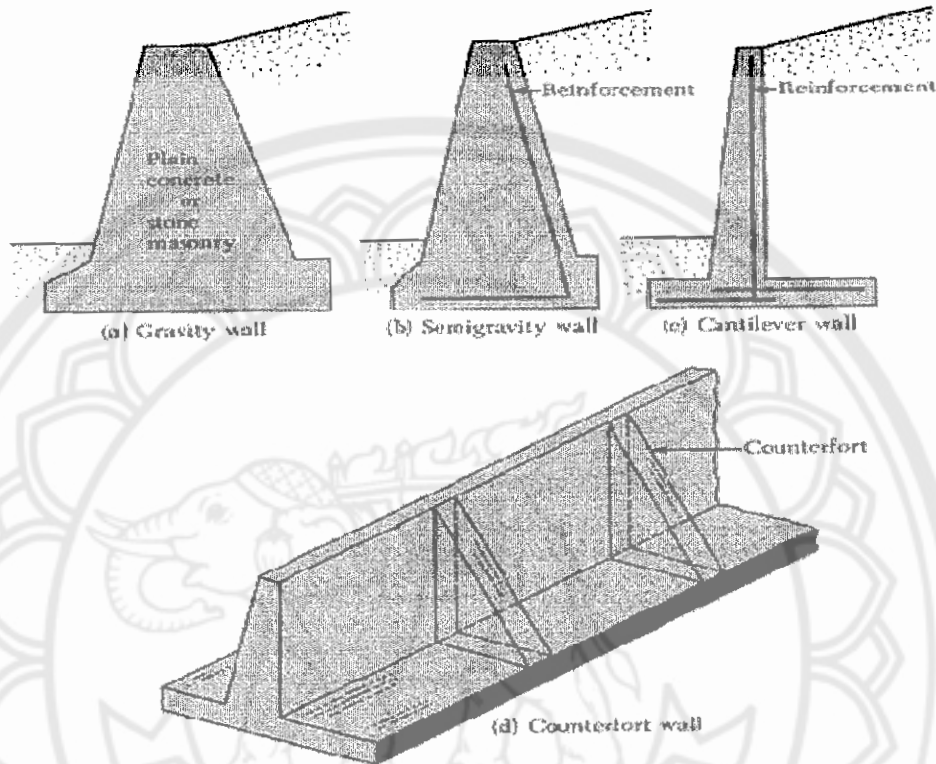
Gravity Retaining Walls ก่อสร้างโดยใช้คอนกรีตล้วน (Plain concrete) หรือก่อสร้างโดยใช้หิน (Stone masonry) โดยขึ้นอยู่กับเสถียรภาพของน้ำหนักของตัวมันเองและน้ำหนักของดินที่มากกระทำ Retaining Walls ประเภทนี้ยิ่งมีความสูงมากก็จะเปลืองค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างตามไปด้วย

ในบางกรณีมีการใช้เหล็กเสริมเข้ามาเสริมใน Gravity Retaining Walls ซึ่งจะทำให้ลดขนาดความกว้างของ Gravity Retaining Walls ลง เราเรียก Retaining Walls ว่า Semi gravity Retaining Walls

Cantilever Retaining Walls สร้างโดยใช้คอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งประกอบไปด้วย thin stem และ base slab Retaining Walls ประเภทนี้เหมาะแก่การก่อสร้างที่มีความสูงประมาณ 8 เมตร (25 ฟุต) เพราะจะทำให้ประหยัดค่าก่อสร้าง

Counter fort Retaining Walls จะคล้ายกับ Cantilever Retaining Walls สิ่งที่แตกต่างกันคือ Counter fort Retaining Walls จะมีส่วนที่ยึดผนัง (Wall) กับ ฐาน (base slab) ให้เชื่อมกันและมีระยะห่างสม่ำเสมอ เรียกส่วนนี้ว่า Counter fort จุดประสงค์ของ Counter fort ก็เพื่อลดค่าแรง

เงื่อนไขและโมเมนต์ตัดที่กระทำต่อ Retaining Walls โดยเราจะใช้ Counter fort ก็ต่อเมื่อ Retaining Walls มีความสูงเกิน 8 เมตร (25 ฟุต)



รูปที่ 7.1.1 Types of retaining wall

ในการออกแบบ Retaining Walls ให้เหมาะสม วิศวกรควรจะทราบปัจจัยกำหนดพื้นฐาน (basic parameters) ซึ่งได้แก่ unit weight, angle of friction, และ cohesion ของดินที่อยู่ด้านหลังและด้านใต้กำแพง เมื่อทราบถึงคุณสมบัติของดินที่อยู่ด้านหลังกำแพงแล้ว วิศวกรสามารถหาค่าการกระจายของแรงดันดินด้านข้าง (lateral pressure distribution) เพื่อใช้ในการออกแบบได้

มี 2 ขั้นตอนในการออกแบบ Conventional retaining walls ขั้นแรก เมื่อทราบแรงดันดินด้านข้าง (lateral earth pressure) แล้ว จะต้องทำการตรวจสอบเสถียรภาพ (stability) ของโครงสร้าง ซึ่งโครงสร้างจะต้องได้รับการตรวจสอบการวิบัติดังนี้ การพลิกคว่ำ (overturning), การลื่นไถล (sliding), ความสามารถในการรับแรงแบกทาน (bearing capacity) ขั้นที่สอง ส่วนประกอบแต่ละส่วนของโครงสร้างจะต้องได้รับการตรวจสอบกำลัง (strength) และการเสริมเหล็ก (steel reinforcement)

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะขั้นตอนการตรวจสอบเสถียรภาพของ Retaining Walls เท่านั้น

