



การวิเคราะห์และออกแบบ SHEET PILE

โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

ANALYSIS AND DESIGN OF SHEET PILE

BY MICROCOMPUTER



นาย ทรงกลด

แซ่ฮึง

นาย วิรัช

ฉัตรวงศ์วาน

MR. SONGGLOD

SAE-UENG

MR. WIRACH

CHATWONGVAN

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในโครงการนี้เท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2537

035040

ANALYSIS AND DESIGN OF SHEET PILE
BY MICROCOMPUTER



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEER
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

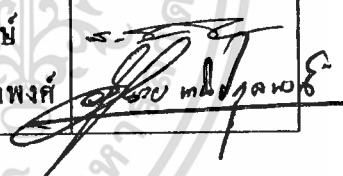
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการขังห้ามการศึกษาค้นคว้าโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัวอย่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1994

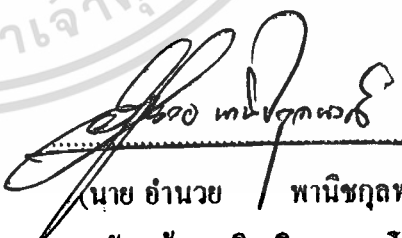
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์และออกแบบ SHEET PILE
โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์
ANALYSIS AND DESIGN OF SHEET PILE
BY MICROCOMPUTER

นักศึกษา นาย ทรงกลด แซ่เอ็ง รหัสประจำตัว 34103124
นาย วิรัช ฉัตรวงศ์วาน รหัสประจำตัว 34106334
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ	
2. อาจารย์ ศักดิ์ชัย สกานพจน์	
3. อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


.....
(นาย อำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

การวิเคราะห์และออกแบบ SHEET PILE
โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

โดย นายทรงกลด แซ่อึ้ง
นายวิรัช ถังตรงควาน

อาจารย์ที่ปรึกษา นายชานวย พานิชกุลพงศ์

บทคัดย่อ

Sheet pile เป็นโครงสร้างที่รับแรงดันด้านข้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันมากในการก่อสร้างที่มีการขุดดิน ก่อนการใช้งาน Sheet pile จะต้องวิเคราะห์และออกแบบเพื่อหาระยะฝังของ Sheet pile และตรวจสอบว่าโครงสร้างสามารถรับแรงที่เกิดขึ้นได้หรือไม่ ดังนั้น เพื่อให้การออกแบบเป็นไปอย่างถูกต้องและรวดเร็ว จึงได้เขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ออกแบบโดยใช้ภาษาซี และใช้หลักการของวิธี Finite element ในการทำงาน โปรแกรมนี้จะให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลเบื้องต้นของดิน, การกำหนดตำแหน่งของ node, หน้าตัดของ Sheet pile, ข้อมูลของ Anchor rod และจะคำนวณให้ผลลัพธ์ คือ ระยะฝังที่เหมาะสม, ค่าแรงภายใน (โมเมนต์และแรงเฉือน) ที่เกิดขึ้น, แรงดันดินที่ node ต่าง ๆ และ โปรแกรมก็จะเปรียบเทียบว่า Sheet pile จะต้องใช้เหล็กชนิดใดจึงจะสามารถรับแรงภายในที่เกิดขึ้นได้ เพื่อนำมาสรุปให้ผู้ใช้งานทราบ

ANALYSIS AND DESIGN OF SHEET PILE
BY MICROCOMPUTER

BY MR. SONGGLOD SAE-UENG
MR. WIRACH CHATWONGVAN

ASVISOR MR. AMNUAY PANICHAKULPONG

ABSTRACT

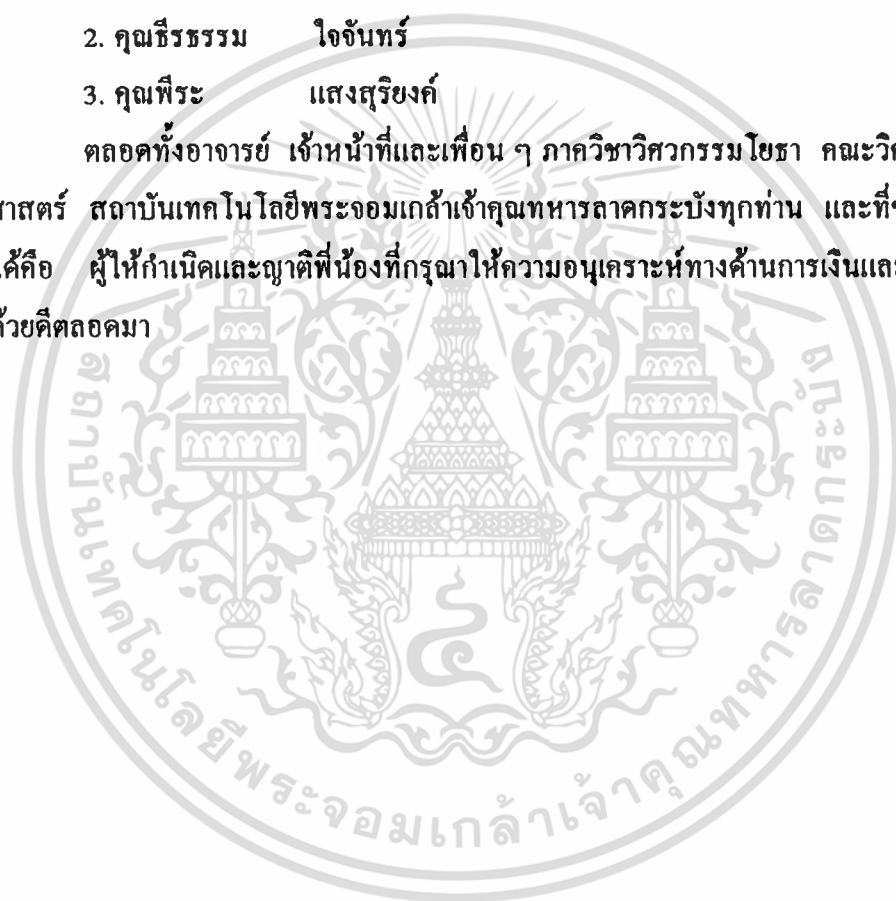
Sheet pile walls are widely used in construction in task of excavation in order to prevent the lateral earth pressure. Before the sheet piles are used, the embedment and sheet pile structure must be analyzed and designed first. To analyze and design sheet pile correctly and quickly, this program is fabricated through the finite element method and the turbo C is used as the programming language. The program allowed user to input parameters of soil, P-X coding, section of sheet pile, and anchor rods data to solve. The output which represent the results are the embedment, internal member reactions(either forces or moments), lateral earth pressures, and comparison between steel strength and internal forces occurring in member in order to summarize the steel type that can be used

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาและค้นคว้าโครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ และช่วยเหลือจากบุคคลหลาย ๆ ท่านด้วยกัน ผู้จัดทำใคร่จะขอนามของท่านเหล่านั้นมาปรากฏไว้ ณ ที่นี้ เพื่อเป็นการขอบพระคุณและระลึกถึง

1. อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
2. คุณประสาน จิ่งสงวนพรสุข
2. คุณธีรธรรม ใจจันทร์
3. คุณพีระ แสงสุริยงค์

ตลอดทั้งอาจารย์ เจ้าหน้าที่และเพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน และที่ขาดเสียมิได้คือ ผู้ให้กำเนิดและญาติพี่น้องที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ทางการเงินและกำลังใจด้วยดีตลอดมา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์	1
3. ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้	1
4. ขอบเขตของโครงการ	2
5. วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ	2
6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ลักษณะ ชนิด การใช้งาน และพฤติกรรมของ Sheet Pile ในงานก่อสร้าง	3
1. คำจำกัดความของ Sheet Pile	3
2. ประวัติความเป็นมาของโครงสร้าง Sheet Pile	5
3. รูปแบบหรือชนิดของ Sheet Pile	17
4. การใช้งาน	28
4.1 ลักษณะการใช้งานของ Seet Pile	28
4.2 ตัวอย่างการใช้ Sheet Pile ในงานก่อสร้างต่าง ๆ	32
5. การประยุกต์ Sheet Pile มาใช้ในประเทศไทย	32
6. พฤติกรรมของ Sheet Pile	46
6.1 พฤติกรรมของ Sheet Pile โดยตรง	46
6.2 พฤติกรรมของแรงดันจากดิน	47
7. ข้อควรระวังการใช้เทคโนโลยี Sheet Pile สำหรับ Bangkok clay	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกลศาสตร์ของดิน	53
เรื่อง แรงดันด้านข้างของดิน	
1. ประเภทของแรงดันด้านข้างของดิน	53
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดันดิน	56
3. การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดที่ไม่มี cohesion	58
4. การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดที่มี cohesion	62
5. การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่ไม่มี cohesion	63
6. การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่มี cohesion	66
บทที่ 4 การออกแบบ Sheet Pile	67
1. การวิบัติของ Sheet Pile	67
2. แรงดันด้านข้างที่กระทำต่อ Sheet Pile	69
3. การออกแบบ Sheet Piling Wall	69
3.1 Cantilever Walls	69
3.2 Anchored Sheet Piling Wall	78
บทที่ 5 การวิเคราะห์และออกแบบ Sheet Pile โดยวิธี Finite Element	94
1. สมการที่ใช้ในวิธี Finite Element	94
2. เมตริกซ์ A	98
3. เมตริกซ์ S	100
4. เมตริกซ์ SA^T และ ASA^T	102
5. เมตริกซ์ P	105
6. Modulus of Subgrade Reactions k_s	106
บทที่ 6 การใช้งานโปรแกรมในการออกแบบ Sheet Pile	108
1. ขั้นตอนการใช้งาน โปรแกรม	108
2. ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้โปรแกรม	121
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	126
บรรณานุกรม	127
ภาคผนวก	
โปรแกรม	i

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบอยู่กับที่	55
ตารางที่ 3.2 ค่า δ สำหรับกำแพงชนิดต่าง ๆ	57
ตารางที่ 6.1 หน้าตัดและรายละเอียดของ SHBET PILE ชนิดต่าง ๆ	114
ตารางที่ 6.2 ค่า N_c, N_w, N_q	117



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 แสดงการรับแรงดันด้านข้างของดินและแรงในแนว ขนานกับหน้าตัดของโครงสร้างชนิดต่าง ๆ	4
รูปที่ 2-2 โครงสร้างกำแพงกันดินเก่าแก่ที่สุดที่ค้นพบ	6
รูปที่ 2-3 โครงสร้างประเภท Retaining Wall ในยุคโบราณ	7
รูปที่ 2-4 โครงสร้างประเภท Retaining Wall ในยุคต้นและยุคกลาง	8
รูปที่ 2-5 เครื่องมือเกี่ยวกับเสาเข็ม	10
รูปที่ 2-6 หลักฐานการใช้เสาเข็มในยุค Romano-Gallic (50-70 ปี ก่อนคริสตศักราช)	11
รูปที่ 2-7 อาคารที่ใช้เสาเข็มในเมืองเวนิซ	12
รูปที่ 2-8 ฐานรากสะพานที่ใช้เสาเข็ม เมืองเวนิซ	13
รูปที่ 2-9 โครงสร้างลักษณะเดียวกับ Sheet Pile ยุคก่อนคริสตศักราช และยุคอียิปต์	14
รูปที่ 2-10 ฐานรากประเภท Caisson ในยุคโรมัน	15
รูปที่ 2-11 ฐานรากลักษณะเดียวกับ Sheet Pile ในยุคกลาง	16
รูปที่ 2-12 รูปแบบมาตรฐานของ Sheet Pile เหล็ก	19
รูปที่ 2-13 รูปแบบของการต่อ Sheet Pile เหล็ก	20
รูปที่ 2-14 รูปแบบของหน้าตัด Sheet Pile เหล็กบริเวณมุมและส่วนต่อเชื่อม	22
รูปที่ 2-15 รูปหน้าตัด Sheet Pile คอนกรีต	23
รูปที่ 2-16 หน้าตัดของ Sheet Pile ไม้	27
รูปที่ 2-17 ลักษณะการใช้งานของ Sheet Pile แบ่งตามลักษณะโครงสร้างรวม	29
รูปที่ 2-18 ลักษณะการใช้งานของ Sheet Pile แบ่งตามลักษณะการประกอบ	31
รูปที่ 2-19 ตัวอย่างการใช้ Sheet Pile ในงานก่อสร้างต่าง ๆ	33
รูปที่ 2-20 กำแพงริมน้ำที่ใ้หมากในสมัยก่อน	43
รูปที่ 2-21 รูปแบบกำแพงริมน้ำที่นิยมใ้หมากที่สุด	44
รูปที่ 2-22 รูปแบบที่มีใ้ช้อยู่บ้าง	45
รูปที่ 2-23 แสดงการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile เมื่อถูกแรงดันด้านข้าง	47
รูปที่ 2-24 แสดงตัวอย่างพฤติกรรมของแรงดันดินบน Cantilever Sheet Pile	48
รูปที่ 2-25 แสดงพฤติกรรมของแรงดันดินบน Braced Sheet Pile	49
รูปที่ 2-26 ลักษณะชั้นดิน Bangkok clay	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2-27 แสดงลักษณะแรงดันของดิน เปรียบเทียบระหว่าง Homogeneous soils & Bangkok clay	51
รูปที่ 2-28 แสดงการไหลตัวของดินขณะถอดค้ำยัน	52
รูปที่ 3-1	53
รูปที่ 3-2 แรงดันดินแบบอยู่กับที่	54
รูปที่ 3-3 มุมของแรงเสียดทานของกำแพง	57
รูปที่ 3-4 ผิวดินอยู่ในแนวราบ	58
รูปที่ 3-5 ผิวดินลาดขึ้น	59
รูปที่ 3-6 ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ	60
รูปที่ 3-7 แรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อลิ้มของดิน	61
รูปที่ 3-8 การกระจายแรงดันดินชนิดที่มีความเชื่อมั่น	63
รูปที่ 3-9	65
รูปที่ 4-1 แสดงการวิบัติของ Sheet Pile	68
รูปที่ 4-2 ตัวอย่างแรงดันดินใน CANTILEVER SHEET PILING	70
รูปที่ 4-3 การออกแบบ CANTILEVER SHEET PILING ใน GRANULAR SOILS	72
รูปที่ 4-4 INITIAL EARTH RPESSURE สำหรับการออกแบบ CANTILEVER SHEET PILING วมใน COHESIVE SOIL ทั้งหมด	75
รูปที่ 4-5 INITIAL EARTH PRESSURE สำหรับการออกแบบ CANTILEVER SHEET PILING ใน COHESIVE SOIL ถมกลับด้วย GRANULAR SOIL	77
รูปที่ 4-6 EFFECT OF PENETRATION ON PRESSURE DISTRIBUTION AND DEFLECTED SHAPE	79
รูปที่ 4-7 แรงดันด้านข้างที่ใช้ในการออกแบบ ANCHORED SHEET PILING WALLS โดยวิธี FREE EARTH SUPPORT	80
รูปที่ 4-8 MOMENT REDUCTION FACTOR ของ ROWE สำหรับการออกแบบ ANCHORED SHEET PILING WALL โดยวิธี FREE-EARTH SUPPORT	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4-9 การออกแบบ ANCHORED SHEET PILING WALL โดยวิธี EQUIVALENT BEAM	85
รูปที่ 4-10 EQUIVALENT BEAM ตามแบบของ TSCHEBOTARIOFF	85
รูปที่ 4-11 ANCHORAGE แบบต่าง ๆ	88
รูปที่ 4-12 ความสามารถในการรับน้ำหนักของ DEADMAN	91
รูปที่ 4-13 ความสามารถของ DEADMAN ในการรับน้ำหนักที่ตำแหน่งต่าง ๆ	92
รูปที่ 5-1 แสดง External(nodal) and internal(member) finite-element forces	94
รูปที่ 5-2 แสดง model ของวิธี Finite Element สำหรับ Sheet Pile ทั้งแบบ Cantilever และแบบ Anchored	96
รูปที่ 5-3 การหาค่าของ Spring ใน Anchor rod ต่อระยะห่าง 1 หน่วย ใน Anchor rod ที่มีพื้นที่หน้าตัด A. โมดูลัสความยืดหยุ่น E. ความยาว L	97
รูปที่ 5-4	98
รูปที่ 5-5 ความสัมพันธ์ในคานเสมือนระหว่างโมเมนต์ที่ปลาย และการหมุนของคาน	100
รูปที่ 6-1 แสดงหน้าจอภายหลังเรียกใช้โปรแกรม	108
รูปที่ 6-2 แสดงหน้าจอของ MAIN MENU	109
รูปที่ 6-3 แสดงหน้าจอภายหลังจากเรียก DATA MODE	110
รูปที่ 6-4 แสดงหน้าจอภายหลังเข้าสู่ NODE DATA	111
รูปที่ 6-5 แสดงหน้าจอภายหลังเข้าสู่ ELEMENT DATA	112
รูปที่ 6-6 แสดงหน้าจอภายหลังเข้าสู่ SELECT SHEET PILE	113
รูปที่ 6-7 แสดงหน้าจอภายหลังเข้าสู่ ANCHOR ROD	115
รูปที่ 6-8 แสดงหน้าจอภายหลังเข้าสู่ LOAD DATA	116
รูปที่ 6-9 แสดงหน้าจอหลังจากเข้าสู่ CHANGE FACTOR	118
รูปที่ 6-10 แสดงหน้าจอภายหลังจากเรียกใช้ RESULT MODE	119
รูปที่ 6-11 ตัวอย่างการคำนวณ	121

คำอธิบายสัญลักษณ์ที่ใช้

สัญลักษณ์	ความหมาย
γ	หน่วยน้ำหนักของดิน
γ_c	หน่วยน้ำหนักของดินแบบประสิทธิผล
σ_v	แรงดันในแนวตั้ง
σ_{ho}	แรงดันในแนวนอนแบบอยู่กับที่
$\sigma_{ha}P_a$	แรงดันในแนวนอนแบบ active
$\sigma_{hp}P_p$	แรงดันในแนวนอนแบบ passive
K_o	สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบอยู่กับที่
K_a	สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบ active
K_p	สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบ passive
P_a	แรงแบบ active
P_p	แรงแบบ passive
c	ค่าความเชื่อมแน่นของดิน
ϕ	มุมเสียดทานภายในของดิน
δ	มุมของแรงเสียดทานของกำแพง
β	มุมระหว่างลาดของผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินทำกับแนวราบ
θ	มุมระหว่างด้านหลังกำแพงกันดินทำกับแนวราบ
q_u	unconfined compressive strength
k_s	Modulus of Subgrade Reaction

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้การก่อสร้างต่าง ๆ เช่น การก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ที่มีห้องใต้ดิน, การก่อสร้างที่ติดถนน, การขุดวางท่อระบายน้ำ, การก่อสร้างที่ใช้เสาเข็มตอก, ฯลฯ จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันความเสียหายอันเกิดจากแรงดันด้านข้างของดิน ซึ่งโครงสร้างชนิดหนึ่งที่น่ามาใช้ในการป้องกันแรงดันด้านข้างของดินอย่างแพร่หลายในปัจจุบันก็คือ Sheet Pile

การที่เราจะนำ Sheet Pile มาใช้ในการก่อสร้าง จะต้องมีการวิเคราะห์และออกแบบก่อน เพื่อให้เหมาะสมกับงานที่จะใช้ โดยจะต้องใช้ข้อมูลของดินที่ได้จากการเจาะสำรวจ ซึ่งในการวิเคราะห์และออกแบบในปัจจุบันนี้ จะต้องใช้วิธี Trial & Error และสูตรที่ใช้ในการคำนวณก็ค่อนข้างจะซับซ้อน ซึ่งทำให้การวิเคราะห์และออกแบบโดยการคำนวณด้วยมือใช้เวลานานและอาจเกิดข้อผิดพลาดได้ด้วย ดังนั้นการนำคอมพิวเตอร์เพื่อมาใช้ในการออกแบบ จะช่วยให้การทำงานสะดวกขึ้น และช่วยลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นด้วย

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของ Sheet Pile เมื่อรับแรงกระทำต่าง ๆ เช่น ค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ค่าแรงเฉือน, ฯลฯ โดยใช้หลักการของวิธี Finite Element และนำหลักการนี้มาเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ Sheet Pile

3. ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

1. ใช้ทฤษฎีของ Rankine และ Colomb ในการหาแรงดันด้านข้างที่กระทำต่อ Sheet Pile
2. ใช้หลักการของวิธี Finite Element เพื่อแก้ปัญหาหาค่าตอบ

4. ขอบเขตของโครงการ

ในการศึกษาโครงการนี้ จะมีขอบเขตในการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินที่มีผลต่อ Sheet Pile
2. ศึกษาแรงต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการออกแบบ
3. เขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ โดยจะเน้นในการออกแบบ Sheet Pile ชนิด Cantilever และ Anchorage เป็นหลัก เนื่องจากมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง

5. วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ

1. ทำการศึกษาทางด้านทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดันที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ Sheet Pile
2. ทำการศึกษาทางด้านทฤษฎีเกี่ยวกับหลักการที่ใช้ในการออกแบบ Sheet Pile
3. ศึกษาอัลกอริทึมที่ใช้ในการออกแบบ Sheet Pile เพื่อนำมาใช้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์
4. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ Sheet Pile โดยใช้ภาษาซี
5. ทดสอบโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อตรวจสอบข้อผิดพลาดและนำมาแก้ไขให้ถูกต้อง

6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ในการจัดทำโครงการพิเศษนี้มีผลที่คาดว่าจะได้รับ ดังนี้

1. ทำให้เข้าใจถึงแรงดันด้านข้างต่าง ๆ ที่กระทำต่อ Sheet Pile และเข้าใจตัวแปรที่มีผลต่อการออกแบบ Sheet Pile มากขึ้น เช่น
 - แรงดันด้านข้างของดิน
 - แรงดันด้านข้างจากน้ำ
 - การวิบัติของ Sheet Pile
2. สามารถเข้าใจหลักการในการออกแบบ Sheet Pile มากยิ่งขึ้น
3. สามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไปใช้ในการออกแบบจริงได้

บทที่ 2

ลักษณะ ชนิด การใช้งาน และพฤติกรรม ของ Sheet Pile ในงานก่อสร้าง

1. คำจำกัดความของ Sheet Pile

ถ้าพูดถึง Sheet Pile ส่วนใหญ่มักจะนึกถึง Sheet Pile เหล็กแผ่นบาง ๆ ที่ใช้ใน งานขุดฝังท่อหรือขุดห้องใต้ดินที่ใช้กันอยู่ทั่วไป อันที่จริงแล้วคำว่า Sheet Pile ในทาง วิศวกรรมโยชามีความหมายค่อนข้างจะกว้างกว่าที่กล่าวมามาก ความหมายของ Sheet Pile ถูกจำกัดไว้ในระหว่างความหมายของเสาเข็ม และความหมายของ Retaining Wall คำ จำกัดความของ Sheet Pile หากจะเขียนให้ได้ใจความที่ค่อนข้างจะสมบูรณ์ และกระชับ ชัด จำเป็นจะต้องแยกออกในแง่มุมต่าง ๆ ซึ่งจากการที่ได้รวบรวมจากนักวิชาการหลาย ท่านเข้าด้วยกันแล้ว พอจะกำหนดได้ดังนี้

รูปร่างทางกายภาพ :

Sheet Pile คือ แผ่นที่มีรูปร่างบาง และยาว บางแบบคล้ายเสาเข็มมาก บางแบบก็เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ แบบหลังนี้มักเป็นประเภทที่จัดทำขึ้น ณ ที่ก่อสร้าง

วัสดุ :

Sheet Pile อาจทำด้วยวัสดุอะไรก็ได้ แต่ที่นิยมใช้กันมากในสังคมทั่ว ๆ ไป ทำด้วย เหล็ก คอนกรีต ไม้ และดิน (หรือ slurry)

การทำ :

Sheet Pile มีเป็นเหล็กและไม้ ส่วนใหญ่ทำเป็นชิ้นสำเร็จ (prefabricated element) แล้ว ส่วนที่เป็นคอนกรีตอาจมีทั้งแบบที่ทำเป็นชิ้นสำเร็จแล้ว และแบบ ที่นำมาหล่อ ณ สถานที่ใช้งาน สำหรับ Sheet Pile ที่ทำด้วยดิน และ slurry ส่วน ใหญ่มักจะเป็นการนำมาทำ ณ ที่ก่อสร้าง

การรับแรง :

Sheet Pile ส่วนใหญ่จะต้องมีความสามารถในการรับแรงคด อันเกิดจากแรงดันด้านข้าง โดยที่มีเฉพาะบางกรณีที่ออกแบบให้สามารถรับแรงในแนวตั้งฉากกับหน้าตัดของ Sheet Pile พร้อมไปด้วย

ความอ่อนตัว :

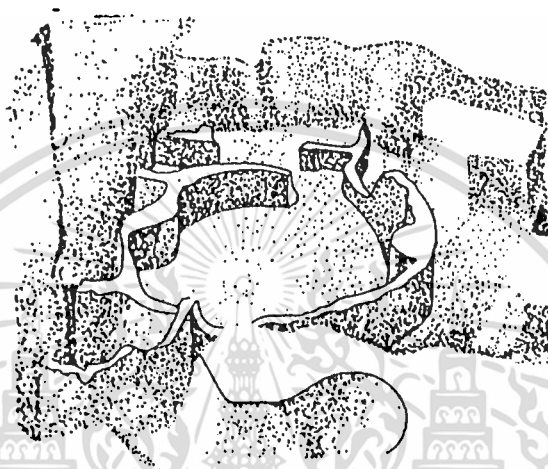
Sheet Pile ที่ใช้สำหรับโครงสร้างชั่วคราวมักมีความอ่อนตัวสูงกว่า Sheet Pile ที่ใช้เป็นโครงสร้างถาวร แต่อย่างไรก็ตาม Sheet Pile ก็มักจะมีค่าความอ่อนตัวสูงกว่าค่าแห่งกันดินเสมอ

2. ประวัติความเป็นมาของโครงสร้าง Sheet Pile

(ข้อมูลจาก Jean Kerisel : 11 th. Int. Conf. on Soil Mech. + Found. Eng. , Sanciisco / 12-15 August 1985)

ประวัติความเป็นมาของโครงสร้าง Sheet Pile เท่าที่ได้ทำการค้นคว้ามา ยังไม่ได้ข้อมูลที่กระชับมากนัก สิ่งที่ยืนยันต่อไปนี่ถือว่าเป็นเพียงข้อสันนิษฐานได้เท่านั้น

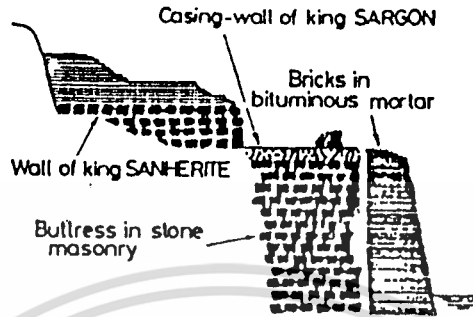
โครงสร้างที่ถือว่าเป็นต้นกำเนิด และมีความคล้ายคลึงกับ Sheet Pile มากที่สุดก็คือ โครงสร้างประเภทกำแพงกันดิน ซึ่งหากจะกล่าวตามหลักฐานของประวัติศาสตร์โลกแล้ว จะเห็นได้ว่างานก่อสร้างกำแพงกันดินมีมาตั้งแต่โบราณกาล ตั้งแต่ยุคของประเทศ Mesopotamia โดยมีการขุดพบโครงสร้างของกำแพงกันดินรูปวงกลม มีฐานกำแพงที่เมือง Tepe Gawra ซึ่งคาดว่ามียุทธศาสตร์พันปีก่อนคริสตกาล (รูปที่ 2-2) กำแพงกันดินในสมัยก่อนส่วนใหญ่ใช้สำหรับเป็นกำแพงเมือง และกำแพงป้องกันคลื่นแม่น้ำสายที่สำคัญของโลก เช่น แม่น้ำ Nile ในอียิปต์, แม่น้ำ Tigris และ Euphrates ใน Mesopotamia, แม่น้ำ Huang Ho ในจีน และแม่น้ำ Indus ในอินเดีย (ดูรูปที่ 2-3) กำแพงกันดินได้รับการพัฒนาต่าง ๆ มาจนถึงยุคกลางที่เริ่มมีรูปแบบที่คุ้นตามากขึ้น ดังในรูปที่ 2-4 แต่อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาดังกล่าว ยังไม่มีหลักฐานของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์แต่อย่างใด คาดว่าอาศัยจากการทดลองและประสบการณ์ที่ผ่านมาเป็นพื้นฐานในการก่อสร้างเป็นสำคัญ



- Circular structures at Tepe Gawra, supported by buttresses - 5th millennium B.C. (after Tobler (1950)).

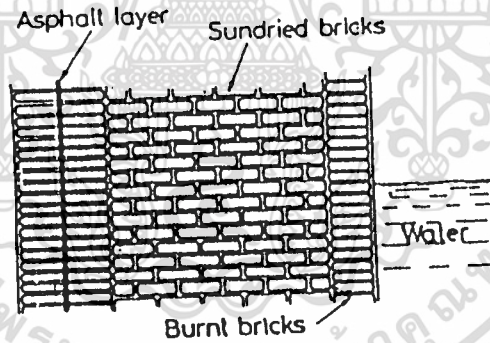
รูปที่ 2-2 โครงสร้างกำแพงกันดินเก่าแก่ที่สุดที่ค้นพบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- The quay at Ashur, 1.500m long flanking the Tigris - Andrae W. (1913)

ก. กำแพงป้องกันตลิ่งแม่น้ำ Tigris (1300 ปีก่อนคริสตกาล)

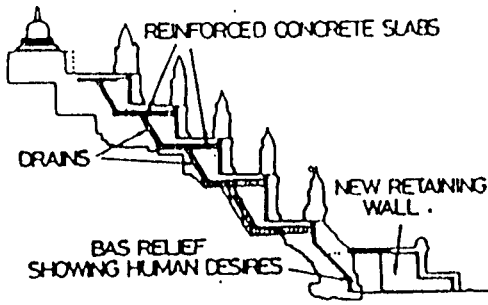


- Cross section of a reservoir wall at Mohenjo Daro.

ข. กำแพงอ่างเก็บน้ำที่ Mohenjo Dara ในอินเดีย (2000 ปีก่อนคริสตกาล)

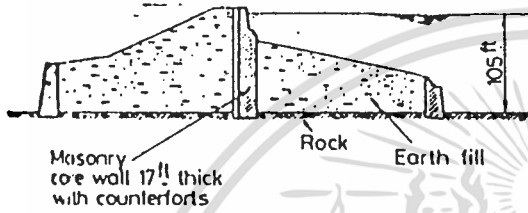
รูปที่ 2-3 โครงสร้างประเภท Retaining Wall ในยุคโบราณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



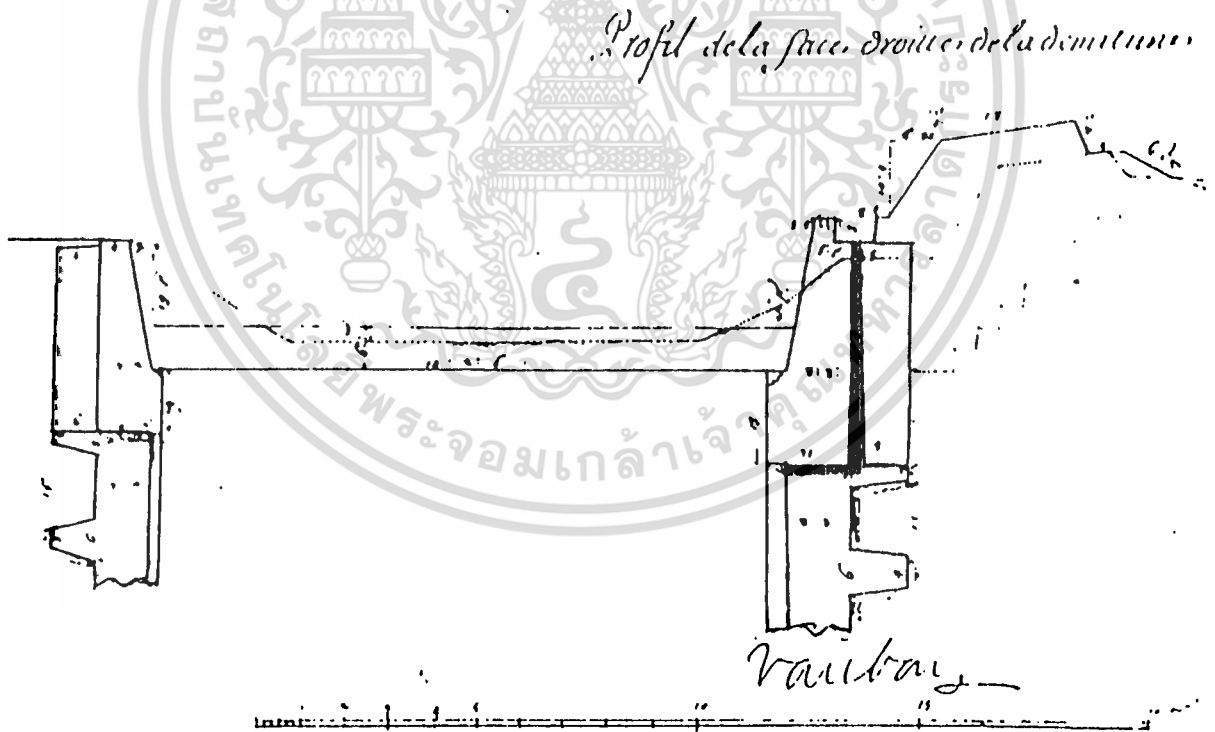
Section through the terraces at Borobudur, after the restoration.

ก. วัด Borobudur
ใน Java (ค.ศ. 800)



Canal du Languedoc - Section through the St. Ferréol dam (1667-1671) at the point of maximum thickness.

ข. เขื่อน St. Ferréol Dam
(ค.ศ. 1667-1671)



Two retaining walls founded in clay, designed by Vauban for the fortification of Ypres (1699). Archives Insup. Génie Vincennes.

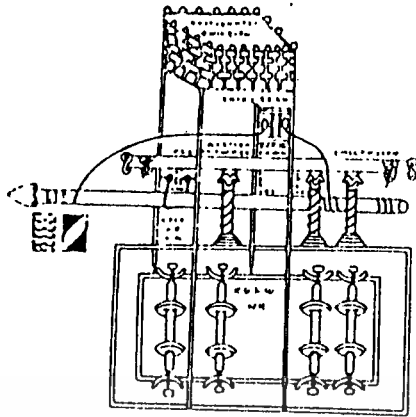
ค. Retaining Wall ในดินเหนียว (ค.ศ. 1699)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2-4 โครงสร้างประเภท Retaining Wall ในยุคต้นและยุคกลาง โยชนด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



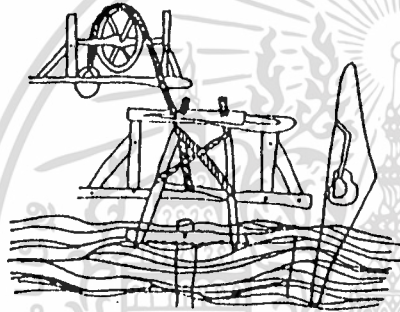
โครงสร้างที่มีความคล้ายคลึงกับ Sheet Pile นอกจาก Retaining Wall แล้ว ก็ยังมีโครงสร้างอีกประเภทคือ เสาเข็ม ตามหลักฐานในอดีตพบว่ามีการใช้ฐานรากเสาเข็ม ตั้งแต่ 5,000 ปีก่อนคริสตกาล แต่ฐานรากที่พบในยุคนั้นเป็นฐานรากของบ้านไม้ การพัฒนาของเสาเข็มมีมากขึ้น ในยุคของเหล็กได้มีการพัฒนาเครื่องตอกเสาเข็มของชาวกรีก ซึ่งคาดว่าได้พัฒนามาจากเครื่องกระทุ้งในสงคราม (รูปที่ 2-5(ก)) พัฒนาการของเสาเข็มมีอยู่เรื่อยมา จนกระทั่งยุคกลางได้พบหลักฐานของเครื่องตัดหัวเสาเข็มได้นำ (รูปที่ 2-5(ข)) เมื่อปี ค.ศ.1250 นอกจากนี้ยังพบเครื่องมือตอกเสาเข็มที่ออกแบบโดย Leonardo da Vinci ในปี ค.ศ.1450 (รูปที่ 2-5(ค)) สำหรับฐานรากเสาเข็มในยุคต่าง ๆ นี้ พอจะยกมาเป็นตัวอย่างได้นั้น แสดงไว้ในรูปที่ 2-6 ถึง 2-8 โดยรูปที่ 2-6 แสดงลักษณะฐานรากเก่าแก่ที่สุดเท่าที่ได้พบหลักฐานมา คือประมาณ 50-70 ปีก่อนคริสตกาล ส่วนที่เหลือเป็นฐานรากเสาเข็มในยุคกลางที่ให้เห็นว่าวิวัฒนาการของเสาเข็มก้าวไปได้ไกลพอสมควร แต่ส่วนใหญ่ก็คงเป็นลักษณะของเสาเข็มตอก ซึ่งเป็นพื้นฐานของการพัฒนา Sheet Pile ประเภทตอกที่ใช้กันอยู่มากในปัจจุบันเช่นกัน

สำหรับวิวัฒนาการของ Sheet Pile นั้น เนื่องจากในสมัยโบราณไม่ได้มีการแบ่งแยกลักษณะของ Sheet Pile ออกมาเป็นเอกเทศ แต่โครงสร้างที่มีความคล้ายคลึงกับ Sheet Pile ก็สามารถพบได้ตั้งแต่โบราณกาลมาเรื่อย ๆ ยกตัวอย่างเช่น ผนังท่อระบายน้ำในยุค Kassite 1,500 ปีก่อนคริสตกาล (รูปที่ 2-9(ก)) ในรูป 2-9(ข) เป็นรูปของ Sinking Caisson ซึ่งเป็นการสร้างฐานรากได้นำของชาวอียิปต์ ที่แสดงถึงอัจฉริยะของคนสมัยโบราณ โดยที่วิธีการก่อสร้างในลักษณะนี้ยังใช้กันอยู่จนถึงปัจจุบัน ผนังของ Artesian Well ในยุคอียิปต์ก็เป็นโครงสร้างลักษณะ Sheet Pile อีกแบบหนึ่งที่พบในโบราณกาล นอกจากนี้ยังพบว่าในโบราณยังมีการนำโครงสร้างประเภท Caisson ซึ่งถือว่าเป็นโครงสร้างที่อยู่ในขอบเขตของ Sheet Pile อีกประเภทหนึ่ง Caisson ที่ทำกัน นอกจากจะใช้กันน้ำแล้ว ยังใช้เป็นฐานรากของอาคาร (ตามที่แสดงในรูปที่ 2-10) อยู่มาด้วย ในยุคกลาง Leonardo da Vinci ได้ออกแบบ Caisson สำหรับฐานรากได้นำ ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับ Sheet Pile ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมาก (รูปที่ 2-11(ก)) โครงสร้างที่มีลักษณะคล้าย Sheet Pile ในยุคกลางสามารถพบได้หลายแห่ง ตัวอย่างเช่น ปล่องใต้ดินรูป Shaft ในอิตาลี ในปี ค.ศ. 1530 ดังแสดงในรูปที่ 2-11(ข) เป็นวิวัฒนาการของโครงสร้างประเภทนี้ที่น่าสนใจ



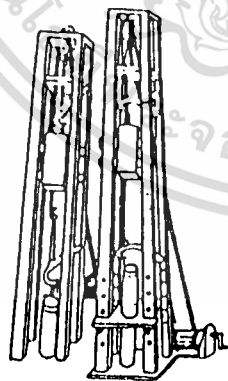
Plan and elevation of the tortoise of Hegetor (from a Greek manuscript of the 10th century).

ก. เครื่องกระทุ้งในสงคราม
ของกรีกโบราณ
(คริสต์ศตวรรษที่ 10)



Saw for cutting off pile heads below water, devised by Villard de Honnécourt (around 1250).

ข. เครื่องตัดหัวเสาเข็ม
(ค.ศ. 1250)

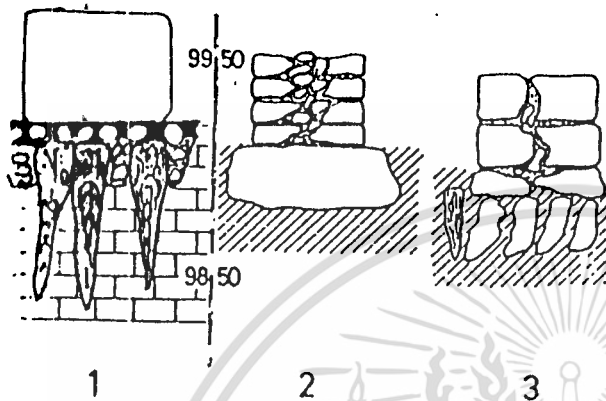


Drop-hammer piling rig designed by Francesco di Giorgio (around 1450).

ค. เครื่องตอกเสาเข็ม
(ค.ศ. 1450)

รูปที่ 2-5 เครื่องมือเกี่ยวกับเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(1) Piled Wall

(2) Wall on limestone block

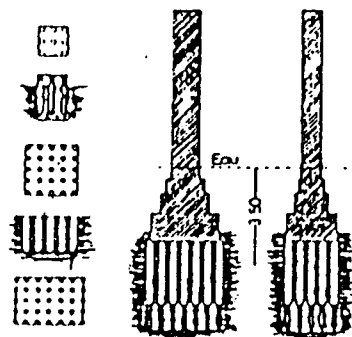
(3) Wall on stone wedge

1: piled wall (the black represents a layer of clay that acted as a seal to keep the moisture out, to prevent the piles from rotting) - 2: wall composed of small blocks founded on a large block of limestone - 3: wall composed of various sized blocks founded on wedges of stone, with, on the left, the original shoreline. Drawing by J. L. Girault.

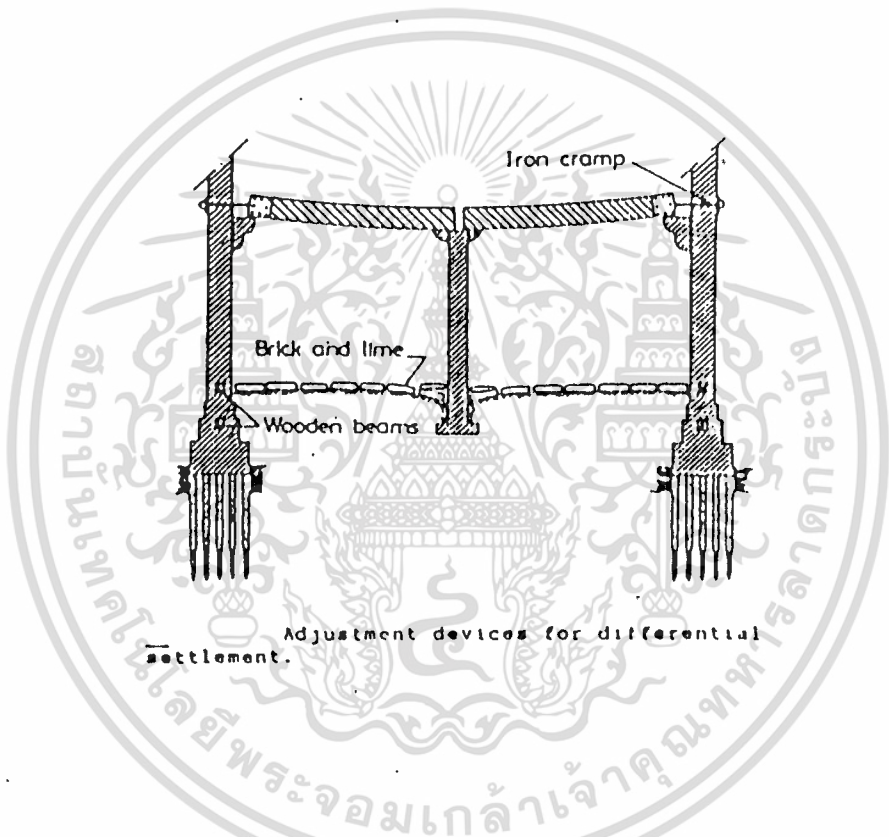
Romano-Gallic period - Paulnay (France). Marshy soils. C. Coulon and J. Diegrem (1982).

รูปที่ 2-6 หลักฐานการใช้เสาเข็มในยุค Romano-Gallic (50-70 ปี ก่อนคริสตศักราช)

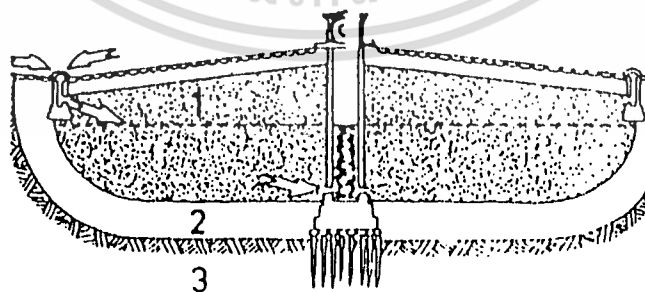
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Foundations of the outer walls for a building at Venice, after Creazza (1974).



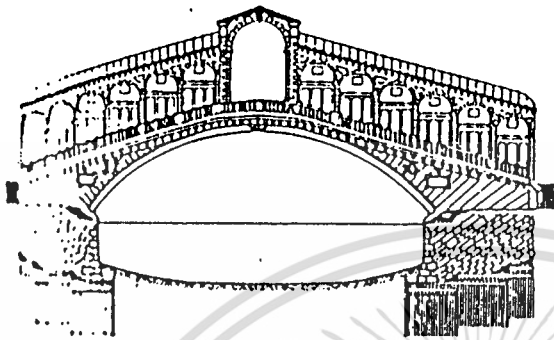
Adjustment devices for differential settlement.



1 Filtering sand - 2 Clay - 3 Natural soil
Venetian underground tank.

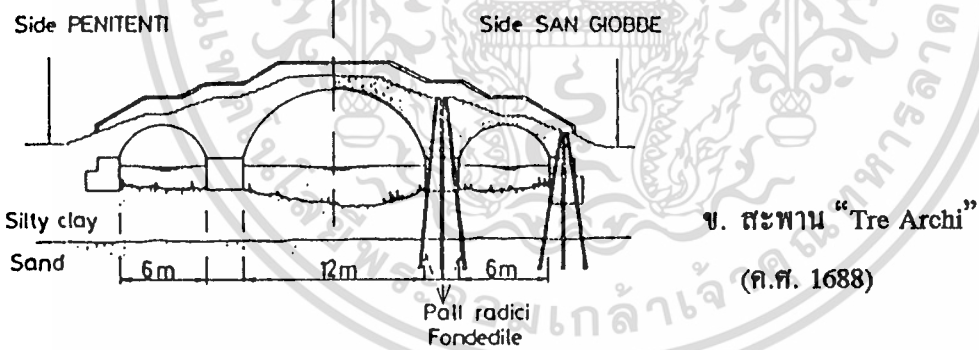
รูปที่ 2-7 อาคารที่ใช้เสาเข็มในเมืองเวนิซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. สะพาน Rialto
(ค.ศ. 1588-1592)

- Rialto Bridge (Venice) - end of 16th century.

