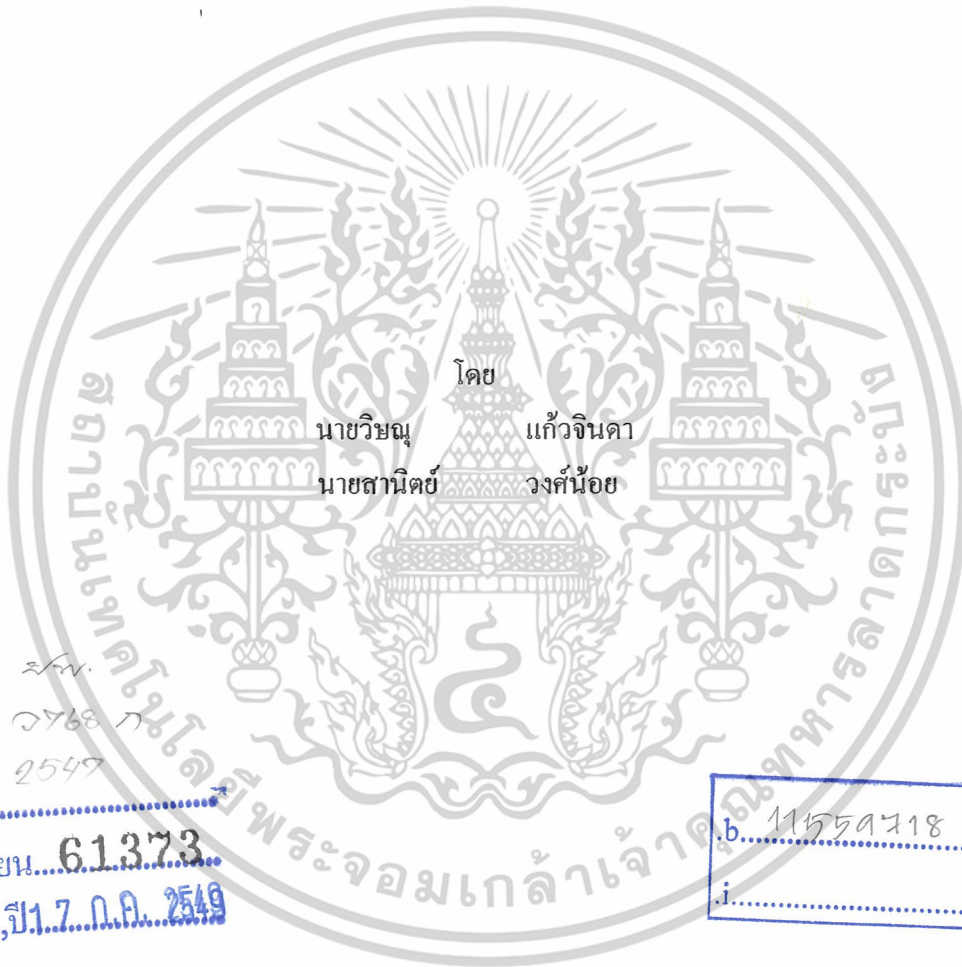


การศึกษาการวิเคราะห์กำแพงกันดินชนิดใช้เสาเข็ม
ANALYSIS OF RETAINING WALL BY USING CANTILEVER PILE



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...61373...
วัน,เดือน,ปี1.7.ค.ศ. 2549

b. 1155๑๖18
j.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF RETAINING WALL BY USING CANTILEVER PILE



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

2004

๒
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการวิเคราะห์กำลังกั้นดินชนิดใช้เสาเข็ม
นักศึกษา นายวิษณุ แก้วจินดา รหัสประจำตัว 44010832
นายสานิตย์ วงศ์น้อย รหัสประจำตัว 44010861
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพุกษ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ. สมเกียรติ ขวัญพุกษ์ รศ.ดร. สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ดร. อูมา สีนุญเรือง อ. อุปะ สิริแก้ว	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(นายสุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 30 เดือน พฤษภาคม พ.ศ.2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ โครงการพิเศษ	การศึกษาการออกแบบกำแพงกันดินชนิดใช้เสาเข็ม	
	ANALYSIS OF RETAINING WALL BY USING CANTILEVER PILE	
นักศึกษา	นายวิษณุ	แก้วจินดา
	นายสานิตย์	วงศ์น้อย
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤษ์	
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	
ปีการศึกษา	2547	

บทคัดย่อ

กำแพงกันดินเป็นโครงสร้างที่ถูกออกแบบและก่อสร้างเพื่อช่วยในการรับการเคลื่อนตัวของดินทางด้านข้าง ตัวกำแพงจะต้องสามารถต้านทานแรงทางด้านข้างเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดิน และรักษาดินให้อยู่ในสภาพคงที่กำแพงกันดินมีหลายชนิดในการเลือกรูปทรงแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับสภาพหน้างานและความสูงรวมทั้งลักษณะทางกายภาพของดินถม

ดังนั้น โปรแกรมการวิเคราะห์นี้จึงแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งวิเคราะห์แรงเนื่องจากน้ำหนักดินแผ่และระดับน้ำใต้ดินที่กระทำกับกำแพงกันดิน ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์โมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในการออกแบบทั่วไปจะต้องคำนึงถึงความแข็งแรงในการรับน้ำหนักบรรทุกโดยไม่เกิดการแตกร้าวหรือพังทลายและมีความปลอดภัย

จากหลักการดังกล่าวจึงได้มีการคิดจัดทำโปรแกรมวิเคราะห์กำแพงกันดินชนิดใช้เสาเข็มเพื่อให้ผู้ใช้สามารถป้อนค่าคุณสมบัติต่างๆของดินและขนาดหน้าตัดของ Sheet Pile เพื่อให้สามารถออกแบบขนาดและได้ตามต้องการและโปรแกรมการวิเคราะห์นี้ทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็วมากขึ้นและป้องกันความผิดพลาดเนื่องจากการคำนวณด้วยมือ โดยโปรแกรมที่ใช้ในการเขียนนี้ใช้ Microsoft Excel เพราะสามารถทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลงหรือพัฒนาต่อไปได้สะดวก

Title : ANALYSIS OF RETAINING WALL BY USING CANTILEVER PILE
Name : MR. WITSANU KAEWJINDA
MR. SANIT WONGNOI
Field : CIVIL ENGINEERING
Department : CIVIL ENGINEERING
Faculty : ENGINEERING
Adviser : MR. SOMKIAT KHWANPRUK

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 type 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. Analyze force on wall attacked by soil , water level is in the first part. The second part is the analyze of moment and shear force to find the suitable for retaining wall.

From the above concept , program of analysis retaining wall is developed. The user can in put the character of soil , cross section of sheet pile and load on soil surface. The result of computing by this program will show dimension of retaining wall. So this will help the designer to be faster in analysis and decrease mistake that compute by hand. Microsoft Excel can edit and develop easily that be used in this project.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาและค้นคว้าโครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความ
กรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพฤษดิ์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษาตลอด

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทวิชา
ความรู้ต่างๆ ให้แก่ข้าพเจ้า

ท้ายที่สุดบุคคลที่ข้าพเจ้ามีอาลัยกล่าวถึงคือผู้ให้กำเนิดและญาติพี่น้องผู้ซึ่งเปิด โอกาส
ให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาเล่าเรียน คอยสนับสนุนทั้งเงินทุน และกำลังใจที่ดีเสมอมาจนประสบความสำเร็จ

นายวิษณุ แก้วจินดา
นายสันติย์ วงศ์น้อย
ผู้ประพันธ์

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอ努มติ	ค
	บทกัถยอภาษาไทย	ง
	บทกัถยอภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฎ
	คำอธิบายสัญลักษณ์	ฏ
1	บทนำ	หน้า
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
	1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิด	2
	1.4 ขอบเขตของโครงการ	2
	1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการ	2
	1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1 ชนิดของกำแพงกันดินที่นิยมใช้ในปัจจุบัน	3
	2.1.1 Gravity-type retaining wall	3
	2.1.2 Cantilever retaining wall	3
	2.1.3 Counterfort retaining wall	4
	2.1.4 Buttress retaining wall	5
	2.1.5 Besement wall	5

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.1.6 Precast Concrete Crib Retaining Walls	5
	2.2 ลักษณะ ชนิดการใช้งาน และพฤติกรรมของ Sheet Pile	12
	2.3 รูปแบบหรือชนิดของ Sheet Pile โดยทั่วไป	13
	2.4 ตัวอย่างการใช้งาน Sheet Pile ในงานก่อสร้างต่างๆ	14
	2.5 พฤติกรรมของตัว Sheet Pile โดยตรง	15
	2.6 พฤติกรรมของแรงดันจากดิน	16
	2.7 ข้อควรระวังในการใช้เทคโนโลยี Sheet pile สำหรับ Bangkok Clay	16
3	ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ	22
	3.1 พฤติกรรมของดินบริเวณผนังกันดิน	22
	3.1.1 แรงดันดินแบบอยู่กับที่ (At rest case)	23
	3.1.2 แรงดันดินเชิงรุก (Active case)	27
	3.1.3 แรงดันดินเชิงรับ (Passive case)	28
	3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับแรงดันทางด้านข้างของดิน	30
	3.2.1 ทฤษฎีของแรงคั้น (Rankin's Theory)	31
	3.2.2 ทฤษฎีของคูลอมบ์ (Coulomb's Theory)	31
	3.2.3 แรงเสียดทานของกำแพงกันดิน (Wall Friction)	31
	3.3 การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมั่น	32
	3.3.1 โดยวิธีของ Rankine (ผิวดินอยู่ในแนวราบ)	32
	3.3.2 โดยวิธีของ Rankine (ผิวดินลาดขึ้น)	33
	3.3.3 โดยวิธีลิมของ Coulomb (ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ)	34
	3.4 การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดที่มีความเชื่อมั่น	36
	3.4.1 โดยวิธีของเบล (Bell's solution)	36
	3.4.2 รอยแตกเนื่องจากแรงดึง (Tension crack)	38
	3.4.3 ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำ	38

๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.5 การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมั่น	39
	3.5.1 โดยวิธีของ Rankine (ผิวดินอยู่ในแนวราบ)	39
	3.5.2 โดยวิธีของ Rankine (ผิวดินลาดชัน)	39
	3.5.3 โดยวิธีของ Coulomb (ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ)	39
	3.6 การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่มีความเชื่อมั่น	41
	3.6.1 โดยวิธีของ Bell	41
	3.7 ข้อเปรียบเทียบทฤษฎีแรงดันดินด้านข้าง	41
	3.8 ข้อกำหนดเกี่ยวกับกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก	42
	3.9 กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (R_u) หาได้	43
4	การวิเคราะห์เสาเข็มกำแพงกันดิน	45
	4.1 วิเคราะห์การออกแบบเสาเข็มกำแพงกันดิน	46
5	การใช้โปรแกรม	52
6	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	59
	บรรณานุกรม	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
3.1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของแรงคั้นดินแบบอยู่กับที่	24
3.2	แสดงค่า δ สำหรับกำแพงชนิดต่างๆ	32
4.1	แสดงค่าแรงเฉือน η ตำแหน่งต่างๆ	50
4.2	แสดงค่าโมเมนต์ η ตำแหน่งต่างๆ	51
5.1	แสดงค่าแรงเฉือน η ตำแหน่งต่างๆ	55
5.2	แสดงค่าโมเมนต์ที่กระทำต่อเสาเข็ม	56



๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	แสดง gravity retaining wall	6
2.2	แสดง cantilever retaining wall	6
2.3	แสดง counterfort retaining wall	7
2.4	แสดง buttress retaining wall	7
2.5	แสดง basement retaining wall	8
2.6	แสดงกำแพงกันดินแบบหล่อสำเร็จรูป	8
2.7	แสดงกำแพงกันดินแบบมีแผงค้ำยัน	9
2.8	แสดงการเสริมเหล็กกำแพงกันดินแบบมีแผงค้ำยัน	10
2.9	แสดงการเสริมเหล็กกำแพงกันดินแบบผนังอื่น	11
2.10	แสดงกำแพงกันดินแบบถ่วงน้ำหนัก	11
2.11	รูปแบบกำแพงริมน้ำนิยมใช้มากที่สุด	17
2.12	แสดงลักษณะดินชั้น Bangkok clay	18
2.13	แสดงลักษณะแรงดันของดินเปรียบเทียบกับระหว่าง Homogeneous soils กับ Bangkok Clay	19
2.14	แสดงการวิบัติของ Sheet Pile	21
3.1	ลักษณะการเคลื่อนที่ของแรงดันดิน	23
3.2	หลักการคำนวณแรงดันด้านข้างในดินที่สภาวะอยู่กับที่ กรณีไม่มีแรงดันน้ำใต้ดินและน้ำหนักบรรทุกภายนอก q	25
3.3	หลักการคำนวณแรงดันด้านข้างในดินที่สภาวะอยู่กับที่ กรณีมีแรงดันน้ำใต้ดินและน้ำหนักบรรทุกภายนอก q	26
3.4	ความดันเชิงรุก (Active earth pressure)	28
3.5	ความดันเชิงรับ (Passive earth pressure)	29
3.6	ขนาดและทิศทางการเคลื่อนตัวเมื่อเกิดแรงดันดินด้านข้างทั้งสามสภาวะ	30
3.7	มุมของแรงเสียดทานของกำแพง	31
3.8	ผิวดินอยู่ในแนวราบ	32
3.9	ผิวดินลาดขึ้น	33

ฉ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.10	ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ	34
3.11	แรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อลิ่มของดิน	36
3.12	การกระจายแรงดันดินชนิดที่มีความเชื่อมั่นด้านหลังกำแพงกันดินที่เป็นแนวตั้ง	37
3.13	แรงต่างๆที่กระทำบนลิ่มของดินและรูปหลายเหลี่ยมของแรง	40
4.1	แสดงแรงดันดินที่มากระทำต่อเสาเข็มกำแพงกันดิน	45
5.1	กราฟแสดงแรงเฉือน ณ จุดต่างๆ	54
5.2	กราฟแสดงโมเมนต์ ณ จุดต่างๆ	55
5.3	กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละระดับน้ำเทียบจาก Dredge line	57
5.4	กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดของแต่ละระดับน้ำเทียบจาก Dredge line	57
5.5	กราฟแสดงความยาวของเสาเข็มที่ใช้ของแต่ละระดับน้ำเทียบจาก Dredge line	58

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

γ	หน่วยน้ำหนักของดิน
γ'	หน่วยน้ำหนักของดินอิ่มตัว
γ_w	หน่วยน้ำหนักของน้ำ
σ_v	แรงดันในแนวตั้ง
σ_{ha}	แรงดันในแนวนอนแบบ Active
p_a	แรงดันในแนวนอนแบบ Active
σ_{hp}	แรงดันในแนวนอนแบบ Passive
p_p	แรงดันในแนวนอนแบบ Passive
K_o	สัมประสิทธิ์แรงดันดินแบบอยู่กับที่
K_a	สัมประสิทธิ์แรงดันดินแบบ Active
K_p	สัมประสิทธิ์แรงดันดินแบบ Passive
P_a	แรงแบบ Active
P_p	แรงแบบ Passive
c	ค่าความเชื่อมแน่นของดิน
ϕ	มุมเสียดทานภายในของดิน
δ	มุมของแรงเสียดทานกำแพง
β	มุมระหว่างลาดของผิวด้านหลังกำแพงกันดินทำกับแนวนราบ
θ	มุมระหว่างด้านหลังกำแพงกันดินทำกับแนวนราบ
M	โมเมนต์ตัด

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กำแพงกันดินเป็น โครงสร้างที่ถูกออกแบบและก่อสร้างเพื่อช่วยในการรับการเคลื่อนตัวของดินทางด้านข้าง ตัวกำแพงจะต้องสามารถต้านทานแรงทางด้านข้างเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดินและรักษาดินให้อยู่ในสภาพคงที่ กำแพงกันดินมีหลายชนิดในการเลือกรูปทรงแต่ลักษณะจะขึ้นกับสภาพของหน้างาน วัสดุที่ทำได้ ความสามารถในการรับแรงของดิน ความประหยัดในการก่อสร้างและความสูงรวมทั้งลักษณะทางกายภาพของดิน

โดยปกติการออกแบบกำแพงกันดินจะต้องมีการสำรวจดินบริเวณนั้นเพื่อทราบคุณสมบัติของดินในการรับแรงอันเนื่องมาจาก โครงสร้างและน้ำหนักที่อยู่เหนือผิวดินขึ้นไปรวมทั้งคุณสมบัติของดินมในการทำให้เกิดแรงดันด้านข้างกระทำต่อกำแพงกันดิน ซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์โมเมนต์และแรงดันทางด้านข้างเพื่อให้ทราบขนาดของ โครงสร้างที่ปลอดภัยในการรับแรงได้ทั้งนี้จะต้องอาศัยทฤษฎีแรงดันด้านข้างของดิน

กำแพงกันดิน โดยใช้เสาเข็มเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ในการออกแบบซึ่งง่ายและรวดเร็วในการก่อสร้าง แต่ในปัจจุบันยังไม่มีการผลิต โปรแกรมที่สามารถคำนวณและออกแบบกำแพงกันดิน โดยใช้เสาเข็มที่แพร่หลาย จึงได้มีการคิดจัดทำ โปรแกรมการออกแบบกำแพงกันดิน โดยใช้เสาเข็ม เพื่อให้ผู้ใช้สามารถป้อนค่าคุณสมบัติต่างๆของดินและประมวลผลออกมาเพื่อนำไปใช้งานจริง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อทำโปรแกรมซอฟต์แวร์สำหรับช่วยวิศวกรในการออกแบบกำแพงกันดินชนิดใช้เสาเข็มได้ในเวลาอันสั้นและถูกต้องตามหลักการทาง Soil Mechanics
2. รวบรวมองค์ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบกำแพงกันดินชนิดใช้เสาเข็ม

1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิด

1. ทฤษฎีและการวิเคราะห์ที่แรงดันดินด้านข้างทั้งแบบ Active และ Passive
2. ทฤษฎีการรับโมเมนต์ค้ำของเสาเข็ม
3. พารามิเตอร์ของแรงดันน้ำ

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1. คำนวณแรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดิน
2. คำนวณความสามารถในการรับน้ำหนักและ โมเมนต์ค้ำของเสาเข็ม
3. คำนวณการรับแรงของผนังกำแพงกันดินเนื่องจากแรงดันดิน
4. คำนวณและแสดงผลด้วยโปรแกรม Excel
5. วิเคราะห์การออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง

1.5 วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาค้นคว้าการออกแบบกำแพงกันดินชนิดใช้เสาเข็ม
2. ศึกษาทฤษฎีและพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อการออกแบบกำแพงกันดิน
3. ศึกษาพฤติกรรมกรรับแรงที่มากระทำต่อเสาเข็ม
4. นำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์หาคำนวณ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นประโยชน์ต่อวิศวกร นักศึกษาและผู้สนใจที่จะนำไปใช้ในการออกแบบกำแพงกันดินชนิดใช้เสาเข็ม
2. ช่วยประหยัดเวลาและป้องกันความผิดพลาดในการคำนวณออกแบบกำแพงกันดินชนิดใช้เสาเข็ม

ใช้งานเพราะค้ำในแง่การก่อสร้างและประหยัดค่าก่อสร้างมากกว่า โดยเฉพาะกรณีที่มีความแตกต่างของระดับดินสูงและกำแพงแบบนี้เหมาะกับระดับความสูงตั้งแต่ 1.2- 6 เมตร

กำแพงที่แข็งแรงจำเป็นต้องมีส่วนของฐานกับความสูง(H) ที่เหมาะสมคือ ความกว้างของฐานควรถู้อยู่ระหว่าง $H/2$ ถึง $2H/3$ ส่วนโคนกำแพงและฐานกำแพงควรรวมเท่ากัน และมีความหนา ระหว่าง $H/8$ ถึง $H/12$ ส่วนบนสุดของกำแพงควรมีความหนา ระหว่าง $H/20$ ถึง $H/24$

กำแพงที่มีความสูงไม่มากและไม่ต้องขุดดินด้านหลังกำแพงออกควรใช้กำแพงกันดินผนังขึ้นรูปตัวแอล (L) แต่หากระดับของดินสูงมากต้องสร้างกำแพงแบบรูปตัวทีคว่ำ (T) ซึ่งจำเป็นต้องขุดดินด้านหลังกำแพงออกเพื่อสร้างฐานด้านหลังกำแพงซึ่งช่วยป้องกันการพลิกคว่ำ (Overturning) และเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงดันดินควรสร้างฐานกำแพงประมาณ $2/3$ ส่วนอยู่ด้านหลังกำแพงซึ่งถูกฝังอยู่ในดิน

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 invert T-shaped จะเป็นรูปร่างที่ประหยัดเนื่องจากสามารถขยายขนาด toe ผ่านผิวหน้าของกำแพงได้แต่ Property Line ก็เหมาะที่จะใช้เมื่อพื้นที่จำกัดหรือติดเขตที่ดินข้างที่ไม่สามารถขยาย toe หรือ heel ได้ข้อดีคือถ้าเป็นชนิดที่ soil over footing น้ำหนักดินถมจะช่วยต้านทานการพลิกคว่ำและการเลื่อนไถล