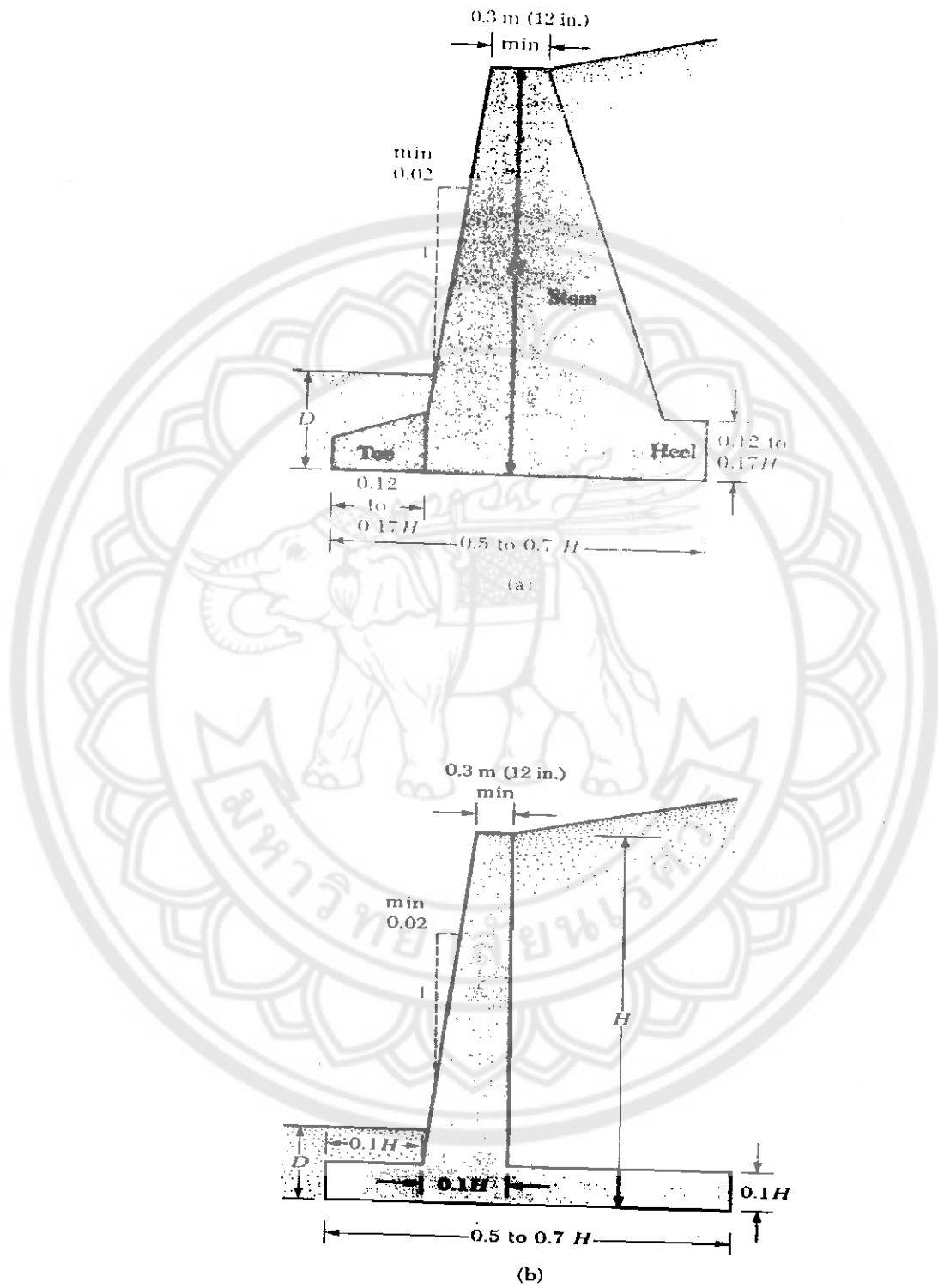
Gravity and Cantilever Walls

7.1.1 Proportioning Retaining Walls

ในการออกแบบ Retaining Walls วิศวกรจะต้องทำการสมมุติขนาดของ Retaining Walls ซึ่งเรียกว่า *Proportioning* (การกำหนดสัดส่วน) ในแต่ละสมมุติฐานยินยอมให้วิศวกรตรวจสอบหน้าตัดของกำแพงเพื่อให้เกิดเสถียรภาพ ถ้าการตรวจสอบนั้นได้ผลไม่เป็นที่ยอมรับจะต้องทำการเปลี่ยนแปลงและตรวจสอบอีกครั้ง รูปที่ 7.1.2 แสดงถึงการกำหนดสัดส่วนโดยทั่วไป (general proportions) ของส่วนประกอบต่างๆของ Retaining Walls ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบในเบื้องต้น

ส่วนบนสุดของ Stem ของ Retaining Walls จะต้องมีความกว้างไม่น้อยกว่า 0.3 เมตร (≈ 12 นิ้ว) เพื่อความเหมาะสมในการเทคอนกรีต ระดับความลึก, D , ถึงระดับ base slab จะต้องมีความลึกอย่างน้อย 0.6 เมตร (≈ 2 ฟุต)

สำหรับ Counter fort Retaining Walls การกำหนดสัดส่วนโดยทั่วไปของ Stem และ base slab จะเหมือนกับ Cantilever Retaining Walls อย่างไรก็ตาม Counter fort slabs จะต้องมีความหนา 0.3 เมตร (≈ 12 นิ้ว) และระยะห่างของช่องว่างโดยวัดจากศูนย์กลางถึงศูนย์กลาง (center-to-center) มีค่า $0.3H$ ถึง $0.7H$



รูปที่ 7.1.2 Approximate dimensions for various components of retaining wall for initial stability checks

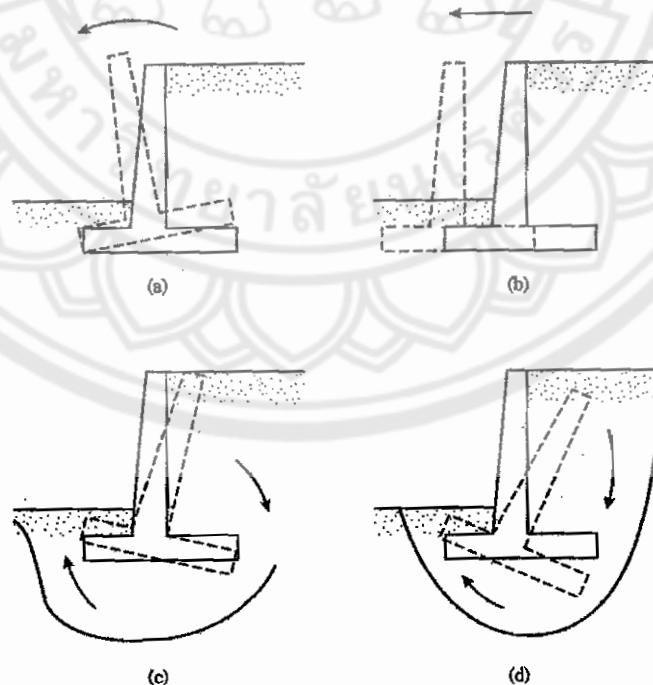
7.1.2 Stability of Retaining Walls

กำแพงกันดิน Retaining Walls สามารถเกิดการวิบัติได้หลายลักษณะ เช่น

- การวิบัติโดยเกิดการพลิกคว่ำ(*overturn*) ณ ตำแหน่งปลายหน้าของฐานกำแพง
- การเกิดการวิบัติที่เกิดจากการลื่นไถล(*slide*)ตลอดความกว้างของฐานกำแพง
- การวิบัติจากการสูญเสียของกำลังแบกทานของดิน(*bearing capacity*)ที่รองรับฐานราก
- การวิบัติโดยแรงเฉือน
- การวิบัติที่เกิดจากการทรุดตัวที่มากเกินไปของดินใต้ฐานกำแพง

การตรวจสอบเสถียรภาพในการต้านการวิบัติแบบพลิกคว่ำ (*overturning*), แบบลื่นไถล (*sliding*), และกำลังแบกทาน(*bearing capacity*)จะกล่าวในส่วนต่อไป สำหรับหลักการของการประมาณค่าการทรุดตัวของฐานรากได้กล่าวในบทที่เกี่ยวข้องกับการทรุดตัวแล้วซึ่งจะไม่กล่าวอีกในส่วนนี้

เมื่อชั้นดินอ่อนที่อยู่ในตำแหน่งความลึกที่ไม่มากนัก(ในที่นี้คือ 1.5 เท่าของความกว้างของฐานกำแพงกันดิน) ก็อาจเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดการทรุดตัวที่มากเกินไป สามารถแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกรณีนี้ได้โดยการเลือกใช้วัสดุดินถมที่มีน้ำหนักเบา



รูปที่ 7.1.3 Failure of retaining wall

สัดส่วนความปลอดภัยที่ต้านการพลิกคว่ำรอบส่วนปลายด้านหน้าของกำแพงรอบจุด C
 ในรูป 7.1.5 แสดงโดย

$$F.S.(\text{overturning}) = \Sigma M_R / \Sigma M_o$$

โมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำคือ

$$\Sigma M_o = P_h(H')/3$$

เมื่อ $P_h = P_a \cos \alpha$

ในการคำนวณหาโมเมนต์ต้าน, ΣM_R (โดยไม่คำนึงถึง P_p) น้ำหนักของดินที่อยู่เหนือด้าน
 ปลายของฐานและน้ำหนักของคอนกรีตจะเป็นตัวช่วยสำหรับโมเมนต์ต้าน แรงในแนวตั้ง P_v จะ
 เป็นแรงที่ช่วยต้าน โดย P_v จะเป็นแรงประกอบในแนวตั้งของของแรง P_a หรือ