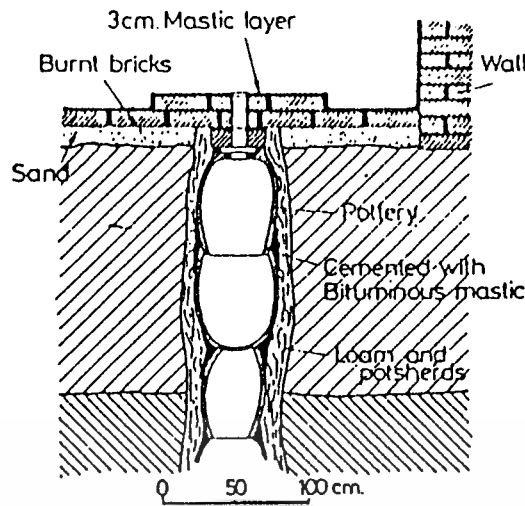


ข. สะพาน "Tre Archi"
(ค.ศ. 1688)

- Longitudinal section through the "Tre Archi" bridge, Venice, with a half section showing the root piles installed.

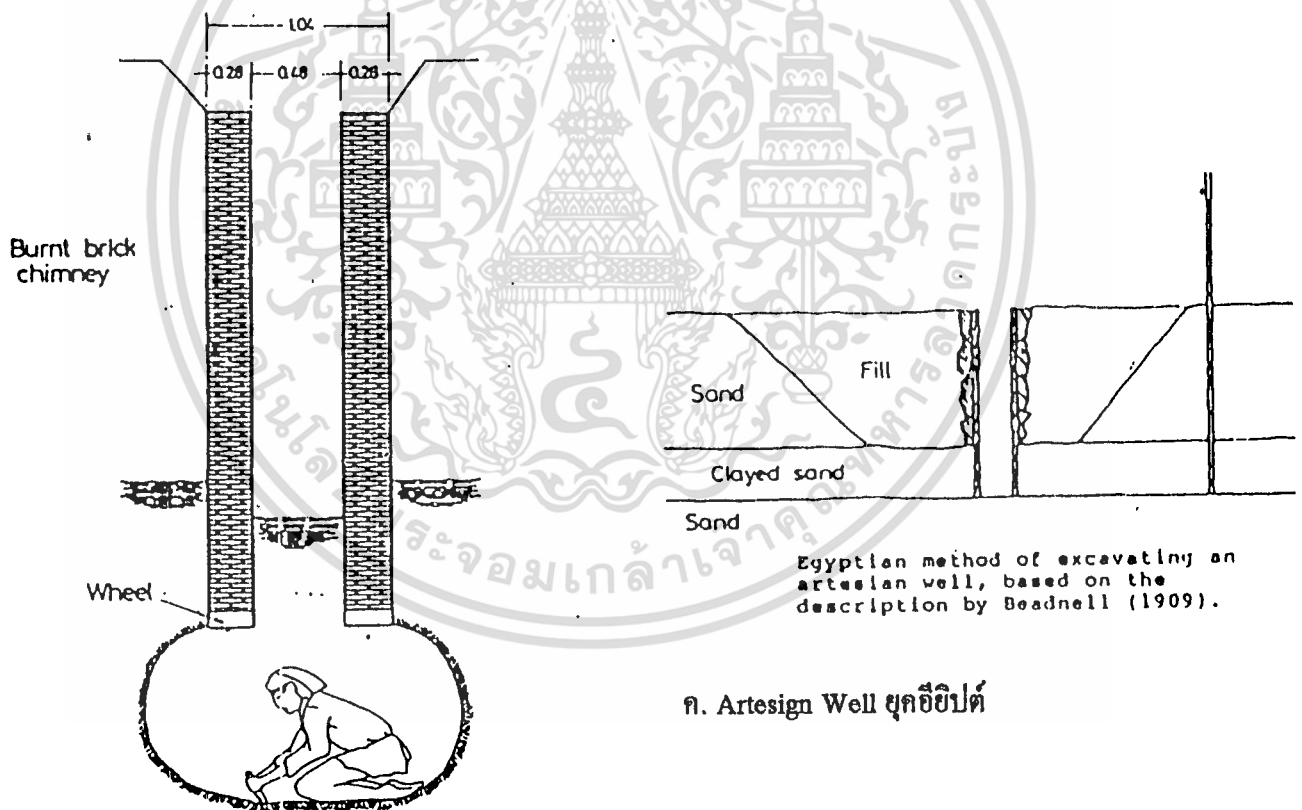
รูปที่ 2-8 ฐานรากสะพานที่ใช้เสาเข็ม เมืองเวนิซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A domestic drain from the Kassite period (1500 B.C.).

ก. ท่อระบายยุค 1500 ปีก่อนคริสตกาล



Egyptian method of excavating an artesian well, based on the description by Beadnell (1909).

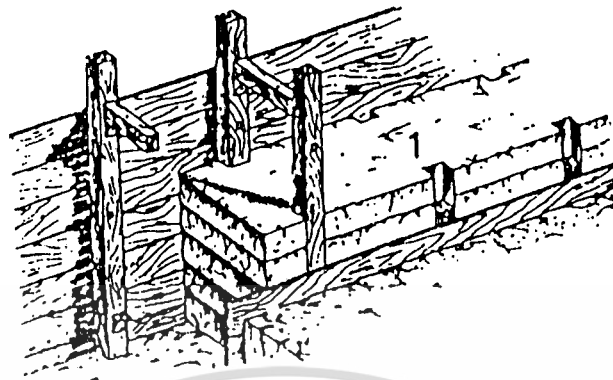
ก. Artesian Well ยุคอียิปต์

The zarblyeh, or Egyptian self-sinking caisson (interpretation of the description).

ข. Sinking Caisson ยุคอียิปต์

รูปที่ 2-9 โครงสร้างลักษณะเดียวกับ Sheet Pile

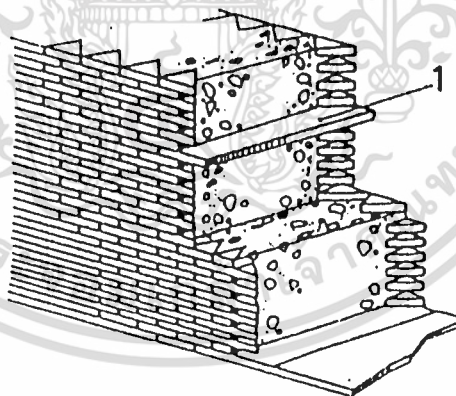
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ ยุคก่อนคริสตกาล และยุคอียิปต์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1 - Fired earth-slab.

Diagram illustrating the use of wooden reinforcement in foundations built of fired earth-slabs.

ก. อิฐเสริมด้วยไม้



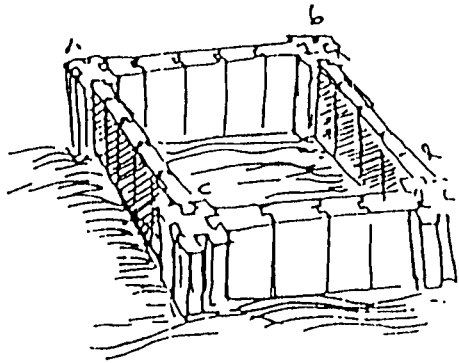
1 Wooden tie-bar to withstand the concrete thrust .

Roman concrete cast inside brick formwork for foundations.

ข. คอนกรีตหุ้มด้วยอิฐเสริมด้วยไม้

รูปที่ 2-10 ฐานรากประเภท Caisson ในยุคโรมัน

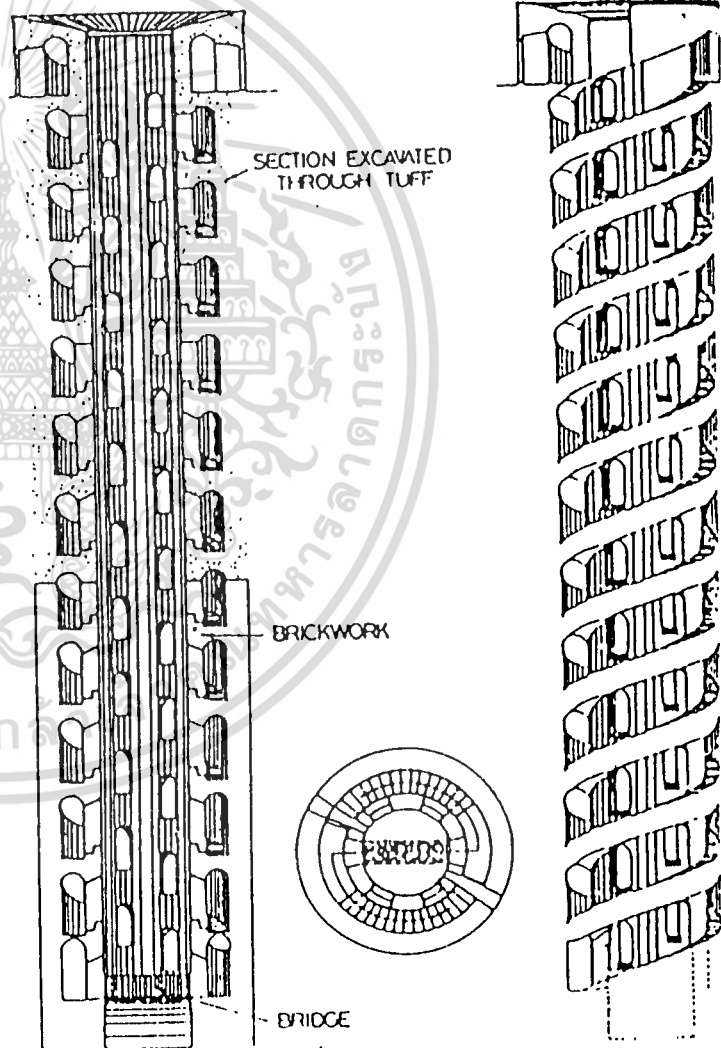
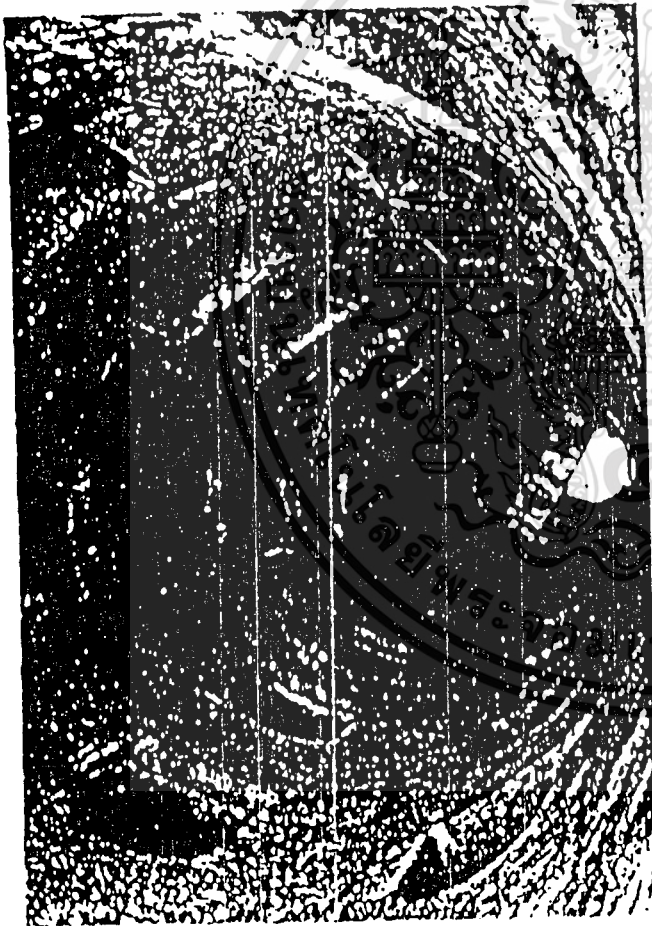
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. Caisson สำหรับฐานรากใต้น้ำ โดย Leonardo da Vinci

"Means of emptying a port: make it 40 spans wide along each face: having emptied the caisson so formed, leaving one face in place form a second caisson adjacent, using the three other faces and then empty this in the same manner."

Leonardo da Vinci - Caisson for foundations below the water table.



- The shaft at Orvieto built by the Italian military engineer de Sangallo in 1530.

ข. ฐานรากใต้ดินรูป Shaft ในอิตาลี (ค.ศ. 1530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 2-11 ฐานรากลักษณะเดียวกับ Sheet Pile ในยุคกลาง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากพัฒนาการของเทคโนโลยีเกี่ยวกับกลศาสตร์ของดิน ในรูปแบบของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ตามแนวทางที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ค้นพบหลักฐานว่าเริ่มมาตั้งแต่ปลายคริสต์ศตวรรษที่ 18 (โดยที่ก่อนหน้านี้ใช้วิธี trial errors มาตลอด) ก็คาดว่ามีการพัฒนา Sheet Pile อย่างเป็นทางการที่ก้าวหน้าคงจะเริ่มในระบายนั้นเช่นกัน ปัจจุบัน Sheet Pile มีทั้งระบบที่ติดตั้งโดยการตอก หรือโดยการขุดแล้วหล่อขึ้นมา หรือขุดแล้วใส่ลงไป หรือขุดแล้วค่อย ๆ จมลงไป ซึ่งวิธีการส่วนใหญ่ก็อาศัยพื้นฐานจากประสบการณ์ของอดีตเป็นสำคัญ

8. รูปแบบหรือชนิดของ sheet pile โดยทั่วไป

ในโลกปัจจุบัน Sheet Pile ได้รับการวิวัฒนาการทั้งในด้านรูปแบบออกไปอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานซึ่งมีเพิ่มมากขึ้นในโลกปัจจุบัน ตามการเปลี่ยนแปลงทางวัฒนธรรมของมนุษย์ในแต่ละเผ่าพันธุ์และเชื้อชาติ การเปลี่ยนแปลงของรูปแบบต่าง ๆ นอกจากจะให้สอดคล้องกับวัฒนธรรมแล้ว ยังได้รับแรงผลักดันจากวิวัฒนาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ และข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรสิ่งแวดล้อมประกอบกัน

เนื่องจากวิวัฒนาการของ Sheet Pile ขยายตัวออกไปอย่างกว้างขวาง ทำให้สามารถแบ่งชนิดของ Sheet Pile ที่มีอยู่ในโลกปัจจุบันออกได้ในหลายแบบ ตัวอย่างเช่น

ก. แบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ

(1) Sheet Pile เหล็ก

Sheet Pile เหล็ก เป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีข้อดีกว่าวัสดุอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกันหลายข้อดังต่อไปนี้

1. ด้านทานต่อแรงที่เกิดจากการตอกได้สูง
2. มีน้ำหนักเบา
3. สามารถใช้ได้หลายครั้ง
4. มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ทั้งการใช้งานที่อยู่เหนือ และใต้ระดับน้ำใต้ดิน
5. สามารถจะเพิ่มความยาวได้ง่าย โดยการต่อแบบต่อเชื่อมหรือใช้ bolt
6. Joint ของ Sheet Pile จะบิดเบี้ยวยาก ถึงแม้ว่าจะมีดินหรือหินเข้าไปอยู่เต็มระหว่างที่ตอกก็ตาม

(2) Sheet Pile คอนกรีต

Sheet Pile คอนกรีต มักจะสร้างเป็นชิ้นส่วนสำเร็จรูปซึ่งมีลิ้นและร่องสำหรับใช้ต่อ (tongue-and-groove joint) กันระหว่างชิ้นส่วน Sheet Pile คอนกรีตนี้จะมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก เมื่อตอกลงไป ในดินจึงไปแทนที่ดินเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีแรงต้านทานในการตอกมาก ทำให้ตอกได้ยาก ดังนั้นการใช้งานจะเลือกใช้ในงานที่เหมาะสม

Sheet Pile คอนกรีตสามารถใช้เป็นโครงสร้างที่กันน้ำได้ โดยทำความสะอาดและ grouting ที่ joint หลังจากตอกเสร็จแล้ว แต่อย่างไรก็ตามจะต้องทำ expansion joints ตลอดแนวของกำแพงด้วย

(3) Sheet Pile ไม้

Sheet Pile ไม้ ใช้กับการขุดดินที่มีความลึกไม่มากนัก คือ อยู่ในช่วง 0-3 เมตร Sheet Pile ไม้มักใช้ในงานที่เป็นโครงสร้างชั่วคราว เช่น ใช้กันดินพังในการทำทางนี้หรือวางท่อระบายน้ำ ถ้าจะใช้ Sheet pile ไม้เป็นโครงสร้างถาวรที่อยู่เหนือระดับน้ำได้ดิน จะต้องมีการเคลือบน้ำยาเคมีเพื่อป้องกันไม้ผุก่อน ซึ่งอาจทำให้อายุการใช้งานมีมากถึง 10-15 ปี

(4) Sheet Pile Slurry

(5) Sheet Pile แบบผสมประสาน

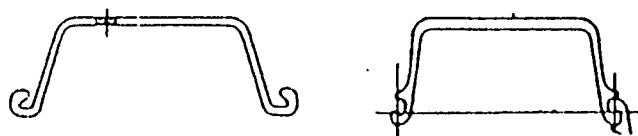
ข. แบ่งตามวิธีการติดตั้ง

- (1) Sheet Pile แบบตอก
- (2) Sheet Pile แบบหล่อในที่
- (3) Sheet Pile แบบขุดแล้วใส่ลงไป
- (4) Sheet Pile แบบขุดแล้วค่อย ๆ จมลงไป

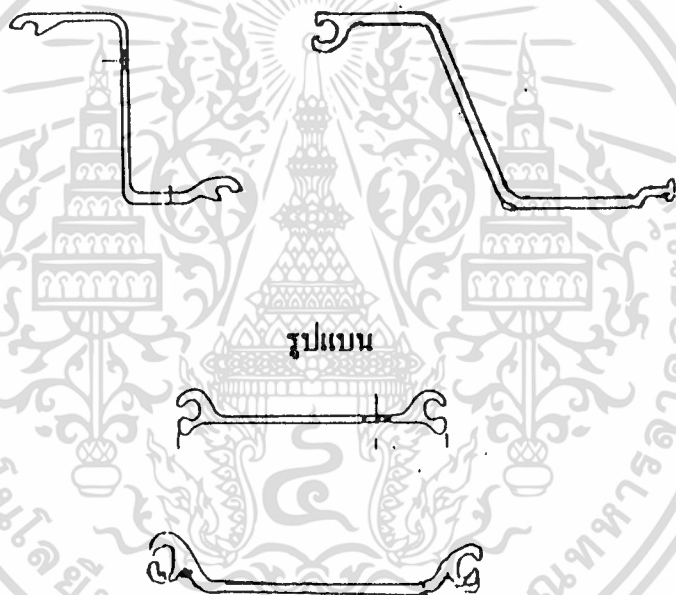
ค. แบ่งตามรูปแบบของ โครงสร้างเมื่อนำไปประกอบใช้งาน

- (1) Cantilever Sheet Piling
- (2) Anchored Sheet Piling
- (3) Braced Sheet Piling
- (4) Cofferdam. หรือ Double Wall Sheet Piling

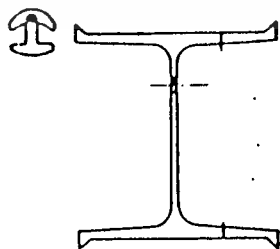
รูป - U



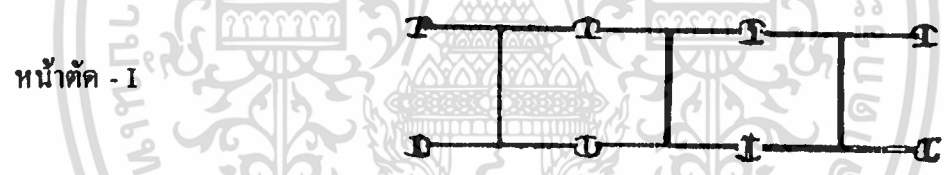
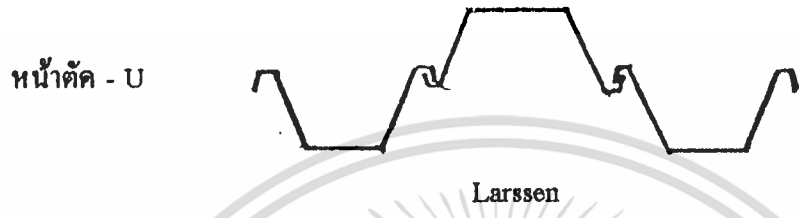
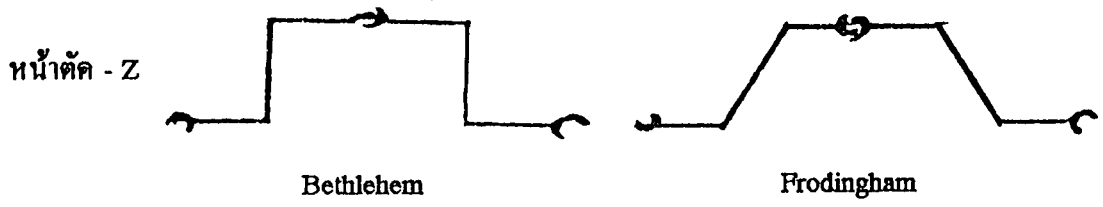
รูป - Z



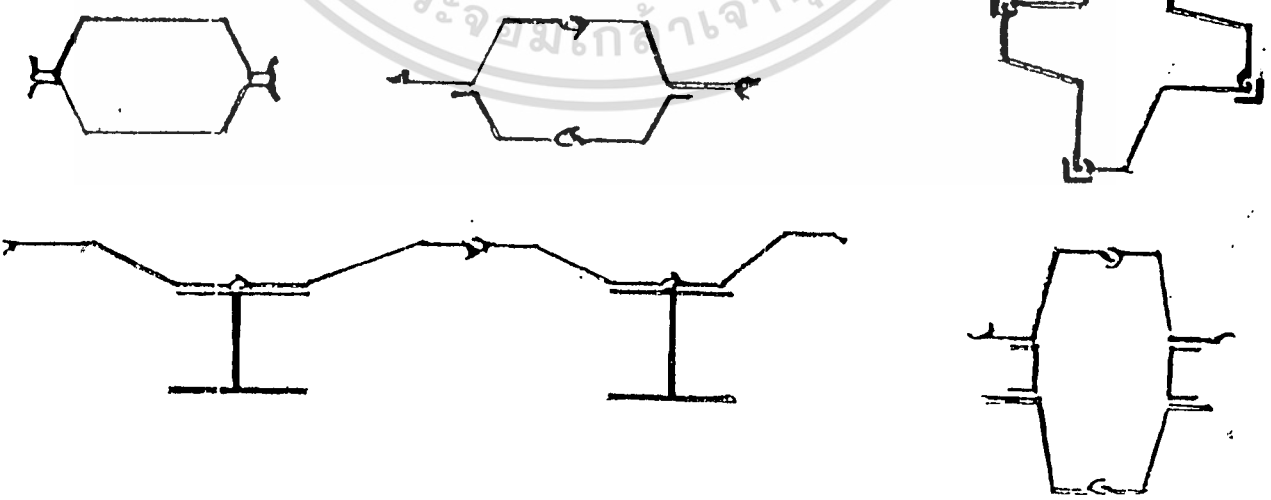
รูป - I



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ **รูปที่ 2-12** รูปแบบมาตรฐานของ Sheet Pile เหล็ก
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

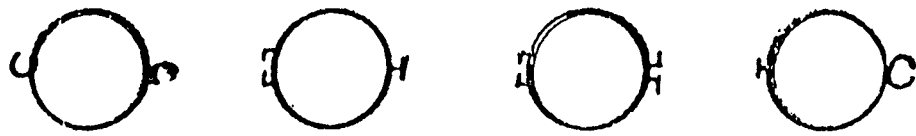


การต่อแบบพิเศษ

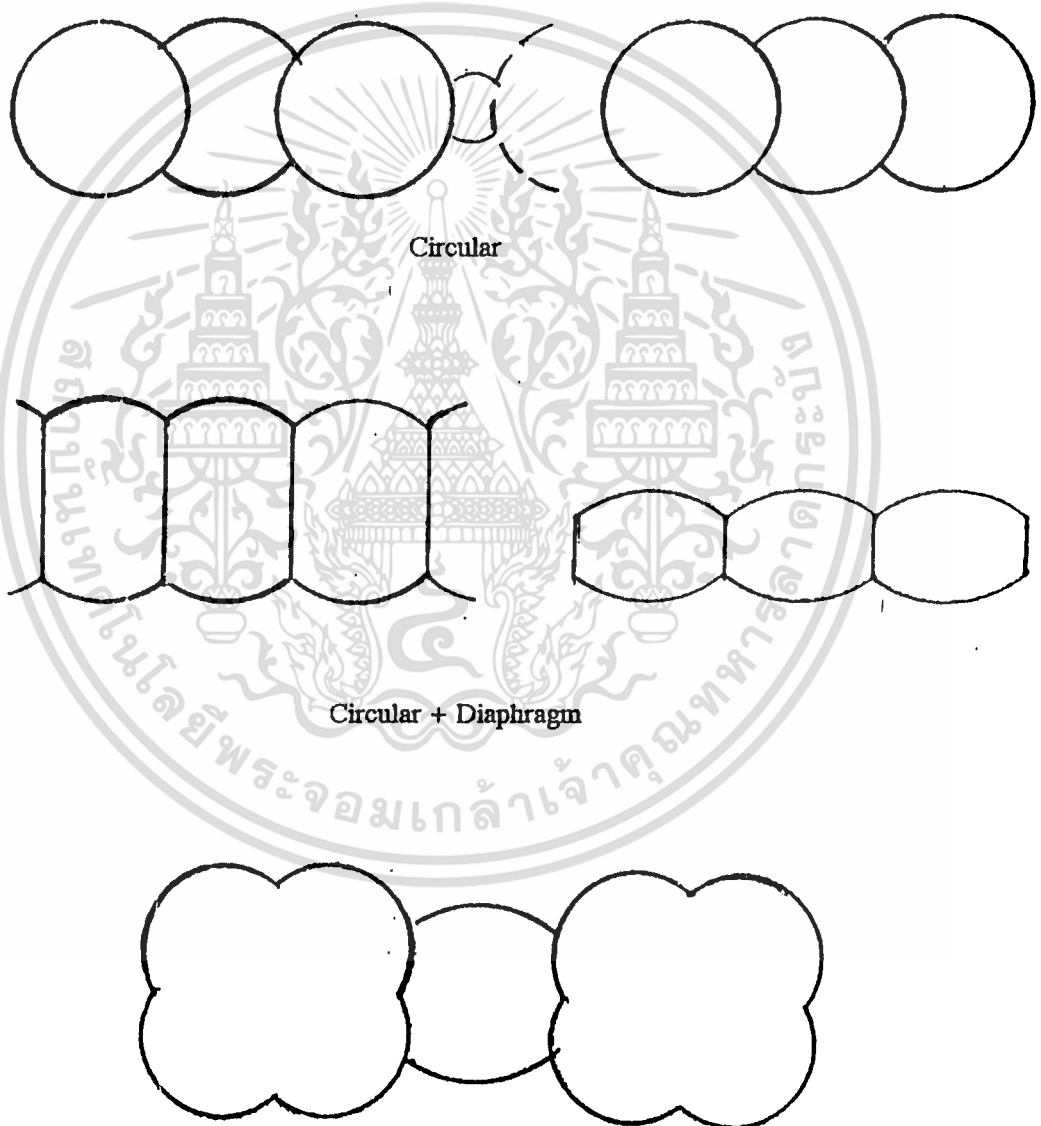


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการที่มีชื่ออยู่เท่านั้นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Circular Section :



Coffer Dam :

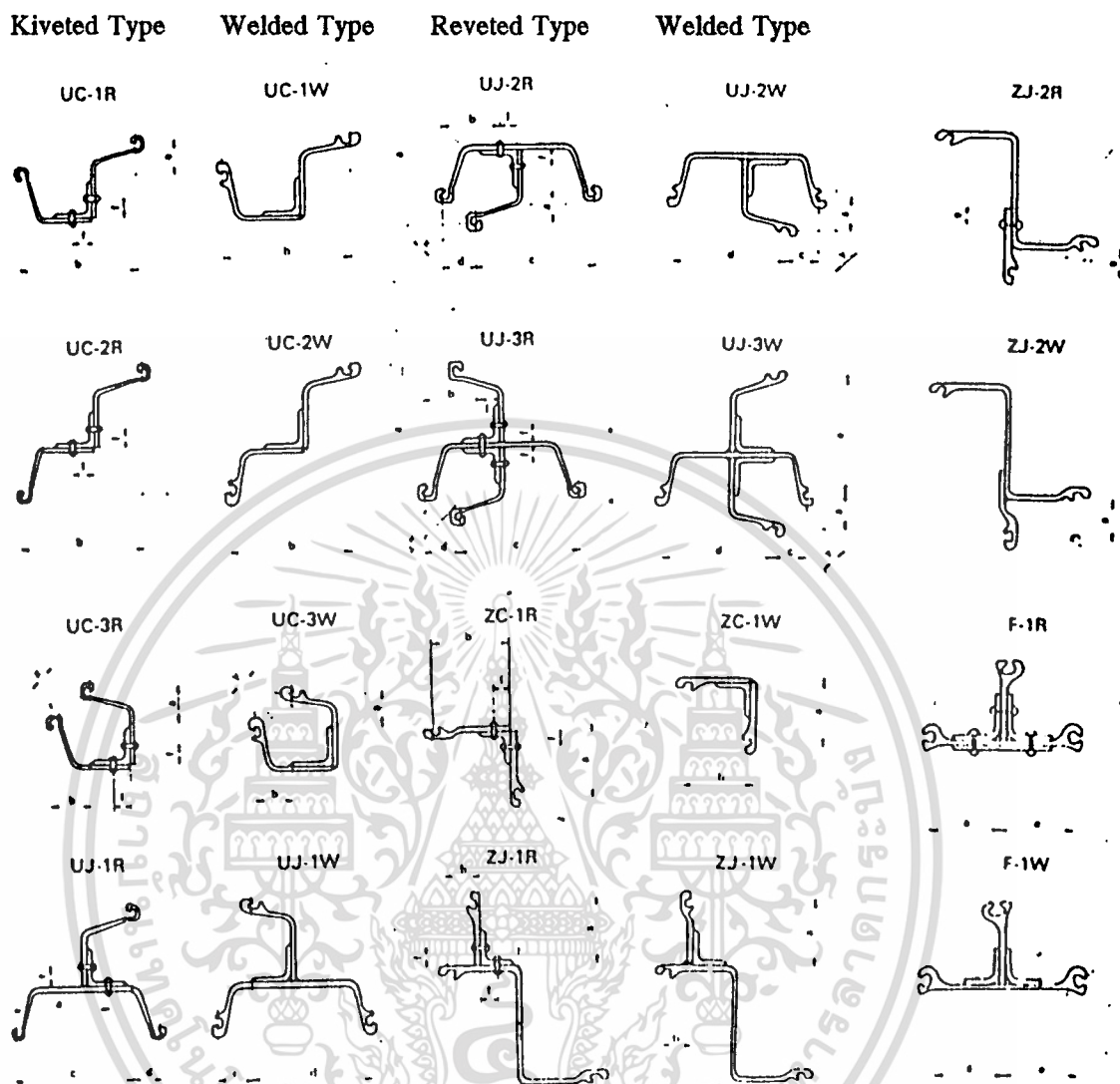


Circular

Circular + Diaphragm

Clover Leaves

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน **รูปที่ 2-13 (ต่อ)** นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

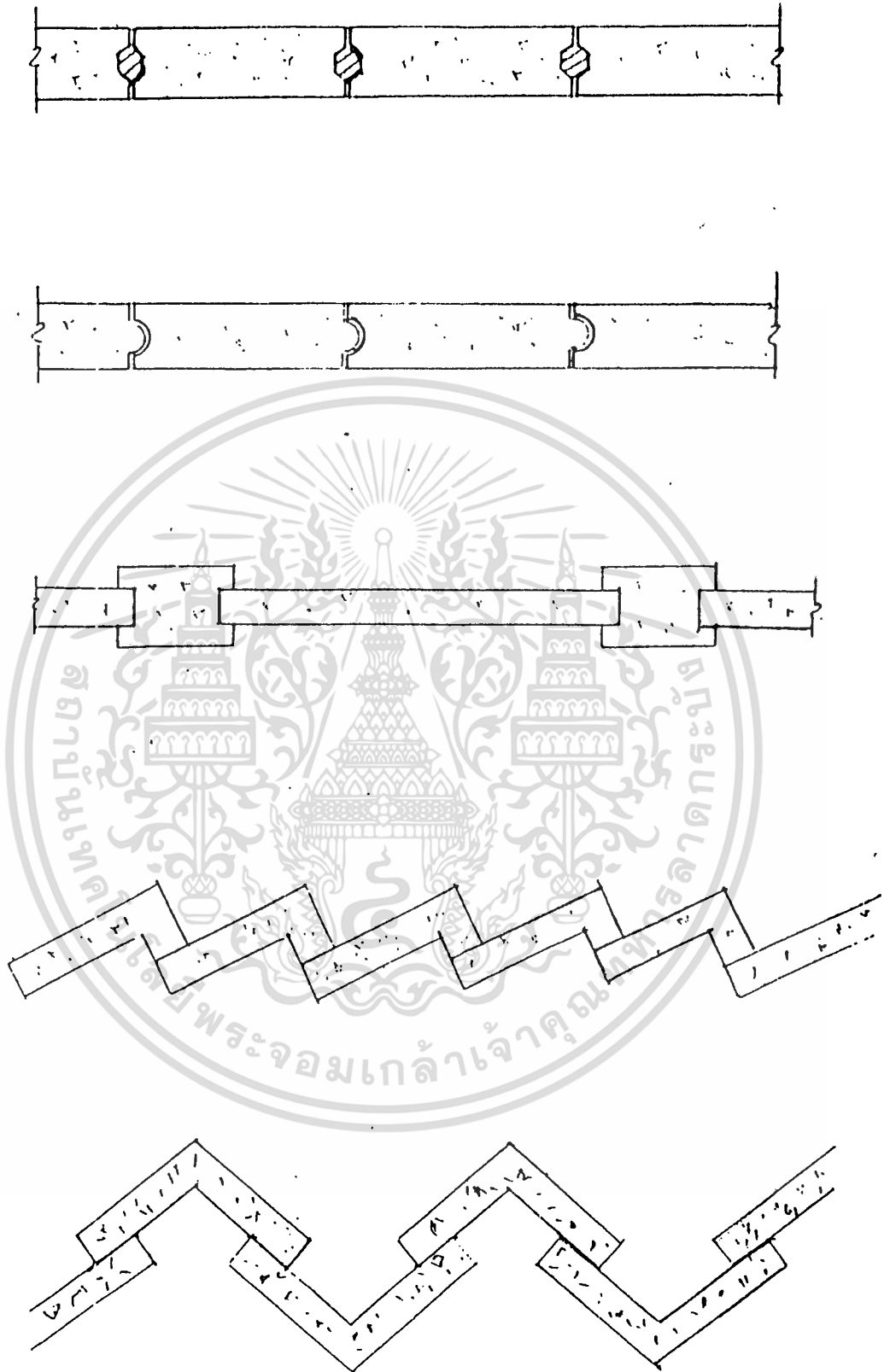


letter symbols :

- U..... U-Type Piling
- Z..... Z-Type Piling
- F..... Straight web-Type piling
- C..... Corner Piling
- J..... Junction Piling
- R..... Riveted Piling
- W..... Welded Piling

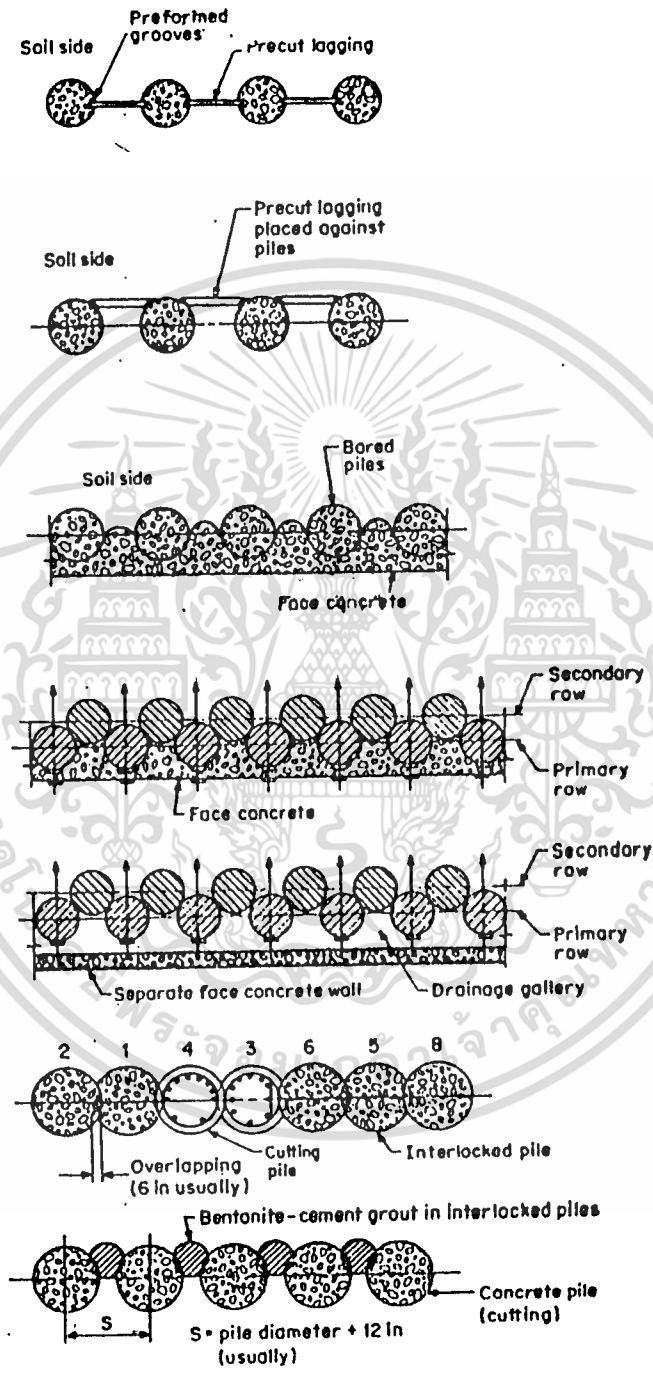
รูปที่ 2-14 รูปแบบของหน้าตัด Sheet Pile เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้บริเวณมุมและส่วนต่อเชื่อม อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. precasted sections

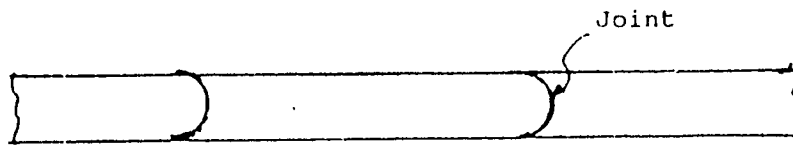
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 2-15 รูปหน้าตัด Sheet Pile คอนกรีต** หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



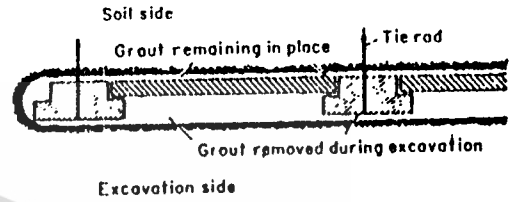
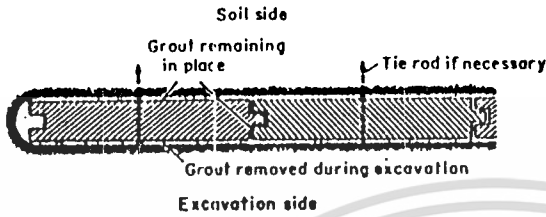
ข. รูปหน้าตัดของ bored pile walls
(คอนกรีต - Bentonite)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะรูปที่ 2-15 (ต่อ) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

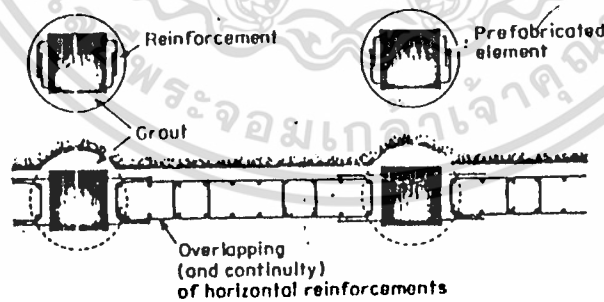
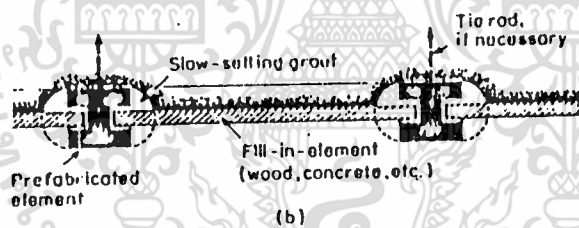
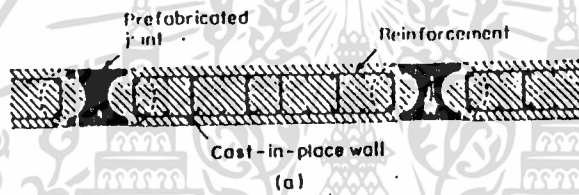
หล่อในที่



Precasted



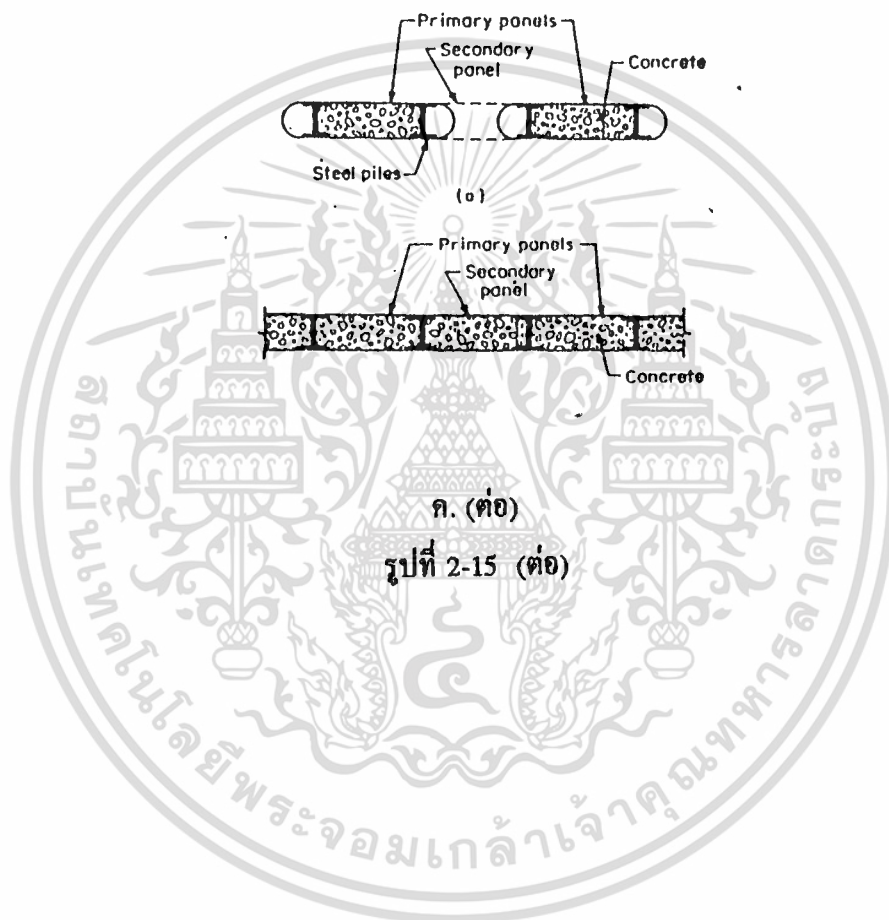
Hybrid



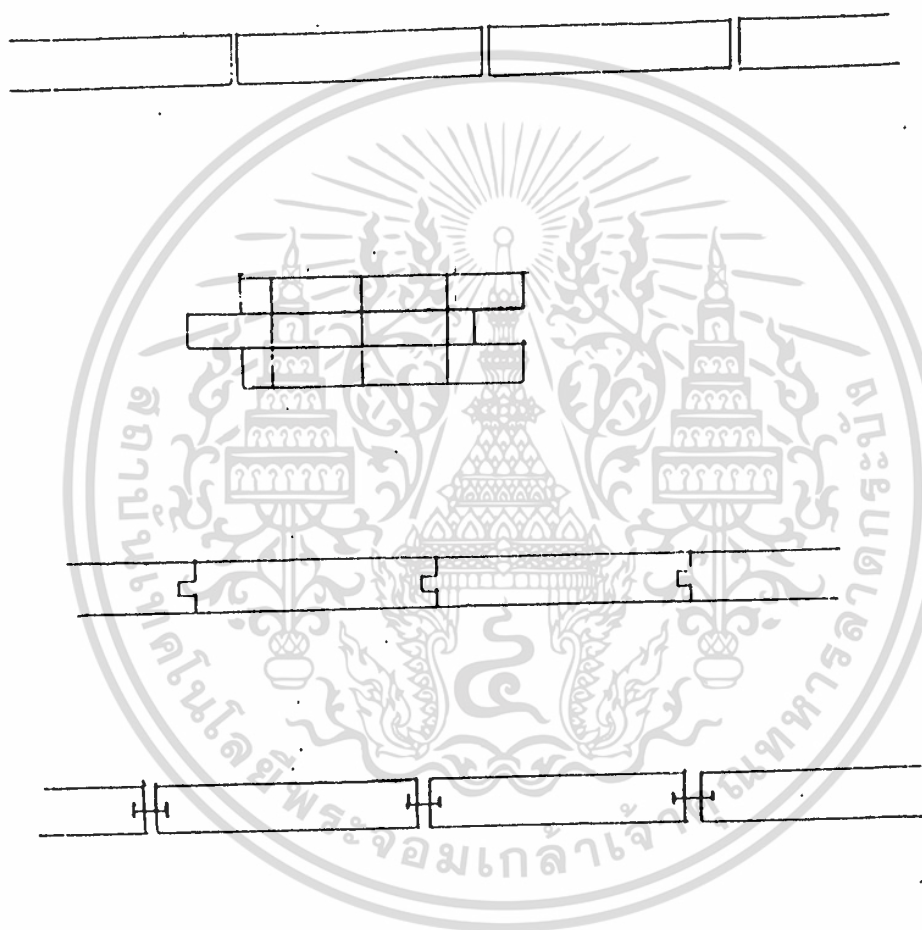
ก. รูปหน้าตัดของ Diaphragm Walls

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 2-15 (ต่อ) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Composite Walls