2.1.3 Counterfort retaining wall (รูปที่ 2.3) กำแพงกันดินชนิดนี้คัดแปลงมาจาก Cantilever retaining wall แต่แตกต่างกันที่ส่วนของกำแพงและฐานรากจะทำหน้าที่เสมือน one - way slab และตัวค้ำรับจะรับแรงดึง

กำแพงกันดินแบบมีแผงค้ำยัน (Counterfort retaining wall) เป็นกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ออกแบบให้มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยการสร้างแผงค้ำยันคอนกรีตเสริมเหล็กรูปทรงสามเหลี่ยมด้านหน้าหรือด้านหลังกำแพง ซึ่งเหมาะกับความสูงที่มากกว่า 4.50 เมตรเพราะหากเลือกใช้กำแพงกันดินแบบผนังขึ้นกำแพงต้องหนามากและไม่ประหยัดกำแพงกันดินแบบมีผนังค้ำยันจึงสามารถลดโครงสร้างลงได้มาก

แผงค้ำยันทำหน้าที่รับแรงดันดินเชิงรุกที่ถ่ายมาจากผนังกำแพงและเป็นฐานรองรับผนังกำแพงกันดิน ผนังกำแพงกันดินจะถ่ายแรงให้แผงค้ำยันที่ก่อสร้างเป็นช่วงๆตั้งนั้น

เหล็กเสริมหลัก (Main Steel) ของผนังกำแพงและฐานกำแพงไม่เป็นแนวตั้งเหมือนกำแพงผนังขึ้น แต่จัดวางในแนวราบ (Horizontal) และป้องกันการแตกร้าววางเสริมในแนวตั้ง

2.1.4 Butress retaining wall (รูปที่ 2.4) กำแพงกันดินชนิดนี้ใช้หลักการเช่นเดียวกับกับ Counterfort retaining wall เพียงแต่ตัวรับจะทำหน้าที่รับแรงอัด

ทั้ง Counterfort retaining wall และ Butress retaining wall จะใช้เมื่อต้องการให้ดินถมมีความสูงมากกว่าที่ Cantilever จะรับได้เพราะจะสามารถลดความหนาของตัวผนังลงแต่ค่าประกอบแบบและแรงงานจะต้องนำมาพิจารณาด้วย

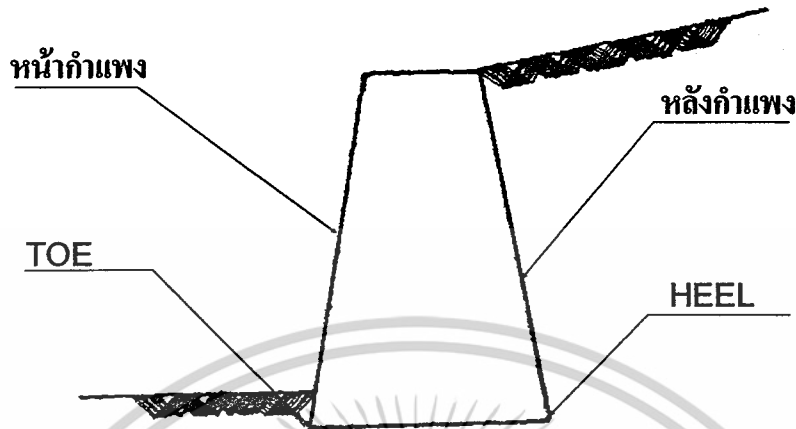
2.1.5 Besement wall (รูปที่ 2.5) วัสดุที่ใช้ อาจจะเป็นอิฐก่อหรือคอนกรีตซึ่งขึ้นกับความสูงของกำแพง ปริมาณดินถม และความสามารถในการรับแรง axial หรือ Surchage load ตัวกำแพงออกแบบเป็น one-way slab ในการวิเคราะห์โครงสร้างต้องพิจารณาถึง axial และ bending stress ในหน้าตัดที่มี maximum stress โดยตัวพื้นคอนกรีตที่บนสุดผนังและฐานราก จะต้องสามารถรับแรงด้านข้างที่เกิดจากดินถมได้ ดังนั้นในการก่อสร้างจะต้องให้โครงสร้างมีความแข็งแรงจนถึง working stress ก่อนที่จะถมดินกลับหรือมิฉะนั้นจะต้องมีการค้ำยันเพื่อป้องกันการเสียหายของโครงสร้าง

2.1.6 Precast Concrete Crib Retaining Walls (รูปที่ 2.6) กำแพงกันดินแบบหล่อสำเร็จรูปเป็นกำแพงกันดินที่หล่อขึ้นส่วนคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปมาจากโรงงาน แล้วนำมาประกอบติดตั้งยังสถานที่ก่อสร้าง เป็นกำแพงกันดินที่ออกแบบตามหลักการของกำแพงกันดินแบบผนังขึ้น ควบคุมการอยางดีมาจากโรงงาน เนื่องจากในโรงงานสามารถหล่อคอนกรีตได้เป็นจำนวนมากในคราวเดียวกันจึงทำให้ประหยัดค่าแบบหล่อได้มาก ลดระยะเวลาการบ่มคอนกรีต และนำไปประกอบติดตั้งยังสถานที่ก่อสร้างได้ทันที ทำให้ลดระยะเวลาและค่าก่อสร้างในพื้นที่ได้มาก ทั้งนี้ต้องหล่อฐานคอนกรีตในพื้นที่ก่อสร้างให้ได้ขนาดและระดับให้ถูกต้อง ก่อนการนำผนังสำเร็จรูปไปประกอบ อนึ่ง การออกแบบรอยต่อกำแพงจากโรงงานที่ดี สามารถป้องกันการไหลของดินได้ดีและสวยงามเรียบร้อย

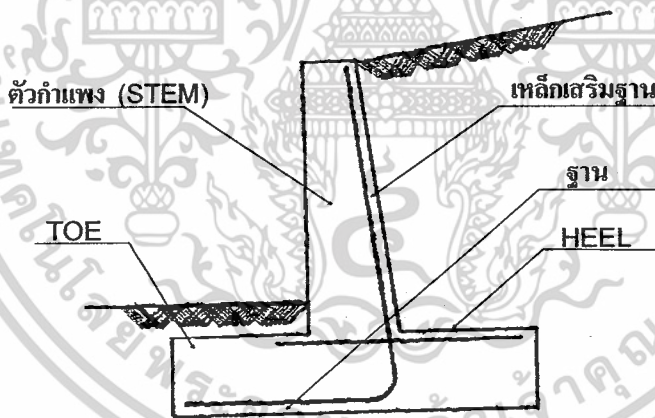
กำแพงกันดินแบบคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

1. แบบหล่อสำเร็จรูป (Precast Concrete Retaining Walls) เป็นการหล่อกำแพงขึ้นสั้นๆและนำมาวางเรียงต่อกันจนได้ระยะทางตามต้องการ
2. แบบประกอบขึ้นส่วน (Precast Concrete Crib Retaining Walls) เป็นการหล่อแท่งคอนกรีตเป็นชิ้นๆนำมาประกอบเข้าด้วยกันด้วยสลัก (Dowels) ให้มีรูปร่างคล้ายกล่องและเติมวัสดุที่คุณสมบัติระบายน้ำได้ดี เช่น หิน กรวด ทราย ภายในกำแพง และควรวางให้ด้านหน้า

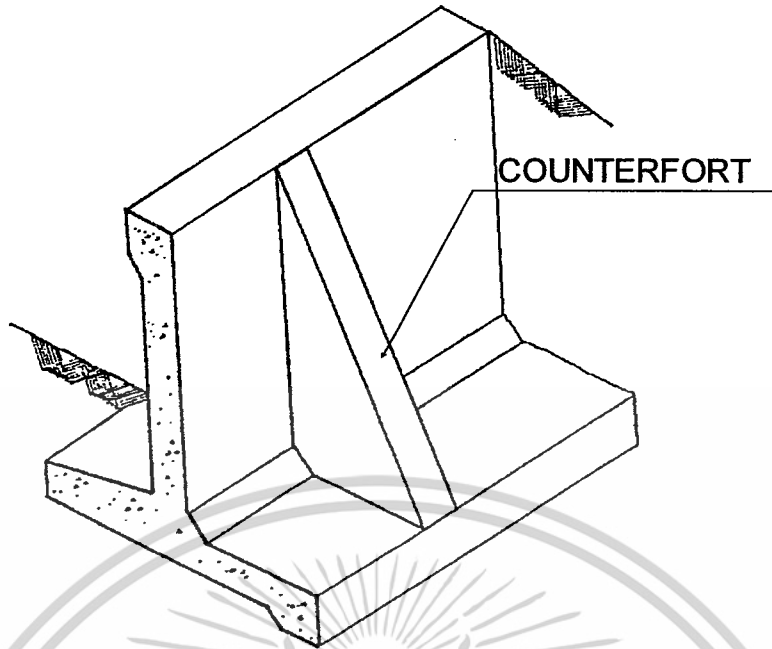
กำแพงลาดเอียงเล็กน้อยประมาณ 1:6 ถึง 1:8 กำแพงชนิดนี้ประหยัดค่าคอนกรีตมาก มีลักษณะคล้ายกำแพงกันดินแบบน้ำหนักถ่วง แต่ทำการก่อสร้างได้เร็วมาก



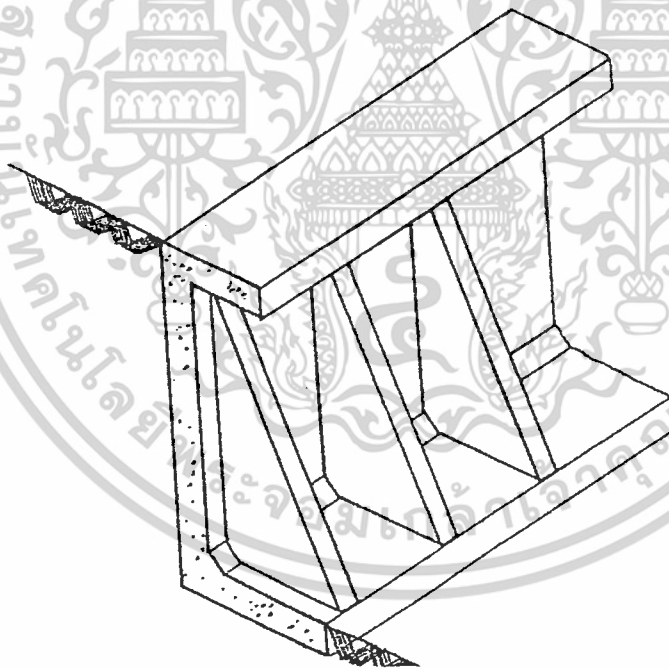
รูปที่ 2.1
แสดง gravity retaining wall



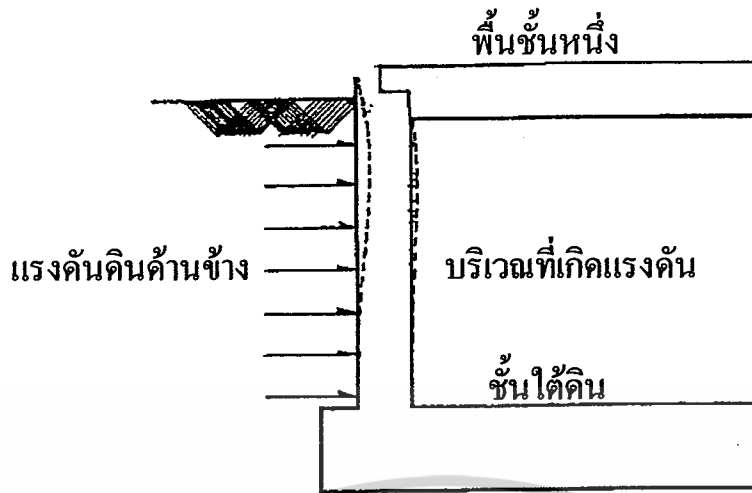
รูปที่ 2.2
แสดง cantilever retaining wall



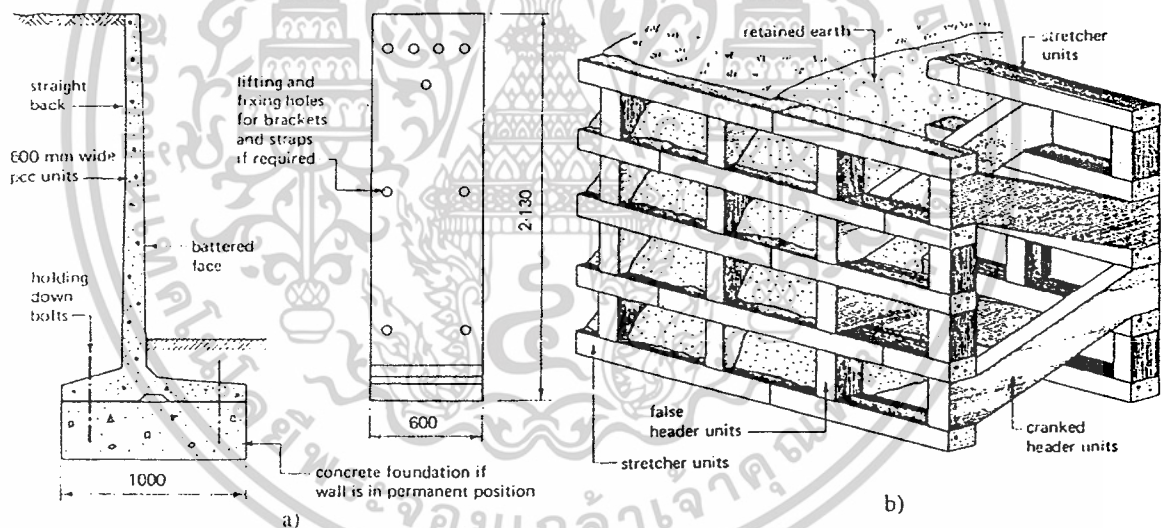
รูปที่ 2.3
แสดง counterfort retaining wall



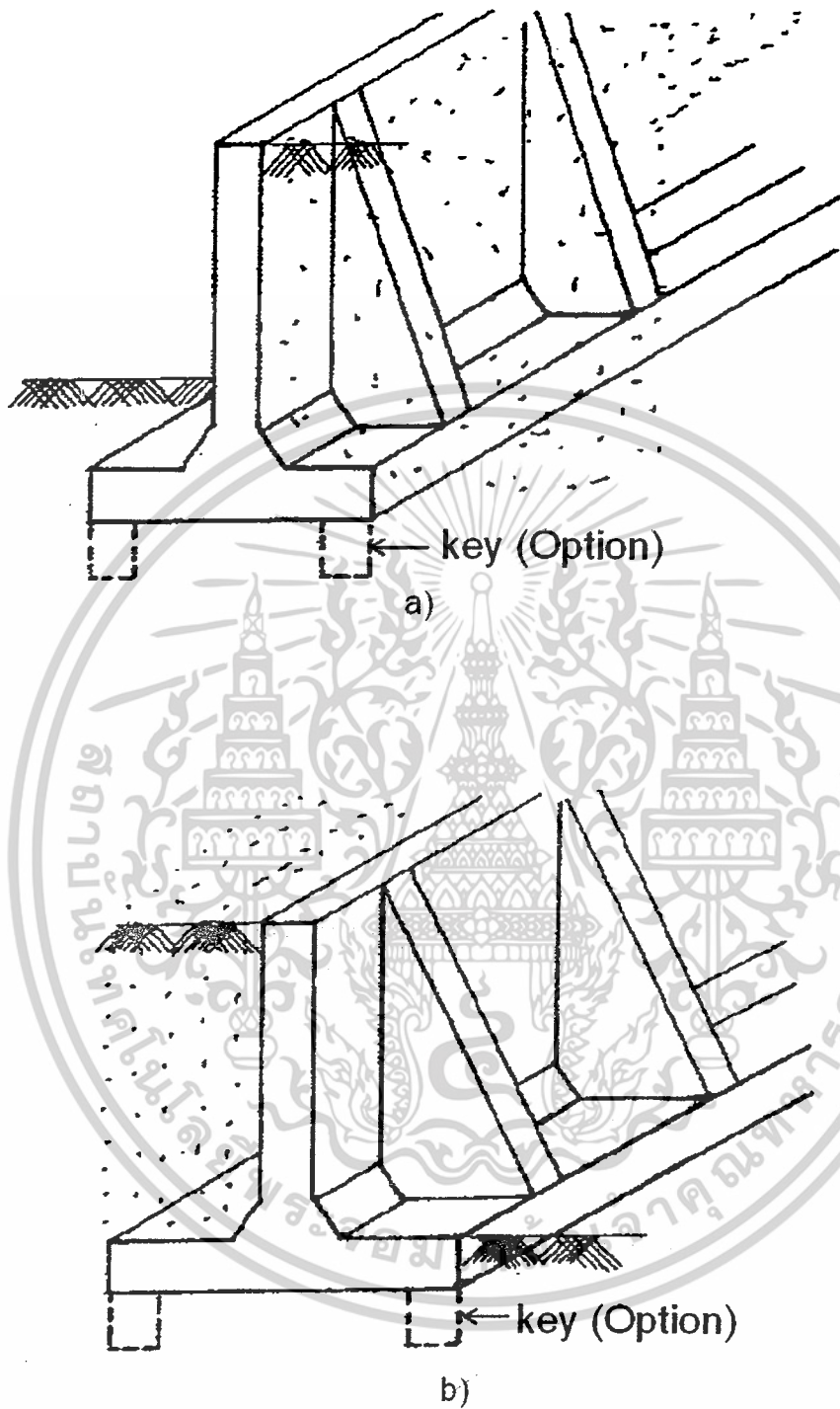
รูปที่ 2.4
แสดง buttress retaining wall



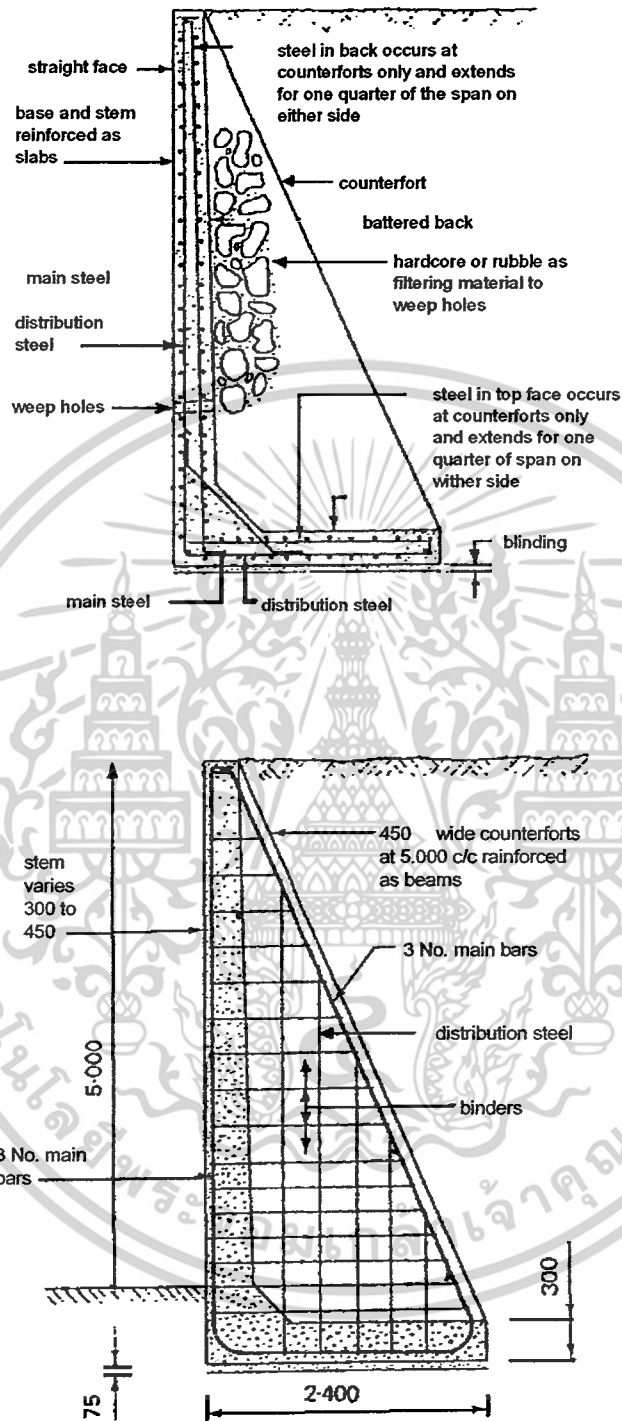
รูปที่ 2.5
แสดง basement retaining wall



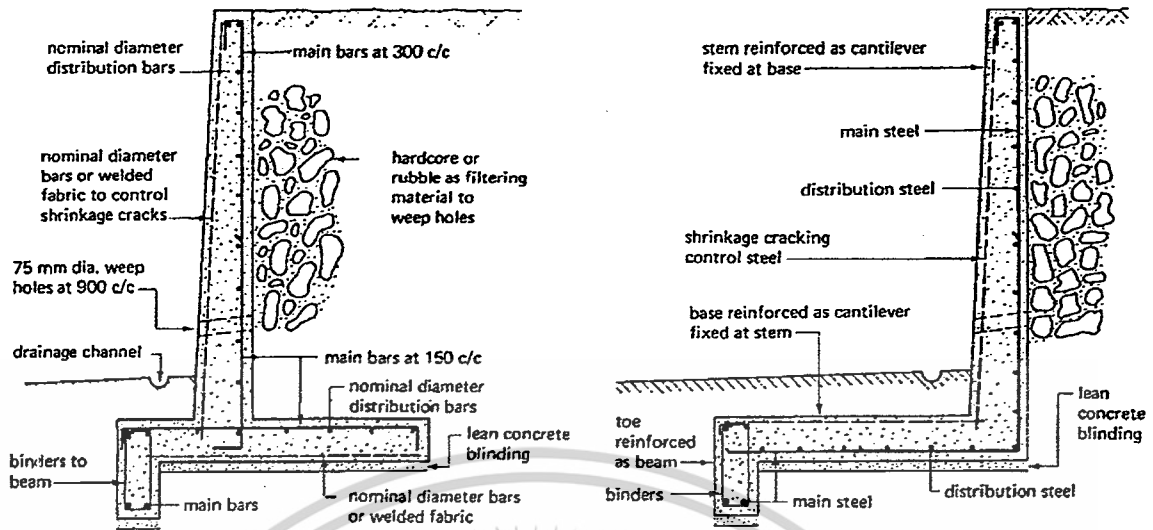
รูปที่ 2.6 กำแพงกันดินแบบหล่อสำเร็จรูป a) แบบหล่อสำเร็จรูป b) แบบประกอบชิ้นส่วน



