



การออกแบบกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก
แบบคานยื่นโดยไมโครคอมพิวเตอร์
Design Reinforced Concrete Cantilever
Retaining Wall by Microcomputer



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032506

**Design Reinforced Concrete Cantilever
Retaining Wall by Microcomputer**



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

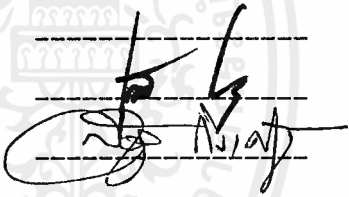
1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการงานพิเศษ

หัวข้อโครงการงานพิเศษ การออกแบบกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กแบบคานยื่นโดย
ไมโครคอมพิวเตอร์

นักศึกษา นางสาวสิริพร สุ่มะโน รหัสประจำตัว 321371
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สฤกษ์ ห่อวโนทยาน

คณะกรรมการสอบโครงการงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ. อำนวย พานิชกุลพงศ์	
อ. สุรัตน์ หวังเจริญ	
อ. สุวัฒน์ กิรเศรษฐ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


(นายสุรัตน์ หวังเจริญ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 10 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2536

หัวข้อโครงการพิเศษ	การออกแบบกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กแบบคานยื่นด้วย ไมโครคอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นางสาวสิริพร สุ่มะโน
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สกุล ท่อวโนทธาน
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2535

บทคัดย่อ

กำแพงกันดินเป็นโครงสร้างที่ถูกออกแบบและก่อสร้างเพื่อช่วยในการรับภาระเคลื่อนตัวของดินทางด้านข้าง ตัวกำแพงจะต้องสามารถต้านทานแรงทางด้านข้างเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินและรักษาดินให้อยู่ในสภาพคงที่ กำแพงกันดินมีหลายชนิดในการเลือกรูปทรงแต่ละชนิดจะขึ้นกับสภาพของหน้างาน วัสดุที่สามารถหาได้ ความสามารถในการรับแรงของดิน ความประหยัดในการก่อสร้าง และความสูงรวมทั้งลักษณะทางกายภาพของดินถม

ดังนั้นโปรแกรมการออกแบบนี้จึงแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่วิเคราะห์แรงเนื่องจากดิน น้ำหนักแม่และระดับน้ำใต้ดินที่กระทำกับกำแพงกันดิน และตรวจสอบเสถียรภาพของกำแพงกันดินต่อการพลิกคว่ำและการเลื่อนไถล ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์โมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมและการเสริมเหล็กในกำแพงกันดินโดยทฤษฎี Elastic โดยในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเหล็กโดยทั่วไปจะต้องคำนึงถึงความแข็งแรงในการรับน้ำหนักบรรทุก โดยไม่เกิดการแตกร้าวหรือพังทลาย และมีความปลอดภัย

จากหลักการดังกล่าว จึงได้มีการคิดจัดทำโปรแกรมการออกแบบกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Cantilever เพื่อให้ผู้ใช้สามารถป้อนค่าคุณสมบัติต่างๆ ของดินและความสูงของกำแพงกันดินรวมทั้ง surcharge บนดินถม เพื่อให้สามารถออกแบบขนาดและใส่เหล็กได้ตามต้องการโดยให้เหล็กกำแพงมีขนาดเดี่ยวกันตลอด

ในการนำโปรแกรมมาช่วยในการออกแบบนี้ทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็วมากขึ้น และป้องกันความผิดพลาดเนื่องจากการคำนวณด้วยมือ โดยโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนนี้ใช้ภาษาปาสคาลเพราะเป็นภาษาระดับสูง สามารถทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลง หรือพัฒนาต่อไปได้สะดวก นอกจากนี้ยังสามารถพิมพ์ผลที่ได้ خروجทางเครื่องพิมพ์ได้

Project Title DESIGN REINFORCED CONCRETE CANTILEVER RETAINING WALL
 BY MICROCOMPUTER

Student MISS.SIRIPORN SUMANO

Project Advisor MR.SAKUL WHAUWANOTAYAN

Level of Study Bachelor of Engineering in Construction Engineering

Department Civil Engineering Faculty of Engineering King
 Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Year 1992

ABSTRACT

Retaining Wall is the structure retained the movement of lateral earth. Wall must be against lateral pressure that occur because of soil movement and maintained it to be at rest. There are many types of retaining wall. The selection of each type depends on shape, site condition, available material, economical, height between soil surface and characteristic of retained material

This program has two parts. Analysing force on wall attacked by soil, water level, surcharge load and wall stability is in the first part. The second part is the analysing of moment and shear force to find the suitable dimension and steel design for retaining wall.

From the above concept, program of design retaining wall is developed. The user can input the character of soil, height of retaining wall and load on soil surface. The result of computing by this program will show the dimension of retaining wall and the cross section of steel design.

So this will help the designer to be faster in designing and decrease mistake that compute by hand. Pascal is high level language can edit and develop easily that be used in this project.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ อาจารย์สกุล
ห่อวโนทยาน ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้
ต่างๆให้แก่ข้าพเจ้า

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ เพื่อน ๆ และรุ่นน้อง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่ให้
ความช่วยเหลือในการเขียนโปรแกรม รวมทั้งให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

ท้ายที่สุด บุคคลที่ข้าพเจ้ามีอาจจะลืมกล่าวถึงก็คือ บิดา และ มารดา ผู้ซึ่งเปิดโอกาส
ให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาเล่าเรียน คอยสนับสนุนทั้งเงินทุน และกำลังใจจนประสบความสำเร็จมาจน
กระทั่งบัดนี้

ผู้จัดทำ

นางสาวสิริพร สมะโน

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
คำอธิบายสัญลักษณ์	VII
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
1.2 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.3 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ	3
2.1 ชนิดและการใช้งานของกำแพงกันดิน	3
2.2 ทฤษฎีแรงดันดินทางข้าง	4
2.2.1 แรงที่กระทำบนกำแพงกันดิน	4
2.2.2 Active Earth Pressure	5
2.2.2.1 การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินที่มีความเชื่อมแน่น ...	7
2.2.3 Passive Earth Pressure	8
2.2.3.1 การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินที่มีความเชื่อมแน่น ..	8
2.2.4 ข้อเปรียบเทียบทฤษฎีแรงดันดินด้านข้าง	8
2.2.5 ทฤษฎีแรงดันดินทางข้างของ Coulomb	9
2.2.6 ผลของระดับน้ำใต้ดิน	12
2.2.7 มุมเสียดทานของกำแพง	13
2.2.8 สภาพทั่วไปของน้ำหนักที่กระทำกับกำแพงกันดิน	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 เสถียรภาพของกำแพงกันดิน	13
2.3.1 ข้อกำหนดในการวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพง	15
2.3.2 Base Key	16
2.4 ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินใต้ฐานราก	16
2.5 การให้รายละเอียดของเหล็กเสริม	17
3. ขั้นตอนในการคำนวณ	36
4. การใช้โปรแกรม	44
5. ตัวอย่างการคำนวณ	55
5.1 ตัวอย่างการคำนวณด้วยมือ	55
5.2 ตัวอย่างการคำนวณด้วยเครื่อง	67
6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	82
บรรณานุกรม	83

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง K_u ตามทฤษฎี Coulomb	33
2.2 แสดงสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง K_u ตามทฤษฎี Coulomb	33
2.3 แสดงสมการในการหาความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน	34
2.4 แสดง shape, depth, inclination, ground และ base factor เพื่อใช้ในการหาแรงต้านทานของดินจากราย 2.3 โดยจะใช้ primed factor เมื่อ $\phi=0$	35



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดง gravity retaining wall	20
2.2 แสดง cantilever retaining wall	20
2.3 แสดง counterfort retaining wall	21
2.4 แสดง buttress retaining wall	21
2.5 แสดง basement retaining wall	22
2.6 แสดง แนวคิดของ elastic และ plastic equilibrium	22
2.7 แสดง แรง active และ passive pressure ทาจาก K_0 เกิดจากการตอกเข็มที่ไม่มีควมหนาหลงสู่ดิน	23
2.8 แสดงการกระจายของแรงดันดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่นค้ำหลัง กำแพง กั้นดินที่เป็นแนวตั้ง	23
2.9 แสดงระนาบพังทลายที่ใช้แก้ปัญหาตามสมการ Coulomb เพื่อหาแรง Active Pressure โดย β อาจจะเป็นบวกหรือลบ และ $0 < \beta < 180$	24
2.10 (a) แสดงภาพสมมุติของการพังทลาย	24
(b) เวกเตอร์ของแรงทั้งหมดอาจจะไม่ผ่านจุด O	
2.11 (a) สามเหลี่ยมพังทลายและแรง passive pressure	25
(b) ใช้สามเหลี่ยมของแรงในการแก้ปัญหา passive pressure	
2.12 (a) การแก้ปัญหาตามทฤษฎี Rankine สำหรับมุม $= 90$ องศา	25
(b) สามเหลี่ยมของแรงในสมการของ Rankine	
2.13 แสดงสภาพทั่วไป และวงกลมมอร์ สำหรับการแก้ปัญหาตามสมการ Rankine ..	26
2.14 แรงดันรวมที่กระทำกับผนังภายใต้ drain condition	26
2.15 แรงดันรวมที่กระทำกับผนังภายใต้ undrain condition	27
2.16 ตามทฤษฎีของ Rankine ในการวิเคราะห์เสถียรภาพกำแพงกั้นดิน จะใช้ $\beta = \beta$ และใช้ $\beta' = \beta$ หรือ ϕ เนื่องจากระนาบที่พังทลายเป็น ระนาบระหว่างดิน $P_{uv} = P_{uh} \tan \phi$ จะเป็นค่าใกล้เคียงที่สุด	28
(a) เป็นแรงดันดินบน stem และการวิเคราะห์แรงด้านของดินใต้ฐานราก	
(b) เสถียรภาพต่อการพลิกคว่ำและการเลื่อนไถล โดย $Wc =$ น้ำหนักคอนกรีต $W_s =$ น้ำหนักดิน $acde$ และ x_i เป็นแขนของโมเมนต์	

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.17 แสดงการพังทลายที่เกิดจากดินไม่สามารถรับน้ำหนักได้	29
2.18 แสดงเสถียรภาพต่อการเลื่อนไถลโดยใช้ key	30
(a) แสดงตำแหน่งของ key ที่มีอยู่ใกล้ stem เพื่อให้เหล็กยื่นเข้าสู่ key ได้	
(b) แสดงพื้นที่ผิวของการเลื่อนไถลเมื่อใช้ key	
(c) แสดงภาพลักษณะการพัง 2 แบบที่เป็นไปได้ของ heel key	
2.19 สภาพทั่วไปของน้ำหนักที่กระทำต่อกำแพงกันดิน	31
2.20 แสดงพฤติกรรมของกำแพงกันดินเมื่อมีแรงมากระทำ	32
2.21 แสดงการกำหนดขนาดเบื้องต้นของกำแพงกันดิน	32
4.1 แสดงหน้าจอ MAIN MENU	45
4.2 แสดงค่า default ที่สามารถนำมาแก้ไขได้	50
4.3 แสดงหน้าจอเพื่อทำการแก้ไขหน้าที่ 2	51
4.4 แสดงหน้าจอค่า default ที่สามารถนำมาแก้ไขหน้าที่ 3	52
4.5 แสดงผลลัพธ์หน้าจอเป็น text	53
4.6 แสดงผลลัพธ์หน้าจอเป็น text	54

คำอธิบายสัญลักษณ์

- K_0 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินทางข้างในสภาวะคงที่
- K_u ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินทางข้างในสภาวะ active
- K_p ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินทางข้างในสภาวะ passive
- ◆ มุมเสียดทานภายในของดินถม
- ◆ มุมเสียดทานภายในของดินถม
- ◆ มุมเสียดทานภายในของดินถม
- G_u แรงกระทำกับอนุภาคของดินในแนวตั้ง
- G_v แรงกระทำกับอนุภาคของดินในแนวราบ
- β ความชันของดินถมกับพื้นผิวเป็นองศา
- c ค่าความเหนียวของดิน
- c_u ค่าความเหนียวของดินใต้ฐาน
- c_p ค่าความเหนียวของดินหน้ากำแพงกันดิน
- c_c ค่าความเหนียวของดินที่ลดลงเนื่องจากความเสียดทานกับคอนกรีต
- P_u แรงดันทางด้านข้างเนื่องจากแรง active
- P_p แรงดันทางด้านข้างเนื่องจากแรง passive
- h ระยะความลึกใด ๆ ที่พิจารณา
- h_c ระยะความลึกของรอยแตกเนื่องจากแรงดึง
- H ความสูงทั้งหมดของกำแพงกันดิน
- W_{total} น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนฐานซึ่งจะต้านทานการพลิกคว่ำ
- W_c น้ำหนักของโครงสร้างที่เป็นคอนกรีต
- W_u น้ำหนักดินที่กระทำบนโครงสร้าง
- W' or W_u หน่วยน้ำหนักของดินใต้ระดับน้ำ
- W_w หน่วยน้ำหนักของน้ำ
- R or F_v แรงลัพธ์ในแนวตั้งที่กระทำกับโครงสร้าง
- B ขนาดความกว้างของฐาน
- N_u ค่าความปลอดภัยเนื่องจากการเลื่อนไถล
- N_0 ค่าความปลอดภัยเนื่องจากการพลิกคว่ำ

P_{av} or P_v	แรงดันทางด้านข้างที่กระทำในแนวตั้ง
P_{ah} or P_h	แรงดันทางด้านข้างที่กระทำในแนวราบ
H_a	โมเมนต์ที่เกิดจากแรง active
H_p	โมเมนต์ที่เกิดจากแรง passive
H_o	โมเมนต์ที่จะทำให้เกิดการพลิกคว่ำ
H_r	โมเมนต์ต้านทานจากการพลิกคว่ำ
-	ระยะเชิงศูนย์กลางของแรงลัพธ์
q_{ult}	Ultimate Bearing Capacity
q_a	Allowable Bearing Capacity
t_b	ความหนาของฐาน
t_s	ความหนาของฐาน stem
t_o	ความหนาของสัน stem
L_T	ความยาวของ toe
L_H	ความยาวของ heel
S	น้ำหนักแห้งที่กระทำบนดินถมในแนวตั้งฉาก
H_o	ระยะความสูงดินเหนือระดับน้ำ
H_w	ระยะความสูงของระดับน้ำใต้ดิน
SP_{max}	แรงดันสูงสุดของดินที่กระทำกับฐาน
SP_{min}	แรงดันน้อยที่สุดของดินที่กระทำกับฐาน
add	ความห่างของเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โดยปกติการออกแบบกำแพงกันดิน จะต้องมีการสำรวจดินบริเวณนั้นเพื่อทราบคุณสมบัติของดินในการรับแรงอันเนื่องมาจากโครงสร้างและน้ำหนักที่อยู่เหนือผิวดินขึ้นไป รวมทั้งคุณสมบัติของดินในการทำให้เกิดแรงดันทางด้านข้างกระทำต่อกำแพง และทำให้เกิดการพลิกคว่ำ ซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์โมเมนต์และแรงดันทางด้านข้างเพื่อให้ทราบขนาดของโครงสร้างที่ปลอดภัยในการรับแรงได้ ทั้งนี้ต้องอาศัยทฤษฎีแรงดันทางด้านข้างของดิน

สิ่งสำคัญคือกำแพงกันดินนี้จะต้องมี stability ต่อการพลิกคว่ำและการเลื่อนไถล ซึ่งในการคำนวณด้วยมือจะต้องมีการ trial โดยการเพิ่มขนาดของฐานเพื่อให้ปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำและการรับน้ำหนักของดิน การวิเคราะห์หาขนาด key เพื่อป้องกันการเลื่อนไถล

ขั้นตอนที่สองเป็นการวิเคราะห์การเสริมเหล็กในตัวกำแพงกันดินซึ่งใช้การวิเคราะห์โครงสร้างตามทฤษฎี elastic โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบนี้จึงเหมาะที่จะใช้กับโครงสร้างกำแพงกันดินที่มีความสูงไม่เกิน 6 เมตร ซึ่งจะเป็นแบบ Cantilever Retaining Wall โดยมีการรับน้ำหนัก 2 ลักษณะคือ ดินถมบนฐานราก และดินถมที่ไม่อยู่บนฐานรากสำหรับรูปร่างแบบ "L-shaped" และกรณีดินถมบน toe และดินถมบน heel สำหรับรูปร่างแบบ "inverted T-shaped" ซึ่งจะทำให้ชิ้นส่วนของฐานมีพฤติกรรมในการรับแรงดึงและแรงอัดต่างกัน

1.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำโปรแกรมซอฟต์แวร์ สำหรับช่วยวิศวกรให้สามารถออกแบบ Reinforced Concrete Cantilever Retaining Wall ได้ในเวลาที่ย่นและถูกต้องตามหลักทาง Soil Mechanics และทฤษฎี Elastic มากที่สุด
2. ช่วยป้องกันความผิดพลาดเนื่องจากการคำนวณด้วยมือ
3. เพื่อให้วิศวกรนำไปวิเคราะห์และพัฒนาโปรแกรมให้ดีขึ้นต่อไป

1.2 ขอบเขตของโปรแกรม

1. คำนวณแรงดันทางด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดินด้วยทฤษฎีของ Coulomb
2. คำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักของดินใต้ฐานด้วยทฤษฎีของ Hasen
3. กำหนดให้ดินถมหลังกำแพงและดินใต้ฐานรากเป็นดินเนื้อเดียว
4. คำนวณโครงสร้างของ Cantilever Retaining Wall ชนิดที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยทฤษฎี Elastic โดยให้คอนกรีตรับแรงอัดทั้งหมด
5. ให้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเป็นขนาดเดียวกันตลอดความสูงผนัง
6. แสดงผลทางหน้าจอเป็น graphic
7. แสดงผลทางเครื่องพิมพ์ได้
8. ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการศึกษา

1.3 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ

1. ศึกษาค้นคว้าวิธีการออกแบบกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กในทางทฤษฎี
2. ศึกษาภาษาปาสคาลสำหรับขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม
3. สรุปผลการวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สำหรับการจัดทำโครงการนี้ เพื่อช่วยให้นักศึกษาใช้คอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม โดยเฉพาะทางปฐพีกลศาสตร์ ซึ่งสามารถจะแก้ปัญหาได้เร็วกว่าคำนวณเอง โดยสามารถใช้งานได้ง่ายและนำผลไปใช้งานได้จริง รวมทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาสำหรับชนิดของโครงสร้างผนังกันดินอื่นๆ อีกต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์

และออกแบบกำแพงกันดิน

2.1 ชนิดและการใช้งานของกำแพงกันดิน

ชนิดของกำแพงกันดินที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 5 ประเภท ดังนี้

(1) gravity-type retaining wall (รูป 2.1) คือ โครงสร้างกันดินที่ใช้น้ำหนักของตัวมันเองและ passive soil pressure ที่ฐาน ในการต้านทานแรงที่มากระทำทางด้านข้าง กำแพงกันดินชนิดนี้มักจะไม่ใช้กับดินถมที่มีความสูงมาก ๆ เนื่องจากประสิทธิภาพของวัสดุที่ใช้ไปจะไม่คุ้มค่า โดยจะนิยมใช้หินขนาดใหญ่เพื่อลดปริมาณของคอนกรีต และเพื่อช่วยเพิ่มน้ำหนัก กำแพงกันดินชนิดนี้ไม่นิยมทำจากอิฐ

(2) cantilever retaining wall (รูป 2.2) มีรูปร่าง 2 แบบแล้วแต่การใช้งานคือ

- L-shaped ใช้เมื่อพื้นที่หน้างานจำกัดหรือติดเขตด้านข้าง

- inverted T-shaped

ซึ่งการเลือกใช้งานขึ้นกับความจำกัดของพื้นที่หน้างาน กำแพงกันดินชนิดนี้จะใช้วัสดุก่อสร้างอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกำแพงกันดินชนิดอื่น ส่วนประกอบแต่ละส่วนคือ กำแพงและฐานรากจะมีพฤติกรรมเหมือนพื้นยื่น (cantilever slab) กำแพงกันดินชนิดนี้นิยมใช้งานเพราะคุ้มค่าในแง่การก่อสร้าง

(3) counterfort retaining wall (รูป 2.3) กำแพงกันดินชนิดนี้ดัดแปลงมาจาก Cantilever Retaining Wall แต่แตกต่างกันที่ส่วนของกำแพงและฐานราก จะทำหน้าที่เสมือน one-way slab และตัวครีบจะทำหน้าที่รับแรงดึง

(4) buttress retaining wall (รูป 2.4) กำแพงกันดินชนิดนี้ใช้หลักการเช่นเดียวกับ counterfort retaining wall เพียงแต่ตัวครีบจะทำหน้าที่รับแรงอัด

ทั้ง counterfort และ buttress retaining wall จะใช้เมื่อต้องการให้ดินถมมีความสูงมากกว่าที่ Cantilever จะรับได้ เพราะจะสามารถลดความหนาของตัวผนังลงแต่ค่าประกอบแบบและแรงงานจะต้องนำมาพิจารณาด้วย

(5) basement wall (รูป 2.5) วัสดุที่ใช้ อาจจะเป็นอิฐก่อหรือคอนกรีตซึ่งขึ้นกับความสูงของกำแพง ปริมาณดินถม และความสามารถในการรับแรง axial หรือ surcharge load ตัวกำแพงออกแบบเป็น one-way slab ในการวิเคราะห์โครงสร้างต้องพิจารณา

ถึง axial และ bending stress ในหน้าตัดที่มี maximum stress โดยตัวพื้นคอนกรีตที่บนสุดผนังและฐานรากจะต้องสามารถรับแรงด้านข้างที่เกิดจากดินถมได้ ดังนั้นในการก่อสร้างจะต้องให้โครงสร้างมีความแข็งแรงจนถึง working stress ก่อนที่จะถมดินกลับ หรือมิฉะนั้นจะต้องมีการค้ำยันเพื่อป้องกันการเสียหายของโครงสร้าง

การแบ่งประเภทของ Reinforced Concrete Cantilever Retaining Wall ตามลักษณะของดินถม

- (1) Property Line Retaining Wall (L-shaped)-soil over footing
- (2) Property Line Retaining Wall (L-shaped)-soil not over footing
- (3) General Retaining Wall (invert T-shaped)- soil over toe
- (4) General Retaining Wall (invert T-shaped)- soil over heel

ปกติแล้วรูปร่างแบบ inverted T-shaped จะเป็นรูปร่างที่ประหยัดเนื่องจากสามารถขยายขนาด toe ผ่านผิวนอกของกำแพงได้ แต่ Property Line ก็เหมาะที่จะใช้เมื่อพื้นที่จำกัดหรือติดเขตที่ด้านข้างที่ไม่สามารถขยาย toe หรือ heel ได้ ข้อดีคือถ้าเป็นชนิดที่ soil over footing น้ำหนักดินถมจะช่วยต้านทานการพลิกคว่ำและการเลื่อนไถล

2.2 ทฤษฎีแรงดันดินทางด้านข้าง

วิธีของ " plastic equilibrium " ที่อธิบายโดยวงกลมของ Mohr ดังรูปที่ 2.6 ใช้ในการประมาณค่าของ แรงดัน ทางด้านข้างของดินและวัสดุอื่นๆ เช่น กรวด

2.2.1 แรงกระทำบนกำแพงกันดิน

ขนาดและทิศทางของแรงดันทางด้านข้างที่ทำให้กำแพงกันดินพลิกคว่ำ หรือ เลื่อนไถลนั้นหาได้จากหลักทาง Soil Mechanics เพื่อหาแรงดันดินที่จะเกิดขึ้นจากสภาพต่างๆ โดยแรงดันที่เกิดจากดินถมนั้นจะแปรผันตามระยะจากพื้นผิวดิน

ปัจจัยที่มีผลต่อแรงดันที่เกิดขึ้นบนกำแพงมีดังต่อไปนี้

1. ชนิดของดินถม
2. สภาพของวัสดุที่ใช้ถมตามฤดู เช่น เปียก แห้ง หรือเป็นน้ำแข็ง
3. การระบายน้ำของวัสดุ
4. น้ำหนักที่มากกระทำกับดินถม เช่น รถบรรทุก และอุปกรณ์ไถต่างๆ กับกำแพง

- 5. วิธีการปฏิบัติในการถมดิน
- 6. การต้านทานการหมุนของแต่ละส่วนประกอบในกำแพงกันดิน
- 7. แรงสั่นสะเทือนที่อาจจะเกิดใกล้ ๆ กับผนัง (โดยเฉพาะสำหรับ granular soil)
- 8. ชนิดของวัสดุใต้ฐานรากของกำแพงกันดิน
- 9. ระดับน้ำใต้ดิน

ปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ ต้องป้องกันการสะสมของน้ำในดินถม ในการออกแบบแล้ว ส่วนมากจะไม่นิยมออกแบบให้กำแพงรับวัสดุถมตัว ซึ่งหมายถึงว่าจะต้องมีการระบายน้ำอย่างเหมาะสม ในกรณีที่มีชันพาหนะ หรืออาคารก่อสร้างข้างเคียงสันของกำแพงกันดิน น้ำหนักของสิ่งก่อสร้างหรือชันพาหนะจะทำให้แรงดันที่กำกับกำแพงเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะต้องมีการออกแบบให้มี surcharge load บนดินถมแทนค่าน้ำหนักต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม dynamic reaction อาจจะเกิดขึ้นได้จากถนน หรือรางรถไฟซึ่งไม่สามารถแปรเป็นน้ำหนักคงที่ได้ตาม AASHTO highway bridge specification (Sec.1.2.19)[3] และ the AREA railroad retaining wall specification [4] ได้กำหนดเป็นตัวเลขของการเพิ่มความสูงของดินถมแทน static surcharge