$$P_v = P_a \sin \alpha$$

ดังนั้นโมเมนต์ของแรง P_v ที่เกิดรอบจุด C คือ

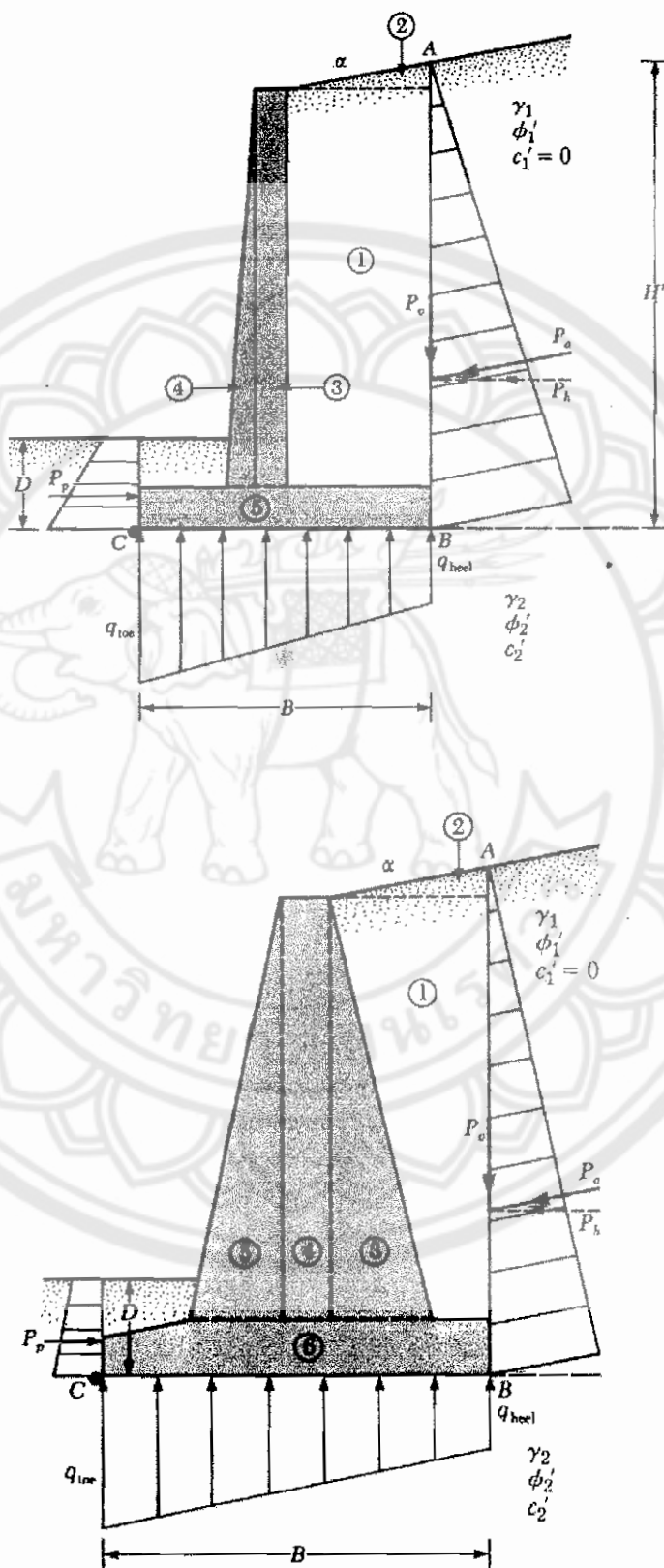
$$M_v = P_v B = P_a \sin \alpha B$$

เมื่อ B = ความกว้างของฐานกำแพง

เมื่อเราทราบผลรวมของโมเมนต์ต้าน (ΣM_R) ค่าสัดส่วนความปลอดภัยสามารถคำนวณได้จาก

$$F.S.(\text{overturning}) = [M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_v] / P_a \cos \alpha (H'/3)$$

โดยค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่ใช้ได้จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 2 ถึง 3



รูปที่ 7.1.5 Check for overturning, assuming that the Rankine pressure is valid

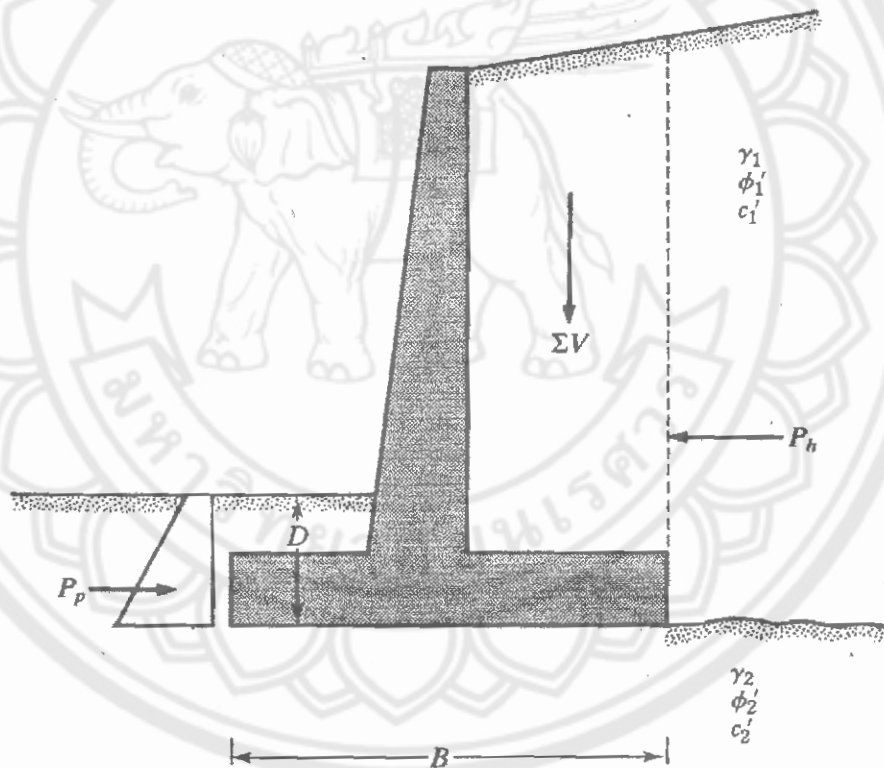
7.1.4 Check for Sliding along the Base

ค่าสัดส่วนความปลอดภัยสามารถแสดงให้เห็นได้จากสมการ

$$F.S.(\text{sliding}) = \frac{\sum F_R'}{\sum F_d}$$

เมื่อ $\sum F_R'$ = ผลรวมของแรงต้านทานในแนวราบ

$\sum F_d$ = ผลรวมของแรงที่ทำให้ลื่นไถลในแนวราบ



รูปที่ 7.1.6 Check for sliding along the base

รูปที่ 7.1.6 นี้ให้เห็นว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน (shear strength) ของดินที่อยู่ใต้ฐานกำแพงแสดงได้ดังสมการ

$$S = \sigma' \tan \delta + C'_a$$

เมื่อ δ = มุมของความเสียดทานระหว่างดินกับกำแพง

C'_a = ค่าการยึดเกาะระหว่างดินกับฐานกำแพง

ดังนั้น แรงต้านทานสูงสุดได้มาจากดินต่อหนึ่งหน่วยความยาวกำแพงตลอดความกว้างของฐานกำแพงคือ

$$R' = s(\text{area of cross section}) = s(B \times 1) = B\sigma' \tan \delta + BC'_a$$

อย่างไรก็ตาม

$$B\sigma' = \text{ผลรวมของแรงในแนวตั้ง} = \Sigma V$$

ดังนั้น

$$R' = (\Sigma V) \tan \delta + BC'_a$$

รูปที่ 7.1.6 แสดงแรง P_p เป็นแรงต้านทานในแนวราบ

ดังนั้น

$$\Sigma F_{R'} = (\Sigma V) \tan \delta + BC'_a + P_p$$

สำหรับแรงที่ทำให้เกิดการลื่นไถลจะมีอยู่เพียงแรงเดียวเท่านั้น นั่นคือ active force, P_a

ดังนั้น

$$\Sigma F_d = P_a \cos \alpha$$

และ

$$F.S.(\text{sliding}) = [(\Sigma V) \tan \delta + BC'_a + P_p] / P_a \cos \alpha$$

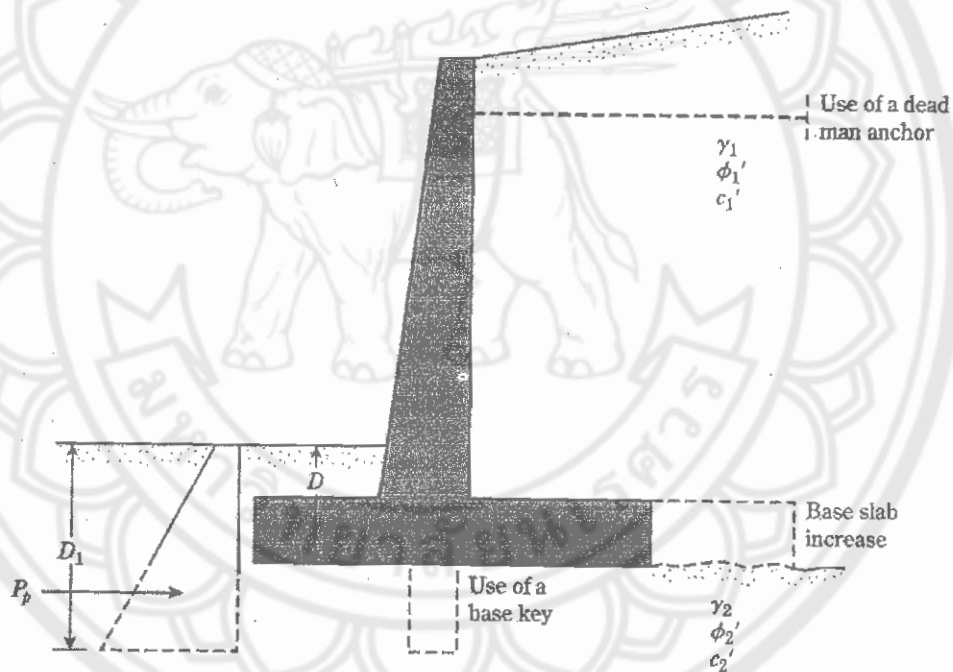
โดยทั่วไปค่าสัดส่วนความปลอดภัยน้อยที่สุดที่ต้องการเท่ากับ 1.5

ในบางกรณี ค่า *Passive force* , P_p ไม่นำมาคิดในการคำนวณหาค่าสัดส่วนความปลอดภัย สำหรับการเลื่อน โดยทั่วไปเราสามารถเขียน $\delta = k_1 \phi'_2$ และ $C'_a = k_2 C'_2$ ค่า k_1 และ k_2 จะอยู่ในช่วง 1/2 ถึง 2/3