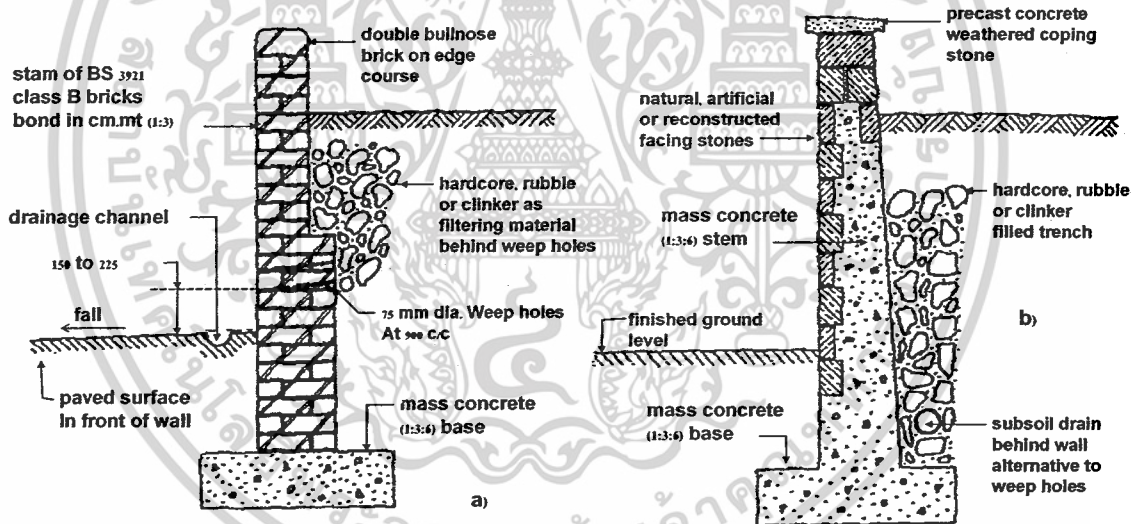
รูปที่ 2.7 กำแพงกันดินแบบมีแผงค้ำยัน a) ค้ำยันด้านหลังกำแพง b) ค้ำยันด้านหน้ากำแพง



รูปที่ 2.8 แสดงการเสริมเหล็กกำแพงกันดินแบบมีแผงค้ำยัน a) ผนังและฐานกำแพง b) แผงค้ำยัน



รูปที่ 2.9 แสดงการเสริมเหล็กกำแพงกันดินแบบผนังยื่น



รูปที่ 2.10 กำแพงกันดินแบบถ่วงน้ำหนัก a) กำแพงกันดินก่อด้วยอิฐ b) กำแพงกันดินคอนกรีต

2.2 ลักษณะ ชนิดการใช้งาน และพฤติกรรมของ Sheet Pile

Sheet Pile ในทางวิศวกรรมโยธามีความหมายค่อนข้างจะกว้างและความหมายของ Sheet Pile นั้นถูกจำกัดไว้ในระหว่างความหมายของเสาเข็ม และความหมายของ Retaining Wall คำจำกัดความของ Sheet Pile หากจะเขียนให้เข้าใจความที่ค่อนข้างจะสมบูรณ์ และกระจ่างชัดจำเป็นจะต้องแยกออกไปในแง่มุมต่าง ๆ

1. รูปร่างทางกายภาพ

Sheet Pile คือ แผ่นที่มีรูปร่างบางและยาว บางแบบคล้ายเสาเข็มมาก บางแบบก็เป็นแผ่นผืนขนาดใหญ่ แบบหลังนี้มักเป็นประเภทที่จัดทำขึ้น ณ ที่ก่อสร้าง

2. วัสดุ

Sheet Pile อาจทำด้วยวัสดุอะไรก็ได้ แต่ที่นิยมใช้กันมากในสังคมทั่ว ๆ ไป ทำด้วยเหล็ก คอนกรีต ไม้ และดิน

3. การทำ

Sheet pile มีเป็นเหล็กและไม้ ส่วนใหญ่ทำเป็นชิ้นสำเร็จ (prefabricate element) แล้ว ส่วนที่เป็นคอนกรีตอาจมีทั้งแบบที่เป็นชิ้นสำเร็จแล้ว และแบบที่นำมาหล่อ ณ สถานที่ใช้งาน สำหรับ Sheet Pile ที่ทำด้วยดิน และ slurry ส่วนใหญ่มักจะเป็นการนำมาทำ ณ ที่ก่อสร้าง

4. การใช้งาน

Sheet Pile ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับด้านแรงดันด้านข้างของดิน และน้ำหรือป้องกันการไหลผ่านของน้ำในแนวนอน อย่างไรก็ตามในบางกรณีก็ใช้รับแรงตามแนวฉาก กับหน้าตัดของ Sheet Pile ด้วย

การใช้งานของ Sheet Pile จะคล้ายคลึงกับกำแพงกันดินและเสาเข็ม แต่ไม่เหมือนกันเลยทีเดียว ลักษณะการใช้งานของ Sheet Pile ถือว่ามีลักษณะอยู่ระหว่างการใช้งานของเสาเข็มและกำแพงกันดิน โดยที่ Sheet Pile จะคล้ายเสาเข็ม กรณีที่มีแรงกระทำตามแนวตั้งฉากกับหน้าตัดของ Sheet Pile และจะคล้ายกำแพงกันดินในกรณีที่มีแรงดันด้านข้าง หรือแรงกระทำในแนวนอนมากกระทำนอกจากนี้ Sheet Pile ยังต่างจากเสาเข็มและกำแพงกันดิน ตรงลักษณะของการประกอบเข้ากับดิน โดยที่ Sheet Pile แตกต่างกับเสาเข็มตรงที่เสาเข็มยังจมอยู่ในดินทั้งหมด และวางอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน ส่วน Sheet Pile มักถูกจัดทำให้วางต่อเนื่องกันเป็นพืด และมีหลายกรณีที่จะมีหน้าที่ส่วนหนึ่งสัมผัสกับอากาศ ส่วนข้อแตกต่างระหว่าง Sheet Pile กับกำแพงกันดินในแง่

ของลักษณะการประกอบเข้ากับดินก็คือ Sheet Pile จะมีส่วนหนึ่งของแผ่นจมอยู่ใต้ดินระดับลึก โดยที่กำแพงกันดินมักจะมีส่วนรองอยู่ต่อนบน

5. การรับแรง

Sheet Pile ส่วนใหญ่จะต้องมีความสามารถในการรับแรงคัต อันเกิดจากแรงดันด้านข้าง โดยที่มีเฉพาะบางกรณีที่ออกแบบให้สามารถรับแรงในแนวตั้งฉากกับหน้าตัดของ Sheet Pile พร้อมไปด้วย

6. ความอ่อนตัว

Sheet Pile ที่ใช้สำหรับโครงสร้างชั่วคราวมักมีความอ่อนตัวสูงกว่า Sheet Pile ที่ใช้เป็นโครงสร้างถาวร แต่อย่างไรก็ตาม Sheet Pile ก็มักจะมีความอ่อนตัวสูงกว่ากำแพงกันดินเสมอ

2.3 รูปแบบหรือชนิดของ Sheet Pile โดยทั่วไป

ในปัจจุบัน Sheet Pile ได้รับการพัฒนาการทั้งในด้านรูปแบบออกไปอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานซึ่งมีเพิ่มมากขึ้น ในปัจจุบันตามการเปลี่ยนแปลงทางวัฒนธรรมของมนุษย์ในแต่ละเผ่าพันธุ์และเชื้อชาติ การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบต่างๆ นอกจากจะให้สอดคล้องกับวัฒนธรรมแล้ว ยังได้รับแรงผลักดันจากวิวัฒนาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ และข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรสิ่งแวดล้อมประกอบกัน

เนื่องจากวิวัฒนาการของ Sheet Pile ขยายตัวออกไปอย่างกว้างขวาง ทำให้สามารถแบ่งชนิดของ Sheet Pile ที่มีอยู่ในปัจจุบันออกได้ในหลายแบบ ซึ่งแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ

1. Sheet Pile เหล็ก เป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีข้อดีกว่าวัสดุอื่นๆคือ
 1. ต้านทานต่อแรงที่เกิดจากการตอกได้สูง
 2. สามารถใช้หลายครั้ง
 3. มีน้ำหนักเบา
 4. มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทั้งการใช้งานที่อยู่เหนือ และใต้ระดับน้ำใต้ดิน
 5. สามารถจะเพิ่มความยาวได้ง่าย โดยการต่อแบบต่อเชื่อมหรือใช้ bolt

2. Sheet Pile คอนกรีต

Sheet Pile คอนกรีต มักจะสร้างเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปซึ่งมีลิ้นและร่องสำหรับใช้ต่อกันระหว่างชิ้นส่วน Sheet Pile คอนกรีตนี้จะมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก เมื่อตอกลงไปบนดินจึงไปแทนที่ดินเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีแรงต้านทานในการตอกมาก ทำให้ตอกได้ยากดังนั้นการใช้งานจะเลือกใช้งานที่เหมาะสม Sheet Pile คอนกรีตสามารถใช้เป็นโครงสร้างที่กันน้ำได้โดยทำ ความสะอาดและ Grouting ที่ joint หลังจากตอกเสร็จแล้ว แต่อย่างไรก็ตามจะต้องทำ Expansion joints ตลอดแนวของกำแพงด้วย

3. Sheet Pile ไม้

Sheet Pile ไม้ ใช้กับการขุดที่มีความลึกไม่มากนักคือ อยู่ในช่วง 0-3 เมตร Sheet Pile ไม้ มักจะใช้ในงานที่เป็น โครงสร้างชั่วคราว เช่น ใช้กันดินฝั่งในการทำทางนี้หรือว่าวาง ท่อระบายน้ำ ถ้าจะใช้ Sheet Pile ไม้เป็นโครงสร้างถาวรที่อยู่เหนือระดับน้ำได้ดินจะต้องมีการ เคลื่อนย้ายเคมีเพื่อป้องกันไม้ผุก่อน ซึ่งอาจทำให้การใช้งานมีมากถึง 10-15 ปี

2.4 ตัวอย่างการใช้งาน Sheet Pile ในงานก่อสร้างต่างๆ

ตัวอย่างของการนำไปใช้งานก่อสร้างต่างๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน แบ่งตามลักษณะของ งานก่อสร้าง พอที่จะยกมาแสดงไว้ ณ ที่นี้ จะเห็นได้ว่า Sheet Pile มีบทบาทต่องานก่อสร้าง กว้างขวางออกไปอย่างมาก กล่าวคือสามารถใช้ได้กับงานก่อสร้างสำคัญๆ หลายประเภทตามที่ได้ กล่าวมาแล้วตอนต้นของหัวข้อนี้ ตัวอย่างการใช้งานของ Sheet Pile ที่แสดงมาในรูปนี้มีสำหรับใช้ งานกับอาคารงานอุโมงค์ใต้ดิน งาน Water Front ต่างๆ งาน Emchorage สะพาน งานเขื่อน งาน ป้องกันน้ำใต้ดิน งานฝังท่อ ,งานกำแพงกันดินรับน้ำ,งานถนนและ Cofferdam

การใช้ประโยชน์ของ Sheet Pile สามารถคิดแปลงให้ใช้ได้อีกมากมาย งานเหล่านี้ สามารถนำมาจัดกลุ่มตามรูปแบบในเชิงวิชาการได้ 4 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้คือ

1. ใช้เป็นกำแพงกันดิน
2. ใช้เป็นกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกตอนบน
3. ใช้เป็นกำแพงกันน้ำหรือของเหลว
4. ใช้ประโยชน์สำหรับงานใน 1 หรือ 2 และ 3 ร่วมกันทั้ง 3 งานหรือ 2 งาน

การนำเทคโนโลยี Sheet Pile มาใช้มากในประเทศ อาจประมาณได้ว่าคงจะอยู่ใน ช่วงของการเร่งพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนา ซึ่งแม้คูคลองหลายสายใน กทม. จะถูกถมไป จาก ผลของการพัฒนาเมืองหลวง แต่ก็ยังมีคูคลองอีกหลายสายยังคงได้รับการอนุรักษ์ไว้ สำหรับเป็น

ทางระบายน้ำ Sheet Pile ที่ใช้สำหรับป้องกันคลื่นแม่น้ำ (โดยเฉพาะแม่น้ำเจ้าพระยา) และคลอง ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบที่แสดงมาในรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นแบบขามิแวงกัน

ผลจากการเร่งพัฒนาประเทศในช่วงแผนพัฒนานี้เอง ที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของ กรุงเทพมหานคร อย่างรวดเร็ว ได้มีการนำเทคโนโลยีทางการก่อสร้างอาคาร และโครงสร้างพื้นฐานประเภทท่อระบายน้ำ ประปา โทรศัพท หรือแม้แต่ไฟฟ้า ที่ต้องการขุดลงไปใต้ดิน ทำให้ต้องอาศัย Sheet Pile มาช่วยในการขุดเป็นอย่างมาก Sheet Pile จึงมีบทบาทขึ้นมาและดูเหมือนจะมากขึ้นไปเรื่อยๆ

ต่อมาในระยะช่วงหลังนี้ เนื่องจากราคาที่ดินที่ได้ถีบตัวสูงขึ้น เป็นผลให้อาคารต่างๆเพิ่มความสูงมากขึ้น โดยมีการเพิ่มความสูงทั้งทางด้านเหนือดิน และทางด้านใต้ดินนอกจากจะทำให้ต้องมีการขุด และใช้ Sheet Pile มากขึ้นแล้ว ก็ยังต้องมีการใช้กำแพงกันดินโดยรอบของห้องใต้ดินที่อยู่ในรูปแบบของ Braced Sheet Pile เพิ่มขึ้น กำแพงกันดินประเภทนี้ ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาออกไปค่อนข้างกว้างขวางในหลายรูปแบบและรูปแบบที่ค่อนข้างจะเป็นที่นิยม ซึ่งได้ชื่อว่า Diaphragm Wall ก็เริ่มจะนำมาใช้ในประเทศไทยแล้ว โดยอาศัยความร่วมมือจากต่างประเทศ

2.5 พฤติกรรมของตัว Sheet Pile โดยตรง

การจะกล่าวถึงพฤติกรรมของ Sheet Pile จำเป็นต้องกล่าวรวมถึงแรงหรือสิ่งที่มากระทำต่อ Sheet Pile และคุณสมบัติพื้นฐานของ Sheet Pile มาประกอบการพิจารณาจึงจะสามารถเห็นภาพได้กระจ่างชัดขึ้น

แรงกระทำหรือสิ่งที่มากระทำต่อ Sheet Pile หากจะสรุปจากการใช้งานของ Sheet Pile แล้ว พอลจะกล่าวได้ว่าแรงกระทำที่สำคัญมี 2 ประเภทคือ แรงดันค้ำข้าง และแรงกระทำตามแนวดิ่ง สำหรับสิ่งที่มากระทำต่อ Sheet Pile นอกจากดินแล้วก็มีน้ำเป็นตัวสำคัญ นอกจากนี้ก็ยังมีน้ำหนักบรรทุกจากภายนอกซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่ติดกับ Sheet Pile โดยตรง แต่สามารถส่งผลกระทบต่อ Sheet Pile ได้

Sheet Pile มีคุณสมบัติเป็นเอกลักษณ์ที่สำคัญประการหนึ่งคือ มีความแบนมาก เมื่อเทียบกับความกว้างและความยาว ดังนั้นพฤติกรรม ของ Sheet Pile เมื่อถูกแรงกระทำจะมีการอ่อนตัวสูงในแนวดิ่งฉากกับแนวระนาบแบนและสามารถโค้งงอได้ง่ายจากพฤติกรรมดังกล่าวจึงทำให้ Sheet Pile สามารถที่จะอ่อนตัวไปตามแรงกระทำได้ดี

ในการใช้งาน Sheet Pile สำหรับทำกำแพงกันดิน ความอ่อนตัวของ Sheet Pile ทำให้เกิดการตอบสนองของแรงดันดิน ไม่มากเท่ากับกำแพงกันดินที่มีความแข็งตัวกว่า ช่วยลดขนาดของแรงดันลงได้เมื่อเทียบกับกำแพงกันดิน

2.6 พฤติกรรมของแรงดันจากดิน

เนื่องจาก Sheet Pile มีความอ่อนตัวค่อนข้างจะมาก แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำบน Sheet Pile จึงสามารถปรับเปลี่ยนตามลักษณะการเคลื่อนตัวของดิน และ Sheet Pile ได้ง่าย ซึ่งพฤติกรรมของแรงดันดินบน Cantilever Sheet Pile ที่ปลายล่างฝังลึกลงไปมากกว่าปกติ จะเห็นได้ว่าแรงดันดินจะปรับเปลี่ยนตามสภาพการเคลื่อนตัวของดินและ Sheet Pile ได้เป็นอย่างดี โดยมีแรงดันด้านที่ Sheet Pile หนีห่างออกจากดินก็จะเป็นแรงดันในสภาวะ Active และแรงดันด้านที่ Sheet Pile ดินเข้าหาดินก็จะอยู่ในสภาวะ Passive เมื่อหักลบแรงดันทั้งสองด้านของ Sheet Pile เข้าด้วยกันแล้ว ก็จะได้แรงดันรวมที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการเคลื่อนตัวของดินและ Sheet Pile

เนื่องจากพฤติกรรมของแรงดันที่กล่าวมานี้มีความสัมพันธ์อย่างมากกับสภาพของดินและเนื่องจากดินในธรรมชาติส่วนใหญ่จะไม่ Homogeneous พฤติกรรมของแรงดันดินก็จะแตกต่างไปจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้อีกมากสำหรับดินในธรรมชาติ นั้นการวิเคราะห์แรงดันดินในธรรมชาติที่มีความแตกต่างกันมากในแต่ละชั้นดิน จึงเป็นเรื่องที่ควรแก่การให้ความสนใจเป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับดินอ่อน Bangkok clay ซึ่งมีงานก่อสร้างอยู่เป็นจำนวนมาก

พฤติกรรมของแรงดันดินนี้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะของการจำกัดการเคลื่อนตัวของดินและ Sheet Pile ตามรูปแบบของโครงสร้างที่ต่างกันแล้ว ยังขึ้นอยู่กับเวลาหลังจากติดตั้ง Sheet Pile อีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเป็นดินเหนียวที่แข็ง ทั้งนี้เพราะว่าดินเหนียวที่มีอัตราการไหลตัวค่อนข้างจะช้ามาก ในช่วงระยะเวลาที่ติดตั้งเสร็จใหม่ๆการเคลื่อนตัวของดินเหนียวยังมีไม่มาก แรงดันที่เกิดขึ้นก็ย่อมจะยังน้อยอยู่ แต่เมื่อปล่อยให้ไว้นานขึ้น ดินเหนียวจะไหลตัวมากขึ้น กัมแพงได้มากขึ้น ความดันก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การเคลื่อนตัวของดินเหนียวตั้งแต่ต้นจนกระทั่งถึงสภาพที่มากที่สุดสามารถใช้เวลาเป็นเดือนๆฉะนั้น ในงานก่อสร้างโครงสร้างชั่วคราวในดินเหนียวที่มีเวลาการใช้โครงสร้างอยู่เพียงชั่วระยะเวลาอันสั้น ก็อาจลดค่าแรงดันลงได้บ้าง แต่ทั้งนี้ต้องให้ความระมัดระวังสำหรับดินเหนียวอ่อน เช่น Bangkok clay ที่มีชั้นดินเลนปนอยู่ ทำให้การไหลตัวรวดเร็วได้