2.2.2 Active Earth Pressure

แรงดันดิน active ทำให้เกิดสภาพของ rupture circle AC ดังรูป 2.6 โดยแกนทางแนวนอนแทน stress และแกนทางแนวตั้งแทน strain ในการใช้ stress OA และ OE ในสภาวะคงที่ (K_0) พบว่าเมื่อแรง OE ที่ให้เกิด failure ความเค้นจะลดลงถึง OC นำค่าของ stress ระหว่าง OA และ OC มา plot Mohr's circle โดยที่ระยะระหว่าง OA และ OC คือเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลม เป็น stress ที่เปลี่ยนไปที่ได้จากการทดลอง โดยระนาบทางแนวราบและแนวตั้งในรูป 2.6 เป็นระนาบหลักในสภาวะ K_0 เรียกความเค้นที่น้อยที่สุด $-OC = \sigma_3$ ว่า"active earth pressure" ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2 (45-\phi/2) - 2c \tan (45-\phi/2) \quad (2.42)$$

สมการนี้คิดค้นโดย Coulomb เมื่อ ค.ศ. 1776 ในรูปแบบที่ต่างออกไป แต่ถูกตีพิมพ์โดย Bell เมื่อ ค.ศ.1915 ตามสมการข้างบน

$$\tan^2 (45-\phi/2) = (1-\sin\phi)/(1+\sin\phi)$$

$$\tan (45-\phi/2) = (1-\sin\phi)/\cos\phi$$

โดยจะให้ K_u เป็นสัมประสิทธิ์ ในเทอม \tan^2

เมื่อเรานำมาประยุกต์กับการปฏิบัติจริง โดยจากรูป 2.7 เราตอกผนังที่มีความหนาเป็นศูนย์กลางใน normally consolidated cohesionless soil ในสภาวะ K_u บนผนังจะเกิดแรงทางข้างขึ้น (ดินส่วผนังหรือผนังสู่ดิน)

$$\text{จาก } \sigma_u = K_u \sigma_v$$

ณ ความลึก Z ใดๆ แรงดันทางแนวตั้ง $\sigma_v = \gamma z$ และสำหรับค่า K_u ใน normally consolidated soil คืออัตราส่วนของความเค้นจากรูป 11.1a

$$K_u = OF/OA$$

เมื่อเราขุดดินทางด้านซ้ายของผนังออกให้สูง H ดังรูป 2.7b และ c ถ้าดินไม่พังทลายก่อนจะพบว่า

1. ดันขึ้นจะเหวี่ยงทางด้านข้างทำให้เกิด slip plane ในดินดังรูป 2.7 และแรงดันทางข้าง $\sigma_u = \sigma_v$ บน Mohr's circle ลดลงจากจุด E สู่จุด O กรณีในรูป 2.6 จะเกิดโดย K_u pressure ที่เกิดบนกำแพงลดลง เนื่องจากผนังเบนออกจากดิน

เมื่อผนังเคลื่อนที่อย่างพอเพียง แรงดันทางด้านข้างจะถึงสภาวะ plastic ที่ OC และแรงดันที่เกิดบนผนังจะเป็นแรงดันที่น้อยที่สุด

$$\sigma_u = \sigma_v K_u$$

กรณีแรงดันน้อยที่สุดนี้สังเกตจาก slip wedge ที่ปริมาตรน้อยที่สุดที่ $45+\phi/2$ จากแนวระนาบแรงต้านทาน แรงเฉือนจะเกิดที่ระนาบการเลื่อนไถลเพื่อถ่วงการเลื่อนไถลของลิ่ม

2. ผนัง rigid พอเพียงซึ่งไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ทางด้านข้างในกรณีนี้แรงดันทางด้านข้างคงจะเป็น

$$\sigma_u = \sigma_v K_u$$

เมื่อมีการเคลื่อนที่ของกำแพงไปทางด้านข้างในสภาวะของ active แรงดันที่เกิดกับกำแพงจะลดลงจนถึงค่าน้อยที่สุด เราจะตั้งคำถามว่าจะเกิดอะไรขึ้นถ้าไม่มีกำแพงค้ำยันไว้ เราจะพบว่า $\sigma_u = 0$ และไม่ว่าถ้าแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของดินบน slip plane (BC ในรูป 2.7b) ไม่พอเพียงที่จะทำให้สามเหลี่ยม ABC คงที่ได้ จะทำให้ slip นี้พังลงไปสู่ดินที่ถูกขุด จะสังเกตตัวอย่างได้จากหลุมทรายแห้งที่มี slope

เราจะพบเสมอว่าเมื่อมีการขุดหลุม ดินรอบๆ หลุมจะเคลื่อนที่ไปทางด้านข้างเข้าสู่หลุมขุด เมื่อเราหาอุปกรณ์ใส่ลงไปหลุมเพื่อผลักดันให้กลับสู่ตำแหน่งเดิม จะพบว่า เป็นไปไม่ได้

ที่จะทำให้ดินกลับไปยังในสภาพเดิม และคุณสมบัติของดินเปลี่ยนไปแล้ว ดังนั้นจึงไม่อาจใช้ค่าสัมประสิทธิ์ K_0 ในหลุมดินที่มีการรบกวนดินได้

2.2.2.1 การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น

สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินจะน้อยกว่าดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่นซึ่งมีค่าความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากัน เพราะว่าส่วนหนึ่งดินจะยึดติดกันด้วยตัวมันเอง และสามารถหาค่าแรงดันดินได้ดังนี้

1. โดสวิซีของเบล (Bell's solution)

เบลได้พัฒนาหาแรงดันดินแบบ Active มาจากทฤษฎีของ Rankine สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นและระดับดินอยู่ในแนวราบ แรงดันแบบ Active ที่ความลึก h จะได้เท่ากับ

$$P_u = K_u \gamma h - 2C/\sqrt{K_u}$$

ในเมื่อ K_u เป็น สปส. ของแรงดันดินทางด้านข้าง

จะเห็นว่าแรงเชื่อมแน่นของดินมีผลทำให้แรงดันดินแบบ Active ลดลง เท่ากับจำนวน $2C/\sqrt{K_u}$ นั่นคือดินจะยึดอยู่ด้วยตัวเองมากขึ้น

สามารถเขียนผังแรงดันดินได้ดังรูป 2.8

ค่า P_u ที่เป็นลบ ระหว่างช่วง $h = 0$ ถึง $h = h_c$ เป็นผลเนื่องจากเกิดแรงดึงขึ้นในดิน แต่โดยปกติดินไม่สามารถต้านทานต่อแรงดึงได้ ดังนั้นก็จะเกิดรอยแตกในแนวตั้งขึ้นสำหรับการออกแบบแรงดันในช่วงนี้ จะสมมุติให้มีน้ำค้างอยู่ในรอยแตก

2. รอยแตกเนื่องจากดึง (Tension crack)

จากรูปที่ 2.8 ความลึกของโซนแรงดึงเท่ากับ h_c และรอยแตกเนื่องจากแรงดึง สามารถจะเกิดขึ้นได้จนถึงความลึกนี้ ดังนั้นความลึกของรอยแตกเนื่องจากแรงดึง h_c สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{จากสมการ} \quad P_u = K_u \gamma h - 2C/\sqrt{K_u} = 0$$

$$K_u \gamma h_c = 2C/\sqrt{K_u}$$

$$h_c = (2C/\gamma) \times (1/\sqrt{K_u})$$

Active thrust ต่อหน้าของความยาวของกำแพงจะเท่ากับพื้นที่ของสามเหลี่ยมรูปล่าง
จากรูป 2.8 นั่นคือ

$$P_a = \frac{1}{2} (K_a \gamma H - 2c\sqrt{K_a}) (H - h_c)$$

2.2.3 Passive Earth Pressure

สภาวะ Passive Earth Pressure แสดงโดยวงกลมวงใหญ่ในรูป Mohr's circle ในรูป 2.6 ในสภาวะนี้ให้ OA คงที่ ขณะที่เพิ่มแรงดันทางด้านข้างจาก OE จนถึง plastic equilibrium failure ที่ OD slip plane ในสภาวะนี้จะทำมุม $45 - \phi/2$ กับแนวนอน

ความเค้นหลัก OD = σ_1 คำนวณโดยเรขาคณิตจาก Mohr's circle

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 (45 + \phi/2) + 2c \tan (45 + \phi/2)$$

Passive Earth Pressure เกิดขึ้นจากการเพิ่มแรงดันทางด้านข้างของดินจาก OE ถึง OD ในรูป 2.6b และ d ทำให้เกิดการพลิกของผนังเข้าสู่ดินตามรูป 2.7c

2.2.3.1 การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินที่มีความเชื่อมแน่น

สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินแบบ Passive จะมีความมากกว่าในดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น ซึ่งมีค่าความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากัน และสามารถหาได้ดังนี้

โดยวิธีของ Bell แรงดันดินแบบ Passive ที่ความลึก h จะได้เท่ากับ

$$P_p = K_p \gamma h + 2C\sqrt{K_p}$$

ในเมื่อ $K_p =$ สปส. ของแรงดันดินแบบ Passive

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า แรงเชื่อมแน่นของดินมีผลทำให้แรงดันดินแบบ Passive เพิ่มขึ้นเท่ากับจำนวน $2C\sqrt{K_p}$

2.2.4 ข้อเปรียบเทียบทฤษฎีแรงดันดินด้านข้าง

ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดันดินทางข้างของดินที่สำคัญคือ ทฤษฎีของ Coulomb



(คศ.1776) และ Rankine (คศ.1857) ทั้งสองทฤษฎีพิจารณาแรงดันดิน Active และ Passive ที่มีดินถมหลังกำแพง

จากตารางแสดงการเปรียบเทียบทฤษฎีของ Coulomb และ Rankine

Rankine	Coulomb
1. ดินเป็นดินเนื้อเดียวกันโดยพิจารณาเฉพาะความเสียดทานในดิน	1. ดินเป็นเนื้อเดียวกันและพิจารณาทั้งความเสียดทานและแรงเหนียวในดิน
2. ทฤษฎีพิจารณาถึงสภาวะ Plastic ของดินเพื่อหาแรง Active และ Passive	2. ในการหาแรงดันแบบ Active Passive ทฤษฎีพิจารณาถึงสภาวะ Plastic equilibrium ของระนาบสามเหลี่ยมพังทลายที่สมมติขึ้น
3. ผิวพังทลายเป็นผิวราบที่มาจากพิจารณาสภาวะ Plastic equilibrium	3. ผิวพังทลายถูกสมมติให้เป็นผิวราบระนาบพังทลายหาได้จากการ trial and error
4. ผิวดินถมเป็นแนวราบ	4. ผิวดินถมเป็นแนวราบและเอียง
5. ผิวกำแพงด้านหลังเป็นแนวตั้ง	5. ผิวกำแพงด้านหลังเป็นได้ทั้งแนวตั้งและแนวเอียง
6. ผิวของผนังเรียบ	6. มีแรงเสียดทานของกำแพง (μ) และสามเหลี่ยมพังทลายเคลื่อนที่ตลอดกำแพงทำให้เกิดแรงเสียดทานตลอดความยาวกำแพง

2.2.5 ทฤษฎีแรงดันดินทางข้างของ Coulomb

เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการประมาณแรงดันทางด้านข้างของดิน โดย C.A. Coulomb (คศ.1775) โดยมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. ดินเป็นเนื้อเดียวกันและมีทั้งแรงเหนียวและแรงเสียดทาน
2. ระนาบพังทลายถือเป็นระนาบหลัก (BC ในรูป 2.7b) ดินถมเป็นแนวราบ (อาจจะมีความชันได้)

3. แรงต้านทานเนื่องจากความเสียดทานกระจายสม่ำเสมอตลอดระนาบพังทลาย โดยสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานระหว่างดิน $f = \tan\phi$

4. ลิ่มพังกทลยถือเป็น rigid
5. เมื่อมีการเคลื่อนที่ของลิ่มพังกทลยจะทำให้เกิดแรงเสียดทานของด้านหลังกำแพงระหว่างดินกับกำแพงโดยสมมุติเสียดทานอยู่ในเทอมของ δ
6. การพังกทลยบนระนาบ คิดหนึ่งหน่วยความยาวผนัง
สมการที่ขึ้นกับทฤษฎี Coulomb สำหรับดินที่ไม่มีความเหนียว นำ จากรูป 2.10 และน้ำหนักของดิน ABE จากรูป 2.9 คือ

$W = A \gamma (1) = (\gamma H^2) / (2 \sin^2 \alpha) [\sin(\alpha + \rho) (\sin(\alpha + \beta) / \sin(\rho - \beta))]$
active force (P_u) ที่เป็นส่วนประกอบของ weight vector จากรูป 2.10 จากกฎของ sine จะได้

$$\frac{P_u}{\sin(\rho - \phi)} = \frac{W}{\sin(180 - \alpha - \rho + \phi + \delta)} \quad \text{(a)}$$

$$P_u = \frac{W \sin(\rho - \phi)}{\sin(180 - \alpha - \rho + \phi + \delta)} \quad \text{(b)}$$

จากสมการ (b) จะพบว่าค่าของ $P_u = f(\rho)$ โดยเทอมอื่นถึงเป็นค่าคงที่
จากสมการ (a) และ (b)

$$P_u = \frac{\gamma H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left[\frac{\sin(\alpha + \rho) \sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)} \right] \frac{\sin(\rho - \phi)}{\sin(180 - \alpha - \rho + \phi + \delta)}$$

ค่า P_u maximum จะหาจาก $\frac{dP_u}{d\rho} = 0$ จะได้

$$P_u = \frac{\gamma H^2}{\sin^2 \alpha} \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin(\alpha - \delta) \left[\frac{1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}}}{\sqrt{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

ตารางที่ 2.1 เป็นค่าของ K_u ที่สามารถคำนวณได้ง่ายโดยใช้ computer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาสมการ Passive Earth Pressure ก็ทำเช่นเดียวกัน เพียงแต่แรงที่กระทำกับกำแพงเปลี่ยนไปดังรูป 2.11a

จากรูป 2.11a น้ำหนักของระนาบพังทลายที่สมมติขึ้นเป็น

$$W = \frac{\gamma H^2 \sin(\alpha + \rho)}{2} \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)}$$

สามเหลี่ยมของแรงและกฎของ sine

$$P_p = \frac{W \sin(\rho + \phi)}{\sin(180 - \rho - \phi - \delta - \alpha)}$$

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha - \delta)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[\frac{1 - \sqrt{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}}{\sqrt{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

ให้

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} K_p$$

โดย

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

ตารางที่ 2.2 แสดงค่า K_p จากมุมของค่าต่างๆ คือ ϕ, δ, α และ β

รูป 2.15 แสดงแรงดันดินทางข้างขึ้นกับ effective stress ของดินไม่ขึ้นกับ total stress ดังนั้นแรงดันที่เท่ากับกำแพงใต้ระดับน้ำ คิดจากผลรวมของแรงดันน้ำและ effective lateral earth pressure โดยใช้ effective unit weight (γ') ของดิน

2.2.6 ผลของระดับน้ำใต้ดิน

ในกรณีที่ดินหลังกำแพงมีน้ำมาเกี่ยวข้อง เช่น อยู่ใต้ระดับน้ำ จะทำให้แรงดันของดินลดลง เนื่องจากความหนาแน่นของดินที่จมอยู่ใต้ระดับน้ำลดลง นั่นคือการคำนวณเราใช้ผลจาก Submerged density

$$P_u = K_u \gamma_b Z$$

อย่างไรก็ตามแรงดันรวมทั้งหมด ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยกำลังของน้ำที่ขังอยู่หลังกำแพง ด้วยเหตุนี้เราจึงออกแบบให้กำแพงกันดิน สามารถถ่ายเทน้ำที่ขังอยู่ได้ เพื่อเป็นการลด Hydrostatic head

ในกรณีที่เกิดผดงแตกหัก รอยแตกบนผิวดิน (Tension crack) จะเป็นแหล่งขังน้ำก่อให้เกิดแรงดันในแนวราบได้

การหาความดันเนื่องจากน้ำใต้ดิน

(a) Active pressure under drained condition

$$P_u = \gamma H K_u - 2C\sqrt{K_u}$$

จากรูป 2.14 ที่ผิวดิน $P_u = -2C_1\sqrt{K_{u1}}$

ที่ 1 $P_u = \gamma_1 H_1 K_{u1} - 2C_1\sqrt{K_{u1}}$

$P_u = \gamma_1 H_1 K_{u2} - 2C_2\sqrt{K_{u2}}$

ที่ 2 $P_u = (\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2) K_{u2} - 2C_2\sqrt{K_{u2}}$

ความดันน้ำที่ 2 = $\gamma_w (H_1 + H_2)$

ความดันรวมที่กระทำต่อผนัง = ความดันของดิน + ความดันของน้ำ

(b) Active pressure under undrained condition

สำหรับทราย การคำนวณมีลักษณะคล้ายคลึงกับ (a)

สำหรับดินเหนียว $\phi \neq 0$ (รูป 2.15)

$$K_u = 1$$

จะเห็นได้ว่าในกรณีดินเหนียวนี้ สามารถพิจารณาได้ Total unit weight แทน Submerged unit weight ได้

2.2.7 มุมเสียดทานของกำแพง

ความเสียดทานของกำแพงกันดินไม่เพียงแต่จะขึ้นกับคุณสมบัติของดินเท่านั้น ยังขึ้นกับขนาดและทิศทางการเคลื่อนที่ของกำแพงกันดิน

แรงเสียดทานของกำแพงที่มีค่าสูงสุดจะไม่ปรากฏพร้อมกับ ความต้านทานแรงเฉือนมากที่สุด ในแนวพื้นผิวระนาบตั้งทลาย และค่าความเสียดทานนี้จะไม่คงที่ตลอดกำแพง

ค่า $\epsilon = 0.6$ ถึง 0.8ϕ ใช้สำหรับผนังคอนกรีตที่ใช้ไม้แบบผิวเรียบ จากตาราง 2.5 แสดงค่า ϵ สำหรับวัสดุอื่นที่สัมผัสดิน ค่าที่แสดงสำหรับเหล็ก คอนกรีต และไม้ใช้สำหรับ normal pressure (6_u) ที่มีค่า $= 100$ KP_u โดยค่าเหล่านี้จะลดลงประมาณ 2 องศา สำหรับแรงที่เพิ่มทุก ๆ 100 KP_u ในทราย

ทฤษฎีหาแรงดันทางด้านข้างของ Rankine จะไม่คิดแรงเสียดทานของกำแพงกันดิน ซึ่งจะให้ค่าที่ปลอดภัย (แรงดันที่กระทำกับกำแพงมาก) กว่าของ Coulomb อย่างไรก็ดี สำหรับกำแพงสูง หรือกำแพงยึดหยุ่นได้โดยค่านึงถึงการเคลื่อนที่ การใช้ทฤษฎี Coulomb จะใกล้เคียงความจริงกว่าในการคำนวณที่ค่านึงถึงค่า ϵ

2.2.8 สภาพทั่วไปของน้ำหนักที่กระทำกับกำแพงกันดิน

น้ำหนัที่กระทำโดยทั่วไปมี 3 สภาพ ใหญ่ ๆ คือ

1. ดินถมมีผิวราบที่บนสุดของกำแพง
2. ดินถมมีความชัน
3. ดินถมในแนวราบที่รับน้ำหนักกระจายอย่างสม่ำเสมอ เช่น สภาพการจราจร

น้ำหนักของสิ่งก่อสร้าง

ไดอะแกรมของแรงทั้ง 3 กรณี ดังแสดงในรูป 2.19 แรงดันรวม P ต่อความยาวกำแพงเป็นเมตร ขึ้นกับพื้นที่ของไดอะแกรมโดยกระทำ ณ ตำแหน่งที่ผ่านจุด centroid

2.3 เสถียรภาพของกำแพงกันดิน

รูป 2.16 แสดงการพิจารณา wall stability ซึ่งกำแพงกันดินต้องสามารถที่จะต้านทาน

1. แรงเฉือนและโมเมนต์ในผนังที่เกิดจากแรงดันทางด้านข้างของดินซึ่งคำนวณตามความสูงของผนัง
2. แรงเฉือนและโมเมนต์ในฐานรากที่ผิวผนัง เกิดจากน้ำหนักบนฐานซึ่งทำให้เกิด

แรงต้านทานของดิน สำหรับโมเมนต์ของ heel จะคิดจากหน้าตัดวิกฤติที่ศูนย์กลางของ เหล็กในผนังแทนที่จะคิดจากผิวด้านหลังของผนัง

3. Overall Wall Stability

(a) การเลื่อนไถล เกิดจากแรงดันดินบนระนาบ ab (ระยะ H') ผ่าน heel แรงที่ทำให้เกิดการเลื่อนไถลไปด้านหน้าคือ P_H ซึ่งเกิดจาก

- แรงเสียดทานของฐานกับความเชื่อมแน่น

$$F_r = R \tan \phi_u + c_u B$$

- passive earth pressure เกิดจากแรงดันดินหน้ากำแพงโดยถ้ามี ดินถมถาวรเช่นกรณีของทางเดิน จะต้องคิดแรงนี้ด้วย (P_p)

$$N_u = \frac{P_{\text{resisting}}}{P_{\text{driving}}}$$

$$N_u = \frac{F_r + P_p}{P_H}$$

stability number นี้จะมีค่าตั้งแต่ 1.25 ถึง 2.0 ขึ้นกับความสำคัญของ กำแพงกันดิน

(b) การพลิกคว่ำรอบ toe ที่จุด O คิดโดย โมเมนต์รวมที่รอบจุด O (รูป 2.16)

- แรงรวมในแนวตั้งหาจาก

$$F_v = \text{น้ำหนักคอนกรีต} + \text{น้ำหนักดิน} + P_{uv} = R$$

- โมเมนต์ที่ทำให้เกิดการพลิกคว่ำ (M_o) = แรงดันในแนวราบ คูณ ระยะแขน ของแนวแรงรอบจุด O

โดยระยะแขนของแรงนี้อาจจะเท่ากับ $H/3$ หรือมากกว่า โดยให้ x_u เป็น แขนของโมเมนต์คิดจากจุด O เราจะหาโมเมนต์ต้านทาน

$$M_r = W_c x_c + W_u x_u + P_{uv} x_{uv} + P_p Y_p$$

- the stability number of overturning (N_o)

$$N_o = \frac{\text{resisting moment}}{\text{overturning moment}}$$

$$N_o = \frac{M_r}{M_o}$$

ซึ่งมีค่าประมาณ 1.5-2.0 ขึ้นกับความสำคัญของกำแพง
ตำแหน่งของแรงลัพธ์ (R) บนฐานคำนวณจาก

$$\bar{x} = \frac{M_r - P_{uv}x_{uv} - M_o}{R}$$

$$\bar{x} = \frac{M(\text{net})}{R}$$

ตำแหน่งเสี้ยวศูนย์กลางของแรงลัพธ์จากศูนย์กลางฐาน (e)

$$e = B/2 - \bar{x}$$

นักออกแบบมักจะกำหนดให้ตำแหน่งเสี้ยวศูนย์กลางอยู่ภายในช่วงกลางของ B/3 คือ
 $e = B/6$ แรงดันที่ toe จะเป็นสองเท่าของ q_{uv} และแรงดันที่ heel จะเป็นศูนย์ โดยค่า
e นี้จะทำให้เกิด differential settlement พอเพียงที่จะทำให้เกิดการพัง

(c) การหมุน ดังรูป 2.17 ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้

4. Stability ด้านทานการพังเนื่องจากการรับแรงของดิน (หรือการทรุดตัวของฐาน
มากเกินไป ทำให้เกิดการพัง) โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2.4

2.3.1 ข้อจำกัดในการวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพง

โดยทั่วไปแล้วสำหรับกำแพงเตี้ย ๆ นิยมใช้ทฤษฎี Rankine ในการคำนวณแรงดันดินทาง
ด้านข้าง เพราะจะให้ค่า K_u และ K_o ที่ปลอดภัย ถ้ามุมของผนัง ในรูป 2.9 มากกว่า
90 องศา จะต้องใช้ทฤษฎีของ Coulomb โดยแรงเสียดทานของกำแพงกับดินเท่ากับศูนย์ ถ้า
แรงดันดินด้านข้างเกิดจากการบดอัด รวมทั้งมี surcharge ที่ทำให้แรงดันทางด้านข้างเพิ่มขึ้น
และตำแหน่งของแรงลัพธ์เพิ่มขึ้น ให้ใช้ K_o

ในการวิเคราะห์ผนังในรูป 2.16 มุม α ในรูป 2.16 ใช้เป็นค่าของมุมความชัน β สำหรับการ
วิเคราะห์ของ Rankine และมีค่าเป็น ϕ สำหรับการวิเคราะห์ของ Coulomb โดยใช้
เป็นค่า 0.67ϕ ในการคำนวณมุมสำหรับแบบคอนกรีตที่ทำจากไม้หรือโลหะที่มีผิวเรียบ