ดังนั้น

$$F.S_{(sliding)} = [(\sum V) \tan(k_1 \phi'_2) + B(k_2 C'_2) + P_p] / P_a \cos \alpha$$

ถ้าค่า $FS_{(sliding)}$ ที่ได้มานั้นไม่ตรงตามเงื่อนไขข้างต้น จะมีวิธีแก้ไขอยู่หลายทางเลือกดังนี้



รูปที่ 7.1.7 Alternatives for increasing the factor of safety with respect to sliding

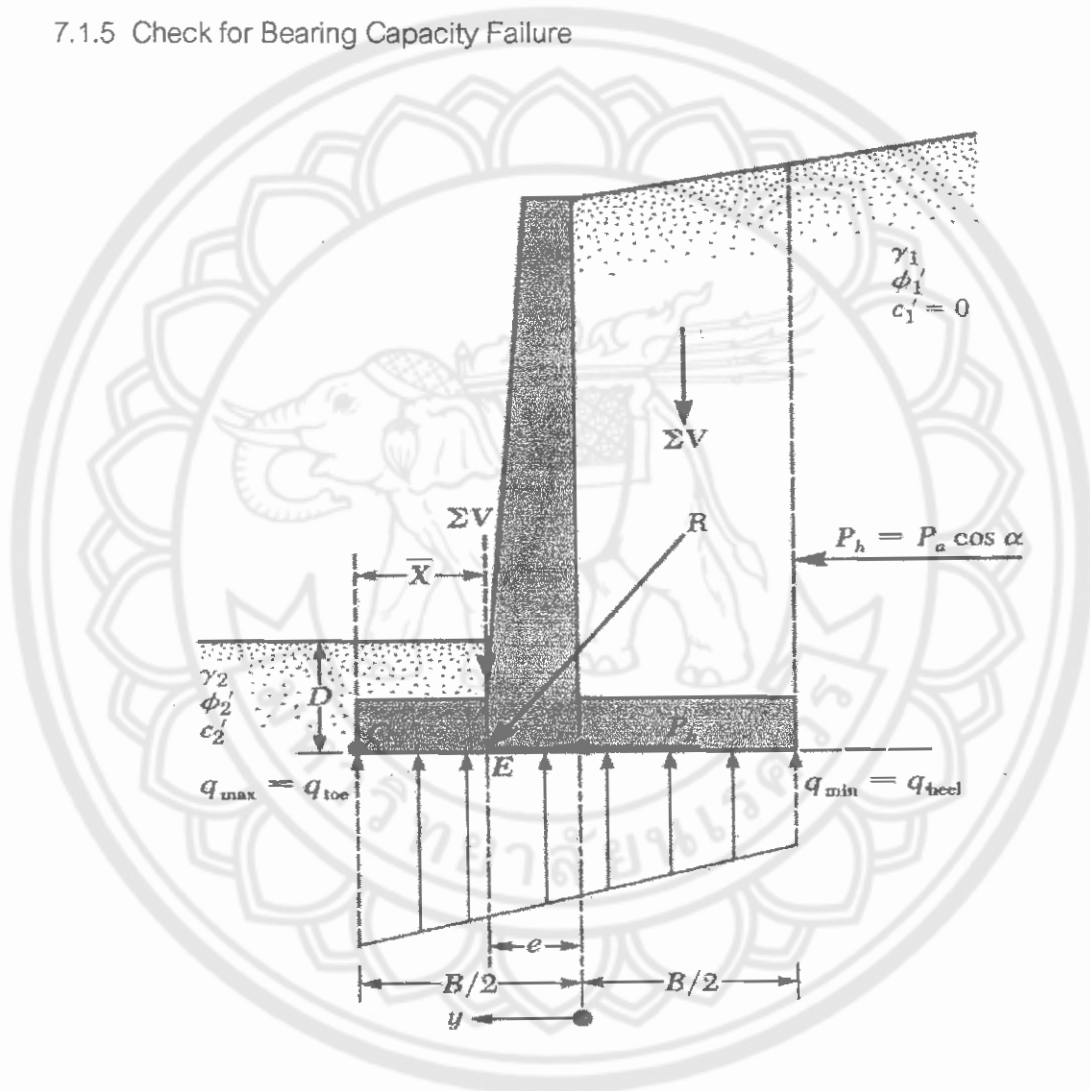
- เพิ่มความกว้างของฐานกำแพง
- ใช้สลัก(key)บริเวณส่วนล่างของฐานกำแพง เมื่อรวมสลักเข้าไปด้วย passive force ต่อหนึ่งหน่วยความยาวกำแพงจะมีค่า

$$P_p = 1/2 \gamma_2 D^2 K_p + 2 c'_2 K_p^{1/2}$$

เมื่อ $K_p = \tan^2(45 + \phi'_2)$

- ใช้สมอยึดตาย (dead man anchor) ที่ stem ของ retaining wall

7.1.5 Check for Bearing Capacity Failure



รูปที่ 7.1.8 Check for bearing capacity failure

แรงดันดินในแนวตั้งจะถ่ายลงสู่ดินโดยฐานของกำแพงกันดินซึ่งสามารถทำการตรวจสอบกำลังแบกทานประลัยของดินได้ แรงดันในแนวตั้งถ่ายลงสู่ดินโดยฐานของกำแพงมีหลายค่าด้วยกันดังแสดงใน รูปที่ 7.1.8 โดยค่า q_{toe} และ q_{heel} คือค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ปรากฏบริเวณส่วนปลายของ toe และ heel การหาค่าของ q_{toe} และ q_{heel} สามารถทำได้โดย

หาผลรวมของแรงในแนวตั้งที่กระทำบนฐานของกำแพงกันดิน (ΣV) และแรงในแนวราบ ($P_h = P_a \cos \alpha$)

$$R = \Sigma V + P_h$$

จากผลของแรงลัพธ์ โมเมนต์สุทธิของแรงรอบจุด C ใน รูปที่ 7.1.8 เท่ากับ

$$M_{net} = \Sigma M_R - \Sigma M_O$$

แนวของแรงลัพธ์ R ที่กระทำจะตัดกับฐานกำแพงตรงตำแหน่ง E จะได้ระยะ

$$\overline{CE} = \bar{X} = M_{net} / \Sigma V$$

ดังนั้นระยะเยื้องศูนย์กลาง แสดงได้

$$e = (B/2) - \bar{CE}$$

การกระจายแรงดันที่อยู่ข้างใต้ฐานกำแพงสามารถหาได้จากหลักการทางกลศาสตร์ของวัสดุ (Mechanics of materials)

$$q = (\Sigma V/A) \pm (M_{net} y/I)$$

เมื่อ $M_{net} =$ โมเมนต์สุทธิ $= (\Sigma V)e$

$I =$ Moment of inertia per unit length of the base section

$$= 1/2 (1)(B^2)$$

สำหรับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดจะได้

$$q_{max} = q_{toe} = \frac{\Sigma v}{(B)(1)} + \frac{e(\Sigma v)(B/2)}{(1/12)(B^3)} = \frac{\Sigma v(1+6e/B)}{B}$$

ในทำนองเดียวกัน

$$q_{\min} = q_{\text{heel}} = \frac{\sum v(1-6e/B)}{B}$$

ค่า $\sum v$ รวมถึงน้ำหนักของดินด้วย และเมื่อค่าระยะการเยื้องศูนย์กลาง e มากกว่า $B/6$ q_{\min} จะไม่พิจารณา ดังนั้นจะเกิดแรงเค้นดึงตรงส่วนปลายของหน้าตัด heel ซึ่งเป็นแรงเค้นที่เราไม่ต้องการ เนื่องจากกำลังต้านทานแรงดึงของดินมีค่าต่ำมาก

ความสัมพันธ์นี้เกี่ยวข้องกับความสามารถในการรับแรงแบกทานประลัยของฐานรากตื้น ดังสมการ

$$q_u = c'_2 N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma_2 B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