2.7 ข้อควรระวังในการใช้เทคโนโลยี Sheet pile สำหรับ Bangkok Clay

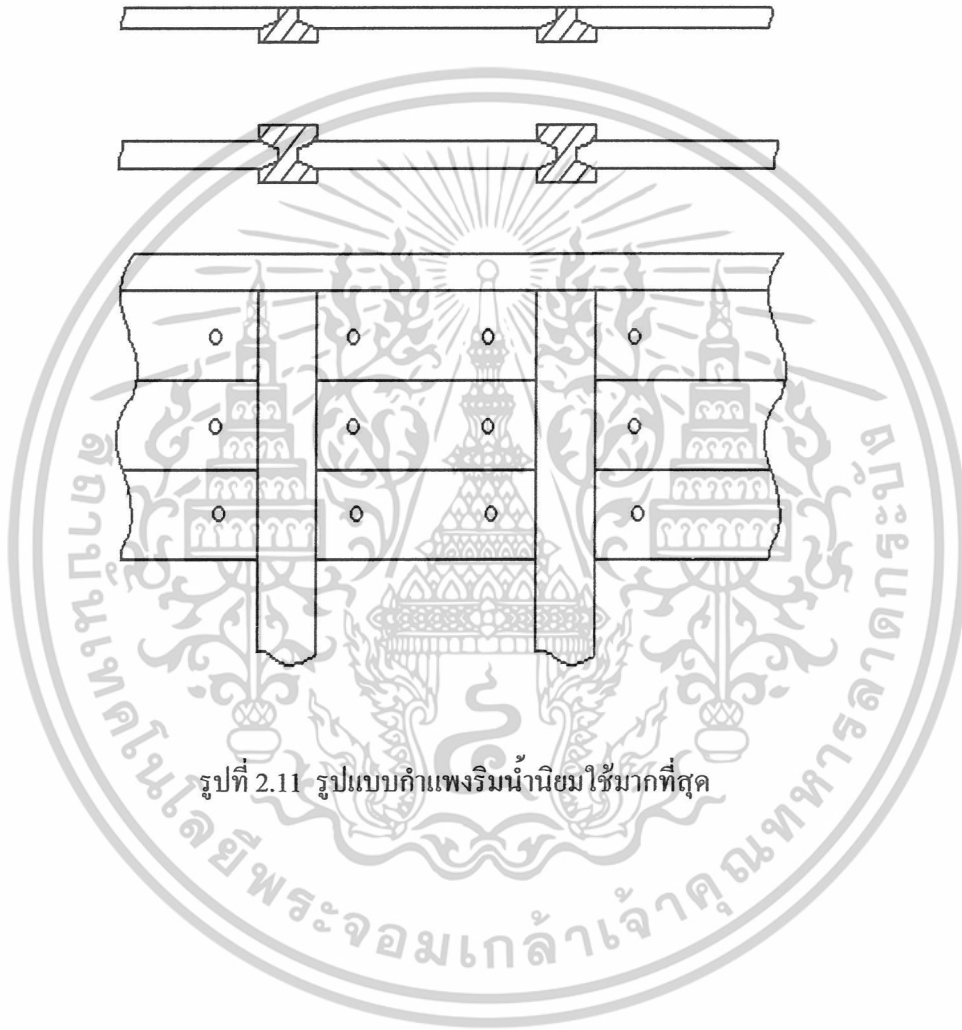
สิ่งที่เป็นปัญหาในการเอาเทคโนโลยีมาใช้ในการก่อสร้างต่างๆสำหรับ Bangkok Clay

1. การวิเคราะห์แรงดันในการออกแบบ

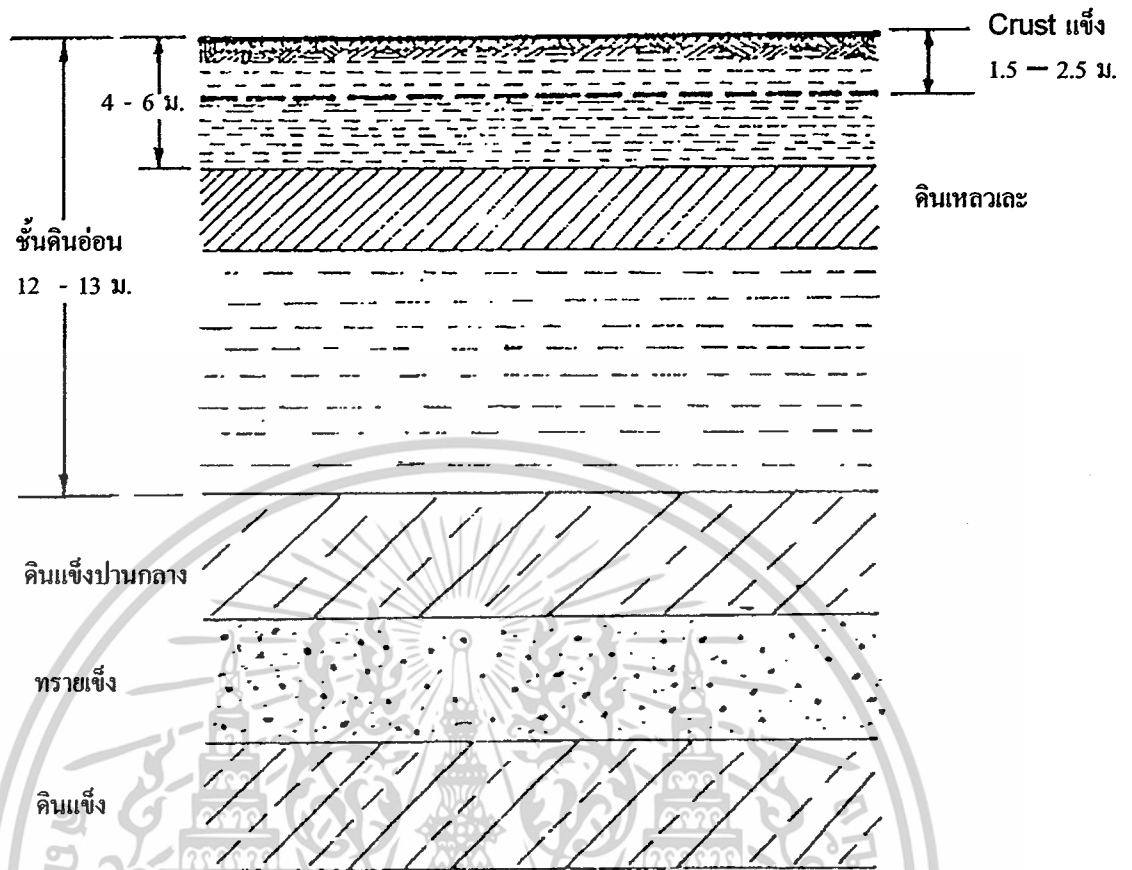
เนื่องจากดินอ่อน Bangkok Clay มีคุณลักษณะพิเศษที่มีผลให้เกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์แรงดันของดินบน Sheet pile ได้ คุณลักษณะคือความไม่ Homogeneous ของชั้นดิน

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

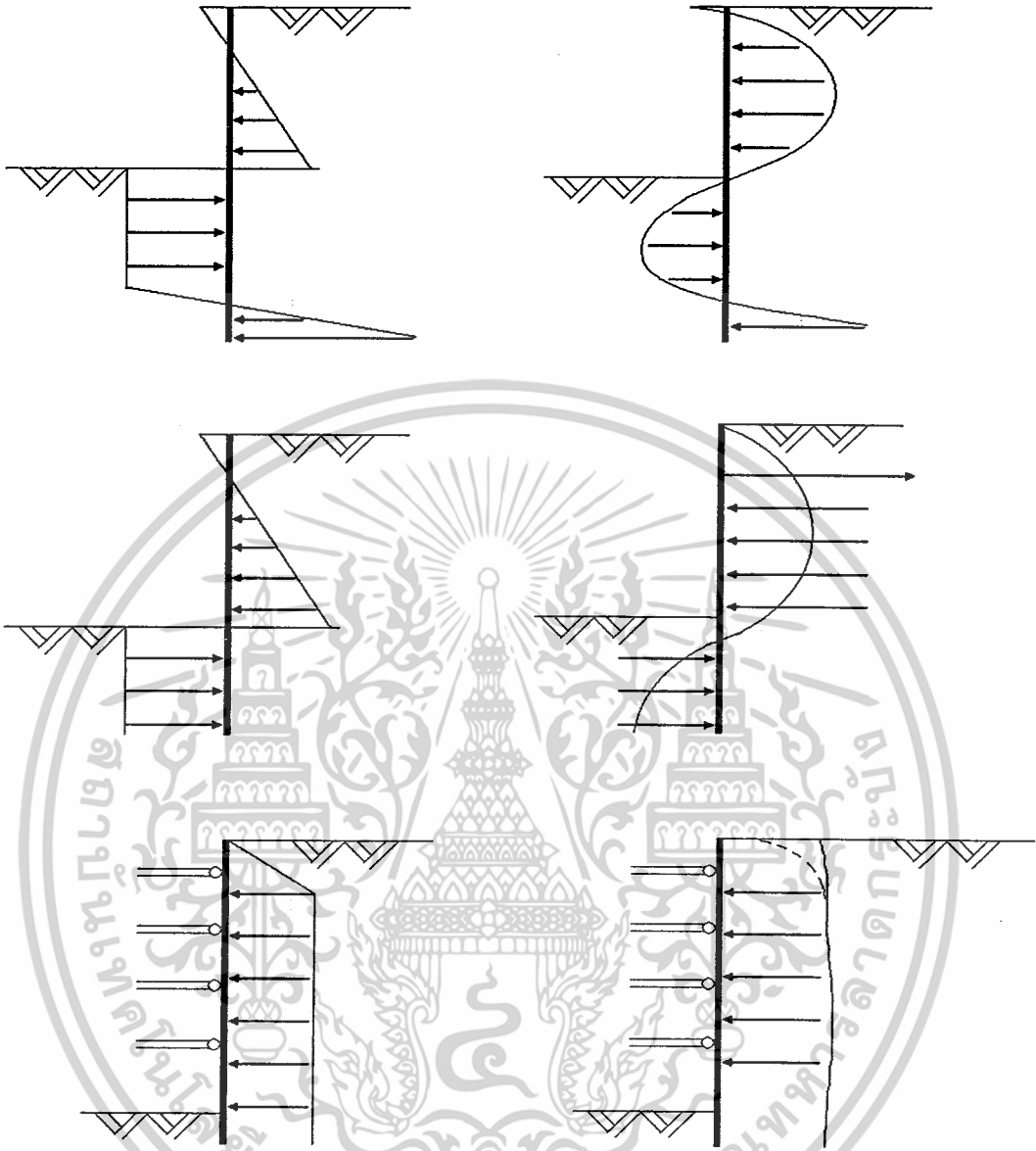
ตามที่แสดงมาในรูปที่ 2.12 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีชั้น crust อยู่ตอนบนที่เป็นดินแข็งปานกลางถึงอ่อนอยู่หนาประมาณ 2-5 เมตร crust จะเป็นชั้นที่มักก่อความยุ่งยากให้กับงานก่อสร้างที่ใช้ Sheet pile อยู่เสมอ ก็คือชั้นดินอ่อนมาก ซึ่งบางแห่งอ่อนจะเป็นเลนเหลวละ ชั้นดินนี้ไม่หนามากนัก กล่าวคือหนาไม่เกิน 2 เมตร บางแห่งก็หนาเป็นชั้นบางๆ ได้ชั้นดินอ่อนมากก็เป็นชั้นดินอ่อนแล้วแข็งขึ้นเรื่อยๆจนถึงชั้นดินแข็ง



รูปที่ 2.11 รูปแบบกำแพงรับน้ำนิยมใช้มากที่สุด



รูปที่ 2.12 ลักษณะดินชั้น Bangkok clay



a) Homogeneous soils b) Bangkok Clay

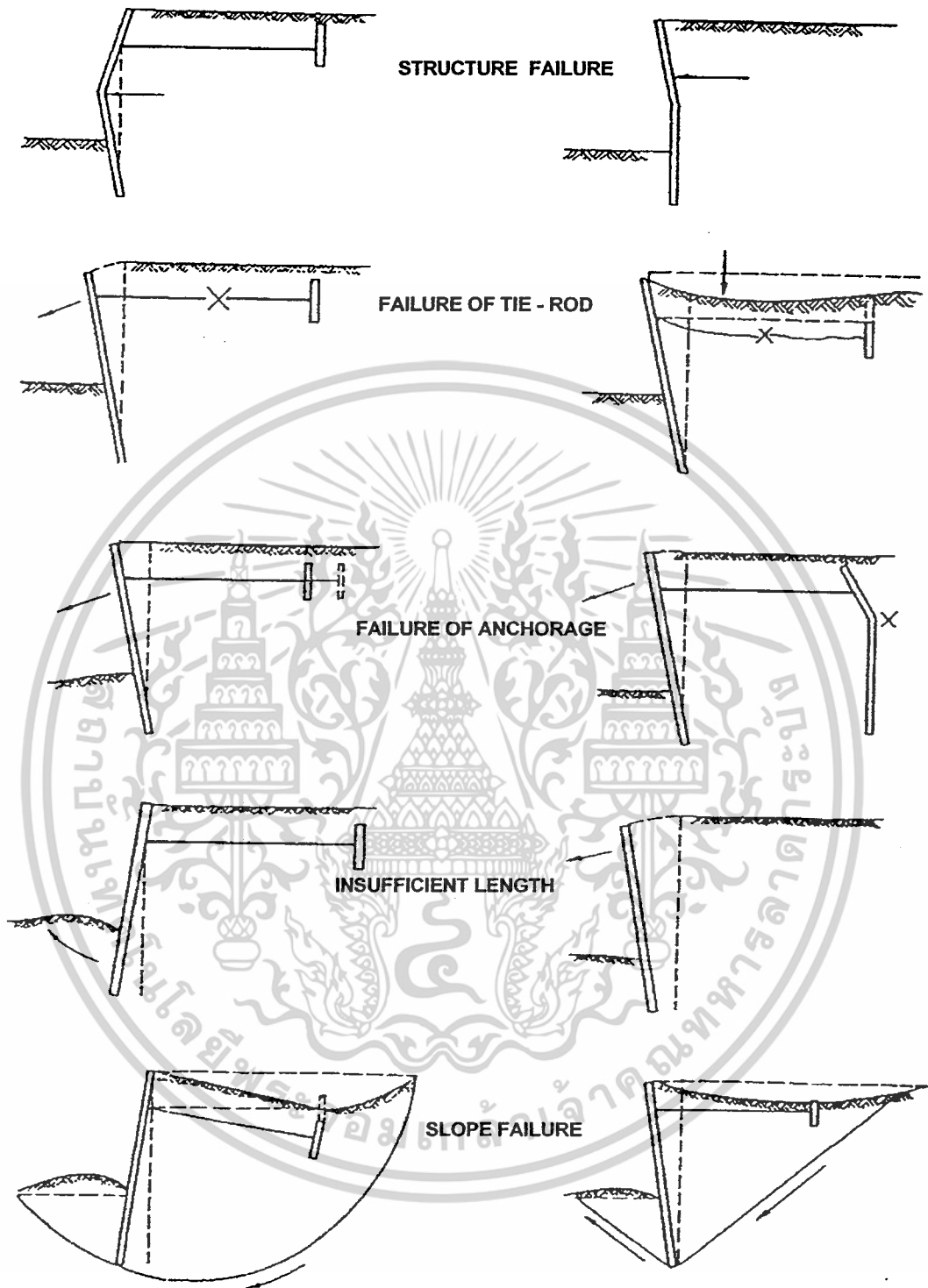
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะแรงดันของดินเปรียบเทียบระหว่าง

Homogeneous soils กับ Bangkok Clay

สภาพดินดังกล่าวมักจะก่อให้เกิดความสับสนในการวิเคราะห์แรงดันดินซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะขึ้นกับการวิเคราะห์แรงดันดินที่มีดินทั้งชั้น Homogeneous หรือเป็นเนื้อเดียวกันตลอด ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์แรงดันของ Sheet pile ตามระบบโครงสร้างต่างๆก็มักจะอยู่ในรูปตามที่แสดงมาในรูปที่ 2.13 a แต่สำหรับดิน Bangkok Clay ซึ่งกำลังของดินจะไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังมีชั้นดินที่อ่อนกว่าอยู่ใต้ชั้นดินที่แข็งกว่า ทำให้ลักษณะของแรงดันเปลี่ยนแปลงตามรูปที่ 2.13 b ประเด็นการเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อการหาขนาดของ Sheet pile ก็คือขนาดและความลึกของแรงดันตอนบนสุดที่มักจะกระทำลงมาต่ำกว่า Dredged Line ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพและแรงคัดใน Sheet pile อย่างมาก การเปลี่ยนแปลงนี้จะ Sensitive มากเมื่อ Dredged Line อยู่ใกล้กับระดับชั้นดินเลน สำหรับ Bangkok Clay แล้วก็จะยิ่งมีผลมากเมื่อ Dredged Line อยู่ต่ำกว่าระดับผิวบน ตั้งแต่ประมาณ 2 เมตรขึ้นไปจนถึง 5 เมตร

2. การก่อสร้างโครงสร้างชั่วคราว

โดยมากมักจะเกิดกับโครงสร้าง Sheet pile แบบ Anchored หรือ Braced types ซึ่งมักจะมีการถอดค้ำยันออกในบางขณะ หากระดับที่ขุดลึกกว่าระดับชั้นดินเลนการไหลตัวของดินส่วนบนเป็นไปได้ง่ายถ้าไม่ได้มีมาตรการเตรียมพร้อมที่ดีพอสามารถเกิดการเคลื่อนตัวของดินและ Sheet pile ตรงส่วนที่ถอดค้ำยันออกได้



รูปที่ 2.14 แสดงการวิบัติของ Sheet Pile

บทที่ 3

ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณกำแพงกันดิน

โครงสร้างกำแพงกันดินอาจเกิดการพิบัติหรือพังจากส่วนต่างๆ ในโครงสร้างได้หลายส่วนอาจจะเริ่มจากสาเหตุเดียวแล้วต่อเนื่องไปทั้งระบบหรือเฉพาะส่วนแต่ยังผลทำให้ไม่สามารถใช้การได้ตัวอย่างการพิบัติอาจเกิดจาก

1. การเลื่อนของฐาน (Base Sliding) เกิดกับผนังกันดินคอนกรีตเป็นส่วนมากเนื่องจากแรงดันดินด้านข้างมากกว่าแรงดันที่ฐานอันเกิดจากความเหนียวหรือความฝืดของดินที่สัมผัสกับฐาน
2. การพลิกคว่ำ (Overtuming) เนื่องจาก โมเมนต์ที่เกิดจากแรงดันดินมากกว่า โมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักที่ด้านไว้
3. แรงดันของดินใต้ฐานไม่พอ (Bearing Failure) เนื่องจากชั้นดินใต้ฐานอ่อนจนไม่สามารถรับแรงกดจากน้ำหนักและแรงดันด้านข้างทำให้เกิดการทรุดจมของฐาน โดยเฉพาะริมนอก
4. การพิบัติของตัวโครงสร้างของผนัง (Structural Failure) เกิดเนื่องจากการออกแบบความแข็งแรงของตัวโครงสร้างไม่แข็งแรงพอที่จะรับ โมเมนต์คดหรือแรงเฉือนได้เพียงพอ
5. การพิบัติของระบบรวม (Overall Sliding) มักจะเกิดในกรณีที่ดินที่กั้นไว้ในความลาดเอียงหรือมีชั้นดินอ่อนอยู่ที่ระดับลึกใต้ฐานลงไปจึงอาจเกิดผิวเคลื่อนของดินที่ไม่ผ่านตัวผนัง
6. การโค้งงอหรือหักของเข็มพิค (Bending Failure) ในเข็มเมื่อ โมเมนต์คดมากจนเกิดการโค้งงอในตำแหน่งวิกฤตต่างๆ
7. การพิบัติที่ระบบสมอยึด (Failure of Anchorage System) เนื่องมาจากสายสมอขาดหรือการเลื่อนของสมอยึด
8. การเคลื่อนของดินที่ปลายเข็มพิค (Passive Failure)

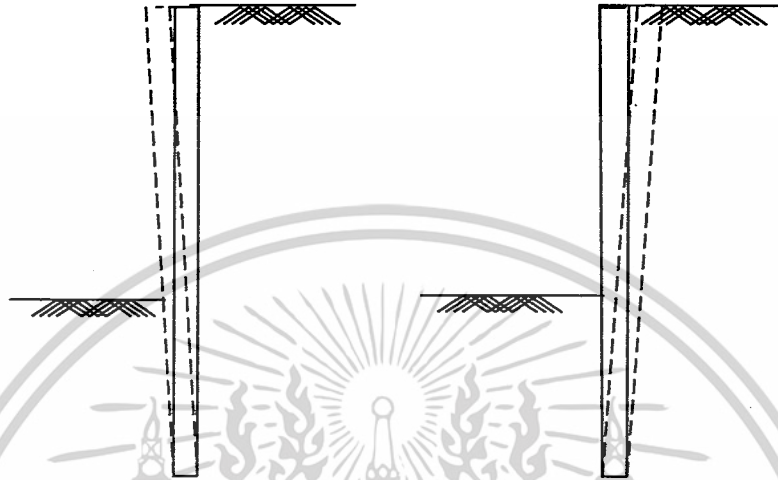
3.1 พฤติกรรมของดินบริเวณผนังกันดิน

การออกแบบกำแพงกันข้อมูลที่สำคัญคือแรงดันดินด้านข้างอันเกิดจากความต่างระดับของผิวดิน ในกรณีวิเคราะห์แรงดันดินด้านข้างจะต้องทราบพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของผนังกันดินและมวลดิน โดยรอบซึ่งแรงดันดินทางด้านข้างจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

3.1.1 แรงดันดินแบบอยู่กับที่ (At rest case) เป็นแรงดันด้านข้างของดินโดยที่มวลดินไม่เคลื่อนที่

3.1.2 แรงดันดินเชิงรุก (Active case) เป็นแรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อโครงสร้างกันดิน แล้วทำให้ผนังกันดินเคลื่อนที่ออกไปจากดินถมหลังโครงสร้างกันดิน

3.1.3 แรงดันดินเชิงรับ (Passive case) เป็นแรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อโครงสร้างกันดิน แล้วทำให้ผนังกันดินเคลื่อนที่เข้าหาดินถมหลังโครงสร้างกันดิน



แบบ Active

แบบ Passive

รูปที่ 3.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแรงดันดิน

3.1.1 แรงดันดินแบบอยู่กับที่ (At rest)

เมื่อมวลดินอยู่ในสภาพ Elastic equilibrium มีแรงดันดินในแนวตั้งกระทำต่อมวลดิน ไม่ว่าจะเป็นน้ำหนักของมวลดินเองหรือจากแรงกระทำภายนอก พบว่ามวลดินนี้จะมีแรงดันดินด้านข้างที่เป็นสัดส่วนกับ k_0 กับแรงในแนวตั้งนี้ ซึ่งเราเรียกค่า k_0 นี้ว่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างที่สภาวะอยู่กับที่ (coefficient of at-rest earth pressure) จึงสามารถคำนวณแรงดันดินด้านข้างที่สภาวะไม่เคลื่อนที่ได้ดังสมการ

$$\sigma'_v = \gamma' Z$$

$$\sigma'_h = k_0 \sigma'_v$$

k_0 = coefficient of at-rest earth pressure

σ'_v = Effective over-burden pressure

Z = ระดับความลึกที่พิจารณา

ได้มีผู้ให้สมการในการหาค่า k_o ของดินแบบต่างๆดังนี้

For normally consolidated soil (Jaky , 1944)

$$k_o \approx 1 - \sin \phi$$

For normally consolidated clay (Brooker and Ireland ,1965)

$$k_o \approx 0.95 - \sin \phi$$

Base on Brooker and Ireland's 1965 experimental results

$$k_o = 0.4 + 0.007(PI) \quad (\text{for } PI \text{ between } 0 \text{ and } 40)$$

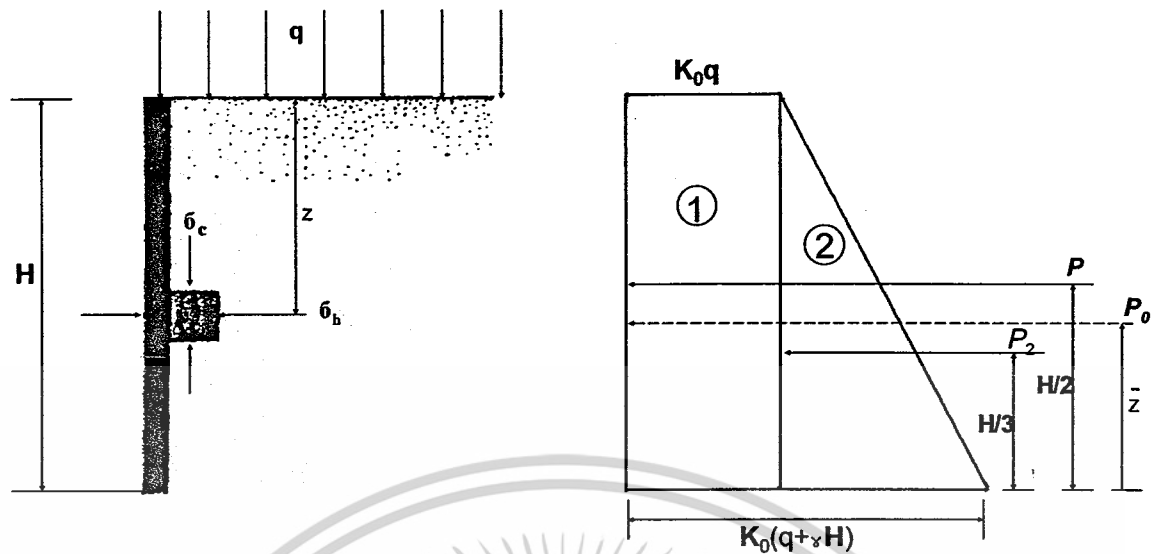
$$k_o = 0.64 + 0.001(PI) \quad (\text{for } PI \text{ between } 40 \text{ and } 80)$$

For over consolidated clays

$$K_{o(oc)} = K_{o(nc)} \cdot \sqrt{OCR}$$

ตารางที่ 3.1 สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบอยู่กับที่

ประเภทของดิน	K_o
ทรายแน่น	0.35
ทรายหลวม	0.6
ดินเหนียวชนิด N.C.C.	0.5 - 0.6
ดินเหนียวชนิด O.C.C. (O.C.R. = 3.5)	1.0
ดินเหนียวชนิด O.C.C. (O.C.R. = 20)	2.8



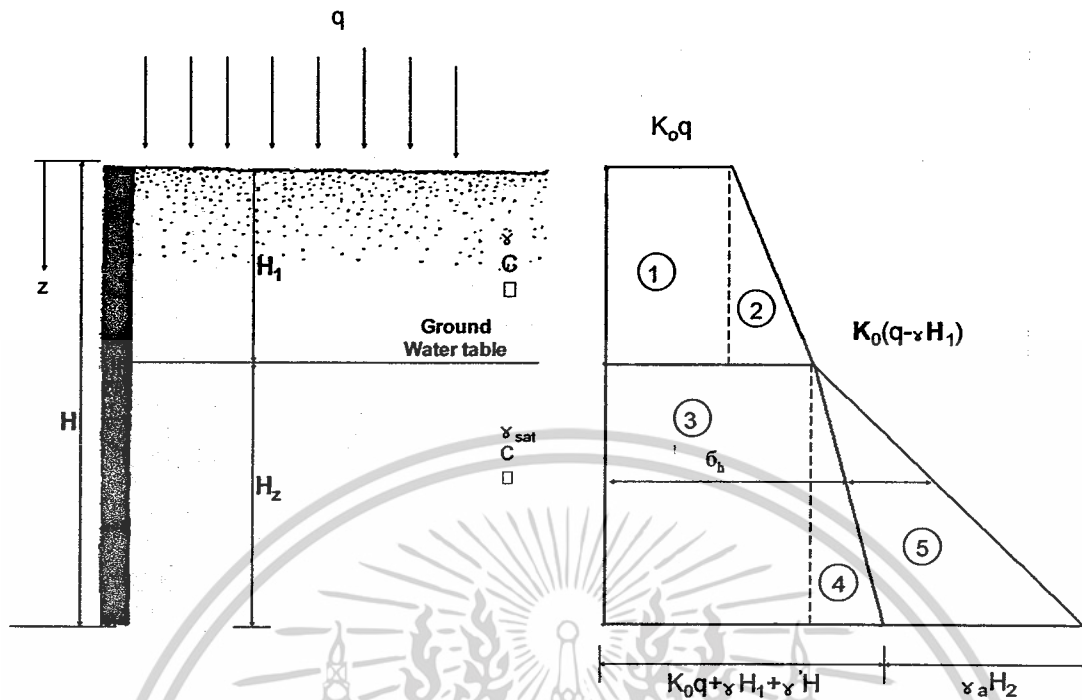
รูปที่ 3.2 หลักการคำนวณแรงดันด้านข้างในดินที่สภาวะอยู่กับที่ กรณีไม่มีแรงดันน้ำใต้ดินและน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอก q

หลักการคำนวณแรงดันด้านข้างในดินที่สภาวะอยู่กับที่ กรณีไม่มีแรงดันน้ำใต้ดินและน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอก q

สามารถคำนวณหาความดันดินด้านข้างที่ความลึก H กรณีไม่มีน้ำใต้ดิน และมีน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอก q ได้จากสมการ

$$\sigma_v = q + \gamma \cdot Z$$

$$\sigma_h = k_o \cdot \sigma_v + k_o \cdot q$$



รูปที่ 3.3 หลักการคำนวณแรงดันด้านข้างในดินที่สภาวะอยู่กับที่ กรณีมีแรงดันน้ำใต้ดินและน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอก q

ถ้ากรณีที่มีน้ำใต้ดินอยู่ในชั้นดิน และน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอก q ก็สามารถคำนวณความดันน้ำผนวกเข้าไปได้ ตามสมการนี้

$$\begin{aligned} \sigma'_v &= q + \gamma \cdot Z \\ \sigma'_h &= k_o \cdot \sigma'_v + k_o \cdot q \\ \sigma_h &= k_o \cdot \sigma'_v + k_o \cdot q + u \end{aligned}$$

3.1.2 แรงดันดินด้านข้างสถานะเชิงรุก (Active case)

เมื่อผนังกันดินมีการแอ่นหรือขยับออกมาด้านหน้าโครงสร้างกันดิน(ด้านดินระดับต่ำ)แรงดันดินจะมีขนาดค่อยๆลดลงจากสภาพอยู่กับที่ (At rest) ค่า k จะค่อยๆลดลง แรงดันดินที่น้อยที่สุด ณ จุดพังทลาย เรียกว่า แรงดันดินแบบ Active และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างที่จุดพิบัตินี้เรียกว่า k_a

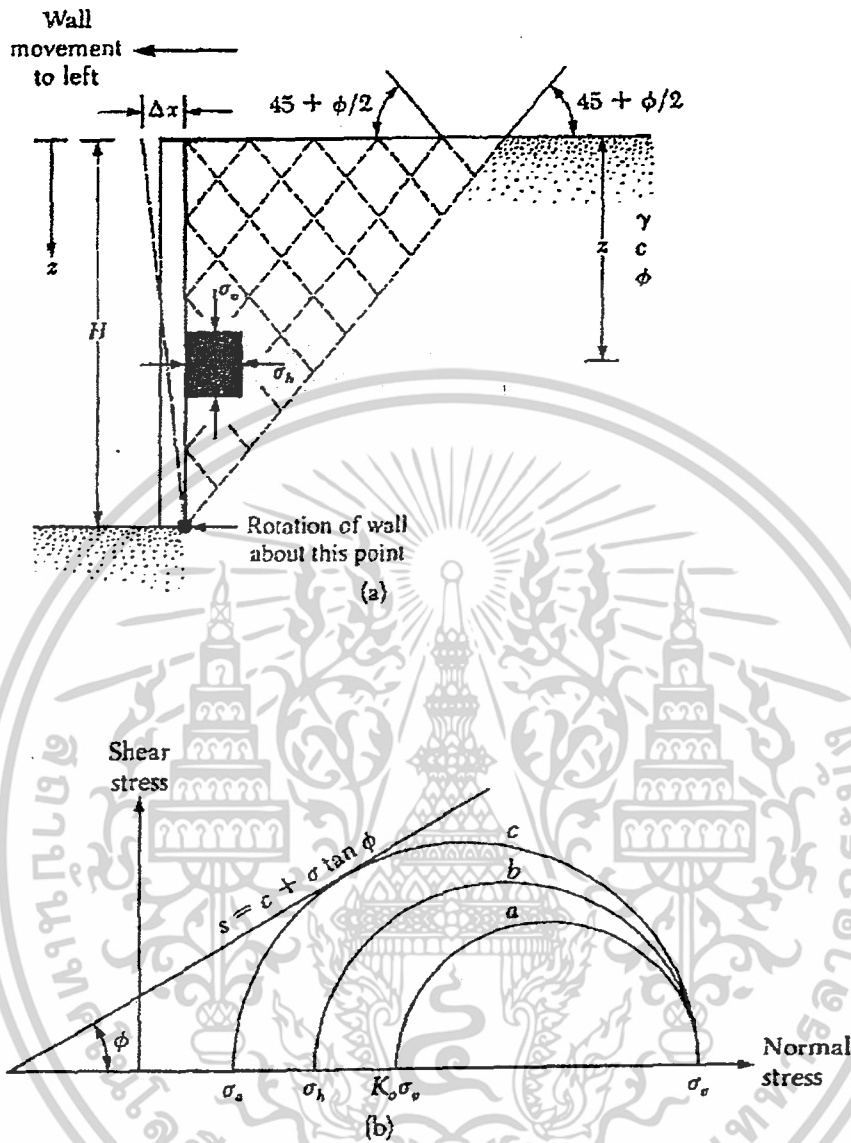
$$\text{โดยมี} \quad k_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad \text{or} \quad \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

Rankin (1857) ได้นำเสนอหลักการคำนวณแรงดันดินบนผนังกันดินภายใต้สมมติฐานดังนี้

1. มวลดินเป็นเนื้อเดียวกัน และมีคุณสมบัติเหมือนกันในทุกทิศทาง
2. เป็นดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesionless soil)
3. ผิวของผนังกันดินเรียบ ไม่มีรอยค้ำ และอยู่ในแนวตั้ง
4. มวลดินอยู่ในสภาพเคลื่อนตัวจนถึงพลาสติก หรือถึงจุดพิบัติแล้ว

ทฤษฎีแรงดันดินของ Rankine ได้ใช้หลักการ Mohr's circle อธิบายแรงดันดินแบบเชิงรุกนี้ได้ว่า เมื่อให้ความดันในแนวตั้งคงที่เท่ากับ σ_v ในสถานะของ Elastic equilibrium จะมีแรงดันดินสถานะอยู่กับที่เท่ากับ $k_0 \sigma_v$ และเมื่อให้ความดันในแนวตั้งนี้คงที่แล้วค่อยๆลดความดันแนวราบลงทีละน้อย จะเห็นว่า Mohr's circle มีขนาดโตขึ้นมาทางด้านซ้ายจนถึงจุดๆหนึ่งซึ่งความดันในแนวราบ ไม่ลดลงกว่านี้แล้วเพราะเกิดการพิบัติขึ้นแล้ว นั่นคือวงกลม C ของ Mohr สัมผัสเส้นการพิบัติหรือ Line of Rupture ความดันที่จุดนี้ เรียกว่า Active pressure หรือความดันเชิงรุกซึ่งทำให้เกิดการยุบตัวในแนวตั้ง

โดยที่ Active failure plane ในมวลดินทำมุม $45 + \frac{\phi}{2}$ กับแนวนอน



รูปที่ 3.4 ความดันเชิงรุก (Active earth pressure)

3.1.3 แรงดันดินด้านข้างสถานะเชิงรับ (Passive case)

เมื่อมีแรงมากระทำผนังกันดินให้เคลื่อนที่เข้าหามวลดินด้านหน้าโครงสร้างกันดิน (ด้านดินระดับสูง) ก็จะต้องใช้แรงดันเพิ่มมากขึ้น ค่า k จะค่อยๆ สูงขึ้น จนกระทั่งมวลดินด้านหน้ากำแพงเกิดการพิบัติ แรงดันดินที่มากที่สุด ณ จุดพังทลาย เรียกว่า แรงดันดินแบบ Passive และมีค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสถานะเชิงรับที่จุดพิบัตินี้เรียกว่า k_p

โดยมี
$$k_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad \text{or} \quad \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

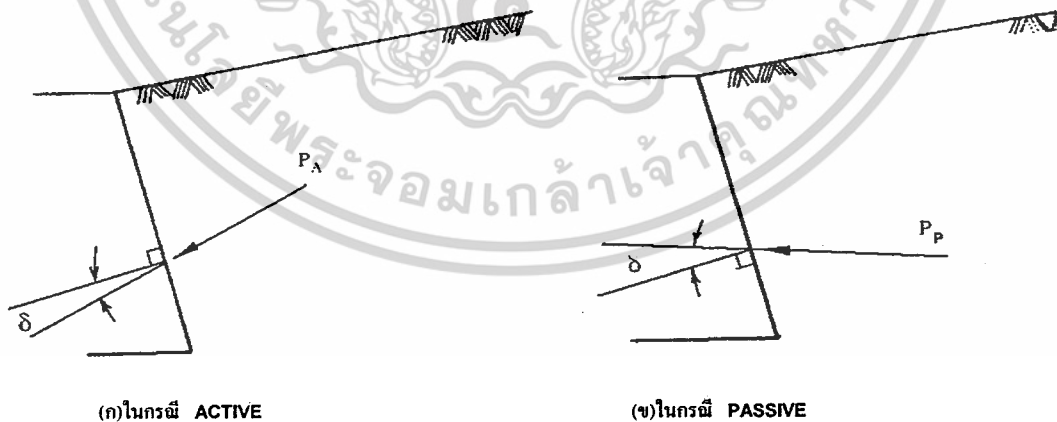
3.2.2 ทฤษฎีของคูลอมบ์ (Coulomb's Theory)

ทฤษฎีนี้คำนึงถึงหลักความจริงที่ว่าผิวหน้าของกำแพงมีลักษณะขรุขระดังนั้นแรงเสียดทานของแรงดันดินจึงเอียงทำมุม δ กับแนวราบเมื่อ δ เป็น Angle of wall friction มุมนี้มีค่าเป็นบวกในสภาวะ Passive แรงเสียดทานนี้จะอยู่ในทิศตรงข้าม แรงเสียดทานของแรงดันดินจึงมีแนวเอียงขึ้นและค่า δ จะเป็นลบ

Rankin's Theory ได้เสนอวิธีหาแรงดันทางด้านข้างของดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น และต่อมา Bell ได้ศึกษาแรงดันทางด้านข้างของดินที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive soil) หลักการของวิธีนี้คือสมมุติว่าระนาบของการพิบัติเป็นแนวตรงมวลดินส่วนที่เป็นรูปสามเหลี่ยม (Wedge) ซึ่งล้อมรอบด้วยระนาบของการพิบัติ (Failure plane) และผนังหรือกำแพงกันดิน เกิดการเคลื่อนที่และพิบัติก่อนที่ดินจะพิบัติมวลดินรูปสามเหลี่ยมนี้จะอยู่ในสภาพสมดุลของทั้ง 3 แรง คือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของดินเอง แรงที่เกิดจากแรงดันทางด้านข้างของดิน และแรงปฏิกิริยาบนระนาบที่เกิดการพิบัติ จากสภาพดังกล่าวสามารถนำไปหาค่าของแรงดันทางด้านข้างของดินในสภาวะ Active และ Passive ได้

3.2.3 แรงเสียดทานของกำแพงกันดิน (Wall Friction)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงหรือเขื่อนกันดินไม่เป็นแนวตั้ง และผิวหน้าของดินด้านหลังกำแพงหรือเขื่อนไม่เป็นแนวราบ ก็จะทำให้เกิดมีแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพงหรือเขื่อนขึ้น และแรงเสียดทานของแรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงหรือเขื่อนจะมีแรงเอียง โดยเอียงทำมุม δ กับเส้นตั้งฉากกับผิวหน้าของกำแพงหรือเขื่อนมุมเอียงที่ทำกับเส้นตั้งฉากกับผิวหน้าของกำแพงหรือเขื่อนนี้เรียกว่า มุมของแรงเสียดทานของกำแพง δ (Angle of wall friction)



รูปที่ 3.7 มุมของแรงเสียดทานของกำแพง

ในกรณีที่แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงเป็นแบบ Active แรงลัพธ์จะมีทิศทางลงมา และในกรณีที่เป็นแบบ Passive จะมีทิศทางขึ้นไป

สำหรับดินที่ไม่มี ความเชื่อมแน่น δ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 17° ถึง 30° หรืออาจ สมมุติค่า δ อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.750

The Code of Practice "Earth Retaining Structures" ได้แนะนำค่า δ สำหรับ กำแพงชนิดต่างๆ ไว้ในตารางที่ 3.2