การวิเคราะห์ overall wall stability ในรูป 2.16 มุม β' อาจจะเป็น β
สำหรับวิธี Rankine แต่สำหรับการวิเคราะห์ของ Coulomb จะใช้ $\beta' = \phi$ ค่านี้จะใช้ในการ
หาค่าแรงประกอบของ P_u และแรงเสียดทานในแนวตั้งด้านทานการพลิกคว่ำ

$$P_{uv} = P_{uh} \tan \phi$$

ϕ' ในรูป 2.16 เป็นมุมเสียดทานระหว่างดินกับดิน

สำหรับเสถียรภาพการเลื่อนไถล มุมเสียดทานระหว่างฐานกับดิน $c_u = \phi_u$ (มุมเสียดทานของดินใต้ฐานราก) เนื่องจากคอนกรีตเปือกจะยึดเกาะกับดินเพียงพอซึ่งจะทำให้แรงต้านทานความเสียดทานจะเป็นระหว่างดินกับดิน ปกติแล้วความเชื่อมั่นของดินจะลดลงจากส่วนที่ติดกับคอนกรีตเปือก โดยเรามักจะใช้ค่า $c_u = 0.5-0.7c$

2.3.2 Base Key

เมื่อกำแพงกันดินไม่สามารถต้านทานการเลื่อนไถลได้ ในกำแพงสูงมักจะใช้ base key ดังรูป 2.18 โดยได้มีการทดลองการกำหนดตำแหน่งที่ดีที่สุดของ base key ในทางปฏิบัติได้มีการบันทึกไว้ในสภาพดังรูป 2.18 เป็นสภาพที่เหมาะสมที่จะวาง base key ไว้ในตำแหน่งใต้ stem เพราะสะดวกในการยื่นเหล็กจาก stem ไปสู่ key

2.4 ความสามารถในการรับแรงของดินใต้ฐานราก

สมการของ Terzaghi นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากคำนวณง่ายที่สุดเพราะไม่ต้องมี shape, depth และ factor อื่นๆ เหมาะสำหรับฐานรากที่มี load กระทำในแนวราบและไม่เหมาะกับฐานเอียงหรือมีโมเมนต์ที่เสา ได้มีผู้ให้ความเห็นว่าสมการของ Terzaghi ประหยัดและเหมาะถ้าจะใช้กับดินที่เหนียว นาน้ำน้อย และมีความลึก (D) เท่ากับ B/2 ถึง 2B

ตัวอย่างการคำนวณจากตาราง 2.3 ค่า q_{u1c} จะไม่สามารถทำนายได้ถ้าดินมีค่า cohesive สูง ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่วางบนทรายจะหาค่า q_{u1c} ได้ยากเมื่อเปรียบเทียบกับฐานที่มีอัตราส่วน $L/B = 4$ ดังนั้นควรลดมุมเสียดทานลง (30 องศา) และปรับค่า SF ดีกว่าที่จะคำนวณอย่างละเอียด

ทั้งวิธี Meyerhof และ Hansen เป็นวิธีหลักๆ ที่ใช้กัน The Vesic ไม่นิยมใช้แต่จากตารางที่ 6 พบว่าค่า q_{ult} ที่คำนวณจากวิธี Hansen และ Vesic มีค่าใกล้เคียงกัน

ความสามารถในการรับน้ำหนักฐานรากของดินจะหาโดยการใช้ตัวคูณปลอดภัยที่เหมาะสมมาหารกำลังรับน้ำหนักของดินสูงสุด ซึ่งตัวคูณปลอดภัยนี้มีค่าเท่ากับ 2.0 สำหรับดินที่เป็นกรวดทราย และมีค่าประมาณ 3.0 สำหรับดินที่มีแรงเหนียว

การคำนวณ allowable soil pressure หาจากสมการดังต่อไปนี้

$$q_{ult} = cN_{cd} + qN_{cd}i_{cd} + 1/2 \gamma BN_{cd}i_{cd}$$

โดย d_i = depth factor , i_i = inclination factor ทั้งนี้ขึ้นกับน้ำหนักแนวค้ำและแนวราบที่กระทำกับฐาน โดยจากตาราง 2.4 ในการหา Hasen inclination factor ให้ใช้ตัวยกกำลังเท่ากับ 2 สำหรับ i_{cd} และใช้ตัวยกกำลังเท่ากับ 3 สำหรับ i_{cd} ซึ่งอาจจะประหยัดน้อยกว่าใช้ตัวยกกำลังเท่ากับ 5 ในการคำนวณ inclination factor นี้ให้ถือว่า สำหรับกำแพงกันดินความลึกคือระดับดินถม โดยให้ละเว้นแรงดันของดินที่เกิดหน้ากำแพงกันดินไม่ต้องนำมาคำนวณ shape factor ไม่นำมาคิดโดยถือว่ากำแพงกันดินเป็น strip ดังนั้น $s_i = 1$

2.5 การให้รายละเอียดของเหล็กเสริม

การให้รายละเอียด

ใน Cantilever Retaining Wall นั้น เหล็กเสริมหลัก (Main Reinforcement) จะลดลงได้ตาม moment ที่ลดลง อย่างไรก็ตาม อย่างไรก็ดี จะต้องมีเหล็กเสริมในแนวตั้งฉากกับเหล็กเสริมหลักไว้เพื่อยึดเหล็กเสริมหลักให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ และเหล็กเสริมหลักที่ใส่เพิ่มเข้าไปนี้ จะทำหน้าที่รับแรง เนื่องจากการยึดหดตัวของคอนกรีตด้วย ในกรณีที่ตัวกำแพงหนากว่า 15 ซม. ควรเสริมเหล็กในด้านที่ไม่รับแรงโดยตรงด้วย เพื่อรับแรงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ดังที่กล่าวแล้วว่า ปริมาณของเหล็กเสริมหลักสามารถลดจำนวนลงได้ตาม moment ที่ลดลง การลดปริมาณเหล็กควรจะใช้เหล็กขนาดเดียวกัน แล้วลดจำนวนลงเป็นช่วง ๆ จะดีกว่าเปลี่ยนขนาดเหล็กเป็นขนาดที่ลดลง ทั้งนี้เพราะ การเปลี่ยนแปลงขนาดจะต้องเปลี่ยนเหล็กที่ระขะทาบต่อ เนื่องจากการทาบต่อตามมาตรฐาน จะถือระขะทาบโดยใช้เหล็กใหญ่กว่าเป็นเกณฑ์ ดังนั้นขนาดเหล็กจึงควรพิจารณาใช้ขนาดเดียวกันตลอด และควรเป็นขนาดเดียวกับที่เสริมในฐานเป็นเหล็ก starter ด้วย นอกจากนี้ การหยุดเหล็กเป็นช่วง ๆ ควรคำนึงถึงความยาวของเหล็กมาตรฐานด้วย เพื่อให้ประหยัดในการใช้เหล็กไม่ให้มีเศษมากเกินความจำเป็น

ในกรณีที่กำแพงไม่สูงเกินไป อาจใช้เหล็กจากฐาน งอขึ้นมาเป็นเหล็กเสริมหลักของกำแพงได้หมด โดยส่วนของเหล็กที่อยู่ในกำแพงมีความสูงลดหลั่นกันไป ตามที่ผู้ออกแบบได้คำนวณไว้ ในกรณีที่กำแพงมีความสูงมาก อาจใช้เหล็กที่ฐานพับขึ้นมาเป็น Starter Bars แล้วทาบเหล็กกำแพงตามระขะทาบ

การให้รายละเอียดควรเขียนทั้งรูปตัด และรูปด้านด้วยเพื่อให้ชัดเจน

ข้อควรระวัง ในการให้รายละเอียดเหล็กเสริมกำแพงกันดินแบบ Cantilever Retaining Wall ถึงแม้ว่าส่วนล่างของฐานของกำแพงด้านที่เป็นดินถมจะเป็นแรงอัดเมื่อกำแพงสร้างเสร็จ และถมดินเรียบร้อยแล้วก็ตาม (ดูรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.20 ประกอบ) แต่ในขณะก่อสร้าง เมื่อกำแพงสร้างเสร็จแล้วแต่ยังไม่มีดินถม ดังนั้นฐานของกำแพงจะมีลักษณะเหมือนกับฐานแผ่รับกำแพง (Wall Footing) ทั่วไป ซึ่งจะเกิดแรงดัดที่ส่วนล่างของฐานทั้งสองด้านของกำแพง เหล็กเสริมล่างของฐานจึงต้องมีตลอดความกว้างของฐาน เพื่อทำหน้าที่รับแรงดัดกล่าว

ข้อควรจำในการให้รายละเอียด

1. จัดเหล็กให้อยู่ในตำแหน่งที่ผู้ออกแบบคำนวณไว้ โดยเขียนรูปตัด รูปด้าน และรายละเอียดเพื่อแสดง ตำแหน่งเหล็กให้ชัดเจน
2. เหล็กเสริมเอกใน Cantilever Retaining Wall ควรเลือกเหล็กขนาดเดียวกันในทิศทางหนึ่ง ๆ ในกรณีที่มีการลดจำนวนเหล็กลงแล้ว ลดจำนวนเหล็กลงเป็นช่วง ๆ ตามที่ผู้ออกแบบกำหนด
3. จัดระยะเหล็กไม่ให้ชิดเกินไป จนทำงานลำบาก
4. จัด Covering ให้เป็นไปตามมาตรฐาน เช่น มาตรฐาน ว.ส.ท.
5. ในกรณีที่กำแพงกันดินที่ต้องใส่ Water Stop ให้แสดงรายละเอียดการใส่ Water Stop ไว้ด้วย และที่ตำแหน่งดังกล่าวจะต้องจัดเหล็ก และรอยต่อให้สามารถใส่ Water Stop ได้
6. ในกรณีที่กำแพงกันดินมี Weep Holes ให้นำไหลออก ให้แสดงตำแหน่งไว้ด้วย
7. ควรคำนึงถึงความยาวเหล็กมาตรฐาน และจัดเหล็กให้สามารถตัดใช้ได้ลงตัว ในที่ใกล้เคียงกัน ถ้าเป็นไปได้

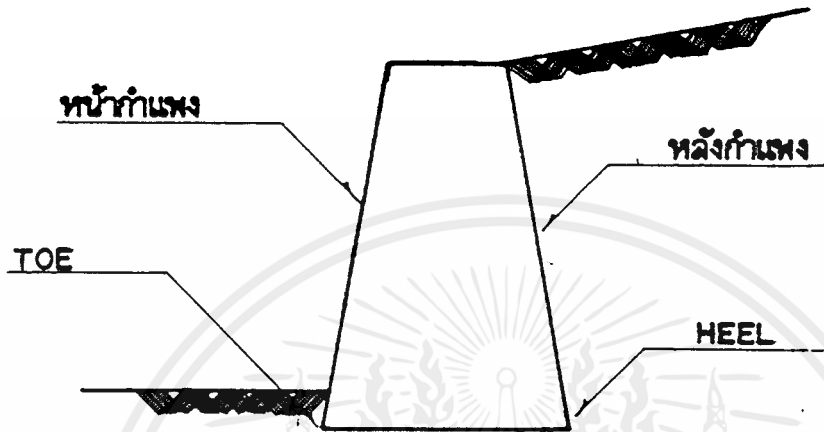
มาตรฐาน ว.ส.ท. ในส่วนที่เกี่ยวกับการให้รายละเอียดกำแพงกันดิน

1. ขนาดเหล็กเส้นที่ใช้เสริมกำแพง จะต้องไม่เล็กกว่า 9 มม.
2. เหล็กเสริมเอก จะต้องมียาระยะเรียงไม่ห่างกว่า 3 เท่า ของความหนาของผนังหรือไม่เกิน 30 ซม.
3. ช่องว่างระหว่างเหล็กที่วางขนานกัน จะต้องไม่แคบกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริมนั้น ๆ หรือ $1 \frac{1}{3}$ เท่า ของขนาดใหญ่สุด ของมวลหยาบ หรือ 2.5 ซม.
4. เนื้อที่เหล็กเสริมตามแนวราบของกำแพง จะต้องไม่น้อยกว่า 0.0025

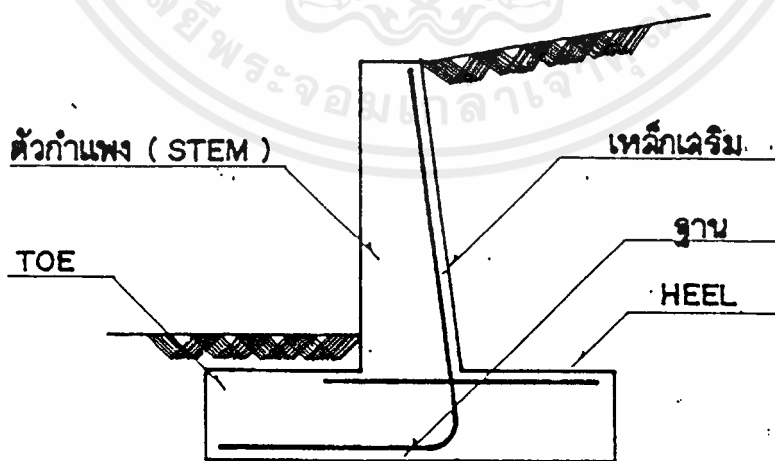
ของเนื้อที่หน้าตัดของผนังส่วนนั้น และสำหรับเหล็กเสริมในแนวตั้งไม่น้อยกว่า 0.0015 แต่ ถ้าใช้ตะแกรงลวดเชื่อมแทน ให้ใช้ไม่น้อยกว่า 3/4 ของค่าดังกล่าวแล้ว และต้องมีขนาด ไม่เล็กกว่าเบอร์ 10 ของ AS & W

5. ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม ในส่วนที่เทหล่อคอนกรีตลงกับดิน โดยตรง (ไม่มีคอนกรีตหยาบหรือไม้แบบ) จะต้องมีขนาดห่อหุ้มระหว่างผิวคอนกรีตที่ ติดดินไม่น้อยกว่า 6 ซม. สำหรับคอนกรีตส่วนที่เมื่อ ถอดแบบแล้ว จะถูกแดดฝน หรือสัมผัส กับดินและเหล็กเสริมนั้น มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ตั้งแต่ 15 มม. ขึ้นไป ต้องมีความหนา ห่อหุ้มไม่น้อยกว่า 3 ซม. และในทุกกรณี ความหนาห่อหุ้มจะต้องไม่บางกว่าขนาดเส้นผ่า ศูนย์กลาง ของเหล็กนั้น

- (1) แรงยึดเหนี่ยวและการยึด
- (2) แรงเฉือนในกำแพงและฐานราก

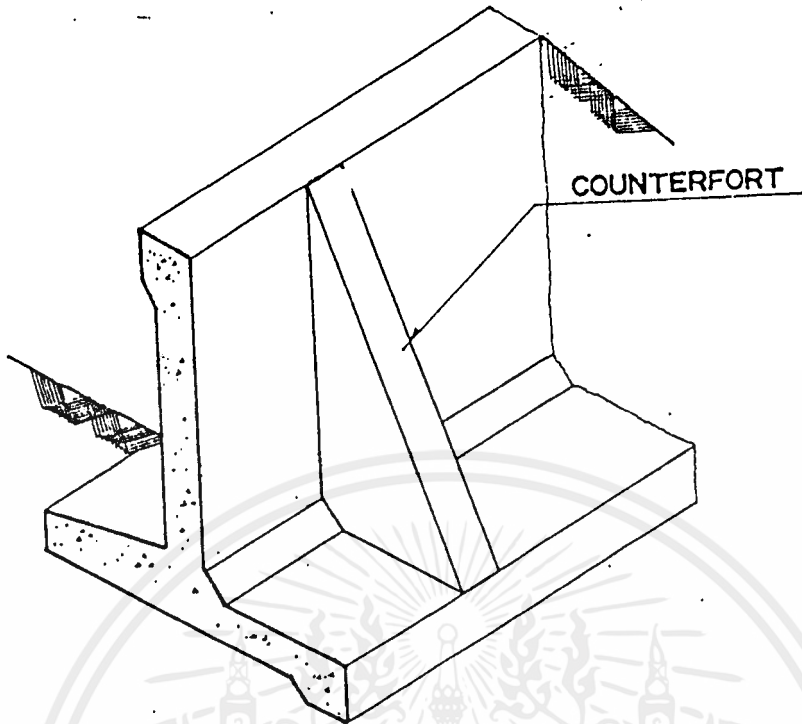


รูปที่ 2.1
แสดง gravity retaining wall

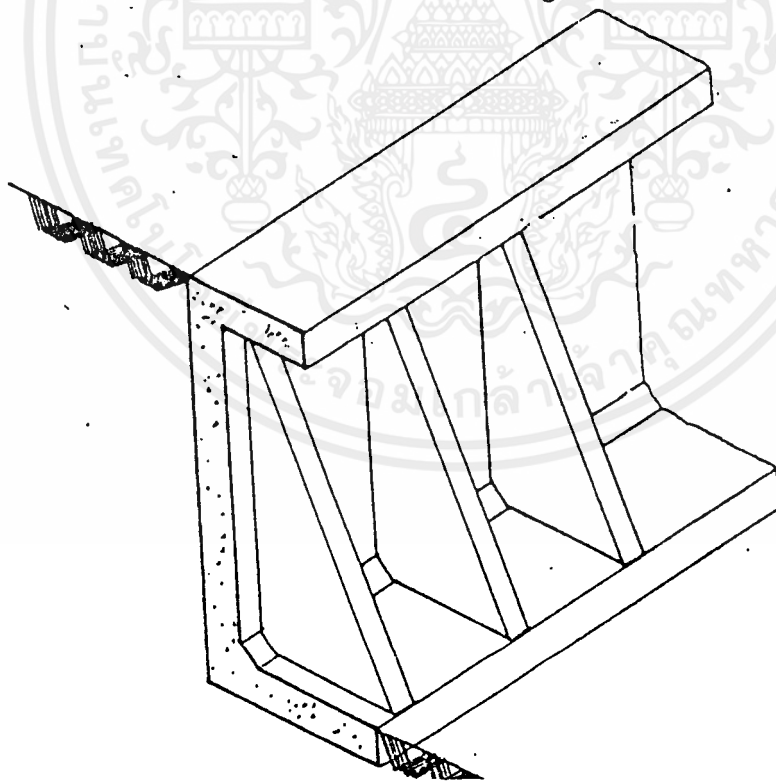


รูปที่ 2.2
แสดง cantilever retaining wall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

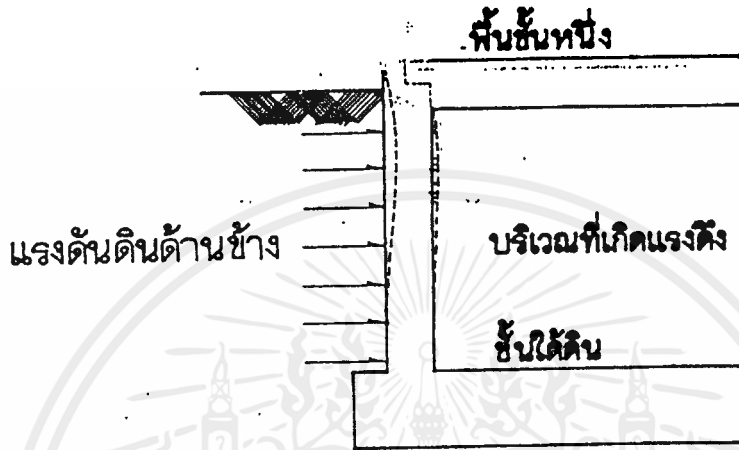


รูปที่ 2.3
แสดง counterfort retaining wall

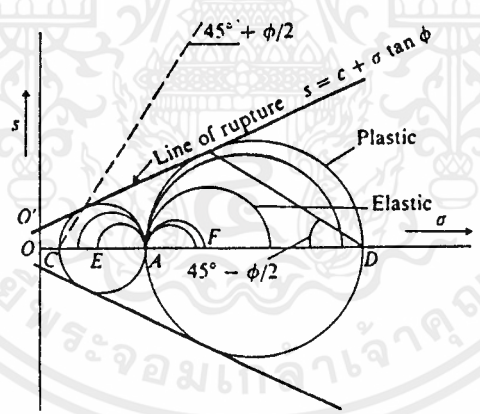


รูปที่ 2.4
แสดง buttress retaining wall

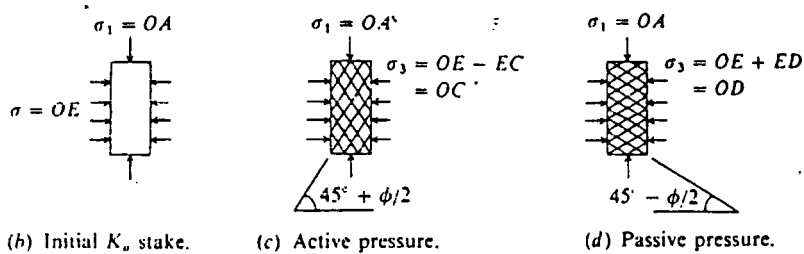
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดง basement retaining wall



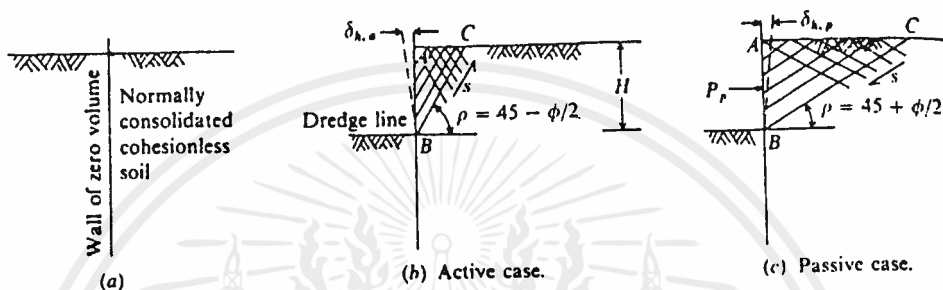
(a) Mohr's circles for the K_0 and at plastic equilibrium (or rupture).



รูปที่ 2.6

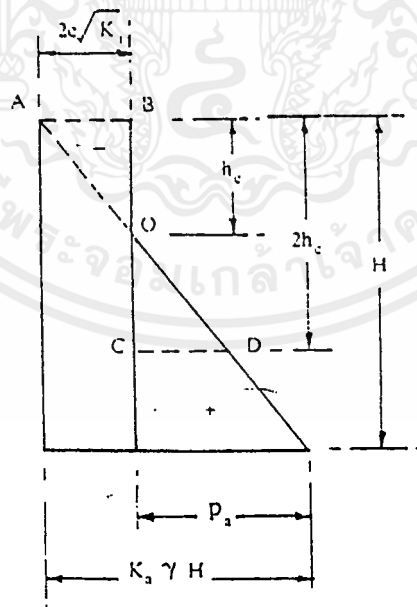
แสดง แนวคิดของ elastic และ plastic equilibrium

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7

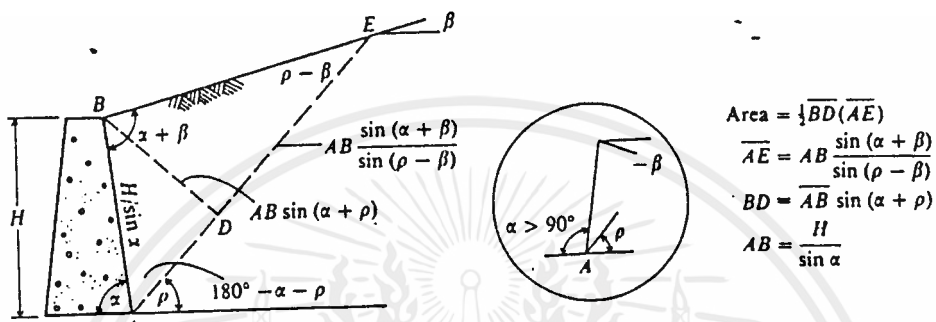
แสดง แรง active และ passive pressure จาก K_0 เกิดจากการตอกเข็มที่ไม่มีความหนาแน่น



รูปที่ 2.8

แสดงการกระจายของแรงดันดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่นด้านหลัง กำแพงกันดินที่เป็นแนวตั้ง

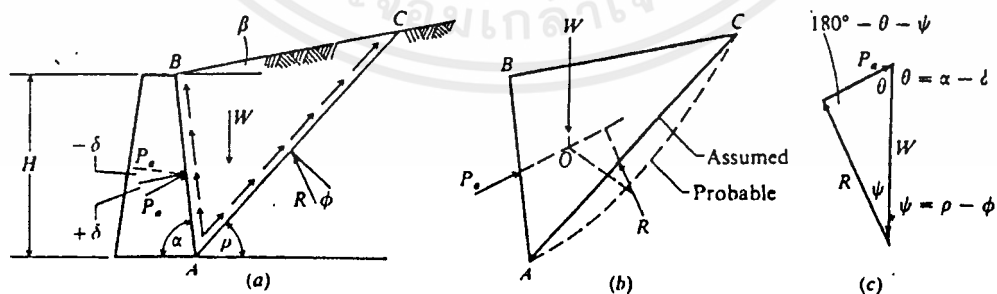
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9

แสดงระนาบพังทลายที่ใช้แก้ปัญหาตามสมการ Coulomb เพื่อหาแรง Active Pressure โดย β อาจจะเป็นบวกหรือลบ และ $0 < \alpha < 180$

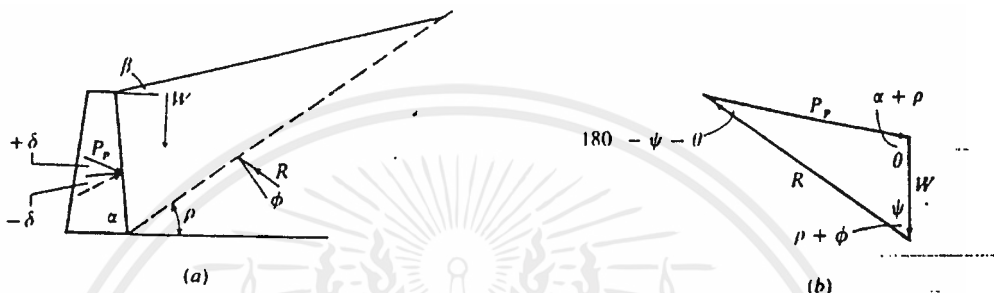
(a) Assumed conditions for failure; (b) indicates all force vectors may not pass through point O; hence static equilibrium is not satisfied; (c) force triangle to establish P_a .