เนื่องจากความสามารถในการรับแรงแบกทานประลัยของดินสามารถคำนวณได้จาก

$$\sum F_d = P_a \cos \alpha$$

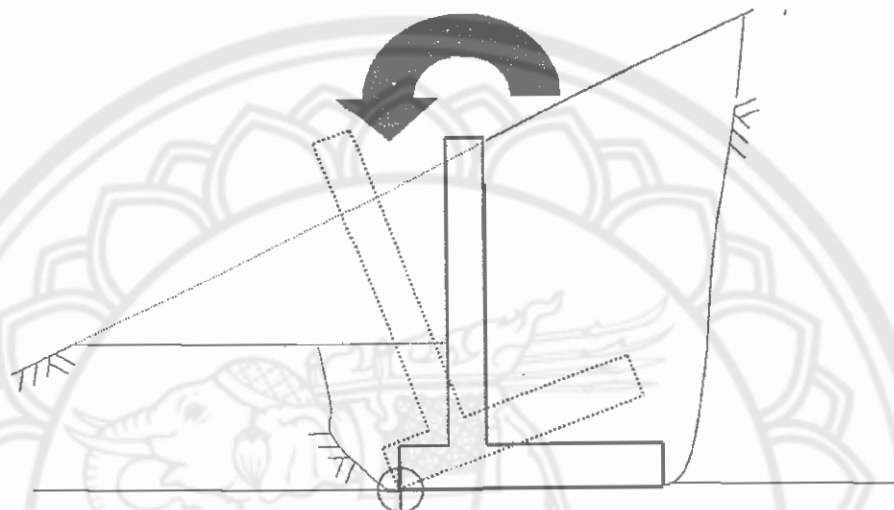
ค่าสัดส่วนความปลอดภัยสำหรับความต้านทานการวิบัติจากความสามารถในการแบกทานสามารถหาได้จาก

$$F.S._{(\text{bearing capacity})} = q_u/q_{\max}$$

ค่าสัดส่วนความปลอดภัยของความสามารถในการรับกำลังแบกทานจะต้องไม่ต่ำกว่า 3

7.1.6 เสถียรภาพของกำแพงกันดิน(Stability of Retaining Wall)

7.1.6.1 การวิบัติโดยการพลิกคว่ำ



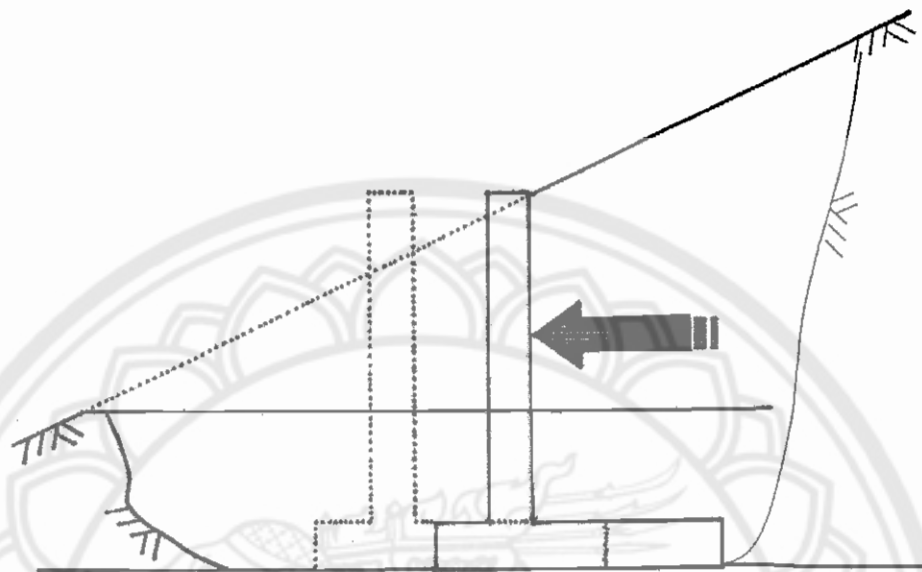
รูปที่ 7.1.9 แสดงการวิบัติโดยการพลิกคว่ำ

สาเหตุ	ผลกระทบ
แรงดันดินด้านข้างที่กระทำ ณ ตำแหน่งด้านหลังของกำแพงกันดินจะผลักดันให้กำแพงกันดินเกิดการพลิกครอบส่วนปลายของฐานกำแพง	แรงโน้มถ่วงดิ่งจะทำการต้านทานการพลิกคว่ำ

Practical Implication (การนำไปใช้ในงานจริง)

- วิเคราะห์เสถียรภาพในการพลิกคว่ำครอบส่วนปลายของฐานกำแพง
- โมเมนต์ที่ผลักดันให้กำแพงกันดินพลิกคว่ำก็เนื่องมาจากองค์ประกอบของแรงดันดินด้านข้างในแนวราบที่กระทำ ณ ตำแหน่งด้านหลังของกำแพงกันดิน
- โมเมนต์ที่ต้านทานการพลิกคว่ำเป็นโมเมนต์ที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงดิ่ง ซึ่งมาจาก
 1. น้ำหนักของดิน
 2. น้ำหนักของตัวกำแพง
 3. องค์ประกอบในแนวตั้งของแรงดันดินด้านข้างที่กระทำด้านหลังกำแพง

7.1.6.2 การวิบัติจากการลื่นไถล



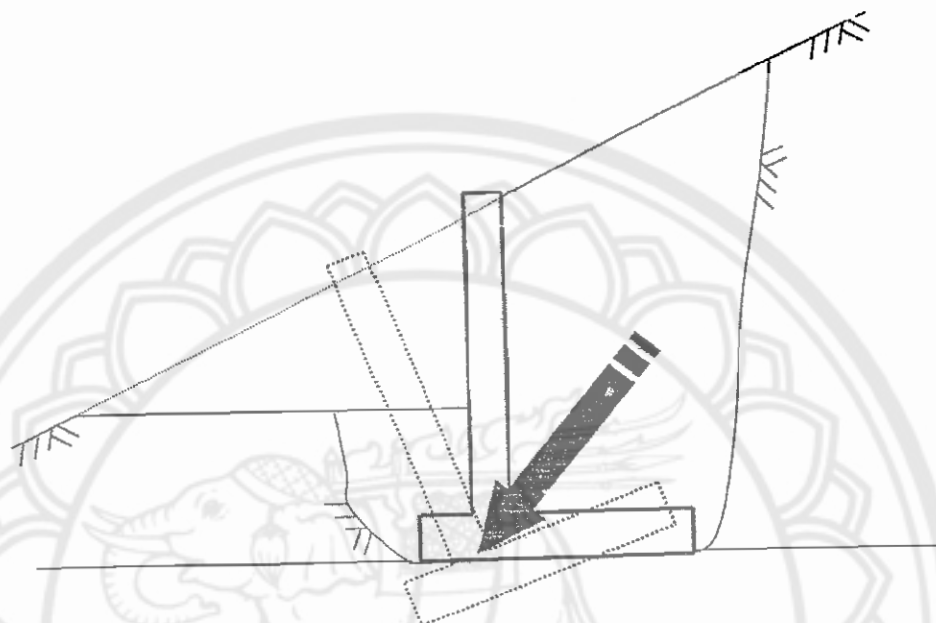
รูปที่ 7.1.10 แสดงการวิบัติจากการลื่นไถล

สาเหตุ	ผลลัพธ์
แรงดันดินด้านข้างจะผลักดันกำแพงกันดินให้ออกไปจากตำแหน่งเดิมตลอดฐานกำแพง	กำลังต้านทานแรงเฉื่อยจะต้านทานการลื่นไถล
	แรงดันดินด้านข้างที่อยู่ข้างหน้ากำแพงกันดินจะต้านทานการลื่นไถล

Practical Implication (การนำไปใช้ในงานจริง)

- วิเคราะห์เสถียรภาพในการลื่นไถลตามแนวฐานกำแพง
- แรงที่ผลักดันกำแพงเกิดจากองค์ประกอบของแรงในแนวราบของแรงดันดินด้านข้างที่อยู่หลังกำแพง
- แรงต้านเกิดจาก
 1. กำลังต้านทานแรงเฉื่อย (แรงเสียดทาน) ที่อยู่บนระนาบของการลื่นไถลของฐานกำแพง
 2. แรงต้านจากแรงดันดินด้านข้างที่อยู่ข้างหน้าของกำแพงกันดิน

7.6.1.3 การวิบัติจากกำลังแบกทานของดิน



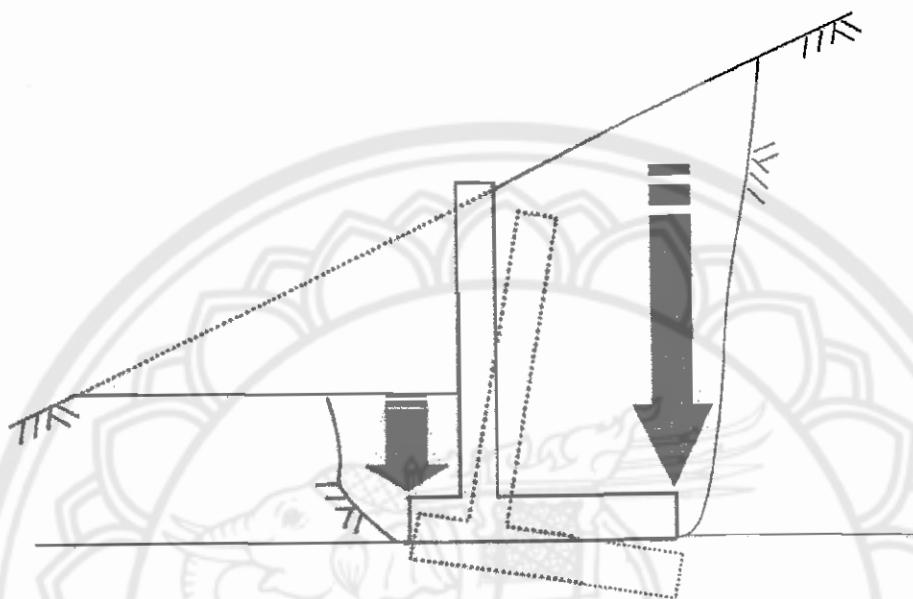
รูปที่ 7.1.11 แสดงการวิบัติจากกำลังแบกทานของดิน