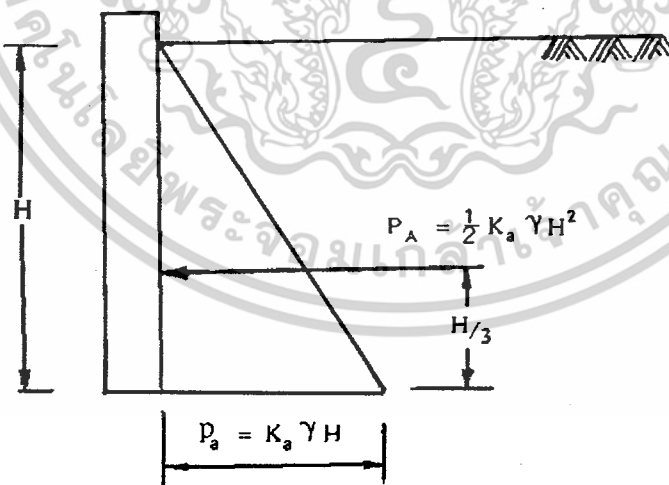
ตารางที่ 3.2 ค่า δ สำหรับกำแพงชนิดต่างๆ

ชนิดของกำแพง	δ
คอนกรีต หรือ อิฐ	20
เข็มเหล็กฉาบด้วยน้ำมันดิน	30
เข็มเหล็กไม่ฉาบ	15

3.3 การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดที่ไม่มี ความเชื่อมแน่น

3.3.1 โคยวิธีของ Rankine (ผิวดินอยู่ในแนวราบ)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงกัน ดิน เป็นแนวราบ



รูปที่ 3.8 ผิวดินอยู่ในแนวราบ

สามารถหาค่าแรงดัน Active (p_a) ได้จากทฤษฎีของ Rankine

$$p_a = K_a \gamma H$$

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

$$= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

และแรง Active หรือ Active thrust (P_A)

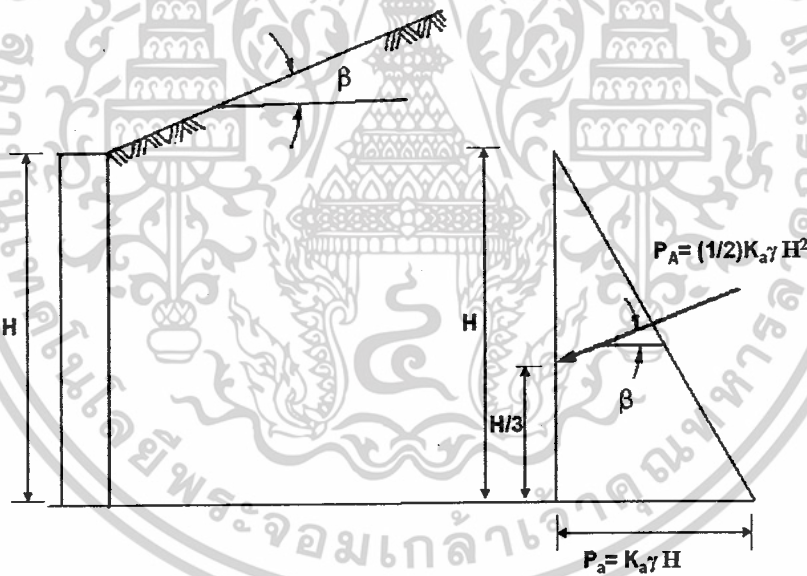
$$P_A = \frac{1}{2} p_a H$$

$$= \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

ซึ่งจะกระทำที่ระยะ $H/3$ จากขอบล่างของกำแพงกันดิน

3.3.2 โดยวิธีของ Rankine (ผิวดินลาดชัน)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินเป็นเป็นแนวลาดชันเป็นมุมเท่ากับ β



รูปที่ 3.9 ผิวดินลาดชัน

สามารถหาค่าแรงดัน Active (p_a) ได้จากทฤษฎีของ Rankine

$$p_a = K_a \gamma H$$

ในเมื่อ
$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

และแรง Active (P_A) สามารถหาได้ดังนี้

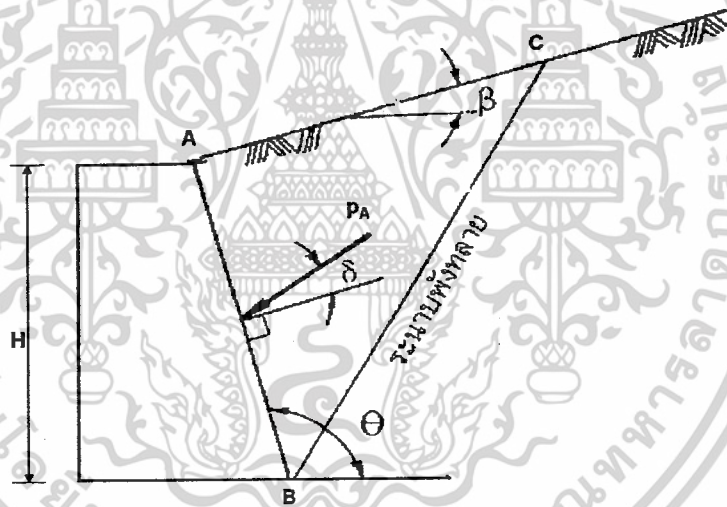
$$P_A = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

กระทำเป็นมุม β กับแนวราบที่ระยะ $\frac{H}{3}$ จากขอบล่างของกำแพงกันดินดังรูปที่ 3.9

มุมสูงสุดที่เป็นไปได้ของ β จะเท่ากับ ϕ

3.3.3 โยววิธีลิมของ Coulomb (ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวราบ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ

สามารถหาค่าแรงดัน Active (p_a) ได้จากสมการของ Coulomb ดังต่อไปนี้

$$p_a = K_a \gamma H$$

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

θ = มุมระหว่างด้านหลังกำแพงกันดินทำกับแนวราบ

δ = มุมของแรงเสียดทานของกำแพง

β = มุมระหว่างลาดของผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินทำกับแนวราบ

ϕ = มุมเสียดทานภายในของดินด้านหลังกำแพงกันดิน

และ Active thrust

$$P_A = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

ซึ่งจะกระทำเป็นมุม δ กับเส้นตั้งฉากกับกำแพงกันดิน มุม δ จะขึ้นอยู่กับชนิดของกำแพงและมีค่าน้อยกว่า ϕ

ค่า K_a ที่ได้จากสมการของ Coulomb จะลดลงเหลือเท่ากับค่า K_a ที่ได้จากสมการของ Rankine เมื่อ $\theta = 90^\circ$ และ $\delta = \beta$

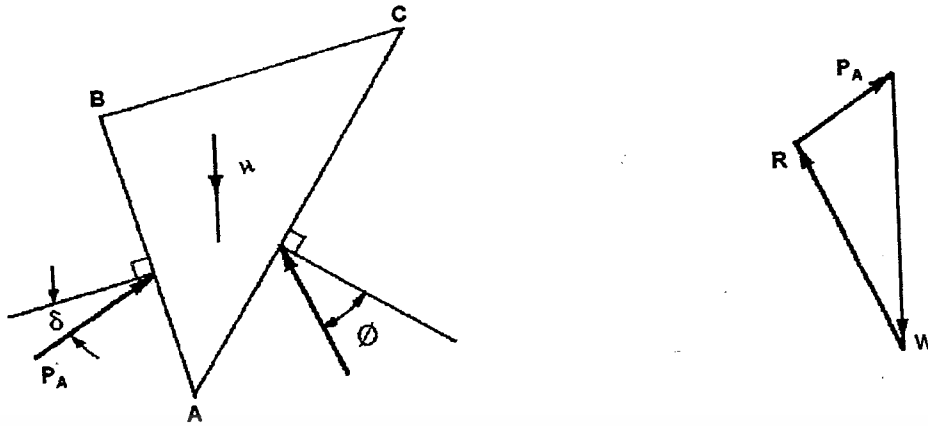
นั่นคือ
$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

และลดลงเป็น
$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad \text{เมื่อ } \theta = 90^\circ \text{ และ } \delta = 0$$

หรืออาจหาค่า Active thrust (P_A) ได้จากสมการของแรงโดยอาศัยทฤษฎีของคูลอมบ์ ดังต่อไปนี้

เนื่องจากเมื่อดินด้านหลังกำแพงกันดินพังทลาย ก็จะมีการเคลื่อนไหลไปตามระนาบพังทลายและลิ่มของดินก็จะเคลื่อนที่

ก่อนที่จะพังทลาย ลิ่มของดินซึ่งอยู่เหนือระนาบพังทลายจะอยู่ในสภาพสมดุลด้วยแรงต่าง ๆ 3 แรง ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อลิ่มของดิน

$$W = \text{น้ำหนักของลิ่มดิน} = \text{พื้นที่ } ABC \times \gamma$$

$$P_A = \text{แรงดันจากกำแพงกันดิน}$$

$$R = \text{แรงโต้ตอบบนระนาบพังทลาย}$$

สามารถหาค่า P_A ได้จากรูปสามเหลี่ยมของแรง

3.4 การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น

สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดิน จะน้อยกว่าดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่นซึ่งมีค่าความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากัน เพราะเป็นส่วนหนึ่งดินจะยึดติดกันด้วยตัวมันเอง และสามารถหาค่าแรงดันดิน ได้ดังนี้

3.4.1 โดยวิธีของเบล (Bell's solution)

เบลได้พัฒนาวิธีหาแรงดันดินแบบ Active มาจากทฤษฎีของแรงกั้นสำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นและระดับดินอยู่ในแนวราบแรงดันดินแบบ Active ที่ความลึก จะ ได้เท่ากับ

$$p_a = K_a \gamma \cdot H - 2c\sqrt{K_a}$$

ในเมื่อ

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

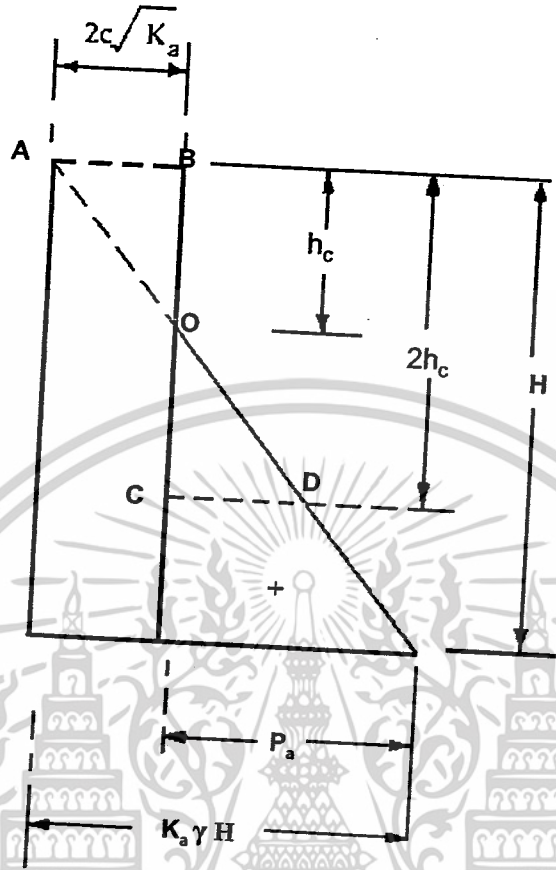
$$= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

ถ้าเป็นดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น $c = 0$

$$p_a = K_a \gamma h$$

ดังนั้นจะเห็นว่า แรงเชื่อมแน่นของดินมีผลทำให้แรงดันดินแบบ Active ลดลงเท่ากับจำนวน $2c\sqrt{K_a}$ นั่นคือดินจะยึดอยู่ด้วยตัวเองมากขึ้น

สามารถเขียนผังแรงค้ำดินได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การกระจายแรงค้ำดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่นด้านหลังกำแพงกันดินที่เป็นแนวตั้ง

ค่า P_a ที่เป็นลบ ระหว่างช่วง $h = 0$ ถึง $h = h_c$ เป็นผลเนื่องจากเกิดแรงค้ำขึ้นในดินแต่โดยปกติดินไม่สามารถต้านทานแรงดึงได้ดังนั้นก็เกิดรอยแตกในแนวตั้งขึ้น สำหรับในการออกแบบแรงค้ำในช่วงนี้จะถือเป็นศูนย์

3.4.2 รอยแตกเนื่องจากแรงดึง (Tension crack)

จากรูป 3.12 ความลึกของโซนแรงดึงเท่ากับ h_c และรอยแตกเนื่องจากแรงดึงสามารถเกิดขึ้นได้จนถึงความลึกนี้ ดังนั้นความลึกของรอยแตกเนื่องจากแรงดึง h_c สามารถหาได้ดังนี้

จากสมการ

$$\begin{aligned} p_a &= K_a \gamma h_c - 2c \sqrt{K_a} \\ &= 0 \\ K_a \gamma h_c &= 2c \sqrt{K_a} \\ h_c &= \frac{2c}{\gamma} \frac{1}{\sqrt{K_a}} \\ &= \frac{2c}{\gamma} \frac{1}{\tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)} \\ &= \frac{2c}{\gamma} \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) \end{aligned}$$

สำหรับดินเม็ดละเอียดที่มีความเชื่อมแน่น $\phi = 0^\circ$ ดังนั้น

$$h_c = \frac{2c}{\gamma}$$

Active thrust ต่อหน่วยความยาวของกำแพงจะเท่ากับพื้นที่ของสามเหลี่ยมรูปล้างในรูปที่ 3.12 นั่นคือ

$$P_A = \frac{1}{2} K_a \gamma (H - h_c)^2$$

3.4.3 ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำ

ถ้าดินจมอยู่ใต้น้ำแรงดันดินแบบ Active จะลดลงโดยคิดหน่วยน้ำหนักของดินจมน้ำ ดังนี้

$$p_a = K_a \gamma H$$

แต่อย่างไรก็ตามแรงดันทั้งหมดที่กระทำด้านหลังกำแพงจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงดันน้ำ ดังนั้นโดยปกติถ้าจัดให้มีการระบายน้ำที่เหมาะสม ณ ด้านหลังกำแพงกันดินก็จะช่วยลดแรงดันน้ำนี้ได้ภายหลังฝนตกหนักหรือรอยแตกเนื่องจากแรงดึงในดินอาจจะเต็มไปด้วยน้ำ ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดแรงดันในแนวราบขึ้น

3.5 การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมั่น

3.5.1 โดยวิธีของ Rankine (ผิวดินอยู่ในแนวราบ)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงเป็นแนวราบ สามารถหาแรงดัน Passive (p_p) ได้จากทฤษฎีของ Rankine ดังนี้

$$\begin{aligned} p_p &= K_p \gamma H \\ \text{ในเมื่อ } K_p &= \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \\ &= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \end{aligned}$$

3.5.2 โดยวิธีของ Rankine (ผิวดินลาดชัน)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงเป็นแนวลาดชัน เป็นมุมเท่ากับ β กับแนวราบ สามารถหาแรงดัน Passive ได้จากทฤษฎีของ Rankine ดังนี้

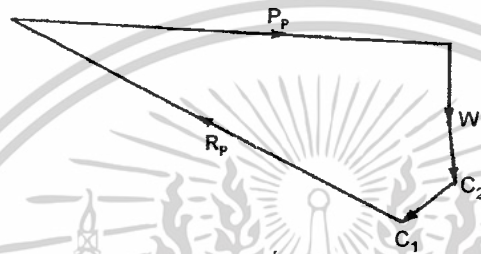
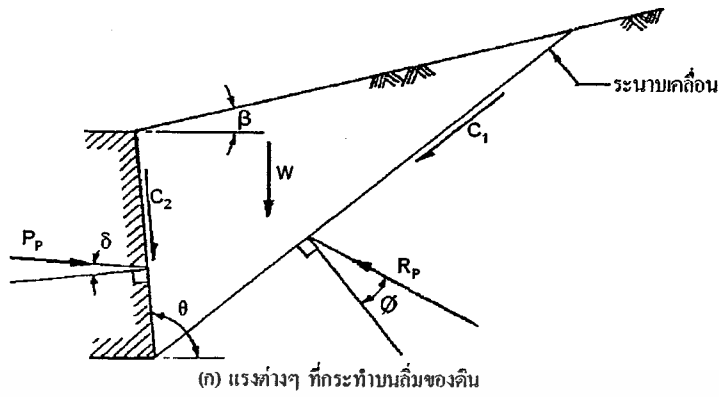
$$\begin{aligned} p_p &= K_p \gamma H \\ \text{ในเมื่อ } K_p &= \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \end{aligned}$$

3.5.3 โดยวิธีของ Coulomb (ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงไม่เป็นแนวราบ ลาดชันทำมุม β กับแนวราบ สามารถหาแรงดัน Passive ได้จากทฤษฎีของ Coulomb ดังนี้

$$\begin{aligned} p_p &= K_p \gamma H \\ \text{ในเมื่อ } K_p &= \frac{\sin^2(\theta - \phi)}{\sin^2 \theta \sin(\theta + \delta) \left[1 - \frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\theta + \delta) \sin(\theta - \beta)} \right]^2} \end{aligned}$$

ความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ เช่นเดียวกับการหาแรงดัน Active หรืออาจจะหาค่าแรง Passive (P_p) ได้จากรูปหลายเหลี่ยมของแรงโดยอาศัยทฤษฎีลิมของดิน ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13

ณ จุดพังทลาย ลิ่มของดินจะเคลื่อนที่ขึ้น (อูดขึ้น) และแรงคั้นต่างๆ ที่กระทำต่อลิ่มของดินดังแสดงในรูปที่ 3.13 (ก)

W = แรงเนื่องจากมวลของดินในลิ่ม

C_1 = แรงเชื่อมแน่นของดินตามแนวระนาบพังทลาย
= $c \times$ ความยาวของระนาบเคลื่อน

C_2 = แรงติดแน่นระหว่างกำแพงและดิน
= $c_w \times$ ความยาวตามแนวกำแพงด้านหลัง

R_p = แรงโต้ตอบ Passive กระทำเป็นมุม ϕ กับเส้นตั้งฉากของระนาบเคลื่อนโดย
โดยกระทำด้านบน

p_p = แรง Passive กระทำเป็นมุม δ กับเส้นตั้งฉากของกำแพงโดยกระทำด้านบน

W , C_1 และ C_2 สามารถคำนวณหาได้ ส่วน R_p และ p_p รู้ทิศทางของแนวแรง ดังนั้นสามารถเขียนรูปหลายเหลี่ยมของแรงได้ ดังรูปที่ 3.13 (ข) และแรง Passive (P_p) จะหาได้จากรูป

3.6 การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น

สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินแบบ Passive จะมีค่ามากกว่าในดินชนิดที่ไม่มี ความเชื่อมแน่น ซึ่งมีค่าความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายใน เท่ากัน และสามารถหาได้ดังนี้

3.6.1. โดยวิธีของ Bell

Bell ได้พัฒนาวิธีหาแรงดันดินแบบ Passive มาจากทฤษฎีของแรงกั้นสำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นผิวดินอยู่ในแนวราบ และสมมุติว่าไม่มีแรงเสียดทานด้านหลังกำแพงกันดินที่เป็น แนวตั้ง

แรงดันดินแบบ Passive ที่ความลึก h จะได้เท่ากับ

$$p_p = K_p \gamma H + 2c \sqrt{K_p}$$

ในเมื่อ

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$
$$= \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

ถ้าเป็นดินที่ไม่มี ความเชื่อมแน่น $c = 0$

$$\therefore p_p = K_p \gamma H$$

ดังนั้นจะเห็น ได้ว่าแรงเชื่อมแน่นของดินมีผลทำให้แรงดันดินแบบ Passive เพิ่มขึ้น เท่ากับจำนวน $2c \sqrt{K_p}$

3.7 ข้อเปรียบเทียบทฤษฎีแรงดันดินด้านข้าง

1. Rankine

1. ดินเป็นเนื้อเดียวกัน โดยพิจารณาเฉพาะความเสียดทาน
2. พิจารณาถึงสภาวะ Plastic ของดินเพื่อหาแรง Active และ Passive
3. ผิวดินกลายเป็นผิวดินราบที่มาจาก การพิจารณา สภาวะ Plastic equilibrium
4. ผิวดินถมเป็นแนวราบ
5. ผิวกำแพงด้านหลังเป็นแนวตั้ง
6. ผิวดินของผนังเรียบ

2. Coulomb

1. ดินเป็นเนื้อเดียวกัน และพิจารณาทั้งความเสียดทานและแรงยึดเหนี่ยวในดิน
2. ในการหาแรงดันดินแบบ Active และ Passive จะพิจารณาถึงสภาวะ Plastic equilibrium ของระนาบสามเหลี่ยมพลังหลายที่สมมุติขึ้น
3. ผิวพลังหลายถูกสมมุติให้เป็นผิวราบ
4. ผิวดินถมเป็นแนวราบและเอียง
5. ผิวกำแพงด้านหลังเป็นได้ทั้งแนวตั้งและแนวเอียง
6. มีแรงเสียดทานของกำแพงและสามเหลี่ยมพลังหลายเคลื่อนที่ตลอดกำแพงทำให้เกิดแรง

3.8 ข้อกำหนดเกี่ยวกับกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก

มาตรฐาน ACI หรือ ว.ส.ท. กำหนดความหนาและปริมาณเหล็กเสริมในกำแพงหรือผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังต่อไปนี้ แต่อาจแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าหากการวิเคราะห์ทางโครงสร้างแสดงว่า โครงสร้างนั้นมีกำลังและเสถียรภาพดีพอ

3.8.1 ความหนาต่ำสุดของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. ความหนาของกำแพงที่รับใช้น้ำหนัก (Bearing wall) ต้องไม่น้อยกว่า $1/25$ ของความสูงหรือความกว้างระหว่างที่รองรับ ทั้งนี้ ให้ใช้ค่าที่น้อยกว่า
2. ความหนาของกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้เป็นผนังกันห้อง ต้องหนาไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร แต่ต้องไม่น้อยกว่า $1/50$ ของระยะระหว่างที่รองรับ และไม่น้อยกว่า $1/50$ ของความกว้างของกำแพง

3.8.2 ความยาวประสิทธิผลของกำแพงในแนวนอน

ในกรณีที่ใช้น้ำหนักบรรทุกกระทำแบบจุด ความยาวประสิทธิผลของกำแพงในแนวนอนที่ใช้น้ำหนักบรรทุกทุกนั้นต้องไม่เกินกว่าระยะศูนย์กลางถึงศูนย์กลางระหว่างน้ำหนักบรรทุก และต้องไม่เกินความยาวของที่รองรับบวกด้วยสี่เท่าของความหนาของกำแพง

3.8.3 ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดในกำแพง

1. สำหรับเหล็กเสริมในแนวตั้ง:
 - ต้องไม่น้อยกว่า 0.0015 ของเนื้อที่หน้าตัดผนังส่วนนั้น
2. สำหรับเหล็กเสริมในแนวนอน:
 - ต้องไม่น้อยกว่า 0.0025 ของเนื้อที่หน้าตัดส่วนนั้น

3.8.4. การจัดวางเหล็กเสริม

1. เหล็กเสริมในแนวตั้งและแนวนอนต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 9 มิลลิเมตรและมีระยะเรียงไม่เกิน 30 เซนติเมตร
2. ต้องยึดผนังกำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กให้ติดกับพื้น เสา หรือผนังที่มาบรรจบกัน ด้วยเหล็กเสริมของแต่ละชั้นซึ่งมีขนาดไม่เล็กกว่า 9 มิลลิเมตรระยะเรียง 20 เซนติเมตรหรือเทียบเท่า
3. เหล็กเส้นที่ขนานกัน ต้องไม่แคบกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้นนั้น หรือ 1.33 เท่า ของขนาดใหญ่สุดของมวลหยาบหรือ 2.5 ซม.
4. คอนกรีตที่สัมผัสดินโดยตรง ต้องมีระยะหุ้มผิว (Covering) ไม่น้อยกว่า 6 ซม. ส่วนคอนกรีตที่สัมผัสกับแฉกฝน หรือสัมผัสกับดิน และเหล็กเสริมนั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 15 มม. ขึ้นไป ต้องมีระยะหุ้มผิวไม่น้อยกว่า 3 ซม. และในทุกกรณีระยะหุ้มผิวต้องไม่บางกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น

3.9 กำลักรับน้ำหนักบรรทุกทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (R_d) หาได้จาก

1. สูตรทางทฤษฎีหรือผลการทดสอบตามหลักวิศวกรรมปฏิวัติและฐานราก โดยใช้ส่วนปลอดภัยประมาณ 2.5 ถึง 3.0 ของกำลักรับน้ำหนักสูงสุด
2. จากข้อบัญญัติที่กำหนดไว้ในแต่ละท้องที่ ซึ่งข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครได้ให้ข้อกำหนด ดังต่อไปนี้

ในกรณีที่ไม่มีเอกสารแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของดินหน่วยแรงฝัดที่ยอมให้

1. ดินที่อยู่ในระดับลึกไม่เกิน 7 เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง
หน่วยแรงฝัดของดินที่ยอมให้ = 600 กก./ตารางเมตร
2. ดินที่มีความลึกเกินกว่า 7 เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง
หน่วยแรงฝัดที่ของดินที่ยอมให้ = $800 + 200L$ กก./ตารางเมตร

ในเมื่อ L เป็นความยาวของเสาเข็มเป็น เมตรเฉพาะส่วนที่ลึกเกินกว่า 7 เมตร

ในกรณีที่มีเอกสารทดสอบคุณสมบัติของดินหรือมีการทดสอบหากำลักรับน้ำหนักของเสาเข็มในบริเวณก่อสร้างหรือข้างเคียง ให้ใช้กำลักรับน้ำหนักของเสาเข็มไม่เกินอัตราต่อไปนี้

1. ไม่เกินร้อยละ 40 ของกำลักรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณจากการทดสอบคุณสมบัติของดิน
2. ไม่เกินร้อยละ 40 ของกำลักรับน้ำหนักของเสาเข็มที่คำนวณจากสูตรการตอกเสาเข็ม
3. ไม่เกินร้อยละ 50 ของกำลักรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบกำลักรับน้ำหนักสูงสุด

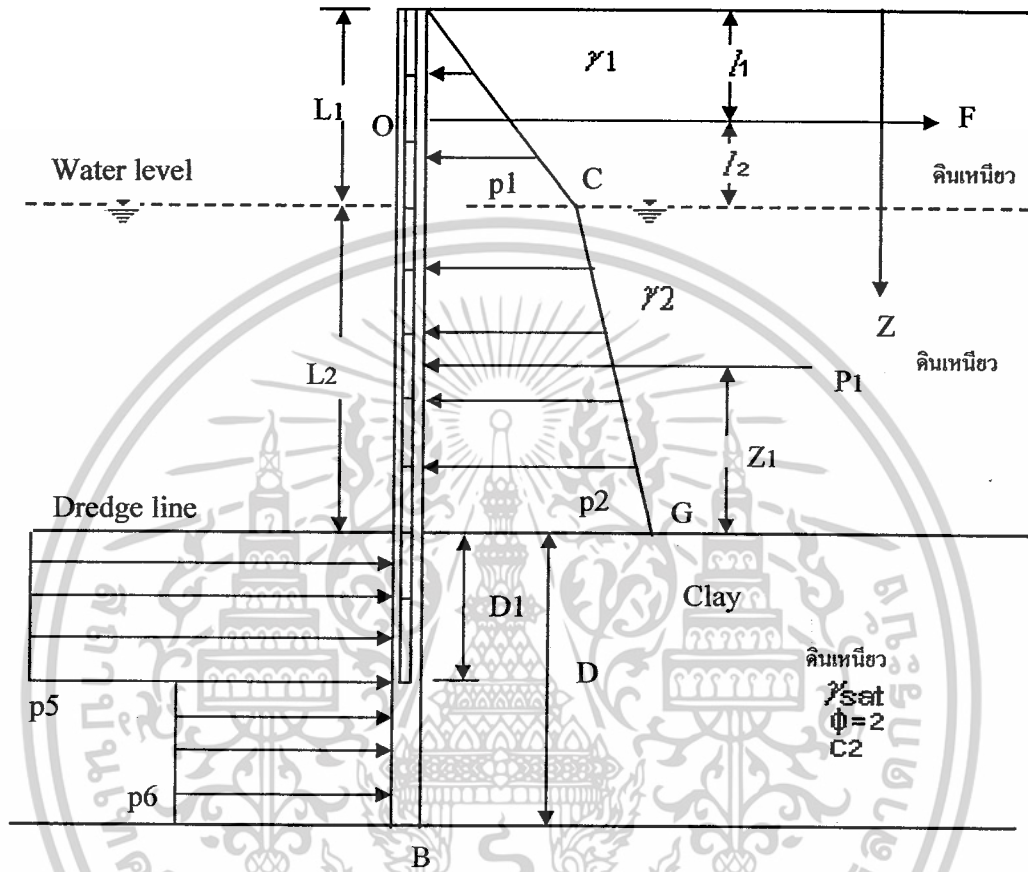
ทั้งนี้ ในการทดสอบกำลังแบกทานสูงสุดของเสาเข็ม ค่าการทรุดตัวต้องไม่เกิน 0.25 มิลลิเมตร ต่อน้ำหนักแบกทาน 1000 กก. และเมื่อเอาน้ำหนักแบกทานออกหมดแล้วเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่าการทรุดตัวที่ปรากฏต้องไม่เกิน 6 มิลลิเมตร

อนึ่งเมื่อพิจารณาออกแบบใช้เสาเข็มเพื่อถ่ายน้ำหนักลงสู่พื้นดินต้องคำนึงถึงความสามารถของดินรอบข้างเสาเข็มด้วยว่ามีความสามารถรับน้ำหนักได้ดีหรือไม่ตลอดจนระยะระหว่างเสาเข็มซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและความยาวของเสาเข็มเพราะกำลังรับน้ำหนักบรรทุกพลอคภัยของเสาเข็มที่ตอกเป็นกลุ่มอาจไม่เท่ากับผลรวมของกำลังรับน้ำหนักพลอคภัยของเสาเข็มแต่ละต้น เนื่องจากดินบางชนิดจะถูกทำลายความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกพลอคภัยของเสาเข็มแต่ละต้น ปกติควรให้ระยะห่างของศูนย์กลางเสาเข็มอย่างน้อยเท่ากับ 3 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มนั้น



บทที่ 4

การวิเคราะห์เสาเข็มกำแพงกันดิน



รูปที่ 4.1 แสดงแรงค้ำดินที่มากกระทำต่อเสาเข็มกำแพงกันดิน

4.1 วิเคราะห์การออกแบบเสาเข็มกำแพงกันดิน

$$\begin{aligned}
 R &= 1.2 \text{ m. (ระยะเสาเข็มตอกห่างกัน)} \\
 c &= 1000 \text{ kg./m.}^2 \\
 L_1 &= 0.9 \text{ m.} \\
 L_2 &= 1.5 \text{ m.} \\
 \phi &= 0 \\
 l_1 &= 0 \text{ m.} \\
 l_2 &= L_1 - l_1 = 0.9 - 0 = 0.9 \text{ m.} \\
 \gamma_1 &= 1700 \text{ kg./m.}^3 \\
 \gamma_{sat} &= 1600 \text{ kg./m.}^3 \\
 \gamma_2 &= \gamma_{sat} - \gamma_w = 1600 - 1000 = 600 \text{ kg./m.}^3 \\
 d &= 0.4 \text{ m. (ขนาดเสาเข็ม)}
 \end{aligned}$$

กีดแรงที่มากระทำต่อเสาเข็ม

$$\begin{aligned}
 K_a &= \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \\
 &= \frac{1 - \sin 0}{1 + \sin 0} \\
 &= 1 \\
 K_p &= \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \\
 &= \frac{1 + \sin 0}{1 - \sin 0} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

แรงดันดินในแนวอนแบบ Active

$$\begin{aligned}
 p_a &= [\gamma_1 \cdot L_1 + \gamma_2 + \gamma_{sat} (z - L_1 - L_2)] K_a - 2c \sqrt{K_a} \\
 &= (\gamma_1 \cdot L_1 + \gamma_2 \cdot L_2 + \gamma_{sat} (z - L)) - 2c \\
 p_p &= \gamma_{sat} (z - L_1 - L_2) K_p + 2c \sqrt{K_p} \\
 p_6 &= p_p - p_a \\
 &= \gamma_{sat} (z - L) + 2c - \gamma_1 \cdot L_1 - \gamma_2 \cdot L_2 \\
 &\quad - \gamma_{sat} (z - L) + 2c \\
 p_6 &= 4c - (\gamma \cdot L_1 + \gamma_2 \cdot L_2) \\
 p_1 &= K_a \cdot \gamma_1 \cdot L_1 \cdot R \\
 &= 1 \times 1700 \times 0.9 \times 1.2 \\
 &= 1836 \text{ kg./m.} \\
 p_2 &= p_1 + (K_a \cdot \gamma_2 \cdot L_2 \cdot R) \\
 &= 1836 + (1 \times 600 \times 1.5 \times 1.2) \\
 &= 2916 \text{ kg./m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_6 &= \left(4c - \frac{p_2}{R}\right) \times d \\
 &= \left(4 \times 1000 - \frac{2916}{1.2}\right) \times 0.4 \\
 &= 628 \text{ kg./m.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 p_5 &= \left(4c - \frac{p_2}{R}\right) \times R \\
 &= 4cR - p_2 \\
 &= 4 \times 1000 \times 1.2 - 2916 = 1884 \text{ kg./m.}
 \end{aligned}$$

หาแรงรวมทั้งหมดที่มากกระทำ

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \frac{1}{2} p_1 L_1 + p_1 L_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) L_2 \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 1836 \times 0.9\right) + 1836 \times 1.5 \\
 &\quad + \frac{1}{2} \times 1080 \times 2.6 \\
 &= 4390 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

หาค่าแห่งที่ P_1 กระทำเหนือ Dredge Line

$$\begin{aligned}
 z_1 &= \frac{EM_{dredgeline}}{P_1} \\
 &= \frac{\left[\frac{1}{2} p_1 L_1 \times \left(L_2 + \frac{L_1}{3}\right)\right] + \left[p_1 L_2 \times \frac{L_2}{2}\right] + \left[\frac{1}{2} \times (p_2 - p_1) L_2 \times \frac{L_2}{3}\right]}{P_1} \\
 &= \frac{\left[826.2 \times \left(1.5 + \frac{0.9}{3}\right)\right] + \left[2754 \times \frac{1.5}{2}\right] + \left[\frac{1}{2} \times 1080 \times 1.5 \times \frac{1.5}{3}\right]}{4390} \\
 z_1 &= 0.9 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

หาความยาวของเสาเข็ม

$$\varepsilon \text{ Moment รอบจุด } O = 0$$

ตอกลึก 0.5 ม.

$$\begin{aligned}
 P_1(L_1 + L_2 - l_1 - z) - p_6(D - D_1) \left(\frac{D - D_1}{2} + D_1 + L_1 + L_2 - l_1\right) \\
 - \left[p_5 D_1 \left(\frac{D_1}{2} + L_1 + L_2\right)\right] &= 0 \\
 \text{ให้ } D - D_1 &= x
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
p_6 x^2 - 2P_1(L_1 + L_2 - l_1 - z_1) + 2p_6 x(D_1 + L_1 + L_2 - l_1) \\
- 2p_5 \left(\frac{D_1}{2} + L_1 + L_2 - l_1 \right) &= 0 \\
628x^2 - [2 \times 4390(0.9 + 1.5 - 0 - 0.9)] + [2 \times 628 \times (0.5 + 0.9 + 1.5 - 0)] \\
+ 2 \times 1884 \times 0.5 \times \left(\frac{0.5}{2} + 0.9 + 1.5 - 0 \right) &= 0 \\
628x^2 - 3642.4x - 8177.4 &= 0
\end{aligned}$$

$$x = 1.73, -7.53$$

$$D - D_1 = x$$

$$D - 0.5 = 1.73$$

$$D = 2.23 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned}
\text{ความยาวของเสาเข็มที่ใช้} &= 0.9 + 1.5 + 2.23 \\
&= 4.63 \text{ m.}
\end{aligned}$$

ตอกแผ่นผนังกันดินลึกลง 0.5 เมตร (H) จากระดับ Dredge line

$$\begin{aligned}
F &= P_1 - p_6 D - p_5 D_1 \\
&= 4390 - 628 \times 1.73 - 1881 \times 0.5 \\
&= 2363.47 \text{ kg.}
\end{aligned}$$

หาระยะที่ทำให้เกิด Moment สูงสุด

หาแรงรับในแนวตั้งเท่ากับศูนย์ที่ระดับลึกลงมาเป็นระยะ z

$$\frac{1}{2} K_a \gamma (z - L_1)^2 + p_1 (z - L_1) + \left[\frac{1}{2} p_1 L_1 - F \right] = 0$$

$$\text{กำหนดให้ } z - L_1 = x$$

$$\frac{1}{2} \times 1 \times 600 \times x^2 + 1836x + \left[\frac{1}{2} \times 1836 \times 0.9 - 2363.47 \right] = 0$$

$$300x^2 + 1436.5x - 1537.27 = 0$$

$$x = 0.75, -6.87$$

$$\text{เลือก } x = 0.75$$

$$z - L_1 = x$$

$$z - 0.9 = 0.75 \text{ m.}$$

$$z = 1.65 \text{ m.}$$

ที่ระยะ 1.65 เมตร ทำให้เกิด Moment สูงสุด

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= F \times (z-l) - \left(\frac{1}{2} p_1 L_1\right) \left(\frac{L_1}{3} + x\right) - \left(\frac{1}{2} (p_2 - p_1) x\right) \left(\frac{x}{3}\right) - (p_1 x) \left(\frac{x}{2}\right) \\
 &= \\
 &= 2363.47 \times 1.65 - \left(\frac{1}{2} \times 1836 \times 0.9\right) \left(\frac{0.9}{3} + 0.75\right) - \left(\frac{1}{2} \times 1080 \times 0.75\right) \left(\frac{0.75}{3}\right) \\
 &\quad - (1436.5 \times 0.3) \left(\frac{0.3}{2}\right) \\
 &= 1436.25 \text{ kg./m.}
 \end{aligned}$$



หาแรงเฉือนที่ระยะต่างๆบนเสาเข็ม

ตำแหน่งที่ (เมตร)	สมการ	แรงเฉือน (kg.)
0	0	2363.47
0.18	$2363.47 - \left(\frac{1}{2} \times 0.18^2 \times \frac{1836}{0.9}\right)$	2330.42
0.36	$2363.47 - \left(\frac{1}{2} \times 0.36^2 \times \frac{1836}{0.9}\right)$	2231.2
0.54	$2363.47 - \left(\frac{1}{2} \times 0.54^2 \times \frac{1836}{0.9}\right)$	2066.04
0.72	$2363.47 - \left(\frac{1}{2} \times 0.72^2 \times \frac{1836}{0.9}\right)$	1834.7
0.9	$2363.47 \times 0.18 - \left(\frac{1}{2} \times 0.9^2 \times \frac{1836}{0.9}\right)$	1537.27
1.2	$1537.27 - \left(\frac{1}{2} \times 0.3^2 \times \frac{1080}{1.5}\right) - (0.3 \times 1836)$	954.07
1.5	$1537.27 - \left(\frac{1}{2} \times 0.6^2 \times \frac{1080}{1.5}\right) - (0.6 \times 1836)$	306.07
1.8	$1537.27 - \left(\frac{1}{2} \times 0.9^2 \times \frac{1080}{1.5}\right) - (0.9 \times 1836)$	-406.73
2.1	$1537.27 - \left(\frac{1}{2} \times 1.2^2 \times \frac{1080}{1.5}\right) - (1.2 \times 1836)$	-1184.33
2.4	$1537.27 - \left(\frac{1}{2} \times 1.5^2 \times \frac{1080}{1.5}\right) - (1.5 \times 1836)$	-2026.73
2.5	$-2026.73 + (1884 \times 0.1)$	-1838.33
2.6	$-2026.73 + (1884 \times 0.2)$	-1649.33
2.7	$-2026.73 + (1884 \times 0.3)$	-1461.53
2.8	$-2026.73 + (1884 \times 0.4)$	-1273.13
2.9	$-2026.73 + (1884 \times 0.5)$	-1084.73
3.24	$-1589.78 + (628 \times 0.34)$	-867.78
3.58	$-1589.78 + (628 \times 0.34)$	-650.84
3.92	$-1589.78 + (628 \times 0.34)$	-433.89
4.26	$-1589.78 + (628 \times 0.34)$	-216.95
4.63	$-1589.78 + (628 \times 0.34)$	0

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงเฉือน ณ ตำแหน่งต่างๆ

หาโมเมนต์ที่ระยะต่างบนเสาเข็ม

ตำแหน่ง ที่ (เมตร)	สมการ	Moment (kg.)
0		0
0.18	$0 + (0.5 \times (2363.47 + 2330.42) \times (0.18 - 0))$	422.45
0.36	$422.45 + (0.5 \times (2330.42 + 2231.20) \times (0.36 - 0.18))$	833.00
0.54	$833.00 + (0.5 \times (2231.20 + 2066.04) \times (0.54 - 0.36))$	1219.76
0.72	$1219.76 + (0.5 \times (2066.04 + 1834.7) \times (0.72 - 0.54))$	1570.83
0.9	$1570.83 + (0.5 \times (1834.7 + 1537.27) \times (0.9 - 0.72))$	1874.31
1.2	$1874.31 + (0.5 \times (1537.27 + 954.07) \times (1.2 - 0.9))$	2248.01
1.5	$2248.01 + (0.5 \times (954.07 + 306.07) \times (1.5 - 1.2))$	2437.03
1.8	$2437.03 + (0.5 \times (306.07 - 406.73) \times (1.8 - 1.5))$	2421.93
2.1	$2421.93 + (0.5 \times (-406.73 - 1184.33) \times (2.1 - 1.8))$	2183.28
2.4	$2183.28 + (0.5 \times (-1184.33 - 2026.73) \times (2.4 - 2.1))$	1701.62
2.5	$1701.62 + (0.5 \times (-2026.73 - 1838.33) \times (2.5 - 2.4))$	1508.36
2.6	$1508.36 + (0.5 \times (-1838.33 - 1649.33) \times (2.6 - 2.5))$	1333.95
2.7	$1333.95 + (0.5 \times (-1649.33 - 1461.53) \times (2.7 - 2.6))$	1178.38
2.8	$1178.38 + (0.5 \times (-1461.53 - 1273.13) \times (2.8 - 2.7))$	1041.65
2.9	$1041.65 + (0.5 \times (-1273.13 - 1084.73) \times (2.9 - 2.8))$	923.75
3.25	$923.75 + (0.5 \times (-1084.73 - 867.78) \times (3.25 - 2.9))$	596.50
3.59	$596.50 + (0.5 \times (-867.78 - 650.84) \times (3.59 - 3.25))$	324.19
3.94	$324.19 + (0.5 \times (-650.84 - 433.89) \times (3.94 - 3.59))$	136.83
4.28	$136.83 + (0.5 \times (-433.89 - 216.95) \times (4.28 - 3.94))$	24.42
4.63	$24.42 + (0.5 \times (-216.95 + 0) \times (4.63 - 4.28))$	-13.06