รูปที่ 2.10

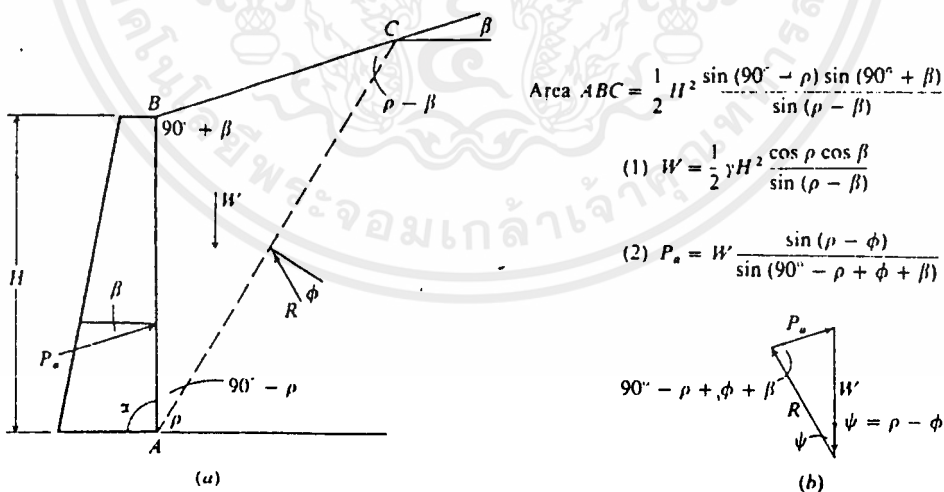
- (a) แสดงภาพสมมุติของการพังทลาย
- (b) เวกเตอร์ของแรงทั้งหมดอาจจะไม่ผ่านจุด O

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11

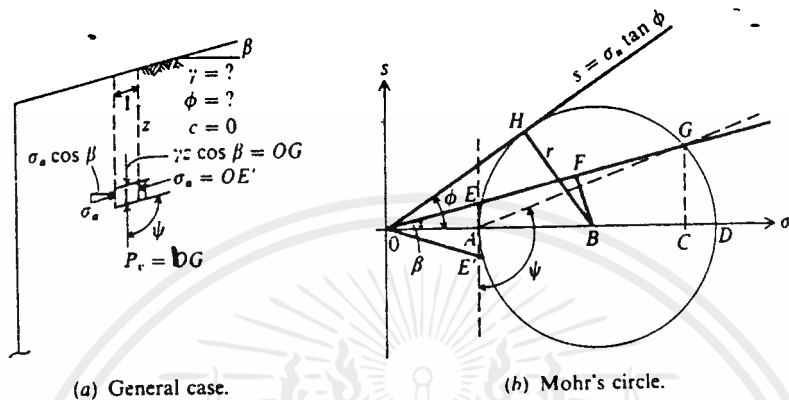
- (a) สามเหลี่ยมพลังทลายและแรง passive pressure
- (b) ใช้สามเหลี่ยมของแรงในการแก้ปัญหา passive pressure



รูปที่ 2.12

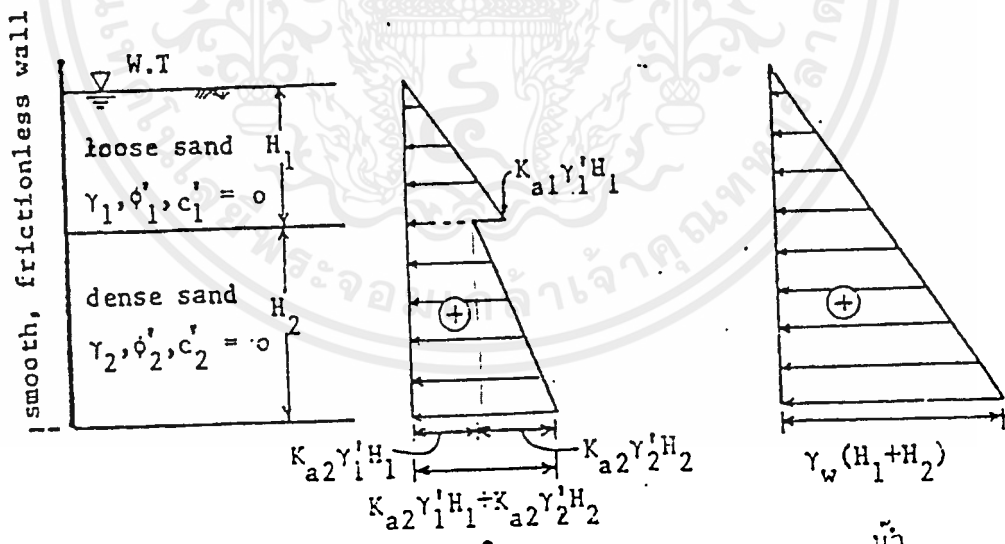
- (a) การแก้ปัญหาตามทฤษฎี Rankine สำหรับมุม $\phi = 90$ องศา
- (b) สามเหลี่ยมของแรงในสมการของ Rankine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13

แสดงสภาพทั่วไป และวงกลมมอร์ สำหรับการแก้ปัญหาตามสมการ Rankine

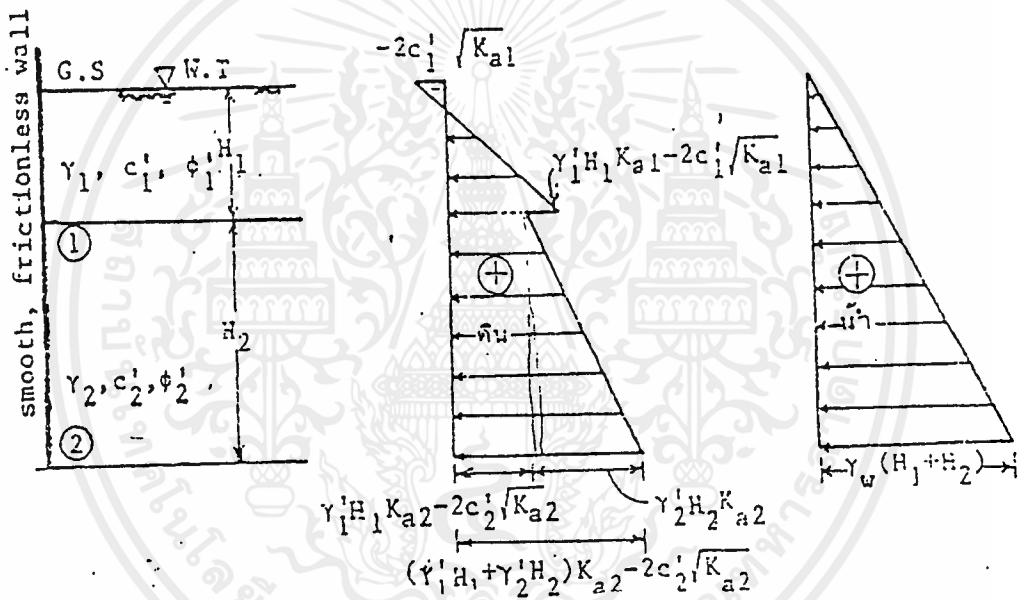


$$K_{a1} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_1}{2} \right), \quad K_{a2} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_2}{2} \right)$$

รูปที่ 2.14

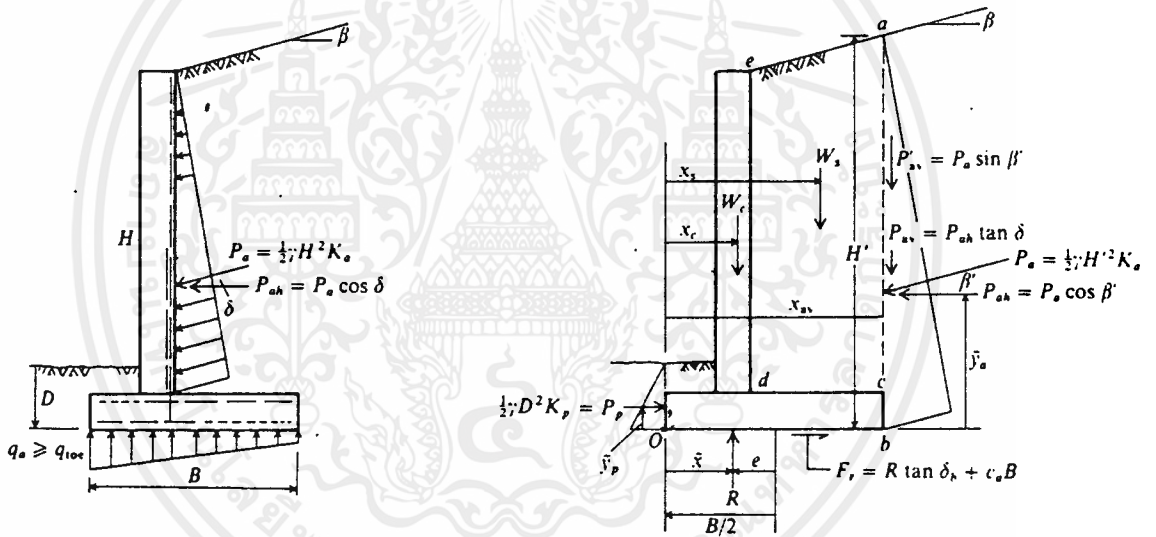
แรงดันรวมที่กระทำกับผนังภายใต้ drain condition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15

แรงดันรวมที่กระทำกับผนังภายใต้ undrain condition

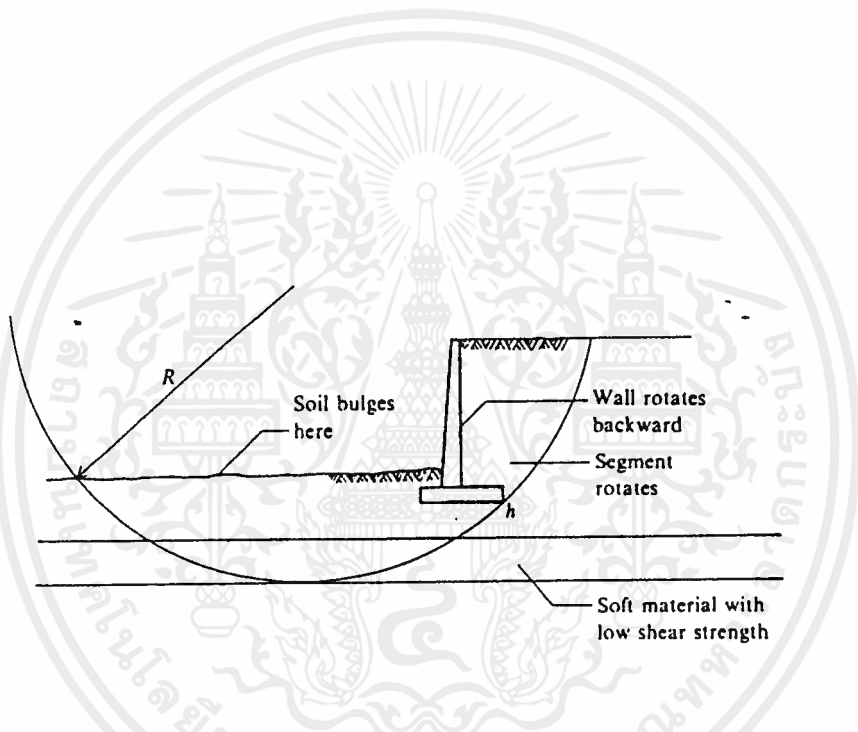


รูปที่ 2.16

ตามทฤษฎีของ Rankine ในการวิเคราะห์เสถียรภาพกำแพงกันดิน จะใช้ $\beta = \beta'$ และใช้ $\beta' = \beta$ หรือ ϕ เนื่องจากระนาบที่พังทลายเป็นระนาบระหว่างดิน $P_{av} = P_{ah} \tan \phi$ จะเป็นค่าใกล้เคียงที่สุด

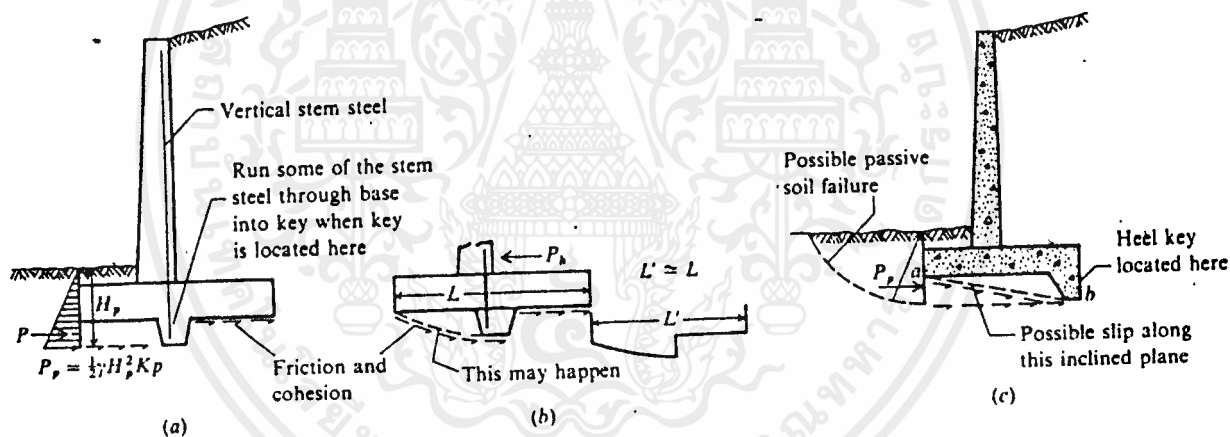
(a) เป็นแรงดันดินบน stem และการวิเคราะห์แรงต้านของดินใต้ฐานราก

(b) เสถียรภาพต่อการพลิกคว่ำและการเลื่อนไถล โดย W_c = น้ำหนักคอนกรีต W_s = น้ำหนักดิน acde และ xi เป็นแขนของโมเมนต์



รูปที่ 2.17
แสดงการพังทลายที่เกิดจากดินไม่สามารถรับน้ำหนักได้

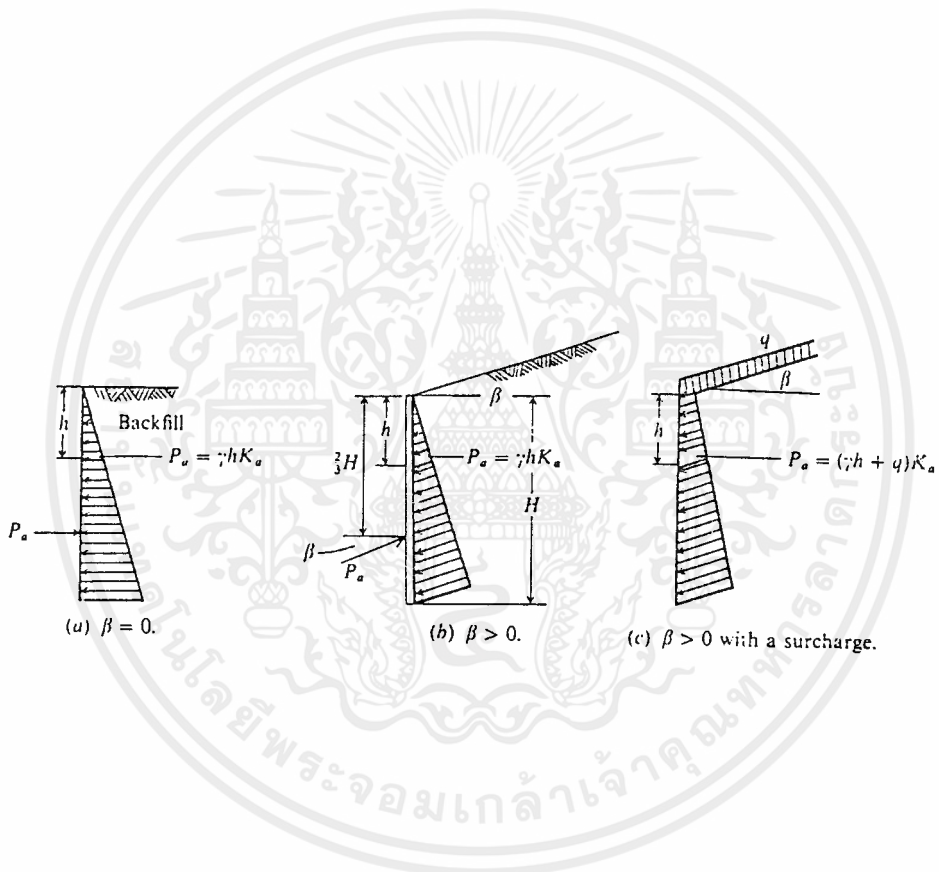
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18

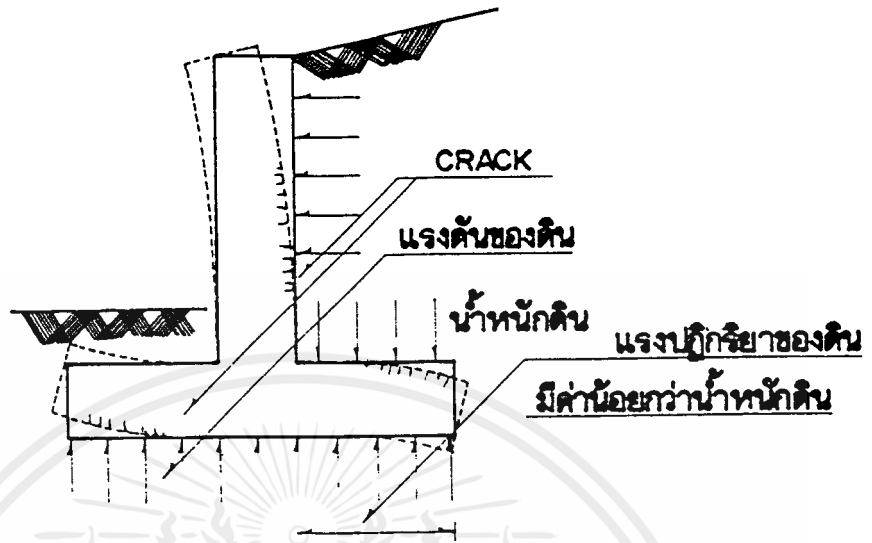
แสดงเสถียรภาพต่อการเลื่อนไถลโดยใช้ key

- (a) แสดงตำแหน่งของ key ที่มีอยู่ใกล้ stem เพื่อให้เหล็กยื่นเข้าสู่ key ได้
- (b) แสดงพื้นที่ผิวของการเลื่อนไถลเมื่อใช้ key
- (c) แสดงภาพลักษณะการพัง 2 แบบที่เป็นไปได้ของ heel key

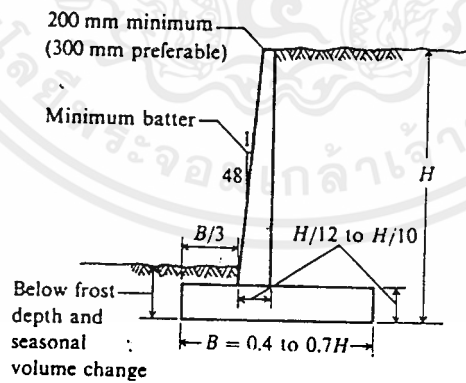


รูปที่ 2.19
สภาพทั่วไปของน้ำหนักระทำต่อกำแพงกันดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20
แสดงพฤติกรรมของกำแพงกันดินเมื่อมีแรงมากกระทำ



รูปที่ 2.21
แสดงการกำหนดขนาดเบื้องต้นของกำแพงกันดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ALPHA = 90 BETA = -10

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0.354	0.328	0.304	0.281	0.259	0.239	0.220	0.201	0.184
16	0.311	0.290	0.270	0.252	0.234	0.216	0.200	0.184	0.170
17	0.309	0.289	0.269	0.251	0.233	0.216	0.200	0.184	0.169
20	0.304	0.284	0.267	0.249	0.231	0.214	0.198	0.183	0.169
22	0.304	0.285	0.266	0.248	0.230	0.214	0.198	0.183	0.168

ALPHA = 90 BETA = -5

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0.371	0.343	0.318	0.293	0.270	0.249	0.228	0.209	0.191
16	0.328	0.306	0.284	0.264	0.245	0.226	0.209	0.192	0.176
17	0.327	0.305	0.283	0.263	0.244	0.226	0.208	0.192	0.176
20	0.324	0.302	0.281	0.261	0.242	0.224	0.207	0.191	0.175
22	0.322	0.301	0.280	0.260	0.242	0.224	0.207	0.191	0.175

ALPHA = 90 BETA = 0

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0.390	0.361	0.333	0.307	0.283	0.260	0.238	0.217	0.198
16	0.349	0.324	0.300	0.278	0.257	0.237	0.218	0.201	0.184
17	0.348	0.323	0.299	0.277	0.256	0.237	0.218	0.200	0.183
20	0.345	0.320	0.297	0.276	0.255	0.235	0.217	0.199	0.183
22	0.343	0.319	0.296	0.275	0.254	0.235	0.217	0.199	0.183

ALPHA = 90 BETA = 5

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0.414	0.382	0.352	0.323	0.297	0.272	0.249	0.227	0.206
16	0.373	0.345	0.319	0.295	0.272	0.250	0.229	0.210	0.192
17	0.372	0.344	0.318	0.294	0.271	0.249	0.229	0.210	0.192
20	0.370	0.342	0.316	0.292	0.270	0.248	0.228	0.209	0.191
22	0.369	0.341	0.316	0.292	0.269	0.248	0.228	0.209	0.191

ALPHA = 90 BETA = 10

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0.443	0.407	0.374	0.343	0.314	0.286	0.261	0.238	0.216
16	0.404	0.372	0.342	0.315	0.289	0.265	0.242	0.221	0.201
17	0.404	0.371	0.342	0.314	0.288	0.264	0.242	0.221	0.201
20	0.402	0.370	0.340	0.313	0.287	0.263	0.241	0.220	0.201
22	0.401	0.369	0.340	0.312	0.287	0.263	0.241	0.220	0.201

ALPHA = 90 BETA = 15

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0.482	0.440	0.402	0.367	0.334	0.304	0.276	0.251	0.227
16	0.447	0.408	0.372	0.340	0.310	0.283	0.258	0.234	0.213
17	0.447	0.407	0.372	0.339	0.310	0.282	0.257	0.234	0.212
20	0.446	0.406	0.371	0.338	0.309	0.282	0.257	0.234	0.212
22	0.446	0.406	0.371	0.338	0.309	0.282	0.257	0.234	0.212

ตารางที่ 2.1

แสดงสัมประสิทธิ์แรงดัดคานด้านข้าง K_m ตามทฤษฎี Coulomb

ALPHA = 90 BETA = -10

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	1.914	2.053	2.204	2.369	2.547	2.743	2.957	3.193	3.452
16	2.693	2.956	3.247	3.571	3.934	4.344	4.807	5.335	5.940
17	2.760	3.034	3.339	3.679	4.062	4.493	4.971	5.543	6.187
20	2.980	3.294	3.645	4.041	4.488	4.997	5.581	6.255	7.039
22	3.145	3.490	3.878	4.317	4.816	5.389	6.050	6.819	7.720

ALPHA = 90 BETA = -5

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2.223	2.392	2.577	2.781	3.004	3.250	3.523	3.826	4.163
16	3.367	3.709	4.094	4.529	5.024	5.591	6.243	7.000	7.883
17	3.449	3.828	4.234	4.694	5.218	5.820	6.516	7.326	8.277
20	3.804	4.224	4.704	5.250	5.879	6.609	7.462	8.468	9.665
22	4.064	4.532	5.067	5.684	6.399	7.236	8.222	9.397	10.809

ALPHA = 90 BETA = 0

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2.561	2.770	3.000	3.255	3.537	3.852	4.204	4.599	5.045
16	4.195	4.652	5.174	5.775	6.469	7.279	8.229	9.356	10.704
17	4.346	4.830	5.385	6.025	6.767	7.636	8.661	9.882	11.351
20	4.857	5.436	6.105	6.886	7.804	8.892	10.194	11.771	13.705
22	5.253	5.910	6.675	7.574	8.641	9.919	11.466	13.364	15.726

ALPHA = 90 BETA = 5

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2.943	3.203	3.492	3.815	4.177	4.585	5.046	5.572	6.173
16	5.250	5.878	6.609	7.464	8.474	9.678	11.128	12.894	15.076
17	5.475	6.146	6.929	7.850	8.942	10.251	11.836	13.781	16.201
20	6.249	7.074	8.049	9.212	10.613	12.321	14.433	17.083	20.468
22	6.864	7.820	8.960	10.334	12.011	14.083	16.685	20.011	24.352