สาเหตุ	ผลลัพธ์
แรงกระทำสุทธิประกอบด้วยแรงในแนวตั้งและแรงดันดินด้านข้างที่กระทำด้านหลังกำแพง	การกระจายแรงดินด้านใต้ฐาน กำแพงจะไม่สม่ำเสมอ
แรงกระทำสุทธิจะกระทำบนจุดปลายของฐาน (ไม่ใช่ตำแหน่งศูนย์กลางของฐานกำแพง) แรงกระทำเยื้องศูนย์กลาง (e) และแรงกระทำในแนวเอียง	$q_{toe} = q_{max}$ และ $q_{heel} = q_{min}$
น้ำหนักบรรทุกทุกบนส่วนปลายของฐานจะต่ำกว่าน้ำหนักบรรทุกทุกบนส่วนสันของฐานกำแพง	q_u จะมีค่าน้อยบนส่วนปลายของ ด้านฐานกำแพง

Practical Implication (การนำไปใช้ในงานจริง)

- วิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินที่ด้านทานการวิบัติของกำลังรับแรงแบกทานบนส่วนปลายของฐานกำแพง

7.1.6.4 การวิบัติจากการทรุดตัวที่มากเกินไป

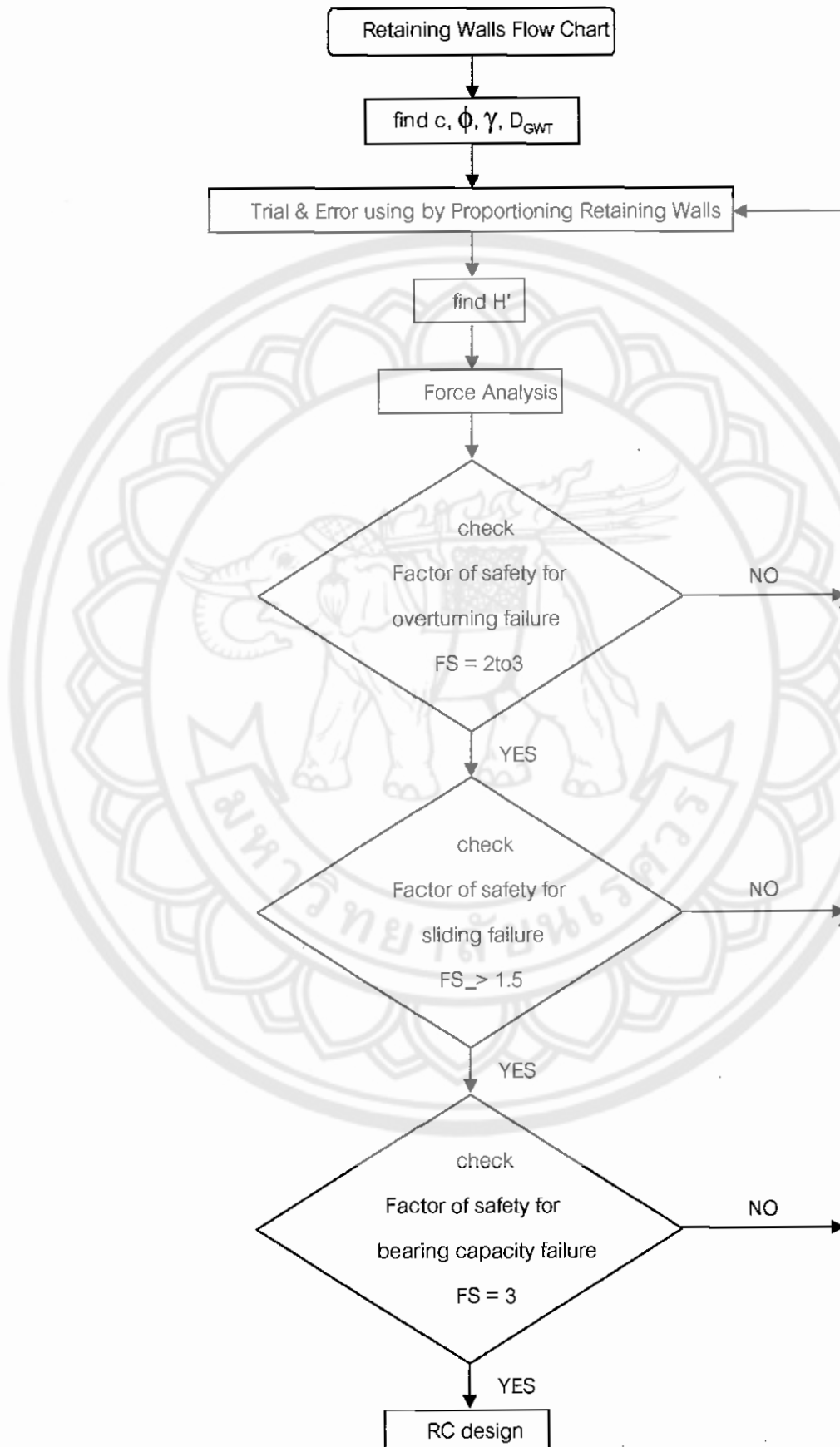


รูปที่ 7.1.12 แสดงการวิบัติจากการทรุดตัวที่มากเกินไป

สาเหตุ	ผลลัพธ์
กำแพงกันดินที่รองรับโดยชั้นดินที่สามารถยึดตัวได้ เช่น ดินเหนียว (clay) หรือ พีท (Peat)	การทรุดตัวที่มากเกินไปบนส่วนล่างของฐาน ซึ่งจะทำให้เกิดการเอียงขึ้นบริเวณส่วนล่างของฐาน
แรงในแนวตั้งที่มีสูงของดินถมที่วางอยู่บนด้านล่างของฐานกำแพง	

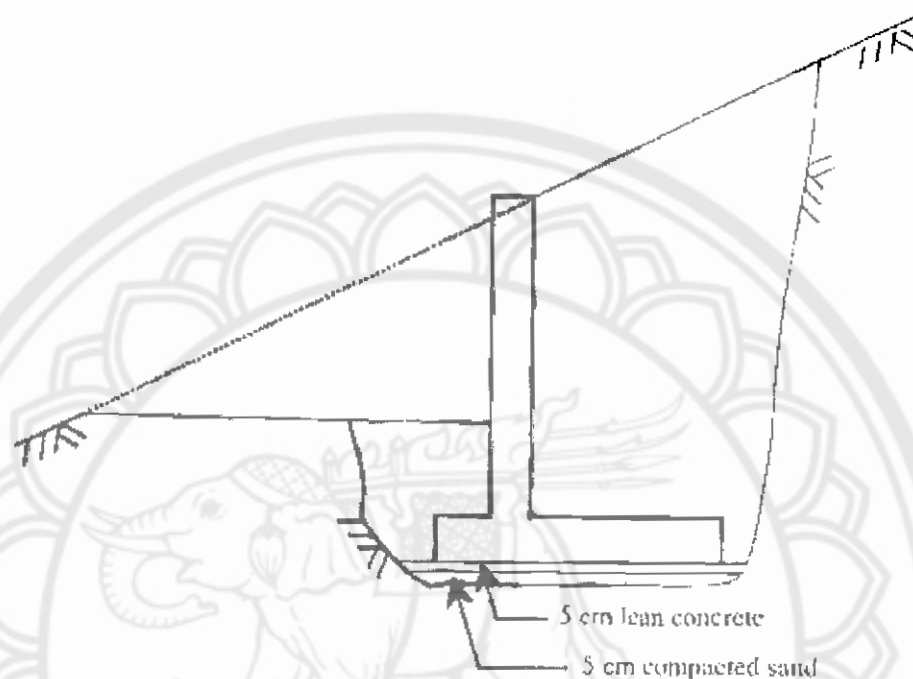
Practical Implication (การนำไปใช้ในงานจริง)

- ปัญหาโดยทั่วไปของตอม่อสะพาน
- ใช้วัสดุดินถมที่มีน้ำหนักเบาด้านหลังของกำแพงกันดิน