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าโมเมนต์ ณ ตำแหน่งต่างๆ

บทที่ 5

การใช้โปรแกรม

โปรแกรมนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ

1. ส่วนแรกต้องป้อนข้อมูลต่างๆลงไปและจะแสดงผลการคำนวณออกมาทันทีโดยผู้ที่มีข้อมูลคืนที่จำเป็นในการออกแบบและข้อมูลคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่ใช้ใน โปรแกรมการออกแบบกำแพงกันดินซึ่งข้อมูลคืนที่สำคัญคือ Boring log ซึ่งจะทำให้รู้ค่าต่างๆที่สำคัญสำหรับโปรแกรมนี้

2. ส่วนที่สองจะเป็นการคำนวณค่าออกมาแล้วให้เลือกวัสดุที่ใช้ในการออกแบบว่าเหมาะสมหรือไม่หากข้อมูลหรือวัสดุที่ใช้นั้น ไม่สามารถที่จะสามารถใช้ได้ในการเลือกหน้าตัดเสาเข็มซึ่งจะมีผลต่อความยาวของเสาเข็มหากใช้น้ำตัดที่ไม่เหมาะสมเช่น ใช้น้ำตัดเล็กทำให้เสาเข็มยาวเกินไปหรือไม่สามารถจะหาค่าได้ จึงจำเป็นต้องมีการป้อนข้อมูลที่เหมาะสมในการออกแบบ ดังนั้นความสำคัญของส่วนที่สองจะขึ้นอยู่กับผู้ใช้ที่ป้อนข้อมูลลงไป

ป้อนข้อมูลดินต่างลงไปเพื่อหาค่าแรงดันดินที่ระดับต่างๆ โปรแกรมก็จะ
ประมวลผลค่าต่างๆออกมาดังตารางข้างล่าง

รายการคำนวณเสาเข็มรับแรงดันดิน		
เสาเข็มตอกห่างกัน	=	1.20 m
c	=	1000 kg/m ²
L1	=	0.9 m
L2	=	1.5 m
∅	=	0 องศา
$Ka = (1 - \sin\theta) / (1 + \sin\theta)$	=	1.00
$Kp = (1 + \sin\theta) / (1 - \sin\theta)$	=	1.00
l1	=	0 m
l2	=	0.9 m
γ_1	=	1700 kg/m ³
γ_{sat}	=	1600 kg/m ³
γ_2	=	600 kg/m ³
$p_1 = Ka \cdot \gamma_1 \cdot L1 \cdot R$	=	1836.00 kg/m
$p_2 = p_1 + (Ka \cdot \gamma_2 \cdot L2 \cdot R)$	=	2916.00 kg/m
$p_5 = 4cR - p_2$	=	1884.00 kg/m
ขนาดเสาเข็มที่เลือกใช้	=	0.40 m
$p_6 = 4c - (\gamma_1 \cdot L1 + \gamma_2 \cdot L2)$	=	628.00 kg/m
$P1 = 0.5(p_1 \cdot L1) + p_1 \cdot L2 + 0.5(p_2 - p_1)L2$	=	4390.20 kg
$z1 = \epsilon M_{dredgeline} / P1$		
$z1 = (0.5p_1L1(L2+L1/3)) + (p_1L2(L2/2)) + (0.5(p_2-p_1)L2(L2/3))$	=	0.90 m
$p_2 - p_1$	=	1080.00 kg/m
ดอกแผ่นผนังกันดินลึกลงอีก(D1)	=	0.50 m

จาก โปรแกรมจะคำนวณแรงที่มากกระทำต่อเสาเข็มกำแพงกันดิน

โปรแกรมคำนวณหาความยาวและแรงดึงของเสาเข็มจะใช้ในการออกแบบ

หาความยาวของเสาเข็ม	
ϵ Moment รอบจุด O = 0	
$p6(D - D1)^2 - 2P1(L1 + L2 - I1 - z1) + 2p6(D - D1)(D1 + L1 + L2 - I1) - 2p5((D1/2) + L1 + L2 - I1) = 0$	
ให้ $D - D1 = x$	
$a = p6$	= 628.00
$b = 2p6(D1 + L1 + L2 - I1)$	= 3642.40
$c = 2P1(L1 + L2 - I1 - z1) - 2p5((D1/2) + L1 + L2 - I1)$	= -8165.04
$b^2 - 4ac$	= 33777658.24
จาก $ax^2 + bx + c = 0$	
$x1$	= -7.53 m
$x2$	= 1.73 m
เลือก x	= 1.73 m
กรณีที่ $x1$ ดังนั้น $D =$	0.03 m
กรณีที่ $x2$ ดังนั้น $D =$	2.23 m
เลือก $D =$	2.23 m
ความยาวเสาเข็ม =	4.63 m
เลือกใช้เสาเข็มคอกกลี	
F ใช้งาน	= 2363.47 kg

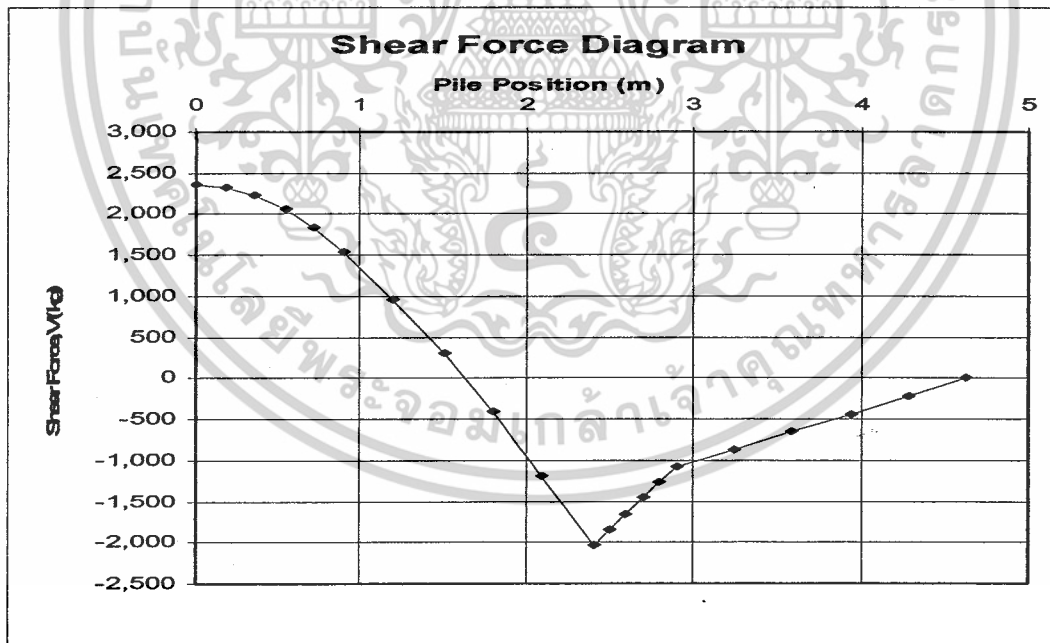
โปรแกรมคำนวณหาค่าโมเมนต์มากที่สุดที่กระทำต่อเสาเข็ม

หา Mmax	
หาแรงรับในแนวตั้งเท่ากับศูนย์ที่ระดับลึกลงมาเป็นระยะ z	
$0.5Kay(z - L1)^2 + p1(z - L1) + (0.5p1L1 - F) = 0$	
ให้ $z - L1 = x$	
a	= 300.00
b	= 1836.00
c	= -1537.27
$b^2 - 4ac$	= 5215623.02
จาก $ax^2 + bx + c = 0$	
$x1$	= 0.75 m
$x2$	= -6.87 m
เลือก x	= 0.75 m
กรณีที่ $x1$ ดังนั้น $z =$	1.65 m
กรณีที่ $x2$ ดังนั้น $z =$	-5.97 m
เลือกระยะ z ที่ให้ค่า Mmax =	1.65 m
Mmax = 2414.99 kg.m	

แรงเฉือน ณ ตำแหน่งต่างๆที่กระทำต่อเสาเข็ม

เขียนผังแรงเฉือน	
Position (m)	Shear
0.00	2363.47 kg
0.18	2330.42 kg
0.36	2231.28 kg
0.54	2066.04 kg
0.72	1834.70 kg
0.90	1537.27 kg
1.20	954.07 kg
1.50	306.07 kg
1.80	-406.73 kg
2.10	-1184.33 kg
2.40	-2026.73 kg
2.50	-1838.33 kg
2.60	-1649.93 kg
2.70	-1461.53 kg
2.80	-1273.13 kg
2.90	-1084.73 kg
3.25	-867.78 kg
3.59	-650.84 kg
3.94	-433.89 kg
4.28	-216.95 kg
4.63	0.00 kg
Shear max	2363.47 kg

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าแรงเฉือน ณ ตำแหน่งต่างๆ

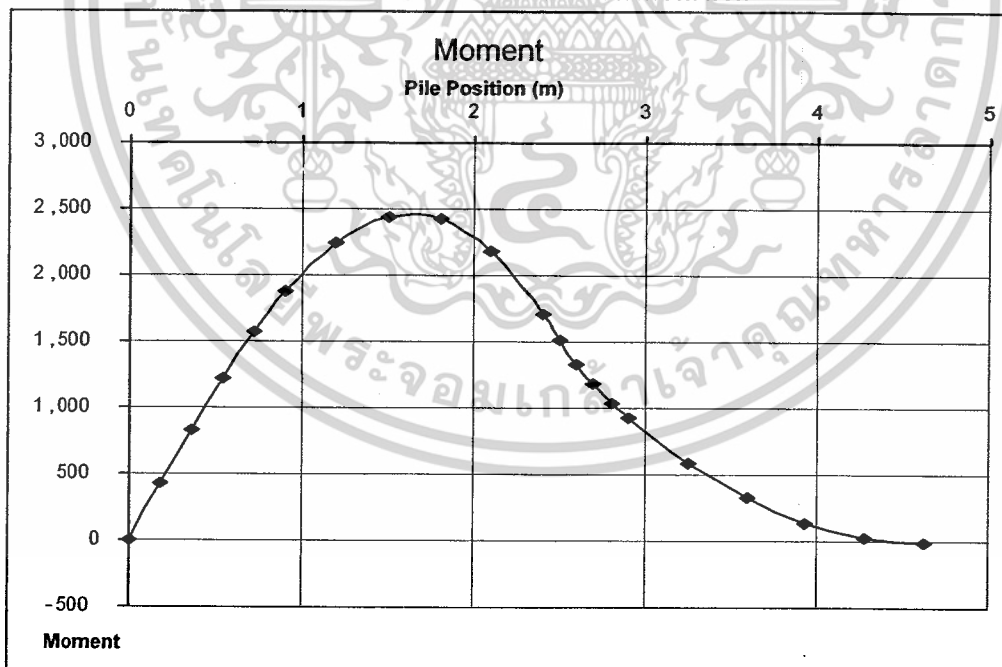


รูปที่ 5.1 แสดงกราฟแรงเฉือน ณ จุดต่างๆบนเสาเข็ม

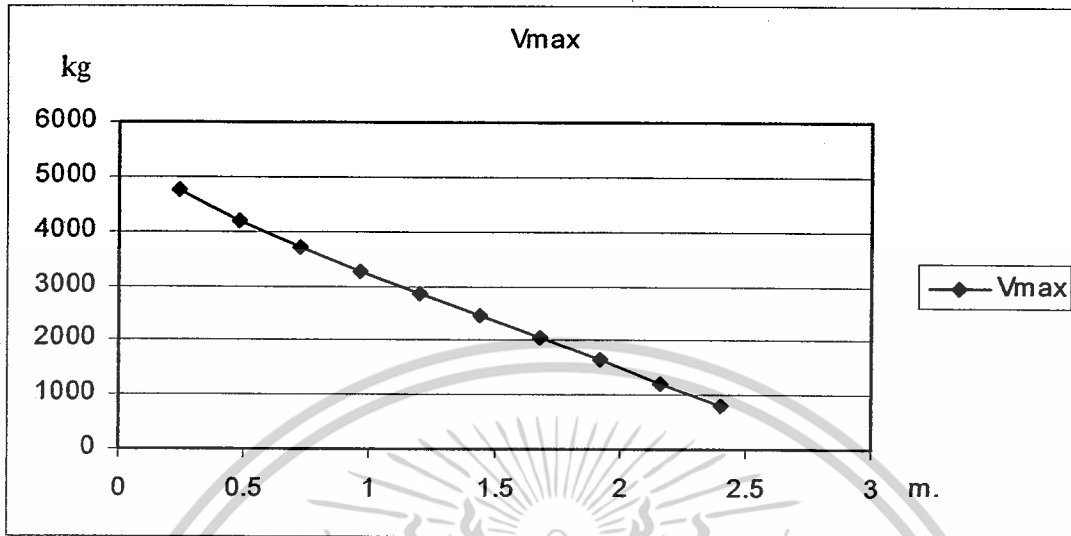
โมเมนต์ ณ ตำแหน่งต่างๆที่กระทำต่อเสาเข็ม

เขียนหัวโมเมนต์	
Position (m)	Moment
0.00	0.00
0.18	422.45
0.36	833.00
0.54	1219.76
0.72	1570.83
0.90	1874.31
1.20	2248.01
1.50	2437.03
1.80	2421.93
2.10	2183.28
2.40	1701.62
2.50	1508.36
2.60	1333.95
2.70	1178.38
2.80	1041.65
2.90	923.75
3.25	586.50
3.59	324.19
3.94	136.83
4.28	24.42
4.63	-13.06

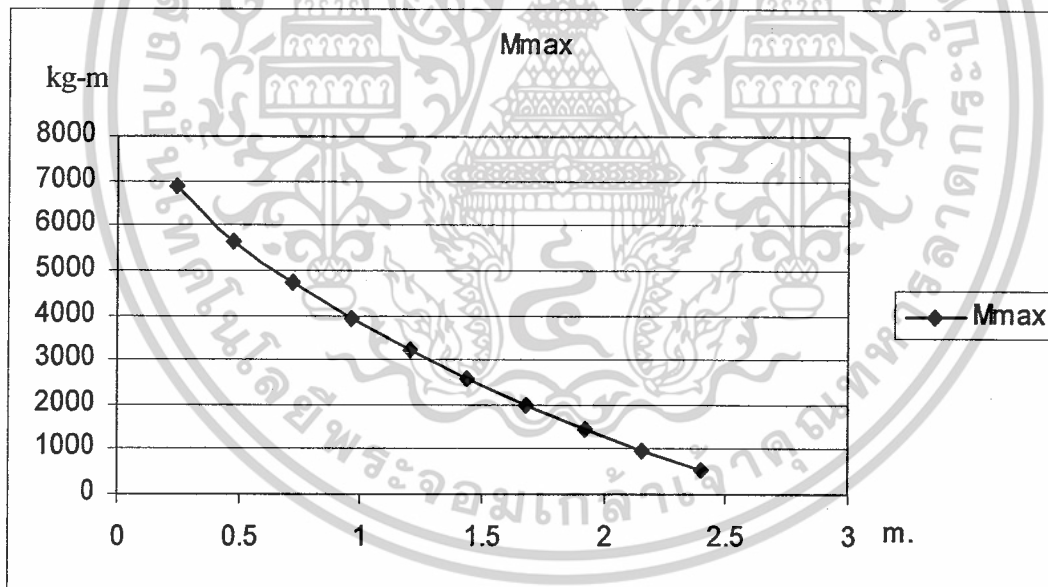
ตาราง ที่ 5.2 แสดงค่าโมเมนต์ที่กระทำต่อเสาเข็ม



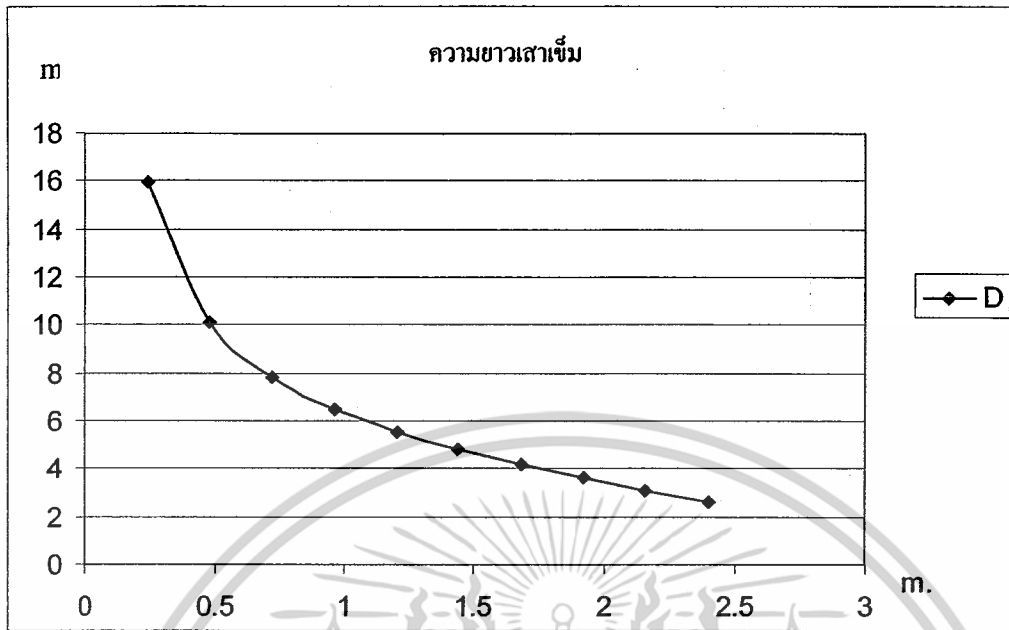
รูปที่ 5.2 แสดงกราฟโมเมนต์ ณ จุดต่างๆบนเสาเข็ม



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงแรงเฉือนสูงสุดของแต่ละระดับน้ำเทียบจาก Dredge line



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงโมเมนต์สูงสุดของแต่ละระดับน้ำเทียบจาก Dredge line



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความยาวของเสาเข็มที่ใช้ของแต่ละระดับน้ำเทียบจาก Dredge line



บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

จากการทำโครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาการออกแบบกำแพงกันดินชนิดใช้เสาเข็ม ผู้จัดทำได้เขียนโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ห้ออกแบบ Sheet Pile โปรแกรมนี้จะต้องป้อนข้อมูลดิน และข้อมูลต่างๆที่จำเป็นและโปรแกรมก็จะคำนวณหาแรงดันของดินโมเมนต์แรงเฉือนแต่ในการใช้งานนั้นผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูลหรือวัสดุที่มีอยู่ในปัจจุบันคั้งนั้นหากได้รับการพัฒนาโปรแกรมต่อไปจากผู้สนใจก็จะประหยัดเวลาในการทำงาน

ข้อเสนอแนะ

ก่อนใช้โปรแกรมผู้ใช้ต้องตรวจสอบข้อมูลที่จำเป็น ในการออกแบบให้ครบถ้วน เพื่อประหยัดเวลาในการแก้ไขข้อมูลและในการคิดระยะห่างเหล็กเสริมนั้นเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณหากจะนำไปใช้จริงผู้ใช้ต้องตรวจหรือปรับปรุงให้เหมาะสมกับลักษณะงานและการป้อนค่าต่างๆต้องตรวจสอบหน่วยให้ตรงตามที่กำหนดไว้ในตัวโปรแกรม

บรรณานุกรม

- ธนาตล คงสมบูรณ์, 2547. วิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท.
- บุญเทพ นานะกรังสรรค, 2538. Foundation Engineering Tunneling. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ดวงกมล.
- มณเฑียร กังศศิเทียม, 2543. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- วรณี สุขสาตร, 2542. วิศวกรรมฐานราก Foundation Engineering. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โฟเฟซ.
- Bra M. D., 1999 Principles of Foundation Engineering. Fourth Edition. California :Brooks/ColePublishing
- สิริพร สุมะโน, 2535. การออกแบบกำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กแบบคานยื่นโดยไมโครคอมพิวเตอร์. วิทยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมโยธาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