ALPHA = 90 BETA = 10

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	3.385	3.712	4.080	4.496	4.968	5.507	6.125	6.840	7.673
16	6.652	7.545	8.605	9.876	11.417	13.309	15.665	18.647	22.497
17	6.992	7.954	9.105	10.492	12.183	14.274	16.899	20.254	24.633
20	8.186	9.414	10.903	12.733	15.014	17.903	21.636	26.569	33.270
22	9.164	10.625	12.421	14.659	17.497	21.164	26.012	32.601	41.863

ALPHA = 90 BETA = 15

δ	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	3.913	4.331	4.807	5.352	5.980	6.710	7.563	8.570	9.768
16	8.611	9.936	11.555	13.557	16.073	19.291	23.494	29.123	36.894
17	9.139	10.590	12.373	14.595	17.413	21.054	25.867	32.409	41.603
20	11.049	12.986	15.422	18.541	22.617	28.080	35.629	46.468	62.759
22	12.476	15.067	18.130	22.136	27.506	34.930	48.584	61.624	87.354

ตารางที่ 2.2

แสดงสัมประสิทธิ์แรงดัดคานด้านข้าง K_p ตามทฤษฎี Coulomb

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bearing-capacity equations by the several authors indicated

Terzaghi (see Table 4-2 for typical values and for K_{py} values)

$$q_{ult} = cN_c s_c + \bar{q}N_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma \quad N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2 (45 + \phi/2)}$$

$$a = e^{(0.75\pi - \phi/2) \tan \phi}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left(\frac{K_{py}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

For:	strip	round	square
$s_c =$	1.0	1.3	1.3
$s_\gamma =$	1.0	0.6	0.8

Meyerhof (see Table 4-3 for shape, depth, and inclination factors)

Vertical load: $q_{ult} = cN_c s_c d_c + \bar{q}N_q s_q d_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma$

Inclined load: $q_{ult} = cN_c d_i c + \bar{q}N_q d_i q + 0.5\gamma BN_\gamma d_i \gamma$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan (1.4\phi)$$

Hansen (see Table 4-5 for shape, depth, and other factors)

General: $q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \bar{q}N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$

when $\phi = 0$

use $q_{ult} = 5.14s_u(1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + \bar{q}$

$$N_q = \text{same as Meyerhof above}$$

$$N_c = \text{same as Meyerhof above}$$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi$$

Vesic (see Table 4-5 for shape, depth, and other factors)

Use Hansen's equations above

$$N_q = \text{same as Meyerhof above}$$

$$N_c = \text{same as Meyerhof above}$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$$

ตารางที่ 2.3

แสดงสมการในการหาความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shape, depth, inclination, ground and base factors for use in either the Hansen (1970) or Vesic (1973) bearing-capacity equations of Table 4-1. Factors apply to either method unless subscripted with (H) or (V). Use primed factors when $\phi = 0$

Shape factors	Depth factors	Inclination factors	Ground factors (base on slope)
$s_c = 0.2 \cdot \frac{B}{L}$	$d_c = 0.4k$	$i_{c(H)} = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_s}}$	$g'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$
$s_r = 1 + \frac{N_q \cdot B}{N_c \cdot L}$	$d_c = 1 + 0.4k$	$i_{c(V)} = 1 - \frac{mfH}{A_f c_s N_c}$	for Vesic use $N_r = -2 \sin \beta$ for $\phi = 0$
$s_r = 1$ for strip	$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi) k$	$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$ (Hansen and Vesic)	$g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$
$s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$	$d_r = 1.00$ for all ϕ	$i_{q(H)} = \left(1 - \frac{0.5H}{V + A_f c_s \cot \phi}\right)^3$	$g_{q(H)} = g_{q(V)} = (1 - 0.5 \tan \beta)^3$
$s_r = 1 - 0.4 \cdot \frac{B}{L}$	$k = \frac{D}{B}$ for $\frac{D}{B} \leq 1$	$i_{q(V)} = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_s \cot \phi}\right)^m$	$g_{q(H)} = g_{q(V)} = (1 - \tan \beta)^2$
	$k = \tan^{-1} \frac{D}{B}$ for $\frac{D}{B} > 1$ (rad)		Base factors (tilted base)
			$b'_c = \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$
			$b_c = 1 - \frac{\eta^\circ}{147^\circ}$
			$b_{q(H)} = \exp(-2\eta \tan \phi)$
			$b_{q(V)} = \exp(-2.7\eta \tan \phi)$
			$b_{r(H)} = b_{r(V)} = (1 - \eta \tan \phi)^2$
			Notes: $\beta + \eta \leq 90^\circ$ $\beta \leq \phi$
		$m = m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$ H parallel to B	
		$m = m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}$ H parallel to L	
		Note: $i_q, i_r > 0$	

Where A_f = effective footing area $B' \times L'$ (see Fig. 4-4)
 c_s = adhesion to base = cohesion or a reduced value
 D = depth of footing in ground (used with B and not B')
 $e_{s, L}$ = eccentricity of load with respect to center of footing area
 H = horizontal component of footing load with $H \leq V \tan \delta + c_r A_f$
 V = total vertical load on footing
 β = slope of ground away from base with downward = (+)
 δ = friction angle between base and soil—usually $\delta = \phi$ for concrete on soil
 η = tilt angle of base from horizontal with (+) upward as usual case

General: 1. Do not use s_r in combination with i_r, g_r , and b_r .
 2. Can use s_r in combination with d_r, g_r , and b_r .
 3. For $L/B \leq 2$ use ϕ_r
 For $L/B > 2$ use $\phi_{pr} = 1.5\phi_r - 17$
 For $\phi \leq 34^\circ$ use $\phi_{pr} = \phi_r$

ตารางที่ 2.4

แสดง shape, depth, inclination, ground และ base factor

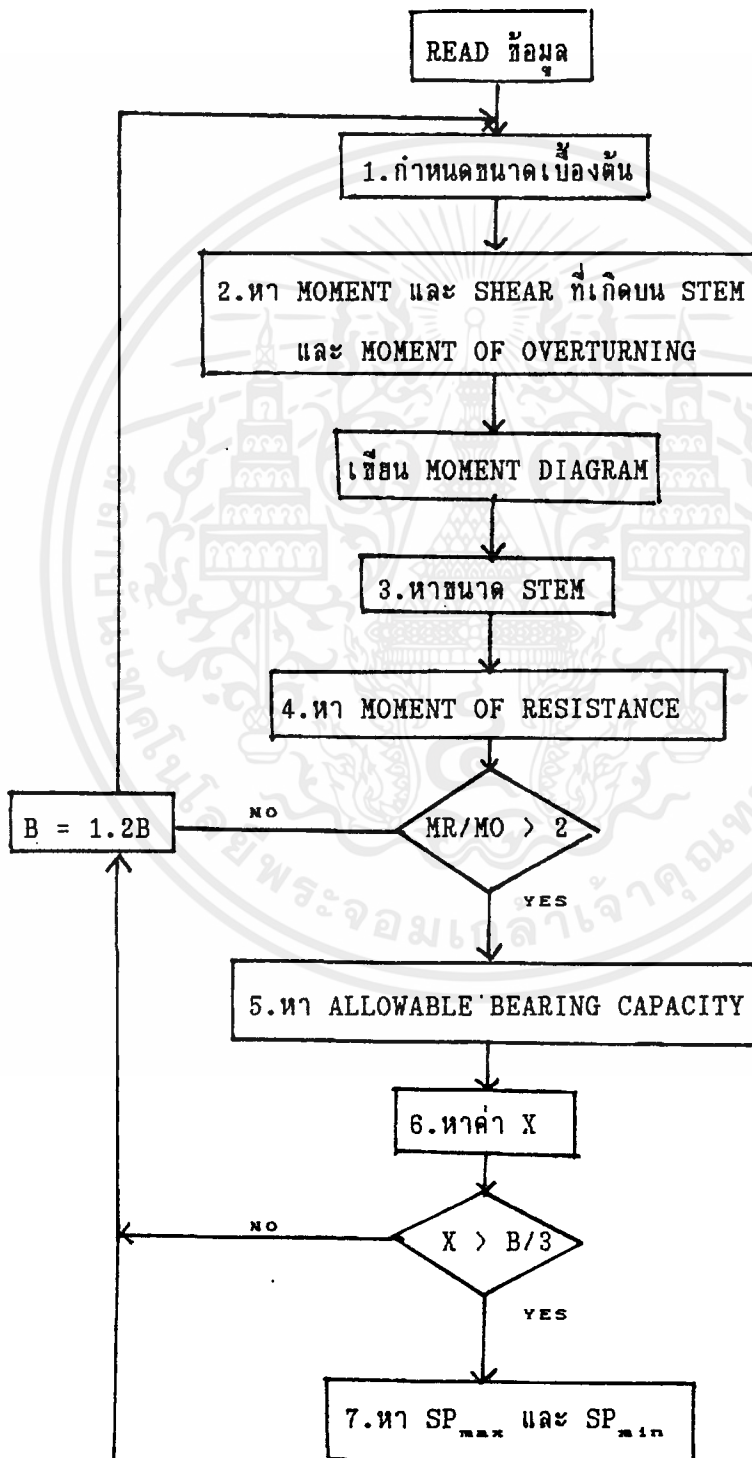
เพื่อใช้ในการหาแรงต้านทานของดินจากตาราง 2.3 โดยจะใช้

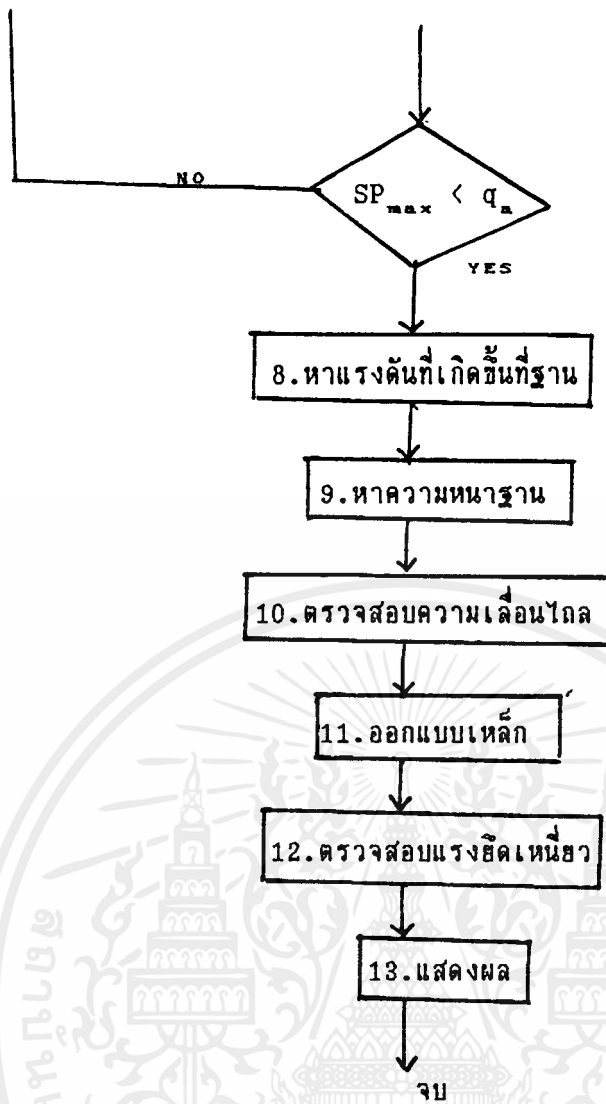
primed factor เมื่อ $\phi = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนในการคำนวณ

3.1 แผนภาพขั้นตอนการคำนวณ





3.2 แสดงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน

1. การกำหนดขนาด ถ้าเป็นกรณีที่ 1 กับ กรณีที่ 2 $B = 0.5H$, $t_s = t_b = H/10$
 $t_o = 30 \text{ mm}$.

ถ้าเป็นกรณีที่ 3 กับ กรณีที่ 4 $B = 0.5H$, $t_s = t_b = H/10$
 $t_o = 30 \text{ mm}$. $t_l = B/3$

2. หาสัมประสิทธิ์แรงดันดินทางด้านข้างที่เกิดจาก ACTIVE และ PASSIVE ตามทฤษฎี Coulomb

หาแรง SHEAR และ MOMENT ที่เกิดจาก ACTIVE PRESSURE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	แรงที่เกิดขึ้น	แกนของแรง ถึงจุดที่พิจารณา
แรงเนื่องจาก Surcharge load	$P1 = SxK_u xh$	$Y1 = h/2$
แรงเนื่องจาก น้ำหนักดินเหนือน้ำ	$P2 = (\gamma H_o K_u - 2c/\sqrt{K_u})(H_o - h_c)/2$ เมื่อ h คือระยะตั้งแต่ระดับน้ำใต้ดินลงมา $P2 = (\gamma h K_u - 2c/\sqrt{K_u})(h - h_c)/2$ เมื่อ h อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน และมากกว่า h_c	$Y2 = h - H_o + (H_o - h_c)/3$ $Y2 = (h - h_c)/3$
แรงเนื่องจาก น้ำหนักดินที่กดทับ	$P3 = \gamma H_o K_u (h - H_o)$ เมื่อ h ที่พิจารณาอยู่ใต้ระดับน้ำ	$Y3 = (h - H_o)/2$
แรงเนื่องจาก น้ำใต้ดิน	$P4 = \gamma_w (h - H_o)^2 / 2$ เมื่อ h ที่พิจารณาอยู่ใต้ระดับน้ำ	$Y4 = (h - H_o)/3$
แรงเนื่องจากรอยแตก ของดินที่มีความเชื่อมแน่น	$P5 = \gamma_w h_c^2 / 2$ เมื่อ $h > h_c$ $P5 = \gamma_w h^2 / 2$ เมื่อ $h < h_c$	$Y5 = h - 2h_c / 3$ $Y5 = h / 3$
แรงเนื่องจากน้ำหนัก ดินใต้น้ำ	$P6 = \gamma_b (h - H_o)^2 K_u / 2$	$Y6 = (h - H_o)/3$

เมื่อ $h_c = 2c/\gamma/\sqrt{K_u}$, $S = qs/\cos\phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเมนต์ที่เกิดบน stem = $P_1 \cos + P_2 \cos + P_3 \cos + \dots + P_6 \cos$

แรงกระทำในแนวราบ $P_H = P_1 \cos + P_2 \cos + \dots + P_6 \cos$

แรงกระทำในแนวตั้ง $P_V = P_1 \sin + P_2 \sin + \dots + P_6 \sin$

*หมายเหตุ ในการคิดโมเมนต์ของการพลิกคว่ำจะคิดความสูงที่ระยะ H' คือเป็นความสูงที่รวมทั้งความชัน

หา MOMENT และ SHEAR ที่เกิดจากแรง PASSIVE

$$D = 0.50 + tb$$

$$P_1 = \gamma_p \times D^2 \times K_p / 2$$

$$P_2 = 2c\sqrt{K_p} \times D$$

$$Y_1 = D/3$$

$$Y_2 = D/2$$

$$M_p = P_1 \cos \times Y_1 + P_2 \cos \times Y_2$$

$$P_p = P_1 \cos + P_2 \cos$$

$$P_{pv} = P_1 \sin + P_2 \sin$$

$$\text{MOMENT OF OVERTURNING} = M_u - M_p$$

3.หาขนาด stem

$$\text{จาก } d = \sqrt{M/R}$$

$$d_u = \sqrt{M_{us}/R}$$

$$d_{mid} = \sqrt{M_{mid}/R}$$

ถ้า d_u, d_{mid} ที่ได้จากการคำนวณน้อยกว่าค่าที่กำหนดเริ่มต้น ให้ใช้ค่าที่กำหนด

$$\text{จาก } V_x = 0.29\sqrt{f_c'}bd$$

โดยแทนค่า d ที่ d_u และ d_{mid}

ตรวจสอบแรงเฉือนที่คอนกรีตรับได้ กับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริง

ถ้าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นมากกว่าแรงเฉือนที่คอนกรีตรับได้ ให้หาความหนาใหม่

$$\text{โดย } d = V/0.29\sqrt{f_c'}b$$

4.หา MOMENT RESISTANCE

หาน้ำหนักทั้งหมด

จาก W_1 คือน้ำหนักเนื่องจาก stem

W_2 คือน้ำหนักเนื่องจาก base

- W3 คือน้ำหนักเนื่องจากดินถมที่กดทับฐาน
- W4 คือน้ำหนักเนื่องจากความชื้นของดินถม
- W5 คือน้ำหนักเนื่องจาก surcharge load
- W6 คือน้ำหนักเนื่องจาก point load
- W7 คือน้ำหนักเนื่องจาก ดินหน้ากำแพง
- W8 คือน้ำหนักของแรง Active ในแนวตั้ง

$$W_{รวม} = W1 + W2 + W3 + \dots + W8$$

$$F_v = W1 + W2 + W3 + \dots + W7$$

$$\text{MOMENT RESISTANCE} = W1 \times X1 + W2 \times X2 + \dots + W8 \times X8$$

โดย Xi เป็นระยะแขนของโมเมนต์

$$F.S. = \text{MOMENT RESISTANCE} / \text{MOMENT OF OVERTURNING}$$

5. ALLOWABLE BEARING CAPACITY

จาก ถ้า $\phi_u = 0$; $q_{allow} = 1.54c_u(1+d_c') + q$

$\phi_u > 0$; $q_{allow} = c_u N_c d_c + q N_q d_q + 0.5 \gamma B N_\gamma d_\gamma$

$$q_u = q_{allow} / 2.5$$

ถ้า $D/B < 1$; $k = D/B$

$D/B > 1$; $k = \tan^{-1} D/B$

$$N_c = e^{9.8 \tan \phi_u} \tan^2(45 + \phi_u / 2) \quad d_c = 1 + 0.4k$$

$$N_q = (N_c - 1) \cot \phi_u \quad d_q' = 0.4k$$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi_u \quad d_\gamma = 1 + 2 \tan \phi_u (1 - \sin \phi_u) k$$

$$d_\gamma = 1$$

6. หาค่าตำแหน่งของแรงลัพธ์

$$\text{Net } M = M_{resist} - W8 \times X8 - M_o$$

$$x = \text{Net } M / F_v$$

$$e = B/2 - x$$

7. หาแรงดันที่เกิดกับฐาน

$$SP_{max} = F_v / B + 6xexF_v / B^2$$

$$SP_{min} = F_v / B - 6xexF_v / B^2$$

8. หา SHEAR และ MOMENT ที่ฐานในตำแหน่งที่ขอบ stem

ในกรณีที่ 1 ;

$$\begin{aligned} \text{UNIF.LD} &= W2 + W3/(B-t_s) + W4/(B-t_o) + S - SP_{\min} \\ SP &= (SP_{\max} - SP_{\min})/B \times (B-t_s) \\ V_s &= \text{UNIF.LD} \times (B-t_s) - SP \times (B-t_s)/2 \\ M_s &= \text{UNIF.LD} \times (B-t_s)^2/2 - SP \times (B-t_s)^2/6 \end{aligned}$$

ในกรณีที่ 2 ;

$$\begin{aligned} WL &= (SP_{\max} - SP_{\min})/B \times t_s + SP_{\min} \\ \text{UNIF.LD} &= WL - (W2/B + W3/(B-t_s)) \\ SP &= SP_{\max} - WL \\ V_c &= \text{UNIF.LD} \times (B-t_s) + SP \times (B-t_s)/2 \\ M_c &= \text{UNIF.LD} \times (B-t_s)^2/2 - SP \times (B-t_s)^2/3 \end{aligned}$$

ในกรณีที่ 3 ;

$$\begin{aligned} WL &= (SP_{\max} - SP_{\min})/B \times (L_s + t_s) + SP_{\min} \\ \text{UNIF.LD1} &= WL - (W2/B + W7/L_H) \\ SP1 &= SP_{\max} - WL \\ V_H &= \text{UNIF.LD1} \times L_H + SP1 \times L_H/2 \\ M_H &= \text{UNIF.LD1} \times L_H^2/2 + SP1 \times L_H^2/3 \\ \text{UNIF.LD2} &= W2/B + W3/L_T + W4/L_T + W5/L_T - SP_{\min} \\ SP_2 &= (SP_{\max} - SP_{\min})/B \times L_T \\ V_T &= \text{UNIF.LD2} \times L_T - SP2 \times L_T/2 \\ M_T &= \text{UNIF.LD2} \times L_T^2/2 - SP2 \times L_T^2/6 \end{aligned}$$

ในกรณีที่ 4 ;

$$\begin{aligned} WL &= (SP_{\max} - SP_{\min})/B \times (L_H + t_s) + SP_{\min} \\ \text{UNIF.LD1} &= W2/B + W3/L_H + W4/L_H + S - SP_{\min} \\ SP1 &= (SP_{\max} - SP_{\min})/B \times L_T \\ V_H &= \text{UNIF.LD1} \times L_H - SP1 \times L_H/2 \\ M_H &= \text{UNIF.LD1} \times L_H^2/2 - SP1 \times L_H^2/6 \\ \text{UNIF.LD2} &= WL - W2/B - W7 \\ SP2 &= SP_{\max} - WL \\ V_T &= \text{UNIF.LD2} \times L_T + SP2 \times L_T/2 \\ M_T &= \text{UNIF.LD2} \times L_T^2/2 + SP2 \times L_T^2/3 \end{aligned}$$

9. การออกแบบความหนาฐาน

จาก $M_n = Rbd^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ฐานกับการต้านทานของคอนกรีต

ถ้าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าโมเมนต์ต้านทานของคอนกรีตให้ใช้ขนาดที่กำหนด

ถ้าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นมากกว่าโมเมนต์ต้านทานของคอนกรีตให้หาขนาดโดย

$$d = \sqrt{M/R_b}$$

ตรวจสอบแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับแรงเฉือนที่คอนกรีตสามารถต้านทานได้

$$\text{จาก } V_u = 0.29\sqrt{f_c'}bd$$

ถ้าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นมากกว่าแรงเฉือนต้านทานของคอนกรีต

$$d = V/(0.29\sqrt{f_c'}b)$$

10. ตรวจสอบการเลื่อนไถล

$$\text{จาก } N_u = F_r/F_d$$

$$\text{โดย } F_r = c'B + F_v \tan\phi_u + P_p$$

$$F_d = P_H$$

$$c' = 0.67c_u$$

* $N_u < 2$ จะทำการ INSERT KEY

$$b = L \tan\phi_u$$

$$h_1 = D - 0.50$$

$$P_p = \sigma_u K_u (h_1 + b + a)^2 / 2 - \sigma_u K_u h_1^2 / 2$$

แทนค่า P_p ในสมการของ F_r เพื่อหาค่า a โดยใช้ $N_u = 2$

11. การออกแบบเหล็กเสริม

การออกแบบเหล็กกำแพง

$$\text{เหล็กเสริมหลัก; } A_s = M/f_y d$$

$$\text{เหล็กเสริมในแนวตั้ง; } A_{s_{\text{vertical}}} = 0.0015 bt$$

$$\text{เหล็กเสริมในแนวนอน; } A_{s_{\text{horizontal}}} = 0.0025 bt$$

$$NO = A_s / (\pi D^2 / 4)$$

$$\text{add} = 1/NO$$

ในการหาเหล็กเสริมหลักของกำแพงเพื่อรับแรงดึงจะคิดโมเมนต์ 2 จุดคือที่ฐาน stem และที่กึ่งกลาง stem โดยจะมีการตรวจสอบระยะห่างของเหล็กต้องไม่เกิน 3t หรือ 0.30 m.

การออกแบบเหล็กฐาน

เหล็กเสริมหลัก; $A_s = M/f_y j d$

เหล็กเสริมกันร้าว; $A_{s,comp} = 0.0025 b t$

$NO = A_s / (\pi D^2 / 4)$

$add = 1/NO$

ในการหาเหล็กเสริมหลักของฐานจะมีทั้งเหล็กเสริมที่รับแรงอัดและแรงดึงแล้วแต่กรณี แต่ในการออกแบบนี้ให้ถือว่าเหล็กกลางเสริมตลอดเพื่อป้องกันโมเมนต์รับแรงอัดเนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างขณะก่อสร้าง โดยจะมีการตรวจสอบระยะห่างของเหล็กต้องไม่เกิน 3t หรือ 0.30 ม.

12. ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว

แรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้สำหรับเหล็กบน ; $U_{allowable} = 0.29/f_c' / D$

แรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้สำหรับเหล็กล่าง; $U_{allowable} = 3.23/f_c' / D$

แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริง ; $U_{actual} = V/\Sigma O_x j x d$

ถ้าแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นจริงมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้;

$\Sigma O = U_{actual} / j d$

$NO = \Sigma O / (\pi D)$

$add = 1/NO$

13. ตรวจสอบระยะลี้วงเหล็ก

$L = D f_y / 4 U_{allowable}$

โดย D เป็นขนาดศูนย์กลางเหล็กเสริมหลักในกำแพง

บทที่ 4

การใช้โปรแกรม

โปรแกรมนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนป้อนข้อมูลและส่วนตัวคำนวณผล โดยมี MAIN MENU ในการให้ผู้ใช้เลือกจัดการกับข้อมูล เก็บข้อมูล พิมพ์ข้อมูล และแสดงผลการคำนวณ โดยผู้ใช้โปรแกรมจะต้องมีข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณโดยมีผลต่อการวิเคราะห์ทางโครงสร้าง เช่น ข้อมูลของดินเดิมหรือดินใต้ฐานราก ข้อมูลดินถม ระดับน้ำใต้ดิน น้ำหนักบรรทุกทุกที่กระทำ เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์แรงกระทำกับกำแพง โดยมีการใส่ขนาดเหล็กตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม

ส่วนแนะนำการใช้โปรแกรม Wall Versin 1.00

การเรียกใช้โปรแกรมให้ทำการพิมพ์ WALL1 ที่ Dos Prompt

ตัวอย่าง A> WALL1 <Enter>

จะปรากฏเมนูหลักดังรูป 4.1

การเลือกหัวข้อที่ Menu หลักให้ทำการใส่ตัวเลขที่อยู่หน้าหัวข้อลงใน Select:

ตัวอย่าง

Load Data จะเป็นการเปิดไฟล์ข้อมูลเพื่อที่จะนำมาใช้งาน

Select:1 <Enter>

จะมีข้อความว่า Enter filename: (ให้ใส่ชื่อไฟล์ที่ต้องการเปิด)

เมื่อใส่ชื่อไฟล์ที่ต้องการเปิดแล้วให้กด <Enter>

ก็จะปรากฏข้อความที่ Message: Load complete!!!

แต่ถ้าไม่มีชื่อไฟล์หรือใส่ชื่อไฟล์ผิด

จะปรากฏข้อความที่ Message: Error!!! can not find data file.

หลังจากนั้นให้ทำการกด <Enter> เพื่อกลับมาที่ Main Menu

```

-----
|                                     |
|                               Wall Version 1.00                               |
|                                     |
|                               by KMITL                                       |
|                                     |
|                               For Civil Project                               |
|                                     |
|-----|
|                                     |
|                               MAIN MENU                                       |
|                                     |
|                               1) Load Data                                    |
|                               2) Edit Data                                    |
|                               3) Save Data                                    |
|                               4) Print Data                                   |
|                               5) Compute Result                               |
|                               0) EXit                                        |
|                               ======                                     |
|                               Select:                                       |
|                                     |
|-----|
| Message:                                                                     |
|                                     |
|-----|

```

รูปที่ 4.1
แสดงหน้าจอของ MAIN MENU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Edit Data จะเป็นการแก้ไขข้อมูลที่ทำการเปิดขึ้นมา หรือจะไม่เปิดไฟล์โดยโปรแกรมที่เขียนนี้ได้ตั้งค่า Default เอาไว้แล้ว

Select:2 <Enter>

จะขึ้นจอภาพที่ใช้ทำการแก้ไขและใส่ข้อมูลดังรูปที่ 4.2

โดยที่ Change Item (99 - more, 0 - exit): (จะเป็นการเลือกหัวข้อที่จะทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถเลือกได้จากตัวเลขหน้าข้อความที่ต้องการจะแก้ไข หรืออาจจะเป็นการดูหัวข้อในหน้าต่อไปก็ให้ทำการใส่ 99 และถ้าไม่ต้องการแก้ไขใด ๆ ก็ให้ใส่ 0 ที่ตัวเลือก

การใส่ข้อมูลหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลมีอยู่ 2 ลักษณะดังนี้

ก. จะเป็นค่าที่มีให้เลือก ในวงเล็บ

ข. จะต้องกำหนดค่าเอง

และเมื่อทำการใส่ข้อมูลแล้วให้ทำการกด <Enter> เพื่อเป็นการรับข้อมูลโดยข้อมูลได้ถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ดังนี้

Properties of Wall

1) Case of wall เป็นการเลือกชนิดของผนังกันดินซึ่งมีอยู่ 4 แบบ ได้แก่

1.L-shaped soil over base

2.L-shaped soil not over base

3.Inverted T-shaped soil over toe

4.Inverted T-shaped soil over heel

ตัวอย่าง Change Item (99 - more, 0 - exit):1

จะปรากฏข้อความที่ Message: Case of wall (1,2,3,4): (เลือกชนิดผนังกันดิน)

เมื่อใส่ข้อมูลแล้วให้กด <Enter> เพื่อเป็นการรับข้อมูล

2) Height of retaining wall เป็นการกำหนดความสูงของผนังกันดิน

ตัวอย่าง Change Item (99 - more, 0 -exit):2

จะปรากฏข้อความที่ Message: Height of retaining wall(in m.): (ใส่ความสูงของผนังกันดินเป็นเมตร)

เมื่อใส่ข้อมูลแล้วให้กด <Enter> เพื่อเป็นการรับข้อมูล

Properties of retained material

- 3) Weight of retained material เป็นการกำหนดหน่วยน้ำหนักของดินถม
 - 4) retained material with horizontal เป็นการกำหนดความชันของดินถมเป็นองศา
 - 5) internal friction of soil เป็นการกำหนดมุมเสียดทานของดินถม
 - 6) Coefficient between wall and soil เป็นการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผนังกันดินกับดิน
 - 7) cohesive of soil เป็นการกำหนดค่าความเหนียวของดิน
 - 8) Water level from base เป็นการกำหนดระดับน้ำใต้ดินที่วัดขึ้นมาจากราก
 - 9) Weight of submerged soil เป็นการกำหนดหน่วยน้ำหนักดินที่อยู่ใต้ระดับน้ำ
 - 10) Surcharge load เป็นการกำหนดน้ำหนักบรรทุกหรือน้ำหนักที่กดทับบนดินถม
 - 11) Point load เป็นการกำหนดน้ำหนักกระทำเป็นจุดเฉพาะบนกำแพงกันดิน
- เมื่อทำการแก้ไขข้อมูลเสร็จแล้ว ถ้าไม่ต้องการแก้ไขอีกแล้วให้ใส่ 0 ดังตัวอย่าง
- Change Item (99 - more,0 - exit):0 <Enter>

ก็จะกลับมายังเมนูหลัก

แต่ถ้าต้องการแก้ไขในหน้าต่อไปหรือคูหน้าต่อไปก็ให้ใส่ 99 ดังตัวอย่าง

Change Item (99 - more,0 - exit):99 <Enter>

จะขึ้นจอภาพที่ใช้ทำการแก้ไขและใส่ข้อมูลดังรูป 4.3

ซึ่งจะเป็นการแก้ไขหรือข้อมูลเหมือนเดิม

Properties of front material

- 12) Weight of material จะเป็นการกำหนดหน่วยน้ำหนักดินหน้ากำแพง
- 13) Internal friction of soil จะเป็นการกำหนดมุมเสียดทานของดินหน้ากำแพง
- 14) Cohesive of soil จะเป็นการกำหนดค่าความเหนียวของดินหน้ากำแพง

Properties of material under base

- 15) Weight of material จะเป็นการกำหนดหน่วยน้ำหนักดินใต้ฐานราก
- 16) Internal friction of soil จะเป็นการกำหนดมุมเสียดทานของดินใต้ฐานราก
- 17) Cohesive of soil จะเป็นการกำหนดค่าความเหนียวของดินใต้ฐานราก

และเมื่อทำการแก้ไขข้อมูลเสร็จแล้ว ถ้าไม่ต้องการแก้ไขอีกแล้วให้ใส่ 0 ดังตัวอย่าง

Change Item (99 - more,0 - exit):0 <Enter>

ก็จะกลับมายังเมนูหลัก

แต่ถ้าต้องการแก้ไขในหน้าต่อไปหรือดูหน้าต่อไปก็ให้ใส่ 99 ดังตัวอย่าง

Change Item (99 - more,0 - exit):99 <Enter>

จะขึ้นจอภาพที่ใช้ทำการแก้ไขและใส่ข้อมูลดังรูป 4.4

ซึ่งจะเป็นการแก้ไขหรือดูข้อมูลเหมือนเดิม

Properties of material

18) fc'

19) fs

Properties of steel in wall

20) Diameter of main steel in wall จะเป็นการกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กหลักในกำแพงกันดิน หน่วยเป็นมิลลิเมตร

21) Diameter of vertical steel in wall จะเป็นการกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กขึ้นในกำแพง หน่วยเป็นมิลลิเมตร

22) Diameter of horizontal steel in wall จะเป็นการกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กในกำแพงตามแนวนอน หน่วยเป็นมิลลิเมตร

23) Diameter of main steel in base จะเป็นการกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กหลักในฐาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร

24) Diameter of temperature steel in base จะเป็นการกำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กกันร้าวในฐาน หน่วยเป็นมิลลิเมตร

และเมื่อทำการแก้ไขข้อมูลเสร็จแล้ว ให้ใส่ 0 ดังตัวอย่าง

Change Item (0 - exit):0 <Enter>

ก็จะกลับมายังเมนูหลัก

Save Data จะเป็นการเก็บไฟล์ข้อมูลเพื่อที่จะนำมาใช้งาน

Select:3 <Enter>

จะมีข้อความว่า Enter filename: (ให้ใส่ชื่อไฟล์ที่ต้องการเก็บ)

เมื่อใส่ชื่อไฟล์ที่ต้องการเก็บแล้วให้กด <Enter>

ก็จะปรากฏข้อความที่ Message: Save complete!!!
 หลังจากนั้นให้ทำการกด <Enter> เพื่อกลับมาที่ Main Menu

Print Data จะเป็นการพิมพ์ข้อมูลออกมาถึงเครื่องพิมพ์

Select:4 <Enter>

ก็ให้ทำการรอสักครู่

*หมายเหตุ จะต้องทำการต่อเครื่องพิมพ์ให้เรียบร้อยก่อนที่จะเรียกพิมพ์

Compute Result จะเป็นการคำนวณข้อมูลที่ใส่ผลออกมา ถ้าไม่มีการ load ชื่อไฟล์ที่เก็บไว้จะเป็นการคำนวณค่า Default ดังนั้นก่อนทำการ Compute Result ต้องมีการ load ชื่อไฟล์ของข้อมูลที่ต้องการ ในขณะที่โปรแกรมอยู่ขึ้นคำนวณจะพิมพ์ผลดังรูปที่ 4.5

Select:5 <Enter>

กดคีย์ <Enter> จะแสดงค่าโมเมนต์ที่เปลี่ยนไปตามความสูงของกำแพง

กดคีย์ <Enter> จะแสดงรูปกราฟที่เกิดจากโมเมนต์กระทำที่ระยะความสูงของกำแพง

กดคีย์ <Enter> ถ้าในการคำนวณครั้งแรกขนาดของฐานที่สมมติไม่ผ่านหน้าจอจะแสดงข้อความ

F.S. < 2 หรือ

SPmax > $q_{allowable}$ หรือ

Location of Resultant < B/2

แล้วจะกลับมาแสดงผลการคำนวณใหม่

ถ้าผ่านการคำนวณได้เมื่อกด <Enter> จะแสดงค่าต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.6

เมื่อกดคีย์ <Enter> จะปรากฏกราฟของ Shear ที่เกิดที่ฐาน

เมื่อกดคีย์ <Enter> จะปรากฏภาพแสดงรูปร่างของกำแพงกันดินและรูปตัดการวางเหล็ก

เมื่อกดคีย์ <Enter> จะกลับสู่ MAIN MENU

Base Width (m.): เป็นความกว้างของฐานที่กำหนดขึ้น

Base Thickness (m.): เป็นความหนาของฐานที่กำหนด

Ka : เป็น สปส. ของแรง Active Pressure

Kp : เป็น สปส. ของแรง Passive Pressure

Active earth pressure in horizontal : เป็นแรงในแนวราบ
เนื่องจากแรง Active

Active earth pressure in vertical : เป็นแรงในแนวดิ่งเนื่อง
จากแรง Active

Moment of Active pressure : เป็นค่าโมเมนต์ที่เกิดจากแรง Active

Passive earth pressure in horizontal : เป็นแรงในแนวราบเนื่อง
จากแรง Passive

Passive earth pressure in vertical : เป็นแรงในแนวราบเนื่อง
จากแรง Passive

Moment of Passive pressure : เป็นค่าโมเมนต์ที่เกิดจากแรง Passive

Dimension of top stem : เป็นขนาดของสันกำแพง

Dimension of base stem : เป็นขนาดของฐานของกำแพง

รูปที่ 4.5

แสดงผลลัพธ์ทางหน้าจอเป็น text

Moment Resisting : เป็นค่าโมเมนต์ต้านทานเนื่องจากน้ำหนัก
 Safety Factor of Overturning : ค่าปลอดภัยจากการพลิกคว่ำ
 Allowable Bearing Capacity : ความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน
 Maximum Shear Pressure: แรงกระทำมากที่สุดที่ฐาน
 Minimum Shear Pressure: แรงกระทำน้อยที่สุดที่ฐาน
 Safety Factor of Sliding : ค่าความปลอดภัยจากการเลื่อนไถล

รูปที่ 4.6
 แสดงผลลัพธ์ทางหน้าจอเป็น text

บทที่ 5

ตัวอย่างการคำนวณ

5.1 ตัวอย่างการคำนวณด้วยมือ

ขั้นตอนการคำนวณกรณีที่ 1

1. กำหนดขนาดเบื้องต้น

$$\text{ความกว้างฐาน} = 0.5 \times H = 2 \text{ เมตร}$$

$$\text{ความหนาฐาน stem} = \text{ความหนา base} = H/10 = 0.4 \text{ เมตร}$$

$$\text{ความหนาที่สัน stem} = \text{ความหนาข้อสุดท้ายที่ขอมให้} = 0.3 \text{ เมตร}$$

$$H' = (B-t_0) \tan \beta + H = 4.23 \text{ เมตร}$$

2. หาค่า สปส. ของแรงดันดินทางข้าง

$$K_u = 0.308$$

$$K_p = 3.690$$

3. หานรแรงและโมเมนต์ที่กระทำกับ stem

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักเนื่องจาก surcharge load ในแนวราบ} &= 1000 / \cos \beta \\ &= 1003.82 \text{ กก./เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ความสูงของดินถมเหนือระดับน้ำ} = 4.23 - 1 = 3.23 \text{ เมตร}$$

(a) ที่ระยะ 1 เมตร จากสัน stem

$$P1 = 1003.82 \times 0.308 \times 1 = 309.18 \text{ กก.}$$

$$P2 = (1600 \times 0.308 \times 1^2) / 2 = 246.4 \text{ กก.}$$

$$Y1 = 1/2 = 0.5 \text{ เมตร}$$

$$Y2 = 1/3 = 0.33 \text{ เมตร}$$

$$\text{แรงเฉือนที่ระยะ 1 เมตร} = 555.58 \text{ กก.}$$

$$\text{โมเมนต์ที่ระยะ 1 เมตร} = 235.90 \text{ กก.-เมตร}$$

(b) ที่ระยะกึ่งกลาง stem

$$P1 = 1003.82 \times 0.308 \times 1.8 = 556.52 \text{ กก.}$$

$$P2 = (1600 \times 0.308 \times 1.8) / 2 = 443.52 \text{ กก.}$$

$$Y1 = 1.8/2 = 0.9 \text{ เมตร}$$

$$Y2 = 1.8/3 = 0.6 \text{ เมตร}$$

แรงเฉือนที่ระยะกึ่งกลาง stem = 1000.04 กก.

โมเมนต์ที่กึ่งกลาง stem = 766.98 กก.-เมตร

(c) ที่ระยะฐานของ stem

$P_1 = 1003.82 \times 0.308 \times 3.6 = 1113.04$ กก.

$P_2 = (1600 \times 0.308 \times 3.23^2)/2 = 2570.67$ กก.

$P_3 = (1600 \times 3.23 \times 0.308 \times (3.6-3.23)) = 588.94$ กก.

$P_4 = (1000 \times (3.6-3.23)^2)/2 = 68.45$ กก.

$P_6 = (800 \times 0.308 \times (3.6-3.23)^2)/2 = 16.86$ กก.

$Y_1 = 3.6/2 = 1.8$ เมตร

$Y_2 = (3.6-3.23) + 3.23/3 = 1.45$ เมตร

$Y_3 = (3.6-3.23)/2 = 0.185$ เมตร

$Y_4 = (3.6-3.23)/3 = 0.12$ เมตร

$Y_6 = (3.6-3.23)/3 = 0.12$ เมตร

แรงเฉือนที่ฐาน stem = 4357.97 กก.

โมเมนต์ที่ฐาน stem = 5850.13 กก.-เมตร

4. หาแรงและโมเมนต์เนื่องจากการพลิกคว่ำ

(a) โมเมนต์เนื่องจาก Active Pressure

$P_1 = 1600 \times 0.308 \times 4.23 = 1307.82$ กก.

$P_2 = (1600 \times 0.308 \times 3.23^2)/2 = 2570.67$ กก.

$P_3 = (1600 \times 3.23 \times 0.308 \times 1) = 1591.74$ กก.

$P_4 = (1000 \times 1^2)/2 = 500$ กก.

$P_5 = (800 \times 0.308 \times 1^2)/2 = 123.2$ กก.

$Y_1 = 4.23 = 2.12$ เมตร

$Y_2 = (4.23-3.23) + 3.23/3 = 2.08$ เมตร

$Y_3 = (4.23-3.23)/2 = 0.5$ เมตร

$Y_4 = (4.23-3.23)/3 = 0.33$ เมตร

$Y_6 = (4.23-3.23)/3 = 0.33$ เมตร

แรงกระทำในแนวราบเนื่องจากแรง Active = 5051.62 กก.

แรงกระทำในแนวตั้งเนื่องจากแรง Active = 3407.40 กก.

$$\text{โมเมนต์เนื่องจากแรง Active} = 7561.73 \text{ กก.}$$

(b) โมเมนต์เนื่องจากแรง Passive Pressure

$$D = 0.9 \text{ เมตร}$$

$$P1 = (2000 \times 3.69 \times 0.9^2) / 2 = 2988.9 \text{ กก.}$$

$$P2 = 2 \times 1200 \times \sqrt{3.69} \times 0.9 = 4149.22 \text{ กก.}$$

$$Y1 = 0.9 / 3 = 0.3 \text{ เมตร}$$

$$Y2 = 0.9 / 2 = 0.45 \text{ เมตร}$$

$$\text{แรงกระทำในแนวราบเนื่องจากแรง Passive} = 7138.12 \text{ กก.}$$

$$\text{แรงกระทำในแนวดิ่งเนื่องจากแรง Passive} = 0$$

$$\text{โมเมนต์เนื่องจากแรง Passive} = 2763.82 \text{ กก.-เมตร}$$

$$\text{โมเมนต์เนื่องจากการพลิกคว่ำ} = 7561.73 - 2763.82 = 4797.91 \text{ กก.-เมตร}$$

5. หาขนาดของ stem

$$\text{ที่ top stem ; } Mr = R \times b \times d^2 = 10.70 \times 1 \times 23^2 = 5660.3 \text{ กก.-เมตร}$$

$$\text{ที่ base stem ; } Mr = 10.70 \times 1 \times 33^2 = 11652.3 \text{ กก.-เมตร}$$

ดังนั้นใช้ขนาดของ stem ตามที่กำหนด

6. หาโมเมนต์ต้านทาน

(a) หาน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำในแนวดิ่ง

$$W1 \text{ น้ำหนักเนื่องจาก stem} = 3024 \text{ กก.}$$

$$W2 \text{ น้ำหนักเนื่องจาก base} = 1920 \text{ กก.}$$

$$W3 \text{ น้ำหนักเนื่องจากดินถม} = 10309.2 \text{ กก.}$$

$$W4 \text{ น้ำหนักเนื่องจากความชื้นของดินถม} = 202.27 \text{ กก.}$$

$$W5 \text{ น้ำหนักเนื่องจาก surcharge load} = 1760.49 \text{ กก.}$$

$$W6 \text{ น้ำหนักเนื่องจาก point load} = 500 \text{ กก.}$$

$$W8 \text{ น้ำหนักของแรงกระทำในแนวดิ่งเนื่องจาก Active Pressure} \\ = 3407.4 \text{ กก.}$$

$$W_{\text{total}} = 21069.36 \text{ กก.}$$

$$F_v = W_{\text{total}} - W8 = 17661.96 \text{ กก.}$$

(b) หาระยะแขนของแรงรอบจุด O

$$x1 = 0.18 \text{ เมตร}$$

$$x_2 = 1.0 \text{ เมตร}$$

$$x_3 = 1.17 \text{ เมตร}$$

$$x_4 = 1.13 \text{ เมตร}$$

$$x_5 = 0.85 \text{ เมตร}$$

$$x_6 = 0.15 \text{ เมตร}$$

$$x_7 = 0$$

$$x_8 = 2.0 \text{ เมตร}$$

$$\text{โมเมนต์ต้านทาน} = 23094.97 \text{ กก.-เมตร}$$

(7) โมเมนต์ต้านทาน/โมเมนต์เนื่องจากการพลิกคว่ำ = 4.81 > 2 O.K.

(8) หาความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน

$$\text{จาก } q_{ult} = cN_c d_c + qN_q d_q + 0.5\gamma B N_\gamma d_\gamma$$

$$N_c = 33.27 \quad d_c = 1.18$$

$$N_q = 46.08 \quad d_q = 1.27$$

$$N_\gamma = 33.89 \quad d_\gamma = 1$$

$$q_{ult} = q_{ult} / 2.5 = 78566.49 \text{ กก./ม}^2$$

(9) หาค่าแห่งของแรงลัพธ์

$$\text{Net } M = 11482.26 \text{ กก.-เมตร}$$

$$x = 0.67 \text{ เมตร} > B/3 \text{ และน้อยกว่า } B/2$$

$$e = 0.33 \text{ เมตร}$$

$$\begin{aligned} SP_{max} &= 17661.96/2 + (17661.92 \times 0.33 \times 6)/4 \\ &= 17573.25 \text{ กก./ม}^2 \end{aligned}$$

$$SP_{min} = 17661.96/2 - (17661.92 \times 0.33 \times 6)/4 = 88.31 \text{ กก./ม}^2$$

(10) หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่ฐาน

$$\begin{aligned} \text{UNIF.LD} &= 1920/2 + 10309.2/1.6 + 202.27/1.7 + 1003.82 - 88.31 \\ &= 8437.84 \text{ กก./เมตร} \end{aligned}$$

$$SP = (17573.5 - 88.31)/2 \times 1.6 = 13988.15 \text{ กก./ เมตร}$$

$$V_u = (8437.84 \times 1.6) - (13988.15 \times 1.6)/2 = 2309.46 \text{ กก.}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 8437.84 \times 1.6^2/2 - (13988.15 \times 1.6^2/6) \\ &= 4831.98 \text{ กก.-เมตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(11) ออกแบบความหนา base

$$M_r = 10.70 \times 1 \times 33^2 = 11652 \text{ กก.-เมตร}$$

ดังนั้นใช้ฐานหนา 0.40 เมตร

(12) ตรวจสอบแรงเฉือนที่ฐาน

$$V_r = 0.29 \times \sqrt{145} \times 100 \times 33 = 11523.80 \text{ กก.}$$

ซึ่งมากกว่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

(13) ตรวจสอบการเลื่อนไถล

$$\text{จาก } N_u = F_r / F_d$$

$$\begin{aligned} F_r &= c'B + F_v \tan \phi + P_u \\ &= (0.67 \times 2 \times 1200) + (17661.96 \times \tan 35) + 7138.12 \\ &= 21113.15 \text{ กก.} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } N_u = 4.18 > 2 \text{ O.K.}$$

(14) ออกแบบเหล็กกำแพง

(a) เหล็กเสริมหลักในกำแพง

$$A_s = 2.835 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{hs} = 5850.13 / (1200 \times 0.28 \times 0.87) = 19.76 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{ms} = 776.98 / (1200 \times 0.33 \times 0.87) = 2.62 \text{ ซม.}^2$$

$$no1 = 19.76 / 2.835 = 6.97 \text{ ใช้ 7 เส้น}$$

$$add1 = 1/7 = 0.14 \text{ เมตร}$$

$$no2 = 2.26 / 2.835 = 0.79 \text{ ใช้ 1 เส้น}$$

$$add2 = 1 \text{ เมตร}$$

$$add2 = 0.30 \text{ เมตร}$$

(b) เหล็กเสริมแนวตั้งในกำแพง

$$A_{s1} = 2.835 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{s_{vertical}} = 0.0015 \times 100 \times 35 = 3.25 \text{ ซม.}^2$$

$$no3 = 3.25 / 2.835 = 1.14 \text{ ใช้ 2 เส้น}$$

$$add3 = 1/2 = 0.50 \text{ เมตร}$$

$$add3 = 0.30 \text{ เมตร}$$

(c) เหล็กเสริมกันร้าวในกำแพง

$$As_2 = 1.13 \text{ ซม.}^2$$

$$As_{\text{horizontal}} = 0.0025 \times 100 \times 35 = 8.75 \text{ ซม.}^2$$

$$no_{\text{horizontal}} = 8.75/1.13 = 7.74 \quad \text{ใช้ 8 เส้น}$$

$$add_{\text{horizontal}} = 1/8 = 0.125 \text{ ซม.}$$

(15) ออกแบบเสริมเหล็กในฐาน

(a) เหล็กเสริมหลักในฐาน

$$As_b = 4831.98/(1200 \times 0.87 \times 0.33) = 14.03 \text{ ซม.}^2$$

$$As_3 = 4.91 \text{ ซม.}^2$$

$$no_4 = 14.03/4.91 = 2.86 \quad \text{ใช้ 3 เส้น}$$

$$add_4 = 1/3 = 0.33 \text{ เมตร}$$

$$add_4 = 0.30 \text{ เมตร}$$

(b) เหล็กเสริมกันร้าวในฐาน

$$As_4 = 2.835 \text{ ซม.}^2$$

$$As_{\text{comp}} = 0.0025 \times 100 \times 40 = 10 \text{ ซม.}^2$$

$$no_6 = 10/2.835 = 3.53 \quad \text{ใช้ 4 เส้น}$$

$$add_6 = 1/4 = 0.25 \text{ เมตร}$$

(16) ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว

$$U_{\text{allowable}} = 2.29 \times \sqrt{145}/2.5 = 11.03 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\Sigma O_1 = 7.85 \times 4 = 31.4$$

$$U_{\text{actual}} = 2309.46/(31.4 \times 0.87 \times 33) = 2.56 \text{ กก./ซม.}^2 \quad \text{O.K.}$$