รูปที่ 7.1.13 ขั้นตอนการออกแบบกำแพงกันดิน

7.2 ใจหายทบทวนความรู้ ความเข้าใจในหลักการพื้นฐานของเนื้อหาที่เรียน



รูปที่ 7.2.1 รูปประกอบใจหายวัดความรู้ความเข้าใจ

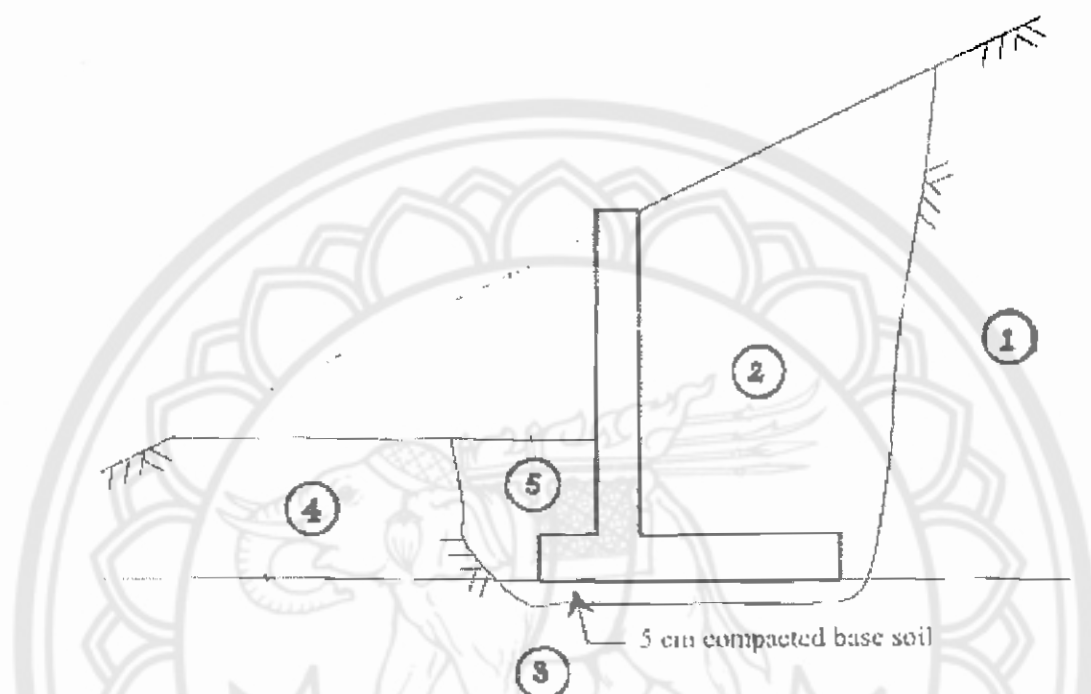
กรุณาให้ข้อคิดเห็นว่า

1. ขั้นตอนการก่อสร้าง ดังแสดงในรูป เป็นขั้นตอนการก่อสร้างที่เหมาะสมหรือไม่ เพราะเหตุใด
ตอบ ไม่เหมาะสม เพราะมีการก่อสร้าง Lean concrete แทรกระหว่างชั้นดินกับ Wall base

2. การก่อสร้าง ตามขั้นตอนดังกล่าว มีผลกระทบอย่างไร ต่อการออกแบบและการใช้งาน retaining walls

ตอบ Lean concrete จะลดแรงเสียดทานระหว่าง Wall base กับชั้นดินด้านล่าง ซึ่งจะส่งผลให้เสถียรภาพของการสันไถลดลง

7.3 โจทย์ทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้ความรู้

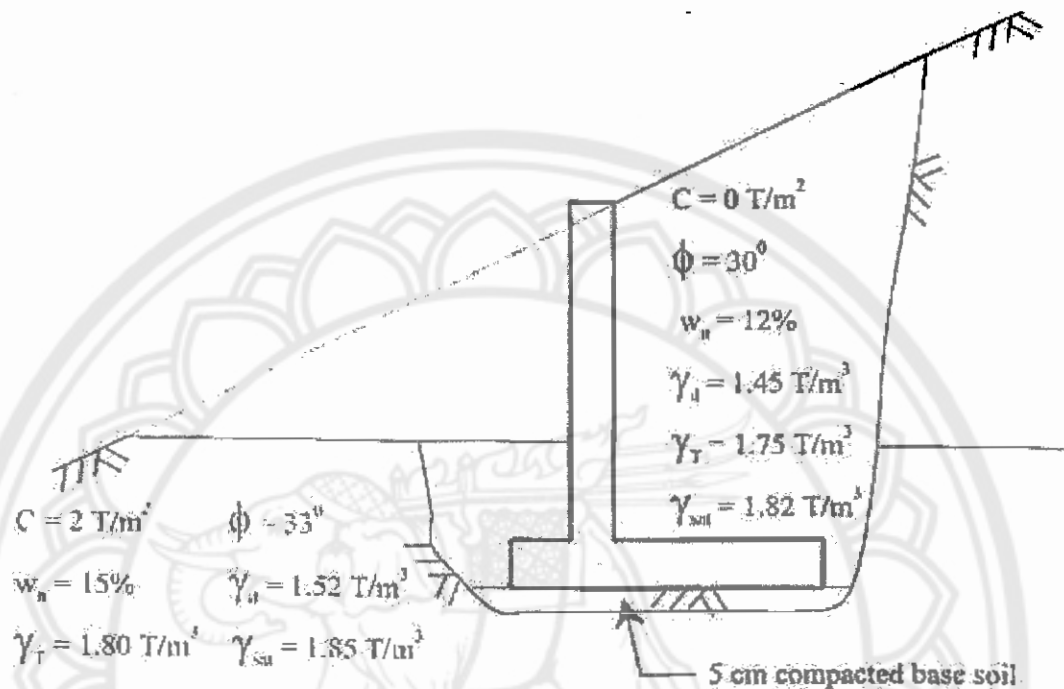


รูปที่ 7.3.1 รูปประกอบโจทย์วัดความสามารถการคิดวิเคราะห์

กรุณาให้คำแนะนำ เพื่อเลือกคุณสมบัติของดิน สำหรับการออกแบบ ดังนี้

1. ค่า C , ϕ , γ สำหรับคำนวณหา LEP behind wall เพื่อ check overturning failure
ตอบ Area 2
2. ค่า C , ϕ , γ สำหรับคำนวณหา shear resistance along wall base เพื่อ check sliding failure
ตอบ Area 3
3. ค่า C , ϕ , γ สำหรับคำนวณหา LEP in front of wall เพื่อ check sliding failure
ตอบ Area 5
4. ค่า C , ϕ , γ สำหรับคำนวณหา q_u เพื่อ check bearing capacity failure
ตอบ Area 3

7.4 โจทย์ทดสอบความสามารถในการนำความรู้ไปใช้ในการทำงานจริง



รูปที่ 7.4.1 รูปประกอบโจทย์วัดความสามารถการนำความรู้ไปใช้ในงานจริง

1. กรุณาออกแบบ retaining wall ให้สามารถรับ retained height 5 เมตร โดยมี slope angle of backfill = 10°

Step1 นารูปตัดชั้นดินและค่า C , ϕ , γ ดังนี้

$$C_1 = 0 \text{ T/m}^2 \quad \phi_1 = 30^\circ \quad \gamma_1 = 1.75 \text{ T/m}^3 \quad (\text{ด้านหลัง})$$

$$C_2 = 2 \text{ T/m}^2 \quad \phi_2 = 33^\circ \quad \gamma_2 = 1.80 \text{ T/m}^3 \quad (\text{ด้านล่าง})$$

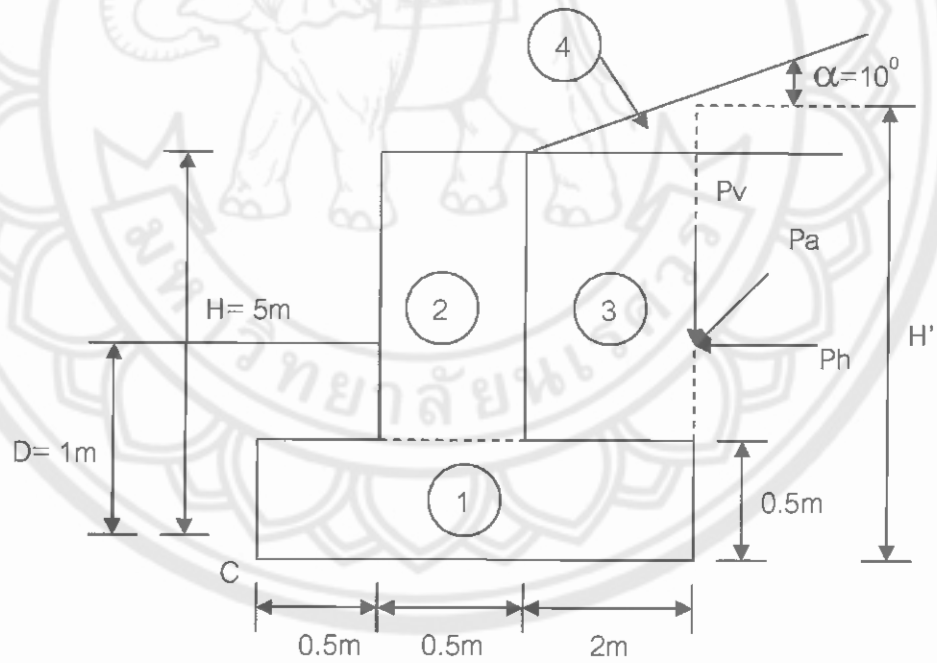
Step2 สมมุติขนาดกำแพงกันดินโดยใช้ Wall Proportioning