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-16 หน้าตัดของ Sheet Pile ไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งชนิดตามแบบต่าง ๆ ที่กล่าวมา แบบที่ได้รับความนิยมมากและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน คือ การแบ่งตามแบบ ก. หรือแบ่งตามวัสดุที่ใช้ทำ ซึ่งได้รวบรวมรูปแบบต่าง ๆ ที่มีใช้กันอยู่แพร่หลายในโลกปัจจุบัน แสดงรวมไว้ในรูปที่ 2-12 ถึง 2-16

จากรูปที่แสดงมา จะเห็นได้ว่า Sheet Pile ชนิดที่ทำด้วยเหล็กและคอนกรีต มีวิวัฒนาการมากกว่า Sheet Pile ประเภทอื่น การพัฒนาของ Sheet Pile ทั้งสองชนิดสะท้อนให้เห็นการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมการดำรงชีพของมนุษย์ที่ต้องการตั้งก่อสร้างที่มั่นคงแข็งแรงมากขึ้น มีตั้งก่อสร้างขนาดใหญ่ขึ้นและรูปแบบแปลก ๆ มากขึ้น ซึ่งจะเป็นไปได้ก็ต้องได้รับการตอบสนองจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การพัฒนาทางวิชาการ และความเป็นไปได้ทางทรัพยากรของโลกเป็นสำคัญ

4. การใช้งาน

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า Sheet Pile ได้รับการวิวัฒนาการตามอิทธิพลของวัฒนธรรมการดำรงชีพของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงไป ปัจจุบัน Sheet Pile ได้รับการวิวัฒนาการให้สามารถใช้งานก่อสร้างทางวิศวกรรมได้ในหลายขนาด และรูปแบบเท่าที่มนุษย์ต้องการได้อย่างดี งานก่อสร้างสำคัญ ๆ ที่ต้องอาศัย Sheet Pile ได้แก่ งานก่อสร้างอาคาร, ห้องใต้ดิน, ถนน, สะพาน, อุโมงค์ใต้ดิน-ท่อ, ท่าเรือ, เขื่อน, กำแพงกันตลิ่งแม่น้ำ, การป้องกันการแพร่กระจายของน้ำเสีย-สารพิษ เป็นต้น

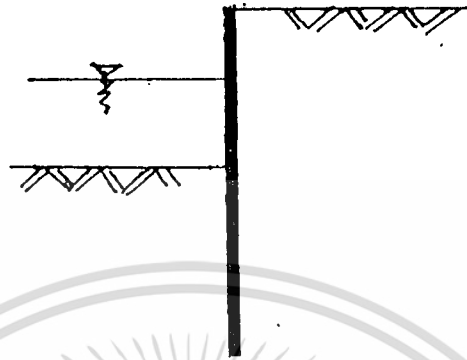
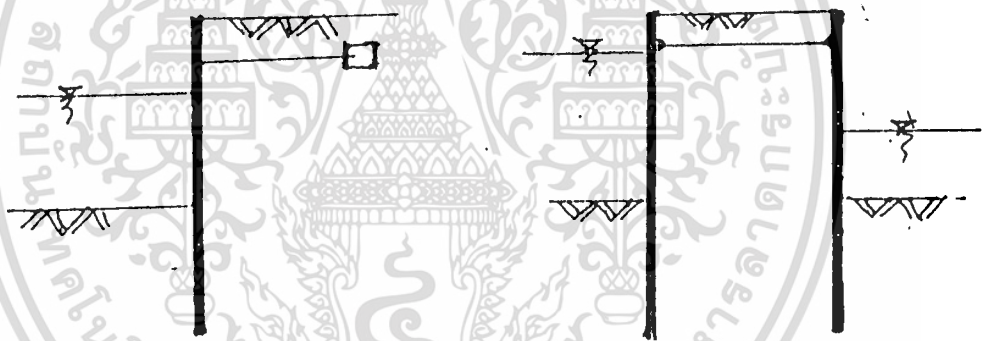
4.1 ลักษณะการใช้งานของ sheet pile

ในทางวิชาการสามารถแบ่งลักษณะการใช้งานของ Sheet Pile ออกได้หลายแบบ เช่นเดียวกับการแบ่งชนิดของ Sheet Pile ดังต่อไปนี้

ก. แบ่งตามลักษณะของโครงสร้าง (รูปที่ 2-17)

- (1) Cantilever Sheet Piling
- (2) Anchored Sheet Piling
- (3) Braced Sheet Piling
- (4) Double Wall Sheet Piling หรือ Cofferdam

การแบ่งตามแบบนี้นิยมกันมากในเชิงวิชาการ เพราะสะดวกต่อการที่จะกำหนดการวิเคราะห์หาแรงกระทำบน Sheet Pile และส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น สมอ ถวดคิง เป็นต้น

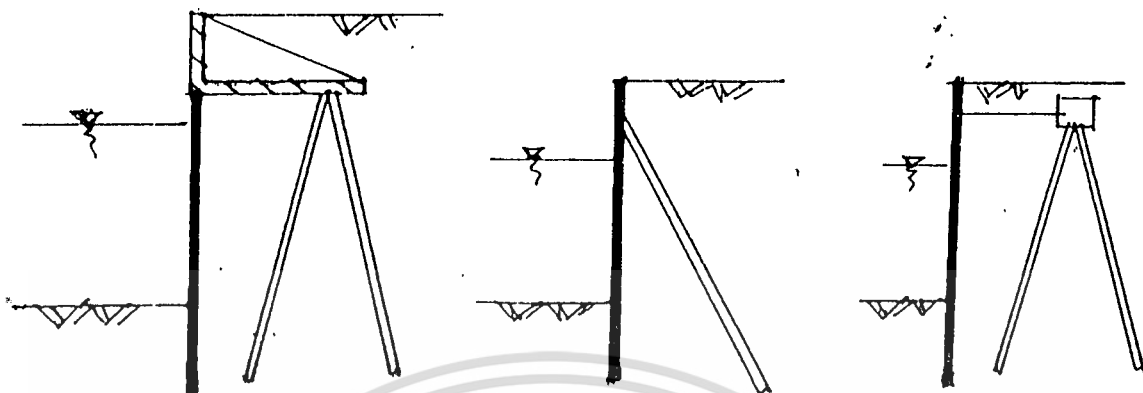
Cantilever Sheet Piling :**Anchored Sheet Piling :**

Anchored Retaining Wall

Jetty ou Mole

รูปที่ 2-17 ลักษณะการใช้งานของ Sheet Pile
แบ่งตามลักษณะโครงสร้างรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Relieving-Plat form Wall

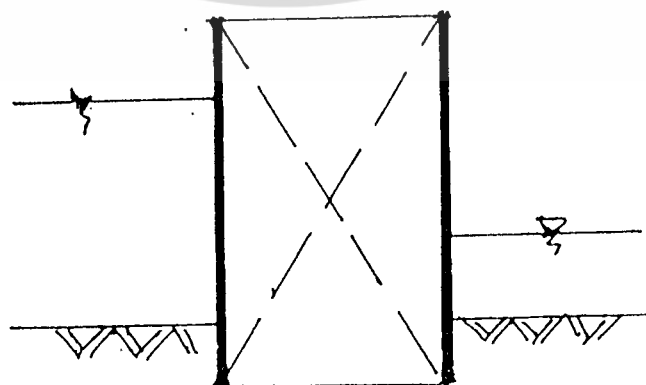
Paking Anchor

Frame Ancher

Braced Sheet Piling :



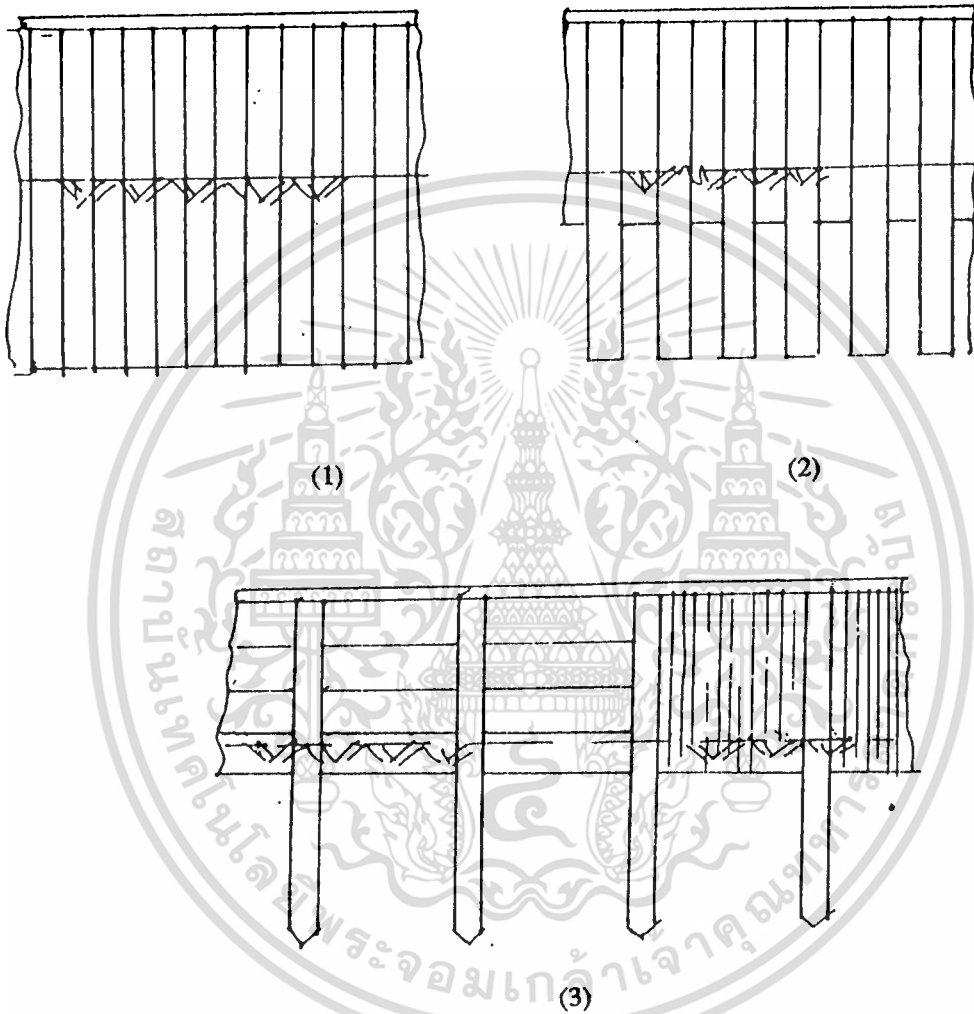
Double Wall Sheet Piling or Cofferdam :



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. แบ่งตามลักษณะการประกอบ (รูปที่ 2-18)

- (1) ประกอบต่อกันเป็นแผงพืด
- (2) ประกอบต่อเว้นช่วงเป็นขา
- (3) ประกอบเป็นขาห่างมีแผงประกอบด้านบน



รูปที่ 2-18 ลักษณะการใช้งานของ Sheet Pile
แบ่งตามลักษณะการประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ตัวอย่างการใช้ Sheet Pile ในงานก่อสร้างต่าง ๆ

ตัวอย่างของการนำไปใช้ในงานก่อสร้างต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน แบ่งตามลักษณะของงานก่อสร้าง พอที่จะยกมาแสดงไว้ ณ ที่นี้ (ตามที่แสดงในรูปที่ 2-19) จะเห็นได้ว่า Sheet Pile มีบทบาทต่องานก่อสร้างกว้างขวางออกไปอย่างมาก กล่าวคือสามารถใช้ได้กับงานก่อสร้างสำคัญ ๆ หลายประเภทตามที่ได้กล่าวมาแล้วตอนต้นของหัวข้อนี้ ตัวอย่างการใช้งานของ sheet pile ที่แสดงมาในรูปนี้มีสำหรับใช้งานกับอาคาร งานอุโมงค์ใต้ดิน งาน Water Front ต่าง ๆ, งาน Emchorage สะพาน, งานเขื่อน, งานป้องกันน้ำใต้ดิน, งานฝังท่อ, งานกำแพงกันดินรับน้ำ, งานถนน และ Coffor Dam

การใช้ประโยชน์ของ Sheet Pile สามารถคัดแปลงให้ใช้ได้อีกมากมาย งานเหล่านี้สามารถนำมาจัดกลุ่มตามรูปแบบในเชิงวิชาการได้ 4 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้ คือ

- (1) ใช้เป็นกำแพงกันดิน
- (2) ใช้เป็นกำแพงรับน้ำหนักบรรทุกตอนบน
- (3) ใช้เป็นกำแพงกันน้ำหรือของเหลว
- (4) ใช้ประโยชน์สำหรับงานใน (1), (2) และ (3) ร่วมกันทั้ง 3 งาน หรือ 2 งาน

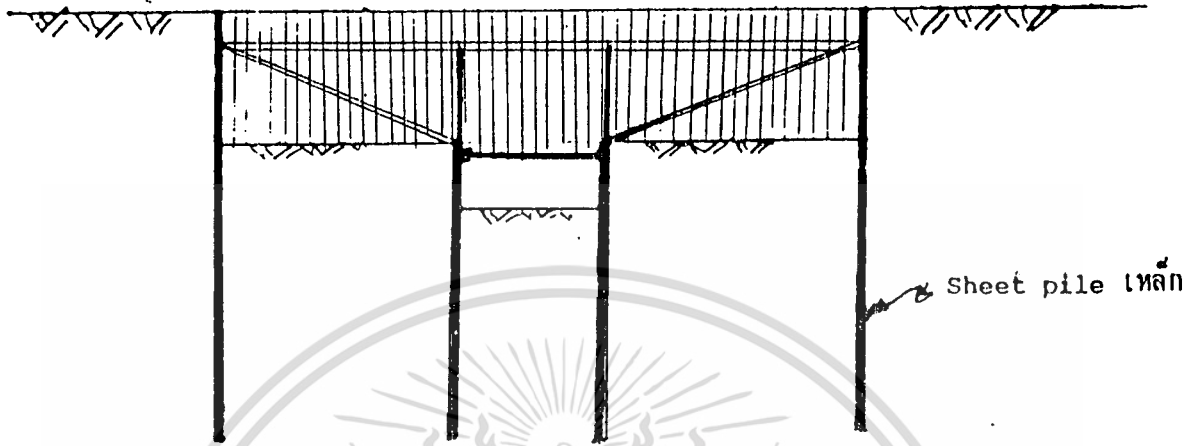
5. การประยุกต์ Sheet Pile มาใช้ในประเทศไทย

สังคมไทยเป็นสังคมที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของวัฒนธรรมประเภทที่นักสังคมศาสตร์เรียกว่า “วัฒนธรรมอ่อน”(Soft culture) จากพื้นฐานของสังคมดังกล่าว จึงทำให้ความสามารถทางเทคโนโลยีของประเทศไม่สู้จะหวือหวาเท่ากับประเทศที่มีพื้นฐานทางสังคมประเภทที่เรียกว่า “สังคมที่มีวัฒนธรรมแข็ง” (Hard culture society) ความสามารถทางเทคโนโลยีของสังคมไทยเท่าที่ได้มีการศึกษาวิเคราะห์มาโดยนักวิชาการบางกลุ่มพบว่าคนไทยมีความสามารถในการลอกแบบ แล้วนำมาดัดแปลงได้ดีกว่าที่จะคิดขึ้นด้วยตนเอง

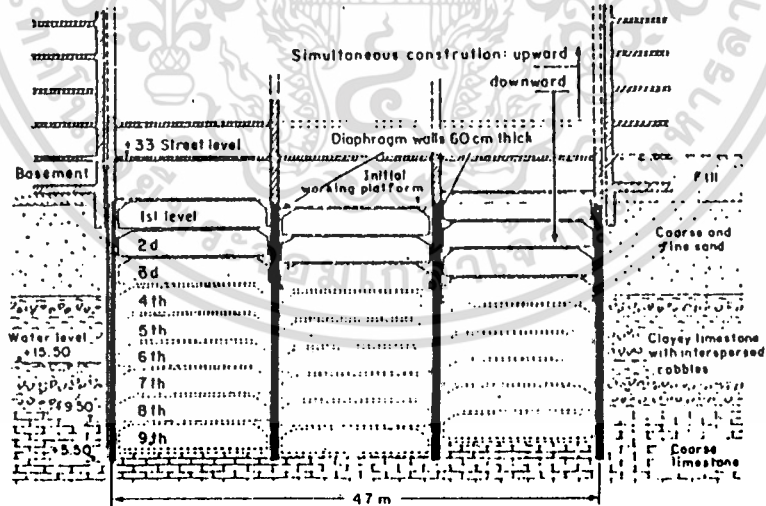
จากลักษณะความสามารถทางเทคโนโลยีของสังคมดังกล่าว ประเทศไทยก็ได้ลอกแบบเทคโนโลยี sheey pile ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมาจากประเทศในซีกโลกตะวันตก เช่น ยุโรป และอเมริกา เป็นส่วนใหญ่ โดยในระยะแรก ๆ คาดว่านำมาใช้เป็นกำแพงกันดินริมแม่น้ำสาครลงที่ใช้เป็นทางสัญจรที่สำคัญในสมัยก่อน ประกอบกับคนไทยนิยมตั้งบ้านเรือนอยู่ริมน้ำ เพื่อช่วยบรรเทาความร้อนของอากาศ เพราะเป็นประเทศที่อยู่ในเขตอากาศร้อน กำแพงริมน้ำที่พบหลักฐานหลงเหลือในปัจจุบัน มีอยู่ 2 รูปแบบ ตามที่แสดงมาในรูปที่ 2-20 รูปแบบแรกเป็นกำแพงอิฐที่อยู่บนหัวเสาเข็มที่ตอกเรียงตามแนวตลิ่งแม่น้ำ ส่วนรูปแบบที่สอง เป็นกำแพงไม้ ซึ่งในปัจจุบันส่วนใหญ่รื้อทิ้งไปมากแล้ว มีหลงเหลือให้เห็นอยู่ไม่มากนัก แต่สำหรับกำแพงแบบแรกยังมีเหลือให้เห็นอยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างชั่วคราว :



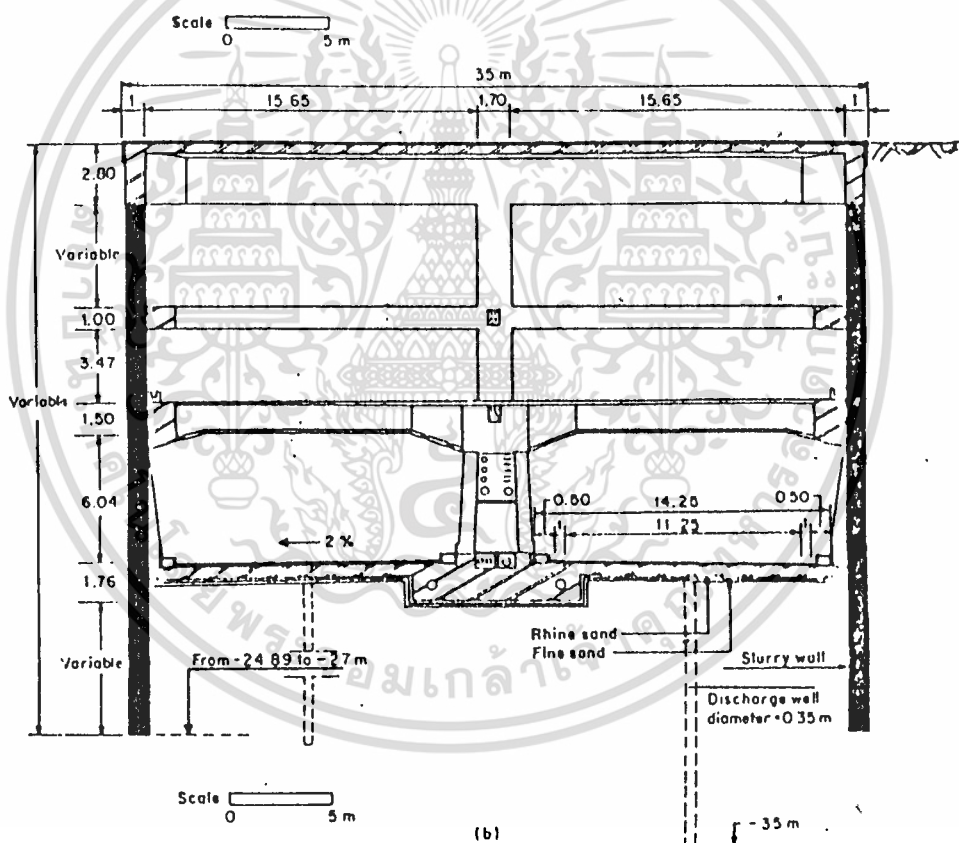
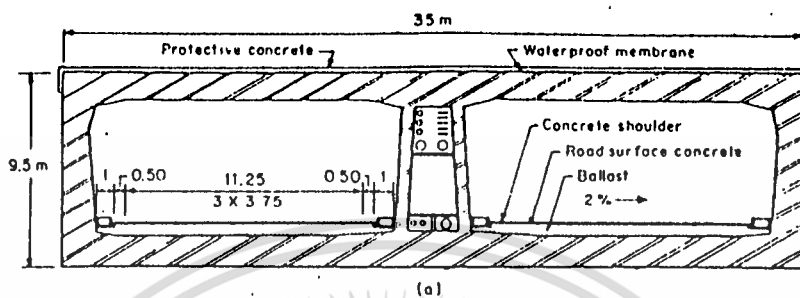
โครงสร้างถาวร :



Example of downward construction showing a multilevel structure for underground parking in Paris: (a) plan and (b) section A-A. (From Fenoux, 1971.)

(งานอาคาร)

รูปที่ 2-19 ตัวอย่างการใช้ Sheet Pile ในงานก่อสร้างต่าง ๆ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากท่านใดใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

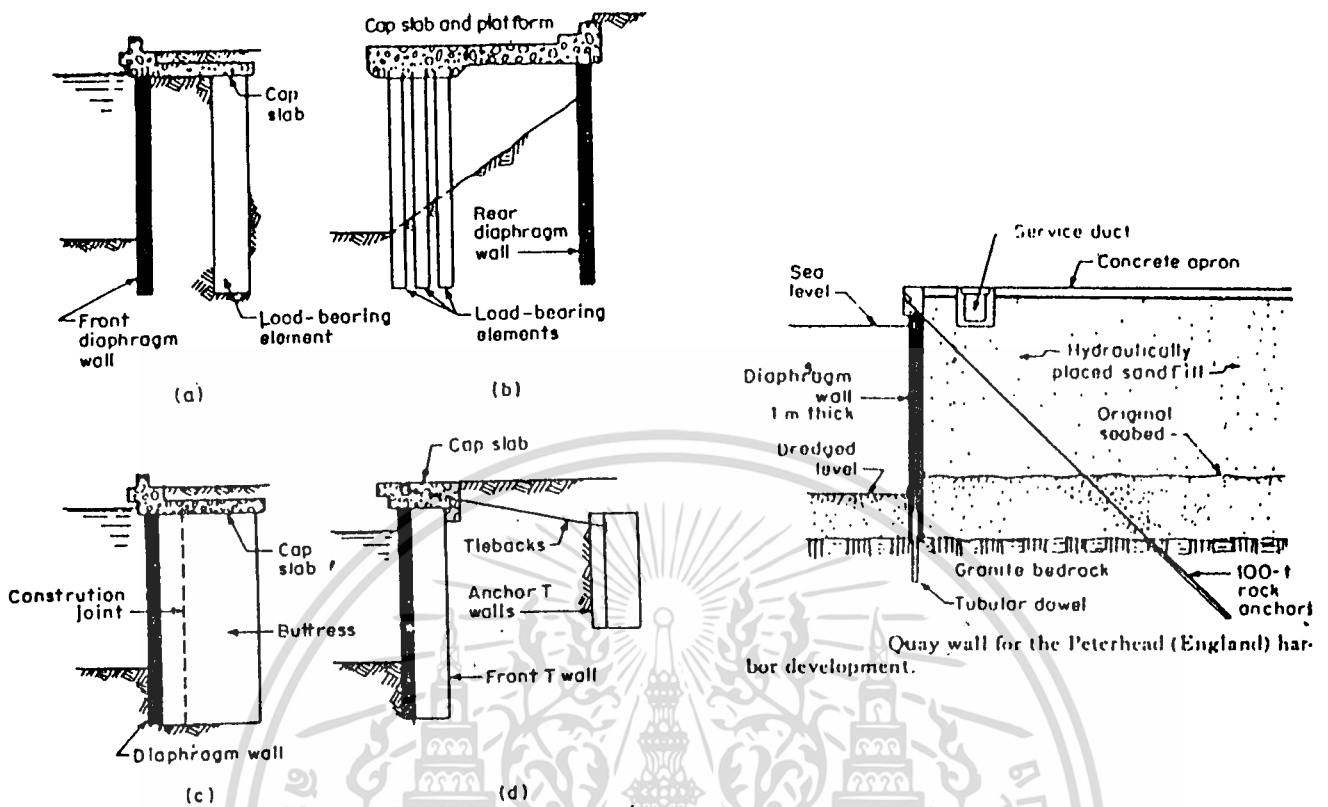


Rupel Tunnel, Belgium: (a) typical cross section of the sunken tubes used in the Rupel river and the maritime canal; (b) typical section of the cut-and-cover tunnel used in the land portion between the waterways. (Franki.)

(งานอุโมงค์ใต้ดิน)

รูปที่ 2-19 (ต่อ)

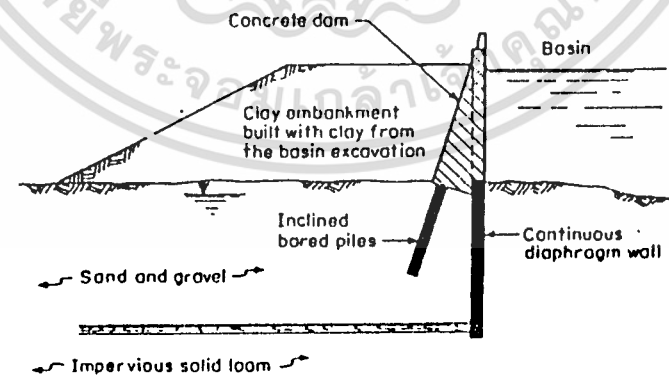
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Schematic designs of waterfront facilities by diaphragm walls and related elements.

(โครงสร้างประเภท Water Front)

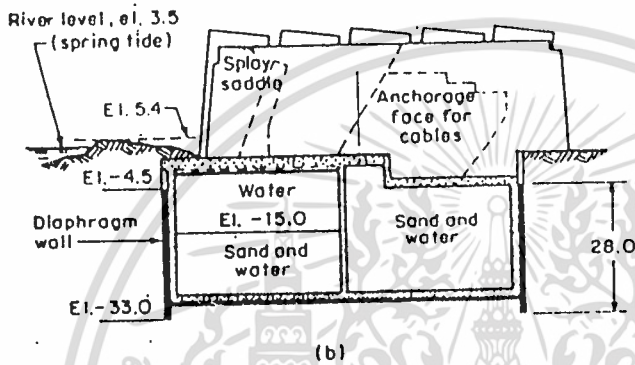
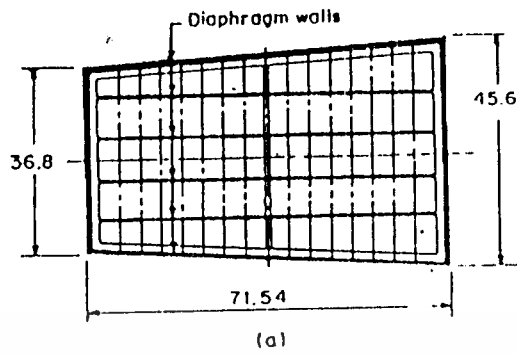
(ท่าเทียบเรือ)



Concrete dam and diaphragm wall for Nottingham (England) water basin.

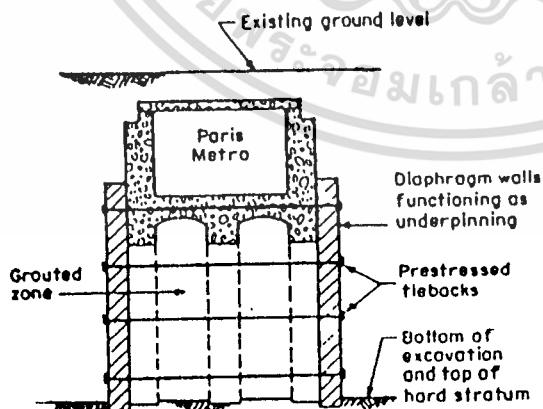
(Water Basin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่รูปที่ 2-19 (ต่อ) นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Foundation anchorage for the Humber suspension bridge at the Barton site: (a) plan showing diaphragm wall block and anchorage; (b) longitudinal section. All dimensions and elevations in meters.

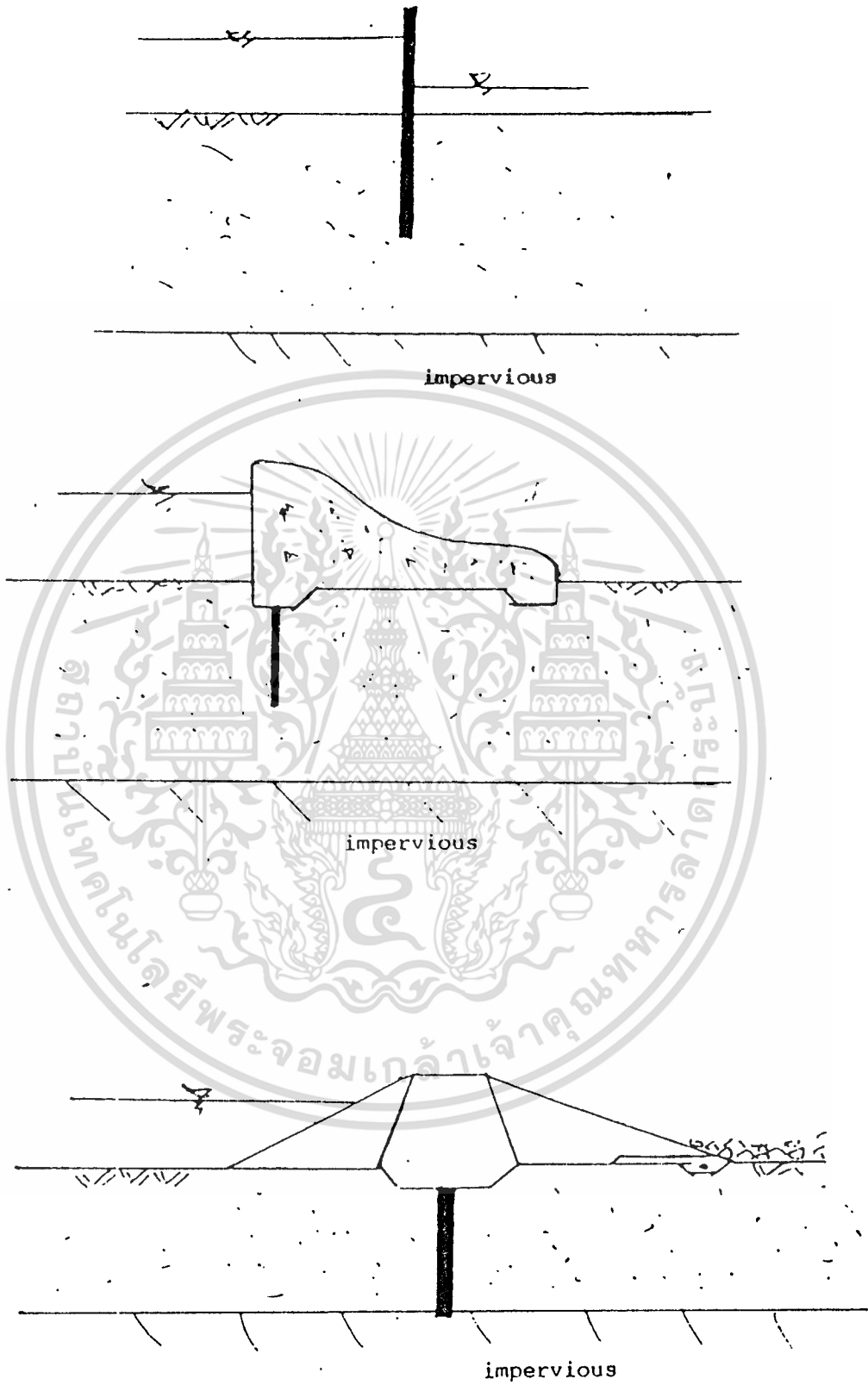
(Anchorage Foundation ของ Suspension Bridge)



Use of diaphragm walls in conjunction with grouting to underpin an existing subway structure.

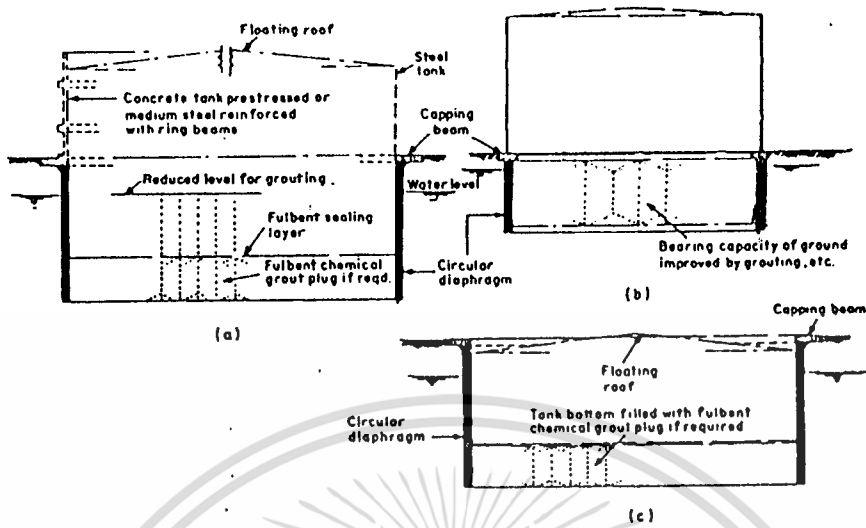
(ฐานรากระบบ confinement ของอุโมงค์ใต้ดิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 2-19 (ต่อ) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(งานเขื่อน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่รูปที่ 2-19 (ต่อ) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



New forms of tank construction: (a) diaphragm tank below ground supporting concrete or steel upper structure; (b) circular diaphragm supporting steel tank in soft ground; (c) diaphragm tank below ground.

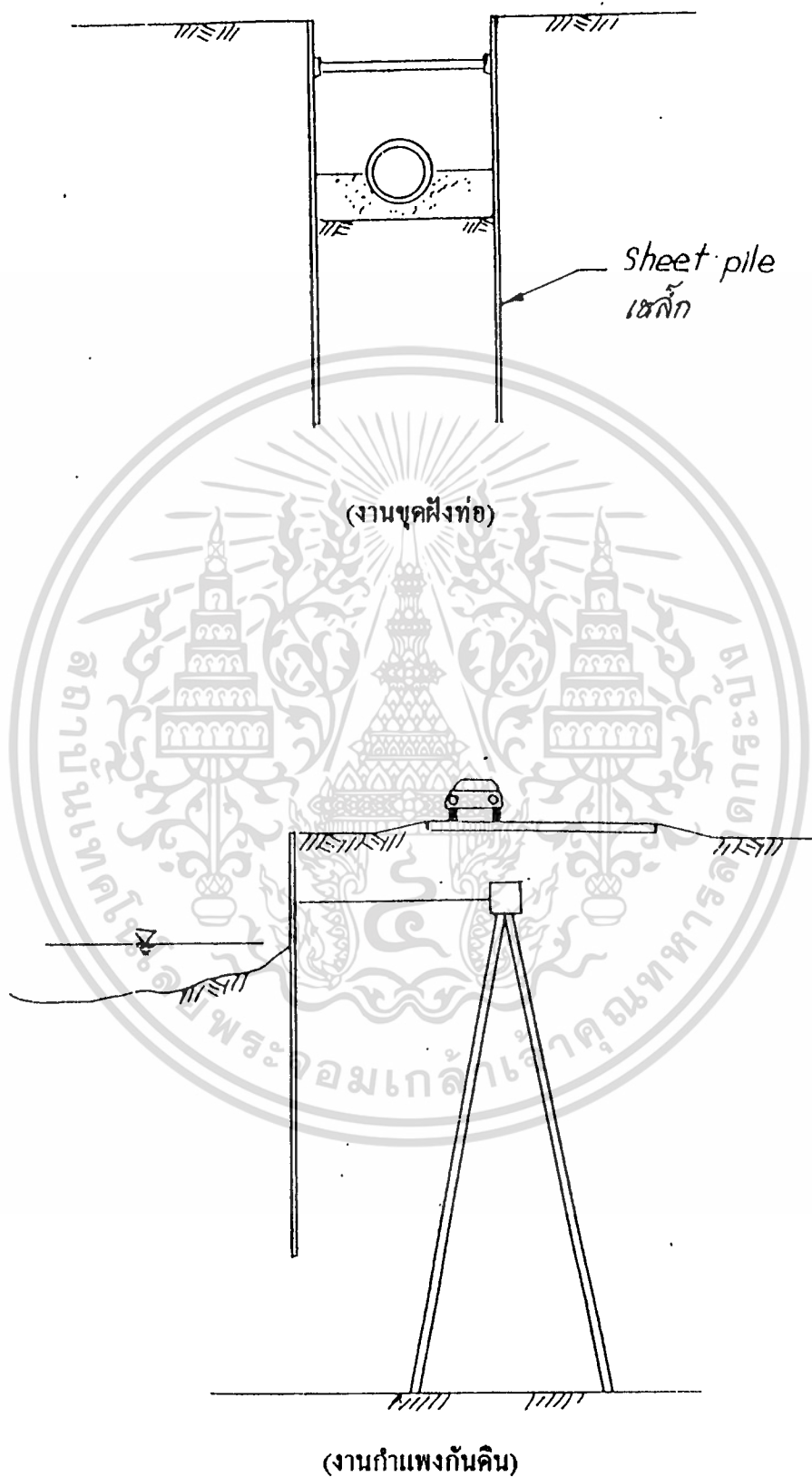
(Tank ได้ดิน และฐานรากของ Tank)



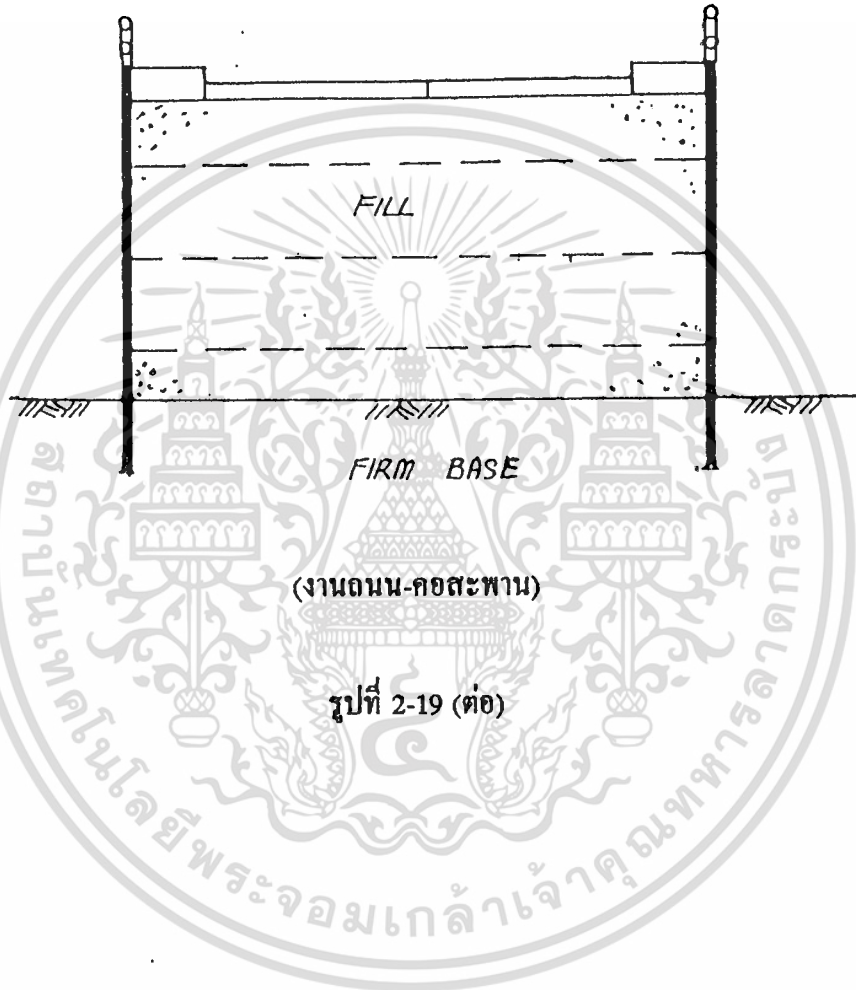
(Cut-off Wall)

รูปที่ 2-19 (ต่อ)

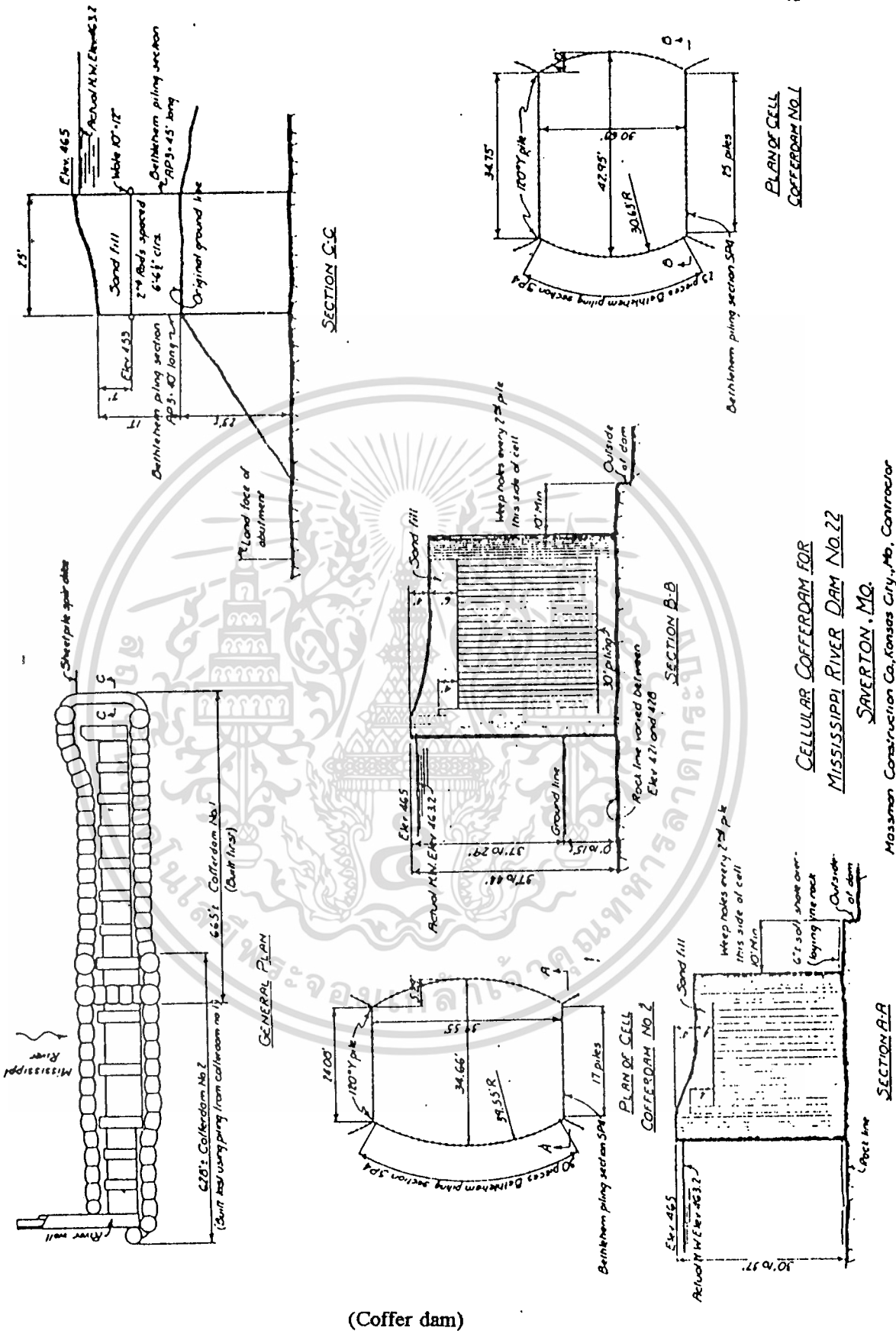
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน **รูปที่ 2-19 (ต่อ)** นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(Coffer dam)

CELLULAR COFFERDAM FOR
MISSISSIPPI RIVER DAM No. 22

SAVERTON, MO.
Massman Construction Co., Kansas City, Mo., Contractor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 2-19 (ต่อ) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

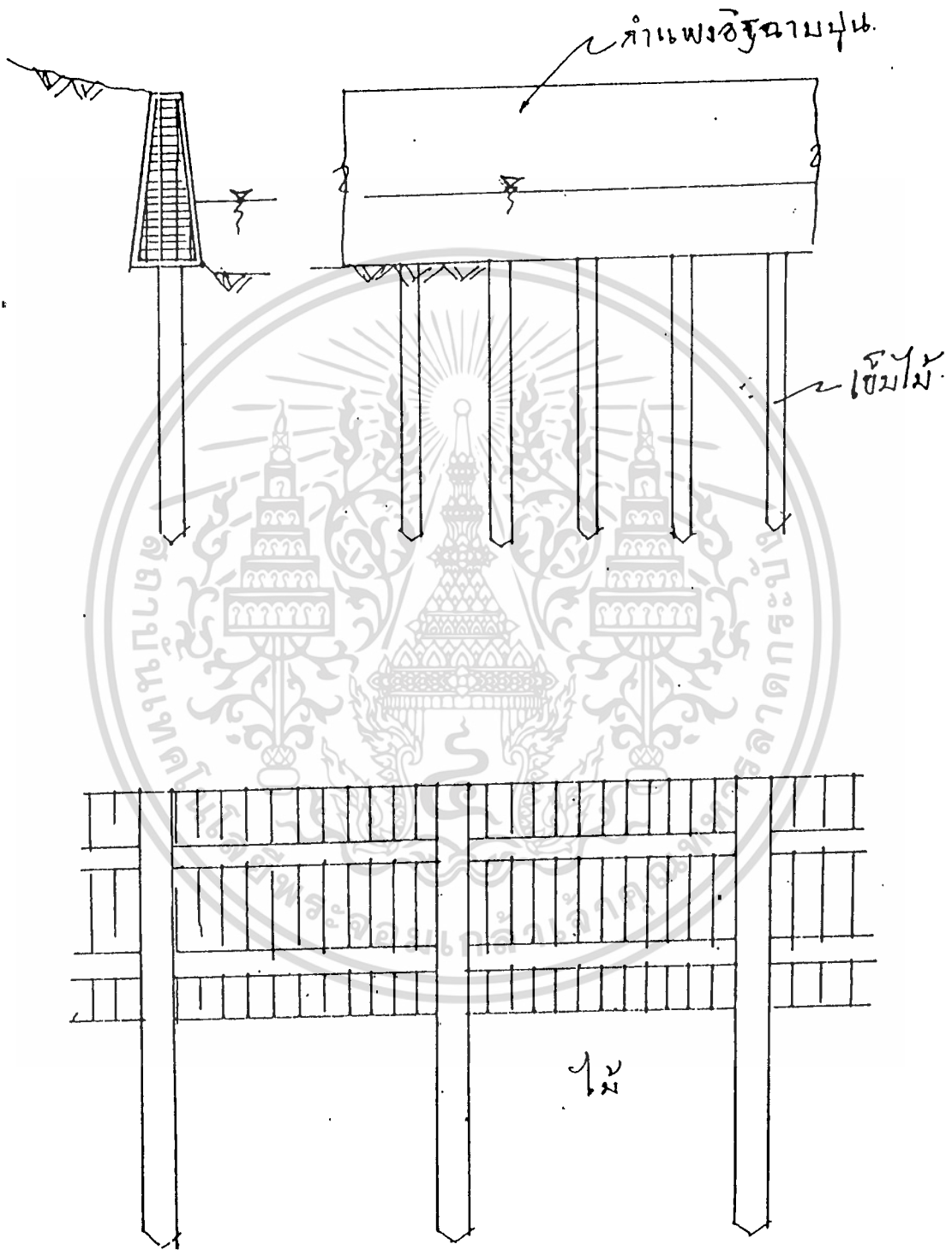
การนำเทคโนโลยี Sheet Pile มาใช้มากในประเทศ อาจประมาณได้ว่าคงจะอยู่ในช่วงของการเร่งพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนา ซึ่งถึงแม้คูคลองหลายสายในกทม. จะถูกถมไป จากผลของการพัฒนาเมืองหลวง แต่ก็ยังมีคูคลองอีกหลายสายยังคงได้รับการอนุรักษ์ไว้ สำหรับเป็นทางระบายน้ำ Sheet Pile ที่ใช้สำหรับป้องกันตลิ่งแม่น้ำ (โดยเฉพาะแม่น้ำเจ้าพระยา) และคลอง ส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบที่แสดงมาในรูปที่ 2-21 ซึ่งเป็นแบบขามีแฉกกัน มีเฉพาะบางแห่งที่ใช้ตามแบบ ในรูปที่ 2-22 ซึ่งเป็นแบบคอกพืดติดกัน

ผลจากการเร่งพัฒนาประเทศในช่วงแผนพัฒนานี้เอง ที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของ กรุงเทพมหานคร อย่างรวดเร็ว ได้มีการนำเทคโนโลยีทางการก่อสร้างอาคาร และโครงสร้างพื้นฐานประเภทท่อระบายน้ำ ประปา โทรศัพท หรือแม้แต่ไฟฟ้า ที่ต้องมีการขุดลงไปในดิน ทำให้ต้องอาศัย Sheet Pile เหล็กมาช่วยในการขุดเป็นอย่างมาก Sheet Pile เหล็กจึงมีบทบาทขึ้นมาและดูเหมือนจะมากขึ้นไปเรื่อย ๆ ในอนาคต Sheet Pile เหล็กที่ใช้ส่วนใหญ่ก็อยู่ในรูปแบบที่เป็นสากลนิยมตามที่แสดงมาแล้วแต่ต้น

ต่อมาในระยะช่วงหลังนี้ เนื่องจากราคาที่ดินได้ถีบตัวสูงขึ้น เป็นผลให้อาคารต่างๆ เพิ่มความสูงมากขึ้น โดยมีการเพิ่มความสูงทั้งทางด้านเหนือดิน และทางด้านใต้ดิน นอกจากจะทำให้ต้องมีการขุด และใช้ Sheet Pile เหล็กมากขึ้นแล้ว ก็ยังต้องมีการใช้กำแพงกันดินโดยรอบของห้องใต้ดินที่อยู่ในรูปแบบของ Braced Sheet Pile เพิ่มขึ้น กำแพงกันดินประเภทนี้ ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาออกไปค่อนข้างกว้างขวางในหลายรูปแบบและรูปแบบที่ค่อนข้างจะเป็นที่นิยม ซึ่งได้ชื่อว่า "Diaphragm Wall" ก็เริ่มจะนำมาใช้ในประเทศไทยแล้ว โดยอาศัยความร่วมมือจากต่างประเทศ

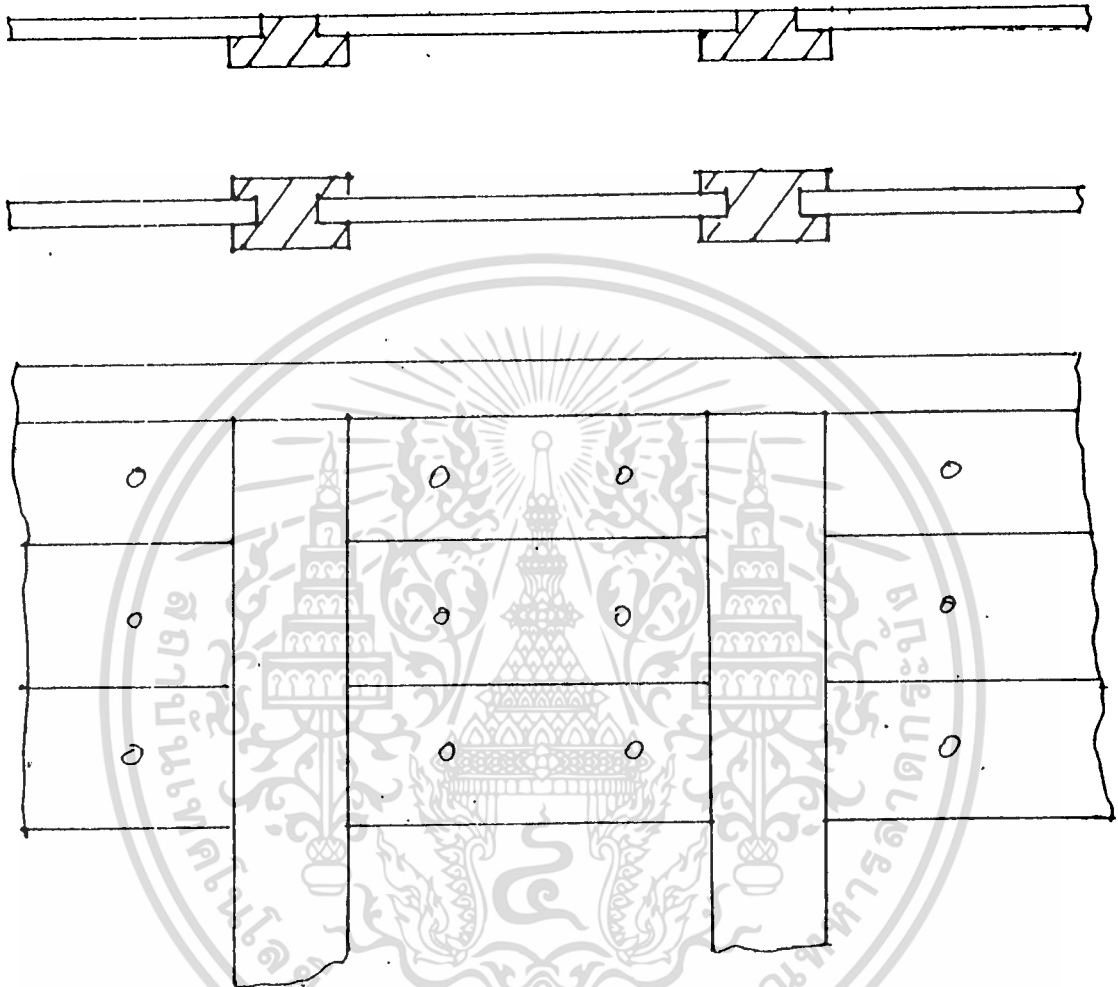
ในช่วงของการเร่งพัฒนาประเทศตามแผนนี้ นอกจากจะใช้เทคโนโลยี Sheet Pile ช่วยในการพัฒนาเมือง (โดยเฉพาะเมืองหลวง) แล้ว ก็ยังมีการนำเทคโนโลยี Sheet Pile ประเภท Slurry Wall สำหรับเป็น Cut-off Wall หรือกำแพงกันน้ำซึมตลอดได้เขื่อน (โดยเฉพาะเขื่อนดิน) อยู่เป็นจำนวนมากไม่น้อย

การนำเทคโนโลยี Sheet Pile มาประยุกต์ใช้ในประเทศไทย กล่าวโดยสรุปแล้ว หอจะมองเห็นได้ว่า ในด้านรูปร่างนั้นอาจจะยังมีไม่มากนัก แต่ก็ครอบคลุมรูปแบบการใช้งานหลัก ๆ เกือบทุกรูปแบบ การนำมาใช้นี้ วิทยาการส่วนใหญ่ได้รับการถ่ายทอดเข้าสู่สังคมไทยแล้ว แต่ประสิทธิภาพการใช้งาน และ/หรือ การก่อสร้างยังขาดอยู่บ้างในบางรูปแบบ เช่น รูปแบบประเภท Diaphragm Wall และ Slurry Wall



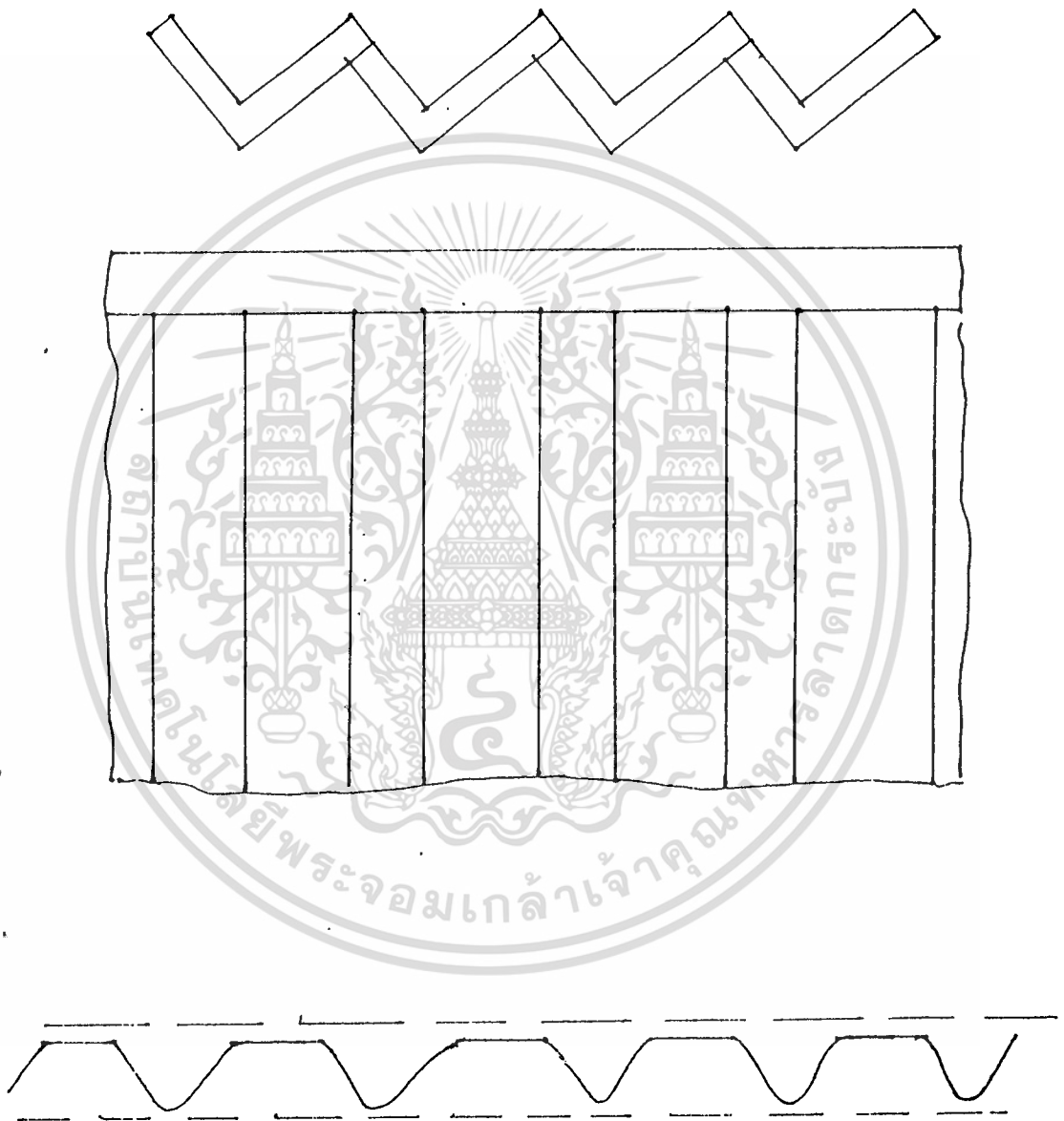
รูปที่ 2-20 กำแพงรับน้ำที่ใช้มากในสมัยก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-21 รูปแบบค้ำเพงริมน้ำที่นิยมใช้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-22 รูปแบบที่มีใช้อยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. พฤติกรรมของ Sheet Pile

คำว่า พฤติกรรมของ Sheet Pile อาจมีความหมายค่อนข้างกว้าง จึงจะขอกำหนดเฉพาะพฤติกรรมหลักที่เกี่ยวข้องกับ Sheet Pile ไว้ดังต่อไปนี้

6.1 พฤติกรรมของตัว Sheet Pile โดยตรง

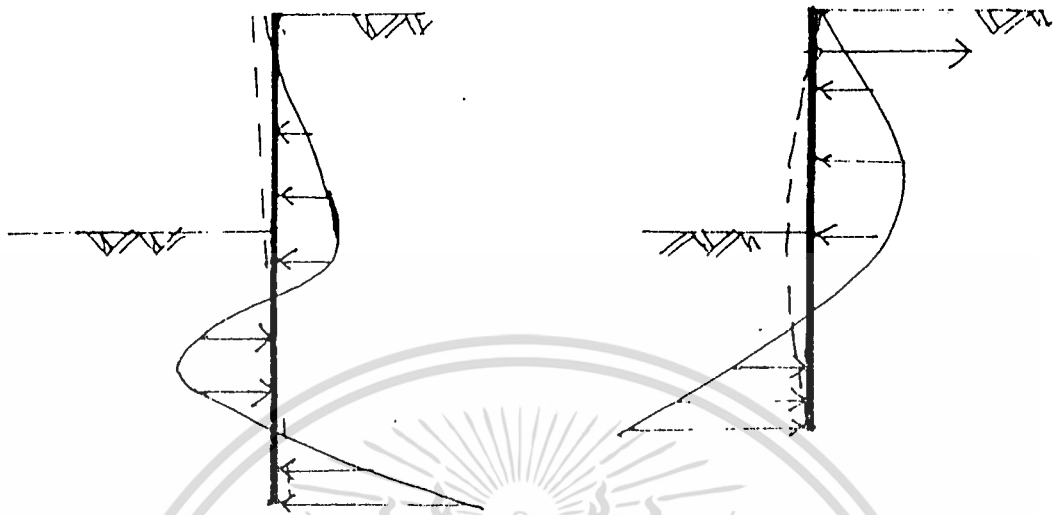
การจะกล่าวถึงพฤติกรรมของ Sheet Pile จำเป็นต้องกล่าวรวมถึงแรงหรือสิ่งที่มากระทำต่อ Sheet Pile และคุณสมบัติพื้นฐานของ Sheet Pile มาประกอบการพิจารณาจึงจะสามารถเห็นภาพได้กระจ่างขึ้น

แรงกระทำหรือสิ่งที่มากระทำต่อ Sheet Pile หากจะสรุปจากการใช้งานของ Sheet Pile แล้ว พอลงกล่าวได้ว่า แรงกระทำที่สำคัญมี 2 ประเภทคือ แรงดันด้านข้าง และแรงกระทำตามแนวค้ำ สำหรับสิ่งที่มากระทำต่อ Sheet Pile นอกจากดินแล้วก็มีน้ำเป็นตัวสำคัญ นอกจากนี้ก็ยังมีน้ำหนักบรรทุกจากภายนอก ซึ่งเป็นสิ่งกระทำที่ไม่ติดกับ Sheet Pile โดยตรง แต่สามารถส่งผลให้เกิดแก่ Sheet Pile ได้

เนื่องจาก Sheet Pile มีคุณสมบัติเป็นเอกลักษณ์ที่สำคัญประการหนึ่งคือ มีความแบนมาก เมื่อเทียบกับความกว้างและความยาว ฉะนั้นพฤติกรรมของ Sheet Pile เมื่อถูกแรงกระทำจะมีการอ่อนตัวสูงในแนวตั้งฉากกับระนาบแบนและสามารถโค้งงอได้ง่ายจากพฤติกรรมดังกล่าวจึงทำให้ Sheet Pile สามารถที่จะอ่อนตัวไปตามแรงกระทำได้ดี ฉะนั้นในการใช้งาน Sheet Pile สำหรับทำกำแพงกันดิน ความอ่อนตัวของ Sheet Pile ทำให้เกิดการตอบสนองของแรงดันดินไม่มากเท่ากับกำแพงกันดินที่มีความแข็งตัวกว่า ช่วยลดขนาดของแรงดันลงได้เมื่อเทียบกับกำแพงกันดิน

ตัวอย่างของการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile หรือพฤติกรรมของ Sheet Pile เมื่อถูกแรงกระทำด้านข้างแสดงไว้ในรูปที่ 2-23

สำหรับพฤติกรรมของ Sheet Pile เมื่อถูกแรงกระทำในแนวค้ำหรือแนวอนที่ขนานกับระนาบแบนของ Sheet Pile นั้น นอกจากจะเกิดการยุบตัวตามแนวแรงกระทำแล้ว ยังสามารถทำให้เกิดการขู่ตัว (Buckling) ได้ง่ายด้วย ถ้าหากมิได้จัดทำค้ำยันให้เหมาะสม



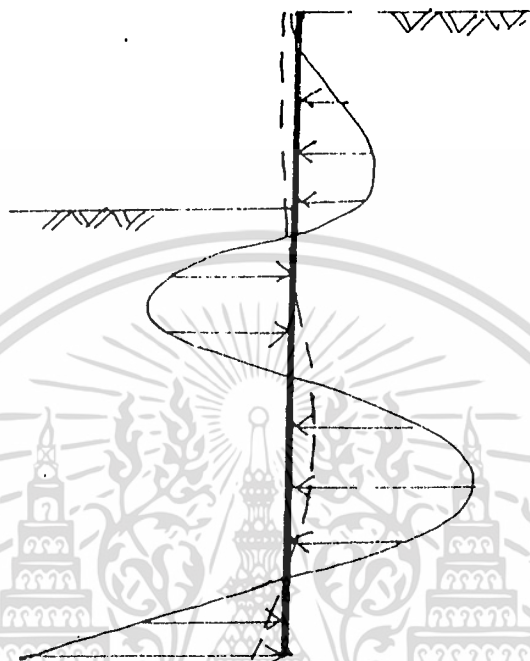
ก. Cantilever Sheet Pile

ข. Anchored Sheet Pile

รูปที่ 2-23 แสดงการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile เมื่อถูกแรงดันด้านข้าง

6.2 พฤติกรรมของแรงดันจากดิน

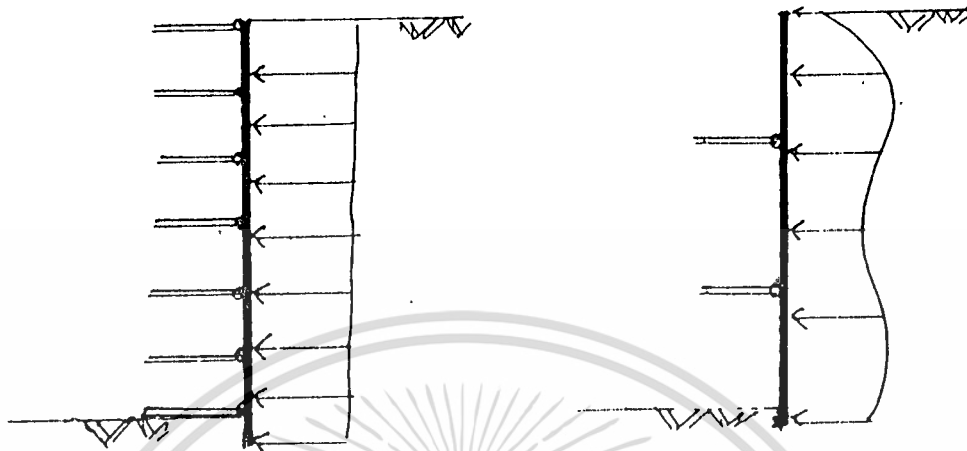
เนื่องจาก Sheet Pile มีความอ่อนตัวค่อนข้างจะมาก แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำบน Sheet Pile จึงสามารถปรับเปลี่ยนตามลักษณะการเคลื่อนตัวของดิน และ Sheet Pile ได้ง่าย ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2-24 ซึ่งแสดงพฤติกรรมของแรงดันดินบน Cantilever Sheet Pile ที่ปลายล่างฝังลึกลงไปมากกว่าปกติ จะเห็นได้ว่าแรงดันดินจะปรับเปลี่ยนตามสภาพการเคลื่อนตัวของดินและ Sheet Pile ได้เป็นอย่างดี โดยมีแรงดันด้านที่ Sheet Pile หนีห่างออกจากดินก็จะเป็นแรงดันในสถานะ Active และแรงดันด้านที่ Sheet Pile ดินเข้าหาดินก็จะอยู่ในสถานะ Passive และเมื่อหักลบแรงดันทั้งสองด้านของ Sheet Pile เข้าด้วยกันแล้ว ก็จะได้แรงดันรวมที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการเคลื่อนตัวของดิน และ Sheet Pile



รูปที่ 2-24 แสดงตัวอย่างพฤติกรรมของแรงค้ำดินบน
Cantilever Sheet Pile

สำหรับ Braced Sheet Pile พฤติกรรมของแรงค้ำดิน ก็แสดงให้เห็นถึงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงตามสภาพการเคลื่อนตัวของดิน และ Sheet Pile ได้ดี ตามที่แสดงมาในรูปที่ 2-25 จะเห็นได้ว่ารูป ก. Sheet Pile ได้รับการค้ำยันค่อนข้างจะดี การเคลื่อนตัวของดินและ Sheet Pile มีน้อย ทำให้แรงค้ำดินค่อนข้างจะสม่ำเสมอ แต่สำหรับรูป ข. ค้ำยันห่างการเคลื่อนตัวของดิน และ Sheet Pile เกิดขึ้นได้มาก ทำให้แรงค้ำดินไม่สม่ำเสมอ

เนื่องจากพฤติกรรมของแรงค้ำที่กล่าวมานี้มีความสัมพันธ์อย่างมากกับสภาพของดิน และเนื่องจากดินในธรรมชาติส่วนใหญ่จะไม่ Homogeneous พฤติกรรมของแรงค้ำดินก็จะแตกต่างไปจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้อีกมาก สำหรับดินในธรรมชาติ ฉะนั้นการวิเคราะห์แรงค้ำของดินในธรรมชาติที่มีความแตกต่างกันมากในแต่ละชั้นดิน จึงเป็นเรื่องที่ควรแก่การให้ความสนใจเป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับดินอ่อน Bangkok clay ซึ่งมีงานก่อสร้างอยู่เป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2-25 แสดงพฤติกรรมของแรงค้ำคินบน Braced Sheet Pile

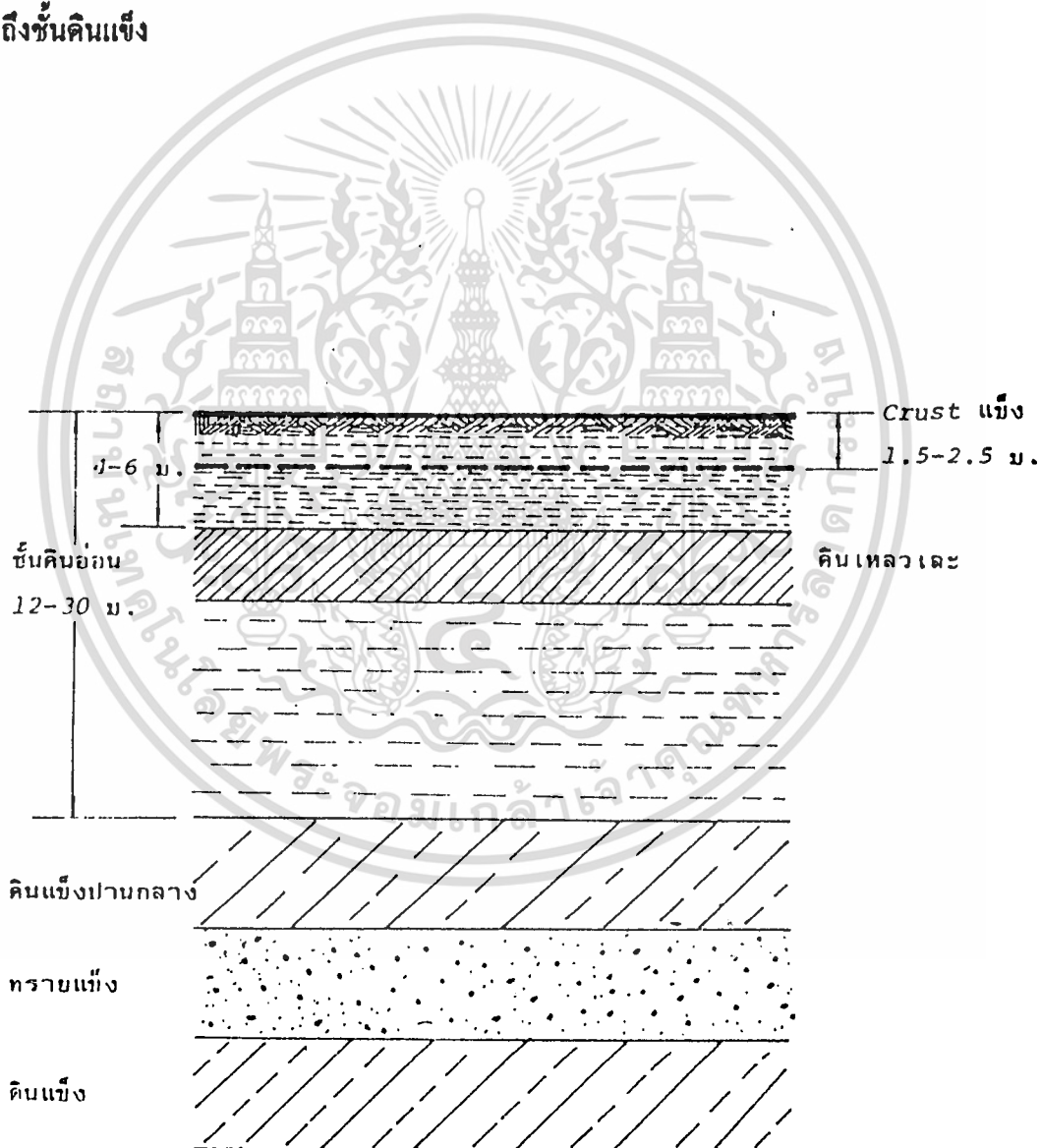
พฤติกรรมของแรงค้ำคินนี้ นอกจากจะขึ้นอยู่กับลักษณะของการขุดและการเคลื่อนตัวของดินและ Sheet Pile ตามรูปแบบของโครงสร้างที่ต่างกันแล้ว ยังขึ้นอยู่กับเวลาหลังจากติดตั้ง Sheet Pile อีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเป็นดินเหนียวที่แข็ง ทั้งนี้เพราะดินเหนียวมีอัตราการไหลตัวค่อนข้างจะช้ามาก ในช่วงระยะเวลาที่ติดตั้งเสร็จใหม่ ๆ การเคลื่อนตัวของดินเหนียวยังมีไม่มาก แรงค้ำที่เกิดขึ้นก็ย่อมจะช้่น้อยอยู่ ต่อเมื่อปล่อยให้ไ้เวลานานขึ้น ดินเหนียวจะไหลตัวมาค้ำกำแพงได้มากขึ้น ความค้ำก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การเคลื่อนตัวของดินเหนียวตั้งแต่ต้นจนกระทั่งถึงสภาพที่มากที่สุดสามารถใช้เวลาเป็นเดือนๆ ฉะนั้นในงานก่อสร้าง โครงสร้างชั่วคราวในดินเหนียวที่มีเวลาการใช้โครงสร้างอยู่เพียงชั่วระยะเวลาอันสั้น ก็อาจลดค่าแรงค้ำลงได้บ้าง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องให้ความระมัดระวังสำหรับดินเหนียวอ่อน เช่น Bangkok clay ที่มีชั้นดินเลนปนอยู่ ทำให้การไหลตัวรวดเร็วได้

7. ข้อควรระวังการใช้เทคโนโลยี sheet pile สำหรับ Bangkok clay

สิ่งที่เป็นปัญหาในการนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ในการก่อสร้างต่าง ๆ สำหรับ Bangkok clay ซึ่งผู้เขียนใคร่ยกขึ้นมาในประเด็นหลัก ๆ มีดังต่อไปนี้

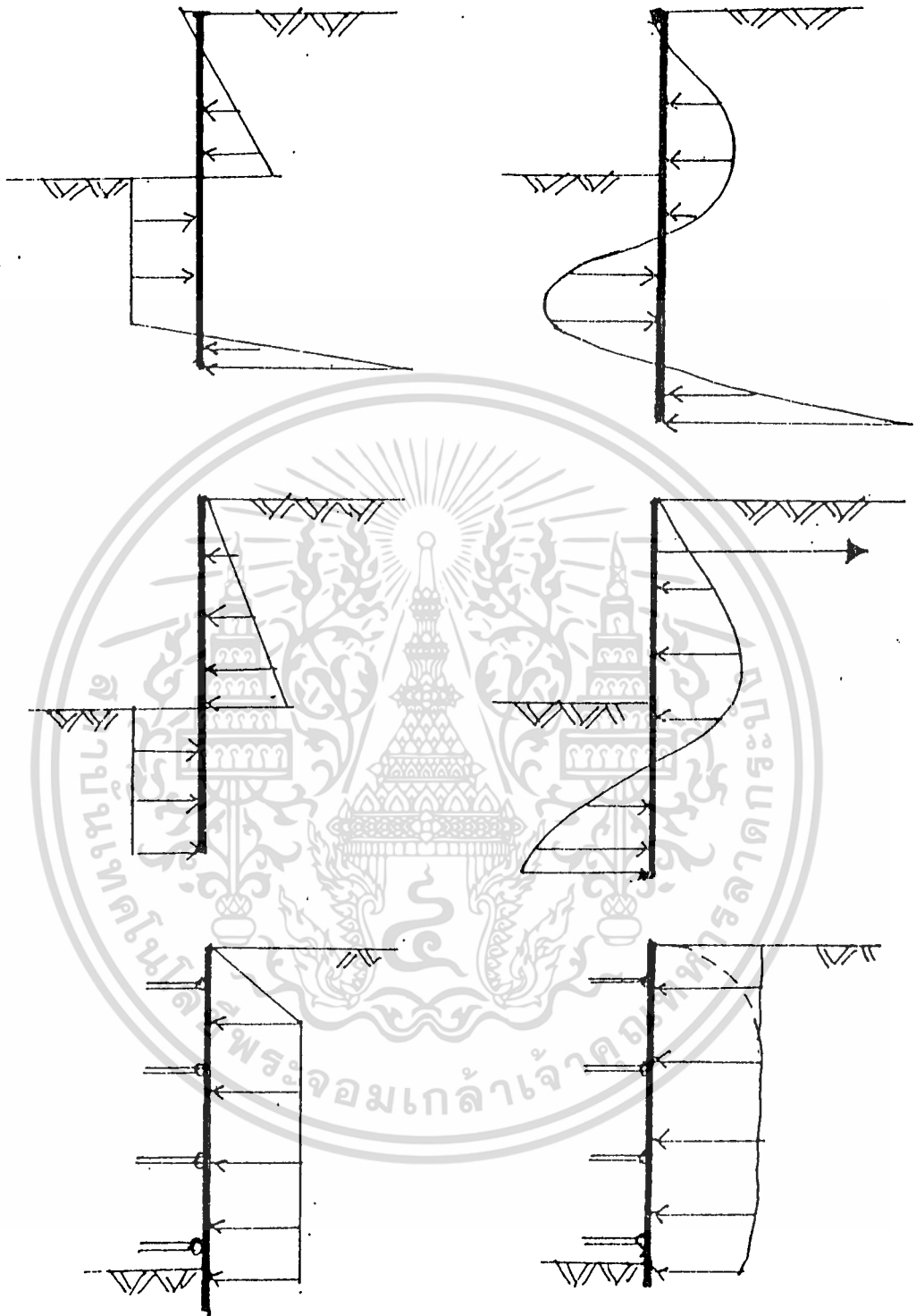
(1) การวิเคราะห์แรงดันในการออกแบบ

เนื่องจากดินอ่อน Bangkok clay มีคุณลักษณะพิเศษที่มีผลให้เกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์แรงดันของคินบน sheet pile ได้ คุณลักษณะพิเศษอันนั้นก็คือ ความไม่ homogeneous ของชั้นดินตามที่แสดงมาในรูปที่ 26 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีชั้น crust อยู่ตอนบนที่เป็นดินแข็งปานกลางถึงอ่อนอยู่หนาประมาณ 2-5 ม. ได้ชั้น crust นี้ จะเป็นชั้นที่มักก่อก่อความยุ่งยากให้กับงานก่อสร้างที่ใช้ sheet pile อยู่เสมอ ก็คือชั้นดินอ่อนมาก ซึ่งบางแห่งอ่อนจะเป็นเลนเหลวละ ชั้นดินนี้ไม่สูงจะหนามากนัก กล่าวคือหนาไม่เกิน 2 เมตร บางแห่งก็เป็นชั้นบาง ๆ ได้ชั้นอ่อนมากนี้ก็ชั้นดินอ่อน แล้วแข็งขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงชั้นดินแข็ง



รูปที่ 2-26 ลักษณะชั้นดิน Bangkok clay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. Homogeneous soils

ข. Bangkok clay

รูปที่ 2-27 แสดงลักษณะแรงดันของดิน เปรียบเทียบระหว่าง

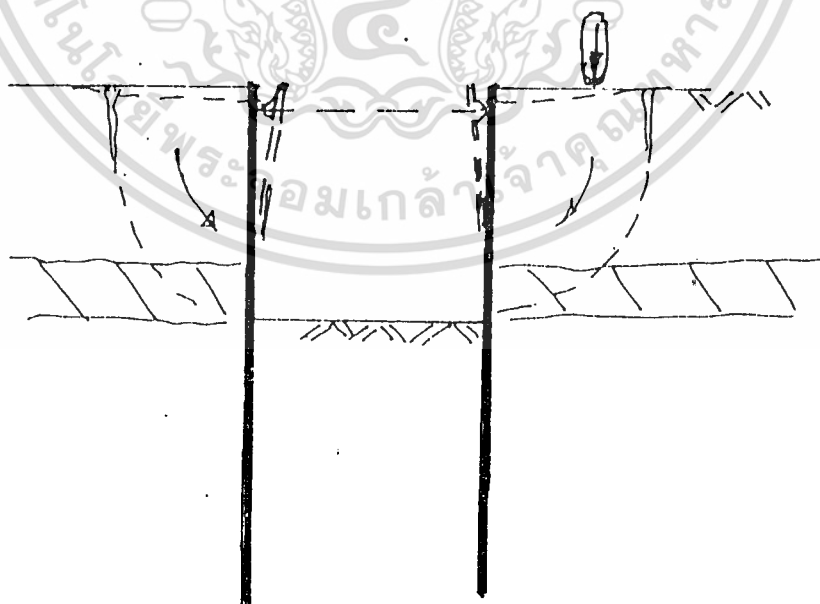
Homogeneous soils & Bangkok clay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพดินดังกล่าวมักจะก่อให้เกิดการสับสนในการวิเคราะห์แรงคั้นดิน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะขึ้นกับการวิเคราะห์แรงคั้นที่มีดินทั้งชั้น Homogeneous หรือเป็นเนื้อเดียวกันตลอด ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์แรงคั้นของ Sheet Pile ตามระบบโครงสร้างต่าง ๆ ก็มักจะอยู่ในรูปตามที่แสดงมาในรูปที่ 2-27(ก) แต่สำหรับดิน Bangkok clay ซึ่งกำลังของดินจะไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังมีชั้นดินที่อ่อนกว่าอยู่ใต้ชั้นดินที่แข็งแรง ทำให้ลักษณะของแรงคั้นเปลี่ยนแปลงไป ตามรูปที่ 2-27(ข) ประเด็นการเปลี่ยนแปลงที่มีผลต่อการหาขนาดของ Sheet Pile ก็คือขนาดและความลึกของแรงคั้นตอนบนสุดที่มักจะกระทำลงมาต่ำกว่า Dredged Line ซึ่งมีผลต่อเสถียรภาพและแรงคั้นในตัว Sheet Pile อย่างมาก การเปลี่ยนแปลงนี้จะ Sensitive มาก เมื่อ Dredged Line อยู่ใกล้กับระดับของชั้นดินเลน สำหรับ Bangkok clay แล้ว ก็จะมีผลมากเมื่อ Dredged Line อยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำ ตั้งแต่ประมาณ 2 เมตรขึ้นไปถึง 5 เมตร

(2) การก่อสร้างโครงสร้างชั่วคราว

โดยมากมักจะเกิดกับโครงสร้าง Sheet Pile แบบ Anchored หรือ Braced types ซึ่งมักจะต้องการถอดค้ำยันออกในบางขณะ หากระดับที่ขุดลึกกว่าระดับของชั้นดินเลน การไหลตัวของดินส่วนบนเป็นไปได้ง่าย ถ้าไม่ได้มีมาตรการเตรียมพร้อมที่ดีพอ สามารถเกิดการเคลื่อนตัวของดินและ Sheet Pile ตรงส่วนที่ถอดค้ำยันออกได้ตามลักษณะที่แสดงในรูปที่ 2-28 (โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีแรงกระทำจากน้ำหนักสัอรตอนบน)



รูปที่ 2-28 แสดงการไหลตัวของดินขณะถอดค้ำยัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกลศาสตร์ของดิน

เรื่อง แรงดันด้านข้างของดิน

(Lateral Earth Pressure)

การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบให้มีสมรรถนะต้านทานแรงดันทางด้านข้างนั้น พฤติกรรมและขนาดของแรงดันเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องศึกษาพิจารณา ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีหาแรงดันด้านข้างของดินที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ Sheet Pile

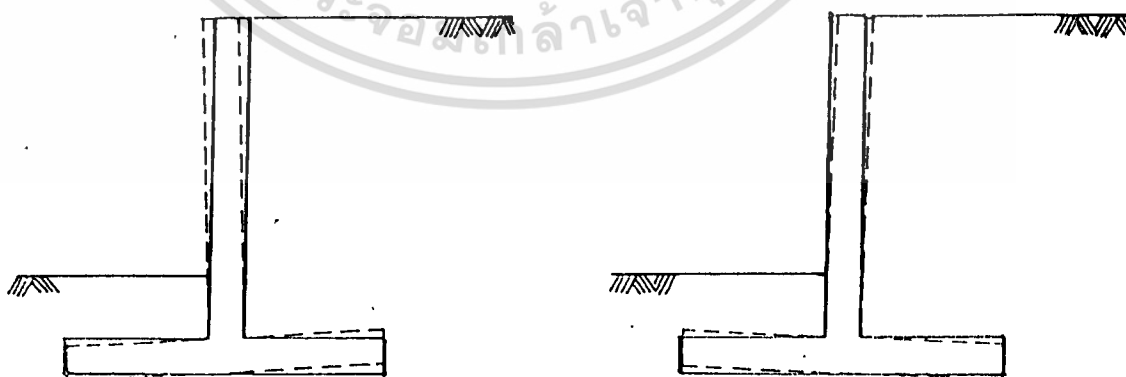
1. ประเภทของแรงดันด้านข้างของดิน

แรงดันด้านข้างของดิน มีอยู่ 3 แบบ คือ

1.1) แรงดันดินแบบอยู่กับที่ (Earth Pressure at Rest) หมายถึง แรงดันของดินที่กระทำต่อผนังกำแพงกันดินทางด้านข้าง แล้วไม่ทำให้กำแพงกันดินเกิดการเคลื่อนที่แต่อย่างใด

1.2) แรงดันดินแบบ Active (Active Earth Pressure) หมายถึง แรงดันของดินที่กระทำต่อผนังกำแพงกันดินทางด้านข้าง แล้วทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกไปจากดินอ้อมหลังกำแพง ดังในรูปที่ 3-1(ก)

1.3) แรงดันดินแบบ Passive (Passive Earth Pressure) หมายถึง แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อด้านหน้ากำแพงกันดิน แล้วทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนที่เข้าหาดินอ้อมหลังกำแพง ดังในรูปที่ 3-1(ข)

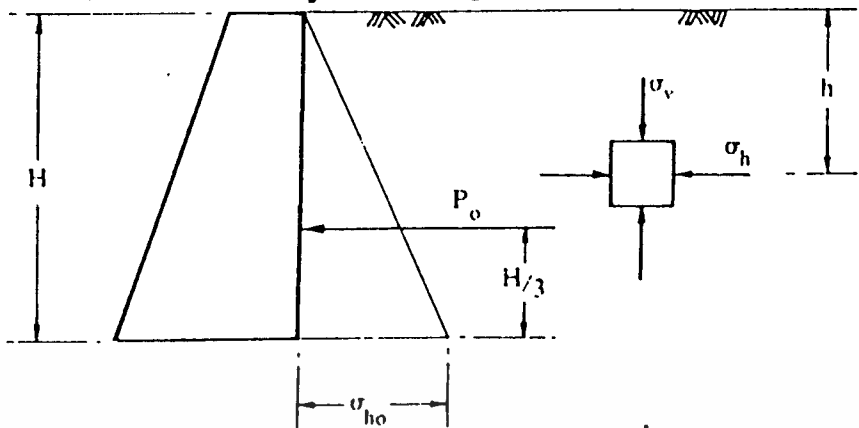


(ก) แบบ Active

(ข) แบบ Passive

รูปที่ 3-1

1.1) แรงดันดินแบบอยู่กัณฑ์ (Earth pressure at rest)



รูปที่ 3-2 แรงดันดินแบบอยู่กัณฑ์

ในสภาวะธรรมชาติ ก้อนดินซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินเท่ากับ h จะถูกกระทำด้วยแรงในแนวตั้ง σ_v เนื่องจากน้ำหนักของดินซึ่งอยู่เหนือก้อนดินนั้น

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \gamma \cdot h \\ \text{ในเมื่อ } \gamma &= \text{หน่วยน้ำหนักของดิน} \end{aligned}$$

เมื่อมีกำแพงกันดินมาดันดินนั้น แรงในแนวตั้ง σ_v จะทำให้เกิดแรงดันในแนวนอน σ_h กระทำต่อผนังกำแพงกันดิน ถ้ากำแพงกันดินอยู่ในสภาวะสมดุล ไม่มีการเคลื่อนที่แต่อย่างใด

$$\begin{aligned} \sigma_{ho} &= K_o \sigma_v \\ &= K_o \gamma \cdot h \end{aligned}$$

ในเมื่อ $\sigma_{ho} =$ แรงดันในแนวนอนแบบอยู่กัณฑ์
 $K_o =$ สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบอยู่กัณฑ์
 (Coefficient of earth pressure at rest)

ค่า K_o ของดินพวงกรวด ทราย และดินเหนียวชนิดที่ผ่านมาในอดีตยังไม่เคยรับแรงดันใด ๆ มากกว่าแรงดันของดินที่อยู่เหนือจุดที่พิจารณาในปัจจุบันเลย สามารถหาได้จากสมการของ Jaky ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ K_o ใช้งาน = $1 - \sin \phi'$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืออาจหาได้จากตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบอยู่กับที่

ประเภทของดิน	K_0
ทรายแน่น	0.35
ทรายหลวม	0.60
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

ลักษณะการกระจายของแรงดันดินที่กระทำต่อผนังกำแพงกันดินจะเป็นรูปสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 3-2 ดังนั้น แรงทั้งหมดที่กระทำตลอดความสูงของกำแพงกันดิน H จะเท่ากับ

$$P_o = \sigma_{ho} H / 2$$

$$= K_o \gamma H^2 / 2$$

แรงนี้จะกระทำที่จุดศูนย์กลางของรูปการกระจายแรงดัน คือ ที่ระยะ $H/3$ จากขอบล่างของกำแพงกันดิน

1.2) แรงดันดินแบบ Active

ในกรณีที่กำแพงกันดินเกิดการเคลื่อนที่ตามแนวราบออกไปข้างหน้า คือ เคลื่อนออกไปจากดินถมหลังกำแพง แรงดันดินที่กระทำต่อผนังกำแพงจะลดลงที่ละน้อยจนถึงค่าคงที่จำนวนหนึ่ง ถ้ายังมีการเคลื่อนที่ตัวอีก ดินถมหลังกำแพงก็จะพังทลาย แรงดันที่น้อยที่สุด ณ จุดดินเกิดการพังทลาย เรียกว่า แรงดันดินแบบ Active (σ_{ha})

$$\sigma_{ha} = K_a \sigma_v$$

ในเมื่อ $K_a =$ สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบ Active
(Coefficient of active earth pressure)

1.3) แรงดันดินแบบ Passive

ในบางกรณี กำแพงอาจจะถูกดันเข้าหาดิน เช่น การขยายตัวของตอม่อสะพาน หรือกำแพงกันดินเคลื่อนตัวเข้าหาดินถมหลังกำแพง แรงดันดินจะเพิ่มขึ้นที่ละน้อย จนถึงค่าคงที่จำนวนหนึ่ง ถ้ายังมีการเคลื่อนตัวอีก ดินด้านหลังกำแพงก็จะปูดขึ้น จนพังทลาย ค่าแรงดันที่มากที่สุด ณ จุดดินเกิดการพังทลาย เรียกว่า แรงดันดินแบบ Passive (σ_{hp})

$$\sigma_{hp} = K_p \sigma_v$$

ในเมื่อ $K_p =$ สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบ Passive
(Coefficient of passive earth pressure)

2. ทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดันดิน

ในการหาแรงดันดินด้านข้างนี้ อาศัยทฤษฎีที่สำคัญ คือ

- 1). ทฤษฎีของแรงดัน (Rankine's Theory)
- 2). ทฤษฎีถั่มของคูลอมบ์ (Coulomb's Wedge Theory)

1). ทฤษฎีของแรงดัน (Rankine's Theory)

พิจารณาแรงที่กระทำต่อก้อนดิน (Soil element) ในดิน โดยสมมติให้แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินหรือเขื่อนกันดินมีความสัมพันธ์ต่อแรงดันทางตั้ง ทฤษฎีของแรงดัน ส่วนใหญ่ใช้ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินหรือเขื่อนเป็นแนวตั้งและผิวหน้าของดินด้านหลังกำแพงหรือเขื่อนเป็นแนวราบ ดังนั้นจึงไม่มีความฝืดหรือแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพงกันดินหรือเขื่อน

2). ทฤษฎีถั่มของคูลอมบ์ (Coulomb's Wedge Theory)

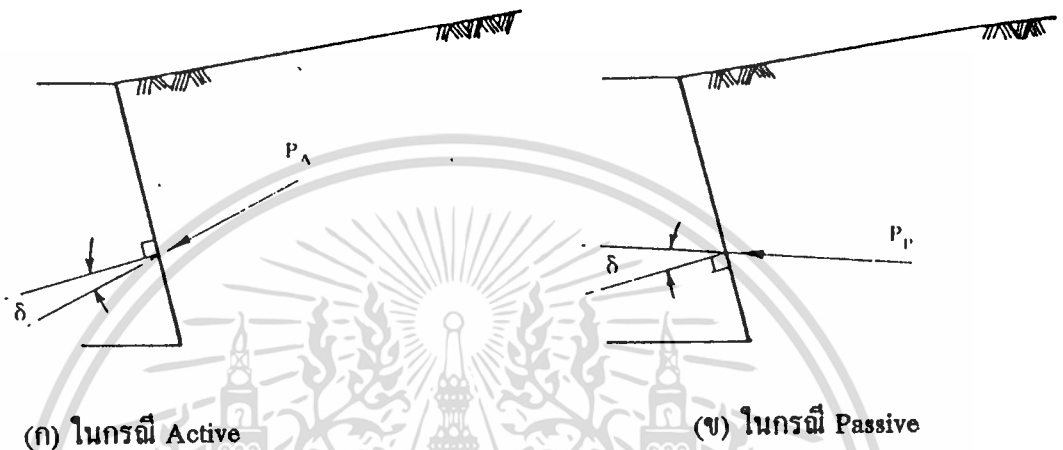
พิจารณาแรงที่กระทำต่อมวลดิน (Soil mass) และรูปแบบของการพังทลายของดินจะเป็นรูปถั่ม โดยมีระนาบการพังทลาย และมีแรงกระทำรอบถั่มดินที่พังทลายนี้ ทฤษฎีถั่มของคูลอมบ์ ส่วนใหญ่ใช้ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินหรือเขื่อนไม่เป็นแนวตั้ง และผิวหน้าของดินด้านหลังกำแพงหรือเขื่อนไม่เป็นแนวราบ ดังนั้นจึงมีความฝืดหรือแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพงกันดินหรือเขื่อน

-แรงเสียดทานของกำแพงกันดิน (Wall friction)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงหรือเขื่อนกันดินไม่เป็นแนวตั้ง และผิวหน้าของดินด้าน

หลังกำแพงหรือเขื่อนไม่เป็นแนวราบ ก็จะทำให้เกิดมีแรงเสียดทานระหว่างดินกับกำแพง

หรือเขื่อนขึ้น และแรงลัพธ์ของแรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงหรือเขื่อนจะมีแนวเอียง โดยเอียงทำมุม δ กับเส้นตั้งฉากกับผิวหน้าของกำแพงหรือเขื่อน (รูปที่ 3-3) มุมเอียงที่ทำกับเส้นตั้งฉากกับผิวหน้าของกำแพงหรือเขื่อนนี้ เรียกว่า มุมของแรงเสียดทานของกำแพง δ (Angle of wall friction)



(ก) ในกรณี Active

(ข) ในกรณี Passive

รูปที่ 3-3 มุมของแรงเสียดทานของกำแพง

ในกรณีที่ผนังดินที่กระทำต่อกำแพงเป็นแบบ Active แรงลัพธ์จะมีทิศทางลงมา ดังรูปที่ 3-3(ก) และในกรณีที่ผนังเป็นแบบ Passive จะมีทิศทางขึ้นไป ดังรูปที่ 3-3(ข)

สำหรับดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น จะมีค่าอยู่ระหว่าง 17° ถึง 30° หรืออาจสมมติค่า อยู่ระหว่าง $1/3$ ถึง $3/4\phi$

The Code of Practice "Earth Retaining Structures" ได้แนะนำค่า δ สำหรับกำแพงชนิดต่าง ๆ ไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่า δ สำหรับกำแพงชนิดต่าง ๆ

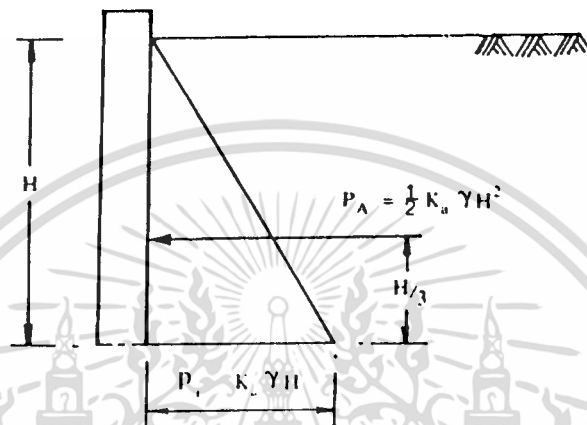
ชนิดของกำแพง	δ
คอนกรีต หรืออิฐ	20°
เข็มเหล็กฉาบด้วยน้ำมันดิน	30°
เข็มเหล็กไม่ฉาบ	15°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การหาแรงดันดินแบบ Active ของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น

1). โดยวิธีของ Rankine (ผิวดินอยู่ในแนวราบ)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวราบ ดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3-4 ผิวดินอยู่ในแนวราบ

สามารถหาค่าแรงดัน Active (p_a) ได้จากทฤษฎีของ Rankine ดังต่อไปนี้

$$p_a = K_a \gamma H$$

$$\begin{aligned} \text{ในเมื่อ } K_a &= \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \\ &= \tan^2 (45^\circ - \phi/2) \end{aligned}$$

และแรง Active หรือ Active thrust (P_A) สามารถหาได้ดังนี้

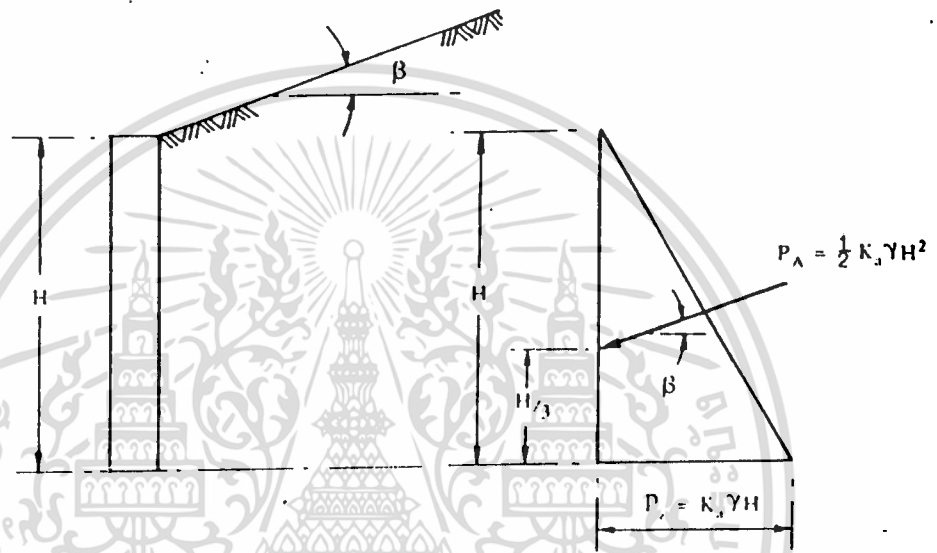
$$\begin{aligned} P_A &= p_a \cdot H/2 \\ &= K_a \gamma \cdot H^2 / 2 \end{aligned}$$

ซึ่งจะกระทำที่ระยะ $H/3$ จากขอบล่างของกำแพงกันดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). โดยวิธีของ Rankine (ผิวดินลาดชัน)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวลาดชันเป็นมุมเท่ากับ β ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 ผิวดินลาดชัน

สามารถหาค่าแรงดัน Active (p_a) ได้จากทฤษฎีของ Rankine ดังต่อไปนี้

$$p_a = K_a \gamma H$$

$$\text{ในเมื่อ } K_a = \frac{\cos \beta \times \left(\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi} \right)}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

และแรง Active (P_A) สามารถหาได้ดังนี้

$$P_A = K_a \gamma H^2 / 2$$

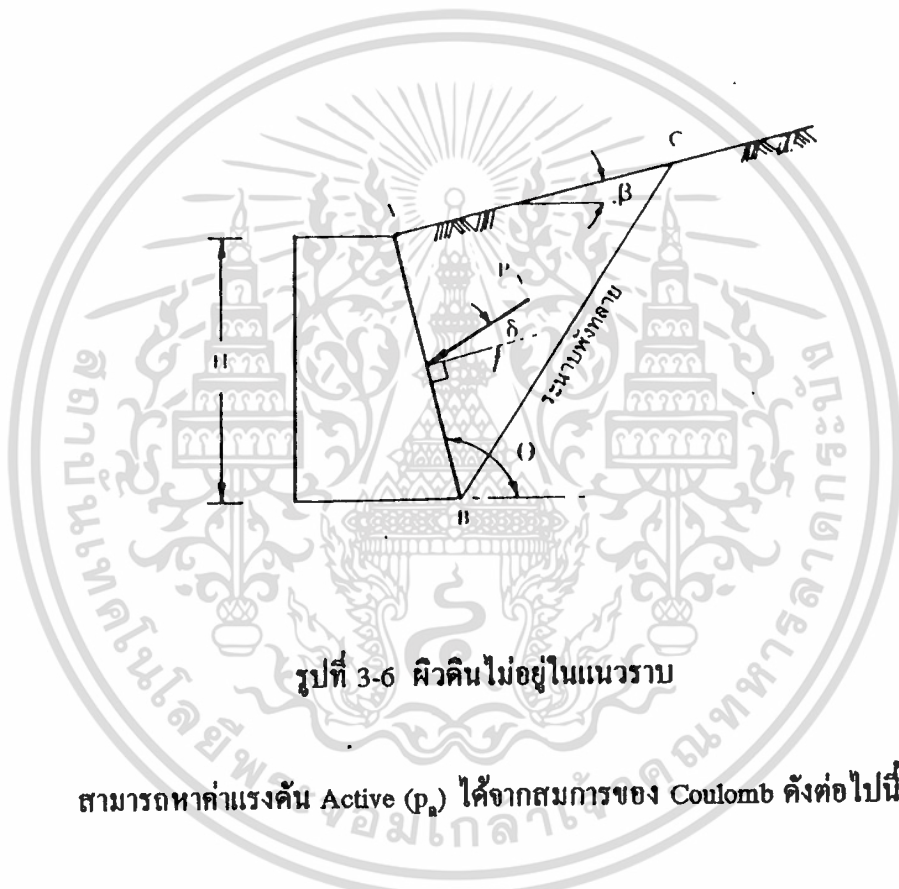
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระทำเป็นมุม β กับแนวราบที่ระยะ $H/3$ จากขอบล่างของกำแพงกันดิน ดังรูปที่ 3-5

มุมสูงสุดที่เป็นไปได้ของ β จะเท่ากับ ϕ

8). โดยวิธีลิมของ Coulomb (ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวราบ ดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ

สามารถหาค่าแรงดัน Active (p_a) ได้จากสมการของ Coulomb ดังต่อไปนี้

$$p_a = K_a \gamma H$$

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

$$\theta = \text{มุมระหว่างด้านหลังกำแพงกันดินทำกับแนวราบ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- δ = มุมของแรงเสียดทานของกำแพง
- β = มุมระหว่างลาดของผิวดินด้านหลังกำแพงกับดินทำกับแนวราบ
- ϕ = มุมเสียดทานภายในของดินด้านหลังกำแพงกับดิน

และ Active thrust $P_A = K_a \gamma H^2 / 2$

ซึ่งจะกระทำเป็นมุม δ กับเส้นตั้งฉากกับกำแพงกับดิน มุม δ จะขึ้นอยู่กับชนิดของกำแพงและมีค่าน้อยกว่า ϕ

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

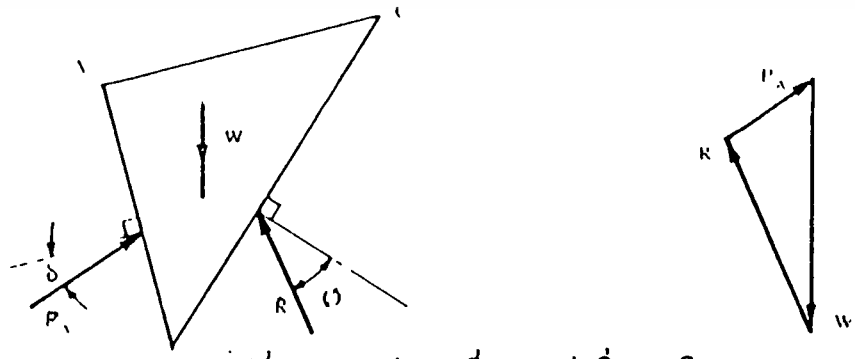
นั่นคือ
$$K_a = \frac{\cos \beta \times \cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

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

หรืออาจหาค่า Active Thrust (P_A) ได้จากการของแรง โดยอาศัยทฤษฎีลิ้มของคูลอมบ์ ดังต่อไปนี้

เนื่องจากเมื่อดินด้านหลังกำแพงกับดินพังทลาย ก็จะเกิดการเคลื่อนไหลไปตามระนาบพังทลายและลิ้มของดินก็จะเคลื่อนที่

ก่อนที่จะพังทลาย ลิ้มของดินซึ่งอยู่เหนือระนาบพังทลายจะอยู่ในสภาวะสมดุลด้วยแรงต่าง ๆ 3 แรง ดังรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-7 แรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อลิ้มของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

W = นำหนักของถึมดิน = พ.ท. $ABC \times \gamma$

P_A = แรงดันจากกำแพงกันดิน

R = แรงโต้ตอบบนระนาบพังทลาย

สามารถหาค่า P_A ได้จากรูปสามเหลี่ยมของแรง

4. การหาแรงค้ำดินแบบ Active ของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น

สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น แรงค้ำดินที่กระทำต่อกำแพงกันดิน จะน้อยกว่า ดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น ซึ่งมีค่าความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากัน เพราะว่า ส่วนหนึ่งดินจะยึดติดกันด้วยตัวมันเอง และสามารถหาค่าแรงค้ำดินได้ดังนี้

โดยวิธีของเบล (Bell's solution)

เบลได้พัฒนาวิธีหาแรงค้ำดินแบบ Active มาจากทฤษฎีของแรงกัน สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นและระดับดินอยู่ในแนวราบ แรงค้ำดินแบบ Active ที่ความลึก h จะได้เท่ากับ

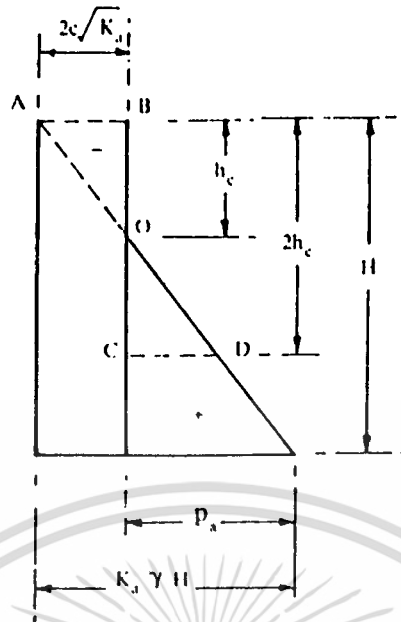
$$p_a = K_a \gamma h - 2c\sqrt{K_a}$$

ในเมื่อ $K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$

ถ้าเห็นดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น $c = 0$

$$p_a = K_a \gamma H$$

ดังนั้น จะเห็นว่า แรงเชื่อมแน่นของดินมีผลทำให้แรงค้ำดินแบบ Active ลดลง เท่ากับ จำนวน $2c\sqrt{K_a}$ นั่นคือ ดินจะยึดอยู่ด้วยตัวเองมากขึ้น ซึ่งสามารถเขียนผังแรงค้ำดินได้ดังรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 การกระจายแรงดันดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น ด้านหลังกำแพงกันดินที่เป็นแนวตั้ง

ค่า p_a ที่เป็นลบ ระหว่างช่วง $h = 0$ ถึง $h = h$ เป็นผลเนื่องจากเกิดแรงดึงขึ้นในดิน แต่โดยปกติ ดินไม่สามารถต้านทานต่อแรงดึงได้ ดังนั้นก็จะเกิดรอยแตกในแนวตั้งขึ้น สำหรับในการออกแบบแรงดันในช่วงนี้ จะถือเป็นศูนย์

-ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำ

ถ้าดินจมน้ำได้ น้ำ แรงดันดินแบบ Active จะลดลงโดยคิดหน่วยน้ำหนักของดินจมน้ำ ดังนี้

$$p_a = K_a \gamma H$$

แต่อย่างไรก็ตาม แรงดันทั้งหมดที่กระทำด้านหลังกำแพง จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงดันน้ำ ดังนั้นโดยปกติถ้าจัดให้มีการระบายน้ำที่เหมาะสม ณ ด้านหลังกำแพงกันดินก็จะช่วยลดแรงดันน้ำนี้ได้

5. การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น

1). โดยวิธีของ Rankine (ผิวดินอยู่ในแนวราบ)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงเป็น

แนวราบ สามารถหาแรงดัน Passive (p_p) ได้จากทฤษฎีของ Rankine ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p_p = K_p \gamma H$$

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

2. โดยวิธีของ Rankine (ผิวดินลาดชัน)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินเป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงเป็นแนวลาดชันเป็นมุมเท่ากับแนวราบ สามารถหาแรงดัน Passive ได้จากทฤษฎีของ Rankine ดังนี้

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

3) โดยวิธีของ Coulomb (ผิวดินไม่อยู่ในแนวราบ)

ในกรณีที่ด้านหลังกำแพงกันดินไม่เป็นแนวตั้ง และระดับผิวดินด้านหลังกำแพงไม่เป็นแนวราบ ลาดชันทำมุมกับแนวราบ สามารถหาแรงดัน Passive ได้จากทฤษฎีของ Coulomb ดังนี้

$$p_p = K_p \gamma H$$

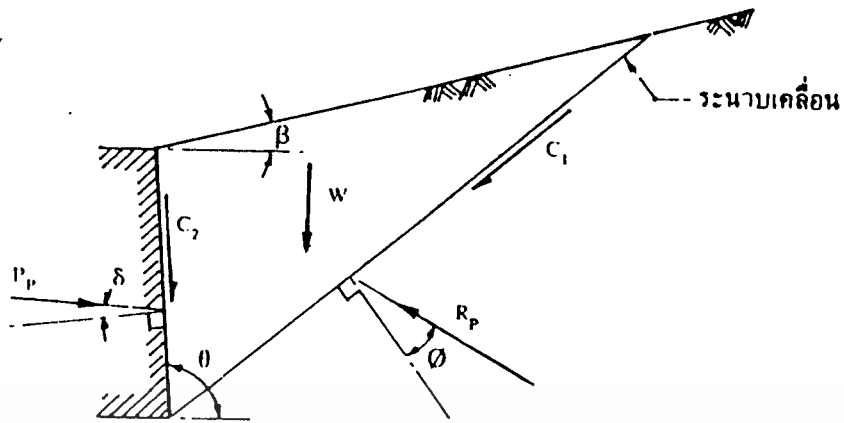
$$\begin{aligned} \text{ในเมื่อ } K_p &= \frac{\sin^2(\theta - \phi)}{\sin^2\theta \sin(\theta + \delta) \left[1 + \frac{\sin(\delta + \phi)\sin(\phi + \beta)}{\sqrt{\sin(\theta - \delta)\sin(\theta - \beta)}} \right]^2} \end{aligned}$$

ความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ เช่นเดียวกับในการหาแรงดัน Active

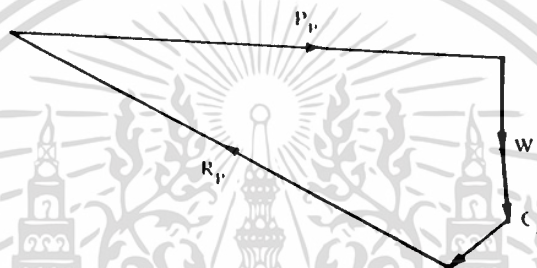
หรืออาจจะหาค่าแรง Passive (P_p) ได้จากรูปหลายเหลี่ยมของแรง โดยอาศัย

ทฤษฎีถ่วงของดิน ดังรูปที่ 3-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แรงต่าง ๆ ที่กระทำบนลิ่มของดิน



(ข) รูปหลายเหลี่ยมของแรง

รูปที่ 3-9

ณ จุดพังทลาย ลิ่มของดินจะเคลื่อนที่ขึ้น (จุดขึ้น) และแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อลิ่มของดิน ดังแสดงในรูปที่ 3-9(ก)

- W = แรงเนื่องจากมวลของดินในลิ่ม
- C_1 = แรงเชื่อมแน่นของดินตามแนวระนาบพังทลาย
= $c_w \times$ ความยาวของระนาบเคลื่อน
- C_2 = แรงติดแน่นระหว่างกำแพงและดิน
= $c_w \times$ ความยาวตามแนวกำแพงด้านหลัง
- R_p = แรงโต้ตอบ Passive กระทำเป็นมุม ϕ กับเส้นตั้งฉากของระนาบเคลื่อน โดยกระทำด้านบน
- P_p = แรง Passive กระทำเป็นมุม δ กับเส้นตั้งฉากของกำแพง โดยกระทำด้านบน

W , C_1 และ C_2 สามารถคำนวณหาได้ ส่วน R_p และ P_p รู้ทิศทางของแนวแรง ดังนั้นสามารถเขียนรูปหลายเหลี่ยมของแรงได้ดังรูปที่ 3-9(ข) และแรง Passive (P_p) จะหาได้จากรูป

6. การหาแรงดันดินแบบ Passive ของดินชนิดที่มีความเชื่อมแน่น

สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินแบบ Passive จะมีความมากกว่าในดินชนิดที่ไม่มี ความเชื่อมแน่น ซึ่งมีค่าความหนาแน่นและมุมเสียดทานภายในเท่ากัน และสามารถหาได้ดังนี้

โดยวิธีของ Bell

เบลได้พัฒนาวิธีหาแรงดันดินแบบ Passive มาจากทฤษฎีของแรงกั้น สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น ผิวดินอยู่ในแนวราบ และสมมติว่าไม่มีแรงเสียดทานด้านหลังกำแพงกันดินที่เป็นแนวตั้ง

แรงดันดินแบบ Passive ที่ความลึก h จะได้เท่ากับ

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

ในเมื่อ

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

ถ้าเป็นดินชนิดที่ไม่มี ความเชื่อมแน่น $c = 0$

$$P_p = K_p \gamma \cdot H$$

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงเชื่อมแน่นของดินมีผลทำให้แรงดันดินแบบ Passive เพิ่มขึ้นเท่ากับจำนวน $2c\sqrt{K_p}$

บทที่ 4

การออกแบบ Sheet Pile

1. การวิบัติของ Sheet Pile (Failure Mechanism in Sheet Pile)

Sheet Pile ภายใต้แรงดันด้านข้าง อาจวิบัติได้หลายแบบดังนี้ (ดูรูปที่ 4-1)

1. Failure of Sheet Pile Structures คือ การวิบัติเนื่องจากความแข็งแรงทางโครงสร้างของ Sheet Pile ไม่พอ ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้งทางด้านโมเมนต์ค้ำและทางด้านแรงเฉือน ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การวิบัติแบบนี้จะไม่ค่อยเกิด

2. Failure of Tie Rod คือ การวิบัติของ Tie Rod โดยโอกาสที่ Tie Rod จะรับแรงดึงมากกว่าที่คำนวณไว้มีสูง ซึ่งอาจเนื่องมาจากแรงดันหลัง Sheet Pile เปลี่ยนไป หรือ Tie Rod ตัวติดกันหย่อน เนื่องจากการทรุดตัวของดิน เมื่อ Tie Rod ขาด จะทำให้ลักษณะการรับน้ำหนักของ Sheet Pile เปลี่ยนจาก Anchored Sheet Pile เป็น Cantilever Sheet Pile ซึ่งโมเมนต์ค้ำค้ำใน Sheet Pile จะเพิ่มขึ้นมาก และ Sheet Pile ก็จะมีการวิบัติในที่สุด

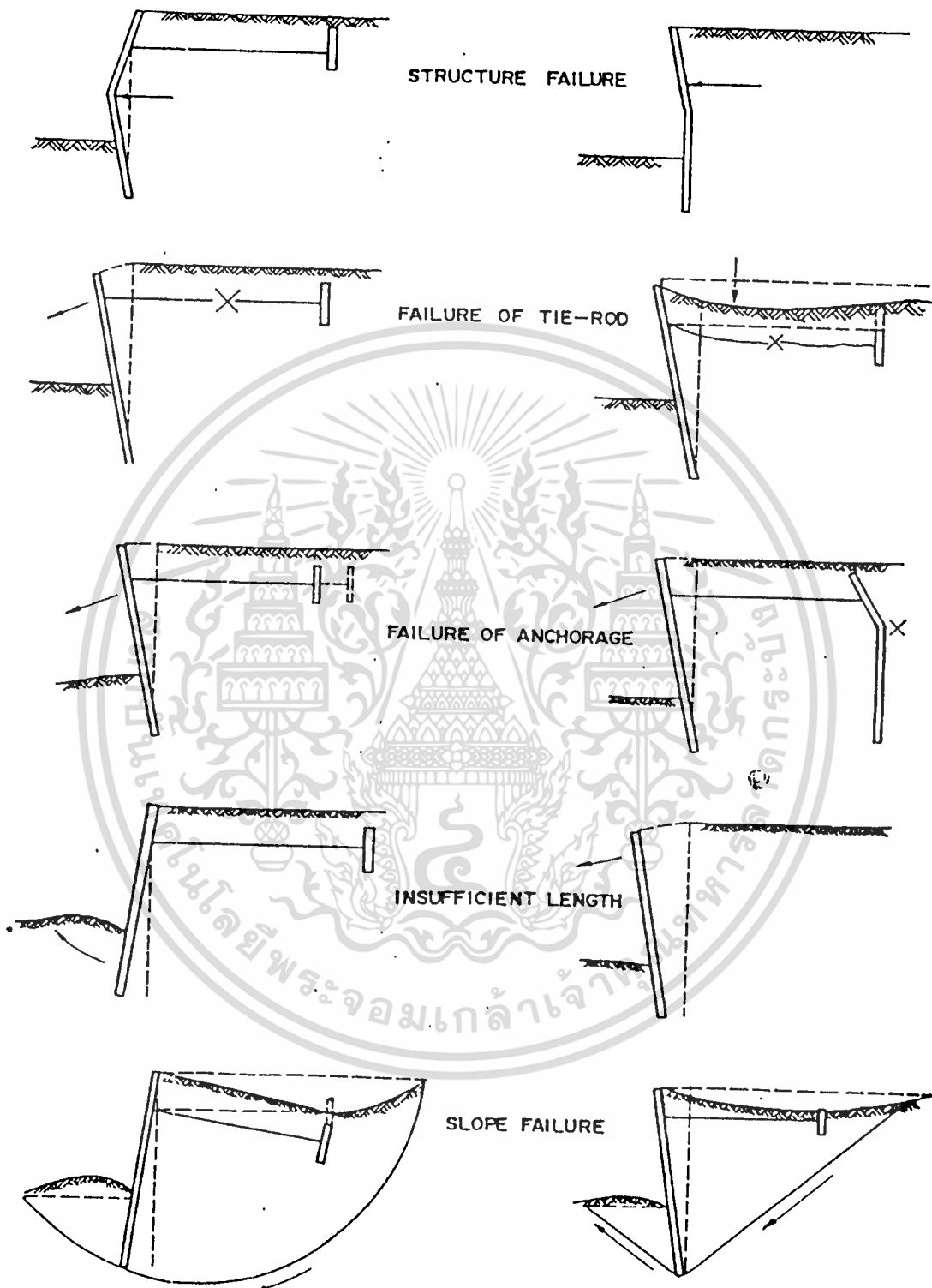
3. Failure of Anchorage คือ การวิบัติเนื่องจาก Anchorage โดย Anchorage ต้องรับแรงดึงใน Tie Rod ได้ เพื่อจะให้ Sheet Pile รับน้ำหนักแบบ Anchorage Sheet Pile ระบบ Anchorage อาจจะมีการวิบัติเนื่องจาก Anchorage ไม่แข็งแรงพอที่จะรับแรงดึงใน Tie Rod หรือ Anchorage ห่างจาก Sheet Pile ไม่พอจึงยังอยู่ใน Active Failure Zone ที่อาจจะเกิดหลัง Sheet Pile

4. Insufficient of Sheet Pile Length คือ การวิบัติเนื่องจาก Sheet Pile จมดินลึกไม่พอ ซึ่งทำให้แรงดัน Passive ของดินหน้า Sheet Pile ต่ำกว่าที่จะรับแรงที่เกิดขึ้นได้

5. Slope Failure คือ การวิบัติเนื่องจาก Slope ของดินไม่มีเสถียรภาพ อาจเกิดขึ้นได้ 2 แบบ คือ

ก) Massive Sliding คือ การ Slide ของดินหลัง Sheet Pile โดยพาเอา Anchorage System ไปด้วย โดย Slip Surface ผ่านปลายของ Sheet Pile

ข) Overall Stability of Slope ซึ่งจะวิบัติ โดยดินเคลื่อนผ่านบริเวณที่ให้ ความต้านทานน้อยที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นรูปโค้ง



รูปที่ 4-1 แสดงการวิบัติของ Sheet Pile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แรงดันด้านข้างที่กระทำต่อ Sheet Pile

แรงดันด้านข้างที่กระทำต่อ Sheet Pile มีดังนี้

- แรงดันดินแบบ Active และแบบ Passive
- แรงดันด้านข้างเนื่องจาก Surchage Load
- แรงดันน้ำด้านข้างและ Seepage Pressure
- Mooring Pull, Ship Impact, ฯลฯ
- แรงเนื่องจากแผ่นดินไหว (Wave Pressure) , ฯลฯ

3. การออกแบบ Sheet Piling Wall

ขั้นตอนในการออกแบบสรุปได้ดังนี้

(1) รวบรวมข้อมูลทั่ว ๆ ไป

- Topographical Survey
- ความสูงของกำแพงที่ต้องการ
- Dredge Line
- ระดับน้ำสูงสุด ระดับน้ำเฉลี่ย และระดับน้ำต่ำสุด

(2) สํารวจข้อมูลดิน

- Boring log & soil profile
- Physical characteristics of each soil stratum เช่น unit weight , ϕ , C, ฯลฯ

(3) เลือกชนิดของ Sheet Piling Wall ซึ่งทั้งชนิดของวัสดุ เช่น ไม้, เหล็ก, คอนกรีตเสริมเหล็ก หรือคอนกรีตอัดแรง และรูปแบบของ Sheet Piling Wall เช่น Cantilever Anchored , ฯลฯ

(4) คำนวณแรงดันด้านข้าง เนื่องจาก ดิน, น้ำ, Surchage, ฯลฯ

(5) หาระยะจมในดินของ Sheet Pile

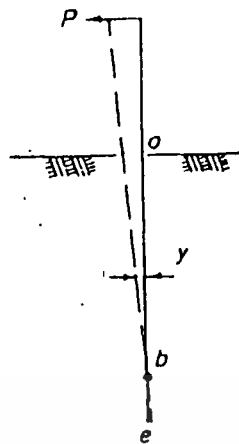
(6) หาแรงใน Sheet Pile และออกแบบทางโครงสร้างของ Sheet Pile

(7) ออกแบบ Waling and Anchorage System

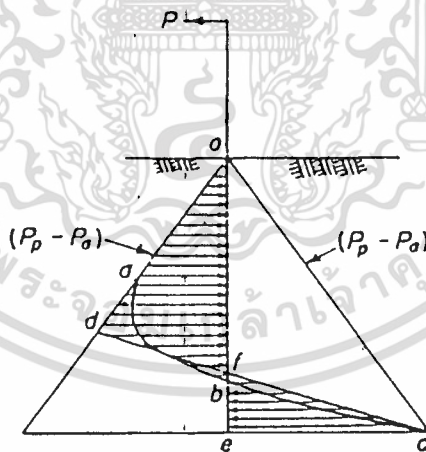
3.1 Cantilever Walls

Cantilever Sheet Piling Wall รับแรงดันข้างในลักษณะเดียวกับที่แสดงในรูปที่ 4-2 ในรูปเสาเข็มจมดิน เมื่อรับแรงดันข้าง P ที่หัวเสาเข็ม เสาเข็มด้านบนจะเอียงไปในทิศของ P และด้านล่างจะเอียงไปทางด้านตรงกันข้าม จะมีจุดหนึ่งบนเสาเข็มซึ่งไม่เคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. DEFLECTION OF PILE UNDER LATERAL LOAD



ข. EARTH PRESSURE DISTRIBUTION

รูปที่ 4-2 ตัวอย่างแรงคั่นคินใน CANTILEVER SHEET PILING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเป็นจุดศูนย์กลางการหมุน Passive Earth Pressure จะเกิดขึ้นด้านการเคลื่อนที่ของเสาเข็ม Pressure ด้านการเคลื่อนที่จะเท่ากับ Passive Pressure(Pp) - Active Pressure(Pa) และ Cantilever Sheet Piling Wall จะรับแรงดันด้านข้างโดยอาศัย Passive Earth Pressure ทั้งสองด้านของ Sheet Pile

ขนาดและรูปแบบของแรงดันดินด้านข้างของ Cantilever Sheet Pile เมื่อรับแรงด้านข้างใน Granular Soil และใน Cohesive Soil ไม่เหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน Cohesive Soil แรงดันดินจะเปลี่ยนไปตามเวลา ซึ่งทำให้วิธีการออกแบบ Cantilever Sheet Pile ในดินทั้งสองชนิดไม่เหมือนกัน

-การออกแบบ Cantilever Sheet Piling ใน Granular Soils

Cantilever Sheet Piling ใน Granular Soil อาจออกแบบโดยอาศัยหลักการดังกล่าวในข้างต้น หรือโดยการสมมติรูปแบบของแรงดันดินด้านข้างให้การคำนวณง่ายขึ้นตามรูปที่ 4-3 ซึ่งจากรูป ดินที่รับแรงใน Sheet Pile เป็นดินที่มีคุณสมบัติเหมือนกันตลอดความยาวของ Sheet Pile ในกรณีที่ดินมีคุณสมบัติไม่คงที่ หลักการนี้ก็ยังคงใช้ในการออกแบบ แต่จะใช้คุณสมบัติของดินในแต่ละชั้น

การออกแบบกระทำได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 4-3(ก))

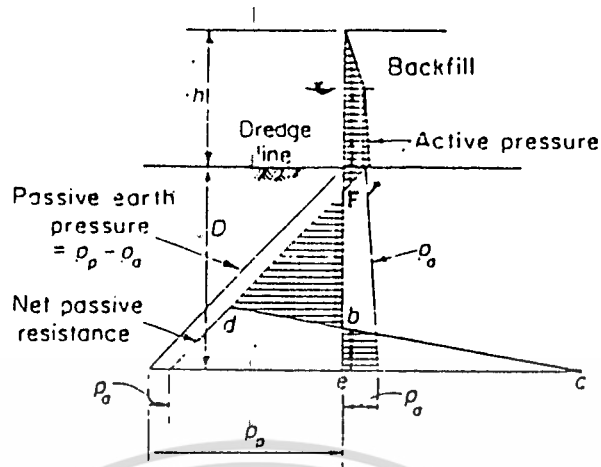
(1) สมมติความยาวของ Sheet Pile ส่วนที่จมดิน ความลึกของ Sheet Pile ตามตารางข้างล่างอาจใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการคำนวณ

Standard Penetration Resistance, N Blows/foot	Relative Density of Soil, Dd	Depth of Penetration *
0-4	Very loose	2.0 H
5-10	Loose	1.5 H
11-30	Medium dense	1.25 H
31-50	Dense	1.0 H
50 ⁺	Very Dense	0.75 H

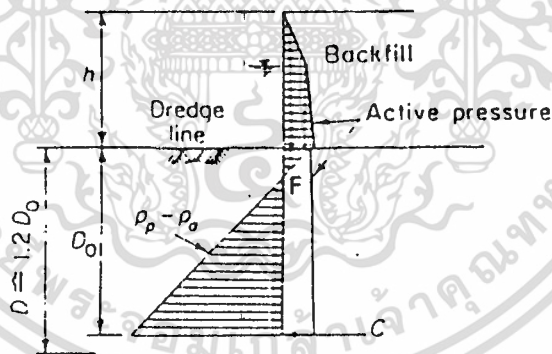
* H = ความสูงของ Sheet Pile เหนือ Dredge Line

(2) หาแรงดันดินด้านข้าง ทั้งทางด้าน Passive และ Active ทางด้าน Passive ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. CONVENTIONAL METHOD



ข. SIMPLIFIED METHOD

รูปที่ 4-3 การออกแบบ CANTILEVER SHEET PILING
ใน GRANULAR SOILS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) แรงกระทำบน Sheet Piling Wall ต้องอยู่ในสมดุลย์ รูปที่ 4-3 แสดงแรงที่กระทำบน Sheet Piling Wall ผลรวมของแรงทั้งหมดในแนวราบ และผลรวมของโมเมนต์รอบจุดใด ๆ ต้องเท่ากับศูนย์

ซึ่งจากผลรวมของแรงในแนวราบจะได้

$$Z = \frac{KpD^3 - Ka(H+D)^2}{(Kp-Ka)(H+2D)}$$

รวมโมเมนต์ของแรงรอบจุด F โมเมนต์รอบ F ต้องเท่ากับ 0 ถ้าไม่เท่าแสดงว่าระยะความลึกของ Sheet pile ที่จมนั้น, D, ไม่ถูกต้อง ซึ่งเราจะต้องปรับค่าของ D จนได้โมเมนต์รอบ F เท่ากับ 0 ระยะนี้จะเป็นระยะจมนของเสาเข็ม ซึ่งให้แรงกระทำทั้งหมดบน Sheet Piling Wall อยู่ในสมดุลย์พอดี

(4) เพิ่มระยะจมนของ Sheet Pile จากที่คำนวณอีกประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มนี้จะให้ Factor of Safety ประมาณ 1.5 ถึง 2.0 อีกวิธีที่จะได้ Factor of Safety ตามต้องการ คือใช้ Allowable Passive Earth Pressure Coefficient ประมาณ 50-75 เปอร์เซ็นต์ ของ Ultimate Passive Resistance

(5) หาโมเมนต์คดที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นใน Sheet pile ซึ่งจะเกิดขึ้นประมาณที่จุดที่แรงเฉือนเป็น 0 ก่อนที่จะเพิ่มระยะจมนของ Sheet Pile

การเคลื่อนตัวของ Sheet Pile ภายใต้อันตรึงข้างอาจประมาณได้ โดยสมมติให้ Sheet Pile ตรงที่ระยะ D/2 รับน้ำหนักแปรตามความลึก ซึ่งจะได้

$$l = \frac{Pt}{60ELI^2} (y^5 - 5I^4y + 4I^5)$$

โดยที่	l	=	ระยะการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ Sheet Pile ที่ระยะจากหัวเสา y
	Pt	=	น้ำหนักด้านข้างทั้งหมดที่กระทำต่อ Sheet Pile
	l	=	H + 0.5D
	H	=	ความสูง Sheet Pile เหนือ Dredge Line
	D	=	ระยะจมนของ Sheet Pile ในดินชั้นผิ ด บวกกับครึ่งหนึ่งของระยะจมนในชั้นที่รับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะของหน่วยงานที่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบ แบบ Simplified ขั้นตอนการออกแบบเหมือนกับที่กล่าวข้างต้น แต่ Passive Earth Pressure สมมติให้มีทางด้านเดียวของ Sheet Pile และอีกด้านหนึ่งเป็น Active Earth Pressure ตามรูปที่ 4-3(ข)

-การออกแบบ Cantilever Sheet Piling ใน Cohesive Soils

Cantilever Sheet Piling Walls ใน Cohesive Soils ที่พบบ่อย ๆ มี 2 แบบ คือ Sheet Piling Walls ที่อยู่ในดินเหนียวทั้งหมด และที่ตอกจมในดินเหนียว แต่ถมกลับด้านหนึ่งด้วยทราย ซึ่งแรงดันดินด้านข้างทั้งสองกรณีไม่เหมือนกัน

(1) Cantilever Sheet Piling ที่อยู่ในดินเหนียวทั้งหมด Strength ของ Clay จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา จึงทำให้แรงดันดินด้านข้างเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงด้วย

เมื่อก่อสร้างเสร็จใหม่ ๆ แรงดันดินด้านข้างอาจประมาณโดยใช้ Undrained Strength ของ Clay ทั้งนี้โดยสมมติให้ Strength ของ Clay ได้จาก Cohesion อย่างเดียว ไม่คิด Internal Friction ค่า Cohesion ที่ใช้เท่ากับครึ่งหนึ่งของ Unconfined Compressive Strength (q_u) การออกแบบ แบบนี้เรียกว่า แบบ $\phi = 0$

รูปที่ 4-4 แสดง Initial Earth Pressure สำหรับ Sheet Piling ที่จมอยู่ใน Cohesive Soil ตลอดความยาว

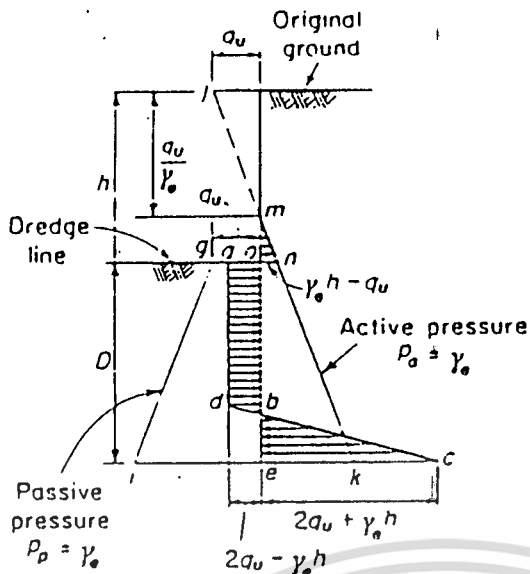
จาก $K_a = K_p = 1$ เมื่อ $\phi = 0$ Passive Earth Pressure ด้านซ้ายของ Sheet Pile จะมีค่าดังนี้

$$P_p = \gamma_e (Z - H) + q_u$$

Active Earth Pressure ทางด้านขวา

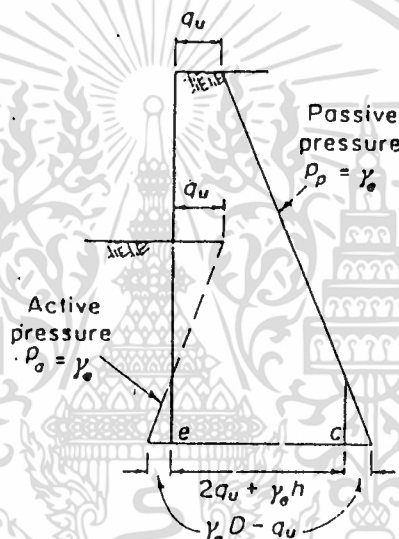
$$P_a = \gamma_e Z - q_u$$

โดยที่ Z = ความลึกต่ำกว่าผิวดินเดิม
 q_u = $2C$ = unconfined compressive strength
 γ_e = effective unit soil weight (most unit weight ที่เหนือระดับน้ำใต้ดิน และ submerged unit weight ที่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน)

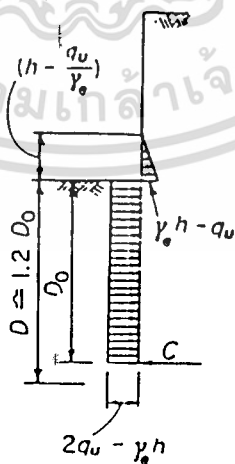


QU = UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH OF CLAY
 RE = EFFECTIVE UNIT WEIGHT OF CLAY

ก. INITIAL EARTH PRESSURE



ข. MAXIMUM PASSIVE EARTH PRESSURE



ค. SIMPLIFIED EARTH PRESSURE DISTRIBUTION

รูปที่ 4-4 INITIAL EARTH PRESSURE สำหรับการออกแบบ CANTILEVER

SHEET PILING จมใน COHESIVE SOIL ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Negative Earth Pressure ใน Tension Zone จะไม่นำมาคิด เนื่องจากอาจเกิด Tension Crack ในส่วนบนของดิน

Sheet Pile ส่วนที่จมดินส่วนบนจะเลื่อนตัวไปทางซ้าย เนื่องจาก Slope ของ Earth Pressure ทางด้าน Active และทางด้าน Passive เท่ากัน ($K_a = K_p$) ดังนั้นแรงลัพธ์ของแรงดันดินที่ต่ำกว่า Dredge Line จะคงที่

$$P_p - P_a = 2q - \gamma_e H$$

Sheet Pile ส่วนที่จมดินส่วนล่างจะเลื่อนตัวไปทางขวา ดังนั้นแรงลัพธ์ของแรงดันจะหาได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 4-4(ข))

$$P_p - P_a = 2q + \gamma_e H$$

แรงลัพธ์ของแรงดันข้างทั้งหมด แสดงอยู่ในรูปที่ 4-4(ก) ซึ่งอาจจะทำให้ง่ายในการออกแบบ โดยใช้ตามรูปที่ 4-4(ค)

การออกแบบเหมือนกับการออกแบบ Sheet Piling ใน Granular Soil คือ หาระยะจมที่ทำให้ Sheet Piling Wall อยู่ในสภาวะสมดุล และเพิ่มระยะจมอีก 20-40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็น Factor of Safety

สิ่งที่กล่าวข้างต้น คุณสมบัติของ Cohesive Soil เปลี่ยนไปหลังจากเมื่อก่อสร้างใหม่ ๆ คือ ค่า C และ ϕ เปลี่ยนไป ค่า C และ ϕ ขั้นสุดท้ายประมาณได้ยาก และมีแนวโน้มว่าขั้นสุดท้าย ค่า C จะเข้าใกล้ 0 และค่า ϕ เท่ากับที่หาได้จาก Triaxial Test ในกรณีที่ไม่มีการขุดลอก อาจสมมติให้

$$C = 0$$

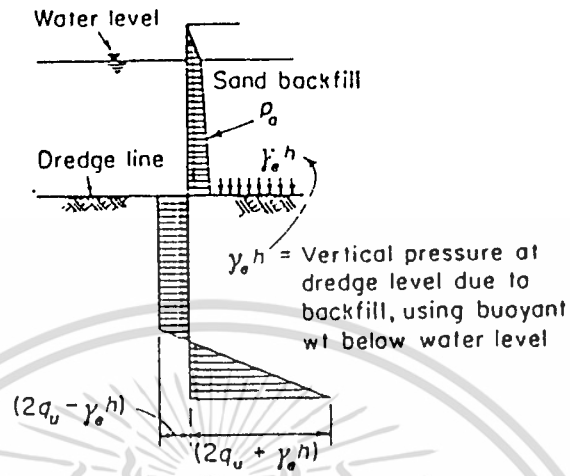
$$\text{และ } \phi = 27$$

และออกแบบเหมือน Sheet Piling ใน Granular Soils

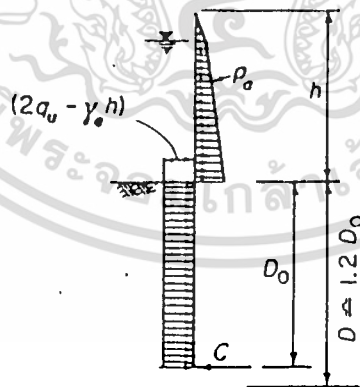
(2) Cantilever Sheet Piling ใน Cohesive Soil ต่ำกว่า Dredge Line และถมกลับด้วย Granular Material เหนือ Dredge Line

การออกแบบจะออกแบบเหมือนกับการออกแบบ Cantilever Sheet Piling ที่จมใน Cohesive Soil ทั้งหมด แต่ใช้แรงดันดินด้านข้างต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. CONVENTIONAL METHOD



ข. SIMPLIFIED METHOD

รูปที่ 4-5 INITIAL EARTH PRESSURE สำหรับการออกแบบ CANTILEVER SHEET PILING ใน COHESIVE SOIL ถมกลับด้วย GRANULAR SOIL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Anchored Sheet Piling Wall

Anchored Sheet Piling Wall รับแรงดันด้านข้างโดยอาศัย Passive Earth Pressure ทางด้านหน้าของกำแพง และแรงดึงใน Tie Rod และ Anchorage System ทางด้านหลังของกำแพง ความแข็งแรงและเสถียรภาพของ Anchored Sheet Piling Wall ขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ เช่น

- Relative Stiffness ของ Piling
- ระยะจม
- Relative Compressibility ของดิน
- การเคลื่อนตัวของ Anchorage System
- ฯลฯ

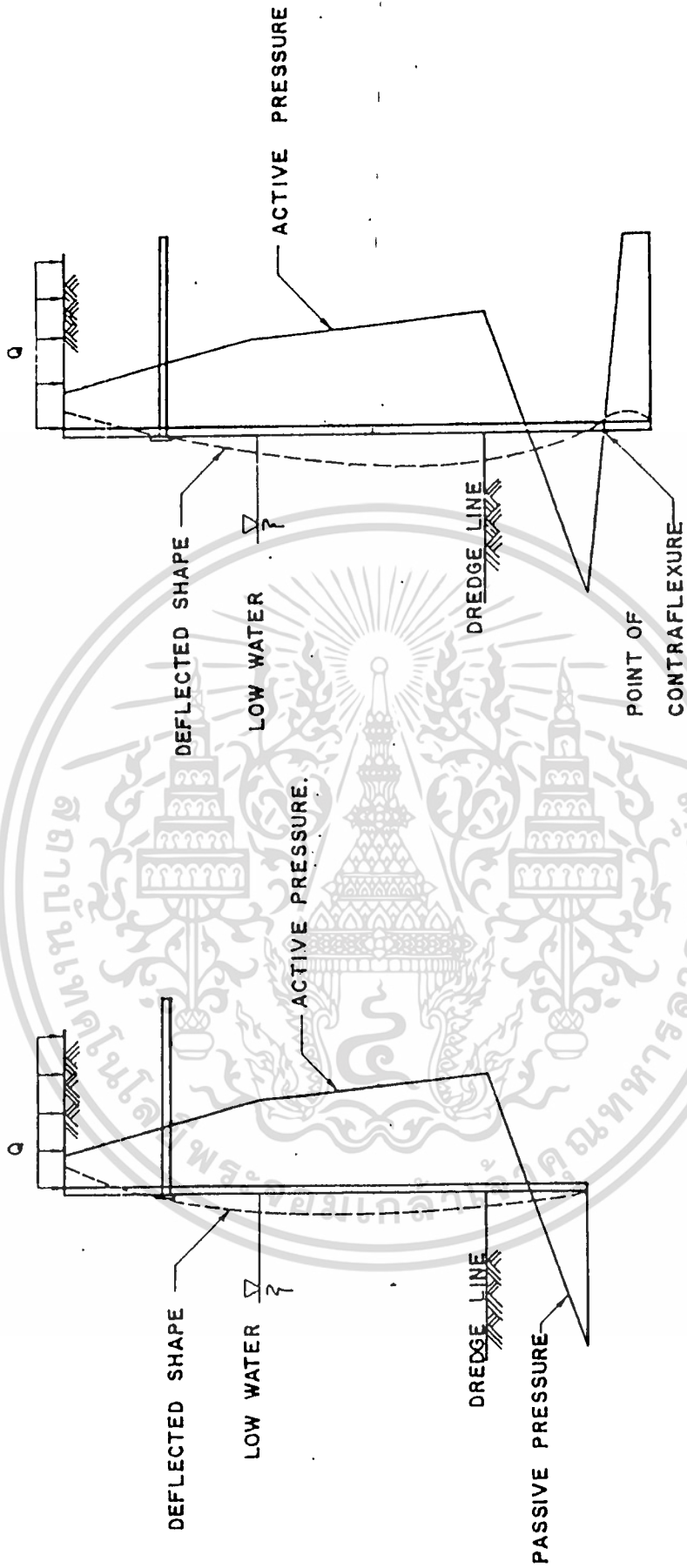
ลักษณะการรับแรงดันด้านข้างของ Sheet Pile ขึ้นอยู่กับระยะจมของ Pile ในกรณีที่ระยะจมน้อย Passive Earth Pressure ที่เกิดขึ้น จะไม่พอที่จะรับแรงดันดินหลัง Sheet Piling Wall ปลายด้านข้างของ Sheet Pile จะเคลื่อนตัว เมื่อระยะจมนานขึ้นเรื่อย ๆ ไปถึงจุดหนึ่ง Passive Earth Pressure หน้า Sheet pile จะพอรับแรงดันดินได้พอดี ซึ่งในกรณีนี้ปลายล่างของ Sheet Pile จะไม่เคลื่อนตัว ซึ่งเทียบได้กับกรณี Free Earth Support ในรูปที่ 4-6(ก)

เมื่อเพิ่มระยะจมของ Sheet Pile อีก ปลายของ Sheet Pile ภายใต้แรงดันของดิน จะเคลื่อนตัวไปทางด้านหลังของ Sheet Pile ทำให้เกิด Passive Earth Pressure ทางด้านนั้น ซึ่งถ้าความยาวลึกมากพอ Sheet Pile จะเทียบได้กับ Pile Fixe ในดินที่จุดหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4-6(ข)

การออกแบบหน้าตัดของ Sheet Pile ที่ใช้กันอยู่มีหลายวิธี คือ

- Free-earth Support Method(อาจจะ Modify โดยทฤษฎีของ Rowe)
- Fixed Earth Support Method
- Discrete Element Method
- Finite Element Method

-Free-earth Support Method จะสมมติ Sheet Pile ให้ Rigid และที่ Failure จะหมุนรอบตัวเองที่ระดับของ Tie Rod Passive Earth Pressure จะเกิดด้านหน้าของ Sheet Pile และ Active Pressure จะเกิดด้านหลัง รูปที่ 4-7 แสดงแรงดันดินที่เกิดขึ้นใน Sheet Pile ที่ใช้ในการออกแบบโดยวิธี Free-earth Support



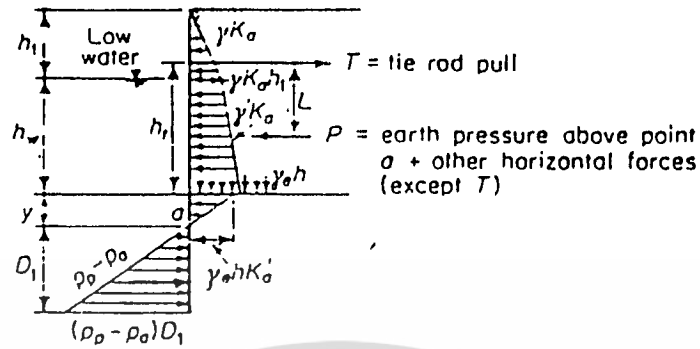
ข: FIXED EARTH SUPPORT

ก: FREE EARTH SUPPORT

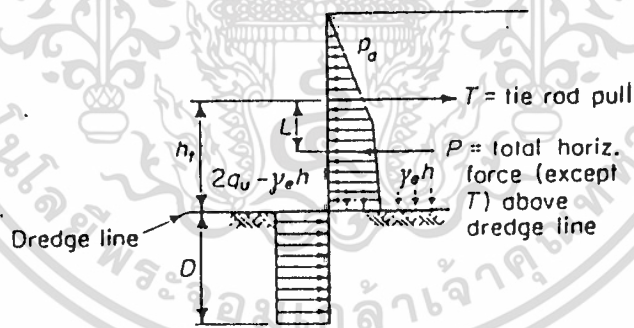
รูปที่ 4-6 EFFECT OF PENETRATION ON PRESSURE DISTRIBUTION

AND DEFLECTED SHAPE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. ใน GRANULAR SOILS



ข. ใน COHESIVE SOILS ผนวกกับด้วย GRANULAR MATERIALS

รูปที่ 4-7 แรงดันทันข้างที่ใช้ในการออกแบบ ANCHORED SHEET PILING WALLS โดยวิธี FREE EARTH SUPPORT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบกระทำดังนี้

-สำหรับ Sheet Piling Wall ใน Granular Soils

- (1) เลือกค่า Active และ Passive Earth Pressure ที่เหมาะสม
- (2) หาความดันในแนวค้ำเนื่องจากน้ำหนักกดทับ และ Surcharge ที่ Dredge Level, γ_{eh}
- (3) หาจุดที่ Pressure เป็น 0, $y = \gamma_{eh}Ka' / (P_p - P_a)$
- (4) รวมโมเมนต์ที่ระดับของ Tie Rod

$$LP - 1(P_p - P_a)D_1^2 (h + y + 2D_1) = 0$$

2

3

หาค่าของ D_1

- (5) หาแรงค้ำใน Tie Rod

$$T = \frac{P - 1(P_p - P_a)D_1^2}{2}$$

- (6) หาโมเมนต์ค้ำและแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นใน Sheet Pile
- (7) เลือกหน้าตัดของ Sheet Pile ที่รองรับโมเมนต์ค้ำและแรงเฉือนสูงสุดได้
- (8) เพิ่ม D_1 อีก 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเผื่อไว้สำหรับความปลอดภัย หรือ อาจจะลด Passive Earth Pressure ในชั้นตอนที่ 3 และ 4

สำหรับ Sheet Pile Water ใน Cohesive Soils และถมก้นด้วย Granular Soils ชั้นตอนในการออกแบบก็เหมือนข้างต้น ต่างกันแต่เพียง Passive Earth Pressure ที่ด้านแรงค้ำด้านข้างหน้า Sheet Pile ควรใช้ตามรูปที่ 4-7(ข)

Sheet Piling จริงจะไม่ตรงกับสมมติฐานที่ใช้ในการออกแบบโดยวิธีนี้ ตัวอย่างเช่น Sheet Pile ไม่ rigid และ Earth Pressure ไม่เป็นไปตาม Hydrostatic Distribution องค์ประกอบที่มีผลต่อแรงที่เกิดใน Sheet Pile มากคือ

สำหรับ Anchored Sheet Piling ใน Granular Soils

- (1) Relative Density ของดิน
- (2) Relative Flexibility ของ Pile ซึ่งอาจจะบอกได้ในเทอมของ Flexibility Number

$$\rho = \frac{H^4}{EI}$$

โดยที่ H = ความสูงทั้งหมดของ Pile
 EI = Modulus of Elasticity x Moment of Inertia ของ Pile

สำหรับ Anchored Sheet Piling ใน Cohesive Soils ถมกลับด้วย Granular Material

(1) Atability Number

$$S = \frac{C}{\gamma_{eh} \sqrt{1 + C_a}} = \frac{1.25 C}{\gamma_{eh} c}$$

(2) Flexibility Number

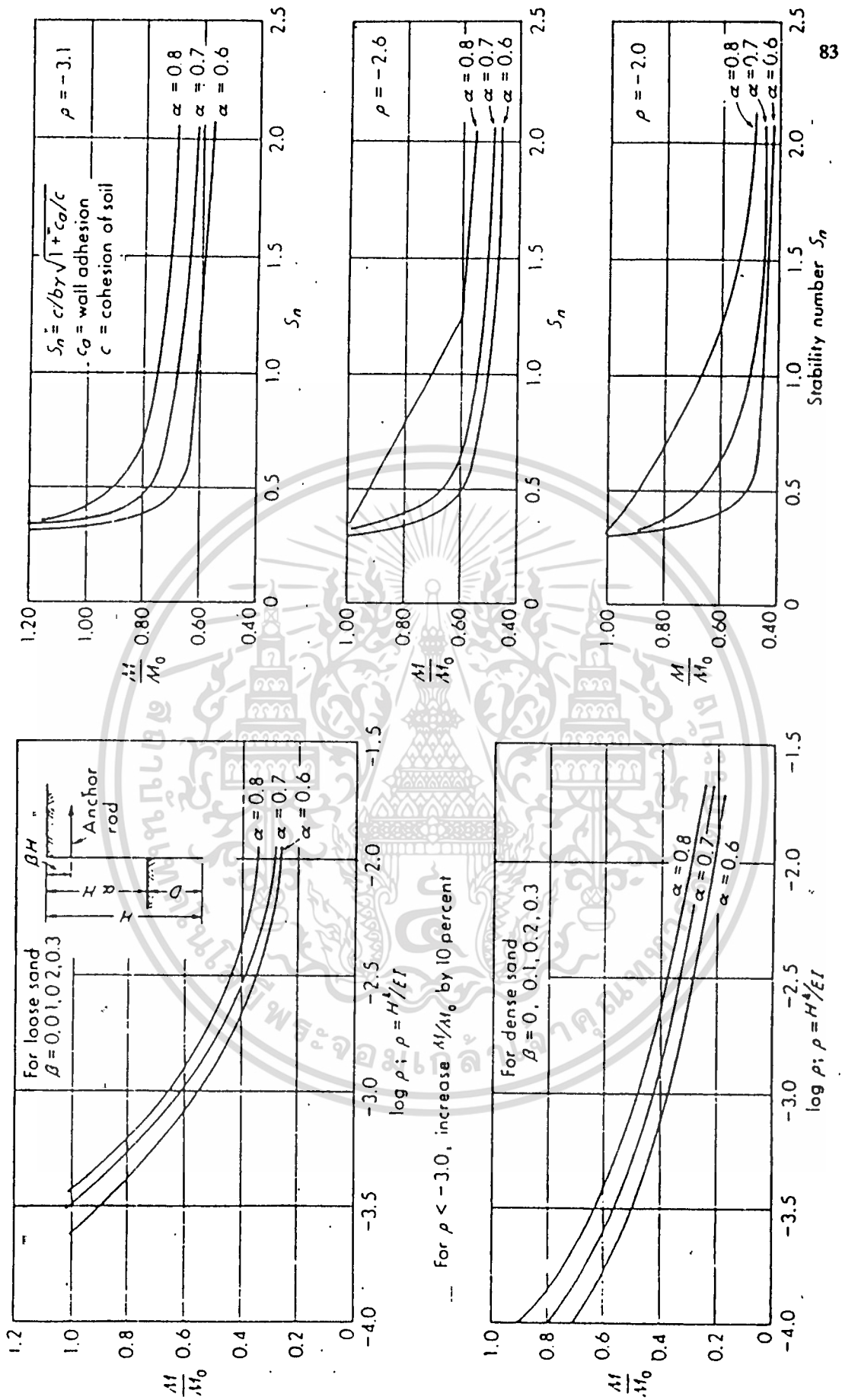
$$\rho = \frac{H^4}{EI}$$

(3) ความสูงของ Sheet Pile เหนือ Dredge Line เมื่อเทียบกับความยาวทั้งหมดของ Sheet Pile

Rowe ให้ใช้ Moment Reduction ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังกล่าว ตามรูปที่ 7-8
 Moment Reduction ของ Rowe ควรใช้สำหรับ Uniform Medium-dense to Dense Silty Sand หรือ Sand Deposits ไม่ควรใช้สำหรับ Sheet Pile ตอกใน loose silty-sand deposits หรือ Clay

-Fixed Earth Support Method

ในวิธีนี้สมมติให้ตอก Sheet Pile ลงไปในดินถึงพothที่จะให้เกิดแรงดันดินที่พอให้ Sheet Pile fix ที่จุดใดจุดหนึ่ง ซึ่งการหาแรงใน Sheet Pile อาจใช้วิธี Beam บน Elastic Foundation แต่ก่อนข้างจะยาก โดยทั่วไปอาจทำได้โดยเพิ่มสมมติฐานให้ง่ายต่อการคำนวณ ดังนี้ (ดูรูปที่ 4-9)



รูปที่ 4-8 MOMENT REDUCTION FACTOR ของ ROWE สำหรับออกแบบ

ANCHORED SHEET PILING WALL โดยวิธี FREE-EARTH SUPPORT

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของกรมโยธาธิการและผังเมือง การนำออกจำหน่ายโดยไม่ผ่านการคัดค้านั้นเป็นการกระทำโดยไม่ถูกต้องตามกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (1) แรงดันดินด้านข้างอาจหาได้โดยทฤษฎีของ Rankine หรือ Coulomb
- (2) Sheet Pile ไม่เคลื่อนที่ทางด้านข้าง และหมุนรอบตัวเองได้ที่ระดับ Tie Rod
- (3) ตำแหน่งของจุดค้ำยันของ Sheet Pile, b ขึ้นอยู่กับ Angle of internal friction, ϕ , ของดินถมหลัง Sheet Piling Wall ตามรูปที่ 4-9(จ)
- (4) แรงต้านทานดิน แทนได้ด้วย Pressure Diagram สามเหลี่ยม Ode และ Concentrated Reaction C ตามรูปที่ 4-9(ง)

ซึ่งสามารถออกแบบได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- (1) เลือกค่าของ Earth Pressure ที่เหมาะสม
- (2) หาคความลึกของจุดที่แรงดันดินมีค่าเป็น 0 โดย

$$y = \frac{\gamma_{eh} K_a'}{P_p' - P_a'}$$

โดยที่

γ_{eh} = น้ำหนักของดินถมกลับ และ Surcharge เหนือ Dredge Line

K_a' = Coefficient of Active Earth Pressure ของดินต่ำกว่า Dredge Line

- (3) หาจุดค้ำยันของ Sheet Pile โดยใช้ Chart รูปที่ 4-9(จ)
- (4) หาแรงเฉือนในแนวนอน, R , ที่จุดค้ำยันของ Sheet Pile, b , โดย R เป็นแรงปฏิกิริยาตามแนวนอนที่จุด b และคิดว่า Sheet Pile เป็น Simple Beam รองรับที่ b และที่ระดับของ Tie Rod
- (5) คัดส่วนต่างของ Sheet Pile b_e เป็น Simple Beam และหาความยาว b_e โดยใช้โมเมนต์รอบ e เท่ากับ 0
- (6) ระยะเวลา D เท่ากับผลบวกของความยาว b_e และ X เพื่อไว้สำหรับ Factor of Safety โดยใช้

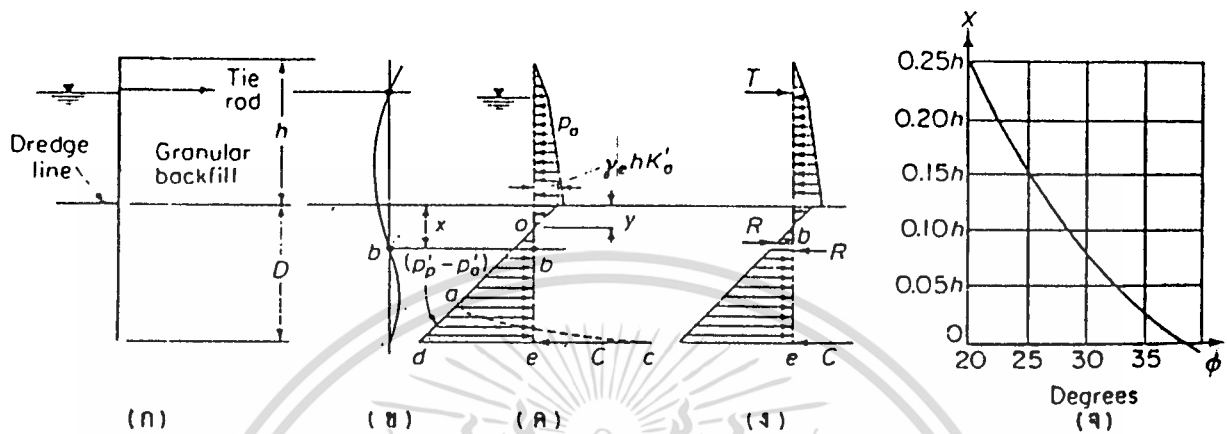
(ก) เพิ่มความยาว D อีก 20-40 %

(ข) ลดค่า P_p' โดยใช้ Factor of Safety 1.5-2.0

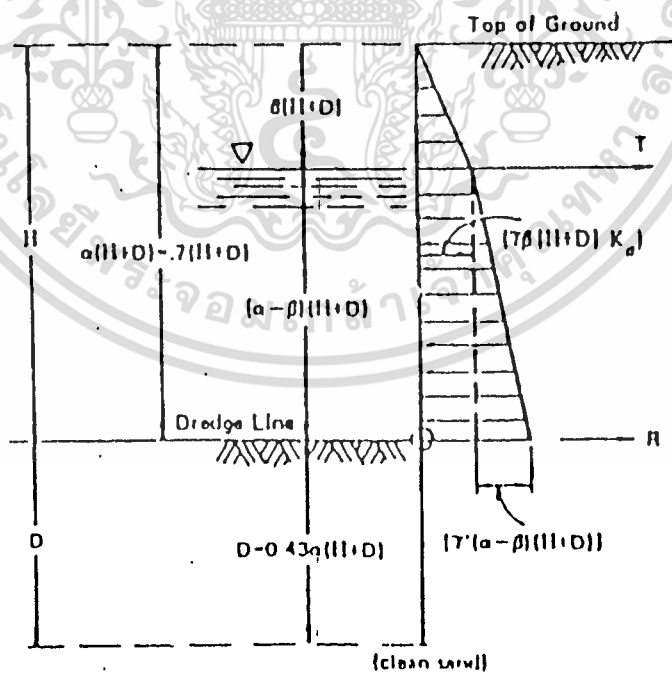
วิธีนี้เรียก Equivalent Beam Method และใช้ได้เฉพาะ Sheet Pile ที่ตอกใน Granular Soil เท่านั้น

โดยทั่วไป จุดค้ำยัน b และจุดที่ Earth Pressure เท่ากับศูนย์ อยู่ใกล้กัน ในการออกแบบอาจสมมติให้ $x = y$ ซึ่งในกรณีนี้จะได้ระยะจมนั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-9 การออกแบบ ANCHORED SHEET PILING WALL โดยวิธี EQUIVALENT BEAM



รูปที่ 4-10 EQUIVALENT BEAM ตามแบบของ TSHEBOTARIOFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = y + \frac{0.6R}{\sqrt{Pp' - Pa'}}$$

- โดยที่ y = ระยะจาก Dredge Line ถึงจุดที่ Earth Pressure เท่ากับ 0
 R = แรงปฏิกิริยาที่ 0 โดยสมมติให้ Sheet Pile รับแรงเป็น Simple Beam รองรับที่ 0 และที่ระดับ Tie Rod
 Pp', Pa' = Passive และ Active Earth Pressure ในดินที่ต่ำกว่า Dredge Line

อาจใช้ Equivalent Beam ให้ง่ายขึ้นตาม Tschebotarioff ดังแสดงในรูปที่ 4-10 วิธีนี้สมมติให้ Sheet Pile เป็น hinge ที่ Dredge Line และความลึกของระยะจมเท่ากับ $0.43\alpha (H+D)$

-Discrete Element Method

ในปัจจุบัน การใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบโครงสร้างเป็นไปอย่างแพร่หลาย ทั้งในระดับ Main Frame จนถึงระดับ Personal Micro-computer โปรแกรมทางโครงสร้างที่ใช้กันอยู่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ Anchored Sheet Piling Walls ได้

แทนที่จะเริ่มต้นจากการสมมติรูปแบบของการรับน้ำหนักของ Sheet Pile ก่อน เช่น เป็น Free-earth Support หรือ Fixed Earth Support Anchored Sheet Pile อาจแทนได้ด้วย Discrete Element สั้น ๆ โดยสมมติให้ Discrete Element เหล่านี้ รับได้ทั้งโมเมนต์คดและแรงเฉือน Compatible ที่จุดต่อ ทั้งทางด้าน Translation และ Rotation (คือเป็น Frame Element) แรงด้านข้างและ Interaction ระหว่าง Sheet Pile และ Soil Support รวมมากระทำที่จุดต่อ

แรงที่ได้ในการออกแบบ Sheet Pile จะถูกต้องหรือไม่ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของการแทนแรงด้านข้างและ Interaction ระหว่าง Sheet Pile และ Soil Support

Bowles ได้แนะนำวิธีการออกแบบโดยวิธีนี้ไว้ดังนี้

(1) สมมติตามแรงของระยะจมของ Sheet Pile กำหนดตำแหน่งของจุดต่อบน Sheet Pile โดยการใช้จำนวนของชิ้นส่วนมาก จะให้ค่าที่ละเอียดมากกว่าการใช้จำนวนชิ้นส่วนน้อย

(2) หา Lateral Soil Pressure จากระดับดินถมจนถึง Dredge Line โดยใช้ทฤษฎีของ Coulomb (หรือ Rankine) แล้วรวมค่าแรงดันของดินมาลงที่จุดต่อ

(3) หา Modulus of Subgrade Reaction ในดินที่ต่ำกว่า Dredge Line โดยอาจจะใช้ค่าเหล่านี้

$$K_s = CFqa \quad F = \text{Factor of Safety to Obtain } qa$$

$$K_s = C(CNc + qNq + 0.5 BN)$$

หรือ

ค่า C ใช้เท่ากับ 40 kPa

ค่า K_s ที่ใช้นี้จะให้ค่าโมเมนต์ค้ำและแรงเฉือนถูกต้อง แต่การแอนตัวของ Sheet Pile อาจไม่ถูกต้อง เพราะ Passive Soil Pressure เกือบไม่ขึ้นอยู่กับ K_s

(4) หาค่าแรงใน Sheet Pile Tie Rod และการแอนตัวของ Sheet Pile

(5) เปลี่ยนระยะจวม โดยเพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังนี้

ครึ่งละ 0.30 ม. สำหรับ Anchored Walls

0.60 ม. สำหรับ Cantilever Walls

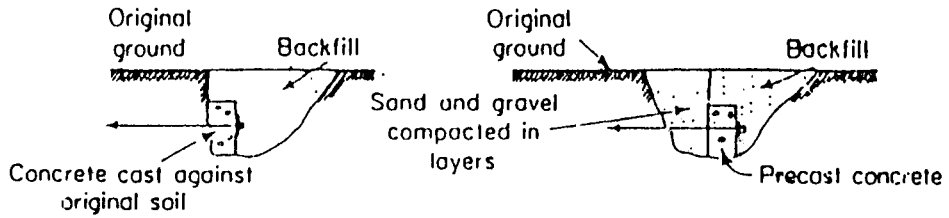
จนกระทั่ง การแอนตัวที่ Dredge Line ไม่เปลี่ยน (เปลี่ยนไม่เกิน 0.003 ม.) ซึ่งแสดงว่าการเพิ่มระยะจวมของ Sheet Pile อีก ไม่มีผลต่อการรับน้ำหนักของ Sheet Pile ค่าโมเมนต์ค้ำและแรงเฉือนในการคำนวณรอบสุดท้าย จะนำมาใช้ในการออกแบบ Sheet Pile

-Finite Element Method

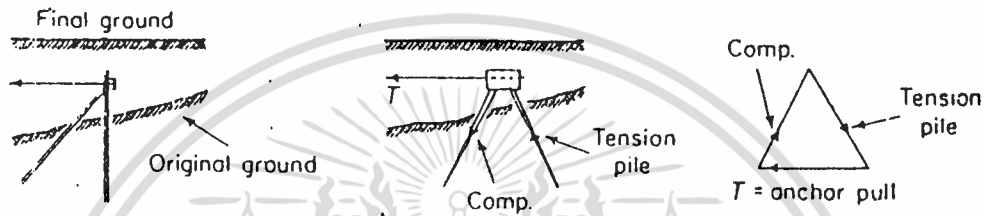
ในงานวิจัยปัจจุบันและการออกแบบที่รูปแบบของ Sheet Pile แปลงไปกว่าที่ใช้กันทั่วไป วิธี Finite Element เป็นวิธีที่ให้ค่าได้ถูกต้องที่สุด ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับ Model พฤติกรรมของ Soil Sheet Pile Anchorage System และ Interaction ที่พิจารณา Sheet Pile และ ดิน ที่อยู่ติดกัน การ Model พฤติกรรมเหล่านี้ค่อนข้างยาก และในเมืองไทย program Finite Element สำหรับ Geomechanics แพร่หลายเฉพาะใน Main Frame จึงไม่เป็นการสะดวกต่อผู้ใช้โดยทั่วไปมากนัก

Anchorage System

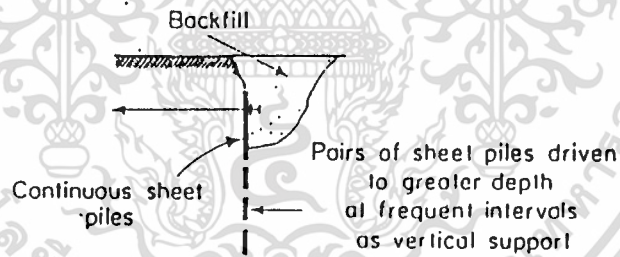
ใน Anchored Sheet Piling Wale ส่วนบนของ Sheet Pile จะถ่ายน้ำหนักลง Anchorage System ซึ่งประกอบด้วย Wale ซึ่งเป็นคานขวาง Sheet Pile ที่ระดับ Tie Rod โดย Tie Rod จะตีปลายด้านหนึ่งกับ Wale และอีกด้านหนึ่งกับ Anchorage ซึ่ง Tie Rod จะใช้ในการรับแรงดึง



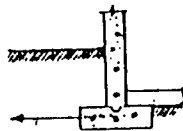
ก. DEADMEN



ข. BRACE PILES



ค. SHEET PILES



ง. LARGE STRUCTURE

รูปที่ 4-11 ANCHORAGE แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงใน Sheet Pile ถ่ายผ่าน Wall โดยอาศัยการต้านโมเมนต์คดของ Wale จาก Wale สู่ Tie Rod ซึ่งรับแรงดึงสู่ Anchorage

แรงดึงใน Tie Rod บางทีมากกว่าที่คำนวณได้จากการออกแบบวิธี Free Earth Support เนื่องจากสมมติฐานที่ใช้ไม่ได้แทนพฤติกรรมของ Sheet Pile จริง ๆ ดังนั้นควร จะออกแบบเผื่อไว้อย่างน้อย 30 % สำหรับตัว Tie Rod และ 50-100 % สำหรับจุดต่อ ต่างๆ ที่อาจเกิด Stress Concentration

Anchorage มีหลายแบบ ตามที่แสดงในรูปที่ 4-11

Capacity of Deadmen

Deadmen (Anchor Beams, Anchor Blocks หรือ Anchor Plates) อาจฝังที่ ระดับผิวดิน หรือที่ระดับลึก และอาจเป็นท่อนสั้น ๆ หรือต่อกันยาวก็ได้ ความสามารถ ในการรับแรงอาจหาได้ดังนี้

(1) Continuous Deadman Near Ground Surface Deadman แบบนี้ยาวเมื่อเทียบกับความสูง ถ้าความลึกของดินเหนือ Deadman, h น้อยกว่า $1/3-1/2$ ของความลึกของดิน จนถึงส่วนล่างของ Deadman, H (ดูรูปที่ 4-12 ประกอบ) ความสามารถในการรับน้ำหนัก อาจถือได้เหมือน Deadman สูงเท่ากับ H คือ

$$T_{ult} = P_p - P_a$$

โดยที่ T_{ult} = ความสามารถในการรับน้ำหนักของ Deadman

P_p = แรงดันดินทางด้าน Passive

P_a = แรงดันดินทางด้าน Active

ลักษณะของ P_p และ P_a แสดงไว้ในรูปที่ 4-12(ก)

(2) Short Deadman Near Ground Surface รูปที่ 4-12(ข) แสดงลักษณะการรับ น้ำหนักเมื่อใกล้ Failure ของ Deadman สั้น ใกล้ระดับผิวดิน ซึ่งจะให้ความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดังนี้

ใน Granular Soil

$$T_{ult} \leq L(P_p - P_a) + 1 K_o (\sqrt{K_p} + \sqrt{K_a}) H^2 \tan \phi$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ L = ความยาวของ Deadman
 P_p, P_a = แรงดันดินด้าน Passive และด้าน Active
 K_o = Coefficient of Earth Pressure at Rest อาจใช้เท่ากับ 0.4 ในการออกแบบ Deadman
 γ = Unet Weight ของดิน
 K_p, K_a = Coefficient of Passive and Active Earth Pressure
 H = ความสูงของ Deadman
 ϕ = Angle of Internal Friction

ใน Cohesive Soil

$$T_{ult} \leq L(P_p - P_a) + q_u H^3$$

โดยที่ q_u = Unconfined Compressive Strength ของดิน

(3) Deadman ที่ความลึกมาก ๆ (ดูรูปที่ 4-12(ค)) สำหรับ Deadman ที่ความลึก $h > H$ ความสามารถในการรับน้ำหนักอาจประมาณได้เท่ากับ Bearing Capacity ของ Footing ที่ระดับความลึกที่กึ่งกลางของ Deadman

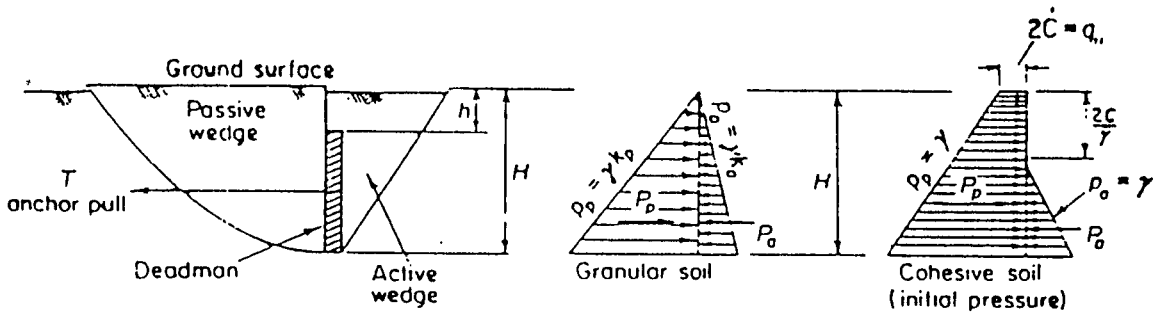
ตำแหน่งของ Deadman

Anchorage ไม่มีประโยชน์ ถ้าอยู่ใน sliding Wedge ของดินถมกลับ ตามรูปที่ 4-13(ก) ความสามารถในการรับน้ำหนักของ Anchorage จะลดลง ถ้าอยู่ในดินที่ไม่มีเสถียรภาพ หรือ Active Wedge ของดินถมกลับ ซ้อนกับ Passive Wedge หน้า Deadman ตามรูปที่ 4-13(ข)

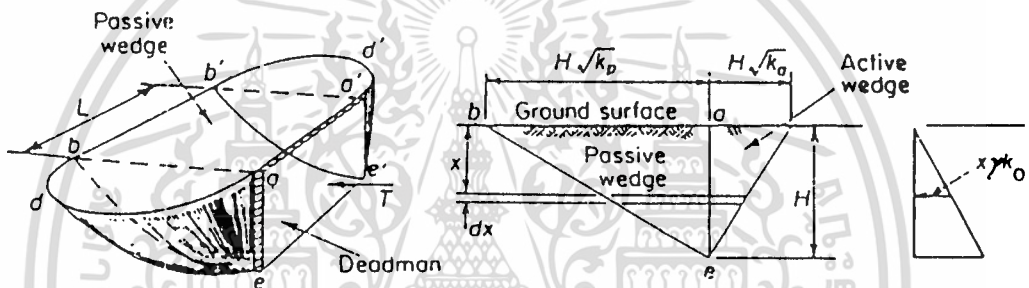
Anchorage จะให้ความต้านทานเต็มที่ต่อเมื่อ (ดูรูปที่ 4-13(ค))

(1) Active Sliding Wedge ของดินถมหลัง Sheet Pile ไม่ซ้อนกับ Passive Sliding Wedge หน้า Deadman

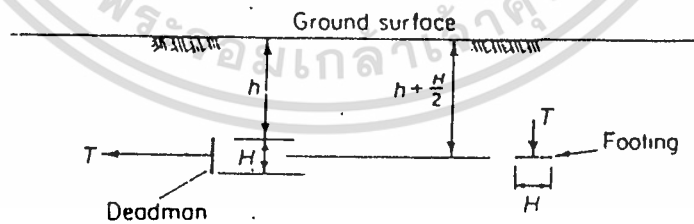
(2) ตำแหน่ง Deadman อยู่ต่ำกว่าเส้นลากจากส่วนล่างสุดของ Sheet Pile ทำมุม ϕ กับแนวราบ โดยที่ ϕ เป็น Angle of Internal Friction ของดิน



ก. CONTINUOUS DEADMAN NEAR GROUND SURFACE



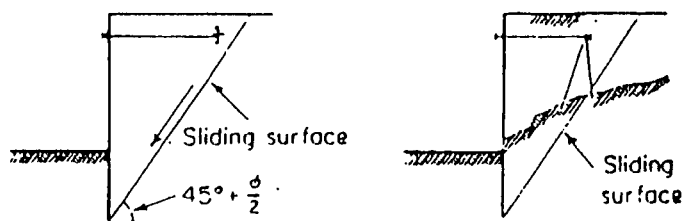
ข. SHORT DEADMAN NEAR GROUND SURFACE



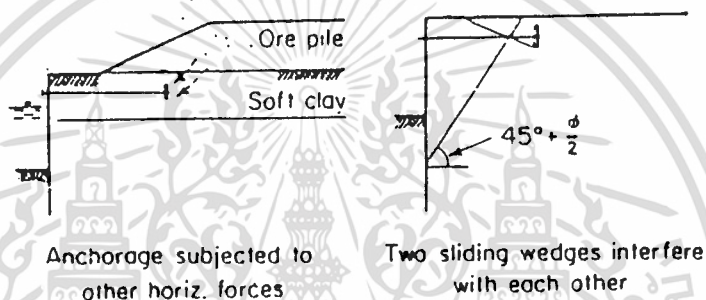
ค. DEADMAN AT GREAT DEPTH

รูปที่ 4-12 ความสามารถในการรับน้ำหนักของ DEADMAN

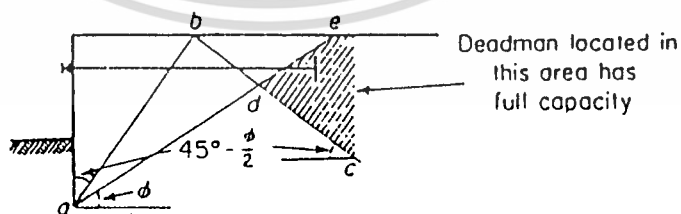
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. DEADMAN ไม้รับน้ำหนัก



ข. DEADMAN รับน้ำหนักไม่เต็มที่



ค. DEADMAN รับน้ำหนักเต็มที่

รูปที่ 4-13 ความสามารถของ DEADMAN ในการรับน้ำหนักที่ตำแหน่งต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Slope Stability Analysis

นอกจาก Sheet Piling Wall จะรับแรงดันด้านข้างได้แล้ว Sheet Pile ยังจะต้องมีเสถียรภาพด้วย ซึ่งอาจจะตรวจสอบได้โดยการคำนวณวิธี Swedish หรือวิธีของ Bishop ในระยะหลังวิธีของ Bishop นิยมใช้กัน เพราะให้ค่าได้ถูกต้องกว่า



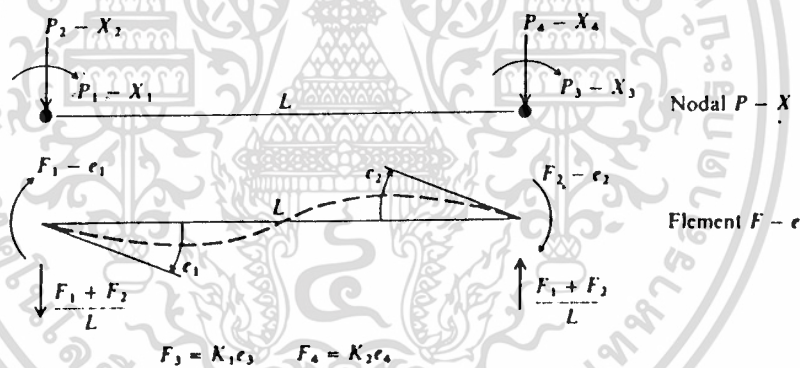
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิเคราะห์และออกแบบ Sheet Pile โดยวิธี Finite Element

วิธี Finite Element เป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์และออกแบบ Sheet Pile ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้ง Sheet Pile แบบ Cantilever , แบบ Anchored และแบบ Braced walls ด้วย โดยวิธีนี้จะให้ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างของ Sheet Pile (ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินและความแข็งแรงของ Sheet Pile) , ค่าแรงดันดินใน Passive Zone ด้านหน้าของกำแพง , ค่าโมเมนต์คดที่ node ต่าง ๆ ของ Sheet Pile , และค่าแรงใน Anchor rod

1. สมการที่ใช้ในวิธี Finite Element



รูปที่ 5-1 แสดง External(nodal) and internal(member) finite-element forces

จากรูปที่ 5-1 ที่ node ต่าง ๆ ของโครงสร้างจะได้

$$P_i = A_i F_i$$

- เมื่อ P_i = แรงภายนอกที่กระทำที่ Node i
- F_i = แรงภายในชิ้นส่วนที่ Node i
- A_i = ค่าคงที่

โดย P และ F จะเป็นได้ทั้งแรง และ โมเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเรารวมแรงที่ node ทั้งหมดให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ P และ F โดย A เป็นเมทริกซ์สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีค่าคงที่ เราจะได้

$$P = AF \quad (a)$$

สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง internal-member deformation, e ที่ node ต่าง ๆ และ external displacement, X คือ

$$e = BX$$

โดย e และ X อาจจะเป็น การหมุนตัว (rotation), เรเคียน หรือ การเคลื่อนตัว (translations) ก็ได้ และจากการใช้ทฤษฎีของส่วนกลับในโครงสร้าง จะได้ว่าเมทริกซ์ B คือ Transpose ของเมทริกซ์ A ดังนั้น

$$e = A^T X \quad (b)$$

แรงภายในชิ้นส่วน F จะสัมพันธ์กับ internal-member displacement, e ดังนี้

$$F = Se \quad (c)$$

สมการ (a), (b), (c) คือสมการพื้นฐานที่ใช้วิเคราะห์ในวิธี Finite Element

แทน (b) ใน (c),

$$F = Se = SA^T X \quad (d)$$

แทน (d) ใน (a),

$$P = AF = ASA^T X \quad (e)$$

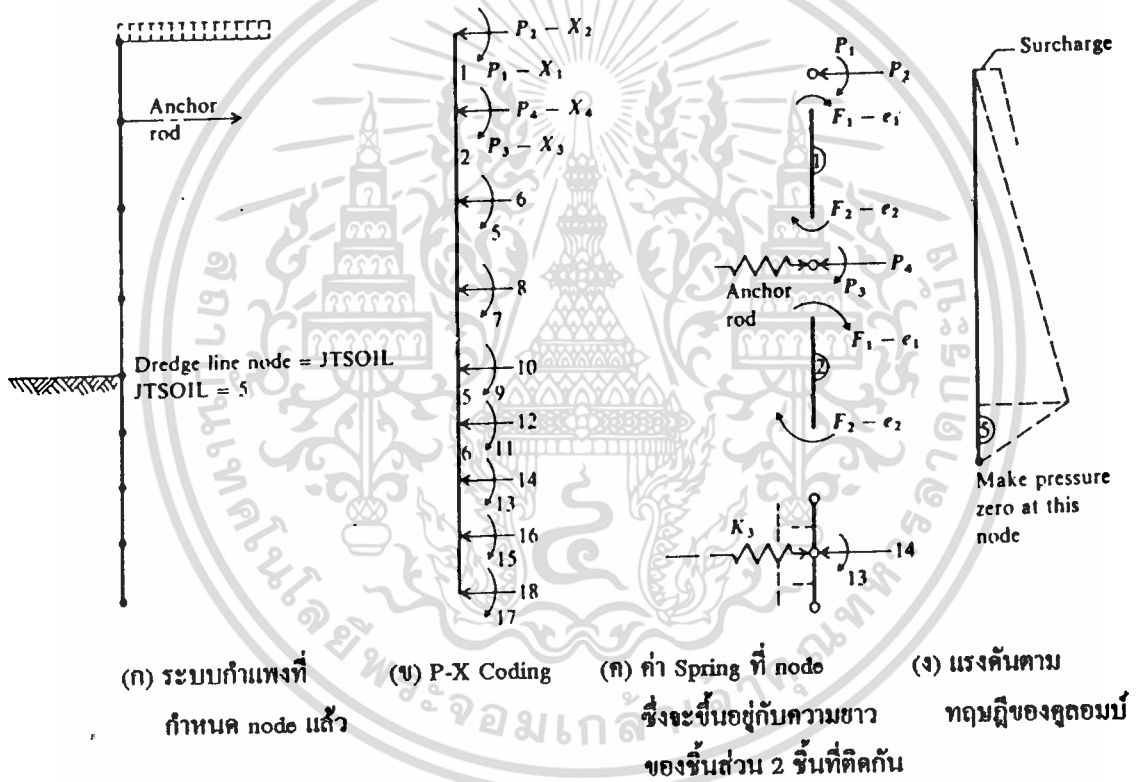
จาก (e) , จะได้

$$X = (ASA^T)^{-1} P \quad (f)$$

และเมื่อได้ค่า X , เราจะนำไปแทนค่าในสมการ (d) เพื่อที่จะหาแรงภายในชิ้นส่วน ที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งจะได้

$$F = SA^T X$$

ในรูปที่ 5-2 ได้แสดง Sheet Pile และ P-X coding ของแรงที่กระทำที่ชิ้นส่วน โดยการคำนวณใน Sheet Pile เราจะคิดเหมือนการคำนวณของ beam-on-an-elastic-foundation ที่หมุน 90 องศา โดยไม่คิดค่า Soil Spring เหนือ Dredge Line



รูปที่ 5-2 แสดง model ของวิธี Finite Element สำหรับ Sheet Pile ทั้งแบบ Cantilever และแบบ Anchored

และเมื่อ Anchor rod มีพื้นที่หน้าตัด A , modulus of elasticity E , และมีความยาว L เราจะหาแรงในชิ้นส่วนได้จาก $e = FL/AE$

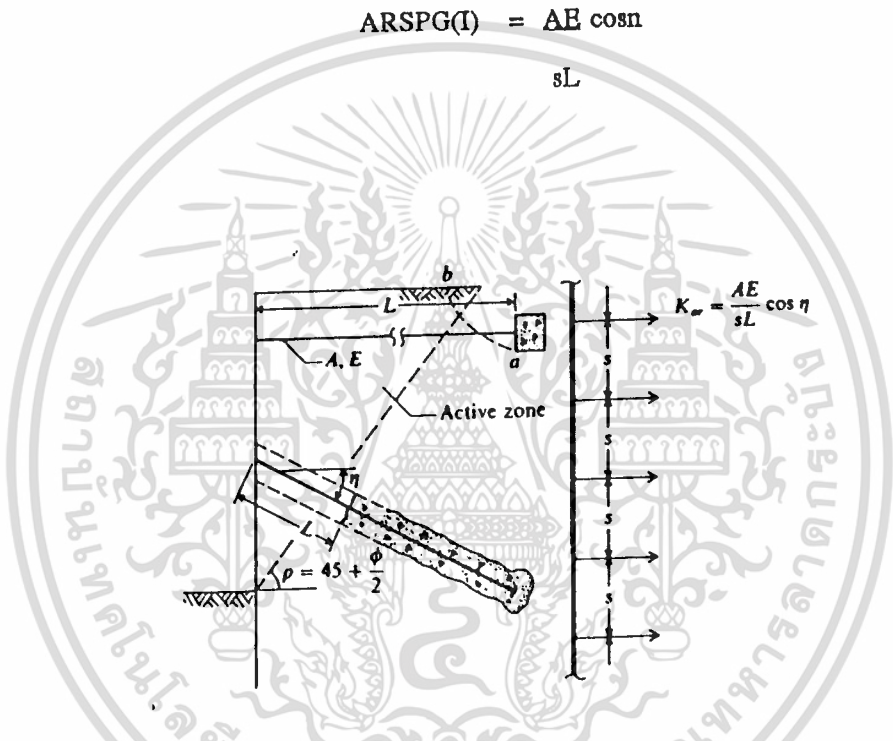
ดังนั้น

$$F = \frac{AE}{L} e = \frac{AE}{L} X$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้ e และ X มีค่าเท่ากันเพราะ เราแทนค่าที่จุดต่อที่ตำแหน่งของ Anchor rod สำหรับ Anchor ที่ฝังในดิน ที่ทำมุมเอียงกับแนวราบ แรงในชิ้นส่วนที่เราสนใจ และนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ก็คือ แรงในแนวนอน ในการวิเคราะห์ เราจะคิดค่าแรงต่อ 1 หน่วยความกว้างของกำแพง ดังนั้นค่า AE/L ของ Anchor rod ก็จะคิดต่อระยะห่าง s ของ Anchor rod ด้วย และแรงในแนวนอนที่คิดเป็นเหมือนค่าของ Spring คือ $(n = \text{มุมที่เอียงจากแนวระดับ ดังแสดงในรูปที่ 5-3})$

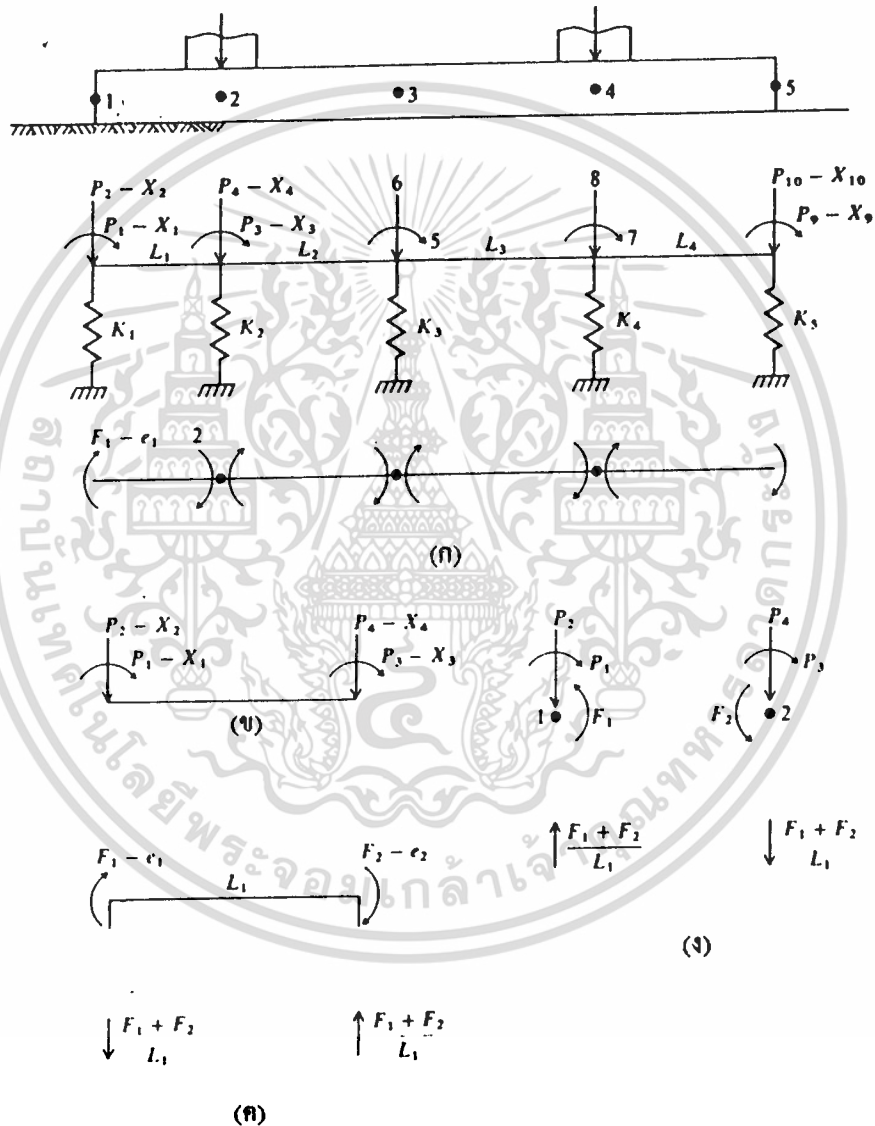
$$ARSPG(I) = \frac{AE \cos n}{sL}$$



รูปที่ 5-3 การหาค่าของ Spring ใน Anchor rod ต่อระยะห่าง 1 หน่วย ใน Anchor rod ที่มีพื้นที่หน้าตัด A , โมดูลัสความยืดหยุ่น E , ความยาว L

2. เมตริกซ์ A

ในการสร้างเมตริกซ์ A ให้พิจารณาตามรูปที่ 5-4(ข) ซึ่งแสดงการกำหนดค่าของ P-X Code ทั้ง 4 ค่าของชิ้นส่วน (ค่า 2 ค่าจะเป็นของชิ้นส่วนต่อไปด้วย) และค่าของแรงในชิ้นส่วน (รูปที่ 5-4(ข)) โดยค่าของแรงในชิ้นส่วนจะประกอบด้วย โมเมนต์คัตภายใน ชิ้นส่วน 2 ค่า และแรงเฉือนซึ่งเกิดจากโมเมนต์คัตอีก 2 ค่า



รูปที่ 5-4

(ก) โครงสร้างและการแบ่งชิ้นส่วนเพื่อใช้ในวิธี Finite Element โดยใช้ P-X Code

(ข) P-X Code ของชิ้นส่วนแรก (ค) แรงในชิ้นส่วนต่าง ๆ

(ง) ผลรวมของแรงที่ node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จุดต่อ (node) ที่ 1 หาผลรวมของโมเมนต์ (จากรูปที่ 5-4(ง)) ได้

$$P_1 = F_1 + 0F_2$$

และในทำนองเดียวกัน เราจะหาผลรวมของแรงอื่น ๆ ได้ดังนี้

$$P_2 = F_1/L + F_2/L$$

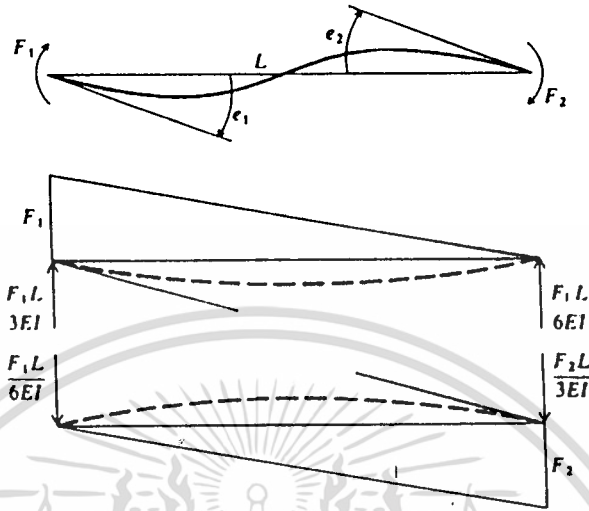
$$P_3 = 0F_1 + F_2$$

$$P_4 = -F_1/L - F_2/L$$

เมื่อนำมาเขียนในรูปเมทริกซ์ จะได้เมทริกซ์ A

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/L & 1/L \\ 0 & 1 \\ -1/L & -1/L \end{bmatrix}$$

3. เมทริกซ์ S



รูปที่ 5-5 ความสัมพันธ์ในคานาเสมือนระหว่างโมเมนต์ที่ปลายและการหมุนของคานา

จากรูปที่ 5-5 และใช้หลักการของคานาเสมือน (conjugate-beam) หรือพื้นที่ผั่งโมเมนต์ (moment-area) จะได้ค่า end slope e_1 และ e_2 ดังนี้

$$e_1 = \frac{F_1 L}{3EI} - \frac{F_2 L}{6EI} \quad (g)$$

$$e_2 = -\frac{F_1 L}{6EI} + \frac{F_2 L}{3EI} \quad (h)$$

แก้สมการ (g) และ (h) เพื่อหาค่า F จะได้

$$F_1 = \frac{4EI}{L} e_1 + \frac{2EI}{L} e_2$$

$$F_2 = \frac{2EI}{L} e_1 + \frac{4EI}{L} e_2$$

เมื่อนำ S มาเขียนในรูปของเมทริกซ์ จะได้

$$S = \begin{array}{|c|c|} \hline 4EI & 2EI \\ \hline L & L \\ \hline 2EI & 4EI \\ \hline L & L \\ \hline \end{array}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมทริกซ์ SA^T และ ASA^T

เมทริกซ์ SA^T ได้จากการคูณกันระหว่างเมทริกซ์ S และ Transpose ของเมทริกซ์ A ซึ่งเมทริกซ์ A จะอยู่ในรูปของ e และ x และเมทริกซ์ ASA^T ก็จะหาได้โดยวิธีการคูณเมทริกซ์เช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$A^T = \begin{array}{c|cccc} & e & x & & & \\ \hline & & & 1 & 2 & 3 & 4 \\ \hline 1 & & & 1 & 1/L & 0 & -1/L \\ \hline 2 & & & 0 & 1/L & 1 & -1/L \\ \hline \end{array}$$

$$S = \begin{array}{|c|c|} \hline 4EI & 2EI \\ \hline L & L \\ \hline \hline 2EI & 4EI \\ \hline L & L \\ \hline \end{array}$$

$$SA^T = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 4EI & 6EI & 2EI & -6EI \\ \hline L & L^2 & L & L^2 \\ \hline \hline 2EI & 6EI & 4EI & -6EI \\ \hline L & L^2 & L & L^2 \\ \hline \end{array}$$

$$A = \begin{array}{|c|c|} \hline 1 & 0 \\ \hline 1/L & 1/L \\ \hline \hline 0 & 1 \\ \hline -1/L & -1/L \\ \hline \end{array}$$

$$ASA^T = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 4EI & 6EI & 2EI & -6EI \\ \hline L & L^2 & L & L^2 \\ \hline \hline 6EI & 12EI+K_1 & 6EI & -12EI \\ \hline L & L & L & L \\ \hline \hline 2EI & 6EI & 4EI & -6EI \\ \hline L & L & L & L \\ \hline \hline -6EI & 12EI & 6EI & -12EI+K_1 \\ \hline L^2 & L^3 & L^2 & L^3 \\ \hline \end{array}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า node soil spring จะมีหน่วยเป็น FL^{-1} ซึ่งได้มาจาก ค่าโมดูลัสของแปรปฏิกิริยาของดิน (Modulus of subgrade reaction) และขึ้นอยู่กับค่า contributory node area เมื่อ $k =$ ค่าคงที่ เราจะคำนวณได้ดังนี้

$$K_1 = \frac{L_1}{2} Bk, \text{ และ } K_2 = \frac{L_1 + L_2}{2} Bk,$$

Bowles (1974a) ได้แสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจะได้ออกจากการรวม end springs ด้วย 2 ซึ่งจะให้ค่าที่เท่ากับข้อมูลที่ได้ออกการวัดโดยใช้การคำนวณของ Vesic และ Johnson (1963)

จากรูปที่ 2 เราจะเห็นว่าผลรวมของแรงในแนวตั้งที่จุดต่อ (ใช้ node ที่ 1 สำหรับอธิบาย) เป็น

$$P_2 - \frac{F_1 + F_2}{L} - K_1 X_2 = 0$$

เมื่อ $(F_1 + F_2)/L$ ได้ถูกรวมใน ASA^T แล้ว เราสามารถเขียนสมการข้างบนได้ใหม่ ดังนี้

$$P_2 = ASA_{2 \times 2}^T X_2 + K_1 X_2 = (ASA_{2 \times 2}^T + K_1) X_2$$

หรือค่า Node Spring จะถูกบวกเพิ่มเข้าโดยตรงในพจน์ที่อยู่ในแนวแยงที่เหมาะสม [พจน์ (i,i)] โดยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากในการรวมค่า Node Soil Spring ซึ่งจะสร้างขึ้นในระหว่างการป้อนข้อมูล ในรูป Spring Array และหลังจากนั้น ASA^T จะถูกสร้างขึ้นมา (และบันทึกเป็นกรณี Nonlinear) และค่า Springs ก็จะถูกบวกเข้าไปในพจน์ที่อยู่ในแนวแยงที่เหมาะสม (หรือ แถวที่ 1 ของ banded matrix ที่ถูกใช้เป็นประจำ)

ในการตรวจสอบความถูกต้องของเมตริกซ์ ASA^T คือ จะต้องเป็นเมตริกซ์ที่มีความสมมาตร และค่าในแนวทแยงไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งค่า Soil Spring จะเป็นค่าที่บวกเข้าไปเพียงเพื่อให้เมตริกซ์ ASA^T มีค่าในแนวทแยงที่เหมาะสม ซึ่งวิธีที่ใช้คือจะย้ายค่า Spring สำหรับโนกรณี Tension Effect จนกระทั่งสามารถหาค่าตอบได้ ซึ่งก็จะได้ค่า Shear Effect ที่จุดนั้นด้วย (ไม่มีค่าศูนย์ในแนวทแยงของเมตริกซ์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมตริกซ์ P

เมตริกซ์ P จะประกอบด้วย Array ที่มีค่าเป็นศูนย์ และหลังจากนั้นจึงป้อนค่าแรงกระทำที่จุดต่อต่าง ๆ ที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์เข้าไป

เมื่อ แรงกระทำ(P) มีทิศทางเดียวกับ P-X coding (ในรูปที่ 5-5) จะมีเครื่องหมายเป็น (+) และเมื่อมีทิศทางที่ตรงกันข้ามจะมีเครื่องหมายเป็น (-)

จากข้างต้น จะเห็นว่าเราจำเป็นต้องเข้าใจ P-X coding ที่ใช้ในการสร้างเมตริกซ์ A เพื่อใช้หาผลลัพธ์ มิฉะนั้นแล้วอาจจะทำให้ผลลัพธ์ผิดพลาดได้

สำหรับเสาที่อยู่ระหว่างจุดต่อ เราจะต้องเลือกทำข้อใดข้อหนึ่งดังต่อไปนี้

1. ส่งผ่านแรงไปยังจุดต่อ (node) ที่อยู่ใกล้ ๆ โดยการใช้รูปแบบของ simple beam
2. ส่งผ่านแรงไปยังจุดต่อ (node) ที่อยู่ใกล้ ๆ โดยถ้าชิ้นส่วนถูกยึด (fixed) ที่ปลาย ให้ใช้ค่ารวมของ fixed-end moments และแรงเฉือน (แรงในแนวตั้ง) วิธีนี้จะถูกต้องค่อนข้างมาก แต่การคำนวณจำนวนมาก ๆ จะใช้เวลานานและได้รับการปรับปรุงจากการคำนวณที่ผ่านมาเพียงเล็กน้อย

6. Modulus of Subgrade Reactions k_s

วิธี Finite Element ได้ใช้ค่า k_s เป็นแรงคั้นแบบ Passive ในส่วนที่อยู่ใต้ Dredge Line ด้านหน้าของ Sheet Pile โดย Bowles (1974a) ได้ทำการวิเคราะห์ model ของ Sheet Pile จากการทดลอง และนำรายงาน model ของ Sheet Pile ซึ่งทำโดย Tschebotarilff (1949) และ Rowe (1952) มาวิเคราะห์ใหม่ ทำให้สามารถประมาณค่า k_s ซึ่งเป็นค่าที่แปรตามความลึก ได้ตามสมการต่อไปนี้

$$k_s = A_s + B_s Z^n$$

และเราสามารถประมาณค่า k_s ได้อีกดังนี้

$$k_s = C(SF)q_u$$

เมื่อ q_u = Bearing Capacity ที่ความลึกต่าง ๆ ของส่วนที่ฝังในดินของ Sheet Pile

$C = 12$ สำหรับระบบอังกฤษ

$C = 40$ สำหรับระบบ SI

SF = Safety Factor โดยทั่วไปใช้ SF = 2 ในดินทราย และ SF = 3 ในดินเหนียว

และค่า k_s สามารถหาได้จากสมการ Bearing Capacity ได้ดังนี้

$$k_s = q_{ult} = C(cN_c + qN_q + 0.5 \gamma BN_\gamma)$$

ΔII

เมื่อ H = ค่าการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile เท่ากับ 1/12 ft หรือ 0.0254 ม.

ให้ $C = 12$ ในระบบอังกฤษ หรือ $C = 40$ ในระบบ SI จะได้

$$A_s = C(cN_c + 0.5\gamma BN_\gamma)$$

$$B_s Z^n = C(\gamma N_q Z^n)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า k , ที่ใช้นี้จะให้ค่าโมเมนต์คัต และแรงเฉือนถูกต้อง ส่วนค่าการแอ่นตัวของ Sheet Pile อาจจะไม่ถูกต้องนัก

ค่าสูงสุดของ k , จะขึ้นอยู่กับค่า Ultimate Bearing Pressure ที่ความลึกต่าง ๆ การประมาณค่า k , จากสมการข้างบนจะมีการพิจารณาถึงผลกระทบของ nonlinear ซึ่งจะกล่าวถึงการใช้ X_{max} ซึ่งตัวโปรแกรมจะทำงานดังนี้

1. พิจารณาปรับค่า node soil spring ที่ตำแหน่ง Dredge Line หากเกิดคินเสียรูป เมื่อทำการตอก Sheet Pile
2. ไม่คิดค่า node spring เมื่อ $X_1 > X_{max}$ ซึ่งมีผลต่อคินโดยแทนที่ด้วยค่า negative node force ซึ่งคำนวณได้จาก

$$- P_i = X_{max} K_i$$

เมื่อ K_i = node soil spring ที่ node ใด ๆ

P_i = load จากเมตริกซ์ P

บทที่ 6

การใช้งานโปรแกรมในการออกแบบ SHEET PILE

1. ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรม

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และหลังจาก Boot เครื่องเรียบร้อยแล้ว หน้าจอของคอมพิวเตอร์จะเป็นดังนี้

C:>

2. เปลี่ยนไคร์และไดเรกทอรี ไปที่ไดเรกทอรีที่มีไฟล์ SHEETPI.EXE แล้วพิมพ์ SHEETPI เพื่อเป็นการเรียกใช้โปรแกรมในการออกแบบ SHEET PILE

3. ป้อนข้อมูลใน DATA MODE

4. เมื่อป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ให้เรียกใช้ SOLUTION MODE เพื่อคำนวณ

รายละเอียดในการใช้งานโปรแกรม

เมื่อเราพิมพ์ SHEETPI เพื่อเรียกใช้โปรแกรมแล้ว บนหน้าจอคอมพิวเตอร์จะเป็นดังในรูปที่ 6-1

KING MONGKUT INSTUTUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

FACULTY OF ENGINEER

DEPARTMENT OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY

SPECIAL PROJECT

BECHELOR OF ENGINEERING (CONSTRUCTION ENGINEERING)

ADVISER MR.AMNOUY PANITKULPONG

BY SONGGLOD SAE-UENG CODE 34103124

BY WIRACH CHATWONGVAN CODE 34106334

DATE : 03/04/95

=== PRESS ENTER TO CONTINUE ===

รูปที่ 6-1 แสดงหน้าจอภายหลังเรียกใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าค้ำบค้อมมาให้กด ENTER เพื่อเข้าสู่ MAIN MENU และหน้าจอกอมพิวเตอร์
จะเป็นคังรูปที่ 6-2

SHEETPILE DESIGN
KING MONGKUT INSTUTUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

MAIN MENU

D = DATA MODE
S = SOLUTION MODE
R = RESULT MODE
Q = QUIT PROGRAM

====> SELECT =

รูปที่ 6-2 แสดงหน้าจอกของ MAIN MENU

ใน MAIN MENU จะประกอบด้วย

1. D = DATA MODE
2. S = SOLUTION MODE
3. R = RBSULT MODE
4. Q = QUIT PROGRAM

1. DATA MODE เรียกใช้โดยพิมพ์ D

ใช้สำหรับป้อนข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการคำนวณ เมื่อเราเรียกใช้โปรแกรมจะ
ต้องเข้ามาป้อนข้อมูลใน MODE ก่อนเสมอ และหน้าจอกภายหลังจากเข้าไปใน DATA
MODE จะเป็นคังรูปที่ 6-3

SHEETPILE DESIGN
KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

=====

INPUT DATA
=====

N = NODE DATA
E = ELEMENT DATA
S = SELECT SHEET PILE
A = ANCHOR ROD
L = LOAD DATA
F = CHANGE FACTOR
Q = QUIT

====> SELECT ? =

รูปที่ 6-3 แสดงหน้าจอหลังจากเรียก DATA MODE

จากรูปที่ 6-3 จะเห็นว่า ภายใน DATA MODE จะประกอบด้วยข้อมูลที่เร
ต้องป้อนเข้าไปดังนี้

- 1.1 N = NODE DATA
- 1.2 E = ELEMENT DATA
- 1.3 S = SELECT SHEET PILE
- 1.4 A = ANCHOR ROD
- 1.5 L = LOAD DATA
- 1.6 F = CHANGE FACTOR
- 1.7 Q = QUIT

1.1 NODE DATA เรียกใช้โดยพิมพ์ N

ใช้เพื่อป้อนค่าของจำนวน Node ที่อยู่เหนือและใต้ Dredge Line หน้าจอภายหลัง
เข้าสู่ NODE DATA แสดงดังรูปที่ 6-4

SHEETPILE DESIGN
KING MONKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

NODE DATA
=====

B = NUMBER OF NODE ABOVE DREDGE LINE [0]
U = NUMBER OF NODE UNDER DREDGE LINE [0]
Q = QUIT

====>SELECT :

รูปที่ 6-4 แสดงหน้าจอภายหลังเข้าสู่ NODE DATA

จากรูปที่ 6-4 - เมื่อเราจะป้อนค่าจำนวน Node ที่อยู่เหนือ Dredge Line ให้พิมพ์
B
- เมื่อเราจะป้อนค่าจำนวน Node ที่อยู่ใต้ Dredge Line ให้พิมพ์ U
- เมื่อป้อนค่าจำนวน Node ทั้งสองค่าเรียบร้อยแล้ว ให้ออกจาก
NODE DATA โดยพิมพ์ Q

1.2 ELEMENT DATA เรียกใช้โดยพิมพ์ B

ใช้เพื่อป้อนความยาวของชิ้นส่วนต่าง ๆ หน้าจอภายหลังจากเข้าสู่ ELEMENT DATA แสดงดังรูปที่ 6-5

```

SHEETPILE DESIGN
KING MONKUT INSTUTUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
=====
>INPUT ELEMENT LENGTH

1. PRESS <RETURN> AFTER INPUT DATA
2. PRESS <ELEM # ZERO> TO TERMINATE THIS INPUT
=====
PREVIOUS ENTRY :          ELEMENT          LENGTH (M.)
>CURRENT ENTRY :          0                0.00
=====

```

รูปที่ 6-5 แสดงหน้าจอภายหลังจากเข้าสู่ ELEMENT DATA

จากรูปที่ 6-5 เมื่อเราต้องการป้อนความยาวของชิ้นส่วน (Element) ทำได้โดยพิมพ์หมายเลขของชิ้นส่วนนั้นแล้วกด ENTER แล้วป้อนค่าความยาวของชิ้นส่วนและกด ENTER ค่าที่เราป้อนเข้าไปจะเลื่อนขึ้นไปข้างบน 1 บรรทัด เพื่อให้ผู้ใช้ตรวจสอบว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้าค่าที่ป้อนเข้าไปผิดให้ป้อนค่าเข้าไปทับค่าเดิม ค่าที่ป้อนเข้าไปใหม่ก็จะไปแทนค่าเก่า และเมื่อเราป้อนค่าหมดแล้วต้องการออกจาก ELEMENT DATA ไปสู่ DATA MODE ให้พิมพ์ 0 ที่ ELEMENT

1.3 SELECT SHEET PILE เรียกใช้โดยพิมพ์ s

ใช้เพื่อเลือกชนิดของ SHEET PILE หน้าจอภายหลังเข้าสู่ SELECT SHEET PILE แสดงดังรูปที่ 6-6 และหน้าตัดและรายละเอียดของ SHEET PILE แสดงดังในตารางที่ 6.1

SHEETPILE DESIGN
KING MONGKUT INSTUTUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

=====

SELECT SHEETPILE

=====

1. SECTION PZ40
2. SECTION PZ35
3. SECTION PZ27
4. SECTION PZ22
5. SECTION PS31
6. SECTION PS27.5
7. SECTION PSA23
8. QUIT

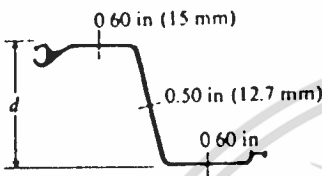
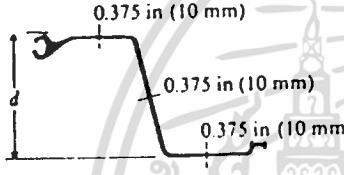
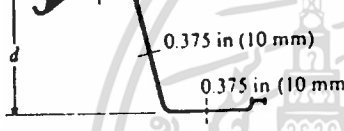
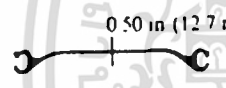
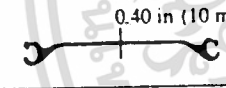
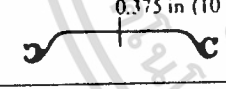
=====> SELECT :

รูปที่ 6-6 แสดงหน้าจอภายหลังเข้าสู่ SELECT SHEET PILE

จากรูปที่ 6-6 เราสามารถเลือกชนิดของ SHEET PILE ได้โดยพิมพ์ตัวเลขของ SECTION ที่เราต้องการเลือก และเมื่อเราเลือกแล้ว ก็จะมีรายละเอียดของ SHEET PILE แสดงให้ผู้ใช้งานได้ทราบในส่วนล่างของจอภาพ

ตารางที่ 6.1 แสดงหน้าตัดและรายละเอียดของ SHEET PILE ชนิดต่าง ๆ

Steel sheetpiling sections produced in the United States†

Section index	Depth <i>d</i> in mm	Driving distance, in mm	weight		Section modulus† per pile, in ³ m ³ × 10 ⁻³	Moment of inertia per pile, in ⁴ m ⁴ × 10 ⁻⁶	
			lb./ft kN/m	lb./ft ² kN/m ²			
	PZ40	16.1	19.69	65.6	40.0	99.6	805.4
		410	500	0.96	1.91	1.632	335.23
	PZ27	12	18	40.5	27.0	45.3	276.3
		305	460	0.59	1.29	0.742	115.0
	PZ22	9	22	40.3	22.0	33.1	154.7
		230	560	0.59	1.05	0.542	64.39
	PS31	—	19.69	50.9	31.0	3.3	5.3
		—	500	0.75	1.48	0.054	2.206
	PS27.5	—	19.69	45.1	27.5	3.3	5.3
		—	500	0.66	1.31	0.054	2.206
	PSA23	—	16.00	30.7	23.0	3.2	5.5
		—	405	0.45	1.10	0.052	2.290

† These sections are now only available from Bethlehem Steel Corporation.

Steel grades A328 with $F_y = 39$ ksi (270 MPa)

A572 with $F_y = 50$ and 60 ksi (345 and 415 MPa)

A690 with $F_y = 50$ ksi (345 MPa) for marine environments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ANCHOR ROD เรียกใช้โดยพิมพ์ A

ใช้เพื่อเลือกชนิดของ SHEET PILE และป้อนข้อมูลของ ANCHOR ROD
หน้าจอกายหลังจากเข้าสู่ ANCHOR ROD แสดงดังรูปที่ 6-7

SHEETPILE DESIGN
KING MONGKUT INSTUTUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

```

=====
ANCHOR ROD
=====
N = NUMBER OF ANCHOR ROD          [ 1 ]
    (0 FOR CANTILEVER SHEET PILE)
    (1 FOR ANCHORED SHEET PILE)
Q = QUIT

NUMBER 1
SECTION AREA OF ANCHOR ROD [0.000 M^2.] = 0.002
SPACING OF ANCHOR ROD     [ 0.00 M.] = 1
LENGTH OF ANCHOR ROD     [ 0.00 M.] = 10
SLOP WITH HORIZONTAL     [ 0.00] = 0
NODE ANCHOR ROD          [ 0] = 2

```

รูปที่ 6-7 แสดงหน้าจอกายหลังจากเข้าสู่ ANCHOR ROD

จากรูปที่ 6-7 เมื่อเราพิมพ์ N แล้วจะเป็นการใช้เลือกชนิดของ SHEET PILE

โดย

- ถ้าพิมพ์ 0 จะเป็น SHEET PILE ชนิด CANTILEVER
- ถ้าพิมพ์ 1 จะเป็น SHEET PILE ชนิด ANCHORED และจะ
ใช้เราป้อนข้อมูลของ ANCHOR ROD เพื่อใช้ในการคำนวณ

เมื่อเราป้อนข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว การออกจากส่วนนี้ไปสู่ DATA MODE

ทำได้โดยพิมพ์ Q

1.5 LOAD DATA เรียกใช้โดยพิมพ์ L

ใช้เพื่อป้อนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการหาแรงดันด้านข้างที่กระทำกับ SHEET PILE
หน้าจอกายหลังจากเข้าสู่ LOAD DATA จะแสดงได้ดังรูปที่ 6-8

SHEETPILE DESIGN
KING MONGKUT INSTUTUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

LOAD DATA

```

=====
LOAD DATA
=====
R = ANGLE OF INTERNAL FRICTION      [ 0.00]
w = UNITS WEIGTH OF SOIL             [ 0.00 Tons/M^3.]
S = SURCHARGE LOAD                   [ 0.00 Tons/M^2.]
F = FRONT WALL WATER LEVEL AT NODE  [ 0]
B = BACK WALL WATER LEVEL AT NODE   [ 0]
c = COHESION OF SOIL                 [ 0.00 Tons/M^2.]
A = As (As = 40 (cNc + 0.5wNw))     [ 0.00 Tons/M^2.]
Z = Bs (Bs = 40 (wNq))               [ 0.00 Tons/M^2.]
O = QUITE

```

==> SELECT :

รูปที่ 6-8 แสดงหน้าจอกายหลังจากเข้าสู่ LOAD DATA

จากรูปที่ 6-8 เมื่อเราเข้าสู่ LOAD DATA แล้วจะเห็นว่าข้อมูลที่จะต้องป้อนดังนี้

นี้

R = ANGLE OF INTERNAL PRIFCTION

= มุมเสียดทานภายในของดิน (องศา)

w = UNITS WEIGTH OF SOIL (TONS/M^3)

= หน่วยน้ำหนักของดิน (ตัน/ลบ.ม.)

S = SURCHARGE LOAD (TONS/M^2)

= น้ำหนักแผ่กระจายด้านหลัง SHEET PILE (ตัน/ตร.ม.)

F = FRONT WALL WATER LEVEL AT NODE

= NODE ที่เป็นตำแหน่งของระดับน้ำด้านหน้า SHEET PILE
หรือด้านที่ขุดดิน

B = BACK WALL WATER LEVEL AT NODE

= NODE ที่เป็นตำแหน่งของระดับน้ำด้านหลัง SHEET PILE

c = COHESION OF SOIL (TONS/M²)

= แรงยึดเหนี่ยวหรือแรงเชื่อมแน่น (ตัน/ตร.ม.)

$$A = A_s = 40(cN_c + 0.5w'N_w)$$

$$Z = B_s = 40(w'N_q)$$

เมื่อ $w' = w - 1$

โดย A_s และ B_s จะเป็นค่าที่ใช้สำหรับหาค่า SOIL SPRING (จาก BOWLES, FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN . 4th EDITION. หน้า 588) และค่า N_c , $N_w(N_y)$, N_q จะหาได้จากตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 แสดงค่า N_c , N_w , N_q

Note that N_c and N_q are same for all three methods; subscripts identify author for N_y

ϕ	N_c	N_q	$N_{y(M)}$	$N_{y(M)}$	$N_{y(V)}$	N_q/N_c	$2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2$
0	5.14	1.0	0.0	0.0	0.0	0.195	0.000
5	6.49	1.6	0.1	0.1	0.4	0.242	0.146
10	8.34	2.5	0.4	0.4	1.2	0.296	0.241
15	10.97	3.9	1.2	1.1	2.6	0.359	0.294
20	14.83	6.4	2.9	2.9	5.4	0.431	0.315
25	20.71	10.7	6.8	6.8	10.9	0.514	0.311
26	22.25	11.8	7.9	8.0	12.5	0.533	0.308
28	25.79	14.7	10.9	11.2	16.7	0.570	0.299
30	30.13	18.4	15.1	15.7	22.4	0.610	0.289
32	35.47	23.2	20.8	22.0	30.2	0.653	0.276
34	42.14	29.4	28.7	31.1	41.0	0.698	0.262
36	50.55	37.7	40.0	44.4	56.2	0.746	0.247
38	61.31	48.9	56.1	64.0	77.9	0.797	0.231
40	75.25	64.1	79.4	93.6	109.3	0.852	0.214
45	133.73	134.7	200.5	262.3	271.3	1.007	0.172
50	266.50	318.5	567.4	871.7	761.3	1.195	0.131

เมื่อเราป้อนข้อมูลใน LOAD DATA เสร็จแล้ว เราจะกลับไปยัง DATA MODE โดยพิมพ์ Q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราแก้ไข FACTOR ต่าง ๆ แล้วสามารถออกไปยัง INPUT MODE ได้โดย
พิมพ์ Q

1.7 QUIT เรียกใช้โดยพิมพ์ Q

ใช้เพื่อออกจาก DATA MODE ไปสู่ MAIN MENU ภายหลังจากป้อนข้อมูล
ใน DATA MODE เรียบร้อยแล้ว

2. SOLUTION MODE เรียกใช้โดยพิมพ์ S

ใช้สำหรับให้โปรแกรมคำนวณหาค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยใช้ข้อมูลที่ป้อนใน
DATA MODE

3. RESULT MODE เรียกใช้โดยพิมพ์ R

ใช้สำหรับให้โปรแกรมแสดงข้อมูลที่คำนวณได้จาก SOLUTION MODE ให้ผู้
ใช้งานทราบ หน้าจอภายหลังจากเรียกใช้ RESULT MODE แล้ว จะแสดงได้ดังรูปที่

6-10

SHEETPILE DESIGN
KING MONGKUT INSTUTUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

=====

RESULT
=====

I = DATA INPUT
M = MOMENT
R = REACTION
D = DISPLACEMENT
S = SUMMARY
Q = QUIT

=====> SELECT :

รูปที่ 6-10 แสดงหน้าจอภายหลังจากเรียกใช้ RESULT MODE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 6-10 จะเห็นว่าเราสามารถจะดูข้อมูลได้หลายชนิด ดังนี้

I = DATA INPUT

= ข้อมูลที่เราป้อนเข้าไป

M = MOMENT (TONS-M)

โมเมนต์ของชิ้นส่วนต่าง ๆ (ตัน-เมตร)

R = REACTION (KG)

= แรงปฏิกิริยาหรือแรงเฉือนที่ NODE ต่าง ๆ (กก.)

D = DISPLACEMENT (M)

= ค่าการเคลื่อนตัวที่ NODE ต่าง ๆ (ม.)

S = SUMMARY

= สรุปผลการคำนวณเกี่ยวกับการเลือกใช้ SHEET PILE

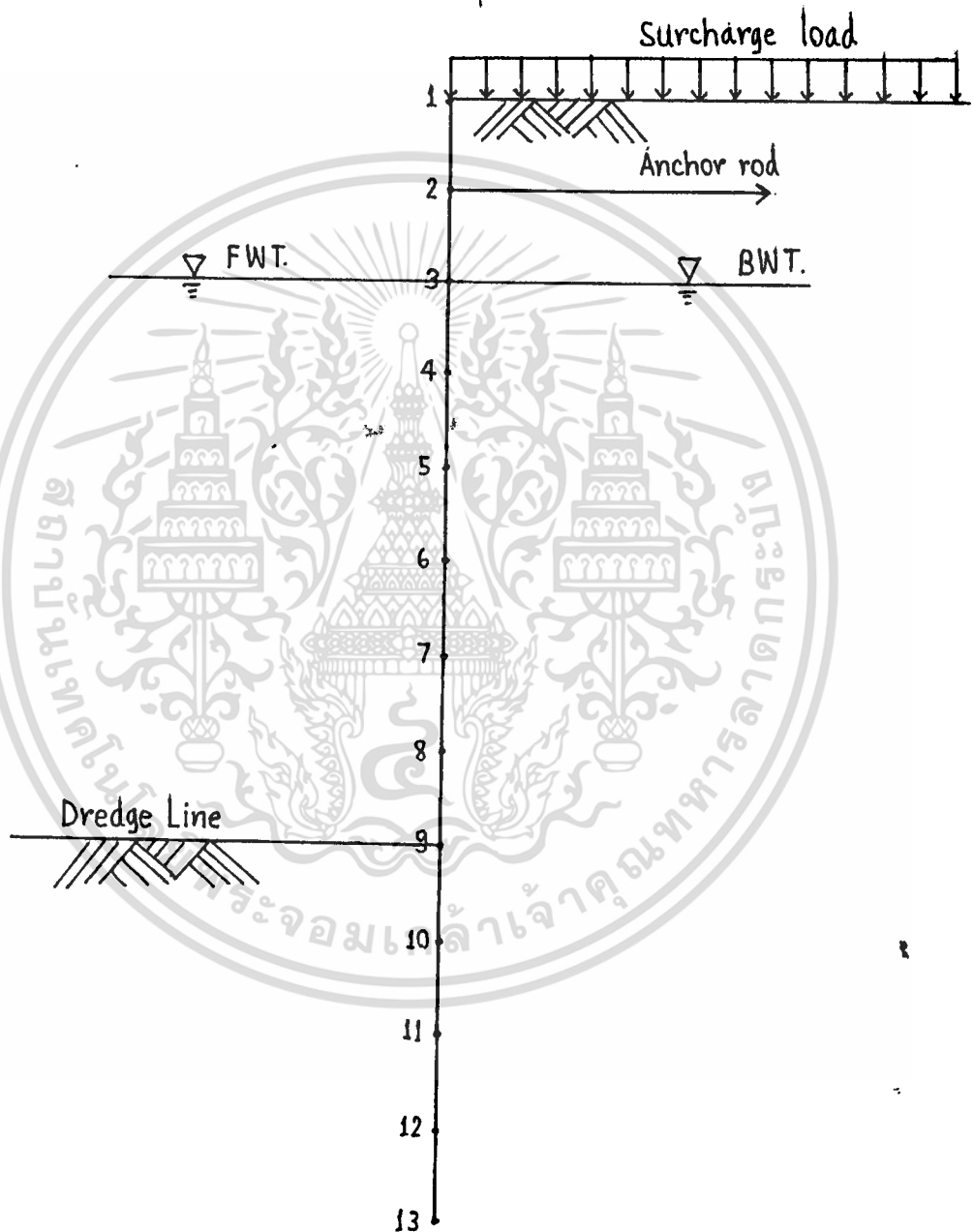
Q = QUIT

= ออกจาก RESULT MODE

4. QUIT PROGRAM เรียกใช้โดยพิมพ์ Q

ใช้สำหรับออกจากโปรแกรม เมื่อการทำงานทั้งหมดเสร็จเรียบร้อยแล้ว

2. ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้โปรแกรม



รูปที่ 6-11 ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนด P-X coding ดังในรูปที่ 6-11

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

$$\phi = 30^\circ$$

$$c = 0 \text{ ตัน/ตร.ม.}$$

$$\gamma(w) = 1.9 \text{ ตัน/ลบ.ม.}$$

$$\text{surcharge load} = 2.5 \text{ ตัน/ตร.ม.}$$

$$\text{ระดับน้ำด้านหน้า} = \text{ระดับน้ำด้านหลัง} = \text{node ที่ 3}$$

จากตารางที่ 6.2 ($\phi = 30^\circ$) ได้

$$N_c = 30.13$$

$$N_q = 18.4$$

$$N_\gamma (N_w) = 15.1$$

$$A_s = 40(cN_c + 0.5wN_w) = 271.8 \text{ ตัน/ตร.ม.}$$

$$B_s = 40(wN_q) = 662.4 \text{ ตัน/ตร.ม.}$$

Anchor rod

-เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม.

-พื้นที่หน้าตัด = 0.002 ตร.ม.

-ระยะห่างระหว่าง anchor rod = 2 ม.

-ความยาวของ anchor rod = 10 ม.

-มุมที่ anchor rod ทำกับแนวนอน = 0°

-ตำแหน่งของ anchor rod อยู่ที่ node 2

ชนิดของ sheet pile ใช้ชนิด PZ27

ผลลัพธ์จากการคำนวณ

SHEETPILE DESIGN
KING MONGKUT INSTUTUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ELEMENT	LENGTH (M.)	INERTIA (M ⁴ .)	PRESSURE (Tons.)
1	1.00	0.00025	0.833
2	1.00	0.00025	1.467
3	1.00	0.00025	2.100
4	1.00	0.00025	2.400
5	1.00	0.00025	2.700
6	1.00	0.00025	3.000
7	1.00	0.00025	3.300
8	1.00	0.00025	3.600
9	1.30	0.00025	3.900
10	1.30	0.00025	0.000
11	1.30	0.00025	0.000
12	1.30	0.00025	0.000

==== PRESS ENTER TO CONTINUE ====

SHEETPILE DESIGN
KING MONGKUT INSTUTUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ELEMENT	MOMENT.1 (Tons.-M.)	MOMENT.2 (Tons.-M.)
1	0.000	0.522
2	-0.522	-7.234
3	7.234	-12.945
4	12.945	-16.257
5	16.257	-16.869
6	16.869	-14.482
7	14.482	-8.795
8	8.795	0.492
9	-0.492	10.803
10	-10.803	9.349
11	-9.349	3.355
12	-3.355	0.000

==== PRESS ENTER TO CONTINUE ====

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHEETPILE DESIGN
KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

NODE	SPRING FORCE (Tons.)	PRESSURE (Tons.)
1	-0.0000	0.5222
2	9.7446	1.4665
3	0.0000	2.0442
4	0.0000	2.3998
5	0.0000	2.6997
6	0.0000	2.9997
7	0.0000	3.2997
8	0.0000	3.5996
9	4.5547	3.1997
10	9.0506	0.0000
11	3.4919	0.0000
12	-2.0296	0.0000
13	0.0000	0.0000

==== PRESS ENTER TO CONTINUE ====

SHEETPILE DESIGN
KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

NODE	ROTATION. (RADS.)	DEFLECTION. (M.)
1	0.0087	-0.0038
2	0.0087	0.0049
3	0.0080	0.0134
4	0.0060	0.0205
5	0.0031	0.0251
6	-0.0002	0.0266
7	-0.0033	0.0248
8	-0.0057	0.0202
9	-0.0065	0.0139
10	-0.0050	0.0061
11	-0.0024	0.0013
12	-0.0008	-0.0005
13	0.0000	0.0000

==== PRESS ENTER TO CONTINUE ====

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SHEETPILE DESIGN
KING MONGKUT INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

=====

DEPTH OF EMBEDMENT BELOW DREDGE LINE = 5.20 M.
SHEET PILE USE STEEL TYPE A328
APPLIED FORCES = 22.231 Tons. SPRING FORCE = 24.812 Tonâ
REQUIREMENT STRESS OF ANCHOR ROD = 974.456 ksc.

==== PRESS ENTER TO CONTINUE ====

จากผลการคำนวณสรุปได้ดังนี้

ใช้ Embedment depth = 5.20 ม.

ใช้ Sheet pile ชนิด PZ27 เหล็กมาตรฐาน A328

ความเค้นใน anchor rod = 974.464 ksc. < 2400 ksc. O.K.

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุป

จากการทำโครงการพิเศษ เรื่อง การวิเคราะห์และออกแบบ Sheet Pile โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ คณะผู้จัดทำได้เขียนโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ออกแบบ Sheet Pile ซึ่งโปรแกรมนี้จะใช้งานได้สำหรับ Cantilever Sheet Pile และ Anchored Sheet Pile และการใช้งานโปรแกรมจะต้องป้อนค่าตำแหน่งของ node, ข้อมูลดิน, ข้อมูลของ Sheet Pile และข้อมูลของ Anchor rod เข้าไป และโปรแกรมจะทำการคำนวณหาแรงดันของดิน, ความดัน, โมเมนต์, แรงเฉือนที่ node ต่าง ๆ, และแรงใน Anchor rod ออกมา ซึ่งก็ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ แต่ในการใช้งานทุกครั้งจะต้องป้อนข้อมูลใหม่ทั้งหมด ทำให้ใช้เวลาในการป้อนข้อมูลเป็นเวลานาน ดังนั้นถ้าได้รับการพัฒนาโปรแกรมต่อไปจากผู้ที่สนใจก็จะประหยัดเวลาในการใช้งานทั้งหมดได้

ข้อเสนอแนะ

1. ก่อนการใช้งานโปรแกรม ผู้ใช้งานควรจะปฏิบัติดังนี้
 - 1.1 ศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรมในบทที่ 6 ให้เข้าใจก่อน
 - 1.2 ก่อนทำการ Solution ควรตรวจสอบข้อมูลที่ป้อนเข้าไปทั้งหมดว่าถูกต้องหรือไม่ ถ้ามีข้อผิดพลาดต้องแก้ไขให้ถูกต้องก่อนทำการ Solution เพราะว่าเมื่อทำการ Solution แล้ว เราจะไม่สามารถแก้ไขข้อมูลเพื่อ Solution ใหม่ได้
 - 1.3 ในการป้อนค่าหน่วยน้ำหนักของดินให้ใช้ค่าหน่วยน้ำหนักตามปรกติ(ไม่ต้องลบค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ) แต่ในการหาค่า A_s และ B_s ให้ใช้ค่าหน่วยน้ำหนักของดินจมน้ำ (หน่วยน้ำหนักของดินลบด้วยค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำ)
2. โปรแกรมนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านเวลาในการทำโครงการนี้ ดังนั้นเมื่อมีผู้สนใจพัฒนาโปรแกรมต่อไป ทางคณะผู้จัดทำขอให้ข้อเสนอแนะดังนี้
 - 2.1 ควรจะมีการจัดการข้อมูลที่ป้อน โดยควรจัดเขียนเป็น Data file เพื่อที่จะสะดวกในการเรียกข้อมูลมาแก้ไขในการใช้งานครั้งต่อไป ทำให้ประหยัดเวลาการทำงานได้มากยิ่งขึ้น
 - 2.2 ควรจัดทำระบบ Graphic เพื่อแสดงผลลัพธ์ เช่น โมเมนต์, ระยะการเคลื่อนตัว, ฯลฯ เพื่อให้เห็นผลลัพธ์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ และต่อวงการวิศวกรรมต่อไป

บรรณานุกรม

1. Bowles J.E. , Foundation Analysis and Design, 4th Edition
McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS
2. มณเฑียร กังคศิเทียม , กลศาสตร์ของดินคำนวณวิศวกรรม , พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ. 2535
สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
3. คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
ในพระบรมราชูปถัมภ์ , การสัมมนาทางวิชาการเรื่อง การออกแบบและก่อสร้าง
SHEET PILE , 26 - 27 พฤศจิกายน พ.ศ.2530 , วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
4. มานะ อภิพัฒนะมนตรี . ปฐพีและฐานราก , พิมพ์ครั้งที่ 3 พ.ศ. 2533
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
5. บุญเลิศ เอี่ยมทัศนาศา , ยืน ภู่วรรณ , สมนึก คีรีโต , โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาซี ,
พิมพ์ พ.ศ. 2534 , บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด
6. ศิววัฒน์ สีวะบวร . พรชัย จักรธำรงค์ . จิรศักดิ์ ชัยวิริยะกุล , การประยุกต์ใช้งานภาษาซี
ซี , พิมพ์ พ.ศ. 2536 , บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/* function input */
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <bios.h>
#include <dos.h>
#include <STDIO.H>
#include <math.h>

#define TITLE "KING MONGKUT INSTUTUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG"

void element();
void data_menu();
void data();
void solution();
void output();
void logo();
void menu();
void keypressed();
void readi();
void head();
void readf();
void anchor();
void ssheet();
void factor();
void load_data();
void node_data();

typedef double stf[401],pres[61];
typedef int npdata[31][5];

npdata npe;

double xhold,sump,sum;

double xiner[32],stress,h[32],press[32],sprng[32],sk[32],spgforc[32];

stf stiff;

pres p,psave;

double esais[31][9],easat[5][5],ea[5][3],es[3][3],esat[3][5];

double asprg[32],moment[32][3],astress;

int i,j,k,nmpl,anode,number;

char ch;

int jsoil,nabov,nbelo,np,nm;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

double e,xmax,redfac,conv,depinc,xi,spac,area;

double as,bs,sect,w,s,c,a,demb;

int jcoun,act,icoun,ncyc,icoun,lcoun,ysize,eqddel;

main()

{ /* MAIN */

```

```

int jj;

/* PROGRAM */

e=20000000.0;

redfac=0.9;

xmax=0.1;

conv=0.00025;

depinc=0.3;

logo();

menu();

for(i=0;i<=1;i++)
{
ch = getchar();
getchar();
if(ch=='d' || ch=='D')
{
data_menu();
data();
menu();

np = (nm+1)*2;

jtsoil= nabov+1;

demb=0.0;

for(jj=jtsoil;jj<=nm;jj++)
demb=demb+h[jj];

i=0;
}
else if(ch=='s' || ch=='S')
{
solution();

clrscr();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง **printf("SOLUTION COMPLETE");** แจ้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(20,24);
printf("==== PRESS ENTER TO CONTINUE ====");
getchar();
menu();
i=0;
}
else if(ch=='r' || ch=='R')
{
output();
menu();
i=0;
}
else if(ch=='q' || ch=='Q')
{
clrscr();
printf("THANK YOU TO USE THIS PROGRAM");
i=10;
}
else
{
gotoxy(31,20);
putchar('\007');
i=0;
}
}
}
void data_menu()
{
int i;
char ch;
clrscr();
gotoxy(5,5);
for(i=1;i<=70;i++)
putchar('=');
gotoxy(17,4);
printf("%s",TITLE);
gotoxy(31,3);

```

```

printf("SHEETPILE DESIGN");

gotoxy(35,7);

printf("INPUT DATA");

gotoxy(35,8);

printf("=====");

gotoxy(30,10);

printf("N = NODE DATA");

gotoxy(30,11);

printf("E = ELEMENT DATA");

gotoxy(30,12);

printf("S = SELECT SHEET PILE");

gotoxy(30,13);

printf("A = ANCHOR ROD");

gotoxy(30,14);

printf("L = LOAD DATA");

gotoxy(30,15);

printf("F = CHANGE FACTOR");

gotoxy(30,16);

printf("Q = QUIT");

gotoxy(15,20);

printf("====> SELECT = ");

}

void data()
{
    int i,j,k,l;
    char ch;
    for(i=1;i<=2;i++)
    {
        ch=getchar();getchar();
        if(ch=='n'||ch=='N')
        {
            head();
            node_data();
            data_menu();

            i=1;

```

```

{
    head();
    element();
    data_menu();
    i=1;
}
else if(ch=='g'&&lch=='S')
{
    head();
    sheet();
    data_menu();
    i=1;
}
else if(ch=='a'&&lch=='A')
{
    head();
    anchor();
    data_menu();
    i=1;
}
else if(ch=='l'&&lch=='L')
{
    head();
    load_data();
    data_menu();
    i=1;
}
else if(ch=='f'&&lch=='F')
{
    head();
    factor();
    data_menu();
    i=1;
}
else if(ch=='q'&&lch=='Q')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

i=5;

```

    }
    else
    {
        putchar('\007');
        gotoxy(31,20);
        i=1;
    }
}
}

void anchor()
(
    char ch;
    int i,j;
    double n,length;
    n=0.0;
    anode=0;
    for(i=1;i<=31;i++)
        asprg[i]=0.0;
    area=spac=length=0.0;
    gotoxy(35,7);
    printf("ANCHOR ROD");
    gotoxy(35,8);
    printf("=====");
    gotoxy(20,10);
    printf("N = NUMBER OF ANCHOR ROD      [%2d]",number);
    gotoxy(20,11);
    printf("  (0 FOR CANTILEVER SHEET PILE)");
    gotoxy(20,12);
    printf("  (1 FOR ANCHORED SHEET PILE)");
    gotoxy(20,13);
    printf("Q = QUIT");
    gotoxy(5,22);
    printf("=====> SELECT : ");
    for(i=1;i<=2;i++)
    (

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ `ch = getch();getch();` เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น `if(ch=='n\lch=='N')` อีเมล: info@mcbook.com ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,21);
printf("=====");
gotoxy(10,22);
printf("NUMBER OF ANCHOR ROD = ");readi(34,22,&number);
gotoxy(5,23);
printf("=====");
gotoxy(5,21);
clrscr();
gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,23);
clrscr();
gotoxy(20,10);
printf("N = NUMBER OF ANCHOR ROD      [%2d]",number);
for(j=1;j<=number;j++)
{
gotoxy(20,15);
printf("NUMBER %d" j);
gotoxy(20,16);
printf("SECTION AREA OF ANCHOR ROD  [%5.3lf M^2.] = ",area);
readf(66,16,&area);
gotoxy(20,17);
printf("SPACING OF ANCHOR ROD      [%5.2lf M.] = ",spac);
readf(66,17,&spac);
gotoxy(20,18);
printf("LENGTH OF ANCHOR ROD      [%5.2lf M.] = ",length);
readf(66,18,&length);
gotoxy(20,19);
printf("SLOP WITH HORIZONTAL      [%5.2lf] = ",n);
readf(66,19,&n);
gotoxy(20,20);
printf("NODE ANCHOR ROD      [%2d] = ",anode);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ในการนำไปใช้

```

readi(66,20,&anode);
asprg[anode] = (area*e*cos((n/180)*3.141592654))/(spac*length);

```



```

gotoxy(31,12);
printf("4. SECTION PZ22");
gotoxy(31,13);
printf("5. SECTION PS31");
gotoxy(31,14);
printf("6. SECTION PS27.5");
gotoxy(31,15);
printf("7. SECTION PSA23");
gotoxy(31,16);
printf("8. QUIT");
gotoxy(5,20);
printf("=====> SELECT : ");
for(i=1;i<=2;i++)
{
    ch = getch();getch();
    if(ch=='1')
    {
        weight = 191;
        dist= 0.500;
        sec = 0.001632;
        iner = 0.00033523;
        gotoxy(5,22);
        printf("WEIGHT = %5.2lf Kg./M^2. DRIVING DISTANCE = %4.3lf M.",
weight,dist);
        gotoxy(5,23);
        printf("SECTION MODULUS = %e M^3. MOMENT OF INERTIA = %e
M^4.",sec,iner);
        gotoxy(21,20);
        clrscr();
        gotoxy(21,20);
        i=1;
    }
    else if(ch=='2')
    {
        weight= 167;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งสงวนลิขสิทธิ์เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

iner= 0.0002837;
gotoxy(5,22);
printf("WEIGHT = %5.2lf Kg/M^2. DRIVING DISTANCE = %4.3lf M.",
weight,dist);
gotoxy(5,23);
printf("SECTION MODULUS = %e M^3. MOMENT OF INERTIA = %e
M^4.",sec,iner);
gotoxy(21,20);
clrscr();
gotoxy(21,20);
i=1;
}
else if(ch=='3')
{
weight= 129;
dist= 0.460;
sec= 0.000742;
iner= 0.000115;
gotoxy(5,22);
printf("WEIGHT = %5.2lf Kg/M^2. DRIVING DISTANCE = %4.3lf M.",
weight,dist);
gotoxy(5,23);
printf("SECTION MODULUS = %e M^3. MOMENT OF INERTIA = %e
M^4.",sec,iner);
gotoxy(21,20);
clrscr();
gotoxy(21,20);
i=1;
}
else if(ch=='4')
{
weight= 105;
dist=0.560;
sec= 0.000542;
iner= 0.00006439;
gotoxy(5,22);

```

```

printf("WEIGHT = %5.2lf Kg/M^2. DRIVING DISTANCE = %4.3lf M.",
weight,dist);
gotoxy(5,23);
printf("SECTION MODULUS = %e M^3. MOMENT OF INERTIA = %e
M^4.",sec,iner);
gotoxy(21,20);
clrscr();
gotoxy(21,20);
i=1;
}
else if(ch=='5')
{
weight= 148;
dist= 0.500;
sec= 0.000054;
iner= 0.000002206;
gotoxy(5,22);
printf("WEIGHT = %5.2lf Kg/M^2. DRIVING DISTANCE = %4.3lf M.",
weight,dist);
gotoxy(5,23);
printf("SECTION MODULUS = %e M^3. MOMENT OF INERTIA = %e
M^4.",sec,iner);
gotoxy(21,20);
clrscr();
gotoxy(21,20);
i=1;
}
else if(ch=='6')
{
weight= 131;
dist=0.50;
sec= 0.000054;
iner= 0.000002206;
gotoxy(5,22);
printf("WEIGHT = %5.2lf Kg/M^2. DRIVING DISTANCE = %4.3lf M.",
weight,dist);
gotoxy(5,23);

```

```

printf("SECTION MODULUS = %e M^3. MOMENT OF INERTIA = %e
M^4.",sec,iner);
    gotoxy(21,20);
    clrscr();
    gotoxy(21,20);
    i=1;
}
else if(ch=='7')
{
    weight= 110;
    dist=0.405;
    sec= 0.000052;
    iner= 0.000002290;
    gotoxy(5,22);
    printf("WEIGHT = %5.2lf Kg/M^2. DRIVING DISTANCE = %4.3lf M.",
weight,dist);
    gotoxy(5,23);
    printf("SECTION MODULUS = %e M^3. MOMENT OF INERTIA = %e
M^4.",sec,iner);
    gotoxy(21,20);
    clrscr();
    gotoxy(21,20);
    i=1;
}
else if(ch=='8')
    i=5;
else
{
    putchar('\007');
    gotoxy(21,20);
    clrscr();
    gotoxy(21,20);
    i=1;
}
}

```

```

}

void element()
{
    int k,j,l;
    k=0;
    gotoxy(10,7);
    printf(">INPUT ELEMENT LENGTH");
    gotoxy(15,9);
    printf("1. PRESS <RETURN> AFTER INPUT DATA");
    gotoxy(15,10);
    printf("2. PRESS <ELEM # ZERO> TO TERMINATE THIS INPUT\n");
    for(j=1;j<=78;j++)
        putchar('=');
    gotoxy(30,12);
    printf("ELEMENT          LENGTH(M.)");
    gotoxy(5,13);
    printf("PREVIOUS ENTRY :");
    gotoxy(5,14);
    printf(">CURRENT ENTRY \n");
    for(j=1;j<=78;j++)
        putchar('=');
    for(l=1;l<=2;l++)
    {
        gotoxy(33,13);
        printf("%2d          %3.2lf",k,h[k]);
        readi(34,14,&k);
        if(k==0) l=3;
        else if(k>nm)
        {
            putchar('\007');
            gotoxy(34,14);
            clrscr();
            l=1;
        }
        else

```

```

        gotoxy(34,14);
        clrhol();
        l=1;
    }
}

void node_data()
{
    int i;
    char ch;
    gotoxy(35,7);
    printf("NODE DATA");
    gotoxy(35,8);
    printf("=====");
    gotoxy(20,10);
    printf("B = NUMBER OF NODE ABOVE DREDGE LINE [%2d]",nabov);
    gotoxy(20,11);
    printf("U = NUMBER OF NODE UNDER DREDGE LINE [%2d]",nbelo);
    gotoxy(20,13);
    printf("Q = QUIT");
    gotoxy(5,22);
    printf("====>SELECT : ");
    for(i=1;i<=2;i++)
    {
        ch = getch();getch();
        if(ch=='b'||ch=='B')
        {
            gotoxy(5,22);
            clrhol();
            gotoxy(5,21);
            printf("=====");
            gotoxy(10,22);
            printf("NUMBER OF NODE ABOVE DREDGE LINE = ");readi(47,22,&nabov);
            gotoxy(5,23);
            printf("=====");
            gotoxy(5,21);
            clrhol();
            gotoxy(5,21);
            printf("=====");
            gotoxy(10,22);
            printf("NUMBER OF NODE UNDER DREDGE LINE = ");readi(47,22,&nbelo);
            gotoxy(5,23);
            printf("=====");
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(5,22);
clrcol();
gotoxy(5,23);
clrcol();
gotoxy(5,22);
printf("====>SELECT : ");
gotoxy(20,10);
printf("B = NUMBER OF NODE ABOVE DREDGE LINE [%2d]",nabov);
gotoxy(20,22);
i=1;
}
else if(ch=='u'||ch=='U')
{
gotoxy(5,22);
clrcol();
gotoxy(5,21);
printf("====");
gotoxy(10,22);
printf("NUMBER OF NODE UNDER DREDGE LINE = ");readi(47,22,&nbelo);
gotoxy(5,23);
printf("====");
gotoxy(5,21);
clrcol();
gotoxy(5,22);
clrcol();
gotoxy(5,23);
clrcol();
gotoxy(5,22);
printf("====>SELECT : ");
gotoxy(20,11);
printf("U = NUMBER OF NODE UNDER DREDGE LINE [%2d]",nbelo);
gotoxy(20,22);
i=1;
}
else if(ch=='q'||ch=='Q')

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อี else ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {
        putchar('\007');
        gotoxy(20,22);
        i=1;
    }
}

nm=nabov+nbelo;
}

void factor()
{
    int i;
    char ch;
    gotoxy(35,7);
    printf("FACTOR");
    gotoxy(35,8);
    printf("====");
    gotoxy(20,10);
    printf("R = DREDGE LINE REDUCE FACTOR      [%3.2lf]",redfac);
    gotoxy(20,11);
    printf("C = CONVERGENCE FACTOR              [%7.5lf]",conv);
    gotoxy(20,12);
    printf("M = MAXIMUM LINEAR SOIL DEFORMATION      [%3.2lf M.]",xmax);
    gotoxy(20,13);
    printf("D = DEPTH INCREASEMENT                   [%3.2lf M.]",depino);
    gotoxy(20,14);
    printf("E = MODULUS OF ELASTICITY OF SHEET PILE  [%10.2lf kBo.]",e/10);
    gotoxy(20,15);
    printf("Q = QUITE");
    gotoxy(5,22);
    printf("====>SELECT : ");
    for(i=1;i<=2;i++)
    {
        ch = getch();getch();
        if(ch=='\r'||ch=='R')
        {
            gotoxy(5,22);
            clrscr();
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(5,23);
printf("=====");
gotoxy(5,21);
clrscr();
gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,23);
clrscr();
gotoxy(5,22);
printf("====>SELECT : ");
gotoxy(20,13);
printf("D = DEPTH INCREASEMENT           [%3.2lf M.]",depinc);
gotoxy(20,22);
i=1;
}
else if(ch=='e'||ch=='E')
{
gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,21);
printf("=====");
gotoxy(10,22);
printf("MODULUS OF SHEETPILE = ");readf(34,22,&o);
o=o*10;
gotoxy(5,23);
printf("=====");
gotoxy(5,21);
clrscr();
gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,23);
clrscr();
gotoxy(5,22);
printf("====>SELECT : ");
gotoxy(20,14);
printf("E = MODULUS OF ELASTICITY OF SHEET PILE [%10.2lf ksc]",e/10.0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในกรณีที่มีการนำเอกสารนี้ไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

printf("Z = Bs (Bs = 40(wNq)           [%7.2lf Tons/M^2.]",bs);
gotoxy(20,19);
printf("Q = QUITE");
gotoxy(5,22);
printf("====> SELECT : ");
for(i=1;i<=2;i++)
{
    ch = getchar();getchar();
    if(ch=='\n'ch=='A')
    {
        gotoxy(5,22);
        clrscr();
        gotoxy(5,21);
        printf("=====");
        gotoxy(10,22);
        printf("As = ");readf(17,22,&as);
        gotoxy(5,23);
        printf("=====");
        gotoxy(5,21);
        clrscr();
        gotoxy(5,22);
        clrscr();
        gotoxy(5,23);
        clrscr();
        gotoxy(5,22);
        printf("====>SELECT : ");

        gotoxy(20,16);
        printf("A = As (As = 40(cNc + 0.5wNw)   [%7.2lf Tons/M^2.]",as);
        gotoxy(20,22);
        i=1;
    }
    else if(ch=='\n'ch=='Z')
    {
        gotoxy(5,22);
        clrscr();
        gotoxy(5,21);
        printf("=====");

```

```

gotoxy(10,22);
printf("Bs = ");readf(16,22,&bs);

gotoxy(5,23);
printf("=====");

gotoxy(5,21);
clrscr();

gotoxy(5,22);
clrscr();

gotoxy(5,23);
clrscr();

gotoxy(5,22);
printf("====>SELECT : ");
gotoxy(20,17);
printf("Z = Bs (Bs = 40(wNq) [%7.2lf Tons/M^2.]",bs);
gotoxy(20,22);
i=1;
}
else if(ch=='r'&&ch=='r')
{
gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,21);
printf("=====");
gotoxy(10,22);
printf("ANGLE OF INTERNAL FRICTION = ");readf(40,22,&a);
gotoxy(5,23);

printf("=====");

gotoxy(5,21);
clrscr();

gotoxy(5,22);
clrscr();

gotoxy(5,23);
clrscr();

gotoxy(5,22);

printf("====>SELECT : ");
gotoxy(20,10);
printf("R = ANGLE OF INTERNAL FRICTION [%5.2lf]",a);

```

```

gotoxy(20,22);
i=1;
}
else if(ch=='w'&&ch=='W')
{
gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,21);
printf("=====");
gotoxy(10,22);
printf("UNITS WEIGHT OF SOIL = ");readf(34,22,&w);
gotoxy(5,23);
printf("=====");
gotoxy(5,21);
clrscr();
gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,23);
clrscr();
gotoxy(5,22);
printf("====>SELECT : ");
gotoxy(20,11);
printf("w = UNITS WEIGHT OF SOIL      [%7.2lf Tons/M^2.]",w);
gotoxy(20,22);
i=1;
}
else if(ch=='s'&&ch=='S')
{
gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,21);
printf("=====");
gotoxy(10,22);
printf("SURCHARGE LOAD = ");readf(28,22,&s);
gotoxy(5,23);
printf("=====");
gotoxy(5,21);

```

```

    clrcol();
    gotoxy(5,22);
    clrcol();
    gotoxy(5,23);
    clrcol();
    gotoxy(5,22);
    printf("====>SELECT : ");
    gotoxy(20,12);
    printf("S = SURCHARGE LOAD           [%7.2lf Tons/M^2.]",s);
    gotoxy(20,22);
    i=1;
}
else if(ch=='f' || ch=='F')
{
    gotoxy(5,22);
    clrcol();
    gotoxy(5,21);
    printf("-----");
    gotoxy(10,22);
    printf("FRONT WALL WATER LEVEL AT NODE = ");readi(44,22,&fwt);
    gotoxy(5,23);
    printf("-----");
    gotoxy(5,21);
    clrcol();
    gotoxy(5,22);
    clrcol();
    gotoxy(5,23);
    clrcol();
    gotoxy(5,22);
    printf("====>SELECT : ");
    gotoxy(20,13);
    printf("F = FRONT WALL WATER LEVEL AT NODE [%2d]",fwt);
    gotoxy(20,22);
    i=1;
}

```

```

gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,21);
printf("=====");
gotoxy(10,22);
printf("BACK WALL WATER LEVEL AT NODE = ");readi(43,22,&bw1);
gotoxy(5,23);
printf("=====");
gotoxy(5,21);
clrscr();
gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,23);
clrscr();
gotoxy(5,22);
printf("====>SELECT : ");
gotoxy(20,14);
printf("B = BACK WALL WATER LEVEL AT NODE  [%2d]",bw1);
gotoxy(20,22);
i=1;
}
else if(ch=='c'||ch=='C')
{
gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,21);
printf("=====");
gotoxy(10,22);
printf("COHESION OF SOIL = ");readf(30,22,&c);
gotoxy(5,23);
printf("=====");
gotoxy(5,21);
clrscr();
gotoxy(5,22);
clrscr();
gotoxy(5,23);
clrscr();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ดูได้โปรดอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void menu()
```

```
{ /*MAIN MENU*/
```

```
int i;
```

```
clrscr();
```

```

gotoxy(5,5);
for(i=1;i<=70;i++)
putchar('=');
gotoxy(17,4);
printf("%s",TITLE);
gotoxy(31,3);
printf("SHEETPILE DESIGN");
gotoxy(35,7);
printf("MAIN MENU");
gotoxy(35,8);
printf("=====");
gotoxy(30,10);
printf("D = DATA MODE");
gotoxy(30,11);
printf("S = SOLUTION MODE");
gotoxy(30,12);
printf("R = RESULT MODE");
gotoxy(30,13);
printf("Q = QUIT PROGRAM");
gotoxy(15,20);
printf("====> SELECT = ");
}

void logo()
{ /* LOGO */
int i;
clrscr();
gotoxy(5,5);
for(i=1;i<=70;i++)
putchar('=');
gotoxy(14,4);
printf("%s",TITLE);
gotoxy(29,7);
printf("FACULTY OF ENGINEER");
gotoxy(20,9);
printf("DEPARTMENT OF CONSTRUCTION TECHNOLOGY");
gotoxy(31,11);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf("SPECIAL PROJECT");
gotoxy(15,13);
printf("BACHELOR OF ENGINEERING (CONSTRUCTION ENGINEERING)");
gotoxy(25,15);
printf("ADVISER MR.AMNOUY PANITKULPONG");
gotoxy(20,17);
printf("BY SONGLOD SAE-UENG CODE 34103124");
gotoxy(20,19);
printf("BY WIRACH CHATWONGVAN CODE 34106334");
gotoxy(32,21);
printf("DATE : 03/04/95");
gotoxy(25,23);
printf("=== PRESS ENTER TO CONTINUE ===\n");
printf(" ");
for(i=1;i<=70;i++)
putchar('=');
getchar();
}
void keypressed()
{
int i;
for(i=1;i<=2;i++)
{
if(bioskey(1)){
else {i=0;}
}
}
}

void readi(int x,int y,int *data)
{
char ch;
char string[20];
int count,i,check;
count = 0;
check =0;
gotoxy(x,y);
for(i=1;i<=2;i++)

```

```

{
    ch = getchar();
    if(ch=='\n')
        i=2;
    else
    {
        if((ch>='0')&&(ch<='9'))
        {
            string[count] = ch;
            count++;
        }
        else
        {
            check=1;
        }
        i=0;
    }
}
string[count] = '\0';
if(check==0) *data = atoi(string);
else
{
    putchar('\007');
    gotoxy(x,y);
    clrscr();
    readi(x,y,data);
}
}

```

```

void readf(int x,int y,double *data)

```

```

{
    char ch;
    char string[20];
    int count,i,check;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ หากมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(x,y);
for(i=1;i<=2;i++)
{
    ch = getchar();
    if(ch=='\n')
        i=2;
    else
    {
        if((ch>='0')&&(ch<='9'))
        {
            string[count] = ch;
            count++;
        }
        else if(ch=='.')
        {
            string[count] = ch;
            count++;
        }
        else
        {
            check=1;
        }
        i=0;
    }
}
string[count] = '\0';
if(check==0) *data = atof(string);
else
{
    putchar('\007');
    gotoxy(x,y);
    clrscr();
    readf(x,y,data);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    int retval=0;
int PART_1()
{
    if((sum!=0)&&(sump!=0)&&((sum)>=(sump))) return -1;
    input();
    if (jcoun <=1) load();
    spring();
    return 2;
}
int PART_2()
{
    bstif();
    modif();
    act = 4;
    solv1();
    if (ncyc <= 1) return 4;
    if (icoun > 1) return 3;
    conver();
    if ((jcoun > 1) && (jcoun <= ncyc)) return 1;
    return 3;
}
int PART_3()
{
    check();
    if(sump<0) sump=-sump;
    if ((icoun > 0) && (icoun <= ncyc)) return 2;
    return 4;
}
int PART_4()
{
    forc();
    if(sum<0) sum=-sum;
    return -1;
}
void solution()
{
    /* MAIN */
    ncyc=10;

```

```

        press[i] = press[fwl] + ka*(w-1.0)*ht;
    }
}
for(i=1;i<=np;i++)
{
    if(press[i]<0) press[i]=0;
    p[i] = 0;
    psave[i]=0;
}
for(i=1;i<=jtsoil;i++)
{
    m = m+2;
    if(i==1) p[m] = h[1]*(2.0*press[1]+press[2])/6;
    if(i>1) p[m] = h[i-1]*(2.0*press[i]+press[i-1])/6.0
        +h[i]*(2.0*press[i]+press[i+1])/6.0;
    sump = sump + p[m];
}
for(i=1;i<=np;i++)
    psave[i] = p[i];
}
spring()
{
    int m;
    double z;

    nmp1 = nm + 1;
    m = 1;
    for(i=1;i<=nmp1;i++)
    {
        sprng[i] = 0;
        sprng[i] = esprg[m];
        m++;
    }
    z = h[jtsoil];
    sk[jtsoil] = as;
    for(k=jtsoil+1;k<=nmp1;k++)

```

```

isize = np*4;
icoun = 1;
lcoun = 0;
jcoun = 1;
retval = 1;
for(eqddol=0;eqddol<=2;eqddol++)
{
    eqddol--;
    switch(retval)
    {
        case 1:retval = PART_1();break;
        case 2:retval = PART_2();break;
        case 3:retval = PART_3();break;
        case 4:retval = PART_4();break;
        case -1:eqddol = 5;break;
    }
}
test();
input()
{
    double z1,hz,jtm;
    if(jcoun<=1)
    {
        k = 1;
        for(i=1;i<=nmi++)
        {
            npe[i][1] = k;
            npe[i][2] = k+1;
            npe[i][3] = k+2;
            npe[i][4] = k+3;
            xiner[i] = xi;
            k = k +2;
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ใดๆ
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if((sum!=0)&&(sump!=0)&&((sum)>=(sump)))
{}
else
{
    demb = demb + depinc;
    z1 = nm + 1 - jtsoil;
    hz = demb/z1;
    for(i=jtsoil;i<=nm;i++)
        h[i] = hz;
}
}
}
load()
{
    int m;
    double ka,ht,t;
    ht=0.0;
    sump=0;
    m=0;
    t = ((45.0-a/2)/180.0)*3.1414592654;
    ka = tan(t)*tan(t);
    for(i=1;i<=jtsoil;i++)
    {
        if(i==bwt+1) ht=0.0;
        if(i==fwt+1) ht=0.0;
        ht = ht + h[i-1];
        if(i==1)
        {
            press[i] = ka*s-2*c*sqrt(ka);
        }
        else
        {
            if(i<=bwt)
                press[i] = press[1] + ka*w*ht;
            else if((i>bwt)&&(i<=fwt))
                press[i] = press[bwt] + ka*(w-1.0)*ht+1.0*ht;
            else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อวารสารวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        press[i] = press[fwl] + ka*(w-1.0)*ht;
    }
}
for(i=1;i<=np;i++)
{
    if(press[i]<0) press[i]=0;
    p[i] = 0;
    psave[i]=0;
}
for(i=1;i<=jtsoil;i++)
{
    m = m+2;
    if(i==1) p[m] = h[1]*(2.0*press[1]+press[2])/6;
    if(i>1) p[m] = h[i-1]*(2.0*press[i]+press[i-1])/6.0
        +h[i]*(2.0*press[i]+press[i+1])/6.0;
    sump = sump + p[m];
}
for(i=1;i<=np;i++)
    psave[i] = p[i];
}
spring()
{
    int m;
    double z;

    nmp1 = nm + 1;
    m = 1;
    for(i=1;i<=nmp1;i++)
    {
        sprng[i] = 0;
        sprng[i] = asprg[m];
        m++;
    }
    z = h[jtsoil];
    sk[jtsoil] = as;
    for(k=jtsoil+1;k<=nmp1;k++)

```

```

    sk[k] = ss + (bs*z);
    if (k==nmp1) h[k] = 0;
    z = z + h[k];
}
for(k=jtsoil;k<=nm;k++)
{
    if(k==jtsoil)
    {
        sprng[k] = (rodfac*h[k]*(7*sk[k]+6*sk[k+1]-sk[k+2]))/24;
    }
    else
    {
        sprng[k] = h[k]*(sk[k-1]+10.0*sk[k]+sk[k+1])/12;
        if(k==nm)
            sprng[nmp1] = h[k]*(7*sk[k+1]+6*sk[k]-sk[k-1])/24;
    }
}
}
bandm(i)
int i;
{
    int ns1,ns2;
    for(k=1;k<=4;k++)
    {
        ns1 = (npe[i][k]-1)*4;
        for(j=1;j<=4;j++)
        {
            if(npe[i][j] >= npe[i][k])
            {
                ns2 = npe[i][j] - npe[i][k] + 1;
                stiff[ns1+ns2] = stiff[ns1+ns2] + easat[k][j];
            }
        }
    }
}
}
bstif()
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    for(i=1;i<=2;i++)
        for(j=1;j<=4;j++)
        {
            i++;

```



```

int l,ii;
for(i=1;i<=isize;i++)
    stiff[i] = 0.0;
for(ii=1;ii<=nm;ii++)
{
    ea[1][1] = 1.0;
    ea[1][2] = 0.0;
    ea[2][1] = 1.0/h[ii];
    ea[2][2] = 1.0/h[ii];
    ea[3][1] = 0.0;
    ea[3][2] = 1.0;
    ea[4][1] = -1.0/h[ii];
    ea[4][2] = -1.0/h[ii];
    /* BUILD ELEMENT S-MATRIX */
    es[1][1] = 4.0*e*xinor[ii]/h[ii];
    es[1][2] = 0.5*es[1][1];
    es[2][1] = es[1][2];
    es[2][2] = es[1][1];
    /* BUILD SAT MATRIX */
    for(i=1;i<=2;i++)
        for(j=1;j<=4;j++)
            esat[i][j] = 0.0;
    for(i=1;i<=2;i++)
    {
        for(j=1;j<=4;j++)
        {
            for(k=1;k<=2;k++)
                esat[i][j] = esat[i][j]+es[i][k]*ea[j][k];
        }
    }
    /* SAVE ESAT */
    l=0;
    for(i=1;i<=2;i++)
        for(j=1;j<=4;j++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งขอร้องให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        esats[i][l] = esat[i][j];
    }
    for(k=1;k<=4;k++)
        for(j=1;j<=4;j++)
        {
            esat[k][j] = 0.0;
            for(l=1;l<=2;l++)
                esat[k][j] = esat[k][j]+ea[k][l]*esat[l][j];
        }
    bandm(i,esat);
}
}
modif()
{
    int l,ns1;
    nmp1 = nm+1;
    k=1;
    l=2*k;
    for(i=k;i<=nmp1;i++)
    {
        ns1 = (l-1)*4+1;
        stiff[ns1] = stiff[ns1] + sprng[i];
        l=l+2;
    }
}
}

solv1()
{
    int n1,n11,j,nk,m,l,n;
    double b;
    n1 = 1;
    for(n=1;n<=np;n++)
    {
        i=n;
        for(l=2;l<=act;l++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$n1 = (n-1)*act+1;$

```

i++;
if(stiff[n1]!=0)
{
  b = stiff[n1]/stiff[n1];
  j = 0;
  for(k=1;k<=act;k++)
  {
    j++;
    ij=(i-1)*act+j;
    nk=(n-1)*act+k;
    if(stiff[nk]!=0)
      stiff[ij] = stiff[ij]-b*stiff[nk];
  }
  stiff[n1]=b;
  p[i] = p[i]-b*p[n];
}
}
p[n] = p[n]/stiff[n1];
n1 = n1 + act;
}
/* COMPLETE SOLUTION BY BACK SUBSTITUTION */
n=np;
for(i=0;i<=2;i++)
{
  n--;
  if(n>0)
  {
    l=n-1;
    for(k=2;k<=act;k++)
    {
      nk=(n-1)*act+k;
      if(stiff[nk]!=0)
        p[n] = p[n]-stiff[nk]*p[l+k];
    }
    i--;
  }
}
else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่ในสื่อออนไลน์ การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        view();
        i=1;
    }
    else if(ch=='q')
    {
        i=5;
    }
    else
    {
        gotoxy(26,20);
        putchar('\007');
        i=1;
    }
}
}
view()
{
    head();
    gotoxy(36,7);
    printf("RESULT");
    gotoxy(36,8);
    printf("=====");
    gotoxy(33,10);
    printf("I = DATA INPUT");
    gotoxy(33,11);
    printf("M = MOMENT");
    gotoxy(33,12);
    printf("R = REACTION");
    gotoxy(33,13);
    printf("D = DISPLACEMENT");
    gotoxy(33,14);
    printf("S = SUMMARY");
    gotoxy(33,15);
    printf("Q = QUIT");
    gotoxy(10,20);

```

```

printf("====> SELECT : ");
}
summary()
{
double ht;
ht=0;
for(i=jtooil;i<=nm;i++)
{
ht = ht + h[i];
}
gotoxy(10,12);
printf("APPLIED FORCES = %10.3lf Tons. SPRING FORCE = %10.3lf Tons.",(sump),(sum))
;
gotoxy(10,10);
printf("DEPTH OF EMBEDMENT BELOW DREDGE LINE = %5.2lf M.",ht);
if(stross<270)
{
gotoxy(10,11);
printf("SHEET PILE USE STEEL TYPE A328");
}
else if((stross>270)&&(stross<415))
{
gotoxy(10,11);
printf("SHEET PILE USE STEEL TYPE A572");
}
else
{
gotoxy(10,11);
printf("CAN'T SELET STEEL TYPE ,STRESS = %7.3lf ksc.",stross/10);
}
gotoxy(10,13);
printf("REQUIREMENT STRESS OF ANCHOR ROD = %10.3lf ksc.",astross/10);
gotoxy(10,24);
printf("==== PRESS ENTER TO CONTINUE ====");
getchar();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ displacement) ถ้ามีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

i++;
if(stiff[n1]!=0)
{
  b = stiff[n1]/stiff[n1];
  j = 0;
  for(k=1;k<=act;k++)
  {
    j++;
    ij=(i-1)*act+j;
    nk=(n-1)*act+k;
    if(stiff[nk]!=0)
      stiff[ij] = stiff[ij]-b*stiff[nk];
  }
  stiff[n1]=b;
  p[i] = p[i]-b*p[n];
}
}
p[n] = p[n]/stiff[n1];
n1 = n1 + act;
}
/* COMPLETE SOLUTION BY BACK SUBSTITUTION */
n=np;
for(i=0;i<=2;i++)
{
  n--;
  if(n>0)
  {
    l=n-1;
    for(k=2;k<=act;k++)
    {
      nk=(n-1)*act+k;
      if(stiff[nk]!=0)
        p[n] = p[n]-stiff[nk]*p[l+k];
    }
    i--;
  }
}
else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    {
        i = 5;
    }
}
}

```

```

conver()

```

```

{
    double aa,z1;
    int j;

    if(jcoun==1) xhold =0;
    aa = p[2*jtsoil];
    if(aa<0) aa = -aa;
    z1 = aa-xhold;
    if(z1<0) z1=-z1;
    if(z1>conv)
    {
        xhold = aa;
        jcoun=jcoun+1;
    }
    /* RESET P-MATRIX FOR NEXT CYCLE */
    for(i=1;i<=np;i++)
        p[i]=psave[i];
    }
    else
    {
        jcoun = 0;
    }
}

```

```

check()

```

```

{
    int ihold,nmpl;
    double z1,z2,forc;
    if(icoun==1) ihold = lcoun;
    k=jtsoil;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

nmp1=nm+1;
z2 = 2*xmax;
for(i=k;i<=nmp1;i++)
{
    z1 = p[2*i] + xmax;
    if((z1<=0)||(z1>z2))
    {
        forc = -xmax*spring[i];
        psave[2*i] = psave[2*i] + forc;
        sump = sump+forc;
        spring[i]=0;
        lcoun++;
    }
}
/* IF LCOUN <= IHOLD HAS CONVERGED ON THIS CYCLE */
if(lcoun>ihold)
{
    ihold = lcoun;
    icoun++;
    lcoun=0;
}
/* REDEFINE P-MATRIX FROM SAVED LOAD MATRIX */
for(i=1;i<=np;i++)
    p[i] = psave[i];
}
else
    icoun=0;
}
}
for()
{
    int lc, jj, jl, inode, l, ns1, nn /* 11, 11 */;
    double xk /*, soilp1 */;
    for(i=1;i<=np;i++)
        spgforc[i]=0;
    inode = 0;
    sum = 0;
    for(jj=1;jj<=nm;jj++)

```

```

inode = inode +1;
/* ll = 2*inode;
ll = ll-1; */
l=0;
for(k=1;k<=2;k++)
{
    moment[inode][k] = 0;
    for(j=1;j<=4;j++)
    {
        ns1 = npe[j][j];
        l++;
        moment[inode][k] = moment[inode][k] + esatn[j][l]*p[ns1];
    }
}
xk = p[npe[j][2]];
if(xk>xmax) xk=xmax;
spgforc[inode] = xk*spring[inode];
sum = sum + spgforc[inode];
/* soilp1 = xk*sk[inode]; */
}
}
test()
{
    double mmax;
    mmax=0;
    for(i=1;i<=nm;i++)
    {
        if(abs(moment[nm][1])>mmax) mmax=abs(moment[nm][1]);
    }
    stress = mmax/(sect*100000);
    for(i=1;i<=number;i++)
    {
        astress = spgforc[inode]*spac/area;
    }
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ void output() ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    view();
    for(i=1;i<=2;i++)
    {
        ch=getchar();getchar();
        if(ch=='i')
        {
            head();
            data_input();
            view();
            i=1;
        }
        else if(ch=='m')
        {
            head();
            fmoment();
            view();
            i=1;
        }
        else if(ch=='r')
        {
            head();
            reaction();
            view();
            i=1;
        }
        else if(ch=='d')
        {
            head();
            displacement();
            view();
            i=1;
        }
        else if(ch=='s')
        {
            head();
            summary();
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    view();
    i=1;
}
else if(ch=='q')
{
    i=5;
}
else
{
    gotoxy(26,20);
    putchar('\007');
    i=1;
}
}
}
view()
{
    head();
    gotoxy(36,7);
    printf("RESULT");
    gotoxy(36,8);
    printf("=====");
    gotoxy(33,10);
    printf("I = DATA INPUT");
    gotoxy(33,11);
    printf("M = MOMENT");
    gotoxy(33,12);
    printf("R = REACTION");
    gotoxy(33,13);
    printf("D = DISPLACEMENT");
    gotoxy(33,14);
    printf("S = SUMMARY");
    gotoxy(33,15);
    printf("Q = QUIT");
    gotoxy(10,20);

```

```

printf("====> SELECT : ");
}
summary()
{
double ht;
ht=0;
for(i=jtsoil;i<=nm;i++)
{
ht = ht + h[i];
}
gotoxy(10,12);
printf("APPLIED FORCES = %10.3lf Tons. SPRING FORCE = %10.3lf Tons.",(sump),(sum))
;
gotoxy(10,10);
printf("DEPTH OF EMBEDMENT BELOW DREDGE LINE = %5.2lf M.",ht);
if(stress<270)
{
gotoxy(10,11);
printf("SHEET PILE USE STEEL TYPE A328");
}
else if((stress>270)&&(stress<415))
{
gotoxy(10,11);
printf("SHEET PILE USE STELL TYPE A572");
}
else
{
gotoxy(10,11);
printf("CANT SELET STEEL TYPE ,STRESS = %7.3lf ksc.",stress/10);
}
gotoxy(10,13);
printf("REQUIREMENT STRESS OF ANCHOR ROD = %10.3lf ksc.",astress/10);
gotoxy(10,24);
printf("==== PRESS ENTER TO CONTINUE ====");

getchar();
}
displacement()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(20,8);
printf("NODE      ROTATION.      DEFLECTION.");
gotoxy(20,9);
printf("          (RADS.)          (M.)  ");
for(i=1;i<=nm+1;i++)
{
gotoxy(20,10+i);
printf("%2d      %8.4lf      %8.4lf\n",i,p[npo[i][1]],p[npo[i][2]]);
}
gotoxy(20,24);
printf("==== PRESS ENTER TO CONTINUE ====");
getchar();
}
reaction()
{
gotoxy(20,8);
printf("NODE      SPRING FORCE      PRESSURE");
gotoxy(20,9);
printf("          (Tons.)          (Tons.) ");
for(i=1;i<=nm+1;i++)
{
gotoxy(20,10+i);
printf("%2d      %10.4lf      %10.4lf\n",i,spgforc[i],psave[i*2]);
}
gotoxy(20,24);
printf("==== PRESS ENTER TO CONTINUE ====");
getchar();
}
data_input()
{
gotoxy(17,8);
printf("ELEMENT  LENGTH  INERTIA  PRESSURE");
gotoxy(17,9);
printf("          (M.)    (M^4.)    (Tons.) ");
for(i=1;i<=nm;i++)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

gotoxy(17,10+i);
printf("%4d    %4.2lf    %8.5lf    %9.3lf\n",i,h[i],xiner[i],press[i]);
}

gotoxy(20,24);
printf("==== PRESS ENTER TO CONTINUE =====");
getchar();
}

```

```

fmoment()
{
gotoxy(16,8);
printf("ELEMENT    MOMENT.1    MOMENT.2");
gotoxy(16,9);
printf("    (Tons.-M.)    (Tons.-M.)");
for(i=1;i<=nm;i++)
{
gotoxy(16,10+i);
printf("%4d    %10.3lf    %10.3lf\n",i,moment[i][1],moment[i][2]);
}
gotoxy(20,24);
printf("==== PRESS ENTER TO CONTINUE =====");
getchar();
}

```