(17) ทหาความยาวเหล็กล๊วง

$$L = D \times fs / (4U_{\text{allow}})$$

$$= 19 \times 1200 / (4 \times 11.03)$$

$$= 516.77 \text{ มม.}$$

ขั้นตอนการคำนวณครั้งที่ 2

1. กำหนดขนาดเบื้องต้น

$$\text{ความกว้างฐาน} = 0.5 \times H = 2 \text{ เมตร}$$

$$\text{ความหนาฐาน stem} = \text{ความหนา base} = H/10 = 0.4 \text{ เมตร}$$

$$\text{ความหนาที่สัน stem} = \text{ความหนาน้อยสุดที่ขอมให้} = 0.3 \text{ เมตร}$$

$$H' = 4.00 \text{ เมตร}$$

2. หาค่า สปส. ของแรงดันดินทางข้าง

$$K_u = 0.296$$

$$K_d = 3.690$$

3. หานแรงและโมเมนต์ที่กระทำกับ stem

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักเนื่องจาก surcharge load ในแนวราบ} &= 1000 / \cos \beta \\ &= 1003.82 \text{ กก./เมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ความสูงของดินถมเหนือระดับน้ำ} = 4.00 - 1 = 3.00 \text{ เมตร}$$

(a) ที่ระยะ 1 เมตร จากสัน stem

$$P1 = 1003.82 \times 0.296 \times 1 = 297.13 \text{ กก.}$$

$$P2 = (1600 \times 0.296 \times 1^2) / 2 = 236.8 \text{ กก.}$$

$$Y1 = 1/2 = 0.5 \text{ เมตร}$$

$$Y2 = 1/3 = 0.33 \text{ เมตร}$$

$$\text{แรงเฉือนที่ระยะ 1 เมตร} = 533.93 \text{ กก.}$$

$$\text{โมเมนต์ที่ระยะ 1 เมตร} = 226.71 \text{ กก.-เมตร}$$

(b) ที่ระยะกึ่งกลาง stem

$$P1 = 1003.82 \times 0.296 \times 1.8 = 534.84 \text{ กก.}$$

$$P2 = (1600 \times 0.296 \times 1.8^2) / 2 = 767.23 \text{ กก.}$$

$$Y1 = 1.8/2 = 0.9 \text{ เมตร}$$

$$Y2 = 1.8/3 = 0.6 \text{ เมตร}$$

$$\text{แรงเฉือนที่ระยะกึ่งกลาง stem} = 1302.07 \text{ กก.}$$

$$\text{โมเมนต์ที่กึ่งกลาง stem} = 941.69 \text{ กก.-เมตร}$$

(c) ที่ระยะฐานของ stem

$$P1 = 1003.82 \times 0.296 \times 3.6 = 1069.67 \text{ กก.}$$

$$P2 = (1600 \times 0.296 \times 3^2)/2 = 2131.2 \text{ กก.}$$

$$P3 = (1600 \times 3 \times 0.296 \times (3.6-3.0)) = 852.48 \text{ กก.}$$

$$P4 = (1000 \times (3.6-3.0)^2)/2 = 180 \text{ กก.}$$

$$P6 = (800 \times 0.296 \times (3.6-3.0)^2)/2 = 42.62 \text{ กก.}$$

$$Y1 = 3.6/2 = 1.8 \text{ เมตร}$$

$$Y2 = (3.6-3.0) + 3.0/3 = 1.60 \text{ เมตร}$$

$$Y3 = (3.6-3.0)/2 = 0.3 \text{ เมตร}$$

$$Y4 = (3.6-3.0)/3 = 0.2 \text{ เมตร}$$

$$Y6 = (3.6-3.0)/3 = 0.2 \text{ เมตร}$$

$$\text{แรงเฉือนที่ฐาน stem} = 4275.97 \text{ กก.}$$

$$\text{โมเมนต์ที่กึ่งฐาน stem} = 5635.59 \text{ กก.-เมตร}$$

4. ทนแรงและโมเมนต์เนื่องจากการพลิกคว่ำ

(a) โมเมนต์เนื่องจาก Active Pressure

$$P1 = 1003.82 \times 0.296 \times 4.0 = 1188.52 \text{ กก.}$$

$$P2 = (1600 \times 0.296 \times 3.0^2)/2 = 2131.2 \text{ กก.}$$

$$P3 = (1600 \times 3.0 \times 0.296 \times 1) = 1420.8 \text{ กก.}$$

$$P4 = (1000 \times 1^2)/2 = 500 \text{ กก.}$$

$$P6 = (800 \times 0.296 \times 1^2)/2 = 118.4 \text{ กก.}$$

$$Y1 = 4.0/2 = 2.0 \text{ เมตร}$$

$$Y2 = (4.0-3.0) + 3.0/3 = 2.0 \text{ เมตร}$$

$$Y3 = (4.0-3.0) = 0.5 \text{ เมตร}$$

$$Y4 = (4.0-3.0)/3 = 0.33 \text{ เมตร}$$

$$Y6 = (4.0-3.0)/3 = 0.33 \text{ เมตร}$$

$$\text{แรงกระทำในแนวราบเนื่องจากแรง Active} = 5358.92 \text{ กก.}$$

$$\text{แรงกระทำในแนวตั้งเนื่องจากแรง Active} = 0 \text{ กก.}$$

$$\text{โมเมนต์เนื่องจากแรง Active} = 7553.91 \text{ กก.}$$

(b) โมเมนต์เนื่องจากแรง Passive Pressure

$$D = 0.9 \text{ เมตร}$$

$$P1 = (2000 \times 3.69 \times 0.9^2)/2 = 2988.9 \text{ กก.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P2 = 2 \times 1200 \times \sqrt{3.69} \times 0.9 = 4149.22 \text{ กก.}$$

$$Y1 = 0.9/3 = 0.3 \text{ เมตร}$$

$$Y2 = 0.9/2 = 0.45 \text{ เมตร}$$

$$\text{แรงกระทำในแนวราบเนื่องจากแรง Passive} = 7138.12 \text{ กก.}$$

$$\text{แรงกระทำในแนวดิ่งเนื่องจากแรง Passive} = 0$$

$$\text{โมเมนต์เนื่องจากแรง Passive} = 2763.82 \text{ กก.-เมตร}$$

$$\text{โมเมนต์เนื่องจากการพลิกคว่ำ} = 7553.91 - 2763.82 = 4790.09 \text{ กก.-เมตร}$$

(5).หาขนาดของ stem

$$\text{ที่ top stem ; } Mr = R \times b \times d^2 = 10.70 \times 1 \times 23^2 = 5660.3 \text{ กก.-เมตร}$$

$$\text{ที่ base stem ; } Mr = 10.70 \times 1 \times 33^2 = 11652.3 \text{ กก.-เมตร}$$

ดังนั้นใช้ขนาดของ stem ตามที่กำหนด

(6)หาโมเมนต์ต้านทาน

(a) หาน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำในแนวดิ่ง

$$W1 \text{ น้ำหนักเนื่องจาก stem} = 3024 \text{ กก.}$$

$$W2 \text{ น้ำหนักเนื่องจาก base} = 1920 \text{ กก.}$$

$$W3 \text{ น้ำหนักเนื่องจากดินถม} = 1600 \text{ กก.}$$

$$W4 \text{ น้ำหนักเนื่องจากความชื้นของดินถม} = 0 \text{ กก.}$$

$$W5 \text{ น้ำหนักเนื่องจาก surcharge load} = 0 \text{ กก.}$$

$$W6 \text{ น้ำหนักเนื่องจาก point load} = 500 \text{ กก.}$$

$$W_{\text{รวม}} = 7044 \text{ กก.}$$

$$F_v = W_{\text{รวม}} = 7044 \text{ กก.}$$

(b) หาระยะแขนของแรงรอบจุด O

$$x1 = 1.82 \text{ เมตร}$$

$$x2 = 1.0 \text{ เมตร}$$

$$x3 = 0.8 \text{ เมตร}$$

$$x4 = 0 \text{ เมตร}$$

$$x5 = 0 \text{ เมตร}$$

$$x6 = 1.85 \text{ เมตร}$$

$$\text{โมเมนต์ต้านทาน} = 9628.68 \text{ กก.-เมตร}$$

(7) โมเมนต์ต้านทาน/โมเมนต์เนื่องจากการพลิกคว่ำ = 2.01 > 2 O.K.

(8) หาความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน

$$\text{จาก } q_{u1\%} = cN_c d_c + qN_q d_q + 0.5\gamma B N_\gamma d_\gamma$$

$$N_c = 33.27 \quad d_c = 1.18$$

$$N_q = 46.08 \quad d_q = 1.27$$

$$N_\gamma = 33.89 \quad d_\gamma = 1$$

$$q_u = q_{u1\%} / 2.5 = 78558.42 \text{ กก./ม}^2$$

(9) หาค่าแห่งของแรงลัพธ์

$$\text{Net } M = 4827 \text{ กก.-เมตร}$$

$$x = 0.68 \text{ เมตร} > B/3 \text{ และน้อยกว่า } B/2$$

$$e = 0.32 \text{ เมตร}$$

$$SP_{\max} = 7044/2 + (7044 \times 0.32 \times 6)/4 = 6903.12 \text{ กก./ม}^2$$

$$SP_{\min} = 7044/2 - (7044 \times 0.32 \times 6)/4 = 140.88 \text{ กก./ม}^2$$

(10) หาโมเมนต์และแรงเฉือนที่ฐาน

$$WL = (6903.12 - 140.88) / 2 \times 1.6 + 140.88$$

$$= 5550.67 \text{ กก./เมตร}$$

$$SP = (6903.12 - 5550.67) = 1352.45 \text{ กก./เมตร}$$

$$\text{UNIF.LD} = 5550.67 - (1920/2 + 1600/(2-0.4)) = 3590.67 \text{ กก./เมตร}$$

$$V_c = (3590.67 \times 1.6) + 1352.45 \times 1.6 / 2 = 6827.04 \text{ กก.}$$

$$M_c = 3590.67 \times 1.6^2 / 2 + 1352.45 \times 1.6^2 / 3 = 5750.15 \text{ กก.-เมตร}$$

(11) ออกแบบความหนา base

$$M_r = 10.70 \times 1 \times 33^2 = 11652 \text{ กก.-เมตร}$$

$$\text{ดังนั้นใช้ฐานขนาด } 0.40 \text{ เมตร}$$

(12) ตรวจสอบแรงเฉือนที่ฐาน :

$$V_r = 0.29 \times \sqrt{145} \times 100 \times 33 = 11523.80 \text{ กก.}$$

ซึ่งมากกว่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น

(13) ตรวจสอบการเลื่อนไถล

$$\text{จาก } N_u = F_r / F_d$$

$$F_r = c'B + F_v \tan \phi + P_u$$

$$= (0.67 \times 1200 \times 2) + (7044 \times \tan 35) + 7138.12$$

$$= 13678.38 \text{ กก.}$$

ดังนั้น $N_u = 3.07 > 2$ O.K.

(14) ออกแบบเหล็กกำแพง

(a) เหล็กเสริมหลักในกำแพง

$$A_s = 2.835 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{hs} = 5635.59 / (1200 \times 0.33 \times 0.87) = 16.36 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{mid} = 941.69 / (1200 \times 0.28 \times 0.87) = 3.22 \text{ ซม.}^2$$

$$no1 = 16.36 / 2.835 = 5.77 \text{ ไร่ } 6 \text{ เส้น}$$

$$add1 = 1/6 = 0.16 \text{ เมตร}$$

$$no2 = 3.22 / 2.835 = 1.14 \text{ ไร่ } 2 \text{ เส้น}$$

$$add2 = 0.50 \text{ เมตร}$$

$$add2 = 0.30 \text{ เมตร}$$

(b) เหล็กเสริมแนวตั้งในกำแพง

$$A_{s1} = 2.835 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{vertical} = 0.0015 \times 100 \times 35 = 3.25 \text{ ซม.}^2$$

$$no3 = 3.25 / 2.835 = 1.14 \text{ ไร่ } 2 \text{ เส้น}$$

$$add3 = 1/2 = 0.50 \text{ เมตร}$$

$$add3 = 0.30 \text{ เมตร}$$

(c) เหล็กเสริมกันร้าวในกำแพง

$$A_{s2} = 1.13 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{horizontal} = 0.0025 \times 100 \times 35 = 8.75 \text{ ซม.}^2$$

$$no_{horizontal} = 8.75 / 1.13 = 8 \text{ เส้น}$$

$$add_{horizontal} = 0.125 \text{ ซม.}$$

(15) ออกแบบเสริมเหล็กในฐาน

(a) เหล็กเสริมหลักในฐาน

$$A_{s_u} = 5750.15 / (1200 \times 0.87 \times 0.33) = 16.69 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{s3} = 4.91 \text{ ซม.}^2$$

$$no4 = 16.69 / 4.91 = 3.39 \text{ ไร่ } 4 \text{ เส้น}$$

$$\text{add4} = 0.25 \text{ เมตร}$$

(b) เหล็กเสริมกันร้าวในฐาน

$$A_s4 = 2.835 \text{ ซม.}^2$$

$$A_{s_{\text{reqd}}} = 0.0025 \times 100 \times 40 = 10 \text{ ซม.}^2$$

$$n_o6 = 10/2.835 = 3.53 \quad \text{ใช้ 4 เส้น}$$

$$\text{add6} = 1/4 = 0.25 \text{ เมตร}$$

(16) ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว

$$U_{\text{allowable1}} = 3.23 \times \sqrt{145} / 2.5 = 15.56 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\Sigma O1 = 7.85 \times 4 = 31.4 \text{ ซม.}$$

$$U_{\text{actual}} = 2309.46 / (31.4 \times 0.87 \times 33) = 2.56 \text{ กก./ซม.}^2 \quad \text{O.K.}$$

(17) หาคความยาวเหล็กล๊วง

$$L = 19 \times 1200 / (4 \times 15.56)$$

$$= 336.37 \text{ มม.}$$

5.2 ตัวอย่างการคำนวณด้วยเครื่อง

Wall Version 1.00 by KMITL For Civil Project
MAIN MENU 1) Load Data 2) Edit Data 3) Save Data 4) Print Data 5) Compute Result 0) Exit <hr/> Select:
Message:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wall Version 1.00
by KMITL
For Civil Project

INPUT DATA *****

Properties of wall

1) Case of wall : 1
2) Height of retaining wall : 4.00

Properties of retained material

3) Weight of retained material : 1600.00
4) retained material with horizontal : 5.00
5) internal friction of soil : 34.00
6) Coefficient between wall and soil : 0.00
7) cohesive of soil : 0.00
8) Water level from base : 1.00
9) Weight of submerged soil : 800.00
10) Surcharge load : 1000.00
11) Point load : 500.00

Properties of front material

12) Weight of material : 2000.00
13) Internal friction of soil : 35.00
14) Cohesive of soil : 1200.00

Properties of material under base

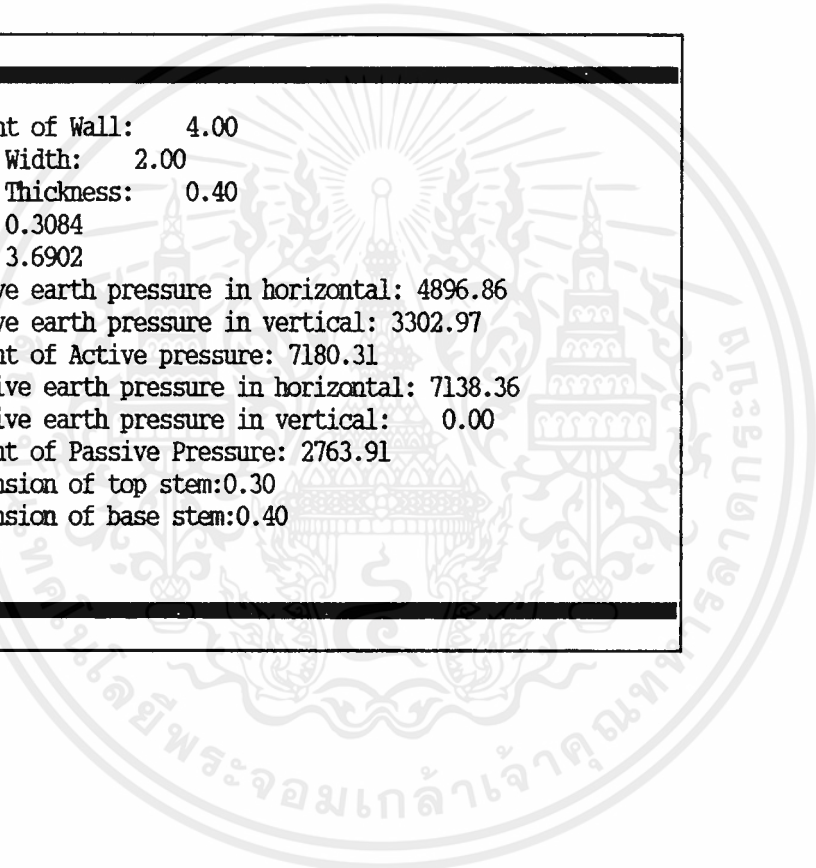
15) Weight of material : 2000.00
16) Internal friction of soil : 35.00
17) Cohesive of soil : 1200.00

Properties of material

18) f_c' : 144
19) f_s : 1200
($n=$ 11.25, $f_c=$ 64.80, $k=$ 0.45, $j=$ 0.87, $R=$ 10.70)

Properties of steel in wall

20) Diameter of main steel in wall : 19.00
21) Diameter of vertical steel in wall : 19.00
22) Diameter of horizontal steel in wall : 12.00
23) Diameter of main steel in base : 25.00
24) Diameter of temperature steel in base: 19.00



Height of Wall: 4.00
Base Width: 2.00
Base Thickness: 0.40
Ka: 0.3084
Kp: 3.6902
Active earth pressure in horizontal: 4896.86
Active earth pressure in vertical: 3302.97
Moment of Active pressure: 7180.31
Passive earth pressure in horizontal: 7138.36
Passive earth pressure in vertical: 0.00
Moment of Passive Pressure: 2763.91
Dimension of top stem: 0.30
Dimension of base stem: 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Height	Moment	Ph	Pv
0.00	0.75	0.00	0.00
0.20	6.85	71.77	0.00
0.40	30.02	163.28	0.00
0.60	73.48	274.52	0.00
0.80	141.15	405.50	0.00
1.00	236.99	556.21	0.00
1.20	364.95	726.66	0.00
1.40	528.97	916.84	0.00
1.60	733.00	1126.75	0.00
1.80	980.99	1356.40	0.00
2.00	1276.88	1605.78	0.00
2.20	1624.61	1874.90	0.00
2.40	2028.15	2163.75	0.00
2.60	2491.43	2472.34	0.00
2.80	3018.40	2800.66	0.00
3.00	3613.01	3148.72	0.00
3.20	4279.22	3517.50	0.00
3.40	5022.92	3927.82	0.00

Ph=Horizontal Active Earth Pressure on stem

Pv=Vertical Active Earth Pressure on stem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Height of Wall
0.00

0.72

1.44

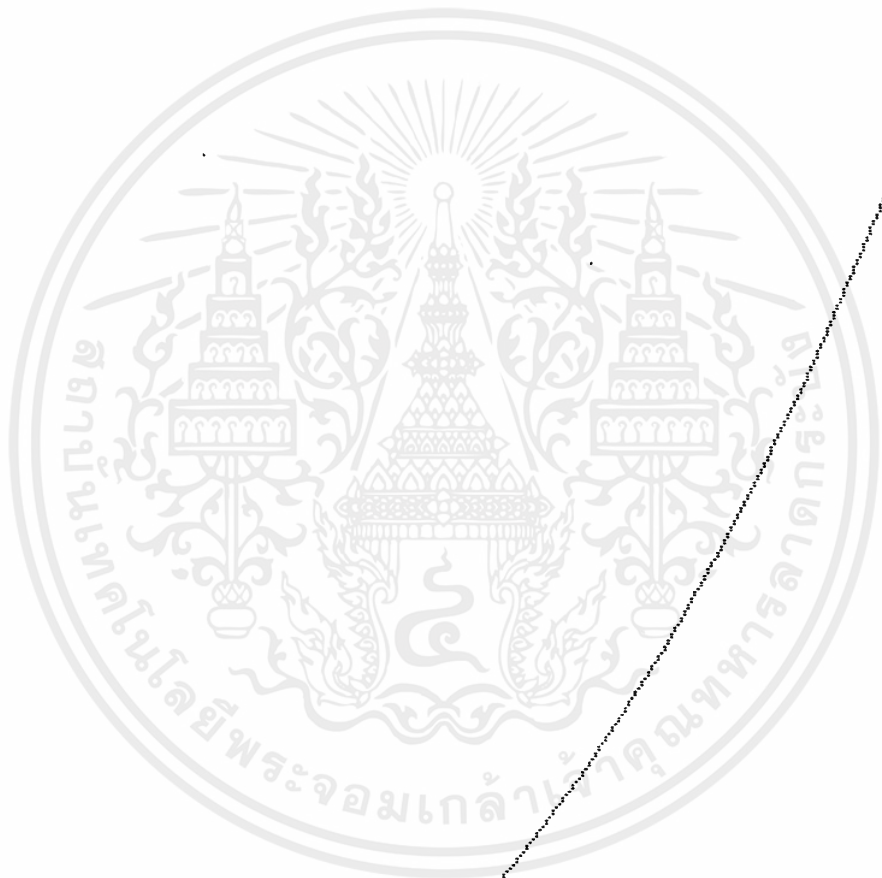
2.16

2.88

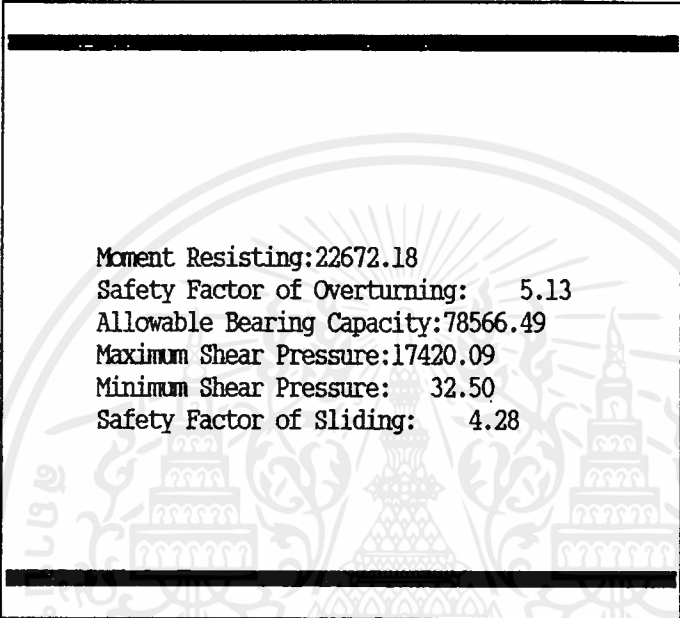
3.60

0 502 1005 1507 2009 2511 3014 3516 4018 4521 5023

Moment

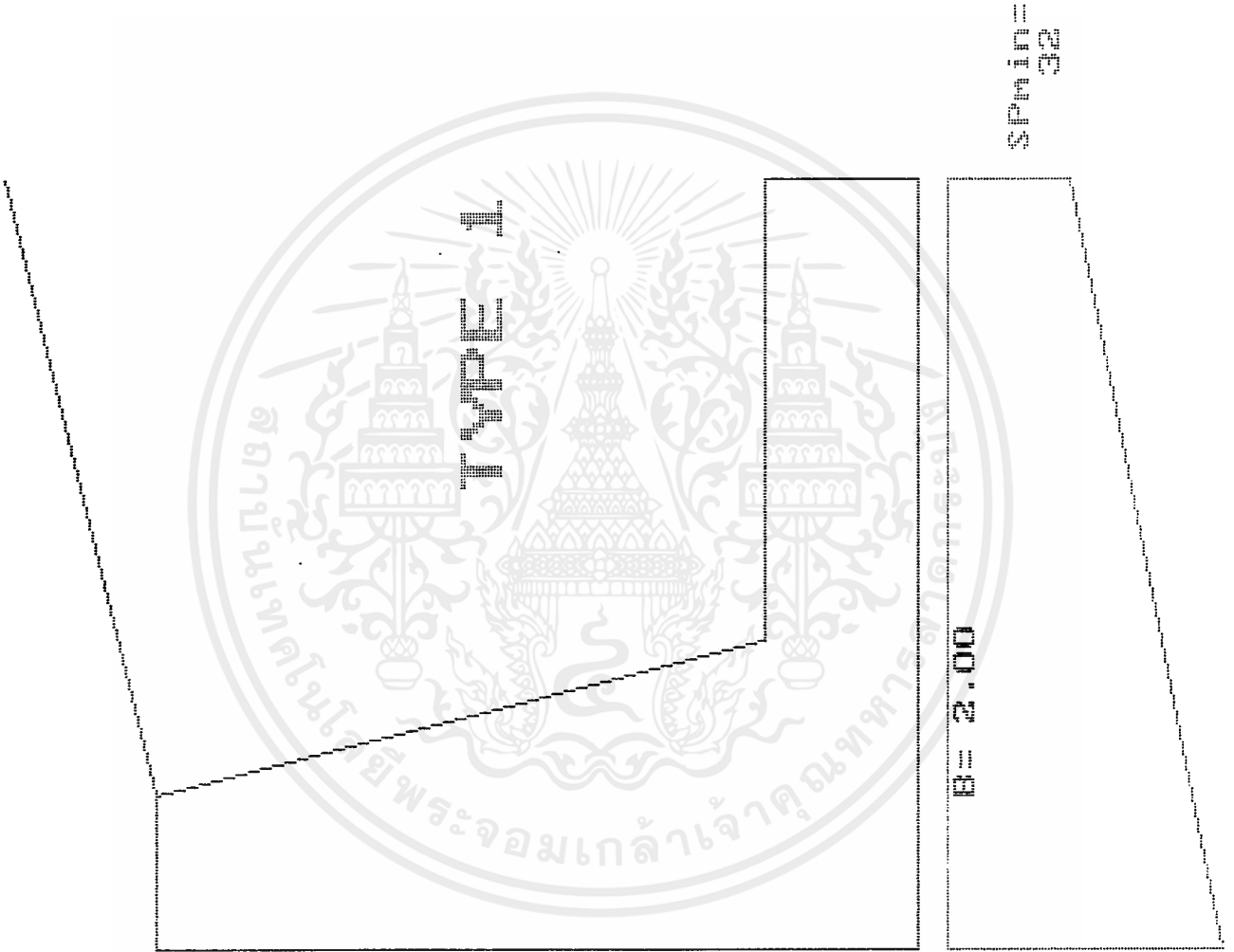


เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Moment Resisting:22672.18
Safety Factor of Overturning: 5.13
Allowable Bearing Capacity:78566.49
Maximum Shear Pressure:17420.09
Minimum Shear Pressure: 32.50
Safety Factor of Sliding: 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

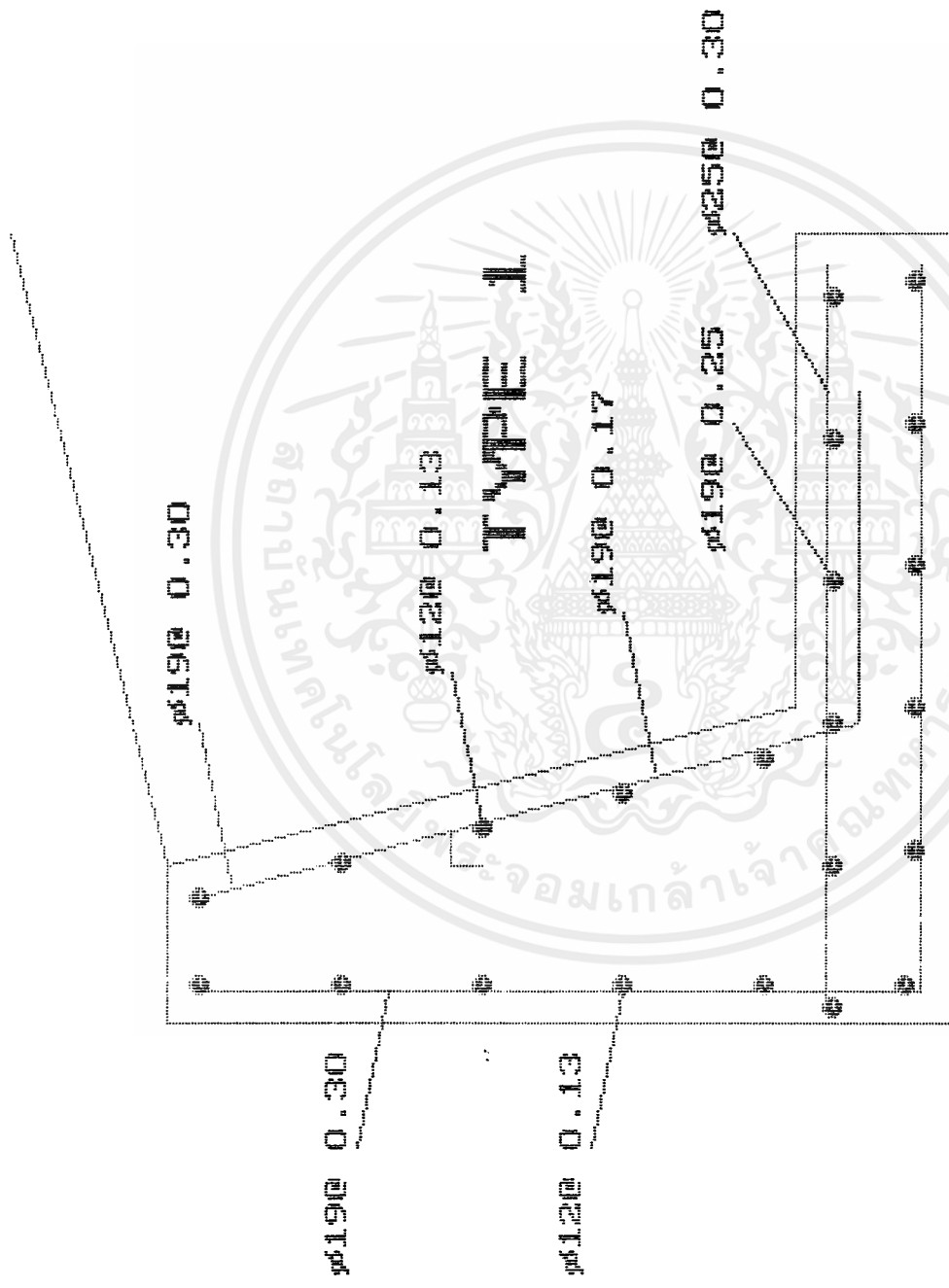


ศูนย์
วิจัย

00-2-81

ศูนย์
วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Height of retaining wall: 4.00 Type: I
 Width of base: 2.00 Active earth pressure: 4896.862
 Thickness of base stem: 0.40 Passive earth bearing capacity: 7138.361
 Thickness of top stem: 0.30 Allowable overturning capacity: 78566.487
 Moment of resistance: 4416.399
 Anchored Length: 0.519
 Moment of resistance: 22672.177

Steel Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wall Version 1.00
by KMITL
For Civil Project

INPUT DATA *****

Properties of wall

1) Case of wall : 2
2) Height of retaining wall : 4.00

Properties of retained material

3) Weight of retained material : 1600.00
4) retained material with horizontal : 5.00
5) internal friction of soil : 34.00
6) Coefficient between wall and soil : 0.00
7) cohesive of soil : 0.00
8) Water level from base : 1.00
9) Weight of submerged soil : 800.00
10) Surcharge load : 1000.00
11) Point load : 500.00

Properties of front material

12) Weight of material : 2000.00
13) Internal friction of soil : 35.00
14) Cohesive of soil : 1200.00

Properties of material under base

15) Weight of material : 2000.00
16) Internal friction of soil : 35.00
17) Cohesive of soil : 1200.00

Properties of material

18) f_c' : 144
19) f_s : 1200
($n=$ 11.25, $f_c=$ 64.80, $k=$ 0.38, $j=$ 0.87, $R=$ 10.70)

Properties of steel in wall

20) Diameter of main steel in wall : 19.00
21) Diameter of vertical steel in wall : 19.00
22) Diameter of horizontal steel in wall : 12.00
23) Diameter of main steel in base : 25.00
24) Diameter of temperature steel in base: 19.00

Height of Wall: 4.00
Base Width: 2.00
Base Thickness: 0.40
Ka: 0.2968
Kp: 3.6902
Active earth pressure in horizontal: 5372.56
Active earth pressure in vertical: 0.00
Moment of Active pressure: 7576.71
Passive earth pressure in horizontal: 7138.36
Passive earth pressure in vertical: 0.00
Moment of Passive Pressure: 2763.91
Dimension of top stem: 0.30
Dimension of base stem: 0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Height	Moment	Ph	Pv
0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	6.59	69.09	0.00
0.40	28.90	157.18	0.00
0.60	70.73	264.27	0.00
0.80	135.88	390.35	0.00
1.00	228.14	535.43	0.00
1.20	351.31	699.51	0.00
1.40	509.21	882.58	0.00
1.60	705.61	1084.65	0.00
1.80	944.33	1305.72	0.00
2.00	1229.17	1545.79	0.00
2.20	1563.91	1804.85	0.00
2.40	1952.37	2082.91	0.00
2.60	2398.34	2379.97	0.00
2.80	2905.63	2696.02	0.00
3.00	3478.02	3031.07	0.00
3.20	4120.34	3400.37	0.00
3.40	4841.47	3819.17	0.00

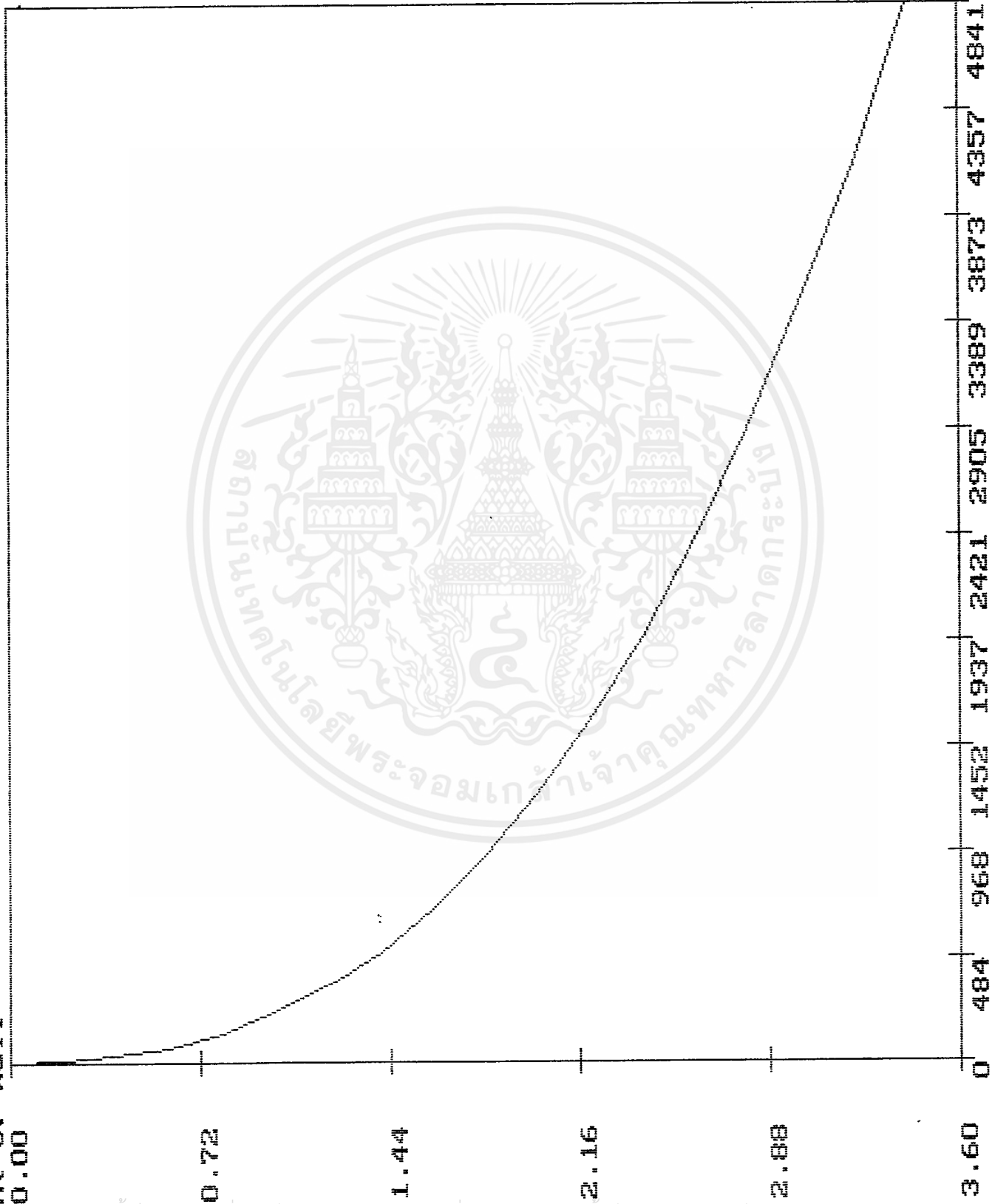
Ph=Horizontal Active Earth Pressure on stem

Pv=Vertical Active Earth Pressure on stem

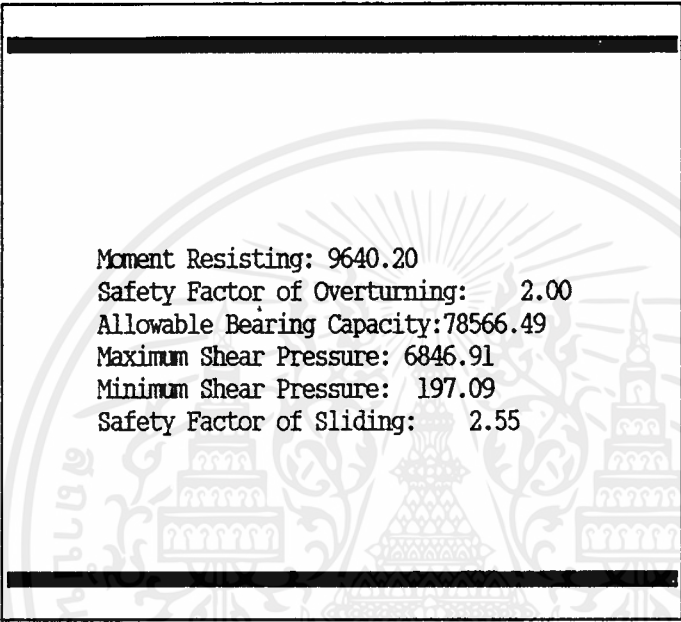
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Moment Diagram

Height of Wall
0.00

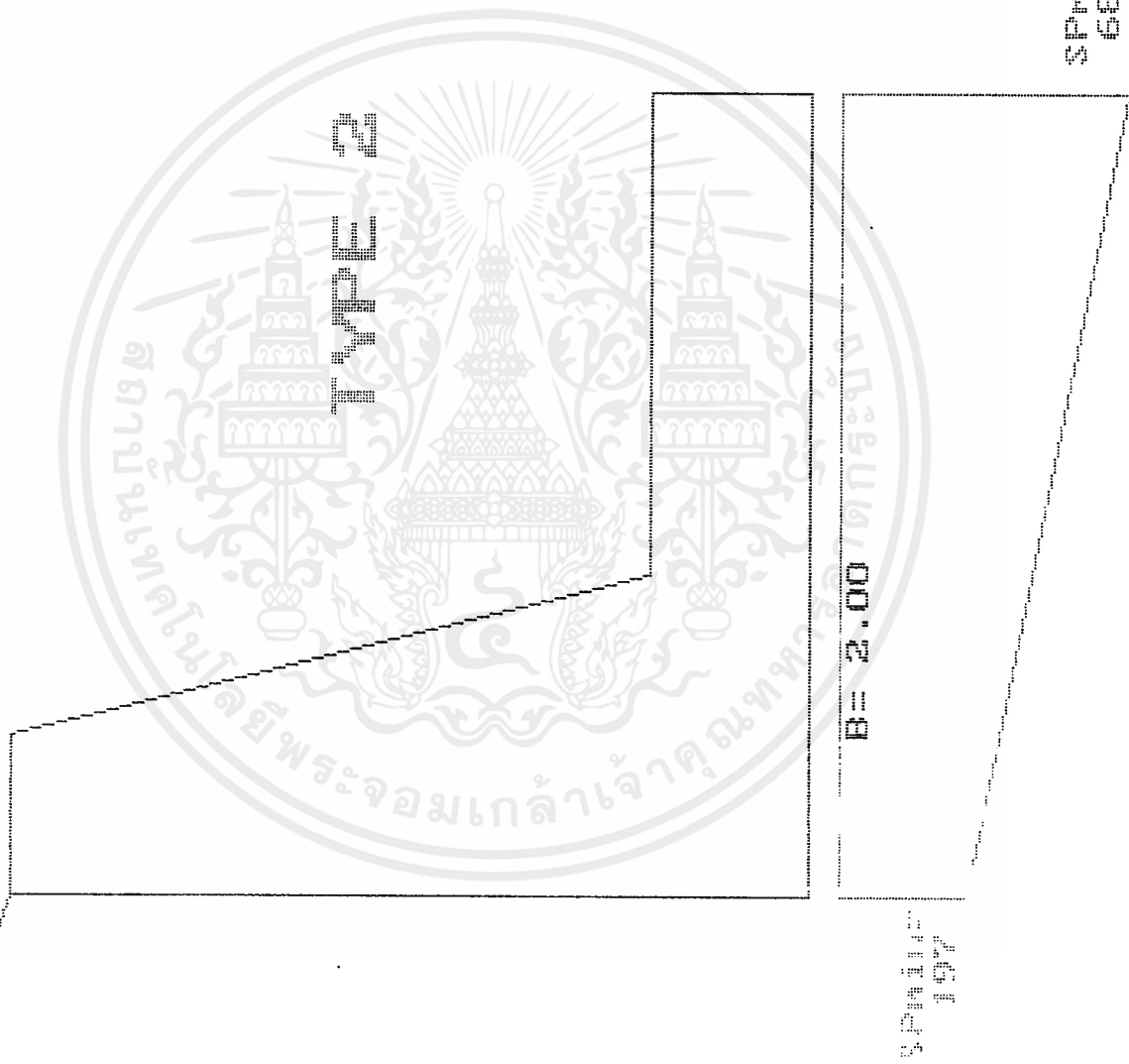


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

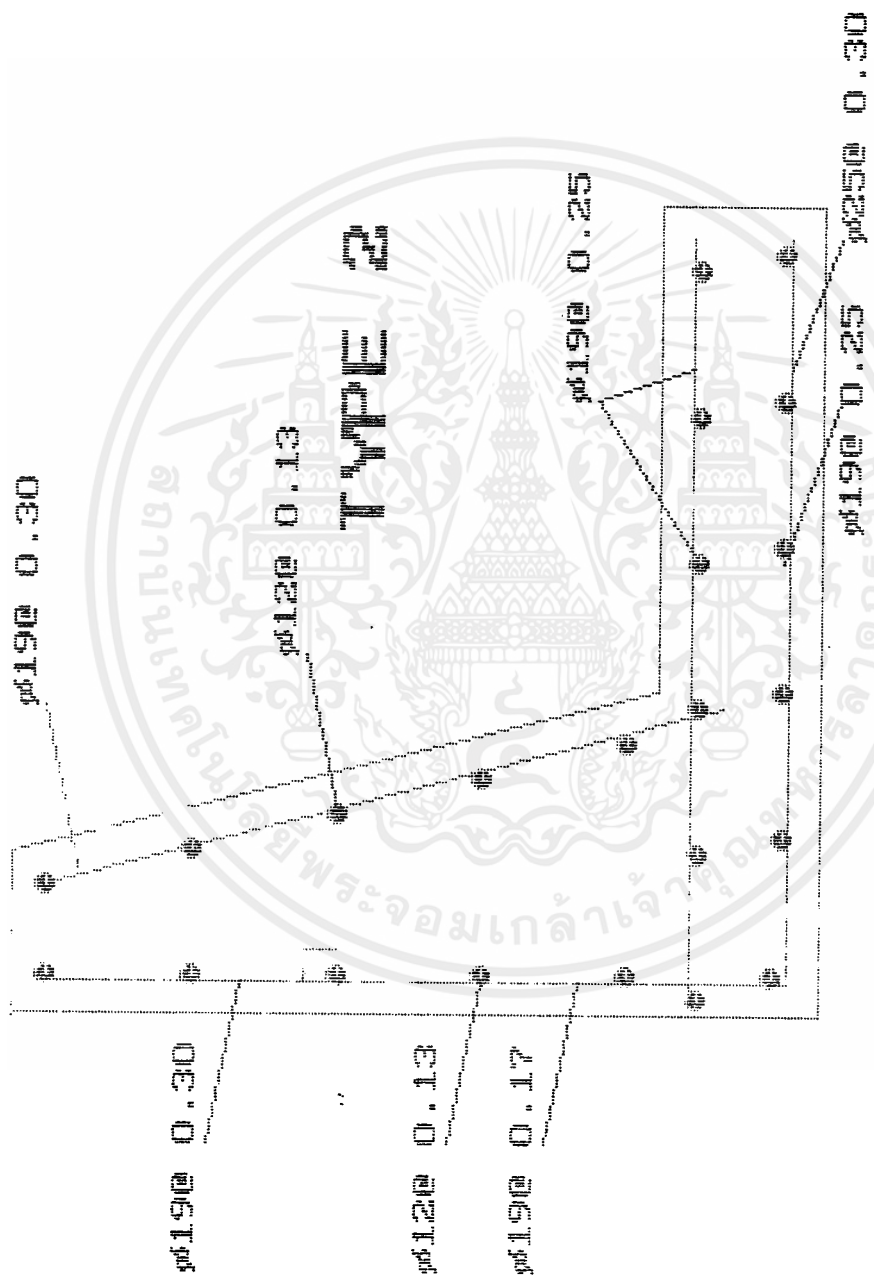


Moment Resisting: 9640.20
Safety Factor of Overturning: 2.00
Allowable Bearing Capacity: 78566.49
Maximum Shear Pressure: 6846.91
Minimum Shear Pressure: 197.09
Safety Factor of Sliding: 2.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Height of retaining wall: 4.00 Type: 2
 Width of base: 2.00

Thickness of base: 0.40
 Thickness of base stem: 0.40
 thickness of top stem: 0.30

Active earth pressure: 5372.556
 Passive earth pressure: 7138.361
 allowable bearing capacity: 78566.487
 Moment of overturning: 4812.805
 Moment of resistance: 9640.200
 Anchored Length: 0.368

Steel Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

โปรแกรมนี้สามารถวิเคราะห์และออกแบบกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กชนิด Cantilever ในรูปแบบของตัว L และตัว T โดยมีลักษณะดินถมต่างกันได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็ว โดยที่จะต้องมีการป้อนข้อมูลของสภาพดินที่ได้จากการเจาะสำรวจจริงและป้อนค่าความสูงของกำแพงกันดินที่ต้องการ ผลที่ได้จะเป็นขนาดที่ปลอดภัยและหน้าตัดด้านสั้นแสดงขนาดเหล็กเสริม โปรแกรมนี้เหมาะที่จะใช้กับกำแพงกันดินที่มีความสูงไม่เกิน 7 เมตร และสามารถแสดงผลเป็น graphic

ส่วนที่ควรปรับปรุงหรือเพิ่มเติมเพื่อให้โปรแกรมนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

1. ตัดแปลงใช้กับกำแพงกันดินที่มีฐานรากเป็นเสาเข็ม
2. เป็นแนวทางในการออกแบบกำแพงกันดินชนิดอื่นที่คล้ายคลึงกัน เช่น กำแพงกันดินแบบ Counterfort และ Butress
3. โปรแกรมไม่ได้กล่าวถึงระยะงอเหล็ก ระยะทาบเหล็ก และหน้าตัดเหล็กตามยาว
4. คิดระยะลดเหล็กในกำแพงเพียง 2 ช่วง
5. ในการคิดระยะห่างของเหล็กเสริมนั้น เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ถ้าจะนำไปใช้จริงต้องมีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพงาน
6. พัฒนาส่วนป้อนข้อมูลให้สะดวกยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- มานะ อภิพัฒนะมนตรี . วิศวกรรมปฐพีและฐานราก . กรุงเทพฯ : บ.ดวงกลมสมัย
จำกัด,พ.ศ. 2533 .
- มณฑิธร กังศศิเทียม . กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม . กรุงเทพฯ : บ.อเมริกันพริน
ติ้งกรุ๊ป จำกัด , พ.ศ. 2533 .
- สนั่น เจริญเฝ้า , ดร.วินิต ช่อวิเชียร . คอนกรีตเสริมเหล็ก . กรุงเทพฯ, พ.ศ. 2530.
ประสงค์ ชาราไชย และคณะ . รายละเอียดเหล็กเสริมงานคอนกรีต . กรุงเทพฯ :
ชมรมวิศวฯ 07 , พ.ศ. 2534 .
- Bowles E.W.. Foundation Analasis and Design . USA : Mc Graw-Hill,
Inc., United State ,1988.
- Gregory P. Tschebotarioff. Foundation retaining and earth
structure . Tokyo : McGraw Hill Kogakusha,Ltd. , 1973.
- Lambe T.W.. Soil Mechanics . Singapore:John Wiley & Sons ,1979.
- Newman Morton. Standard Cantilever Retaining Walls . USA :
McGraw Hill , 1976.
- Nilson A.H.. Design of Concrete Structures . New York : Mc Graw-
Hill , 1988.