จาก $H = 5 \text{ m}$ ให้ $D = 1 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Width of Toe} &= 0.1H \\ &= 0.1(5) \\ &= 0.5 \text{ m} \\ \text{Width of Stem} &= 0.1H \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.1(5) \\
 &= 0.5 \text{ m} \\
 \text{Width of heel} &= 0.4H \\
 &= 0.4(5) \\
 &= 2.0 \text{ m} \\
 \text{Thickness of base} &= 0.1H \\
 &= 0.1(5) \\
 &= 0.5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Step3 หาค่า $H' = H + 2\tan 10^\circ = 5 + 0.35 = 5.35 \text{ m}$



Step4 วิเคราะห์แรงที่กระทำต่อ wall base และ stem

Section no.	Area (m ²)	Weight/unit length (T/m)	M arm from point C (m)	M (T-m/m)
1	4x0.5 = 2	4.8	0.75	3.6
2	0.5x3 = 1.5	3.6	1.50	5.4
3	4x2 = 8	14	2.00	28
4	½x2x0.35=0.35	0.61	2.33	1.42
		P _v = 1.52	3.00	4.56
		ΣV = 24.53		ΣM _R = 42.98

The Rankine active force per unit length of wall

For $\phi = 30^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $K_a = 0.350$

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma_1 H^2 K_a$$

$$P_a = \frac{1}{2}(1.75)(5.35)^2(0.350)$$

$$= 8.77 \text{ T/m}$$

$$P_v = P_a \sin 10^\circ$$

$$= 8.77(\sin 10^\circ) = 1.52 \text{ T/m}$$

$$P_h = P_a \cos 10^\circ$$

$$= 8.77(\cos 10^\circ) = 8.63 \text{ T/m}$$

Step5 ตรวจสอบเสถียรภาพการพลิกคว่ำ, การลื่นไถล และการรับกำลังแบกทานของดิน

- ตรวจสอบเสถียรภาพการพลิกคว่ำ

$$M_o = P_h(H/3)$$

$$= 8.63(5.35/3) = 15.39 \text{ T-m/m}$$

$$FS_{OT} = \frac{\Sigma M_R}{M_o}$$

$$= 42.98/15.39 = 2.79 > 2, \text{ O.K.}$$

- ตรวจสอบเสถียรภาพการลื่นไถล

$$FS_{SL} = \frac{[(\Sigma V)\tan(k_1\phi_2) + Bk_2C_2' + P_p]}{P_a \cos \alpha}$$

Assume $P_p = 0$, $D = 1\text{ m}$

Let $k_1 = k_2 = 2/3$

$$\begin{aligned} FS_{SL} &= [(24.53)\tan(2 \times 33/3) + (3)(2/3)(2) + 0]/8.77 \\ &= 1.58 > 1.5 \text{ O.K.} \end{aligned}$$

- ตรวจสอบเสถียรภาพการรับกำลังแบกทานของดิน

$$\begin{aligned} e &= B/2 - (\sum M_R - \sum M_O) / \sum V \\ &= 3/2 - (42.98 - 15.39) / 24.53 \\ &= 0.375 \text{ m} < B/6 = 3/6 = 0.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= \sum V / B [1 \pm 6e/B] \\ &= 24.53 / 3 [1 \pm (6 \times 0.375) / 3] \\ &= 14.31 \text{ T/m}^2 \quad (\text{toe}) \\ &= 2.04 \text{ T/m}^2 \quad (\text{heel}) \end{aligned}$$

$$q_u = C_2' N_c F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qd} F_{qi} + 1/2 \gamma_2 B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

For $\phi_2 = 33^\circ$, $N_c = 38.64$, $N_q = 26.09$, $N_\gamma = 35.19$

$$\begin{aligned} q &= \gamma_2 D \\ &= (1.80)(1) = 1.80 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B' &= B - 2e \\ &= 3 - (2 \times 0.375) = 2.25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cd} &= 1 + 0.4(D/B') \\ &= 1 + 0.4(1/2.25) = 1.18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{qd} &= 1 + 2 \tan \phi_2 (1 - \sin \phi_2)^2 (D/B') \\ &= 1 + 0.269(1/2.25) = 1.12 \end{aligned}$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$F_{ci} = F_{qi} = (1 - \psi/90^\circ)^2$$

$$\begin{aligned} \psi &= \tan^{-1}(P_a \cos \alpha / \sum V) \\ &= \tan^{-1}(8.77/24.53) = 19.67^\circ \end{aligned}$$

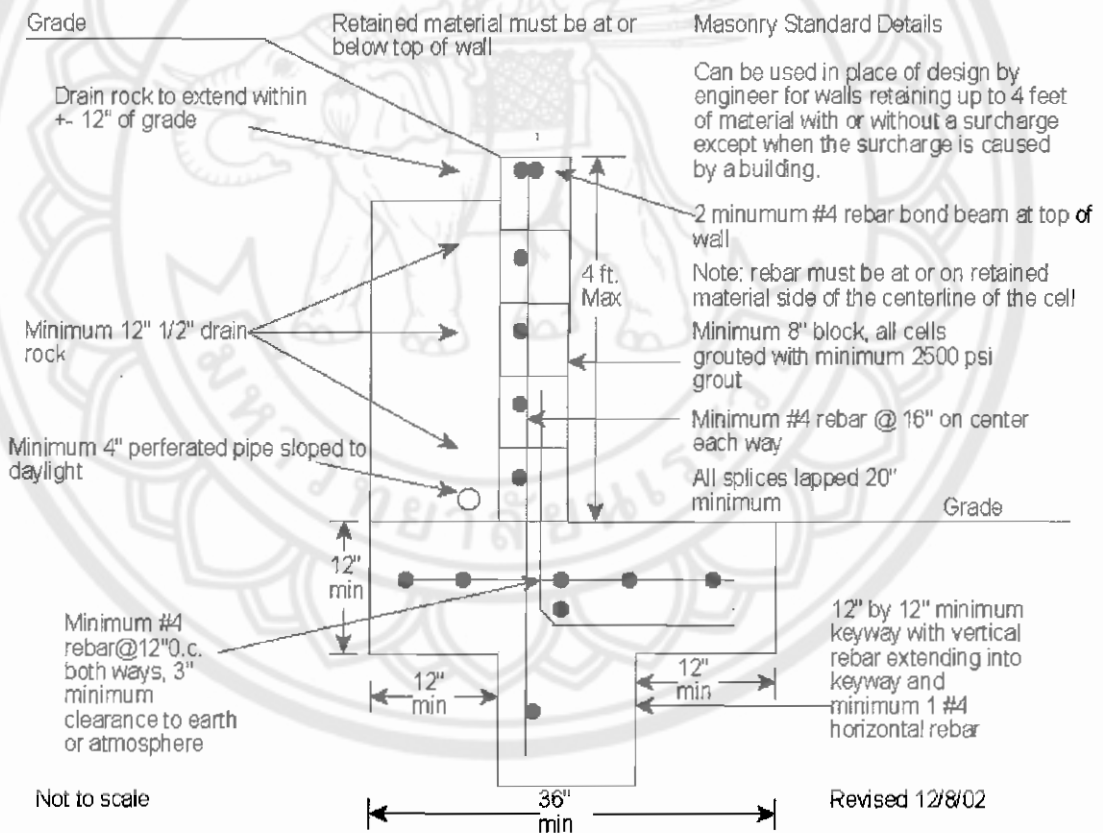
$$F_{ci} = F_{qi} = [1 - (19.67/90)]^2 = 0.61$$

$$F_{\gamma i} = (1 - \psi / \phi_2)^2 = [1 - (19.67/33)]^2 = 0.163$$

Hence

$$\begin{aligned}
 q_u &= (2)(38.64)(1.18)(0.61) + (1.80)(26.09)(1.12)(0.61) + \\
 & \quad 1/2(1.8)(2.25)(35.19)(1)(0.163) \\
 &= 99.34 \text{ T/m}^2 \\
 FS_{BC} &= q_u/q_{toe} \\
 &= 99.34/14.31 = 6.94 > 3 \text{ O.K.}
 \end{aligned}$$

Step6 ออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 7.4.2 รูปการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก