

โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างกันดิน  
RETAINING STRUCTURES ANALYSIS AND DESIGN PROGRAM



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 50297  
วัน,เดือน,ปี 2 8 เม.ย. 2547

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**RETAINING STRUCTURES ANALYSIS AND DESIGN PROGRAM**



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น <sup>2002</sup> ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ	โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างกันดิน		
นักศึกษา	นายเศรษฐวุฒิ กมลภัทรากูร	รหัสประจำตัว	42010648
	นายอรรถพล เนตรระควสนะ	รหัสประจำตัว	42010689
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.สมเกียรติ ขวัญพุกภัย		

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อ.สุพจน์ ศรีนิล	
อ.สมเกียรติ ขวัญพุกภัย	
อ.ทรงกลด แซ่อึ้ง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

  
(นายสุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 30 เดือน เมษายน พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างกันดิน		
	Retaining Structures Analysis and Design Program		
นักศึกษา	นายเศรษฐวุฒิ กมลภัทรากูร	รหัส	42010648
	นายอรรถพล เนตรระควาสนะ	รหัส	42010689
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.สมเกียรติ ขวัญพุกภัย		
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์		
ปีการศึกษา	2545		

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษากระบวนการในการออกแบบโครงสร้างรับแรงดันดิน โดยเริ่มตั้งแต่การวิเคราะห์ชั้นดิน ไปจนถึงการออกแบบหน้าตัดต่างๆเพื่อนำมาใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างกันแรงกระทำด้านข้าง แล้วได้นำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยอาศัยโปรแกรม MS Excel เป็นสื่อในการคำนวณและแสดงผลออกมาเป็นรายการคำนวณ พร้อมทั้งอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา Visual Basic มาเป็นส่วนประกอบด้วย ซึ่งประกอบด้วย 3 โปรแกรมย่อยคือ

โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบ Cantilever Sheet Pile ซึ่งเป็นโปรแกรมเพื่อออกแบบหาความลึกที่เหมาะสมในการฝัง Sheet Pile แบบ Cantilever, โปรแกรม Braced Cuts Design ซึ่งเป็นโปรแกรมที่วิเคราะห์หาแรงกระทำเนื่องจากแรงดันดินลักษณะต่าง ต่อส่วนประกอบของโครงสร้าง และทำการเลือกชิ้นส่วนต่างๆที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถรับแรงกระทำต่าง ๆ นั้นได้, โปรแกรม Retaining Walls Design เป็นโปรแกรมวิเคราะห์แรงดันดินที่กระทำต่อ Retaining Walls พร้อมทั้งทำการตรวจสอบการพังทลายในกรณีต่างๆ เพื่อตรวจสอบความปลอดภัย

ซึ่งโปรแกรมทั้งหมด จะอาศัยทฤษฎีในการวิเคราะห์ต่างๆ ตามทฤษฎี Rankine เพื่อใช้หาแรงดันดินด้านข้าง ทฤษฎีของ Terzaghi, Mayerhof และ Hansen เพื่อใช้หาความต้านทานแรงกดของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : RETAINING STRUCTURES ANALYSIS AND DESIGN PROGRAM  
Name : MR.SETTHAWUT KAMOLPATTARAKUL  
: MR.ATTAPOL NATRAKAWASANA  
Field : CIVIL ENGINEERING  
Department : CIVIL ENGINEERING  
Faculty : ENGINEERING  
Advisor : MR.SOMKIAT KHWANPRUK

## ABSTRACT

This special project develops a set of three computer programs used in the analysis and design of earth retaining structures. The programs were developed on Microsoft Excel platform with the aid of Visual Basic.

The first program determines the suitable depth of embedment for the cantilevered sheet pile. The second program determines the lateral earth pressure on each component of the braced cut and allows subsequent selection of each component's cross section to withstand the earth pressure. The last program in the set determines the lateral earth pressure on the selected retaining wall structures and examines several possible failure patterns of that retaining walls.

Lateral earth pressure and bearing pressure were determined following various soil layers input. Rankine theory was used in determining the lateral earth pressure while Terzaghi, Mayerhoff and Hansen theory was used in determine the earth bearing pressure.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ ขอกล่าวขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความอนุเคราะห์ของอาจารย์สมเกียรติ ขวัญพุกษ์ ในการเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ท่านได้ให้ความเมตตาต่างๆ เริ่มตั้งแต่ในการเตรียมงานขั้นต้นของโครงการพิเศษ และตลอดทุกช่วงเวลาทำงาน จนกระทั่งโครงการพิเศษนี้ เสร็จสิ้นลงด้วยดี ทั้งให้คำแนะนำและแนะแนวทางในการทำโครงการพิเศษ ไม่ว่าจะเป็นการให้ยืมเอกสารเพื่อใช้ศึกษาในการทำโครงการพิเศษ ช่วยสอนและอธิบายถึงเนื้อหาความรู้ที่ต้องใช้ในการทำงาน พร้อมทั้งให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการทำงาน ซึ่งทางคณะผู้จัดทำถือเป็นประสบการณ์อันมีค่าที่ได้รับจากการจัดทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์สุพจน์ ศรีนิล และท่านอาจารย์ทรงกลด แซ่อึ้ง ที่สละเวลาอันมีค่าของท่านเพื่อมาทำหน้าที่ในฐานะกรรมการสอบโครงการพิเศษนี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกเป็นเกียรติอย่างสูง ที่ได้รับคำชี้แนะ รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆ ที่ท่านอาจารย์ทั้งสองได้มอบให้ คณะผู้จัดทำ จะจดจำและนำคำสอนเหล่านั้น นำมาประยุกต์ใช้ ในวิชาชีพวิศวกรรมโยธา ให้ก่อเกิดประโยชน์สูงสุด

ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์อุษะ ศรีแก้ว ที่ให้การดูแล และอำนวยความสะดวก ต่างๆ ทั้งในเรื่อง อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ รวมถึงห้องปฏิบัติงาน มิเช่นนั้น โครงการพิเศษนี้ อาจไม่สามารถ สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การต้อนรับอย่างอบอุ่น และสั่งสอนสิ่งต่างๆแก่คณะผู้จัดทำ ตลอดสี่ปีที่ผ่านมา เพื่อจบออกไปเป็นบุคลากรที่มีคุณภาพ ทั้งในด้านความคิด และจริยธรรม

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณ ความรักและความกรุณา ต่อบุพการี และ ครอบครัวที่อบอุ่น ของคณะผู้จัดทำ ที่ให้ความรักและการเลี้ยงดู จนทำให้คณะผู้จัดทำมีทุกวันนี้ได้

นายเศรษฐวุฒิ กมลภัทรากูร

นายอรรถพล เนตรกะเวสณะ

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอ努มัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฐ
	สารบัญรูป	ฑ
	คำอธิบายสัญลักษณ์	บ
1	บทนำ	
	1.1. กล่าวนำ	1
	1.2. ความเป็นมาของเนื้อหา	1
	1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.4. ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	2
	1.5. ขอบเขตการศึกษา	3
	1.6. วิธีดำเนินโครงการพิเศษ	3
	1.6.1. ทำการศึกษาด้านเนื้อหา	3
	1.6.2. ทำการศึกษาด้านโปรแกรม	4
	1.7. ประโยชน์ที่จะได้รับ	4
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1. กล่าวนำ	5
	2.2. องค์ประกอบของดิน	5
	2.3. ทฤษฎีกำลังต้านทานแรงเฉือน	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.3.1. เกณฑ์การพังทลายของ Mohr – Coulomb	10
	2.3.1.1. ผิวหน้าที่ลาดเอียงของระนาบที่พังทลายโดย สาเหตุการเฉือน	12
	2.3.1.2. กฎการพังทลายแบบเฉือนในดินอิมตัว	15
	2.3.2. อธิบายถึงปัจจัยความต้านทานแรงเฉือนสำหรับดิน ในห้องปฏิบัติการ	16
	2.3.2.1. Direct Shear Test	16
	2.3.2.2. การทดสอบ direct shear แบบระบายน้ำออก ในทรายและดินเหนียว	21
	2.3.2.3. ข้อคิดเห็นทั่วไปในการทดสอบแบบ direct shear	23
	2.4. ความสามารถรับแรงกด (Bearing Capacity)	27
	2.4.1. สมการความสามารถรับแรงกด (Bearing – Capacity Equation)	34
	2.4.1.1. Terzaghi Bearing – Capacity Equation	35
	2.4.1.2. Meyerhof's Bearing – Capacity Equation	37
	2.4.1.3. Hansen's Bearing – Capacity Method	38
	2.5. แรงดันดินด้านข้าง (Lateral earth pressure)	45
	2.5.1. แรงดันดินด้านข้างที่ภาวะหยุดนิ่ง (Lateral earth pressure at rest)	45
	2.5.2. แรงดันกิริยา (Active pressure)	50
	2.5.2.1. แรงดันกิริยาของ Rankine (Rankine active earth pressure)	50
	2.5.2.2. แรงดันกิริยาของ Rankine สำหรับดินถมที่มีแนวเอียง (Rankine active earth pressure for inclined backfill)	55
	2.5.3. แรงดันปฏิกิริยา (Passive pressure)	57
	2.5.3.1. แรงดันปฏิกิริยาของ Rankine (Rankine passive earth pressure)	57
	2.5.3.2. แรงดันปฏิกิริยาของ Rankine สำหรับดินถมที่มีแนวเอียง (Rankine passive earth pressure for inclined backfill)	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
2.6.	กำแพงเข็มพืดแบบยื่น (Cantilever sheet pile wall)	62
2.6.1.	รูปแบบทั่วไปของกำแพงเข็มพืดแบบยื่น (Cantilever sheet pile walls – general)	62
2.6.2.	เข็มพืดแบบยื่นที่ตอกฝังในดินทราย (Cantilever sheet piling penetrating sandy soils)	63
2.6.2.1.	การคำนวณหาค่าโมเมนต์คดมากที่สุด (Calculation of Maximum Bending Moment)	68
2.6.2.2.	กรณีเข็มพืดฝังลงในทรายและไม่มีระดับน้ำใต้ดิน	69
2.6.3.	เข็มพืดแบบยื่นที่ตอกฝังในดินเหนียว (Cantilever sheet piling penetrating clay)	71
2.6.3.1.	โมเมนต์คดสูงสุด	74
2.6.3.2.	กรณีเข็มพืดฝังลงในดินเหนียวและไม่มีระดับน้ำใต้ดิน	75
2.7.	กำแพงกันดิน (Retaining Wall)	76
2.7.1.	Gravity and Cantilever walls	78
2.7.2.	การตรวจสอบเสถียรภาพ	79
2.7.2.1.	ตรวจสอบสำหรับการหมุนตัว	80
2.7.2.2.	การตรวจสอบสำหรับการเลื่อน ไกลตามฐานของกำแพงกันดิน	85
2.7.2.3.	การตรวจสอบสำหรับความสามารถทนต่อการพังทลาย	87
2.8.	การออกแบบ Braced Cut	90
2.8.1.	การออกแบบเข็มพืด (Sheet Pile)	91
2.8.2.	การออกแบบ Wale	96
2.8.3.	การออกแบบ Strut	97
2.8.4.	การออกแบบ KingPost	98
2.8.5.	การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของ Sheet Pile และของดินรอบโครงการ	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.8.6. การประมาณการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile	100
	และการเคลื่อนตัวของดิน	
	3.2.2.5. แคลิฟอร์เนีย แบร์ริง (CBR)	60
3	วิธีที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม	
	3.1. บทนำ	104
	3.2. สูตรและฟังก์ชันการทำงานของ โปรแกรม Cantilever Sheet pile designed	104
	3.2.1. การหาค่าสัมประสิทธิ์ของ Active Pressure	104
	3.2.2. สัมประสิทธิ์ของ Passive Pressure	105
	3.2.3. การหาค่าความดันดิน (p) และแรงดันทางด้านข้าง (P)	105
	3.2.3.1. กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils	106
	3.2.3.2. กรณี Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table	108
	3.2.3.3. กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating clay	110
	3.2.3.4. กรณี Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table	112
	3.2.4. การคำนวณหาภาระระยะความลึกฝังที่ต้องการของ Sheet pile	113
	3.2.4.1. กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils	113
	3.2.4.2. กรณี Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table	114
	3.2.4.3. กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating clay	116
	3.2.4.4. กรณี Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table.1.1.1.	117
	3.3. สูตรและฟังก์ชันการทำงานของ โปรแกรม Retaining Walls designed	117
	3.3.1. ส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณวิเคราะห์ชั้นดิน	118
	3.3.1.1. แรงดันดินกิริยา	119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.3.2. ส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบกำแพงกันดิน	121
	3.3.2.1. การตรวจสอบขนาดของกำแพงกันดิน	122
	3.3.2.2. การตรวจสอบกำแพงกันดิน	122
	3.4. สูตรและผังการทำงานของ โปรแกรม Braced Cuts Designed	125
	3.4.1. การออกแบบ Sheet Pile	126
	3.4.2. การออกแบบ King Post	126
4	ส่วนประกอบและวิธีการใช้โปรแกรม	
	4.1. กล่าวนำ	130
	4.2. ลักษณะและรูปร่างหน้าตาของโปรแกรม	130
	4.3. ส่วนประกอบและวิธีการใช้งาน โปรแกรม Cantilever Designed	130
	4.3.1. กรณีที่1 Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils	132
	4.3.2. กรณีที่2 Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table	138
	4.3.3. กรณีที่3 Cantilever Sheet Pile Penetrating clay	143
	4.3.4. กรณีที่4 Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table	147
	4.4. ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานโปรแกรม Retaining wall Designed	151
	4.4.1. ส่วนโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูลดิน	153
	4.4.2. ส่วนโปรแกรมในการออกแบบกำแพงกันดิน	159
	4.5. ส่วนประกอบและวิธีการใช้งาน โปรแกรม Braced Cuts Designed	166
	4.5.1. ส่วนของโปรแกรม Design of Sheet Pile	168
	4.5.2. ส่วนของโปรแกรม Force in Strut	173
	4.5.3. ส่วนของโปรแกรม Design of Strut	176
	4.5.4. ส่วนของโปรแกรม Design of Wale	180
	4.5.5. ส่วนของโปรแกรม Design of Beam	182

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.5.6. ส่วนของโปรแกรม Design of Kingpost	184
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
	5.1 บทนำ	188
	5.2 สรุปผล	188
	หนังสืออ้างอิง	190
	บรรณานุกรม	191
	ภาคผนวก ก.	ผล1
	ตัวอย่างที่ 1 ข้อมูลในการออกแบบ รายการคำนวณการออกแบบ	ผล1
	ภาคผนวก ข.	ผล5
	ตัวอย่างที่ 2 ข้อมูลในการออกแบบ รายการคำนวณการออกแบบ	ผล1
	ภาคผนวก ค.	ผล1
	ตัวอย่างที่ 2 ข้อมูลในการออกแบบ รายการคำนวณการออกแบบ	ผล5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	ตัวอย่างค่ามุมของความเสียหายสำหรับทรายและตะกอนที่ระบายน้ำออกแล้ว	15
2.2.	ตัวแปรความสามารถรับแรงกดสำหรับสมการความสามารถรับแรงกด ของ Meyerhof, Hansen และ Vesic	37
2.3.	สมการความต้านทานแรงกดจากหลายทฤษฎี	41
2.4.	ตัวแปร รูปร่าง, ความลึกและมุมเบี่ยงเบน สำหรับ สมการ ความต้านทานแรงเฉือนของ Meyerhof	42
2.5.a	ตัวแปรรูปร่างและความลึกสำหรับใช้ทั้ง Hansen (1970)	43
2.5.b	ตารางของตัวแปรความเบี่ยงเบนของดินและฐานสำหรับสมการ ของ Hansen (1970)	44
2.6.	การเปลี่ยนแปลงของ $K_a$	53
2.7.	การเปลี่ยนแปลงของ $K_p$	60
2.8.	แสดงการประมาณค่าการเคลื่อนที่ของกำแพง $\Delta x$ ที่จะแสดงให้เห็นถึง การพังทลายภายใต้เงื่อนไขปฏิกิริยา	61
2.9.	ขั้นตอนสำหรับการคำนวณ $\sum M_R$	84
3.1.	ค่าสัมประสิทธิ์ แรงดันดินข้างเข็ม $K_s$ และ มุม $\alpha$	128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.	(a)หน่วยดินในธรรมชาติ ; (b) 3 สถานะของหน่วยดิน	6
2.2.(a)	ระนาบการพังทลายของMohr และ เหน้การพังทลายของ Mohr – Coulomb	11
2.2.(b)	ระนาบการพังทลายของMohr และ เหน้การพังทลายของ Mohr – Coulomb	12
2.3.	ผิวหน้าทีลาดเอียงของระนาบที่พังทลายในดินด้วยระนาบหลัก ต่ำคัญ (major principal plane)	13
2.4.	วงกลมโมร์และระนาบการพังทลาย	14
2.5.	รูปภาพของลักษณะการทดสอบ direct shear	17
2.6.	เครื่องทดสอบ direct shear ทีควบคุมความเครียด (courtesy of Soiltest, Inc., Lake Bluff, Illinois)	18
2.7.	การพลีตของความเค้นเฉือน (shear stress) และการเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่าง ซึ่งต้านทานการเคลื่อนที่แบบเฉือนสำหรับทรายที่หลวม ทีแห้งและทรายที่อัดแน่นและแห้ง	19
2.8.	อธิบายถึงปัจจัยความเค้นเฉือนสำหรับทรายแห้งโดยการ ใช้ผลจากการทดสอบ direct shear	20
2.9.	ผลของการทดสอบ direct shear ทีระบายน้ำออกบนดินเหนียวทีอัดแน่นเกินไป (over consolidated clay)	22
2.10.	ระนาบพังทลายสำหรับดินเหนียวได้มาจากการทดสอบ direct shear ทีระบายน้ำออก	23
2.11.	พื้นผิวภายในของวัสดุฐานรากและดิน	24
2.12.	การทดสอบ direct shear ทีจะอธิบายมุมเสียดทานของพื้นผิวภายใน	24
2.13.	การเปลี่ยนแปลงของ $\tan \phi$ และ $\tan \delta$ กับ $1/e$ โดยค่า $e =$ อัตราส่วนช่องว่าง, $\sigma' = 14.5 \text{ lb/in}^2$ ; ทรายทีเป็นผลึก	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารทีสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.14.	การเปลี่ยนแปลงของ $\sigma$ และ $\delta$ กับค่า $\sigma'$ สังเกตว่า : Relative density = 45%;ทรายที่เป็นผลึก	26
2.15.	ลักษณะที่ประกอบด้วยเส้นโค้งของระนาบการพังทลายของMohr ในทราย	27
2.16.	การประมาณความสามารถในการรับแรงกดบนดินที่มีค่า $\phi = 0$	29
2.17.	รูปแบบทั่วไปของความสามารถรับแรงกดสำหรับ $\phi - c$	32
2.18.	(a) ฐานรากคั้นกับฐานรากขรุขระ สมการของ Terzaghi และ Hansen; (b) พฤติกรรมของดินใต้ฐานรากโดยทั่วไปของสมการความสามารถรับแรงกด สำหรับฐานรากแบบแถบ ด้านซ้ายสำหรับ Terzaghi	35
2.19.	รูปแสดงถึงค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในสมการของ Meyerhof และ Hansen	40
2.20.	แรงดันดินด้านข้างที่ภาวะหยุดนิ่ง	45
2.21.	ข้อมูลความเค้นสำหรับดินภายใต้เงื่อนไข $K_0$	48
2.22.	แผนผังแรงดันดิน	49
2.23.	แรงดันกริยาของ Rankine	52
2.24.	สมมติผังของแรงดันกริยาสำหรับดินถมหลังกำแพงกันดิน	54
2.25.	แสดงถึงแรงดันกริยาของสมการ 2.65, 2.66, 2.67	56
2.26.	แรงดันปฏิกริยาของ Rankine	59
2.27.	เข็มพืดแบบยื่นที่ฝังลงในทราย	63
2.28.	เข็มพืดแบบยื่นที่ฝังลงในทราย : (a) การเปลี่ยนแปลงของผังแรงดันสุทธิ ; (b) การเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์	68
2.29.	เข็มพืดที่ตอกฝังในดินทรายซึ่งไม่มีน้ำใต้ดิน	70
2.30.	เข็มพืดแบบยื่นที่ฝังลงในดินเหนียว	72
2.31.	กำแพงเข็มพืดฝังลงในดินเหนียว	75
2.32.	ชนิดของกำแพงดิน	78

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.33.	การประมาณความกว้างยาวและหนาสำหรับส่วนประกอบต่าง ๆ ของกำแพงกันดินเพื่อที่จะตรวจสอบเสถียรภาพ (a) gravity wall ; (b) cantilever wall	79
2.34.(a)	แผนภาพอธิบายแรงดันดินด้านหลังกำแพงที่กระทำกับกำแพง	80
2.34.(b)	แผนภาพอธิบายแรงดันดินด้านหน้ากำแพงที่กระทำกับกำแพง	81
2.35.	การตรวจสอบการหมุนตัวโดยใช้สมมติฐานแรงดันของ Rankine	82
2.36.	การตรวจสอบการเลื่อนไถลตามฐานของกำแพง	87
2.37.	ตรวจสอบสำหรับการพังทลายแบบความสามัคคีด้านทานแรงกด	88
2.38.	ผังแสดงถึงขนาดและชนิดของงานขุด	92
2.39.	ค่า Stability Number $N_c$ สำหรับการวิเคราะห์ heave ของงาน Braced excavation	92
2.40.	การเกิด Bottom heave ใน Soft Clay	93
2.41.	การหาความยาวของ Sheet Pile เพื่อป้องกัน heave สำหรับดินเหนียว	95
2.42.	การออกแบบขนาดของ Sheet Pile ในกรณี Continuous span	96
2.43.	รูปแบบการวิเคราะห์หาขนาด Wale เพื่อรับ Horizontal force จากแรงดันดิน และ Axial force จากแรงกระทำต่อเนื่องบริเวณ จุดเปลี่ยนมุม	97
2.44.	การเคลื่อนตัวของกำแพงเมื่อกระทำการ Preload ใน Strut	100
2.45.	ปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงและดินจากงานขุด	101
2.46.	ปริมาณการเคลื่อนตัวและ Settlement สำหรับงาน Open Cut ในดินเหนียว	101
2.47.	ปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงและผลเนื่องจาก Stiffness ของกำแพง และ Supporting spacing	102
2.48.	Design principle สำหรับการออกแบบรับ Lateral force	103
3.1.	กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.2.	กรณี Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table	108
3.3.	กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating clay	110
3.4.	กรณี Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table	112
3.5.	แสดงส่วนประกอบของข้อมูลในการวิเคราะห์ชั้นดินกำแพงกันดินประเภท Cantilever และ Gravity	118
3.6.	แสดงระยะที่ใช้ในการออกแบบกำแพงกันดินประเภท Cantilever และ Gravity	121
3.7.	กราฟแสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงยึดเหนี่ยวของผิวเข็ม และดินรอบข้าง	129
4.1.	หน้าหลักของโปรแกรม Cantilever Designed	131
4.2.	การเลือกใช้กรณีในการใช้งานโปรแกรมที่หน้าจอหลัก	132
4.3.	การเลือกใช้งานส่วนของโปรแกรม Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils	132
4.4.	หน้าจอของส่วนของโปรแกรม Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils	133
4.5.	หน้าต่างในการกรอกข้อมูลส่วนของโปรแกรม Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils	134
4.6.	หน้าต่างแสดงผล ในหัวข้อที่ 1 ถึง 4	135
4.7.	หน้าต่างแสดงผล ในหัวข้อที่ 5 ถึง 8	136
4.8.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อที่ 9 ถึง 11	136
4.9.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อที่ 12 ถึง 15	137
4.10.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อที่ 16	137
4.11.	การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table	138
4.12.	หน้าจอของส่วนของโปรแกรม Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table	138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.13.	หน้าต่างในการกรอกข้อมูล ส่วนของโปรแกรม Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table	138
4.14.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 1 ถึง 4	140
4.15.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 5 ถึง 7	141
4.16.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 8 ถึง 10	141
4.17.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 11 ถึง 14	142
4.18.	การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Cantilever Sheet Pile Penetrating clay	143
4.19.	หน้าจอของกรณีที่ 3	143
4.20.	หน้าต่างในการกรอกข้อมูล ส่วนของโปรแกรม Cantilever Sheet Pile Penetrating clay	144
4.21.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 1 ถึง 4	145
4.22.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 5 ถึง 8	146
4.23.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 9 ถึง 12	147
4.24.	การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table	147
4.25.	หน้าจอของกรณีที่ 4	148
4.26.	หน้าต่างในการกรอกข้อมูลของกรณีที่ 4	148
4.27.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 1 ถึง 4	149
4.28.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 5 ถึง 8	150
4.29.	หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 9 ถึง 11	151
4.30.	หน้าหลักของโปรแกรม Retaining wall Designed	151
4.31.	การเลือกส่วน โปรแกรมที่ต้องการใช้งานที่หน้าจอหลัก	152
4.32.	การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม วิเคราะห์ข้อมูลดิน	153
4.33.	หน้าจอส่วนโปรแกรม วิเคราะห์ข้อมูลดิน	153
4.34.	ภาพ อธิบายส่วนประกอบต่างๆของชั้นดิน	154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.35.	หน้าต่างในการกรอกข้อมูลชั้นดิน	155
4.36.	หน้าต่างในการกรอกข้อมูลระดับต่างๆ และน้ำหนักบรรทุก	156
4.37.	หน้าต่างแสดงผล ของรายการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ ของ Ranking	157
4.38.	หน้าต่างแสดงผล ของรายการคำนวณความดันดิน	157
4.39.	หน้าต่างแสดงผล ของรายการคำนวณแรงดันดิน	158
4.40.	การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรมออกแบบกำแพงกันดิน	159
4.41.	หน้าต่างของโปรแกรมส่วน ออกแบบกำแพงกันดิน	159
4.42.	หน้าต่างในการกรอกข้อมูลในหัวข้อที่ 1 ถึง 4	160
4.43.	หน้าต่างในการกรอกข้อมูลในหัวข้อที่ 5 ถึง 6	161
4.44.	หน้าต่างในการกรอกข้อมูลในหัวข้อที่ 7	161
4.45.	หน้าต่างในการกรอกข้อมูลในหัวข้อที่ 8	162
4.46.	หน้าต่างแสดงตารางรายการคำนวณค่าโมเมนต์ต่างๆ	162
4.47.	หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบ สัมประสิทธิ์ความปลอดภัย ต่อการพลิกคว่ำและการเลื่อนไถล	163
4.48.	หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบBearing capacity	163
4.49.	หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบBearing capacity โดยทฤษฎีของ Meyerhof	164
4.50.	หน้าต่างในการกรอกข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบBearing capacity โดยทฤษฎีของ Meyerhof	164
4.51.	หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบBearing capacity โดยทฤษฎีของ Meyerhof	165
4.52.	หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบBearing capacity โดยทฤษฎีของ Meyerhof	165
4.53.	หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบBearing capacity โดยทฤษฎีของ Terzaghi	166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.54.	หน้าหลักของ โปรแกรม Braced Cuts Designed	166
4.55.	การเลือกใช้กรณีในการใช้งาน โปรแกรมที่หน้าจอหลัก	167
4.56.	การเลือกใช้งานส่วน โปรแกรม Design of Sheet Pile	168
4.57.	หน้าจอส่วนของ โปรแกรม Design of Sheet Pile	168
4.58.	หน้าจอในการกรอกข้อมูล ตรวจสอบการถอดตัวของดิน	169
4.59.	หน้าจอส่วนของ โปรแกรม “Design of Sheet Pile	170
4.60.	รูปแสดงส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ การถอดตัวของดิน	170
4.61.	รูปแสดงรายการคำนวณ การตรวจสอบสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยต่อการ ถอดตัวของดิน	171
4.62.	รูปแสดงรายการคำนวณ การหาค่าโมเมนต์สูงสุดตามกรณีที่ 1	171
4.63.	รูปแสดงรายการคำนวณ การหาค่าโมเมนต์สูงสุดตามกรณีที่ 2	172
4.64.	รูปแสดงรายการหน้าตัดของ Sheet pile	172
4.65.	การเลือกใช้งานส่วน โปรแกรม Force in Strut	173
4.66.	หน้าจอส่วนของ โปรแกรม Force in Strut	173
4.67.	หน้าจอส่วนของ โปรแกรม Force in Strut ในหัวข้อ 1 ถึง 3	174
4.68.	หน้าจอส่วนของ โปรแกรม Force in Strut ในหัวข้อ 4 ถึง 5	174
4.69.	หน้าจอส่วนของ โปรแกรม Force in Strut ในหัวข้อ 6	175
4.70.	หน้าจอส่วนของ โปรแกรม Force in Strut ในหัวข้อ 7	175
4.71.	หน้าจอส่วนของ โปรแกรม Force in Strut ในหัวข้อ 8 ถึง 9	176
4.72.	การเลือกใช้งานส่วน โปรแกรม Design of Strut	176
4.73.	หน้าจอส่วนของ โปรแกรม Design of Strut	177
4.74.	หน้าจอส่วนในการกรอกข้อมูล Design of Strut	177
4.75.	หน้าจอส่วนในทดลองเลือกหน้าตัด Design of Strut โดยผู้ใช้เลือกจากรายการหน้าตัด	178

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและทำซ้ำอย่างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.76.	หน้าจอส่วนในทคตลงเลือกหน้าตัด Design of Strut โดยผู้ใช้เลือกหน้าตัดมาเอง	178
4.77.	หน้าจอส่วนในทคตลงเลือกหน้าตัด Design of Strut ตารางรายการแสดง Code	179
4.78.	หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Strut	179
4.79.	การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Design of Wale	180
4.80.	หน้าจอส่วนของโปรแกรม Design of Wale	180
4.81.	หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Wale	181
4.82.	หน้าจอส่วนในทคตลงเลือกหน้าตัด Design of Wale	181
4.83.	หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Wale	182
4.84.	การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Design of Beam	182
4.85.	หน้าจอส่วนของโปรแกรม Design of Beam	183
4.86.	หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Beam	183
4.87.	หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Beam	184
4.88.	การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Design of Kingpost	184
4.89.	หน้าจอส่วนของโปรแกรม Design of Kingpost	185
4.90.	หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Kingpost ข้อมูลชั้นดิน	185
4.91.	หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Kingpost คุณสมบัติเสาเข็ม	186
4.92.	หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Kingpost สัมประสิทธิ์ของ สมการคำนวณ	186
4.93.	หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Kingpost คำนวณน้ำหนักแบกทาน	187
ผ.ก.1.	แสดงถึงกำแพงเข็มพืดแบบยื่นที่ฝังลง ตามตัวอย่างที่ 1	ผก2
ผ.ข.1.	แสดงถึงกำแพงกันดิน ตามตัวอย่างที่ 2	ผข2
ผ.ค.1.	ข้อมูลชั้นดินสำหรับการออกแบบ ตัวอย่าง	ผค2
ผ.ค.2.	แสดงข้อมูลการติดตั้ง Strut	ผค3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ค.3.	แสดงข้อมูลในการติดตั้ง Wale	ผค3
ผ.ค.4.	แสดงข้อมูลในการติดตั้ง Main Beam	ผค4
ผ.ค.5.	แสดงข้อมูลในการติดตั้ง King post	ผค4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตั้งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำอธิบายสัญลักษณ์

## สัญลักษณ์

## ความหมาย

$A$	พื้นที่ของค้ำแรงดัน
$B$	ความกว้างของฐานรากกำแพงกันดิน
$b_c, b_q, b_\gamma$	Base factors
$c$	การยึดเหนี่ยวของอนุภาคดิน (cohesion)
$c_a$	การยึดติด (adhesion)
$D$	ระยะความลึกของดิน
$d_c, d_q, d_\gamma$	Depth factors
$EI$	flexural rigidity of pile
$e$	ระยะเยื้องศูนย์กลางของผลของแรงลัพธ์
$e$	อัตราส่วนช่องว่าง
$g_c, g_q, g_\gamma$	Ground factors
$H$	ความสูง
$H_1$	Tension zone (หัวข้อ 2.8.)
$I$	Moment of inertia per unit length of the base section
$i_c, i_q, i_\gamma$	Inclination factors
$K_o$	สัมประสิทธิ์ของแรงค้ำดินที่อยู่นิ่ง
$K_a$	สัมประสิทธิ์แรงค้ำดินกิริยาของ Rankine (Rankine active pressure coefficient)
$K_p$	สัมประสิทธิ์แรงค้ำดินปฏิกิริยาของ Rankine (Rankine passive pressure coefficient)
$K_{es}$	ค่า effective stiffness ของ Strut
$L$	ความยาว
$M_o$	โมเมนต์ของแรงที่ทำให้เกิดการหมุนตัว
$M_R$	โมเมนต์ของแรงที่ต่อต้านการหมุนตัว
$M_{net}$	โมเมนต์สุทธิ
$N_c$	จำนวนเสถียรภาพ (Stability Number)
$N_c, N_q, N_\gamma$	Bearing capacity factors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำอธิบายสัญลักษณ์

## สัญลักษณ์

## ความหมาย

$n$	ความพรุน
$OCR$	อัตราส่วนดินอัดแน่นในปัจจุบัน (present overconsolidation ratio)
$OCR_{max}$	อัตราส่วนดินอัดแน่นสูงสุด (maximum overconsolidation ratio)
$P$	ผลรวมของแรงต่อหน่วยความยาวกำแพง
$P_a$	ผลรวมของแรงกิริยาต่อหน่วยความยาวกำแพงของ Rankine
$P_p$	ผลรวมของแรงปฏิกิริยาต่อหน่วยความยาวกำแพงของ Rankine
$P_x$	axial load on sheet Pile
$p_a$	แรงดันกิริยา (active pressure)
	แรงดันปฏิกิริยา (passive pressure)
$p$	แรงดัน
$p$	เส้นรอบรูปของหน้าตัด
$Q_f$	แรงเสียดทานสูงสุดที่ผิวเข็ม
$q_b$	แรงต้านทานสูงสุดที่ปลายเข็ม
$q_{toe}$	ความเค้นที่ปลายด้านหน้าของฐานกำแพง
$q_{heel}$	ความเค้นที่ปลายด้านหลังของฐานกำแพง
$q_u$	unconfined compressive strength
$\bar{R}, \sum V$	ผลรวมของแรง
$S$	Section modulus of the sheet pile
$s$	ค่าความต้านทานแรงเฉือน(หัวข้อ 2.5.)
$s_u$	ค่าความต้านทานแรงเฉือน(หัวข้อ 2.8.)
$s_c, s_q, s_\gamma$	Shape factors
Sat	ระดับของความอิ่มตัว
SF	Safety factor
$u$	แรงดันน้ำในช่องว่าง(pore water pressure)
$V$	ปริมาตรรวมของดินตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำอธิบายสัญลักษณ์

## สัญลักษณ์

## ความหมาย

$V_a$	ปริมาตรของอากาศในช่องว่าง
$V_s$	ปริมาตรของดินที่เป็นของแข็ง
$V_v$	ปริมาตรของช่องว่างหรือฟองอากาศ
$V_w$	ปริมาตรของน้ำในช่องว่าง
$W$	น้ำหนักรวมของตัวอย่างดิน
$W_s$	น้ำหนักของดินที่เป็นของแข็ง
$W_w$	น้ำหนักของน้ำ
$w$	ความสามารถในการดูดความชื้น
$y$	lateral deflection ของ Sheet Pile
$z$	ความลึกวัดจากระดับอ้างอิงไปยังตำแหน่งต่างๆ
$\bar{z}$	ความลึกวัดจากระดับอ้างอิงไปยังตำแหน่งผลรวมแรง
$z'$	ความลึกที่วัดจากระดับอ้างอิงไปยังตำแหน่งแรงเฉือนเป็นศูนย์
$z_c$	depth of tensile crack
$\gamma$	หน่วยน้ำหนักของดิน
$\gamma_d$	หน่วยน้ำหนักของดินแห้ง
$\gamma_{sat}$	หน่วยน้ำหนักของดินอิ่มตัว
$\gamma_w$	หน่วยน้ำหนักของน้ำ
$\tau$	ความเค้นเฉือน(shear stress)
$\sigma$	ความเค้นปกติ(normal stress)
$\sigma'$	ความเค้นปกติประสิทธิผล (effective normal stress)
$\sigma_1$	ความเค้นหลักสำคัญ(major principal stress)
$\sigma_3$	ความเค้นหลักรอง(minor principal stress)
$\sigma_v$	ความดันตามแนวราบ
$\sigma_h$	ความดันตามแนวตั้ง
$\sigma_a$	ความดันกิริยาของ Rankine (Rankine active pressure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำอธิบายสัญลักษณ์

## สัญลักษณ์

## ความหมาย

$\sigma_p$	ความดันปฏิกิริยาของ Rankine (Rankine passive pressure)
$\sigma_{all}$	ความเค้นคดที่ยอมให้(allowable flexural stress)
$\alpha$	มุมของระนาบดินถมวัดจากแนวราบ
$\phi$	มุมของความเสียดทานภายใน(angle of internal friction)
$\theta$	มุมระหว่างแนวราบกับระนาบการพังทลาย
$\delta$	มุมของความเสียดทานระหว่างดินและวัสดุฐานราก
$\Delta s$	ปริมาณการเคลื่อนตัวของ Strut
$\sum F_R$	ผลรวมของแรงต้านทานตามแนวนอน
$\sum F_d$	ผลรวมของแรงที่ผลักความแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและเผยแพร่อย่างผิดกฎหมายถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. กล่าวนำ

ในงานก่อสร้างที่จะต้องมีการขุดหรือถมดิน จนเกิดความต่างระดับของมวลดินมากกว่าความสูงที่มวลดินจะสมดุลอยู่ได้ด้วยตัวเอง จึงจำเป็นต้องมีโครงสร้างกันดินช่วยพยุงป้องกันการพังทลายหรือการเคลื่อนที่ของมวลดินมากเกินไป ตัวอย่างประโยชน์ใช้สอยของโครงสร้างกันดิน ได้แก่ เขื่อนริมฝั่ง ท่าเทียบเรือ การค้ำยันระหว่างการก่อสร้าง บ่อตกตะกอน ดั้งเก็บน้ำฝัดดิน อุโมงค์เรือ เป็นต้น โครงสร้างกันดินอาจสร้างขึ้นถาวรใช้งานในช่วงระยะเวลานาน หรือเป็นโครงสร้างชั่วคราวใช้งานเฉพาะกิจแล้วรื้อถอนออกไป

เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบอย่างแพร่หลาย ข้อดีของการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คือความรวดเร็วแม่นยำในการคำนวณ สามารถทำงานซ้ำได้ไม่จำกัด ซึ่งเข้ามาแทนจุดอ่อนของมนุษย์แต่คอมพิวเตอร์ไม่สามารถทำงานแทนมนุษย์ได้ในส่วนของ การตัดสินใจอย่างมีเหตุผลเนื่องจากการออกแบบทางด้านวิศวกรรมฐานรากจะต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งที่ได้จากการทดลองและจากทฤษฎี อย่างไรก็ตามข้อดีของคอมพิวเตอร์ก็ยังน่าสนใจอยู่มาก เนื่องจากสามารถดึงบนและเวลาของมนุษย์ลงได้ ด้วยเหตุนี้ทางผู้จัดทำโครงการจึงได้รวบรวมทฤษฎีต่างๆที่นิยมใช้ มาจัดทำเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยผู้ออกแบบในการวิเคราะห์สมบัติของดินและออกแบบ โครงสร้างกันดินซึ่งจะช่วยลดเวลาในการคำนวณและให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำกว่าคำนวณด้วยมือ

### 1.2. ความเป็นมาของเนื้อหา

โครงสร้างกันดินที่รู้จักกันทั่วไปได้แก่ แผ่นผนังกันดิน (Sheet Pile Structure) ซึ่งเป็นโครงสร้างแผ่นบางที่ทำจากเหล็กหรือคอนกรีต เสียบ หรือหยั่งลงในชั้นดินลึกพอสมควร มักจะยึดต่อกันเป็นแผงต่อเนื่อง เหมาะที่จะตอกลงในดิน แล้วจึงขุดดินด้านที่ต้องการลดระดับออก ตัวโครงสร้างจะมีความยืดหยุ่นตัวได้มาก อีกโครงสร้างที่พบเห็นบ่อยคือกำแพงคอนกรีตกันดิน (Retaining Wall) มักเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก, ไม่เสริมเหล็ก หรือผนังก่ออิฐ ซึ่งมีความแข็งตัวสูง การเคลื่อนตัวของมวลดินบริเวณรอบข้างจะมีน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโครงสร้างที่ยกตัวอย่างข้างต้นในขั้นตอนการออกแบบทางด้านโครงสร้างค่อนข้างมีความยุ่งยากและซับซ้อนในการคำนวณและออกแบบ สาเหตุเนื่องจากมีสูตร สัมประสิทธิ์และทฤษฎีต่างๆมากมายเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อที่จะให้มีความถูกต้องและและสามารถป้องกันการพังทลายของดินนั้นผู้ออกแบบมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการเลือกใช้วิธีการคำนวณให้เหมาะสมกับดินบริเวณนั้น

### 1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

โครงการนี้จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาดังนี้

1. ศึกษากระบวนการออกแบบ โครงสร้างกันดินแล้วนำมาประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์
2. ช่วยประหยัดเวลาสำหรับผู้ที่ทำการคำนวณและออกแบบ โครงสร้างกันดิน
3. เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่กำลังศึกษาวิชาวิศวกรรมฐานราก ที่จะนำไปโปรแกรมไปทำการตรวจสอบผลลัพธ์ในการทำแบบฝึกหัด

### 1.4. ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

ในงานออกแบบโครงสร้างกันดินจำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ในการออกแบบโครงสร้างกันดินจากหน่วยงานที่มีสภาพดินต่างๆ เพื่อทราบถึงปัญหาและข้อจำกัดของดินแต่ละประเภท ทำให้ได้รายการคำนวณที่ถูกต้องและเป็นไปตามข้อกำหนด ข้อบังคับความปลอดภัยต่างๆ อีกทั้งประสบการณ์จะช่วยให้การออกแบบมีความแม่นยำถูกต้อง ดังนั้นหากใช้คอมพิวเตอร์ในการรวบรวมข้อมูลที่มากพอและค้นหาได้ง่าย หรือรวบรวมมาเป็นสูตรคำนวณที่ง่ายต่อการใช้งาน และจัดทำโปรแกรมคำนวณออกแบบ จะเป็นประโยชน์ต่อวิศวกร โดยไม่ต้องอาศัยประสบการณ์มากนัก โดยในโครงการพิเศษนี้จะใช้ Microsoft Excel เขียนโปรแกรมขึ้นมาสำหรับใช้ออกแบบโครงสร้างกันดินโดยในแต่ละโครงสร้างจะแยกย่อยลงเป็นหลายสูตรแล้วแต่จะใช้ทฤษฎีของบุคคลใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5. ขอบเขตการศึกษา

### ทำการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาความรู้เรื่องของแรงดันดินด้านข้าง โดยใช้ทฤษฎีของ Rankine และข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวกับสภาพงานวิศวกรรมฐานราก เพื่อเป็นแนวทางและข้อมูลในการออกแบบโปรแกรมคำนวณ โครงสร้างกันดิน
2. ศึกษาในเรื่องวิธีของเสาเข็มเจาะและคอก เพื่อทราบถึงตัวแปรที่จำเป็นในการออกแบบโปรแกรมคำนวณ ให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง หรือมีการปรับปรุงค่าน้อยที่สุดที่จะสามารถนำไปใช้งานจริงได้ทันที โดยใช้ สูตรของ Terzaghi ในการคำนวณหาหน้าหนักประลัยที่เสาเข็มต้องรับ
3. ศึกษากำแพงกันดินประเภท Gravity Wall และ Cantilever Wall ซึ่งใช้งานในสภาพดินเหนียวและทราย พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลเพื่อทราบถึงตัวแปรที่จำเป็นในการออกแบบโปรแกรมคำนวณ ให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง หรือมีการปรับปรุงค่าน้อยที่สุดที่จะสามารถนำไปใช้งานจริงได้ทันที
4. ศึกษาลักษณะงานที่ใช้ Sheet-Pile ประเภท Cantilever Sheet-Pile ซึ่งใช้งานในสภาพดินเหนียวและทราย พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลเพื่อทราบถึงตัวแปรที่จำเป็นในการออกแบบโปรแกรมคำนวณ ของ Sheet-Pile ให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง หรือมีการปรับปรุงค่าน้อยที่สุดที่จะสามารถนำไปใช้งานจริงได้ทันที
5. ศึกษา Microsoft Excel ในส่วนของคำสั่งและวิธีการต่างๆที่ต้องใช้ในการเขียน โปรแกรมออกแบบ

## 1.6. วิธีดำเนินโครงการพิเศษ

ขั้นตอนในการออกแบบ โปรแกรมจะต้องทำการศึกษาเนื้อหาที่จำเป็น โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ ดังนี้คือ

### 1.6.1. ทำการศึกษาด้านเนื้อหา

ทำการศึกษาถึง ทฤษฎี วิธีการคำนวณออกแบบ โครงสร้างทางวิศวกรรมต่างๆดังนี้

- Sheet-Pile Wall

Retaining Wall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวบรวมข้อมูล คำตัวแปร ปีจจัยต่างๆที่ต้องใช้ในรายการคำนวณออกแบบ

### 1.6.2. ทำการศึกษาด้านโปรแกรม

Microsoft Excel คือ โปรแกรมที่จะใช้ในการทำโปรแกรมออกแบบ ดังนั้นต้องทราบหลักดังนี้

- ศึกษาคำสั่งที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม
- ศึกษาถึงแนวทางการพัฒนาโปรแกรม

### 1.7. ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. โปรแกรมคำนวณที่ออกแบบ สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ตามแต่ละประเภทของงาน โดยผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณเป็นที่ยอมรับของวิศวกร ว่าเป็นไปตามข้อกำหนดและข้อบังคับต่างๆ
2. โปรแกรมคำนวณสามารถช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถประหยัดเวลาในการคำนวณ โครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์

#### 2.1. กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและความรู้พื้นฐานที่ใช้ในการทำโครงการพิเศษเกี่ยวกับสมบัติของดินพื้นฐาน การหาค่าความสามารถรับแรงกด (Bearing Capacity) แรงดันดินด้านข้าง (Lateral earth pressure) การออกแบบกำแพงเข็มพืดแบบยื่น (Cantilever sheet pile wall) การออกแบบกำแพงกันดิน (Retaining Wall) และการออกแบบ Braced Cut ซึ่งเป็นเนื้อหาทั้งหมดที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

#### 2.2. องค์ประกอบของดิน

##### 2.2.1. ความสัมพันธ์ของน้ำหนักและปริมาตร

ในรูป 2.1(a) แสดงถึงหน่วยของดินซึ่งคือปริมาตรและน้ำหนักที่มีอยู่จริงในสภาวะธรรมชาติ จากรูปได้พัฒนาความสัมพันธ์ของน้ำหนักและปริมาตรใน 3 สถานะ (ของแข็ง, น้ำ, อากาศ) ซึ่งถูกแบ่งออกโดยแสดงในรูป 2.1(b) ดังนั้นปริมาตรรวมของดินตัวอย่างสามารถแสดงเป็นสูตรดังนี้

$$\begin{aligned} V &= V_s + V_v \\ &= V_s + V_w + V_a \end{aligned} \quad (2.1)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} V_s &= \text{ปริมาตรของดินที่เป็นของแข็ง} \\ V_v &= \text{ปริมาตรของช่องว่างหรือฟองอากาศ} \\ V_w &= \text{ปริมาตรของน้ำในช่องว่าง} \\ V_a &= \text{ปริมาตรของอากาศในช่องว่าง} \end{aligned}$$

การที่สมมติฐานว่าน้ำหนักของอากาศมีค่าน้อยมาก เราจึงสามารถหาค่าน้ำหนักรวมของ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ตัวอย่างดินได้ดังนี้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W = W_s + W_w \quad (2.2.)$$

โดยที่

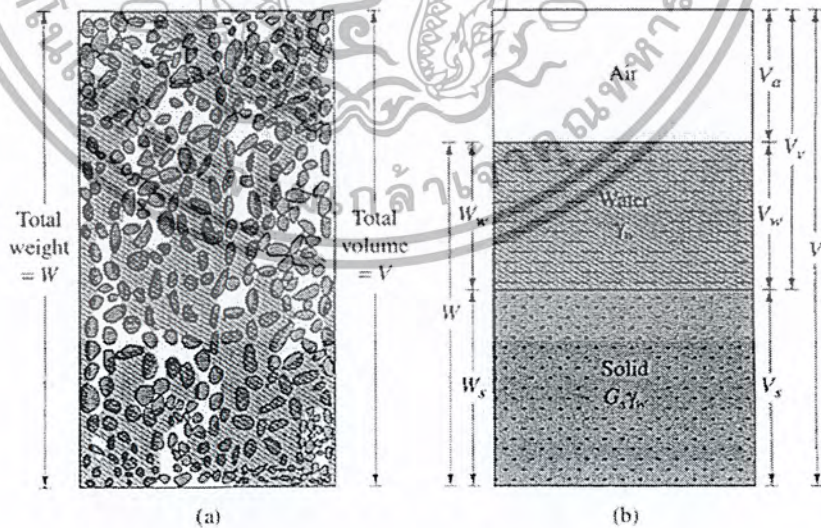
$$W_s = \text{น้ำหนักของดินที่เป็นของแข็ง}$$

$$W_w = \text{น้ำหนักของน้ำ}$$

ความสัมพันธ์ของปริมาณโดยทั่วไปถูกใช้สำหรับ 3 รูปแบบในหน่วยของดิน คือ อัตราส่วนช่องว่าง ( $e$ ), ความพรุน ( $n$ ), และระดับของความอิ่มตัว ( $s$ ) อัตราส่วนช่องว่าง( $e$ )ถูกให้คำจำกัดความว่า คือ อัตราส่วนของปริมาตรช่องว่างต่อปริมาตรของแข็งดังนี้

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.3.)$$

โดยที่



รูปที่ 2.1. (a) หน่วยดินในธรรมชาติ ; (b) 3 สถานะของหน่วยดิน (Braja M. Das, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความพรุน( $n$ ) ถูกให้คำจำกัดความว่า คือ อัตราส่วนของปริมาตรช่องว่างต่อปริมาตรรวม ดังนั้น

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2.4.)$$

โดยที่

$$n = \text{ความพรุน}$$

ระดับของความอิ่มตัว( $S$ ) ถูกให้คำจำกัดความว่าคือ อัตราส่วนของปริมาตรน้ำต่อปริมาตรช่องว่าง ดังนั้น

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad (2.5.)$$

โดยที่

$$S = \text{ระดับของความอิ่มตัว โดยทั่วไปจะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างและความพรุนสามารถหาได้จากสมการ (2.1.), (2.3.) และ (2.4.) ดังนี้

$$\begin{aligned} e &= \frac{V_v}{V_s} \\ &= \frac{V_v}{V - V_v} \\ &= \frac{\left(\frac{V_v}{V}\right)}{1 - \left(\frac{V_v}{V}\right)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{n}{1-n} \quad (2.6.)$$

เช่นเดียวกันจากสมการ (2.6.)

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (2.7.)$$

รูปสมการข้างต้นโดยทั่วไปใช้สำหรับความสัมพันธ์ของน้ำหนักซึ่งก็คือความสามารถในการจุความชื้นและหน่วยน้ำหนัก ซึ่งค่าจำกัดความของทั้ง 2 ค่า อธิบายไว้ดังนี้

ความสามารถในการจุความชื้น ( $w$ ) ถูกอ้างอิงว่าเหมือนกับความสามารถในการรับน้ำ และได้ให้ค่าจำกัดความว่าเป็นอัตราส่วนของน้ำหนักของน้ำต่อน้ำหนักของของแข็งในปริมาตรของดินที่ให้มีมา

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad (2.8.)$$

หน่วยน้ำหนัก ( $\gamma$ ) คือน้ำหนักของดินต่อหน่วยปริมาตรดิน

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (2.9.)$$

หน่วยน้ำหนักสามารถแสดงในรูปของน้ำหนักของดินที่เป็นของแข็ง, ความสามารถในการจุความชื้น, และปริมาตรรวม จากสมการ (2.2.), (2.8.) และ (2.9.)

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{W}{V} \\ &= \frac{W_s + W_w}{V} \end{aligned}$$

$$W_s \left[ 1 + \left( \frac{W_w}{W_s} \right) \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{W_s(1+w)}{V} \quad (2.10.)$$

ในทางวิศวกรรมค่าหน่วยน้ำหนักในสมการ (2.9.) ได้ถูกให้คำจำกัดความว่าเป็น หน่วยน้ำหนักที่มีความชื้น

ในงานดินมีความจำเป็นที่จะต้องรู้น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของดินที่ไม่มีน้ำ, ซึ่งหน่วยน้ำหนักดังกล่าวนี้เรียกว่าหน่วยน้ำหนักแห้ง ( $\gamma_d$ ) ดังนั้น

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2.11.)$$

จากสมการ (2.10.) และ (2.11.) ความสัมพันธ์ของหน่วยน้ำหนัก, หน่วยน้ำหนักแห้ง และความสามารถในการดูดความชื้น สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (2.12.)$$

หน่วยน้ำหนักที่แสดงในระบบหน่วยแบบอังกฤษจะเป็นหน่วย ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ( $lb/ft^3$ ) ในระบบหน่วยแบบ SI จะเป็นหน่วยนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ( $N/m^3$ )

การแปลงหน่วยสำหรับหน่วยน้ำหนักจากระบบอังกฤษ ไปเป็นระบบ SI จะเป็นไปตามสมการด้านล่าง

$$1lb/ft^3 = 0.1572 \quad kN/m^3$$

$$1lb/ft^3 = 16.0256 \quad kgf/m^3$$

$$\text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ } \gamma_{sat} = \begin{cases} 62.4 \text{ lb/ft}^3 \\ 9.18 \text{ kN/m}^3 \\ 1,000 \text{ kgf/m}^3 \end{cases}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าตัวอย่างดินอยู่ในสภาวะอิ่มตัวนั่นคือ ส่วนของช่องว่างเต็มไปด้วยน้ำ ความสัมพันธ์สำหรับหน่วยน้ำหนักอิ่มตัวสามารถเขียนในรูปสมการ

$$\begin{aligned} \gamma_{sat} &= \frac{W}{V} \\ &= \frac{W_s + W_w}{V} \end{aligned} \quad (2.13.)$$

### 2.3. ทฤษฎีกำลังต้านทานแรงเฉือน

กำลังต้านทานแรงเฉือนของมวลดินคือการต้านทานภายในต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งมีในมวลดินเพื่อต่อต้านการพังทลายและการเลื่อนไถลระหว่างระนาบใด ๆ ภายในดิน ประการหนึ่งที่ต้องเข้าใจลักษณะการต้านทานแรงเฉือนก็เพื่อที่จะวิเคราะห์ปัญหาความมีเสถียรภาพของดินยกตัวอย่างเช่นความสามารถในการรับน้ำหนัก(Bearing Capacity), เสถียรภาพความลาดชัน (slope stability) และแรงดันด้านข้าง(lateral pressure) บนโครงสร้างกันดิน

#### 2.3.1. เกณฑ์การพังทลายของ Mohr – Coulomb

โมร์ได้เสนอทฤษฎีสำหรับการแตกร้าวในวัสดุโดยวัสดุที่เสียหายเนื่องมาจากผลรวมค่าวิกฤตของความเค้นปกติ (normal stress) และความเค้นเฉือน (shearing stress) ซึ่งไม่ได้มาจากผลแต่ละค่าของความเค้นปกติและ ความเค้นเฉือน สูงสุดเพียงอย่างเดียว ด้วยเหตุนี้ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันระหว่างความเค้นปกติ และความเค้นเฉือน บนระนาบที่เกิดการพังทลายสามารถแสดงดังในรูปที่ 2.2(a)

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (2.14.)$$

ระนาบการพังทลาย (failure envelope) อธิบายได้ด้วยสมการ (2.14.) ซึ่งก็คือเส้นความโค้งที่แสดงในรูป 2.2(b) สำหรับปัญหาทางกลศาสตร์ของดิน โดยส่วนมาก, สมการข้างต้นจะสามารถใช้ในการประมาณค่าความเค้นเฉือนบนระนาบที่เกิดการพังทลายเช่นเดียวกับฟังก์ชันเชิงเส้นของความเค้นปกติ (Coulomb, 1776) ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2.15.)$$

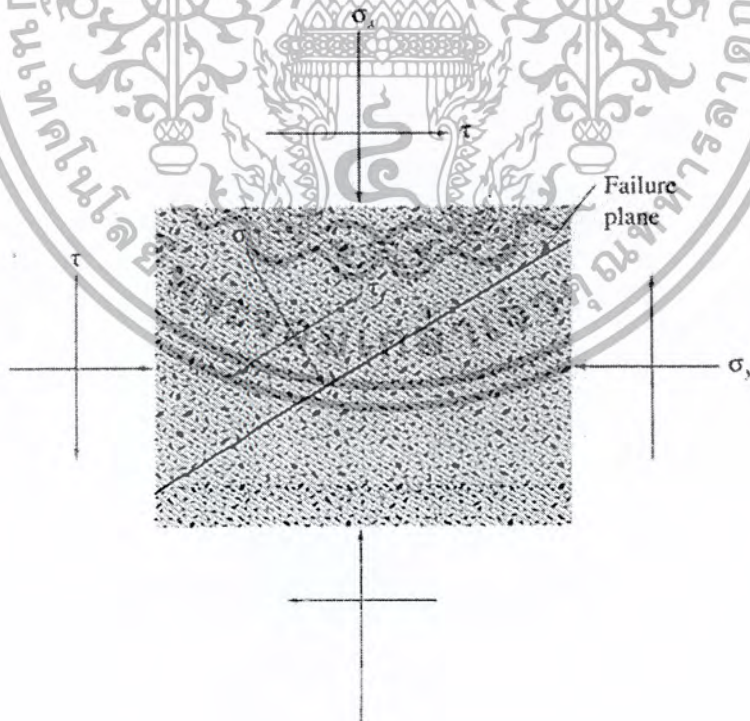
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

- $c$  = การยึดเหนี่ยวของอนุภาคดิน (cohesion)
- $\phi$  = มุมของความเสียดทานภายใน (angle of internal friction)

ความสัมพันธ์ข้างต้นเรียกว่า เกณฑ์การพังทลายของ Mohr – Coulomb (Mohr – Coulomb failure criteria)

ความสำคัญของระนาบการพังทลาย สามารถจะอธิบายได้ดังต่อไปนี้ ถ้าความเค้นปกติและความเค้นเฉือน บนระนาบในมวลดินสามารถพล็อตได้ที่จุด a ในรูป 2.2(b) ซึ่งถ้าเป็นเช่นนี้ การพังทลายแบบเฉือนจะไม่ขึ้นตามระนาบดังกล่าว ถ้าความเค้นปกติและความเค้นเฉือน บนระนาบมวลดินสามารถพล็อตได้ที่จุด B ในกรณีนี้การพังทลายแบบเฉือนจะเกิดบนระนาบนี้ สภาวะของความเค้นบนระนาบนี้ได้ถ้าแสดงอีกครั้งด้วยจุด C ซึ่งไม่สามารถเกิดขึ้นจริงได้เนื่องด้วยจุด C เป็นจุดที่เหนือระนาบการพังทลาย และการพังทลายแบบเฉือนในดินควรที่จะเกิดขึ้นแล้ว

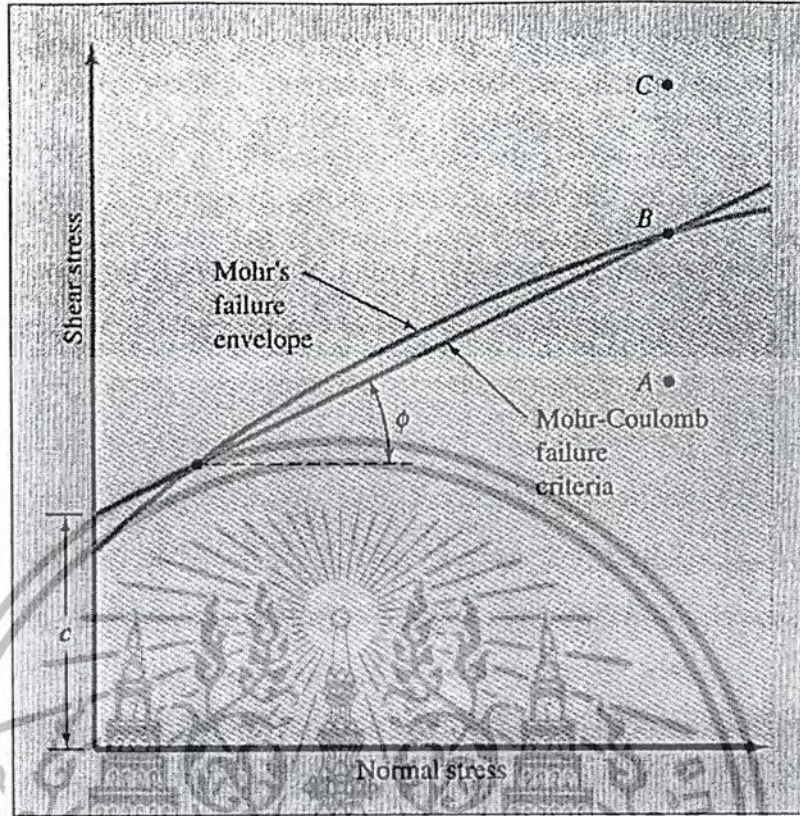


รูปที่ 2.2(a) ระนาบการพังทลายของ Mohr และ เกณฑ์การพังทลายของ Mohr – Coulomb

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(Braja M. Das, 1994)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2(b) ระบายการพังทลายของMohr และ เกณฑ์การพังทลายของ Mohr – Coulomb (Braja M. Das, 1994)

### 2.3.1.1. ผิวหน้าที่ลาดเอียงของระนาบที่พังทลายโดยสาเหตุการเฉือน

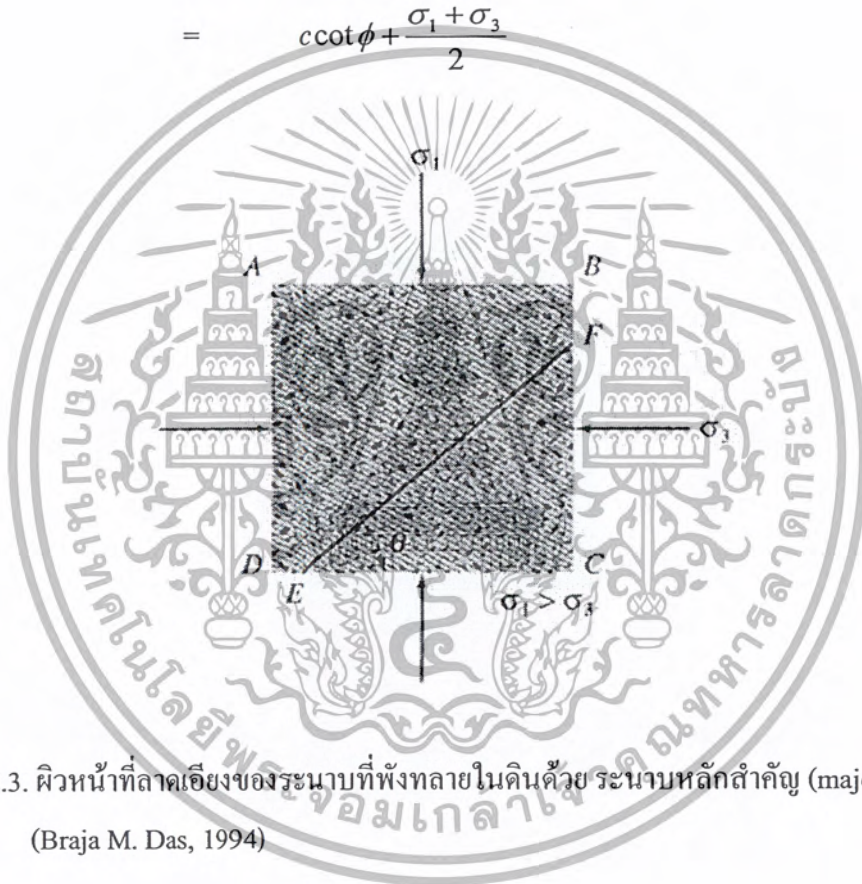
ตามที่กำหนดไว้โดยเกณฑ์การพังทลายของ Mohr – Coulomb การพังทลายจากการเฉือนจะเกิดขึ้นเมื่อความเค้นเฉือนที่มีบนระนาบมีค่าเท่ากับสมการ (2.15.) การอธิบายถึงผิวหน้าที่ลาดเอียงของระนาบที่พังทลายด้วยระนาบหลักสำคัญ(major principle plane) จะอ้างอิงรูป ซึ่ง  $\sigma_1$  และ  $\sigma_3$  แต่ละค่าคือ ความเค้นหลักสำคัญและความเค้นหลักรอง การพังทลายบนระนาบ EF ทำให้เกิดมุม  $\theta$  กับระนาบหลักสำคัญ เพื่อที่จะอธิบายมุม  $\theta$  และความสัมพันธ์ระหว่าง  $\sigma_1$  และ  $\sigma_3$  จะอ้างอิงถึงรูป 2.4. ซึ่งเป็นการพล็อตบนวงกลมโมร์ สำหรับในสถานะของความเค้นที่แสดงในรูป 2.3. ในรูป 2.4 .fgh คือระนาบการพังทลาย ซึ่งอธิบายโดยความสัมพันธ์  $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$  เส้นแนวที่แผ่ออกจากจุดศูนย์กลาง ab เรียกว่าระนาบหลักสำคัญ (CD ในรูป 2.3.) และเส้นแนวที่แผ่ออกจากศูนย์กลาง ad เรียกว่าระนาบการพังทลาย (EF ในรูป 2.3.) ซึ่งสามารถแสดงได้ว่า  $\hat{b}ad = 2\theta = 90 + \phi$  หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 $\theta = 45 + \frac{\phi}{2}$  (2.16.)  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากรูปที่ 2.4

$$\frac{\overline{ad}}{\overline{fa}} = \sin \phi \quad (2.17.)$$

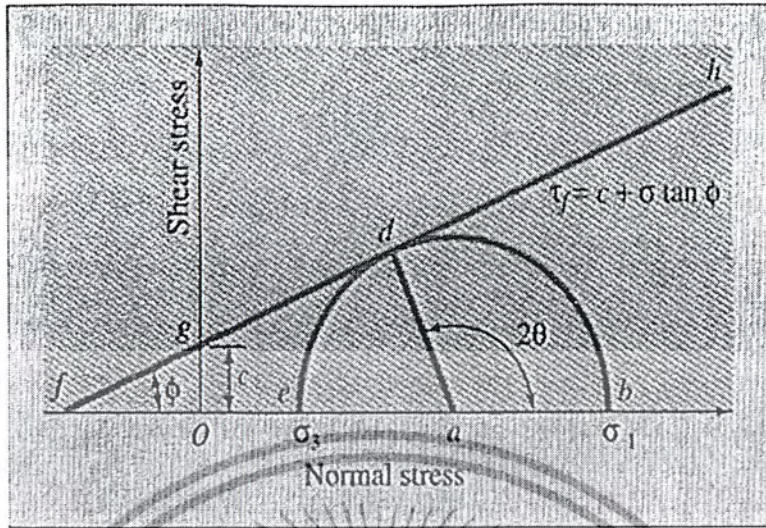
$$\begin{aligned} \overline{fa} &= f_0 + 0a \\ &= c \cot \phi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \end{aligned} \quad (2.18.a)$$



รูปที่ 2.3. ผิวหน้าที่ลาดเอียงของระนาบที่พังทลายในดินด้วย ระนาบหลักสำคัญ (major principal plane)

(Braja M. Das, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4. วงกลมโมร์และระนาบการพังทลาย (Braja M. Das, 1994)

ดังนั้น

$$\frac{ad}{a} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \tag{2.18.b}$$

แทนสมการ (2.18a) และ (2.18b) ลงในสมการ (2.17.) จะได้สมการ

$$\sin \phi = \frac{\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}}{c \cot \phi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}}$$

หรือ

$$\sigma_1 = \sigma_3 \left( \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \right) + 2c \left( \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi} \right) \tag{2.19.}$$

อย่างไรก็ตาม

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

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

ดังนั้น

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.20.)$$

ตารางที่ 2.1. ตัวอย่างค่ามุมของความเสียดทานสำหรับทรายและตะกอนที่ระบายน้ำออกแล้ว

(Braja M. Das, 1994)

Soil type	$\phi$ (deg)
<i>Sands: Rounded grains</i>	
Loose	27-30
Medium	30-35
Dense	35-38
<i>Sand: Angular grains</i>	
Loose	30-35
Medium	35-40
Dense	40-45
<i>Gravel with some sand</i>	34-48
<i>Silts</i>	26-35

### 2.3.1.2. กฎการพังทลายแบบเฉือนในดินอิมตัว

ในดินที่อิมตัวผลรวมความเค้นปกติที่จุดจุดหนึ่งคือผลรวมของความเค้นประสิทธิผลและแรงดันน้ำในช่องว่าง (pore water pressure) หรือ

$$\sigma = \sigma' + u$$

ความเค้นประสิทธิผล ( $\sigma'$ ) หมายถึงคินที่เป็นของแข็งเช่นเดียวกันเมื่อประยุกต์มาใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนลิขสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลอื่น ๆ ที่ปรากฏในเอกสารนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\tau_f &= c + (\sigma - u) \tan \phi \\ &= c + \sigma' \tan \phi\end{aligned}\quad (2.21.)$$

ค่าของ  $c$  สำหรับทรายและตะกอนจากธรรมชาติ (อนินทรีย์) จะมีค่าเป็น 0 สำหรับดินเหนียวอัดตัวโดยทั่วไปค่า  $c$  จะสามารถประมาณได้เท่ากับ 0 ดินเหนียวที่อัดตัวแน่นเกินไปมีค่าของ  $c$  มากกว่า 0 มุมของแรงเสียดทาน  $\phi$  บางครั้งจะอ้างอิงเช่นเดียวกับมุมของแรงเสียดทานของดินที่มีการระบายน้ำออก การแบ่งชนิดของค่า  $\phi$  สำหรับดินเม็ดเล็ก ๆ ต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.1.

### 2.3.2. อธิบายถึงปัจจัยความต้านทานแรงเฉือนสำหรับดินในห้องปฏิบัติการ

ปัจจัยความต้านทานแรงเฉือนของดินสามารถอธิบายในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธีการทดสอบขั้นพื้นฐาน 2 วิธี คือ Direct Shear Test และ Triaxial Test ขั้นตอนสำหรับการดำเนินการในแต่ละวิธีการทดสอบจะอธิบายในรายละเอียดบางอย่างในส่วนต่อไป

#### 2.3.2.1. Direct Shear Test

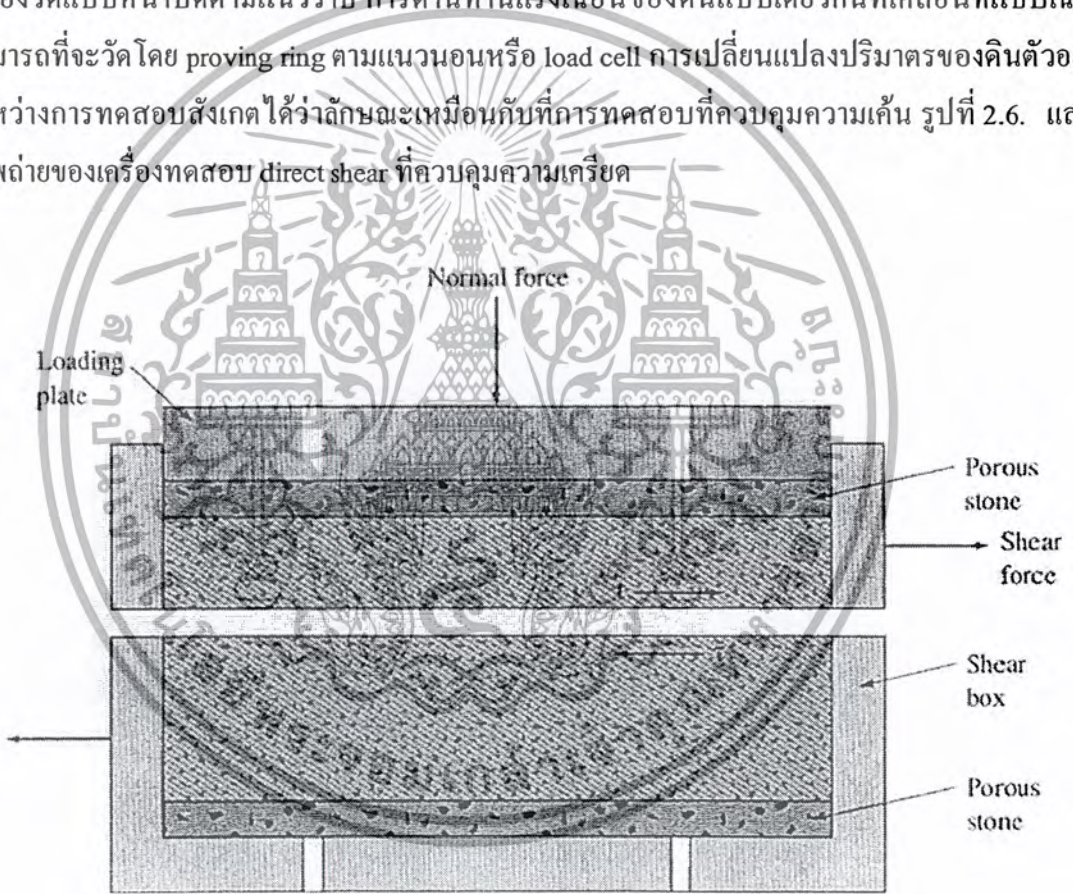
วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้มานานแล้วและมีรูปแบบที่ไม่ยุ่งยากของการเตรียมการทดสอบแรงเฉือน แผนภาพของเครื่องมือทดสอบแรงเฉือนแสดงในรูป 2.5. อุปกรณ์ทดสอบประกอบด้วย กล่องเฉือน (Shear box) ซึ่งมีที่ว่างไว้สำหรับใส่ดินตัวอย่าง ดินตัวอย่างอาจจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือรูปวงกลมก็ได้ ขนาดของพื้นที่ที่ใส่ตัวอย่างโดยทั่วไปจะประมาณ 3 หรือ 4 ตารางนิ้ว (1935.42 หรือ 2580.64 mm<sup>2</sup>) มีความสูงจากผิวล่างของดินถึงผิวบนของดินประมาณ 1 นิ้ว (25.4 mm) กล่องนี้จะแยกออกตามแนวนอนโดยจะแบ่งเป็นส่วนเท่า ๆ กันแรงปกติ (Normal force) บนดินตัวอย่างถูกใช้เป็นประโยชน์จากด้านบนของกล่องเฉือน ความเค้นปกติบนดินตัวอย่างสามารถมีค่ามากถึง 150 lb/in<sup>2</sup> (1034.2kN/m<sup>2</sup>) แรงเฉือนถูกใช้เป็นประโยชน์โดยการเลื่อนส่วนหนึ่งของกล่องออกไปเป็นเหตุให้เกิดการพังทลายในดินตัวอย่าง

ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าเครื่องมือทดสอบแบบเฉือนสามารถควบคุมความเค้นหรือควบคุมความเครียดได้อย่างไรอย่างหนึ่ง

ในการทดลองที่ควบคุมความเค้น แรงเฉือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่จนกระทั่ง  
เอกสารนี้เป็นตัวอย่างดินพังทลาย การพังทลายมีผลบริเวณตามระนาบที่แบ่งกล่องเฉือนออกจากกัน หลังจากการใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

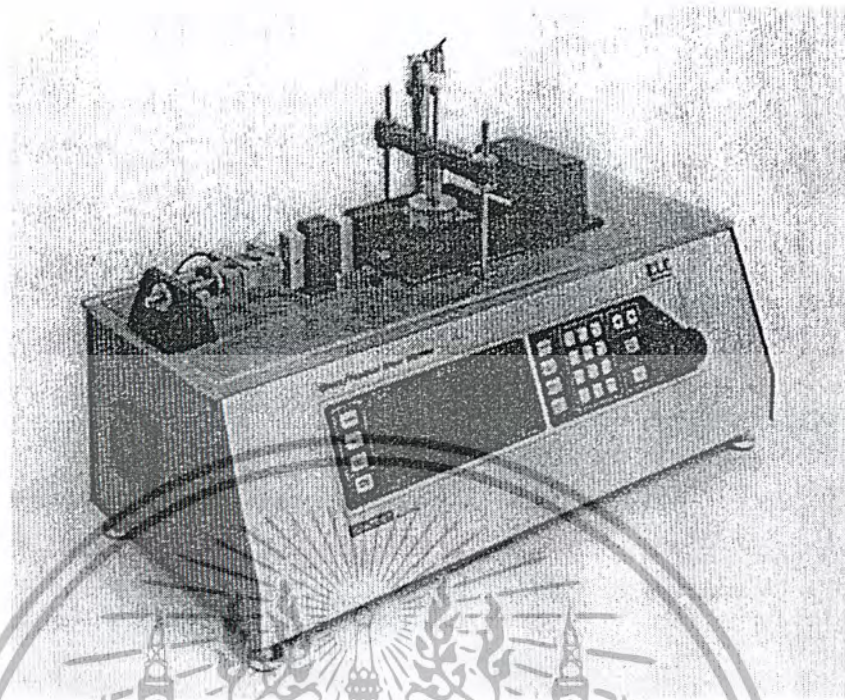
น้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นแต่ละอัน ส่วนที่เคลื่อนที่แบบเฉือนของครึ่งบนของกล่องจะถูกวัด โดยเครื่องวัดแบบหน้าปิดตามแนวราบ การเปลี่ยนแปลงในส่วนสูงของตัวอย่างดินในระหว่างการทดสอบสามารถหาได้จาก การอ่านค่าของเครื่องวัดแบบหน้าปิดซึ่งวัดการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของแผ่นโลหะส่วนที่อยู่ด้านบน

ในการทดลองที่ควบคุมความเครียด การเคลื่อนที่แบบเฉือนจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราคงที่ คือ ส่วนครึ่งหนึ่งของกล่องเคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ อัตราที่คงที่ของการเคลื่อนที่แบบเฉือนจะสังเกตได้โดย เครื่องวัดแบบหน้าปิดตามแนวราบ การต้านทานแรงเฉือนของดินแบบเดียวกันที่เคลื่อนที่แบบเฉือนสามารถที่จะวัด โดย proving ring ตามแนวอนหรือ load cell การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินตัวอย่างระหว่างการทดสอบสังเกตได้ว่าลักษณะเหมือนกับที่การทดสอบที่ควบคุมความเค้น รูปที่ 2.6 แสดงภาพถ่ายของเครื่องทดสอบ direct shear ที่ควบคุมความเครียด



รูปที่ 2.5. รูปภาพของลักษณะการทดสอบ direct shear (Braja M. Das, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6. เครื่องทดสอบ direct shear ที่ควบคุมความเครียด (courtesy of Soiltest, Inc., Lake Bluff, Illinois) (Braja M. Das, 1994)

ประโยชน์ของการทดสอบที่ควบคุมความเครียดนั้นก็คือ ในกรณีของทรายแน่นการต้านทานแบบเฉือนวิกฤตจะดีเหมือนกับการต้านทานแบบเฉือนที่น้อยกว่า ซึ่งสามารถทราบได้จากการสังเกตและการพล็อตบนกราฟ ในการทดสอบที่ควบคุมความเค้นการต้านทานแบบเฉือนวิกฤตเท่านั้นที่จะสามารถสังเกตและพล็อตได้

หมายเหตุ การต้านทานแบบเฉือนวิกฤตในการทดสอบที่ควบคุมความเค้นจะเป็นค่าประมาณเท่านั้น นี่เป็นเพราะว่าเกิดการพังทลายขึ้นที่ระดับความเค้น ต่าง ๆ ระหว่างการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกก่อนพังทลายและการเพิ่มน้ำหนักที่ทำให้พังทลาย ถึงแม้ว่าจะเป็นเช่นนั้นก็ตามในสภาวะการเก็บตัวอย่างในสนามการทดสอบที่ควบคุมความเค้นจะเหมาะสมกว่าการทดสอบที่ควบคุมความเครียด สำหรับการทดสอบความเค้นปกติ สามารถคำนวณได้ดังนี้

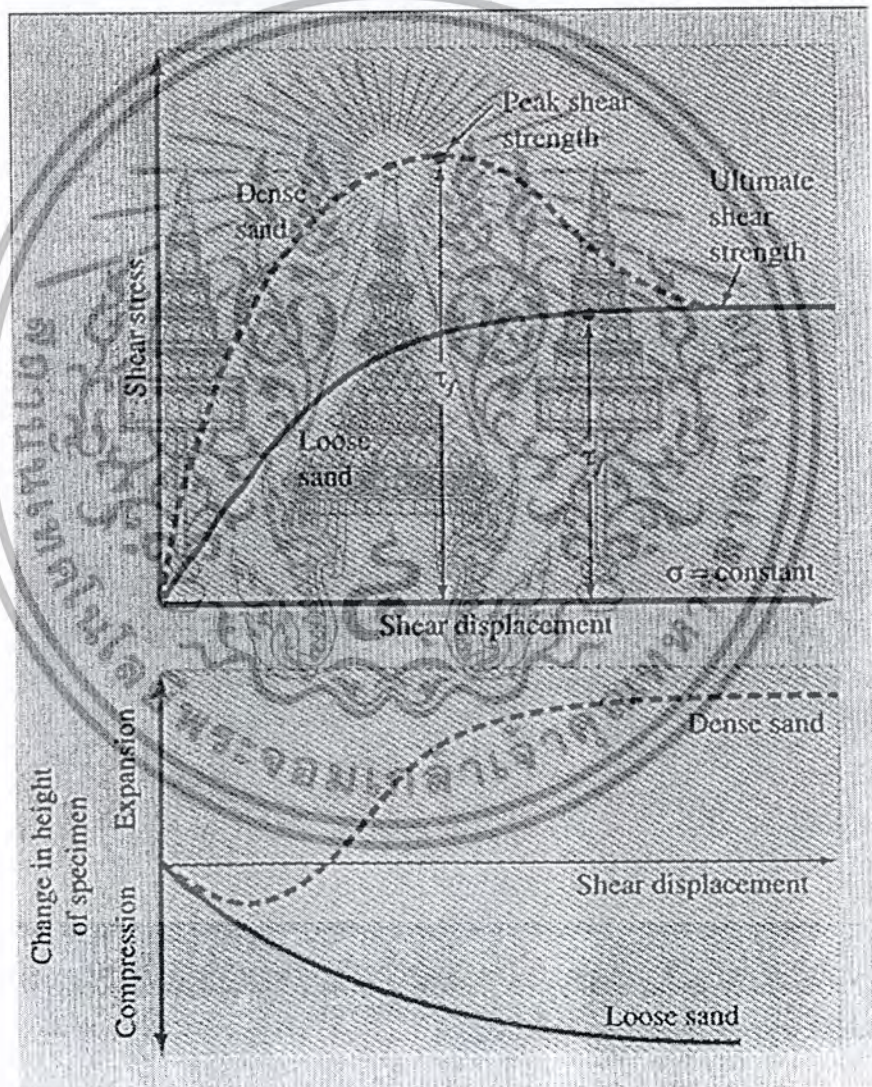
$$\sigma = \text{ความเค้นปกติ (normal stress)}$$

$$= \frac{\text{normal force}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของดินตัวอย่าง}} \quad (2.22.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้พื้นที่เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต้านทานความเค้นเฉือนสำหรับการเคลื่อนที่แบบเฉือนในแบบอื่น ๆ สามารถ  
คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \tau &= \text{ความเค้นเฉือน(Shear Stress)} \\ &= \frac{\text{resisting shear force}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของดินตัวอย่าง}} \end{aligned} \quad (2.23.)$$



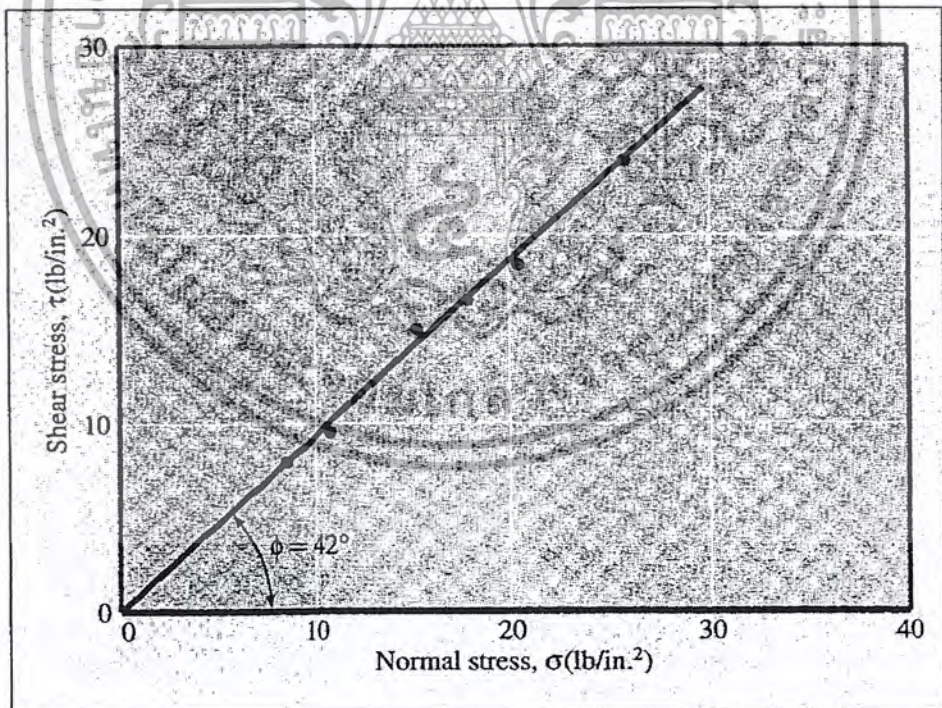
รูปที่ 2.7. การพล็อตของความเค้นเฉือน (shear stress) และการเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่าง ซึ่ง  
ต้านทานการเคลื่อนที่แบบเฉือนสำหรับทรายที่หลวมที่แห้งและทรายที่อัดแน่นและแห้ง

(Braja M. Das, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7. แสดงถึงตัวอย่างการพล็อตของความเค้นเฉือน และการเปลี่ยนความสูงของดินตัวอย่างซึ่งต้านทานการเคลื่อนที่แบบเฉือนสำหรับที่หลวมและทรายที่อัดแน่น การสังเกตดังกล่าวได้มาจากการทดสอบที่ควบคุมความเครียด ลักษณะทั่วไปตามที่กล่าวมานี้สามารถจะพัฒนาได้จากรูป 2.7 จะเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการต้านทานความเค้นเฉือนกับการเคลื่อนที่แบบเฉือน

1. ในทรายที่หลวม การต้านทานความเค้นเฉือนจะเพิ่มขึ้นด้วย การเคลื่อนที่แบบเฉือนจนกระทั่งค่าความเค้นเฉือนของการพังทลายมีค่าเท่ากับ  $\tau_f$  หลังจากนั้น การต้านทานแบบเฉือนจะมีค่าโดยประมาณคงที่สำหรับการเพิ่มในการเคลื่อนที่แบบเฉือน
2. ในทรายที่อัดแน่น การต้านทานความเค้นเฉือนจะเพิ่มขึ้นด้วยการเคลื่อนที่แบบเฉือนจนกระทั่งความเค้นเฉือนของการพังทลายมีค่าเท่ากับ  $\tau_f$  โดย  $\tau_f$  ถูกเรียกว่าความต้านทานแรงเฉือนวิกฤต (peak shear strength) หลังจากความเค้นพังทลายได้เกิดขึ้น การต้านทานความเค้นเฉือนจะค่อย ๆ ลดลง ในขณะที่การเคลื่อนที่แบบเฉือนเพิ่มขึ้น จนกระทั่งในท้ายที่สุดจะมีค่าคงที่ซึ่งเรียกว่าความเค้นเฉือนสุดท้าย (ultimate shear strength)



รูปที่ 2.8. อธิบายถึงปัจจัยความเค้นเฉือนสำหรับทรายแห้ง โดยการใช้ผลจากการทดสอบ direct shear (Braja M. Das, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบแบบ direct shear จะถูกทำซ้ำบนตัวอย่างที่เหมือนกันที่ค่าความเค้นปกติหลายค่า และค่าที่เหมือนกันของ  $\tau_f$  สังเกตได้จากจำนวนของการทดสอบซึ่งถูกพล็อตบนกราฟจากที่ซึ่งตัวแปรความแข็งแรงของการเฉือนสามารถอธิบายได้ รูป 2.8. แสดงยกตัวอย่างการพล็อตสำหรับการทดสอบบนทรายแห้ง สมการสำหรับค่าเฉลี่ยของเส้นตรงได้มาจากผลการทดลอง คือ

$$\tau_f = \sigma \tan \phi \quad (2.24.a)$$

(สังเกตว่า  $c = 0$  สำหรับทรายและ  $\sigma = \sigma'$  สำหรับกรณีไม่มีความชื้น)

ดังนั้นค่ามุมเสียดทานจะมีค่า

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{\tau_f}{\sigma} \right) \quad (2.24.b)$$

ดังนั้นจะสังเกตได้ว่า insitu ทรายซีเมนต์อาจจะแสดงการสัดกันค่า  $c$

### 2.3.2.2. การทดสอบ direct shear แบบระบายน้ำออกในทรายและดินเหนียว

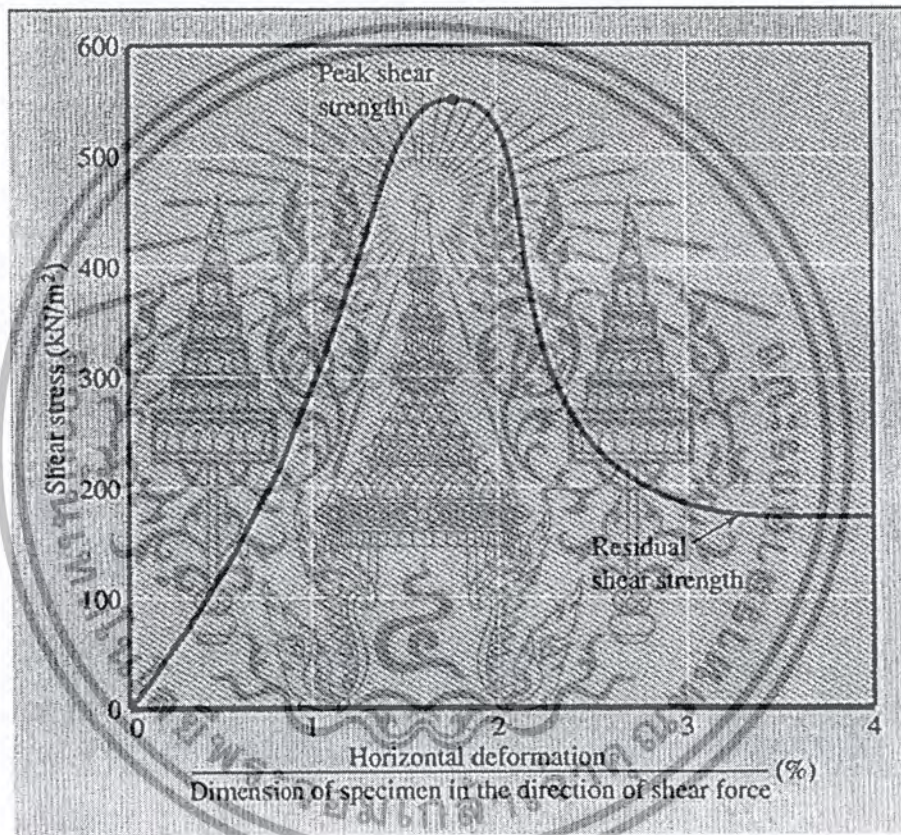
กล่องเฉือน (shear box) ซึ่งบรรจุดินตัวอย่างซึ่งโดยทั่วไปจะเก็บภายในที่บรรจุ ซึ่งสามารถเติมน้ำเพื่อจะทำให้ดินตัวอย่างอิ่มตัว การทดสอบการระบายน้ำออกเป็นการทดสอบในดินตัวอย่างที่อิ่มตัวโดยการเก็บข้อมูลอัตราการบรรทุกน้ำหนักอย่างช้า ๆ เพื่อที่จะทำให้เกิดแรงดันน้ำในช่องว่าง (pore water pressure) ในดินละลายไปโดยสมบูรณ์โดยการระบายน้ำตามรูพรุนจากดินตัวอย่างจะถูกระบายออกผ่านหินที่เต็มไปด้วยรูพรุน (ดูรูปที่ 2.5.)

เนื่องจากค่าคงที่ของการซึมผ่านของทรายมีค่าสูง แรงดันน้ำส่วนเกินที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำจะละลายไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นสำหรับอัตราการบรรทุกน้ำหนักโดยทั่วไปจำเป็นต้องมีเงื่อนไขระบบการระบายน้ำ มุมเสียดทาน ( $\phi$ ) สังเกตได้จากการระบายน้ำในการทดสอบ direct shear ของทรายอิ่มตัวที่อาจจะเป็นเหมือนกับตัวอย่างทรายแบบแห้ง

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินเหนียวจะน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับของทรายเมื่อมีแรงกระทำลงบนตัวอย่างดินเหนียว เมื่อเวลาผ่านไปจนทำให้ดินเหนียวแข็งแรงเต็มที่ นั่นก็คือเกิดการ

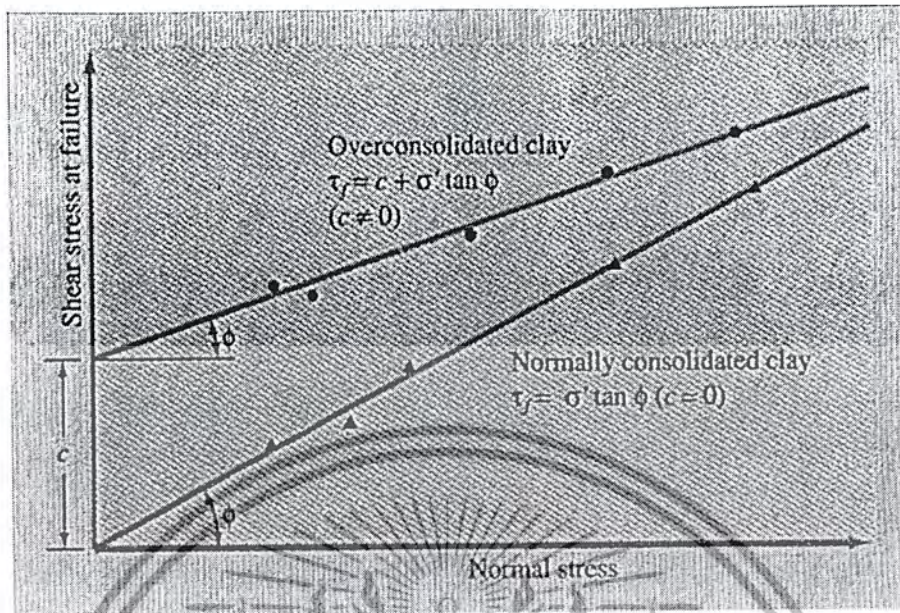
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานวิจัยนี้เพื่อใช้ศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูเห็นข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลายตัวของแรงดันน้ำในช่องว่าง(pore water pressure) สำหรับเหตุผลคือ น้ำหนักกระทำแบบเฉือนจะเป็นประโยชน์ที่อัตราความเร็วช้ามาก ๆ การทดสอบอาจใช้เวลา 2-5 วัน รูป 2.9. แสดงถึงผลของการระบายน้ำโดยการทดสอบแบบ direct shear บนดินเหนียวที่อัดแน่นเกินไปรูป 2.10 แสดงการพล็อตของ  $\tau_f$  ที่ต่อต้าน  $\sigma'$  สังเกตได้จากจำนวนของการระบายน้ำออกโดยการทดสอบแบบ direct shear บนดินที่ทำให้แข็งแรงและ ดินเหนียวที่อัดแน่น (consolidated clay) ซึ่งสังเกตว่า  $\sigma = \sigma'$  และ  $c = 0$  สำหรับดินเหนียวที่อัดแน่นทั่วไป



รูปที่ 2.9. ผลของการทดสอบ direct shear ที่ระบายน้ำออกบนดินเหนียวที่อัดแน่นเกินไป (over consolidated clay) (Braja M. Das, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10. ระบายฟังก์ชันสำหรับดินเหนียวได้มาจากการทดสอบ direct shear ที่ระบายน้ำออก (Braja M. Das, 1994)

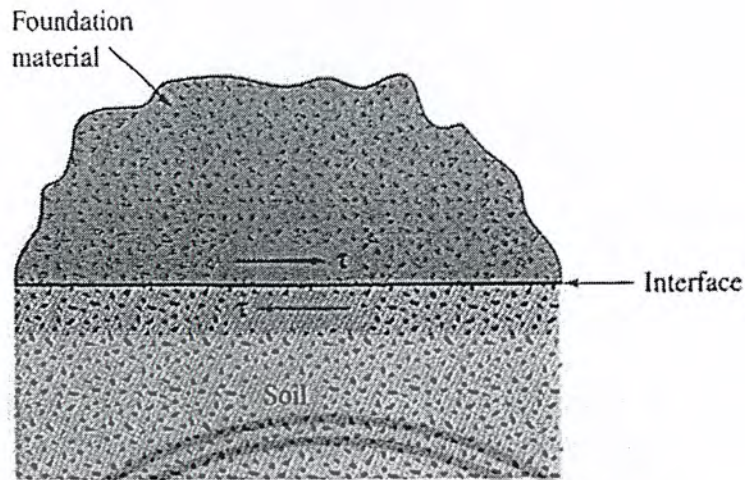
### 2.3.2.3. ข้อสังเกตทั่วไปในการทดสอบแบบ direct shear

การทดสอบแบบ direct shear เป็นวิธีการที่ค่อนข้างง่ายแต่อาจจะมีบางครั้งที่อาจเกิดการลื่นไหล ซึ่งความเชื่อถือได้ของผลอาจมีข้อโต้แย้ง เพราะว่าการทดสอบดินไม่ยอมให้เกิดการพังตามระนาบที่ไม่แข็งแรงแต่ถูกแรงทำให้พังตามระนาบของการผ่าของ กล่องเลื่อนเช่นเดียวกับการกระจายความเค้นเฉือนเหนือพื้นผิวของตัวอย่างจะไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลร้ายของความลื่นไหลที่เกิดขึ้น การทดสอบแบบ direct shear จะเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดสำหรับดินทรายที่แห้งและอิมตัว

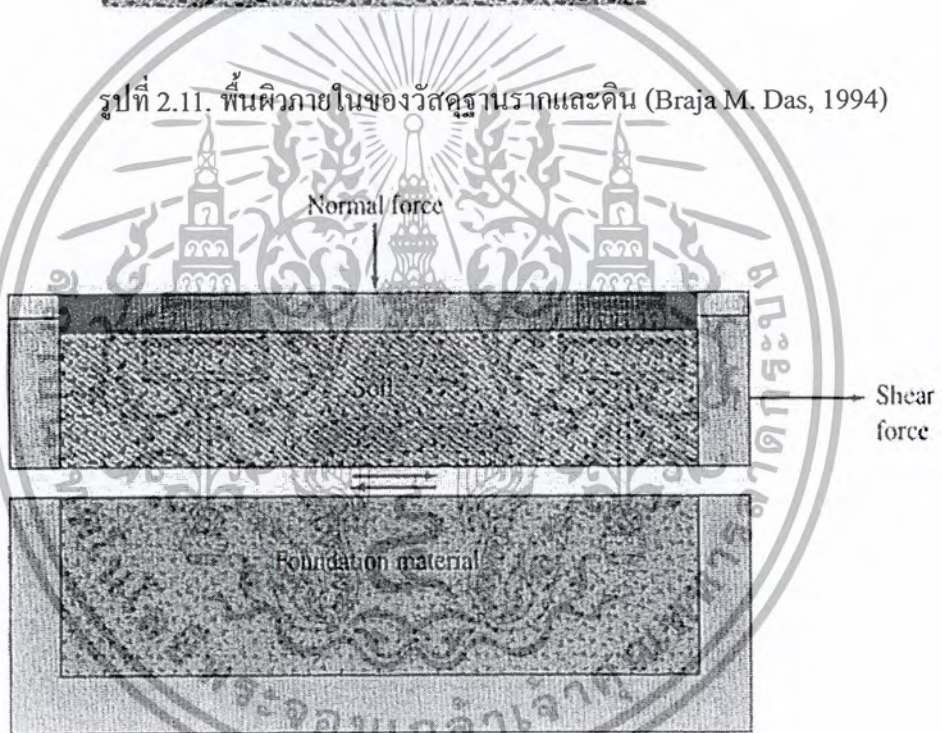
ปัญหาในการออกแบบหลายกรณีมีความจำเป็นที่จะต้องกำหนดมุมของความเสียดทานระหว่างดินและวัสดุที่ทำฐานราก (รูปที่ 2.11.) วัสดุฐานรากอาจจะเป็นคอนกรีต เหล็กหรือไม้ ความต้านทานแรงเฉือนตามผิวที่ติดต่อบetweenดินและฐานรากสามารถหาได้ดังนี้

$$\tau_f = c_a + \sigma' \tan \phi \quad (2.25.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

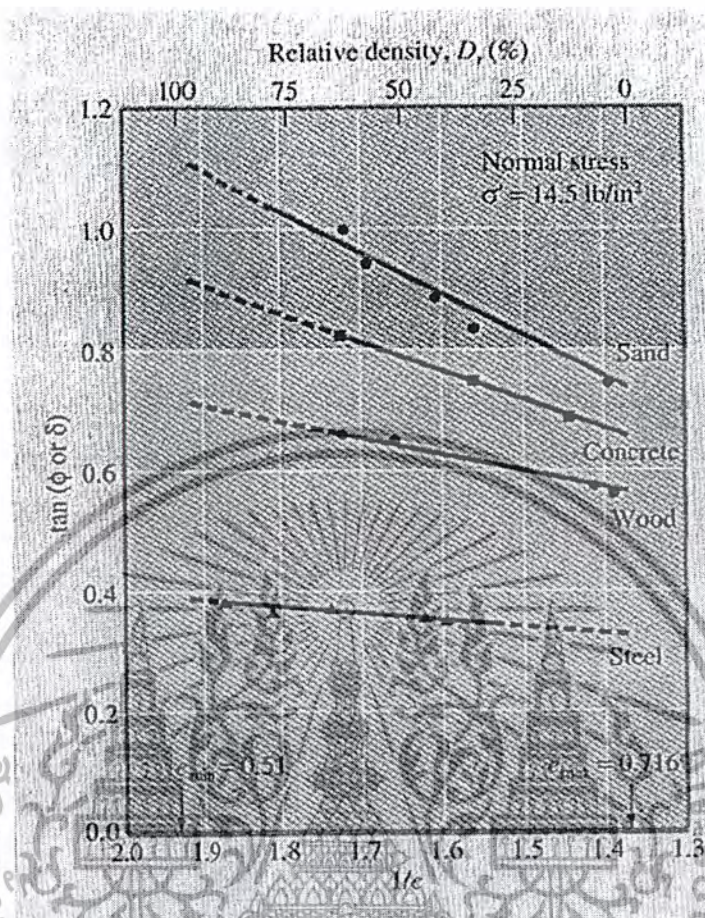


รูปที่ 2.11. พื้นผิวภายในของวัสดุฐานรากและดิน (Braja M. Das, 1994)



รูปที่ 2.12. การทดสอบ direct shear ที่จะอธิบายมุมเสียดทานของพื้นผิวภายใน (Braja M. Das, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13. การเปลี่ยนแปลงของ  $\tan \phi$  และ  $\tan \delta$  กับ  $1/e$  โดยค่า  $e$  = อัตราส่วน ช่องว่าง,  $\sigma' = 14.5 \text{ lb/in}^2$ ; ทฤษฎีที่เป็นผลึก (ตามที่ Acar, เสนอ โดย Durgunoglu, และ Tumay, 1982) (Braja M. Das, 1994)

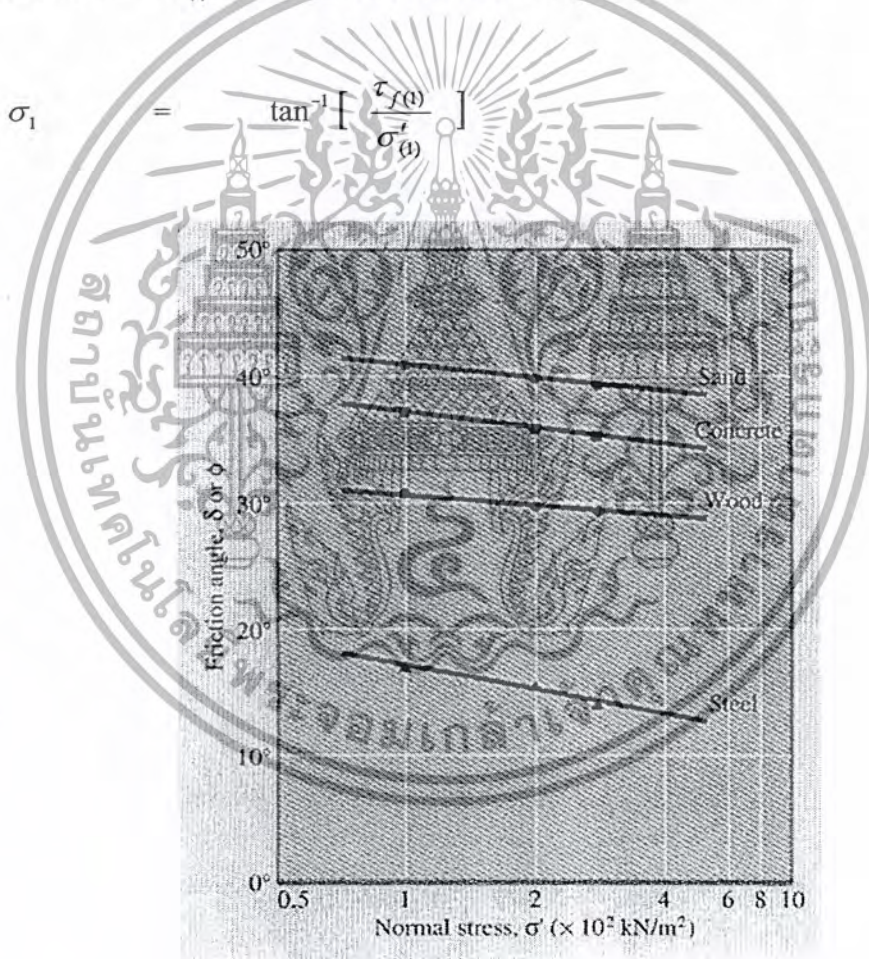
โดยที่

- $c_a$  = การยึดติด (adhesion)
- $\delta$  = มุมของความเสียดทานระหว่างดินและวัสดุฐานราก

ซึ่งสังเกตว่าสมการข้างต้นอยู่ในรูปที่เหมือนกับสมการที่ (2.21.) ตัวแปรของค่าความต้านทานแรงเฉือนระหว่างดินและวัสดุฐานรากสามารถอธิบายได้โดยการทดสอบแบบ direct shear ซึ่งเป็นผลดีจากการทดสอบแบบ direct shear วัสดุที่ใช้ทำฐานรากจะถูกนำไปไว้ในส่วนล่างของ กล่องเฉือนแบบ direct shear และหลังจากนั้นจะนำดินไปใส่ไว้เหนือวัสดุดังกล่าว ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 2.12.

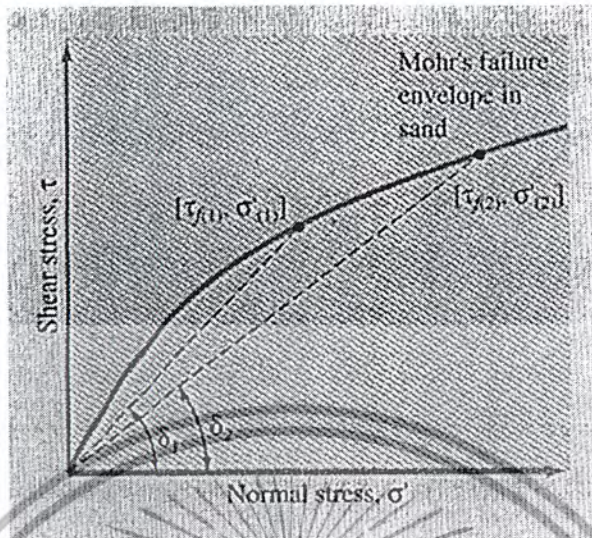
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13. แสดงถึงผลของปฏิบัติการทดสอบแบบ direct shear ในลักษณะดังกล่าวกับทรายแร่และคอนกรีต ไม้และเหล็กเช่นเดียวกับวัสดุฐานรากด้วย  $\sigma' = 14.5 \text{ lb/in}^2$  ( $100 \text{ kn/m}^2$ ) รูป 2.14 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของ  $\delta$  และ  $\phi$  ระหว่างทรายที่เป็นผลึก (relative density = 45%) และวัสดุฐานรากที่มีค่าความดัน =  $\sigma'(c_u = 0)$  มันเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องเข้าใจค่าของ  $\delta$  และ  $\phi$  ลดลงกับเพิ่มขึ้นของความเค้นปกติ  $\sigma'$  ซึ่งสามารถอธิบายโดยอ้างอิงถึงรูป 2.15. ซึ่งกล่าวไว้ในเรื่องเกณฑ์การพังทลายของ Mohr – Coulomb และรูป 2.2. ซึ่งระนาบการพังทลายของ Mohr คือโค้งที่เกิดขึ้นจริงและสมการ 2.15., 2.21. และ 2.25. เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น ถ้าการทดสอบแบบ direct shear เป็นการทดลองด้วยค่า  $\sigma' = \sigma'_{(i)}$  ความต้านทานแรงเฉือนจะมีค่า  $\tau_f$  เช่นกัน



รูปที่ 2.14. การเปลี่ยนแปลงของ  $\sigma$  และ  $\delta$  กับค่า  $\sigma'$  สังเกตว่า : Relative density =45%; ทรายที่เป็นผลึก (after Acar, Durgunoglu, and Tumay, 1982) (Braja M. Das, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15. ลักษณะที่ประกอบด้วยเส้นโค้งของระนาบการพังทลายของMohr ในทราย (Braja M. Das, 1994)

ในรูปที่ 2.15. แสดงถึงลักษณะทั่วไปถ้าการทดลองใช้ค่า  $\sigma' = \sigma'_{(2)}$  ดังนั้น

$$\delta = \delta_2 = \left[ \frac{\tau_{f(2)}}{\tau_{f(1)}} \right]$$

ซึ่งจะเห็นว่าจากรูปที่ 2.15.  $\delta_2 < \delta_1$  เนื่องจาก  $\delta_{(2)} < \delta_{(1)}$  สิ่งหนึ่งที่ต้องเข้าใจคือค่าของ  $\phi$  ที่ให้ในตารางที่ 2.1. เป็นค่าเฉลี่ยเท่านั้น

#### 2.4. ความสามารถรับแรงกด (Bearing Capacity)

จากรูปที่ 2.16.a และรูปที่ 2.17. บอกให้ทราบว่ามีลักษณะการพังทลายที่เป็นไปได้ 2 อย่างที่ฐานราก เมื่อน้ำหนักบรรทุกทำให้เกิดแรงกระจายที่กดลงสูงสุด  $q_{ult}$  จะทำให้เกิดกรณีใดกรณีหนึ่งหรือทั้งสองกรณีตามที่กล่าวต่อไปนี้

- a. เกิดการหมุนดังในรูปที่ 2.16.a รอบจุดศูนย์กลางการหมุน (อาจจะตามแนวตั้ง  $Oa$ ) กับการต้านทานแบบเฉือนที่เกิดตามเส้นรอบวงของบริเวณเลื่อนไถลที่แสดงดังรูปวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

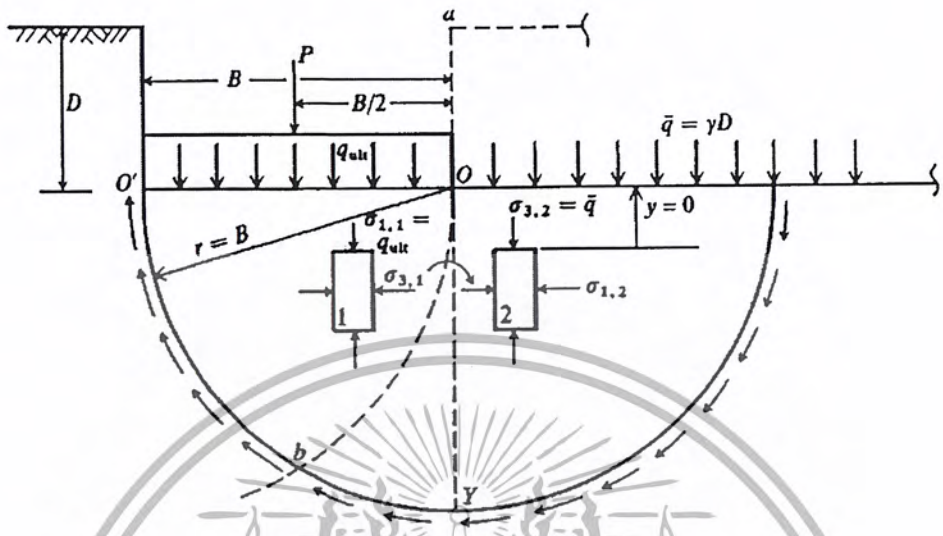
b. เกิดการเฉาะทะลุลงในพื้นดินดังที่เป็นรูปลิ่ม  $agb$  ของรูป 2.17. หรือรูปลิ่มประมาณ  $Obo$  ของรูปที่ 2.16.a

$$s = c + \sigma_n \tan \phi \quad (2.26.)$$

ถึงแม้ว่าสมการนี้เป็นระนาบการแตกหักของวงกลม โมร์มันมีรูปร่างเป็นเหมือนกับภาพประกอบในรูปที่ 2.16.b ดังที่ปรับปรุงตามแนวเลื่อนไถล มันเป็นปกติที่ใช้ความเค้นรวมเป็นปัจจัยกำหนดในสมการนี้ อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีน้ำหนักบรรทุกแน่นอน ค่าความเค้นประสิทธิผล (effective stress) เป็นปัจจัยกำหนด ซึ่งอาจจะมากเกินไปความเหมาะสม

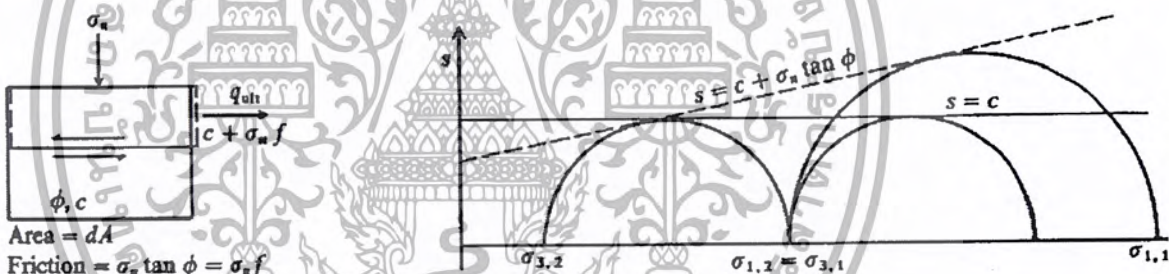
ปัญหาของการได้มาซึ่งค่า  $q_{ult}$  ที่เชื่อถือได้มาอย่างไร เพื่อที่จะได้ขอบเขตการต้านทานแบบเลื่อนที่ครอบคลุมในสถิติพิมพ์และวิธีการประมาณหลายอย่างซึ่งมีตามนี้ เราจะสรุปการทดสอบการประมาณบางส่วนสำหรับ  $q_{ult}$  ที่มีภาพอธิบายประกอบความซับซ้อนของปัญหา และดังนั้นในส่วนต่อไปนี้จะดูที่วิธีการหาความสามารถรับแรงกดที่นิยมส่วนมากทั้งหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) Footing on  $\phi = 0^\circ$  soil.

Note:  $\bar{q} = p'_o = \gamma'D$ , but use  $\bar{q}$ , since this is the accepted symbol for bearing capacity computations.



Area =  $dA$

Friction =  $\sigma_n \tan \phi = \sigma_n f$

Cohesion =  $\frac{c dA}{dA}$

(b) Physical meaning of Eq. (2-52) for shear strength.

(c) Mohr's circle for (a) and for a  $\phi$ -c soil.

รูปที่ 2.16. การประมาณความสามารถในการรับแรงกดบนดินที่มีค่า  $\phi = 0$

(Joseph E. Bowles, 1996)

สำหรับรูปที่ 2.16.a และดินที่มีค่า  $\phi = 0$  เราอาจจะได้วิธีการประมาณขอบเขตด้านล่างสำหรับหน่วยความกว้างแบบแกนของฐานราก  $B \times L (\rightarrow \infty)$  ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

เมื่อฐานรากตกลงในพื้นดิน กล้องความเค้น 1 ที่ด้านช่องแนวตั้ง OY จะมีค่าความเค้นหลัก (principal stress) ดังที่แสดง การตกลงในพื้นดินยังผลทำให้ดินเคลื่อนที่ไปทางด้านขวาของแนว OY การแสดงผลในความเค้นหลักสำคัญ (major principal stress) บนกล้อง 2 ที่เกิดตามแนวอื่นดังที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์อื่นใด  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงอยู่ กล้องดังกล่าวค่าความเค้นสามารถแสดงบนวงกลมโมร์ในรูปที่ 2.16.c เมื่อกล้องความเค้น 2 กล้องอยู่ติดต่อกันที่ไปถึงซึ่งกันและกันที่แนวตั้ง OY ค่า  $\sigma_{3,1} = \sigma_{1,2}$  แต่ด้วยการหมุนของความเค้นหลัก  $90^\circ$  ระหว่างกล้อง ดังนั้น

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) + 2C \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.27.)$$

สำหรับ  $\phi = 0$ ,  $\tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = 1$  และสำหรับกล้อง 2 ที่จุด O (มุมของฐานราก)  $\sigma_{3,2} = \bar{q} = \gamma D$  การประยุกต์ใช้ซึ่งค่าในสมการ (2.27) เราจะได้ค่าความเค้นหลัก ดังนี้

$$\sigma_{1,2} = \sigma_{3,1} = \bar{q}(1) + 2c(1) \quad (2.28.a)$$

สำหรับกล้อง 1 เกือบจะอยู่ใต้ฐานรากและใช้สมการ (2.27) อีกครั้ง ค่าความเค้นหลักสำคัญ  $\sigma_{1,1}$  เป็นดังนี้

$$\sigma_{1,1} = \sigma_{3,1}(1) + 2c(1) \quad (2.28.b)$$

แทนที่  $\sigma_{3,1}$  จากสมการ (2.28a) ลงในสมการ (2.28b) เราจะได้ว่า

$$q_{ult} = \bar{q} + 2c + 2c = 4c + \bar{q} \quad (2.29.)$$

สมการนี้มีประโยชน์ 2 อย่าง คือ

1. ใช้สำหรับหาความสามารถในการรับแรงกด (bearing capacity)
2. ใช้สำหรับหาความลึกของการขุดที่ลึกที่สุดในดินเหนียว

สำหรับความสามารถในการรับแรงกด และกับการวางฐานรากลงบนผิวพื้นดิน ดังนั้น

$a_0 = 0$  ทำให้  $\bar{q} = 0$  ของรูป 2.16a เราจะได้ค่าความเค้นเฉือนสุดท้าย (ultimate bearing pressure)  $q_{ult}$  ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_{ult} = 4c \quad (2.30.)$$

สำหรับความลึกที่ลึกที่สุดที่กำแพงถูกใช้เพื่อรองรับดินตามแนว aO และมันจำเป็นที่  
จะต้องประมาณความลึกของการขุด D ดังนั้นความเค้นที่มากเกินไปจะไม่กดอัดดินจากจุดปลาย (toe)  
ของกำแพงลงในหลุมที่ขุด ค่า  $q_{ult} = 0$  และแก้ปัญหาสมการ (c) ทำให้ได้ว่า

$$\begin{aligned} q_{ult} &= 0 \\ &= 4c + \bar{q} = 4c + \gamma D \end{aligned} \quad (2.31.)$$

ค่าความลึกวิกฤตของการขุด  $D_c$  (ค่าความปลอดภัย = 1) จะเป็นดังนี้

$$D_c = \frac{4c}{\gamma} \quad (2.32.)$$

สำหรับความเป็นไปได้ของวิธีการหาขอบเขตบนเราจะให้ฐานรากหมุนรอบจุด O เรา  
จะสังเกตว่าการหมุนจะหมุนรอบจุด O จึงจะดี และในบางกรณีซึ่งดินมีบริเวณการหมุน 2 บริเวณ ซึ่ง  
เท่ากันแน่นอนในความแข็งแรงรูปลิ้ม ObO ควรจะกดลงในพื้นดินซึ่งมันไม่น่าจะให้ผลความสมดุลที่สูง  
มาก เนื่องจากช่องโพรงดิน รากไม้ หรืออย่างอื่นรวมด้วย ซึ่งการหมุนจะไม่เกิดในตอนแรก (ซึ่งพิสูจน์  
ได้จากการสังเกตการพังทลายในสนาม) การรวมโมเมนต์รอบจุด O เรามีการต้านทานแบบเฉือนรอบ  
นอก + แรงดันที่มีน้ำหนักมาก  $\bar{q}$  ที่ต้านทานแรงดันฐานราก  $q_{ult}$  ดังนั้น

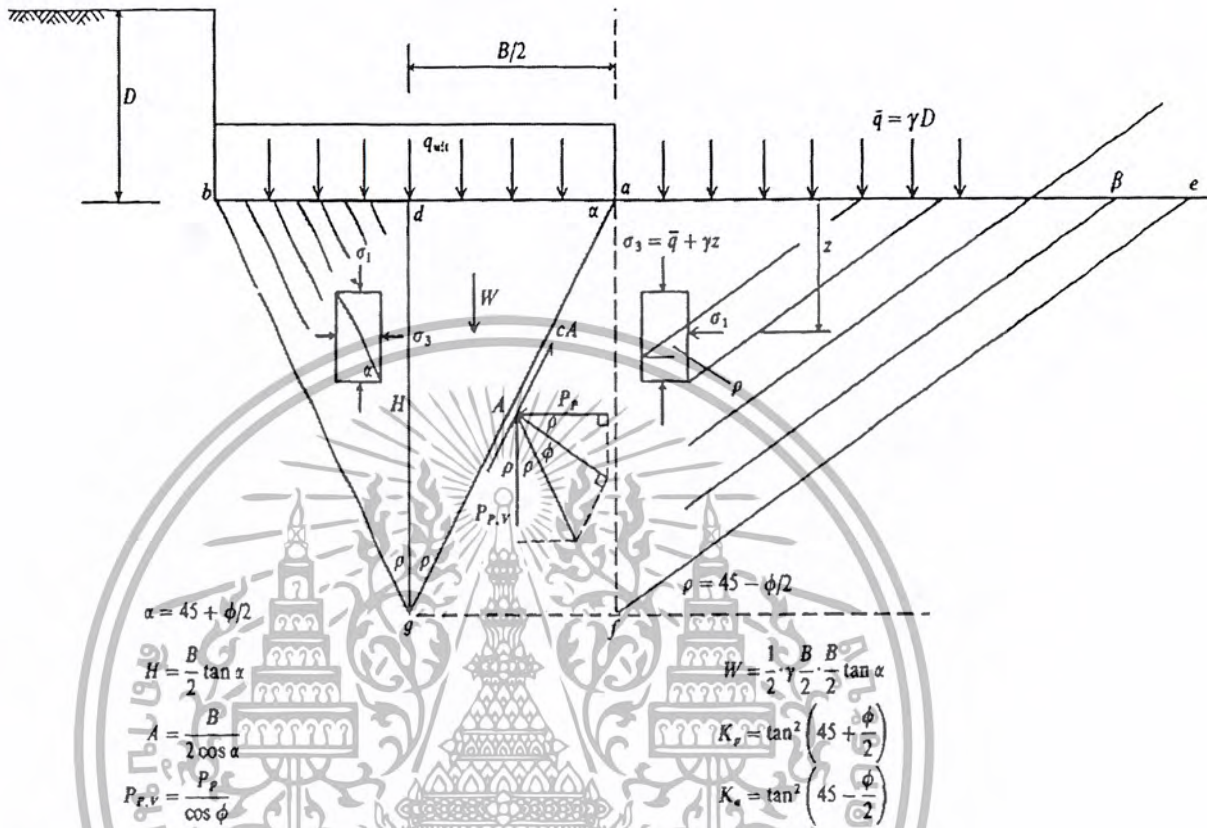
$$q_{ult} \frac{B \times B}{2} = C\pi B \times B - \frac{\bar{q} B \times B}{2} \quad (2.33.)$$

การแก้ปัญหาสำหรับ  $q_{ult}$  เราจะได้ว่า

$$q_{ult} = 2\pi c + \bar{q} \quad (2.34.)$$

สมการ (2.34.) ที่ให้  $q_{ult} = 6.28c$  เมื่อ  $\bar{q} = 0$  ค่าเฉลี่ยจากสมการ (2.30.) และ (2.34.)  
คือ  $\frac{(4c + 6.28c)}{2} = 5.14c$  ซึ่งบังเอิญเท่ากับ  $\pi + 2 = 5.14$  ที่ให้โดยทฤษฎีพลาสติก ตามความเป็นจริง  
ถ้าทำการตรวจสอบระหว่างที่ด้านขวาของแนว Oa สำหรับค่าน้อยสุดของ  $q_{ult}$  จะมีค่าประมาณ  $5.5c <$   
 $2\pi c$  ที่สามารถพบอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17. รูปแบบทั่วไปของความสามารถรับแรงกดสำหรับ  $\phi$ -c  
 ฐานรากบนดิน  $\phi$  - c (Joseph E. Bowles, 1996)

รูปที่ 2.17. คือกรณีความเป็นไปได้สำหรับฐานรากบนดินที่มีทั้งค่าการยึดเกาะ =  $c$  และมุมของความเสียดทานภายใน  $\phi$  ที่ขณะนี้การพังทลายรูปลิ่มถูกแสดงบนพื้นฐานของการพิจารณาทางทฤษฎีและการสังเกตการณ์ของแบบจำลองฐานราก [ดูจาก Jumikis (1962), Ko และ Davidson (1973)] เมื่อรูปลิ่มเคลื่อนที่ลงไปในดิน แรงดันตามแนวด้านข้างจะเกิดขึ้นตามแนว  $ag$  ซึ่งจะคอยเปลี่ยนกล่อง  $agf$  ตามแนวอนที่คอด้านรูปลิ่ม  $afe$  แรงดันตามแนวตั้ง  $af$  ถูกแสดงโดยกล่องความเค้นบนด้านขวาของแนวตั้งกล่าว มันสามารถแสดงโดยใช้วงกลม Mohr ซึ่งรูปลิ่ม  $agb$  ทำให้เกิดแนวแถบความเค้นตั้งที่แสดงบนกล่องความเค้นเล็ก ๆ ภายใน ที่  $\alpha = 45 + \frac{\phi}{2}$  กับแนวอนและส่วนรับฐานรากกับพื้นฐานที่ราบเรียบ ดังที่  $ab$  เป็นระนาบหลัก เช่นเดียวกับรูปลิ่ม  $afe$  มีมุมของแนวแกน  $\beta = 45 + \frac{\phi}{2}$  ซึ่งออกจากแนว  $ae$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกล่องความเค้นบนด้านขวาของแนวตั้ง af (ของความยาว H) เราสามารถคำนวณการต้านทานรวม คือแรง  $P_p$  โดยการอินทิเกรตสมการ (2.27.)

$$\begin{aligned} P_p &= \int_a^f \sigma_1(z) dz \\ &= \int_a^f \left\{ (\gamma z + \bar{q}) \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \right\} dz \end{aligned} \quad (2.35.)$$

ใช้ค่าจำกัดความที่ให้อันรูปที่ 2.17 สำหรับ  $K_p$  และอินทิเกรต (ที่สำคัญ  $\sigma_1$  เปลี่ยนแปลงจาก a ถึง f บนความลึก z) เราจะได้ว่า

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \cdot K_p + \bar{q} H \cdot K_p + 2cH \cdot \sqrt{K_p} \quad (2.36.)$$

การที่จะหา  $q_{ult}$  ผลรวมของแรงในทิศทางแนวตั้งสำหรับครึ่งหนึ่งของรูปสี่เหลี่ยมของการใช้หน่วยความกว้างแรงที่แสดงในรูปจะได้อาจ

$$q_{ult} \times \frac{B}{2} + \frac{B}{2} \cdot \frac{H}{2} \cdot \gamma - cA \cos \rho - \frac{P_p}{\sin \rho \cos \phi} = 0 \quad (2.37.)$$

เมื่อแทนค่าของ H และ A ดังที่แสดงในรูปที่ 2.17 เราจะได้ว่า

$$q_{ult} = c \left[ \frac{2K_p}{\cos \phi} + \sqrt{K_p} \right] + \bar{q} \frac{\sqrt{K_p} K_p}{\cos \phi} + \frac{\gamma B}{4} \left[ \frac{K_p^2}{\cos \phi} - \sqrt{K_p} \right] \quad (2.38.)$$

แทนที่ค่าตัวคูณกับ  $c$ ,  $\bar{q}$  และ  $\gamma B$  ด้วยค่าตัวแปร  $N$  เราสามารถเขียนสมการ (2.38) ในรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$q_{ult} = cN_c + \bar{q}N_q + \gamma BN_\gamma \quad (2.39.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.1. สมการความสามารถรับแรงกด (Bearing – Capacity Equation)

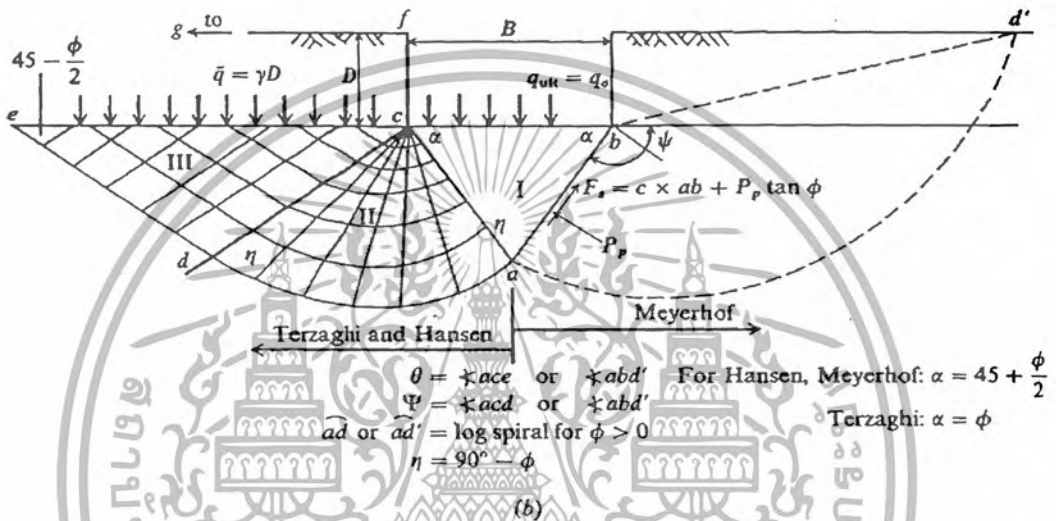
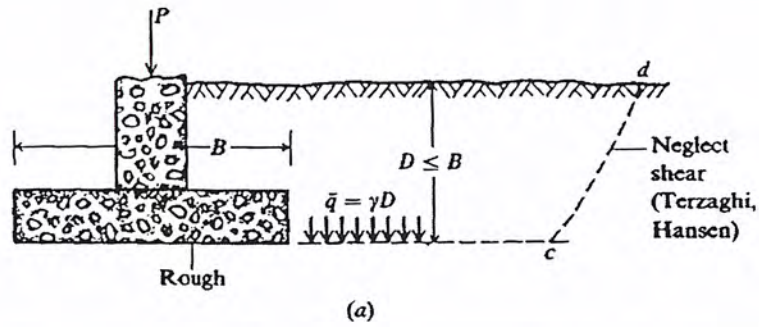
ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีที่จะได้มาของค่าความสามารถรับแรงกดสูงสุดของฐานราก นอกจากวิธีการประมาณ Vesic (1973) ได้ทำตารางเกี่ยวกับการแก้ปัญหา 15 วิธี ตั้งแต่ปี 1940 และตัดเอาค่าที่น้อยที่สุดของวิธีที่นิยมใช้หลายวิธีออกจนกลายเป็นวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การหาค่าความสามารถรับแรงกดสูงสุด ได้มีการเสนอปรับปรุงเพิ่มเติมตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

การหาค่าความสามารถรับแรงกดสูงสุดได้มีการพิสูจน์ทดลองที่นอกจากวิธีดังกล่าวข้างต้น โดยการใช้แบบจำลองฐานราก การใช้แบบจำลองโดยมีขนาด  $B = 25$  ถึง  $75$  mm x  $L = 25$  ถึง  $200$  mm. ซึ่งเป็นที่นิยมเพราะว่า “ค่ามากที่สุด” น้ำหนักบรรทุกสามารถทำให้มีชั้นบนกลองขนาดเล็กของดินในห้องปฏิบัติการ โดยใช้เครื่องกดอัดที่สามารถใช้งาน ได้ทั่วไปที่สามารถอัดแรงได้ถึง  $400$  kN. ฐานรากเท่าของจริงยกตัวอย่างเช่น  $1\text{m} \times 1\text{m}$  สามารถที่จะรับน้ำหนักสูงสุด  $3,000$  ถึง  $4,000$  kN. ดังนั้นจะเสียค่าใช้จ่ายมากในการเตรียมสถานที่และอุปกรณ์ที่เหมาะสมซึ่งจำเป็นที่จะต้องมีและสามารถวัดปริมาณน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นนี้

แบบจำลองโดยเฉพาะบนทราย ไม่มีผลการทดสอบที่เชื่อถือได้เพื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบที่เท่ากับขนาดจริงเนื่องจากผลของมาตราส่วน นั่นก็คือแบบจำลองมีแรงกระทำกลับทั้งหมดมีจำนวนน้อยที่กระทำต่อเม็ดดิน เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบที่เท่ากับขนาดจริง ซึ่งจะมีแรงกระทำต่อเม็ดดินมากกว่ายกตัวอย่าง ทรายที่ต้องการอัดแน่นเพื่อที่จะทำให้สามารถต้านทานได้ บริเวณที่ถูกอัดแน่นอยู่ภายใต้พื้นที่  $25 \times 50$  mm. แบบจำลองเกือบจะไม่มีอะไรเปรียบเทียบกับบริเวณอัดแน่นภายใต้พื้นที่ขนาดเล็ก เช่น  $1\text{m} \times 2\text{m}$ . ของฐานรากมันแสดงให้เห็นชัดเจนจากรูป 2.17. ซึ่งอิทธิพลของความลึกเป็นผลแตกต่างค่อนข้างมากใน 2 กรณีนี้ ในแง่ไม่เคี้ยวของข้อบกพร่องใหญ่ ๆ ในการทดลองนี้คือ การใช้แบบจำลองที่เป็นขนาดกว้างและผลงานเขียนทั่วไปที่รายงานถึงผลของโปรแกรมการทดสอบแบบใหม่

การทดสอบโดยเครื่องมือหมุนเหวี่ยงที่ถูกใช้โดยห้องปฏิบัติการบางแห่งซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง ในรูปแบบการทดสอบนี้แบบจำลองของฐานรากถูกนำไปวางบนดินฐานรากและเครื่องมือหมุนเหวี่ยงที่ทำให้หมุน ในทางปฏิบัติเกือบจะทั้งหมดของแรงโน้มถ่วงสามารถจะสมมติโดยการปรับอัตราความเร็วของเครื่องมือหมุนเหวี่ยง สำหรับค่าตัวเลขในทางปฏิบัติที่เหมาะสมของการเลียนแบบดินส่วนมาก ในการทดสอบนี้ไม่มีการให้ขอบเขตตามที่กล่าวมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18. (a) ฐานรากดินกับฐานรากขรุขระ สมการของ Terzaghi และ Hansen ในตาราง ที่ 2.3. จะไม่พิจารณาแรงเฉือนตามแนว cd (b) พฤติกรรมของดินใต้ฐานรากโดยทั่วไปของสมการความสามารถรับแรงกดสำหรับฐานรากแบบแถบ ด้านซ้ายสำหรับ Terzaghi (1943), Hansen (1970) และด้านขวาของ Meyerhof (1951) (Joseph E. Bowles, 1996)

#### 2.4.1.1. Terzaghi Bearing – Capacity Equation

การจัดตั้งในช่วงแรกของสมการความสามารถรับแรงกดถูกเสนอโดย Terzaghi (1943) ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.3. สมการเหล่านั้นเป็นรูปแบบเหมือนกับสมการ (2.39) แต่ Terzaghi ใช้ตัวแปรรูปร่างสังเกตว่า เมื่อขอบเขตของสมการถูกอภิปราย สมการของ Terzaghi ถูกสร้างจากการปรับปรุงเล็กน้อยจากทฤษฎีความสามารถรับแรงกด ที่ทำให้เกิดขึ้นโดย Prandtl (ca 1920) จากการใช้ทฤษฎีของพลาสติก เพื่อที่จะวิเคราะห์การเจาะทะลุของฐานที่เป็นของแข็งเข้าไปภายในที่อ่อนกว่าคล้ายกันกับที่สมการ (k) ซึ่งเป็นสมการพื้นฐานในกรณีที่หน่วยความกว้างจากแถบด้านยาวเกิดสภาพความเครียดบน

ระนาบ ค่าตัวแปรรูปร่างทั้งหมด  $S = 100$  แต่ค่าตัวแปร  $N$  จะคำนวณได้ต่างกับ Terzaghi ใช้  $\alpha = \phi$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่อคุณผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.17. และ 2.18. ในทางตรงกันข้ามทฤษฎีอื่น ๆ โดยส่วนมากใช้  $\alpha = 45 + \frac{\phi}{2}$  เราจะเห็นว่าในตารางที่ 2.3. นั้น Terzaghi เท่านั้นที่ใช้ค่าตัวแปรรูปร่างกับการยึดเกาะ ( $S_c$ ) และฐานราก ( $S_r$ ) Terzaghi พัฒนาสมการความสามารถรับแรงกดจากสมการ ( $k$ ) โดยการรวมแรงแนวโค้งบนรูปสี่เหลี่ยม bac ของรูปที่ 2.18 ความแตกต่างในค่าตัวแปร  $N$  เป็นผลจากสมมติฐานของ log spiral arc ad และทางออกรูปสี่เหลี่ยม cde ของรูปที่ 2.18. สิ่งนี้ทำให้เกิดความแตกต่างมากในการคำนวณค่า  $P_p$  ซึ่งมีการเปลี่ยนค่าความแตกต่าง  $N_r$  แนวการเลื่อนไถลแบบเลื่อนแสดงในรูปที่ 2.18. เส้นทางโคจรของความเค้นแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติในข้างใต้บริเวณพลาสติกทางด้านล่างตามที่การต้านทานแรงดันสูงสุดถูกทำให้เกิดขึ้น

สมการความสามารถรับแรงกดของ Terzaghi มีความมุ่งหมายเพื่อฐานรากที่ตื้น ๆ ซึ่ง  $D \leq B$  ดังนั้นการต้านทานแรงเลื่อนตามแนว cd ของรูป 2.18a. สามารถจะตัดทิ้งได้ ตาราง 2.3. เป็นรายการสมการ Terzaghi และวิธีสำหรับคำนวณค่าตัวแปร  $N_r$  ต่าง ๆ และตัวแปรรูปร่าง 2 อย่าง  $S_c$  สำหรับใช้งานที่รวดเร็วโดย Terzaghi อธิบายไม่คำนึงถึงการได้ค่า  $K_{py}$  ที่ใช้เพื่อคำนวณค่าตัวแปรความสามารถรับแรงกด  $N_r$

จากสมการสำหรับ  $N_r$  ที่แสดงในตารางที่ 2.3 เมื่อตรวจสอบอย่างละเอียดในตารางที่ 2.2. แสดงให้เห็นซึ่งค่า  $N_r(M)$  ของ Meyerhof มีที่ใกล้เคียงกับทฤษฎีของบุคคลอื่นยกเว้นกรณีที่มีมุม  $\phi > 40^\circ$  การประมาณค่า  $N_r$  สำหรับวิธีอื่นประกอบด้วยสมการตามนี้

$$N_r = 2(N_q + 1)\tan \phi \quad \text{Vesic (1973)} \quad (2.40)$$

$$N_r = 1.1(N_q - 1)\tan 1.3\phi \quad \text{Spangler and Handy (1982)} \quad (2.41)$$

ค่า  $N_r$  มีการแนะนำความกว้างของค่าตัวแปร  $N$  ความสามารถรับแรงกดอื่น ๆ บทความนี้ได้แสดงให้เห็นดังนี้

$$38 \leq N_r \leq 192 \quad \text{สำหรับ} \quad \phi = 40^\circ$$

ในส่วนเนื้อหานี้ค่าจากตารางที่ 2.2. ให้ช่วงจากประมาณ 79 ถึง 109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2. ตัวแปรความสามารถรับแรงกดสำหรับสมการความสามารถรับแรงกดของ Meyerhof, Hansen และ Vesic (Joseph E. Bowles, 1996)

Note that  $N_c$  and  $N_q$  are the same for all three methods; subscripts identify author for  $N_\gamma$

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_{\gamma(H)}$	$N_{\gamma(M)}$	$N_{\gamma(V)}$	$N_q/N_c$	$2 \tan \phi(1 - \sin \phi)^2$
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

\* =  $\pi + 2$  as limit when  $\phi \rightarrow 0^\circ$ .

Slight differences in above table can be obtained using program BEARING.EXE on diskette depending on computer used and whether or not it has floating point.

#### 2.4.1.2. Meyerhof's Bearing – Capacity Equation

Meyerhof (1951, 1963) ได้เสนอสมการความสามารถรับแรงกด ซึ่งคล้ายกับของ Terzaghi แต่ประกอบด้วยตัวคูณรูปร่าง  $S_q$  กับพจน์ของความลึก  $N_q$  กรณีที่น้ำหนักที่กระทำที่ฐานรากมีแนวเบี่ยงเบนออกจากแนวค้ำจะประกอบด้วยตัวคูณความลึก  $d_i$  และตัวคูณความเบี่ยงเบน  $i_i$  สมการที่สร้างขึ้นเพิ่มเติมเป็นรูปแบบที่แสดงในตาราง 2.3 การเลือกตัวคูณ  $N$  ซึ่งคำนวณในตารางที่ 2.2.

Meyerhof ได้หาค่าตัวคูณ  $N$  โดยทำการทดลองสุ่มของบริเวณ  $abd'$  กับ  $arc ad'$  ของรูปที่ 2.18.b ซึ่งประกอบด้วยการประมาณสำหรับการเลื่อนตามแนว  $cd$  ของรูปที่ 2.18.a ตัวคูณรูปร่าง ตัวคูณความลึก และตัวคูณความเบี่ยงเบนในตารางที่ 2.4. จาก Meyerhof (1963) ก่อนข้างจะแตกต่างจากค่าดังกล่าวที่เขาคำนวณไว้ในปี 1951 ตัวคูณรูปร่างของ Meyerhof ไม่ค่อยแตกต่างมากจากที่ Terzaghi เคยให้ไว้ยกเว้นการเพิ่มของ  $S_q$  จากการสังเกตซึ่งการเลื่อนประสิทธิผลตามแนว  $cd$  ของรูปที่ 2.18.a ซึ่งยังคงไม่ค่อยให้ความสนใจ Meyerhof ได้เสนอตัวคูณความลึกของ  $d_i$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Meyerhof ได้เสนอการใช้ตัวคูณความเบี่ยงเบนของตารางที่ 2.4 ถึงการลงความสามารถรับแรงกด เมื่อผลรวมของน้ำหนักบรรทุกมีการเบี่ยงเบนจากแนวตั้งโดยมีค่ามุม  $\theta$  เมื่อตัวคูณ  $i_r$  จะไม่ถูกใช้เมื่อ  $\phi = 0^\circ$  เนื่องจากแถบของฐานควรจะต้องเกิดกับพจน์นี้ แม้ว่าถ้าฐานดังกล่าวการยึดเหนี่ยวของอนุภาคดินสำหรับพจน์  $i_c$  เช่นเดียวกับตัวคูณ  $i_r$  ทั้งหมดเท่ากับ 1 ถ้ามุม  $\theta$  เท่ากับ 0

ถ้าความลึก  $D \approx B$  ในรูปที่ 2.1a ถ้า  $q_{ult}$  ของ Meyerhof จะไม่แตกต่างมากไปจากค่าของ Terzaghi อัตราส่วน  $D/B$  กลายเป็นตัวบอกลถึงความแตกต่างของค่าจาก Meyerhof และ Terzaghi

### 2.4.1.3. Hansen's Bearing – Capacity Method

Hansen (1970) ได้เสนอรูปแบบของสมการความสามารถรับแรงกด ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.3. สมการนี้เป็นการทำเพิ่มเติมจากที่ Meyerhof ทำไว้ ตัวคูณรูปร่างตัวคูณความลึก และตัวคูณอื่น ๆ ที่ทำขึ้นใช้ในสมการได้ความสามารถรับแรงกดให้ไว้ในตารางที่ 2.5. ซึ่งได้ทำการปรับปรุงแก้ไขและเพิ่มเติมจากการเสนอในช่วงก่อนหน้าในปี 1957 และ 1961 การเพิ่มเติมประกอบด้วยตัวคูณฐานรากสำหรับในสภาวะที่ฐานรากถูกทำให้เอียงจากแนวนอนคือ  $b_r$  และสำหรับความเป็นไปได้ของความชัน  $\beta$  ของพื้นดินที่รองรับฐานรากซึ่งให้ค่าตัวคูณสถานะที่คือ  $g_r$  ตารางที่ 2.2. มีให้เพื่อเลือกค่า  $N$  สำหรับสมการของ Hansen พร้อมกับช่วยคำนวณสำหรับพจน์ของตัวคูณรูปร่างและความลึกที่ยู่ยาก

สมการของ Hansen สามารถจะใช้ที่อัตราส่วน  $D/B$  ต่าง ๆ ดังนั้นสามารถใช้ทั้งฐานแบบตื้นและแบบลึก การตรวจสอบอย่างละเอียดของพจน์  $q_{ult}$  เสนอให้เห็นว่าการเพิ่มอย่างมากใน  $q_{ult}$  เกี่ยวกับความลึกที่มากขึ้น ขอบเขตของค่าตัวคูณต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วน  $D/B$  ซึ่ง Hansen ใช้ดังนี้

$$d_c = 1 + 0.4 \frac{D}{B} \quad (2.42.)$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \frac{D}{B} \quad (2.43.)$$

เมื่อ  $\frac{D}{B} \leq 1$

$$d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1} \frac{D}{B} \quad (2.44.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \frac{D}{B} \quad (2.45.)$$

เมื่อ  $\frac{D}{B} > 1$

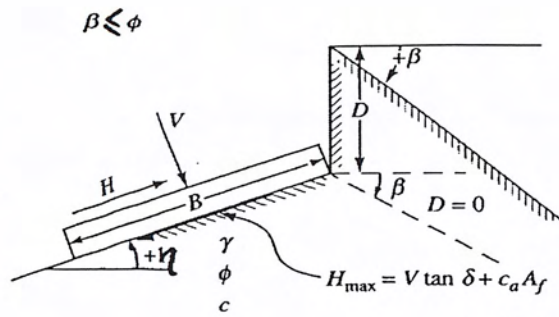
ผลที่แสดงออกให้ค่าที่ไม่ต่อเนื่องที่  $\frac{D}{B} = 1$  อย่างไรก็ตามสังเกตว่าจะใช้เครื่องหมาย  $\leq$  และ  $>$  สำหรับ  $\phi = 0$  (การให้ค่า  $d'_c$ ) เราจะได้

D/B	=	0	1	1.5*	2	5	10	20	100
$d'_c$	=	0	0.40	0.42	0.44	0.55	0.59	0.61	0.62

\* ค่าที่คำนวณได้จริง 0.39

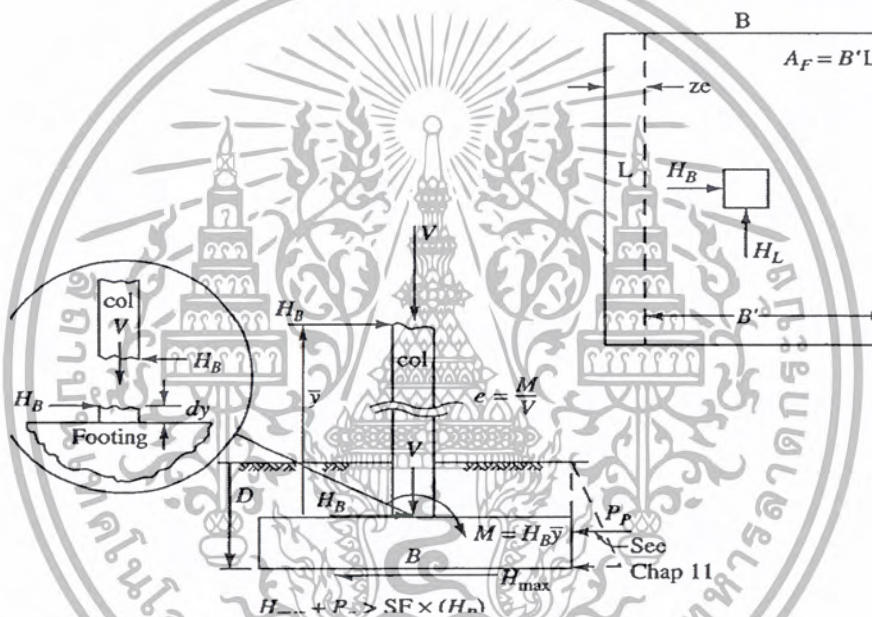
เราสามารถจะเห็นถึงการใช้  $\tan^{-1} \frac{D}{B}$  สำหรับ  $\frac{D}{B} > 1$  เป็นตัวควบคุมการเพิ่มใน  $d_c$  และ  $d_q$  ซึ่งอยู่ในแนวร่วมกับการสังเกต ซึ่งค่า  $q_{ult}$  ที่ปรากฏเข้าใกล้ค่าขอบเขตของอัตราส่วนความลึก  $\frac{D}{B}$  ซึ่งค่าของ  $D$  โดยส่วนมากจะเป็นพจน์ของความลึกวิกฤต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



For:  $L/B \leq 2$  use  $\phi_{tr}$   
 $L/B > 2$  use  $\phi_{ps} = 1.5 \phi_{tr} - 17^\circ$   
 $\phi_{tr} \leq 34^\circ$  use  $\phi_{tr} = \phi_{ps}$

$\delta$  = friction angle between base and soil ( $.5\phi \leq \delta$ )  
 $A_f = B'L'$  (effective area)  
 $c_a$  = base adhesion (0.6 to 1)



รูปที่ 2.19. รูปแสดงถึงค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในสมการของ Meyerhof และ Hansen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3. สมการความต้านทานแรงกดจากหลายทฤษฎี

<p>Terzaghi(1943)</p> $q_u = cN_c s_c + \bar{q}N_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma$ $N_q = \frac{a^2}{a \cos^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)}$ $a = e^{\left( 0.75\pi - \frac{\phi}{2} \right) \tan \phi}$ $N_c = (N_q - 1) \cot \phi$ $N_\gamma = \frac{\tan \phi}{2} \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$ <p>For : strip    round    square</p> <table border="0"> <tr> <td><math>s_c = 1.0</math></td> <td>1.3</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td><math>s_\gamma = 1.0</math></td> <td>0.6</td> <td>0.8</td> </tr> </table>	$s_c = 1.0$	1.3	1.3	$s_\gamma = 1.0$	0.6	0.8
$s_c = 1.0$	1.3	1.3				
$s_\gamma = 1.0$	0.6	0.8				
<p>Meyerhof(1963)</p> <p>Vertical load : <math>q_u = cN_c s_c d_c + \bar{q}N_q d_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma</math></p> <p>Inclined load : <math>q_u = cN_c s_c i_c + \bar{q}N_q i_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma i_\gamma</math></p> $N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$ $N_c = (N_q - 1) \cot \phi$ $N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$						
<p>Hansen(1970)</p> <p>General : <math>q_u = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \bar{q}N_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma</math></p> <p>when <math>\phi = 0</math></p> <p>use : <math>q_u = 5.14s_u (1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + \bar{q}</math></p> $N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$ $N_c = (N_q - 1) \cot \phi$ $N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi$						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4. ตัวแปร รูปร่าง, ความลึกและมุมเบี่ยงเบน สำหรับ สมการความต้านทานแรงเฉือนของ Meyerhof

Factors	Value	For
Shape :	$s_c = 1 + 0.2K_p \frac{B}{L}$	Any $\phi$
	$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1K_p \frac{B}{L}$	
$\phi > 10^\circ$	$s_q = s_\gamma = 1$	
$\phi = 0$		
Depth :	$d_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p} \frac{D}{B}$	Any $\phi$
	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p} \frac{D}{B}$	
$\phi > 10^\circ$	$s_q = s_\gamma = 1$	
$\phi = 0$		
Inclination :	$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	Any $\phi$
	$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$	$\phi > 0$
	$i_\gamma = 0$ for $\theta > 0$	$\phi = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5.a ตัวแปรรูปร่างและความลึกสำหรับใช้ทั้ง Hansen (1970) หรือ Vesic(1973,1975)ของสมการความต้านทานแรงเฉือนตารางที่ 4.1 ซึ่งใช้  $s'_c, d'_c$  เมื่อ  $\phi = 0$  เท่านั้นสำหรับสมการของ Hansen

Shape factors	Depth factors
$s'_{c(H)} = 0.2 \frac{B'}{L'} i'_c \quad (\phi = 0)$ $s_{c(H)} = 1.0 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} i'_c$ $s_c = 1.0$ for strip	$d'_c = 0.4k \quad (\phi = 0)$ $d'_c = 1.0 + 0.4k$ $k = D/B$ for $D/B \leq 1$ $k = \tan^{-1}(D/B)$ for $D/B > 1$ $k$ in Radians
$s_{q(H)} = 1.0 + \frac{B'}{L'} i'_c \sin \phi$ for all $\phi$	$d'_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k$ $k = D/B$ for $D/B \leq 1$ $k = \tan^{-1}(D/B)$ for $D/B > 1$ $k$ in Radians
$s_{\gamma(H)} = 1.0 - 0.4 \frac{B'}{L'} i'_\gamma \geq 0.6$	$d'_\gamma = 1.0$ for all $\phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5.b ตารางของตัวแปรความเบี่ยงเบนของดินและฐานสำหรับสมการของ Hansen (1970)

Inclination factors
$i'_c = 0.5 - \sqrt{1 - \frac{H_i}{A_f c_a}} \quad \text{for } \phi = 0$
$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad \text{for } \phi > 0$
$i_q = \left[ 1 - \frac{0.5 H_i}{V + A_f c \cot \phi} \right]^{\alpha_1} \quad \text{for } \eta = 0$
$i_r = \left[ 1 - \frac{0.7 H_i}{V + A_f c \cot \phi} \right]^{\alpha_2} \quad \text{for } \eta = 0$
$i_r = \left[ 1 - \frac{(0.7 - \eta^\circ / 450^\circ) H_i}{V + A_f c \cot \phi} \right]^{\alpha_2} \quad \text{for } \eta > 0$
Ground factors (Base on slope)
$g'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \quad \text{for } \phi = 0$
$g_c = 1.0 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \quad \text{for } \phi > 0$
$g_q = g_r = (1 - 0.5 \tan \beta)^\circ$
Base factors (tilted base)
$b'_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \quad \text{for } \phi = 0$
$b_c = 1.0 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \quad \text{for } \phi > 0$
$b_q = \exp(-2\eta \tan \phi)$
$b_r = \exp(-2.7\eta \tan \phi)$
$\eta$ in Radians

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5. แรงดันดินด้านข้าง (Lateral earth pressure)

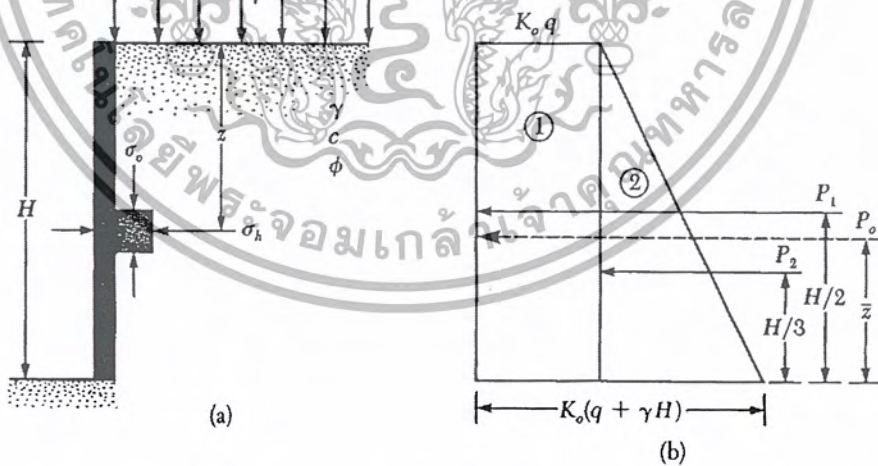
### 2.5.1. แรงดันดินด้านข้างที่ภาวะหยุดนิ่ง (Lateral earth pressure at rest)

พิจารณากำแพงแนวตั้งมีความสูง  $H$  ซึ่งแสดงในรูป 2.20. ดินที่ทำการป้องกันมีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ  $\gamma$ , น้ำหนักบรรทุกกระจายแบบสม่ำเสมอมีค่า  $q$ /หน่วยพื้นที่ ซึ่งกระทำที่ผิวดิน ค่าความต้านทานแรงเฉือนของดินคือ

$$s = c + \sigma' \tan \phi \quad (2.46.)$$

โดยที่

$c$  = การยึดเหนี่ยวของอนุภาคดิน (cohesion)  
 $\phi$  = มุมของความเสียดทาน (angle of friction)  
 $\sigma'$  = ความเค้นปกติประสิทธิผล (effective normal stress)



รูปที่ 2.20. แรงดันดินด้านข้างที่ภาวะหยุดนิ่ง (Braja M. Das, 1999)

ที่ความลึก  $z$  อื่น ๆ ที่อยู่ข้างใต้ระดับพื้นผิวดิน ค่าความเค้นแนวตั้งได้พื้นผิวดิน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.47.) การค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำแพงอยู่นิ่งและไม่เคลื่อนที่ออกไปจากมวลดินหรือเข้าไปในมวลดิน แรงเค้นทางด้านข้างที่ความลึก  $z$  คือ

$$\sigma_h = K_o \sigma'_v + u \quad (2.48.)$$

โดยที่

$$u = \text{แรงดันน้ำในช่องว่าง (pore water pressure)}$$

$$K_o = \text{สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินที่อยู่นิ่ง}$$

สำหรับดินที่แข็งแรงโดยทั่วไปความสัมพันธ์สำหรับ  $K_o$  คือ

$$K_o \approx 1 - \sin \phi \quad (2.49.)$$

สมการที่ 2.49. เป็นการประมาณ โดยการสังเกต

สำหรับดินเหนียวที่มีความแข็งแรงโดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินที่อยู่นิ่งจะมี

ค่าประมาณ

$$K_o \approx 0.95 - \sin \phi \quad (2.50.)$$

โดยที่

$$\phi = \text{มุมของความเสียดทาน ณ ภาวะที่ระบายน้ำออกจนหมด}$$

บนพื้นฐานที่ได้มาจากผลการทดลองของ Brooker และ Ireland ค่าของ  $K_o$  สำหรับดินเหนียวที่แข็งแรงโดยทั่วไปอาจจะประมาณให้มีค่าสัมพันธ์กับดัชนีความเหนียว (plastic index : PI)

$$K_o = 0.4 + 0.007(PI) \quad (\text{สำหรับ PI ระหว่าง 0 และ 40}) \quad (2.51.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 และ  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_o = 0.64 + 0.001(PI) \quad (\text{สำหรับ } PI \text{ ระหว่าง } 40 \text{ และ } 80) \quad (2.52.)$$

สำหรับดินเหนียวอัดแน่น

$$K_{O(\text{overconsolidated clay})} \approx K_{O(\text{normally consolidated})} \sqrt{OCR} \quad (2.53.)$$

โดยที่

$$OCR = \text{overconsolidated}$$

$$K_o = (1 - \sin \phi) \left[ \frac{OCR}{OCR_{\max}^{(1 - \sin \phi)}} + \frac{3}{4} \left( 1 - \frac{OCR}{OCR_{\max}} \right) \right] \quad (2.54.)$$

โดยที่

$OCR$  = อัตราส่วนดินอัดแน่นในปัจจุบัน (present overconsolidation ratio)  
 $OCR_{\max}$  = อัตราส่วนดินอัดแน่นสูงสุด (maximum overconsolidation ratio)

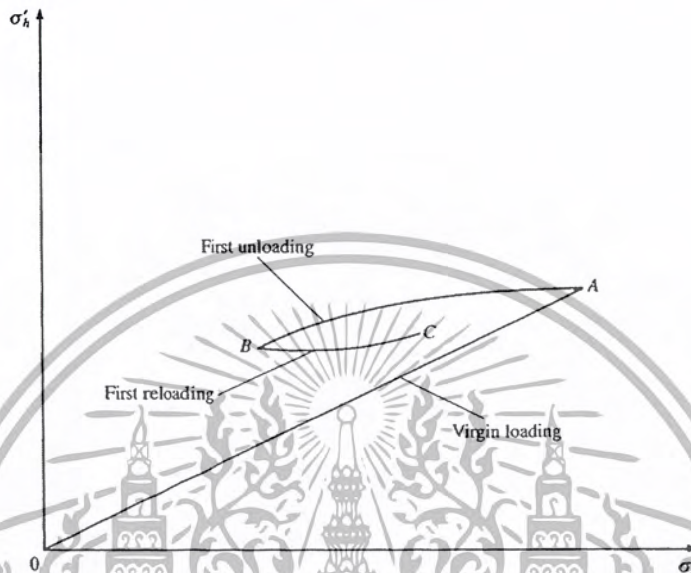
ในรูปที่ 2.21.  $OCR_{\max}$  คือค่า  $OCR$  ที่จุด B

ด้วยความสะดวกในการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันที่อยู่หนึ่งสมการที่(2.48.) สามารถใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของแรงดันดินด้านข้างกับความลึก  $z$ , รูป 2.20.b แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของ  $\sigma_h$  กับความลึกสำหรับค่าแรงแทงที่แสดงในรูป 2.20.a สังเกตว่าถ้า surcharge  $q = 0$  และแรงดันน้ำ(pore water pressure)  $u = 0$ , ผังของแรงดันจะเป็นรูปสามเหลี่ยม ผลรวมของแรง  $P_o$  ต่อหน่วยความยาวของกำแพงในรูปที่ 2.20.a สามารถที่จะหาได้จากพื้นที่ของผังแรงดันที่มีให้ในรูปที่ 2.20.b ดังนี้

$$P_o = P_1 + P_2 = qK_o H + \frac{1}{2} \gamma H^2 K_o \quad (2.55.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 โดยที่  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$P_1$  = พื้นที่ของสามเหลี่ยม 1  
 $P_2$  = พื้นที่ของสามเหลี่ยม 2



รูปที่ 2.21. ข้อมูลความเค้นสำหรับดินภายใต้เงื่อนไข  $K_0$  (Braja M. Das, 1999)

ตำแหน่งที่ตั้งของแนวที่แสดงผลของแรง  $P_0$  สามารถหาได้โดยการหาค่าโมเมนต์รอบจุดข้างใต้ของกำแพงตั้งนั้น

$$\bar{z} = \frac{P_1 \left( \frac{H}{2} \right) + P_2 \left( \frac{H}{3} \right)}{P_0} \quad (2.56.)$$

ถ้าระดับใต้ดินอยู่ที่ตำแหน่งที่ความลึก  $z < H$  ผังแรงดันแบบอยู่นิ่งที่แสดงในรูป 2.20.b จะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงในรูป 2.22 ถ้าหน่วยน้ำหนักประสิทธิผลของดินข้างใต้ระดับน้ำใต้ดินมีค่าเท่ากับ  $\gamma'$  (ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\gamma_{sat} - \gamma_w$ )

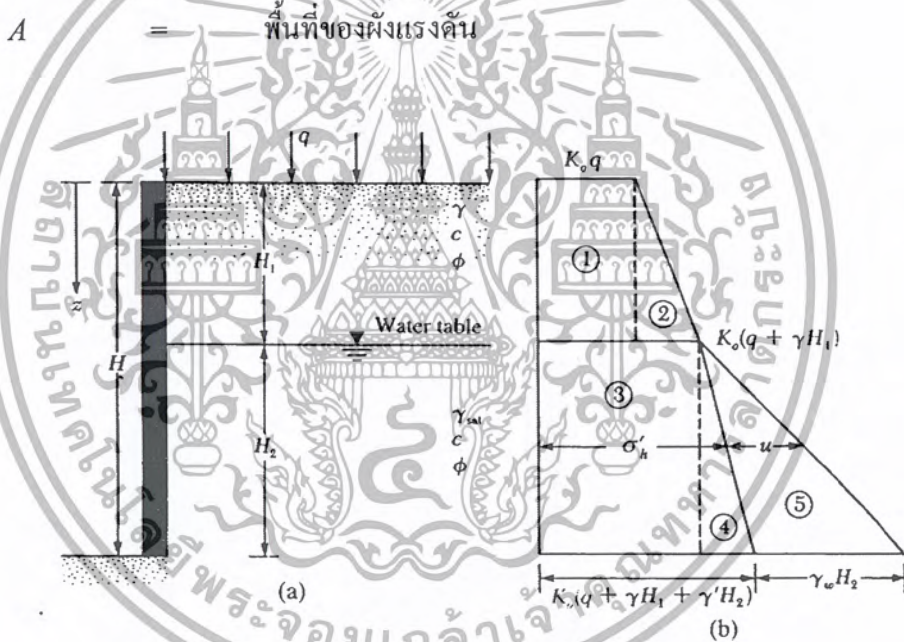
$$\begin{aligned}
 \text{ที่ระดับ } z = 0 \quad \sigma'_h &= K_0 \sigma'_v = K_0 q \\
 \text{ที่ระดับ } z = H_1 \quad \sigma'_h &= K_0 \sigma'_v = K_0 (q + \gamma H_1) \\
 \text{ที่ระดับ } z = H_2 \quad \sigma'_h &= K_0 \sigma'_v = K_0 (q + \gamma H_1 + \gamma H_2)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตว่าในสมการข้างต้น ค่า  $\sigma'_v$  และ  $\sigma'_h$  คือค่าแรงดันประสิทธิผลตามแนวตั้งและแรงดันประสิทธิผลตามแนวนอน การอธิบายผลรวมการกระจายแรงดันบนกำแพงต้องเพิ่มแรงดันน้ำ โดยแรงดันน้ำ  $u$  จะมีค่า = 0 จากระดับ  $z = 0$  ถึง  $z = H_1$  ที่ระดับ  $z = H_2$  แรงดันน้ำ  $u = H_2\gamma_w$  การเปลี่ยนแปลงของ  $\sigma'_h$  และ  $u$  กับระดับความลึกถูกแสดงไว้ใน รูปที่ 2.22.b ดังนั้นผลรวมของแรงต่อหน่วยความยาวของกำแพงจะสามารถหาได้จากพื้นที่ของผังแรงดัน ดังนั้น

$$P_o = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5$$

โดยที่



รูปที่ 2.22. แผนผังแรงดันดิน (Braja M. Das, 1999)

ดังนั้น

$$P_o = K_0 q H_1 + \frac{1}{2} K_0 \gamma H_1^2 + K_0 (q + \gamma H_1) H_2 + \frac{1}{2} K_0 \gamma H_2^2 + \frac{1}{2} \gamma_w H_2^2 \quad (2.57.)$$

Sherifetal.(1924) ได้แสดงโดยการทดสอบแบบจำลองในห้องปฏิบัติการหลายแบบ ซึ่ง

สมการ (2.49) ให้ผลที่ดีสำหรับการอธิบายแรงดันดินดันข้างที่ไม่มีการเคลื่อนที่สำหรับทรายหลวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามสำหรับทรายที่ถูกอัดแน่นมันจะไม่เหมาะสมที่จะใช้อธิบายโดยใช้ค่า  $K_0$  ดังกล่าวด้วย เหตุผลนี้พวกเขาจึงได้เสนอความสัมพันธ์ที่ปรับปรุงสำหรับ  $K_0$  คือ

$$K_0 = (1 - \sin \phi) + \left( \frac{\gamma_d}{\gamma_{d(\min)}} - 1 \right) 5.5 \quad (2.58)$$

โดยที่

$\gamma_d$  = in situ หน่วยน้ำหนักของทราย

$\gamma_{d(\min)}$  = ค่าน้อยสุดที่เป็นไปได้ของหน่วยน้ำหนักที่แห้งของทราย

## 2.5.2. แรงดันกิริยา (Active pressure)

### 2.5.2.1. แรงดันกิริยาของ Rankine (Rankine active earth pressure)

สภาวะแรงดันดินด้านข้างที่ได้อธิบายในหัวข้อ 2.5.1. ซึ่งกระทำต่อกำแพงนั้นไม่ใช่ ภาวะที่เกิดขึ้นทั้งหมด ถ้ากำแพงโน้มเอียงเคลื่อนย้ายไปจากดินเป็นระยะทาง  $\Delta x$  ดังที่แสดงในรูป 2.23.a แรงดันดินบนกำแพงที่ความลึกต่าง ๆ จะลดลง สำหรับกำแพงซึ่งไม่มีแรงเสียดทาน ความเค้นตามแนวอน  $\sigma_h$  ที่ระดับความลึก  $z$  จะมีค่าเท่ากับ  $K_0 \sigma_v$  (เท่ากับ  $K_0 \gamma z$ ) เมื่อค่า  $\Delta x$  มีค่าเป็น 0 อย่างไรก็ตาม เมื่อ  $\Delta x > 0$   $\sigma_h$  จะมีค่าน้อยกว่า  $K_0 \sigma_v$

การให้ผลที่ตรงกันของวงกลมโมร์ถึงการเคลื่อนที่ของกำแพงเมื่อ  $\Delta x = 0$  และ  $\Delta x > 0$  ถูกแสดงโดยวงกลม a และ b ตามลำดับในรูป 2.23.b ถ้าการเคลื่อนที่ของกำแพง  $\Delta x$  เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในที่สุดผลของวงกลมโมร์จะสัมผัสกับระนาบที่พังทลายของ Mohr – Coulomb ซึ่งอธิบายโดยสมการ (2.46.)

วงกลมที่สัมผัสกับระนาบที่พังทลายของ Mohr – Coulomb เป็นวงกลม C ในรูป 2.23.b ซึ่งแสดงถึงสภาวะการพังทลายในมวลดิน; ความเค้นตามแนวอนมีค่าเท่ากับ  $\sigma_u$  ความเค้นตามแนวอนนี้ ( $\sigma_u$ ) ก็คือค่าแรงดันกิริยาของ Rankine แนวที่เลื่อนไหลในมวลดินจะทำให้เกิดมุม  $\pm \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right)$  กับแนวอนซึ่งแสดงในรูป 2.23.a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิงย้อนกลับไปในสมการการทดสอบ Triaxial  $\sigma'_3 = \sigma'_3 \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$  ความสัมพันธ์ของสมการความเค้นหลักสำหรับวงกลม โมร์ซึ่งสัมพันธ์กับระนาบการพังทลายของ Mohr – Coulomb

$$\sigma' = \sigma' \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

สำหรับวงกลมโมร์ C ในรูปที่ 2.23.b

ความเค้นหลักสำคัญ (Major principal stress)  $\sigma_1 = \sigma_v$  และความเค้นหลักรอง (Minor principal stress)  $\sigma_3 = \sigma_a$

ดังนั้น

$$\sigma_v = \sigma_a \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

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

หรือ

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

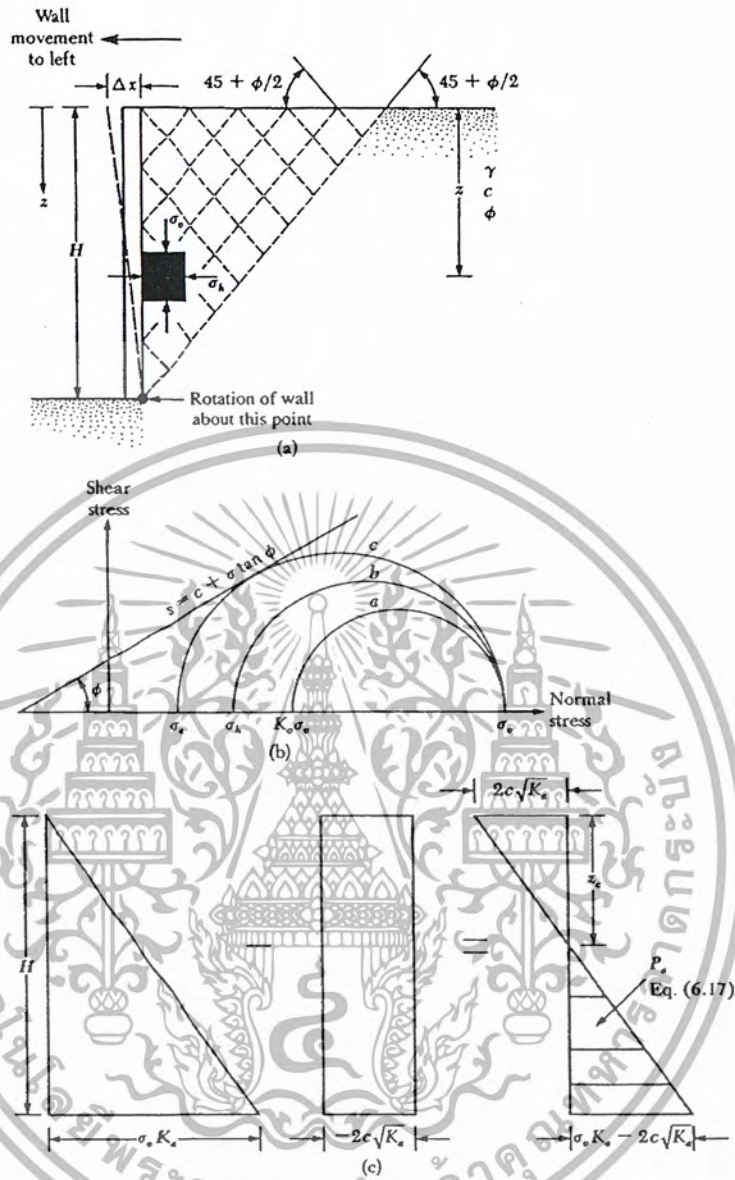
$$= \sigma_v K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (2.59)$$

โดยที่

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

= สัมประสิทธิ์แรงดันกริยาของ Rankine (ตาราง 2.6.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.23. แรงดันกิริยาของ Rankine (Braja M. Das, 1999)

การเปลี่ยนแปลงของแรงดันกิริยากับความลึกสำหรับกำแพงที่แสดงในรูป 2.23a ได้ให้ค่าฝั่งแรงดันในรูป 2.23.c ซึ่งสังเกตว่า  $\sigma_v = 0$  ที่  $z = 0$  และ  $\sigma_v = \gamma H$  ที่  $z = H$  การกระจายแรงดันซึ่งแสดงที่  $z = 0$  ค่าแรงดันกิริยาจะเท่ากับ  $-2c\sqrt{K_a}$  ซึ่งเป็นการบอกว่าเป็นความเค้นดึง ค่าความเค้นดึงนี้จะลดลงเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้นและมีค่าเป็น 0 ที่ความลึก  $z = z_c$  หรือ

$$\gamma z_c K_a - 2c\sqrt{K_a} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$z_c = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}} \quad (2.60.)$$

ความลึก  $z$  โดยปกติจะถูกกล่าวว่าเป็นความลึกของรอยแตกร้าวที่เกี่ยวกับการดึง เพราะว่าความเค้นดึงจะเป็นเหตุให้เกิดการแตกร้าวที่ผิวที่อยู่ระหว่างดินกับกำแพง ดังนั้นผลรวมแรงกิริยาของRankine ต่อหน่วยความยาวของกำแพงก่อนเกิดการแตกร้าว คือ

$$\begin{aligned}
 P_a &= \int_0^H \sigma_a dz \\
 &= \int_0^H \gamma z K_a dz - \int_0^H 2c\sqrt{K_a} dz \\
 &= \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2cH\sqrt{K_a}
 \end{aligned} \quad (2.61.)$$

ตาราง 2.6. การเปลี่ยนแปลงของ  $K_a$  (Braja M. Das, 1999)

Soil friction angle, $\phi$ (deg)	$K_a = \tan^2 (45 - \phi/2)$
20	0.490
21	0.472
22	0.455
23	0.438
24	0.422
25	0.406
26	0.395
27	0.376
28	0.361
29	0.347
30	0.333
31	0.320
32	0.307
33	0.295
34	0.283
35	0.271
36	0.260
37	0.249
38	0.238
39	0.228
40	0.217
41	0.208
42	0.198
43	0.189
44	0.180
45	0.172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการเกิดของการแตกร้าวจากแรงดึงตรงบนกำแพงอย่างเดียวยุติเป็นสาเหตุการกระจายแรงดันระหว่างความลึก  $z = z_c$  และ  $z = H$  ซึ่งแสดงโดยพื้นที่ที่แรเงาในรูป 2.23.c ซึ่งอาจถูกแสดงโดยสมการ

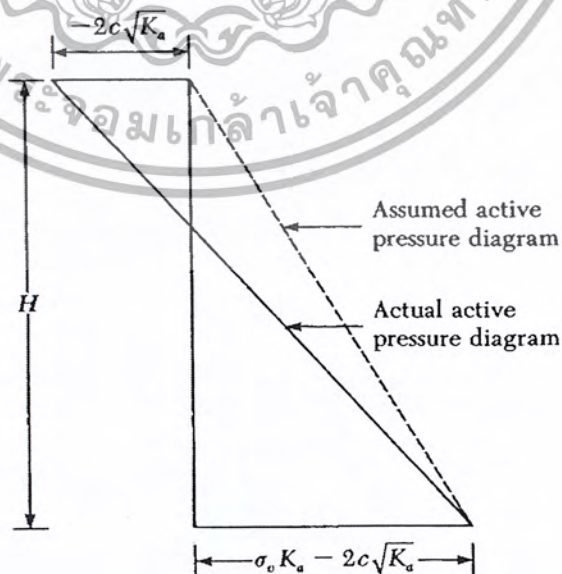
$$P_a = \frac{1}{2}(H - z_c)(HK_a - 2c\sqrt{K_a}) \quad (2.62.)$$

หรือ

$$P_a = \frac{1}{2}\left(H - \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}}\right)(HK_a - 2\gamma\sqrt{K_a}) \quad (2.63.)$$

สำหรับวัตถุประสงค์การคำนวณในกำแพงดินบางแบบซึ่งการออกแบบมีปัญหา ดินที่มีความชื้นหลังกำแพงถูกนำออกโดยสมมติว่าเป็นดินที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ กับฝั่งแรงดันของ Rankine สามเหลี่ยมด้วยค่า  $\sigma_a = 0$  ที่  $z = 0$  และ  $\sigma_a = \sigma_v K_a - 2c\sqrt{K_a}$  ที่  $z = H$  (ดูรูป 2.24.) ซึ่งในกรณีจะสมมติแรงกระทำต่อหน่วยความยาวของกำแพงคือ

$$P_a = \frac{1}{2}H(HK_a - 2c\sqrt{K_a}) = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_a - cH\sqrt{K_a} \quad (2.64.)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น (Braj M. Das, 1999) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามแรงกิริยาจะเกิดขึ้นถ้ากำแพงยอมให้เคลื่อนที่ได้ ค่าของการเคลื่อนที่ออกจากดินหรือไปทางด้านนอกของกำแพง จำเป็นต้องมีค่าประมาณ 0.001H ถึง 0.004H สำหรับดินถมที่มีขนาดเม็ดเล็ก ๆ และ 0.01H ถึง 0.04H สำหรับดินถมที่มีความชื้น

**2.5.2.2. แรงดันกิริยาของ Rankine สำหรับดินถมที่มีแนวเอียง (Rankine active earth pressure for inclined backfill)**

ถ้าดินถมหลังกำแพงกันดินมีความเสียดทานน้อยมากซึ่งคือดินที่ขนาดเม็ดเล็ก ( $c = 0$ ) และมีค่ามุม  $\alpha$  เพิ่มขึ้นจากแนวราบ (รูป 2.25) สัมประสิทธิ์แรงดันดินกิริยา  $K_a$  อาจจะแสดงในรูป

$$K_a = \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \quad (2.65.)$$

โดยที่

$\phi$  = มุมของความเสียดทานของดิน

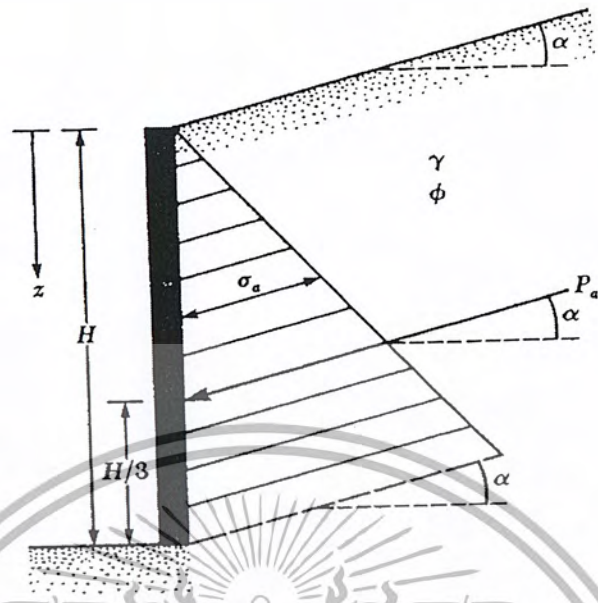
ที่ความลึกต่างๆ z แรงดันกิริยาของ Rankine อาจจะแสดงในรูปดังนี้

$$\sigma_a = \gamma z K_a \quad (2.66.)$$

ดังนั้นแรงรวมต่อหน่วยความยาวของกำแพงคือ

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (2.67.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.25. แสดงถึงแรงดันกริยาของสมการ 2.65., 2.66., 2.67. (Braja M. Das, 1999)

สังเกตว่าในกรณีนี้ทิศทางของผลรวมแรง  $P_a$  จะมีแนวเบี่ยงเบนจากแนวนอนและตัดผ่านบนกำแพง ณ ตำแหน่งซึ่งมีระยะเท่ากับ  $H/3$  โดยวัดจากฐานของกำแพง การวิเคราะห์หัก่อนหน้านี้สามารถจะประมาณค่าสำหรับดินถมที่มีแนวเอียงกับค่า  $c - \phi$  ของดิน รายละเอียดของการได้มาทางคณิตศาสตร์ถูกให้ไว้โดย Mazindrani (และ Gonjali (1997) ดังในสมการ(2.66.) สำหรับในกรณีนี้

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \gamma z K_a \\ &= \gamma z K'_a \cos \alpha \end{aligned} \quad (2.68.)$$

โดยที่ (สมการที่ 2.69.)

$$K'_a = \frac{1}{\cos^2 \alpha} \left\{ \frac{2 \cos^2 \alpha + 2 \left( \frac{c}{\gamma z} \right) \cos \phi \sin \phi - \sqrt{\left[ 4 \cos^2 \alpha (\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi) + 4 \left( \frac{c}{\gamma z} \right)^2 \cos^2 \phi + 8 \left( \frac{c}{\gamma z} \right) \cos^2 \alpha \sin \phi \cos \phi \right]}}{2 \cos^2 \alpha} \right\}^{-1} \quad (2.69.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับปัญหาในกรณีดินถมที่มีความลาดเอียง ความลึกที่ทำให้เกิดการดึงแตกร้าว  $z_c$  ได้ให้ไว้ดังนี้

$$z_c = \frac{2c}{\gamma} \sqrt{\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}} \quad (2.70)$$

### 2.5.3. แรงดันปฏิกิริยา (Passive pressure)

#### 2.5.3.1. แรงดันปฏิกิริยาของ Rankine (Rankine passive earth pressure)

รูป 2.26.a แสดงถึงกำแพงกันดินซึ่งไม่มีความเสียดทานในแนวดิ่งกับดินถมตามแนวนอนที่ความลึก  $z$  แรงดันแนวดิ่งบนหน่วยดินคือ  $\sigma_v = \gamma z$  ในตอนเริ่มต้นถ้าตัวกำแพงไม่เคลื่อนที่ออก ความเค้นตามแนวนอนที่ระดับความลึกดังกล่าวจะมีค่า  $\sigma_h = K_0 \sigma_v$  ที่สภาวะนี้ค่าความเค้นแสดงให้เห็นโดยวงกลมโมร์ a ในรูป 2.26.b ในช่วงเวลาดังกล่าวถ้ากำแพงถูกดันเข้าไปในมวลดินโดยมีค่าเท่ากับ  $\Delta x$  ดังแสดงให้เห็นในรูป 2.26.a ความเค้นตามแนวดิ่งที่ความลึก  $z$  จะคงที่อยู่เช่นเดิม แต่ค่าความเค้นตามแนวนอนจะเพิ่มขึ้น ดังนั้น  $\sigma_h$  จะเพิ่มมากกว่า  $K_0 \sigma_v$  สภาวะของความเค้นสามารถแสดงโดยวงกลมโมร์ b ในรูป 2.26.b ถ้ากำแพงเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในดินมากขึ้น (ซึ่งก็คือ  $\Delta x$  ยังคงเพิ่มขึ้น) ค่าความเค้นที่ความลึก  $z$  จะเป็นปริมาณมากที่สุดซึ่งที่สภาวะนี้แสดงโดยวงกลมของโมร์ c (รูป 2.26b) สังเกตว่าวงกลมโมร์นี้สัมผัสกับแนวพังทลายของ Mohr-Coulomb ซึ่งหมายความว่า ดินด้านหลังกำแพงจะพังทลายโดยการผลิกไปด้านหน้า ค่าความเค้นตามแนวนอน  $\sigma_h$  ที่จุดนี้จะอ้างอิงถึง แรงดันปฏิกิริยาของ Rankine หรือ  $\sigma_h = \sigma_p$

สำหรับวงกลมโมร์ c ในรูป 2.26.b ค่าความเค้นหลักสำคัญคือ  $\sigma_p$  และ ความเค้นหลักรองคือ  $\sigma_v$  โดยสมการที่แสดงค่า  $\sigma_p$  คือ

$$\sigma_p = \sigma_v \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.71)$$

โดยกำหนดให้ค่า

$$K_p = \text{สัมประสิทธิ์แรงดันปฏิกิริยาของ Rankine}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.72.)$$

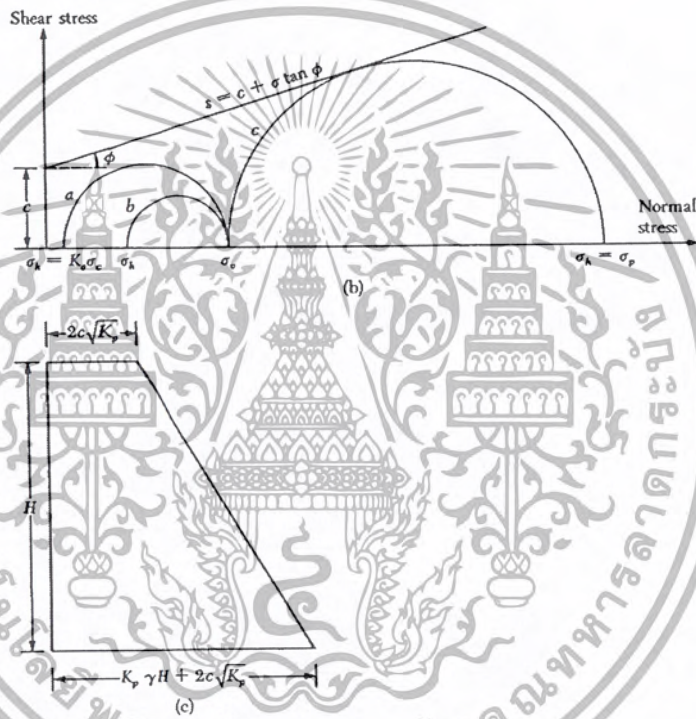
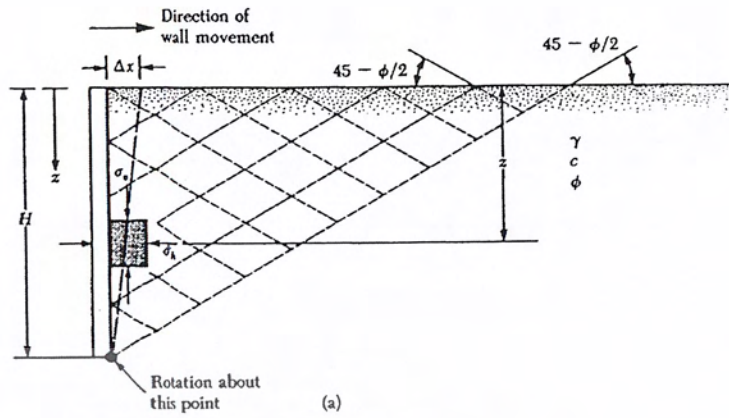
ซึ่งดูตาราง 2.7.

ดังนั้นจากสมการ (2.71.)

$$\sigma_p = \sigma_v K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad (2.73.)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.26. แรงดันปฏิกิริยาของ Rankine (Braja M. Das, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 2.7 การเปลี่ยนแปลงของ  $K_p$  (Braja M. Das, 1999)

Soil friction angle, $\phi$ (deg)	$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2)$
20	2.040
21	2.117
22	2.198
23	2.283
24	2.371
25	2.464
26	2.561
27	2.663
28	2.770
29	2.882
30	3.000
31	3.124
32	3.255
33	3.392
34	3.537
35	3.690
36	3.852
37	4.023
38	4.204
39	4.395
40	4.599
41	4.815
42	5.045
43	5.289
44	5.550
45	5.828

สมการ 2.73. เป็นผลของรูป 2.26.c ผังของแรงดันปฏิกิริยาสำหรับกำแพงที่แสดงในรูป

2.26.a ตั้งอยู่ที่  $z = 0$

$$\sigma_v = 0 \quad \text{และ} \quad \sigma_p = 2c\sqrt{K_p}$$

และที่  $z = H$

$$\sigma_v = \gamma H \quad \text{และ} \quad \sigma_p = \gamma H K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

แรงปฏิกิริยาต่อหน่วยความยาวของกำแพงสามารถจะอธิบายจากพื้นที่ของผังแรงดัน

หรือ

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p + 2cH\sqrt{K_p} \quad (2.74)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณค่าการเคลื่อนที่ของกำแพง  $\Delta x$  ต้องการที่จะแสดงให้เห็นถึงการพังทลายภายใต้เงื่อนไขปฏิกิริยาคือ

ตาราง 2.8. แสดงการประมาณค่าการเคลื่อนที่ของกำแพง  $\Delta x$  ที่จะแสดงให้เห็นถึงการพังทลายภายใต้เงื่อนไขปฏิกิริยา

ชนิดของดิน	การเคลื่อนที่ของกำแพงสำหรับ passive condition $\Delta x$
ทรายอัดแน่น	0.005H
ทรายหลวม	0.01H
ดินเหนียวที่แข็งแรง	0.01H
ดินเหนียวที่อ่อน	0.05H

### 2.5.3.2 แรงดันปฏิกิริยาของ Rankine สำหรับดินถมที่มีแนวเอียง (Rankine passive earth pressure for inclined backfill)

สำหรับกำแพงกันดินแนวตั้งที่มีความเสียดทานน้อยมากกับดินถมหลังกำแพงที่มีเม็ดเล็ก ( $c = 0$ ) แรงดันปฏิกิริยาที่ความลึกต่างๆสามารถจะอธิบายได้ด้วยวิธีการง่ายๆที่ทำในกรณีแรงดันปฏิกิริยาในหัวข้อ 2.5.3.2. หรือ

$$\sigma_p = \gamma z K_p \quad (2.75.)$$

และแรงปฏิกิริยา

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (2.76.)$$

โดยที่

$$K_p = \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \quad (2.77.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งในกรณีของแรงปฏิกิริยา ผลรวมของแรง  $P_p$  อยู่ในแนวเบี่ยงเบนซึ่งมีมุม  $\alpha$  กับแนวนอนและตัดผ่านบนกำแพง ณ ตำแหน่งซึ่งมีระยะเท่ากับ  $H/3$  โดยวัดจากฐานของกำแพง

ถ้าดินถมของกำแพงกันดินแนวตั้งที่ไม่มีความเสียดทานมีค่า  $c - \phi$  (รูป 2.24.) ดังนั้น

$$\begin{aligned} \sigma_p &= \gamma z K_p \\ &= \gamma z K'_p \cos \alpha \end{aligned} \quad (2.78.)$$

โดยที่

$$K'_p = \frac{1}{\cos^2 \phi} \left\{ \frac{2 \cos^2 \alpha + 2 \left( \frac{c}{\gamma z} \right) \cos \phi \sin \phi + \sqrt{4 \cos^2 \alpha (\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi) + 4 \left( \frac{c}{\gamma z} \right)^2 \cos^2 \phi + 8 \left( \frac{c}{\gamma z} \right) \cos^2 \alpha \sin \phi \cos \phi}}{2} \right\} - 1 \quad (2.79.)$$

## 2.6. กำแพงเข็มพืดแบบยื่น (Cantilever sheet pile wall)

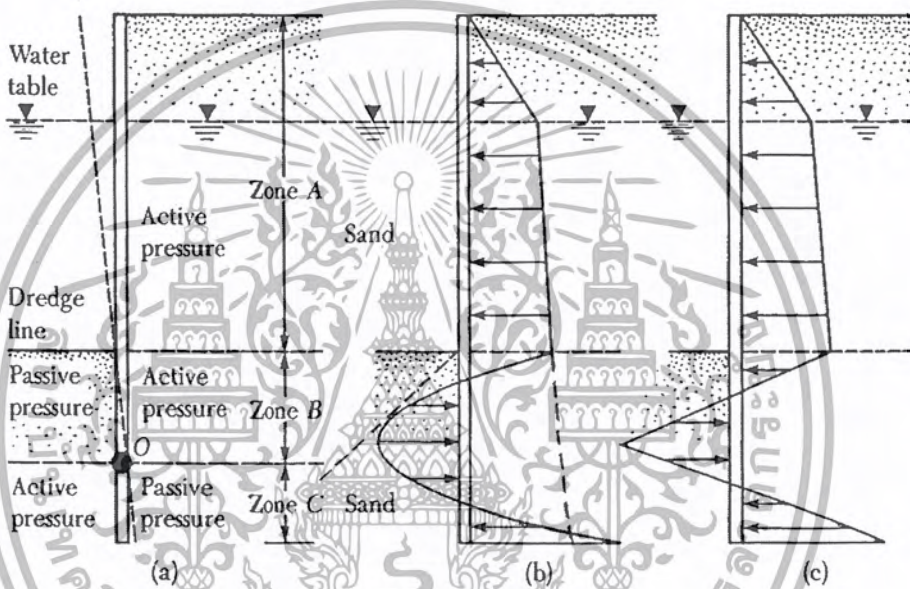
### 2.6.1. รูปแบบทั่วไปของกำแพงเข็มพืดแบบยื่น (Cantilever sheet pile walls – general)

กำแพงชนิดเข็มพืดแบบยื่นโดยทั่วไปจะใช้สำหรับกำแพงมีความสูงประมาณ 20ft ( $\approx 6m$ ) หรือน้อยกว่านั้น โดยวัดเหนือแนวที่ขุดลอก ในกรณีเช่นนี้กำแพงแบบเข็มพืด จะมีพฤติกรรมแบบคานยื่นเหนือแนวที่ขุดลอก พื้นฐานสำคัญสำหรับการอธิบายการกระจายแรงคั้นด้านข้างสุทธิบนกำแพงเข็มพืดแบบยื่นสามารถอธิบายด้วยรูป 2.27. ซึ่งแสดงถึงลักษณะของแรงคั้นข้างในกำแพงแบบยื่นที่ปักลงในชั้นทรายได้แนวขุดลอก จุดหมุนกำแพงรอบจุด O เนื่องจากแรงคั้นของน้ำ (hydrostatic pressure) ที่ความลึกใด ๆ ก็ตามจากทั้งสองข้างของกำแพงจะหักล้างกันเอง เราจึงพิจารณาเฉพาะแรงคั้นดินทางคั้นข้างประสิทธิผลในบริเวณ A แรงคั้นด้านข้างจะเป็นแรงคั้นกิริยา (active pressure) จากดินบริเวณ A ในบริเวณ B เนื่องจากลักษณะพฤติกรรมของกำแพงแรงคั้นกิริยา จากฝั่งของดินและแรงคั้นปฏิกิริยา (passive pressure) จากฝั่งของน้ำจากเงื่อนไขนี้จะตรงข้ามกับในบริเวณ C ซึ่งจะเป็นข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้จุดหมุน O การกระจายแรงดันสุทธิบนกำแพงจะเหมือนกับที่ปรากฏในรูป 2.27.b อย่างไรก็ตามเพื่อจุดประสงค์ของการออกแบบจึงทำการปรับเป็นดังรูป 2.27.C

หัวข้อ 2.6.2-2.63. แสดงถึงการใช้สูตรทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์กำแพงเข็มพืดแบบยื่น ซึ่งสังเกตว่าน้ำข้างหน้า โครงสร้างบางส่วน ระดับน้ำอาจจะทำให้ผลรวมสุทธิพื้นแปร ควรจะพิจารณาเอาระดับน้ำมาใช้ในการคำนวณด้วยเพราะจะส่งผลต่อฝั่งแรงดันสุทธิ



รูปที่ 2.27. เข็มพืดแบบยื่นที่ฝังลงในทราย (Braja M. Das, 1999)

### 2.6.2. เข็มพืดแบบยื่นที่ตอกฝังในดินทราย (Cantilever sheet piling penetrating sandy soils)

การพัฒนาความสัมพันธ์สำหรับความลึกที่เหมาะสมของเข็มพืดที่ตกลงในดินที่มีขนาดเล็ก ๆ เราอ้างอิงไปดังรูป 2.28.a ดินที่ถูกกั้น โดยเข็มพืดเหนือแนวขุดลอกเป็นทรายด้วยเหมือนกัน ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับความลึก  $L_1$  วัดจากผิวบนของกำแพง ให้ค่ามุมเสียดทานของทรายเป็น  $\phi$  ความหนาแน่นของ active pressure ที่ความลึก  $z = L_1$  คือ

$$p_1 = \gamma L_1 K_a \quad (2.80.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$\begin{aligned} K_a &= \text{สัมประสิทธิ์แรงดันกิริยาของ Rankine} \\ \gamma &= \text{หน่วยน้ำหนักของดินเหนือระดับน้ำใต้ดิน} \end{aligned}$$

เช่นเดียวกันค่าแรงดันกิริยา ที่ความลึก  $Z = L_1 + L_2$  คือ

$$p_2 = (\gamma L_1 + \gamma L_2) K_a \quad (2.81.)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \gamma' &= \text{หน่วยน้ำหนักของดินประสิทธิผล} \\ &= \gamma_{sat} - \gamma_w \end{aligned}$$

สังเกตว่าที่ระดับของดินขุดลอกแรงดันน้ำจากทั้ง 2 ข้างของกำแพง มีขนาดเท่ากัน และสามารถตัดออกไปได้

การอธิบายแรงดันด้านข้างสุทธิได้แนวดินจุดที่อยู่เหนือจุดหมุน O ดังที่แสดงในรูป 2.27.a วิศวกรได้พิจารณาให้แรงดันปฏิกิริยากระทำจากฝั่งซ้าย (ฝั่งด้านน้ำ) ไปยังฝั่งขวา (ฝั่งด้านดิน) และค่าแรงดันกิริยากระทำจากฝั่งขวา ไปยังฝั่งซ้ายของกำแพง สำหรับกรณีเช่นนี้ แรงดันของน้ำจะไม่นำมาพิจารณาจากทั้ง 2 ฝั่งของกำแพง ค่าแรงดันกิริยาที่ความลึก Z คือ

$$p_a = [\gamma L_1 + \gamma L_2 + \gamma'(Z - L_1 - L_2)] K_a \quad (2.82.)$$

ดังนั้น แรงดันปฏิกิริยา ที่ความลึก z คือ

$$p_p = \gamma'(Z - L_1 - L_2) K_p \quad (2.83.)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้สัมประสิทธิ์แรงดันปฏิกิริยาของ Rankine นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นรวมสมการ (2.82.) และ (2.83.) ผลของแรงดันด้านข้างสุทธิ คือ

$$\begin{aligned} p &= p_a - p_p = (\gamma L_1 + \gamma L_2)K_a - \gamma'(Z - L_1 - L_2)(K_p - K_a) \\ &= p_z - \gamma'(Z - L)(K_p - K_a) \end{aligned} \quad (2.84.)$$

โดยที่

$$L = L_1 + L_2$$

ค่าแรงดันสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ที่ความลึก  $L_3$  ใต้แนวของดินชุด ดังนี้

$$\begin{aligned} p_z - \gamma'(Z - L)(K_p - K_a) &= 0 \\ \text{หรือ} \\ z - L &= L_3 \\ &= \frac{p_z}{\gamma'(K_p - K_a)} \end{aligned} \quad (2.85.)$$

สมการ (2.85.) แสดงถึงความชันของเส้นการกระจายแรงดันสุทธิเส้น DEF มีความสูงตามแนวตั้งเท่ากับ 1 ตามแนวนอนเท่ากับ  $(K_p - K_a) \gamma'$  ดังนั้นในฝั่งแรงดัน

$$\begin{aligned} \overline{HB} &= p_3 \\ &= L_1(K_p - K_a)\gamma' \end{aligned} \quad (2.86.)$$

ที่ปลายของเข็มทิศแรงดันปฏิกิริยาจะกระทำจากฝั่งด้านขวาไปยังฝั่งด้านซ้าย และแรงดันกริยากระทำจากทางซ้ายไปยังฝั่งขวาของเข็มทิศตั้งนั้นที่  $z = L + D$

$$p_p = (\gamma L_1 + \gamma L_2 + \gamma D)K_p \quad (2.87.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความลึกเดียวกัน

$$p_a = \gamma DK_a \quad (2.88.)$$

คังนั้นแรงดันด้านข้างสุทธิที่ปลายของเข็มพืดคือ

$$\begin{aligned} P_p - P_a &= P_4 \\ &= (\gamma L_1 + \gamma L_2)K_p + \gamma D(K_p - K_a) \\ &= (\gamma L_1 + \gamma L_2)K_p + \gamma L_3(K_p - K_a) + \gamma L_4(K_p - K_a) \\ &= P_5 + \gamma L_4(K_p - K_a) \end{aligned} \quad (2.89.)$$

โดยที่

$$P_5 = (\gamma L_1 + \gamma L_2)K_p + \gamma L_3(K_p - K_a) \quad (2.90.)$$

$$D = L_3 + L_4 \quad (2.91.)$$

สำหรับเสถียรภาพของกำแพงอันดับแรกของการอยู่กับที่ที่ใช้เป็นประโยชน์คือ ผลรวมแรงตามแนวอนต่อนหน่วยความยาวกำแพง = 0 และ ผลรวม โมเมนต์ของแรงต่อหน่วยความยาวของกำแพงรอบจุด B = 0

สำหรับการรวมของแรงตามแนวราบ

$$พื้นที่ของฝั่งแรงดัน ACDE - พื้นที่ EFHB + พื้นที่ FHBG = 0$$

หรือ

$$P - \frac{1}{2} p_3 L_4 + \frac{1}{2} L_5 (p_3 + p_4) = 0 \quad (2.92.)$$

โดยที่

$$P = \text{พื้นที่ของฝั่งแรงดัน ACDE}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวมโมเมนต์ของแรงทั้งหมดรอบจุด B ให้ผลดังนี้

$$P(L_4 + \bar{Z}) - \left(\frac{1}{2}L_4P_3\right)\left(\frac{L_4}{3}\right) + \frac{1}{2}L_5(p_3 + p_4)\left(\frac{L_5}{3}\right) = 0 \quad (2.93.)$$

จากสมการ (2.92)

$$L_5 = \frac{p_3L_4 - 2P}{p_3 + p_4} \quad (2.94.)$$

การรวมสมการ (2.86.), (2.89.), (2.93.) และ (2.94.) และทำให้อยู่ในรูปแบบที่ง่าย เราจะ  
ได้สมการกำลังสี่ในรูปของ  $L_4$

$$L_4^4 + A_1L_4^3 - A_2L_4^2 - A_3L_4 - A_4 = 0 \quad (2.95.)$$

โดยที่

$$A_1 = \frac{p_5}{\gamma'(K_p - K_a)} \quad (2.96.)$$

$$A_2 = \frac{8P}{\gamma'(K_p - K_a)} \quad (2.97.)$$

$$A_3 = \frac{6P[2\bar{z}\gamma'(K_p - K_a) + p_5]}{\gamma'^2(K_p - K_a)^2} \quad (2.98.)$$

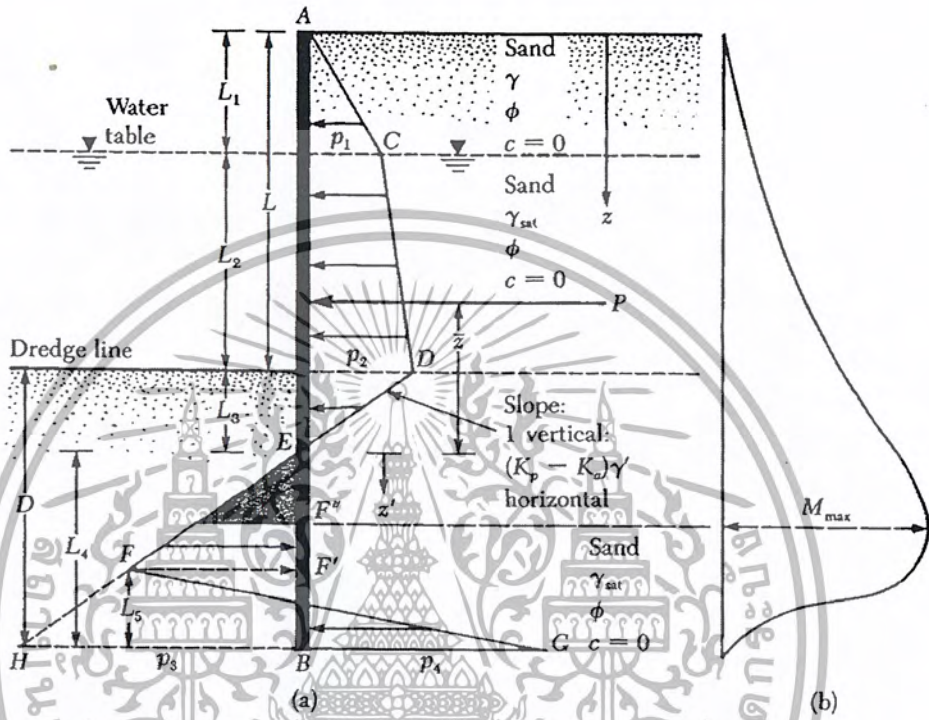
$$A_4 = \frac{P(6\bar{z}p_5 + 4P)}{\gamma'^2(K_p - K_a)^2} \quad (2.99.)$$

สังเกตว่าผู้ออกแบบเสนอที่จะใช้ตัวคูณปลอดภัยบนสัมประสิทธิ์แรงดันปฏิกิริยา ใน  
ตอนเริ่มต้น คือในขั้นตอนแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

FS = คำนวณปลอดภัย (โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 2)



รูป 2.28. เข็มพืดแบบคานที่ฝังลงในทราย : (a) การเปลี่ยนแปลงของผังแรงดันสุทธิ ; (b) การเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์ (Braja M. Das, 1999)

### 2.6.2.1. การคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัดมากที่สุด (Calculation of Maximum Bending Moment)

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของผัง โมเมนต์สำหรับกำแพงเข็มพืดแบบคานยื่น คือที่แสดง ในรูป 2.28.b ค่าโมเมนต์สูงสุดจะเกิดระหว่างจุด E และ F' การที่จะหาค่าโมเมนต์สูงสุด ( $M_{max}$ ) ต่อ หน่วยความยาวของกำแพงจะต้องหาจุดที่การเฉือนเป็น 0 สำหรับแกนใหม่  $z'$  (กับจุดเริ่มต้นที่จุด E) สำหรับการเฉือนเป็น 0

$$P = \frac{1}{2}(z')^2(K_p - K_a)\gamma'$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$z' = \sqrt{\frac{2P}{(K_p - K_a)\gamma'}} \quad (2.101.)$$

ที่จุดแรงเฉือนเป็นศูนย์เป็นจุดอธิบายค่าของโมเมนต์สูงสุด ซึ่งหาได้ดังนี้

$$M_{\max} = P(\bar{z} + z') - \left[ \frac{1}{2} \gamma z'^2 (K_p - K_a) \right] \left( \frac{1}{3} \right) z' \quad (2.102.)$$

ข้อมูลที่จำเป็นของการตอกเข็มพีคคือขึ้นอยู่กับค่าความเค้นคด (flexural stress) ที่ยอมให้ของเข็มพีคหรือ

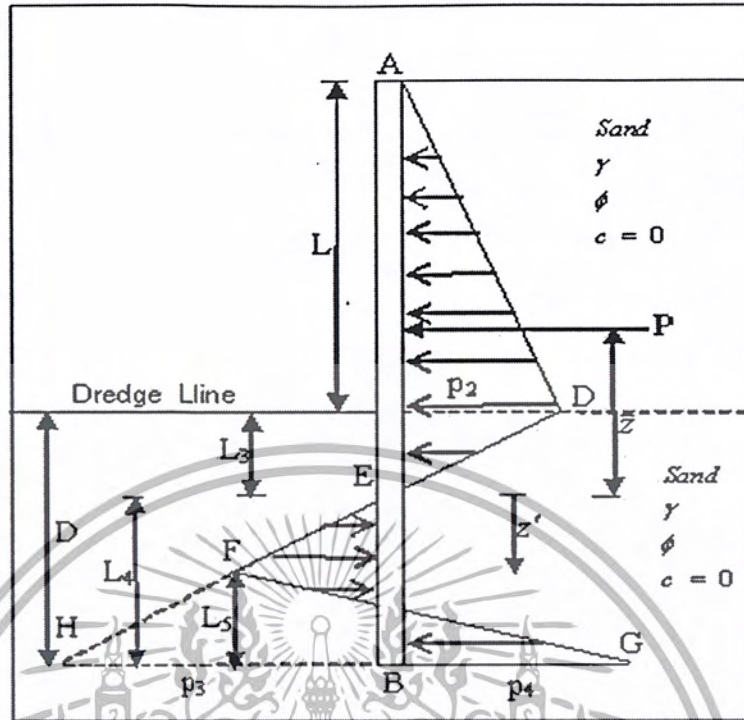
$$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{all}} \quad (2.103.)$$

โดยที่

$S$  = โมดูลัสของหน้าตัดเข็มพีคที่ต้องการต่อหน่วยความยาวของโครงสร้าง  
 $\sigma_{all}$  = ความเค้นคดที่ยอมให้ (allowable flexural stress) ของเข็มพีค

#### 2.6.2.2. กรณีที่เข็มพีคฝังลงในทรายและไม่มีระดับน้ำใต้ดิน

ในเมื่อไม่มีระดับน้ำใต้ดินฝังแรงคั้นสุทธิของเข็มพีคแบบยื่นจะแสดงดังรูป 2.29 ซึ่งปรับปรุงรูปแบบจากรูป 2.28. ในกรณีนี้



รูปที่ 2.29 เข็มพืดที่ตอกฝังในดินทรายซึ่งไม่มีน้ำใต้ดิน (Braja M. Das, 1999)

$$p_2 = \gamma L K_a \quad (2.104)$$

$$p_3 = L_4 (K_p - K_a) \gamma \quad (2.105)$$

$$p_4 = p_5 + \gamma L_4 (K_p - K_a) \quad (2.106)$$

$$p_5 = \gamma L K_p + \gamma L_3 (K_p - K_a) \quad (2.107)$$

$$L_3 = \frac{p_2}{\gamma (K_p - K_a)}$$

$$= \frac{L K_a}{(K_p - K_a)} \quad (2.108)$$

$$P = \frac{1}{2} p_2 L + \frac{1}{2} p_2 L_3 \quad (2.109)$$

$$\bar{z} = L_3 + \frac{L}{3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{LK_a}{K_p - K_a} + \frac{L}{3} = \frac{L(2K_a + K_p)}{3(K_p - K_a)} \quad (2.110)$$

จากสมการ (8.16) เปลี่ยนสภาพไปเป็น

$$L_4^4 + A_1' L_4^3 - A_2' L_4^2 - A_3' L_4 - A_4' = 0 \quad (2.111)$$

โดยที่

$$A_1' = \frac{P_5}{\gamma(K_p - K_a)} \quad (2.112)$$

$$A_2' = \frac{8P}{\gamma(K_p - K_a)} \quad (2.113)$$

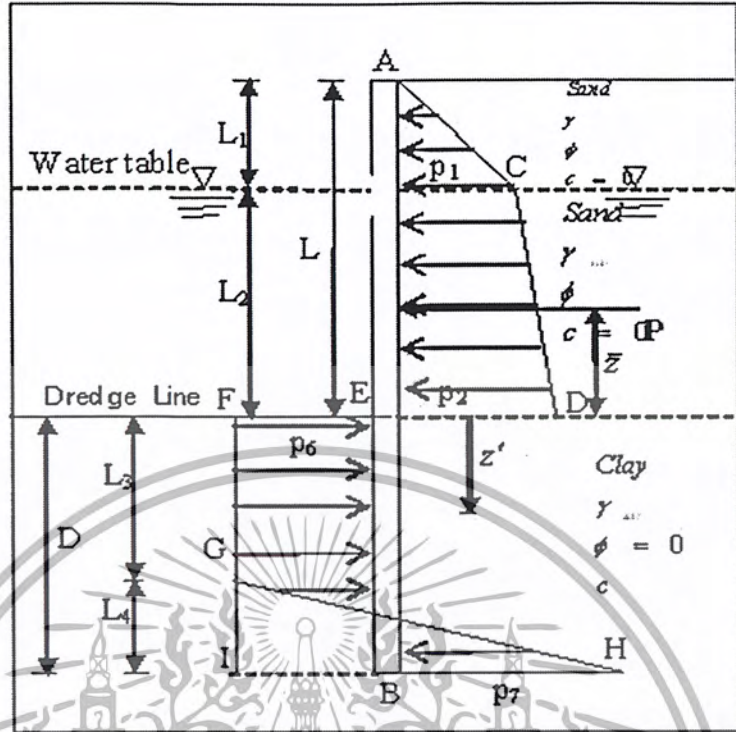
$$A_3' = \frac{6P[2z\gamma(K_p - K_a) + p_5]}{\gamma^2(K_p - K_a)^2} \quad (2.114)$$

$$A_4' = \frac{P(6zp_5 + 4P)}{\gamma^2(K_p - K_a)^2} \quad (2.115)$$

### 2.6.3 เข็มพืดแบบยื่นที่ตอกฝังในดินเหนียว(Cantilever sheet piling penetrating clay)

เมื่อเข็มพืดชนิดยื่นฝังลงในชั้นดินเหนียวที่ยังไม่ได้ระบายน้ำออกมีค่าการยึดเหนี่ยวของอนุภาคดิน(cohesion) เท่ากับ C (ค่า  $\phi = 0$ ) ฝังแรงดินสุทธิต่างส่วนอาจจะแตกต่างจากที่แสดงในรูป 2.28a รูป 2.30 แสดงถึงกำแพงเข็มพืดชนิดยื่นที่ฝังลงในดินเหนียวกับวัสดุที่ถมกำแพงเป็นทรายเหนือระดับดินขุดลอก ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ความลึก  $L_1$  ข้างใต้ส่วนบนของกำแพง ดังที่ก่อนหน้านี้สมการ 2.80 และ 2.81 ให้ค่าความหนาแน่นของแรงดันสุทธิ  $p_1$  และ  $p_2$  ซึ่งฝังของการกระจายแรงดันเหนือระดับดินขุดสามารถจะเขียนได้ดังรูป 2.30 ฝังสำหรับการกระจายแรงดันสุทธิภายใต้ระดับดินขุดสามารถอธิบายได้ดังรูป 2.30 เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.30 เข็มพืดแบบยื่นที่ฝังลงในดินเหนียว

ที่ความลึกต่าง ๆ ที่มากกว่า  $L_1 + L_2$  สำหรับ  $\phi = 0$  จากเงื่อนไขแรงดันกิริยาของ Rankine จะมีค่าสัมประสิทธิ์  $K_a = 1$  เช่นเดียวกันสำหรับ  $\phi = 0$  จากเงื่อนไขแรงดันปฏิกิริยาของ Rankine จะมีค่าสัมประสิทธิ์  $K_p = 1$  เช่นกัน ดังนั้นเหนือของจุดหมุน (จุด O ในรูป 2.27a) ค่าแรงดันกิริยา (active pressure)  $p_a$  จากขวาไปยังซ้ายคือ

$$p_a = [ \gamma L_1 + \gamma L_2 + \gamma_{sat} (z - L_1 - L_2) ] - 2c \quad (2.116)$$

เช่นเดียวกันค่าแรงดันปฏิกิริยา (passive pressure)  $p_p$  จากซ้ายไปยังขวาแสดงเป็นดังนี้

$$p_p = \gamma_{sat} (z - L_1 - L_2) + 2c \quad (2.117)$$

ดังนั้นแรงดันสุทธิ คือ

$$p_6 = p_p - p_a$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้รู้เห็นหนังสือไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (2.118)$$

ที่ส่วนปลายด้านล่างของเข็มพืด แรงดันปฏิกิริยาจากขวาไปซ้าย คือ

$$P_p = (\gamma L_1 + \gamma' L_2 + \gamma_{sat} D) + 2c \quad (2.119)$$

เช่นเดียวกันค่าแรงดันกิริยาจากซ้ายไปขวาคือ

$$P_a = \gamma_{sat} D - 2C \quad (2.120)$$

ดังนั้นค่าแรงดันสุทธิคือ

$$P_7 = P_p - P_a = 4c + (\gamma L_1 + \gamma' L_2) \quad (2.121)$$

สำหรับการวิเคราะห์หัดสมดุล  $\sum F_H = 0$  ซึ่งก็คือพื้นที่ของฝั่งแรงดัน ACDE - พื้นที่ EFIB + พื้นที่ GIH = 0 หรือ

$$P_1 - [4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)]D + \frac{1}{2} L_4 [4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) + 4c + (\gamma L_1 + \gamma' L_2)] = 0 \quad (2.122)$$

โดยที่

$$P_1 = \text{พื้นที่ของฝั่งแรงดัน ACDE}$$

สร้างสมการที่มีความง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนเป็นดังนี้

$$L_4 = \frac{D[4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)] - P_1}{4c} \quad (2.123)$$

ทำการหาผลรวมของโมเมนต์รอบจุด B,  $\sum B = 0$  ให้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_1(D + \bar{z}_1) - [4c - (\gamma L_1 + \gamma L_2)] \frac{D^2}{2} + \frac{1}{2} L_4 (8c) \left( \frac{L_4}{3} \right) = 0 \quad (2.124.)$$

โดยที่

$\bar{z}$  = ระยะของศูนย์กลางแรงดันของผังแรงดัน ACDE วัดจากระดับดินชุด

รวมสมการ (2.123) กับ (2.124) จะได้ผลดังนี้

$$D^2 [4c - (\gamma L_1 + \gamma L_2)] - 2DP_1 - \frac{P_1(P_1 + 12c\bar{z})}{(\gamma L_1 + \gamma L_2) + 2c} = 0 \quad (2.125.)$$

สมการ (2.125) ให้แก้ปัญหาเพื่อหาค่า  $D$  ซึ่งคือค่าความลึกทางทฤษฎีที่ฝังลงในชั้นดินเหนียวโดยเข็มพืด

### 2.6.3. โมเมนต์คัตสูงสุด

ตามที่ในรูป 2.30 ค่าโมเมนต์สูงสุด (แรงเฉือนเป็น 0) จะเกิดระหว่าง  $L_1 + L_2 < z < L_1 + L_2 + L_3$  การใช้ระยะความยาว  $z'$  ( $z' = 0$  ที่แนวดินชุด) สำหรับแรงเฉือนเป็น 0 ให้เป็นดังนี้

$$P_1 - p_6 z' = 0$$

หรือ

$$z' = \frac{P_1}{p_6} \quad (2.126.)$$

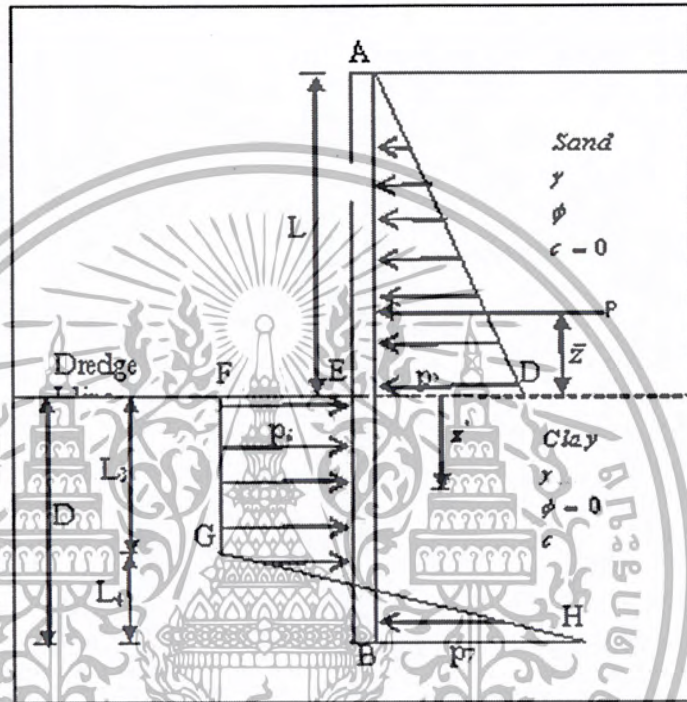
ค่าโมเมนต์สูงสุดอาจจะหาได้ดังนี้

$$M_{\max} = P_1(z' + \bar{z}) - \frac{p_6 z'^2}{2} \quad (2.127.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรู้ค่าโมเมนต์คัตสูงสุด เราจะใช้อธิบายถึงหน้าตัดโมดูลัส (section modulus) ของหน้าตัดเข็มที่คดจากสมการ (2.103)

### 2.6.3.2 กรณีที่เข็มที่คดฝังลงในดินเหนียวและไม่มีระดับน้ำใต้ดิน



รูป 2.31 กิ่งแขงเข็มที่คดฝังลงในดินเหนียว

อ้างอิงไปที่รูป 2.31 เราสามารถเขียนได้ว่า

$$p_2 = \gamma L K_a \quad (2.128.)$$

$$p_6 = 4c - \gamma L \quad (2.129.)$$

$$p_7 = 4c + \gamma L \quad (2.130.)$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{1}{2} L p_2 \\ &= \frac{1}{2} \gamma L^2 K_a \end{aligned} \quad (2.131.)$$

$$L_4 = \frac{D(4c - \gamma L) - \frac{1}{2} \gamma L^2 K_a}{4c} \quad (2.132.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความลึกทางทฤษฎีของการฝัง  $D$  สามารถคำนวณ (เหมือนกับสมการ 2.125) ดังนี้

$$D^2(4c - \gamma L) - 2DP_1 - \frac{P_1(P_1 + 12c\bar{z})}{\gamma L + 2c} = 0 \quad (2.133.)$$

โดยที่

$$\bar{z} = \frac{L}{3} \quad (2.134.)$$

ค่าของโมเมนต์สูงสุดในกำแพงคือ

$$M_{\max} = P_1(z' + \bar{z}) - \frac{P_6 z'^2}{2} \quad (2.135.)$$

โดยที่

$$z' = \frac{P_1}{p_6} = \frac{\frac{1}{2}\gamma L^2 - K_a}{4c - \gamma L} \quad (2.136.)$$

## 2.7 กำแพงกันดิน (Retaining Wall)

ข้อตกลงเกี่ยวกับกำแพงที่ป้องกันดิน โดยทั่วไปแบ่งประเภทได้เป็นดังนี้

1. Gravity retaining walls
2. Semigravity retaining walls
3. Cantilever retaining walls
4. Counterfort retaining walls

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

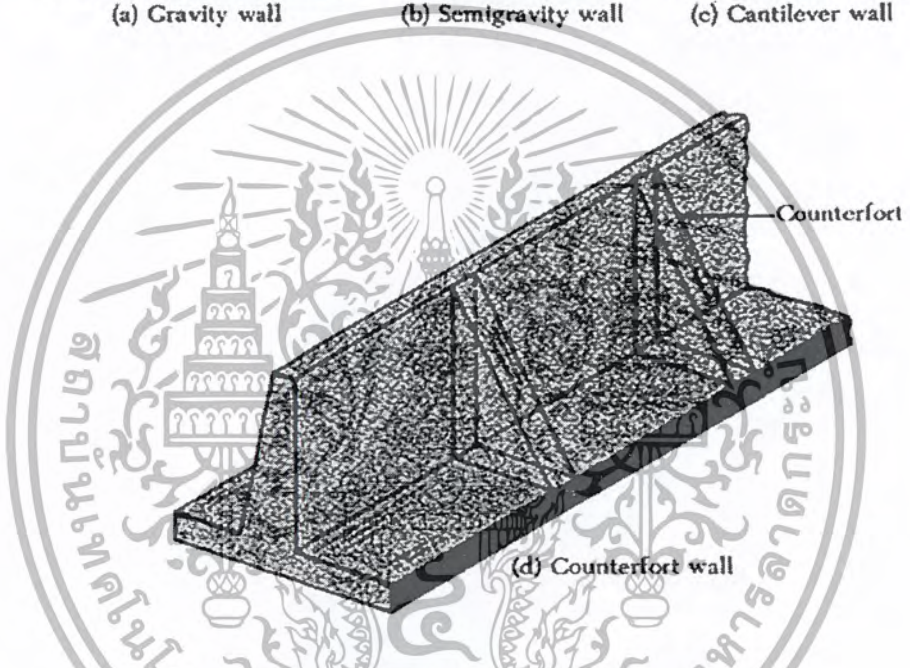
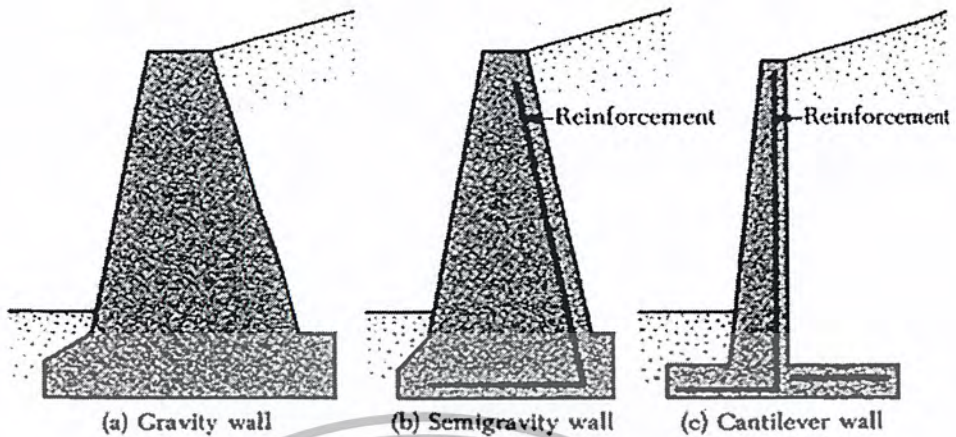
Gravity retaining wall (รูป 2.32a) คือ โครงสร้างที่สร้างด้วยคอนกรีตเพียงอย่างเดียว หรือสิ่งก่อสร้างที่ก่อด้วยหิน เสถียรภาพของโครงสร้างขึ้นอยู่กับน้ำหนักของตัวเองและดินที่อยู่เหนือ โครงสร้างกันดิน โครงสร้างประเภทนี้จะสิ้นเปลืองสำหรับกำแพงสูง

Cantilever retaining wall (รูป 2.32c) เป็นสิ่งซึ่งทำขึ้นจากคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่ง ประกอบด้วยผนังบางและพื้นด้านล่าง กำแพงประเภทนี้จะประหยัดสำหรับกำแพงสูงประมาณ 25 ft (8 m)

การออกแบบกำแพงกันดินที่ถูกต้อง วิศวกรจะต้องรู้ถึงปัจจัยของดินโดยพื้นฐาน นั่นก็คือ ค่าหน่วยน้ำหนัก มุมของความเสียดทาน และค่าการยึดเหนี่ยวของอนุภาคดิน สำหรับการป้องกันดิน หลังกำแพงและดินที่อยู่ด้านข้างใต้พื้นด้านล่าง การรู้ถึงลักษณะโดยทั่วไปของดินด้านหลังของกำแพง ทำให้วิศวกรสามารถอธิบายการกระจายแรงดันทางด้านข้างซึ่งใช้สำหรับการออกแบบ

เงื่อนไข 2 แบบในการออกแบบกำแพงกันดิน อันดับแรก การที่รู้ค่าแรงดันดินด้านข้าง โครงสร้างทั้งหมดจะถูกตรวจสอบความเสถียรภาพ ซึ่งประกอบด้วยตรวจสอบสำหรับความเป็นไปได้ของการหมุน การเลื่อน ไถลและความสามารถทนต่อการพังทลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.32 ชนิดของกำแพงดิน (Braja M. Das, 1999)

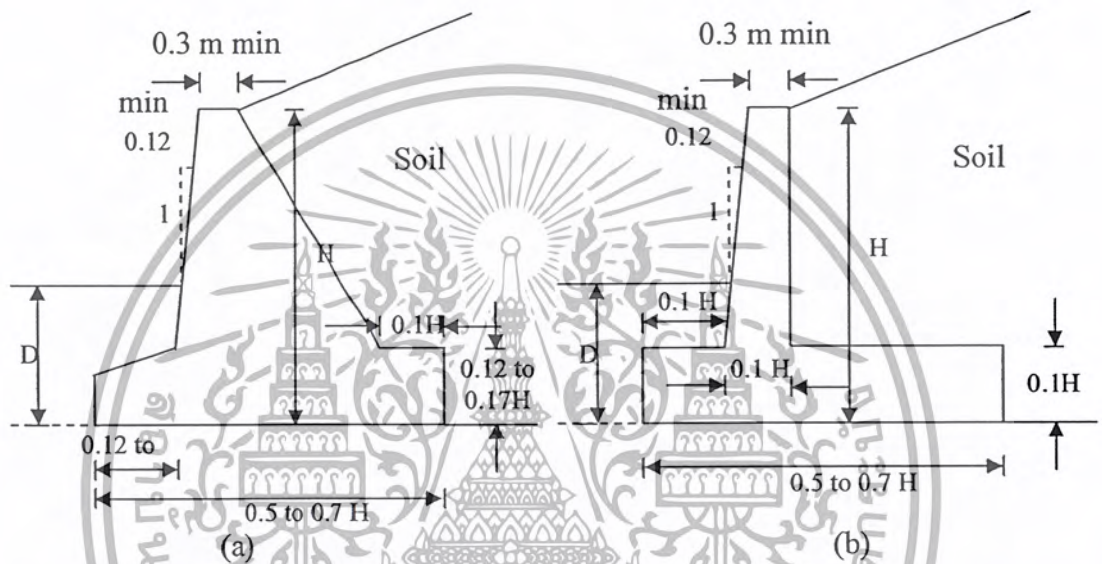
อันดับสอง แต่ละส่วนประกอบของโครงสร้างจะถูกตรวจสอบสำหรับความแข็งแรงเพียงพอ และ ทำให้แข็งแรงโดยเสริมเหล็กที่แต่ละส่วนที่ถูกอธิบายไว้

### 2.7.1 Gravity and Cantilever walls

เมื่อมีการออกแบบกำแพงกันดิน วิศวกรจะต้องสมมติบางส่วนของความกว้างยาวและหนาซึ่งเรียกว่า ขนาดที่สัมพันธ์กัน ซึ่งมีเพื่อให้วิศวกรได้ทดลองเลือกหน้าตัดเพื่อตรวจสอบความเสถียรภาพ ถ้าการตรวจสอบเสถียรภาพไม่ผ่านตามข้อกำหนดหน้าตัดสามารถที่จะถูกเปลี่ยนและตรวจสอบอีกครั้ง รูป 2.33 แสดงถึงขนาดที่สัมพันธ์โดยทั่วไปของส่วนประกอบกำแพงกันดินต่าง ๆ ซึ่งถูกใช้สำหรับการตรวจสอบเบื้องต้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตว่าส่วนบนของแนวตั้งของกำแพงชนิดต่าง ๆ จะมีความหนาไม่น้อยกว่า 12 นิ้ว ( $\approx 0.3\text{m}$ ) สำหรับการกำหนดความเหมาะสมของคอนกรีต ความลึก  $D$  ถึงข้างใต้ของพื้นด้านล่าง ควรจะมีความลึกอย่างน้อย 2 ft ( $\approx 0.6\text{m}$ ) อย่างไรก็ตามข้างใต้ของพื้นด้านล่างควรจะอยู่ในตำแหน่งข้างใต้เส้นระดับน้ำ (seasonal frost line)



รูป 2.33 การประมาณความกว้างยาวและหนาดำเนินสำหรับส่วนประกอบต่าง ๆ ของกำแพงกันดินเพื่อที่จะตรวจสอบเสถียรภาพ (a) gravity wall ; (b) cantilever wall

### 2.7.2 การตรวจสอบเสถียรภาพ

การที่จะตรวจสอบเสถียรภาพของกำแพงกันดิน ตามขั้นตอนที่จำเป็น

1. ตรวจสอบสำหรับการหมุนที่จุดปลายด้านหน้ากำแพง
2. ตรวจสอบการพังทลายแบบเลื่อนไถลตามฐานกำแพง
3. ตรวจสอบความสามารถทนต่อการพังทลายของฐานกำแพง

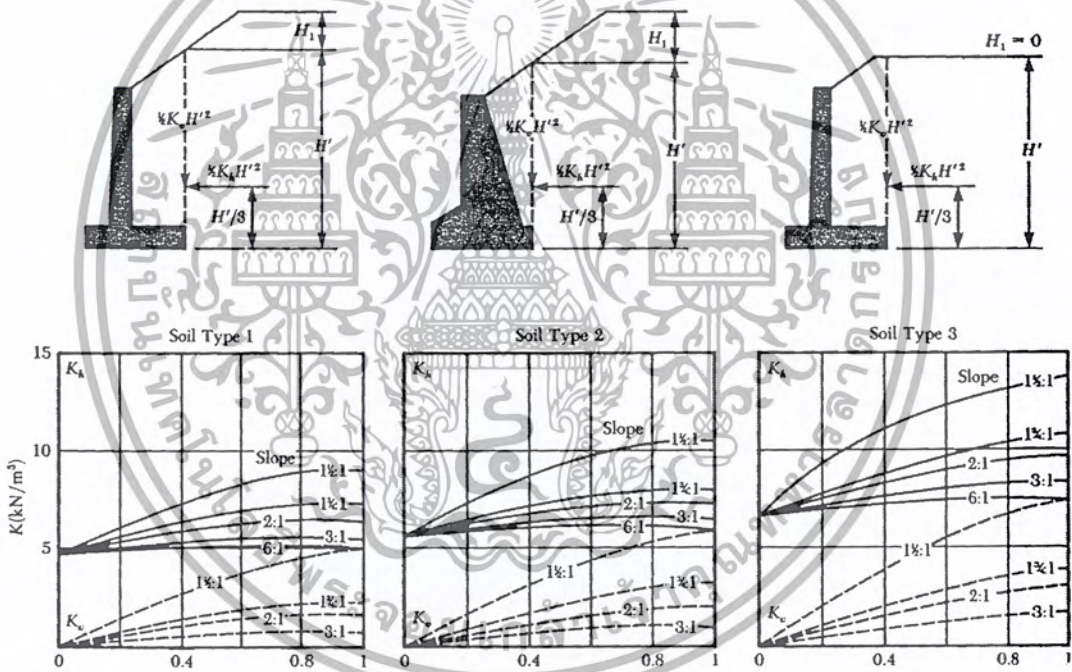
ในส่วนต่อไปนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนสำหรับการตรวจสอบการหมุนตัว การเลื่อนไถล และความสามารถทนต่อการพังทลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.2.1 ตรวจสอบสำหรับการหมุนตัว

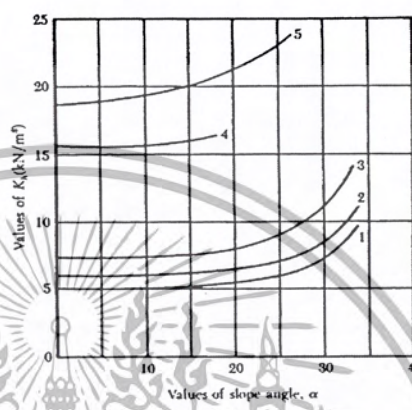
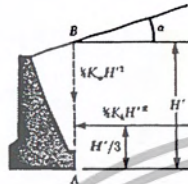
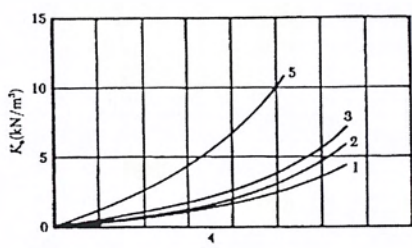
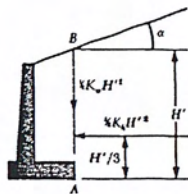
รูป 2.35 แสดงถึงแรงที่กระทำบนกำแพงกันดินแบบยื่น (Cantilever retaining wall) และกำแพงกันดินแบบน้ำหนักดวง(Gravity retaining wall) โดยใช้สมมติฐานแรงดันดินกิริยาของ Rankine ซึ่งกระทำตามระนาบแนวตั้ง AB ซึ่งลากผ่านจุดปลายด้านหลังกำแพง  $P_p$  เป็นค่าจากแรงดันปฏิกิริยาของ Rankine ซึ่งจะมีค่าเป็นดังนี้

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_2 D^2 + 2C_2 \sqrt{K_p} D \quad (2.137)$$



รูป 2.34a แผนภาพสำหรับอธิบายแรงดันของดินด้านหลังกำแพงที่กระทำกับกำแพง (Braja M. Das, 1999)

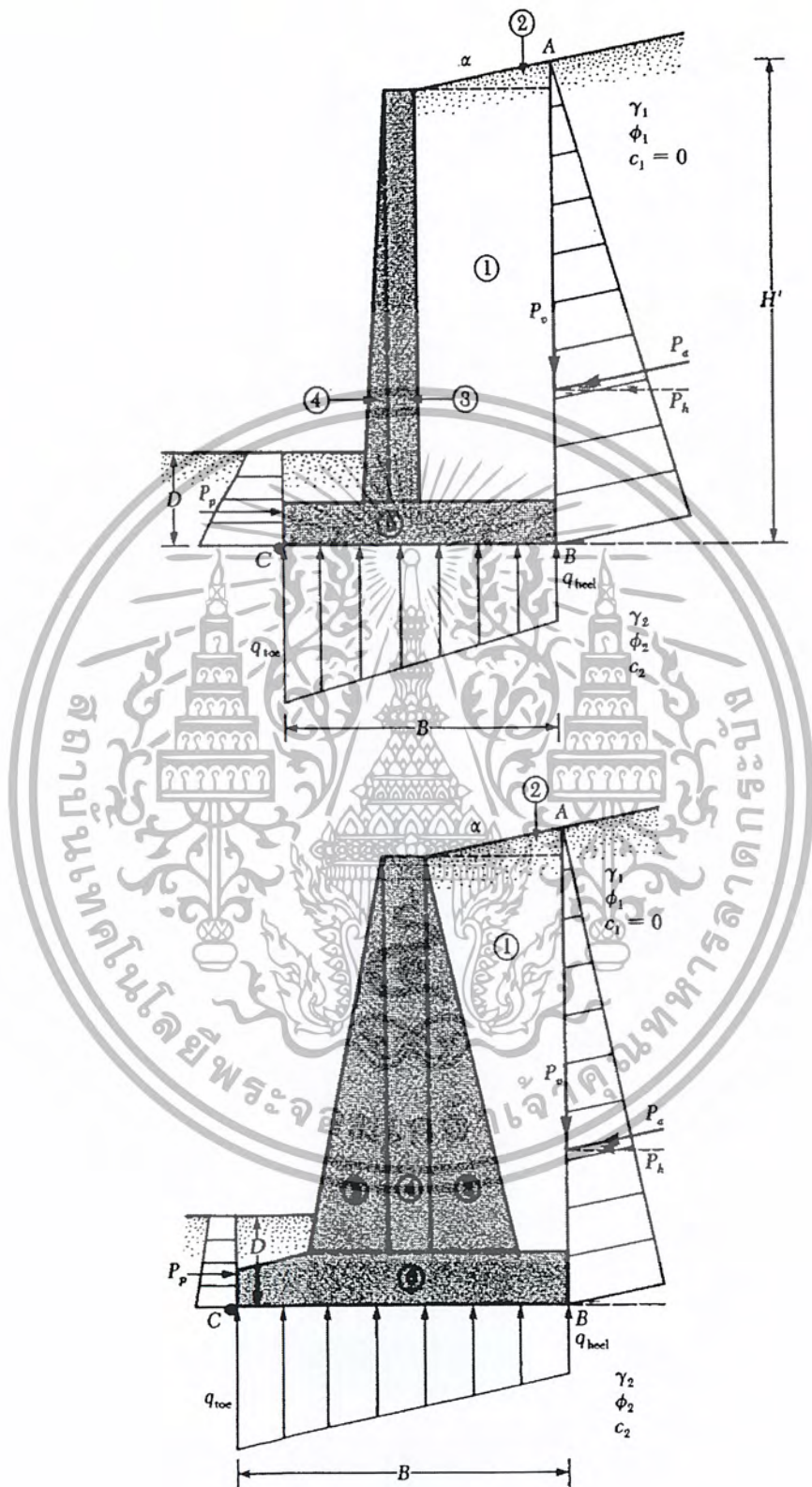
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Note Numerals on curves indicate soil types as described in Table 7.1 For materials, type-5 computations of pressure may be based on value of  $H'/3$  m less than actual value.

รูป 2.34b แผนภาพสำหรับอธิบายแรงดันของดินด้านหลังกำแพงที่กระทำกับกำแพง (Braja M. Das, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.35 การตรวจสอบการหมุนตัวโดยใช้สมมติฐานแรงดันของ Rankine (Braja M. Das, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

- $\sigma_2$  = หน่วยน้ำหนักของดินด้านหน้าของจุดปลายด้านหลังกำแพงและข้างใต้ของฐานด้านล่าง
- $K_p$  = สัมประสิทธิ์ของแรงดันดิน โดยทฤษฎีของ Rankine แบบปฏิกิริยา
- $c_2, \phi_2$  = การยึดเหนี่ยวของอนุภาคดิน (cohesion) และมุมความเสียดทานของดิน(soil friction angle)ตามลำดับ

ค่าความปลอดภัยที่ต่อต้านการหมุนตัวที่จุดปลายด้านหลังกำแพง (นั่นก็คือจุด c) ในรูป 2.35 อาจจะแสดงได้ในรูป

$$FS_{(overturning)} = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} \quad (2.138)$$

โดยที่

$\sum M_O$  = ผลรวมของโมเมนต์ของแรงที่ทำให้เกิดการหมุนตัวรอบจุด C

$\sum M_R$  = ผลรวมของโมเมนต์ของแรงที่ต่อต้านการหมุนตัวรอบจุด C

ค่าโมเมนต์การหมุนตัวคือ

$$\sum M_O = P_h \left( \frac{H'}{3} \right) \quad (2.139)$$

โดยที่

$$P_h = P_a \cos \alpha$$

สำหรับการคำนวณค่าโมเมนต์ต้านทาน  $\sum M_R$  (ไม่รวมค่า  $P_p$ ) เป็นตารางที่สามารถทำได้ดังข้างล่าง (ดังเช่นตาราง 2.9) น้ำหนักของดินที่เหนือด้านท้ายของกำแพงและน้ำหนักของคอนกรีตเป็น 2 แรงที่ช่วยให้เกิดโมเมนต์ต้านทานซึ่งสังเกตว่าแรง  $P$  ช่วยให้เกิดโมเมนต์ต้านทานด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด  $P_p$  คือแรงส่วนประกอบแนวตั้งของแรง  $P_a$  หรือ  $P_v$  ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_v = P_a \sin \alpha$$

ค่าโมเมนต์ของแรง  $P_v$  รอบจุด C คือ

$$\begin{aligned} M_v &= P_v B \\ &= P_a \sin \alpha B \end{aligned} \tag{2.140}$$

โดยที่

$B$  = ความกว้างของฐานรากกำแพงกันดิน

Section (1)	Area (2)	Weight/unit length of wall (3)	Moment arm measured from C (4)	Moment about C (5)
1	$A_1$	$W_1 = \gamma_1 \times A_1$	$X_1$	$M_1$
2	$A_2$	$W_2 = \gamma_2 \times A_2$	$X_2$	$M_2$
3	$A_3$	$W_3 = \gamma_c \times A_3$	$X_3$	$M_3$
4	$A_4$	$W_4 = \gamma_c \times A_4$	$X_4$	$M_4$
5	$A_5$	$W_5 = \gamma_c \times A_5$	$X_5$	$M_5$
6	$A_6$	$W_6 = \gamma_c \times A_6$	$X_6$	$M_6$
		$P_a$	$B$	$M_v$
		$\Sigma W$		$\Sigma M_R$

Note:  $\gamma_1$  = unit weight of backfill  
 $\gamma_c$  = unit weight of concrete

ตาราง 2.9 ขั้นตอนสำหรับการคำนวณ  $\Sigma M_R$  (Braja M. Das, 1999)

เมื่อทราบค่า  $\Sigma M_R$  ค่าความปลอดภัยสามารถคำนวณได้จาก

$$FS_{(overturning)} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_v}{P_a \cos(H'/3)} \tag{2.141}$$

โดยทั่วไปค่าที่น้อยที่สุดของค่าความปลอดภัยที่ใช้สำหรับการหมุนตัวจะมีค่าที่อยู่ระหว่าง 2 ถึง 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบบางครั้งจะอ้างอิงถึงการอธิบายค่าความปลอดภัยการหมุนตัวด้วยค่า

$$FS_{(overturning)} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6}{P_a \cos \alpha \left(\frac{H'}{3}\right) - M_v} \quad (2.142)$$

### 2.7.2.2 การตรวจสอบสำหรับการเลื่อนไถลตามฐานของกำแพงกันดิน

ค่าความสามารถที่ต้านทานการเลื่อนไถลอาจจะแสดงโดยสมการดังนี้

$$FS_{(sliding)} = \frac{\sum F_R}{\sum F_d} \quad (2.143)$$

โดยที่

$$\sum F_R = \text{ผลรวมของแรงต้านทานตามแนวนอน}$$

$$\sum F_d = \text{ผลรวมของแรงที่ผลักตามแนวนอน (แรงจากดินด้านหลังกำแพง)}$$

ให้เห็นตามที่

$$s = \sigma \tan \delta + c_a$$

โดยที่

$$\delta = \text{มุมของความเสียดทานระหว่างดินและพื้นฐานราก}$$

$$c_a = \text{การยึดติดระหว่างดินและพื้นฐานราก}$$

ดังนั้นค่าแรงต้านทานสูงสุดสามารถหาได้จากดินต่อหน่วยความยาวของกำแพงตามข้างใต้ของฐานรากคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **สงวนไว้สำหรับการใช้ (พื้นที่ของหน้าตัด)** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= s(B \times 1) = B\sigma \tan \delta + Bc_a \quad (2.144a)$$

อย่างไรก็ตาม

$$\begin{aligned} B\sigma &= \text{ผลรวมของแรงตามแนวตั้ง} \\ &= \sum V \end{aligned} \quad (\text{ดูตาราง 7.2})$$

ดังนั้น

$$R' = \sum V \tan \delta + Bc_a \quad (2.144b)$$

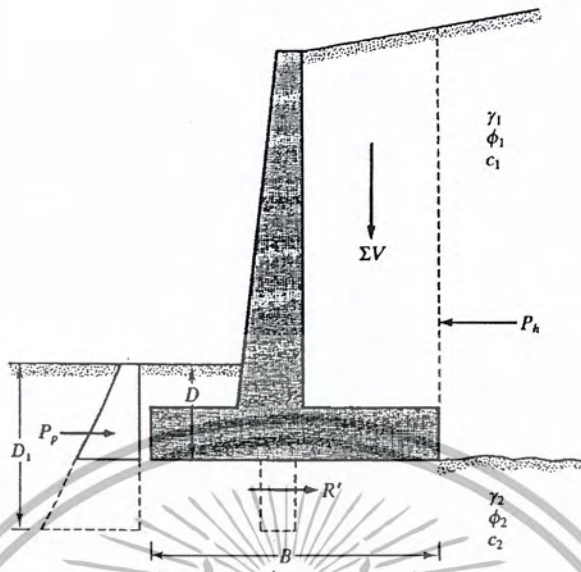
รูป 2.36 แสดงถึงแรงปฏิกิริยา  $P_p$  ซึ่งเป็นต้านทานตามแนวนอนด้วยการส่งผลสำหรับ  $P_p$  ที่ให้ในสมการ 2.74 จะเป็นดังนี้

$$\sum F_R = \sum V \tan \delta + Bc_a + P_p \quad (2.145)$$

แรงตามแนวนอนเท่านั้นที่จะเป็นสาเหตุให้กำแพงเลื่อนไถล (แรงขับเคลื่อน) โดยส่วนประกอบของแรงกระทำตามแนวนอน  $P_a$  เป็นดังนี้

$$\sum F_d = P_a \cos \alpha \quad (2.146)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.36 การตรวจสอบการเลื่อนไถลตามฐานของกำแพง (Braja M. Das, 1999)

การรวมสมการ (2.142), (2.144) และ (2.145) จะให้ผลดังนี้

$$FS_{(sliding)} = \frac{(\sum V) \tan \delta + BC_a + P_p}{P_a \cos \alpha} \quad (2.147)$$

ค่าความปลอดภัยอย่างน้อยจะมีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับกรณีการเลื่อนไถล ในหลายกรณีแรงปฏิกิริยา  $P_p$  ไม่ได้ใช้ในการคำนวณค่าความปลอดภัยในการเลื่อนไถล โดยทั่วไปเราสามารถเขียน  $\delta = k_1 \phi_2$  และ  $c_a = k_2 c_2$  โดยส่วนมาก  $k_1$  และ  $k_2$  เป็นค่าที่อยู่ในช่วง  $\frac{1}{2}$  ถึง  $\frac{2}{3}$  ดังนั้น

$$FS_{(sliding)} = \frac{(\sum V) \tan(k_1 \phi_2) + Bk_2 c_2 + P_p}{P_a \cos \alpha} \quad (2.148)$$

### 2.7.2.3. การตรวจสอบสำหรับความสามารถทนต่อการพังทลาย

แรงดันแนวตั้งที่ถูกส่งถ่ายไปยังดิน โดยฐานรากกำแพงกันดินควรจะถูกรวบรวมค่า ความต้านทานความสามารถรับแรงกดมากที่สุดของดิน ธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตามแนวตั้งที่ถูกส่งผ่าน โดยฐานรากกำแพงลงภายในดิน คือ ที่แสดงในรูป 2.37 สังเกตว่า  $q_{toe}$  และ  $q_{heel}$  คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\begin{aligned}\overline{CE} &= \overline{X} \\ &= \frac{M_{net}}{\sum V}\end{aligned}\tag{2.151}$$

ดังนั้นระยะเยื้องศูนย์กลางของผลของแรง R อาจแสดงในรูปดังนี้

$$e = \frac{B}{2} - \overline{CE}\tag{2.152}$$

การกระจายแรงดันภายใต้ฐานรากกำแพงอาจจะอธิบายโดยการใช้หลักง่าย ๆ ทางกล

ของวัสดุ

$$q = \frac{\sum V}{A} + \frac{M_{net} Y}{I}\tag{2.153}$$

โดยที่

$$\begin{aligned}M_{net} &= \text{โมเมนต์} \\ &= (\sum V)e \\ I &= \text{Moment of inertia per unit length of the base section} \\ &= \frac{1}{12}(1)(B^3)\end{aligned}$$

สำหรับค่าแรงดันมากที่สุดและน้อยที่สุด ค่าของ y ในสมการ (2.153) มีค่าเท่ากับ B/2 แทนค่าต่าง ๆ ในข้างต้นแทนลงในสมการ (2.153) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}q_{max} &= q_{toe} \\ &= \frac{\sum V}{B(1)} + \frac{e(\sum V)B/2}{\left(\frac{1}{12}\right)(B^3)}\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\sum V}{B} \left( 1 + \frac{\sigma e}{B} \right) \quad (2.154)$$

คล้ายกับ

$$q_{\min} = q_{\text{heel}} = \frac{\sum V}{B} \left( 1 - \frac{\sigma e}{B} \right) \quad (2.155)$$

สังเกตว่า  $\sum V$  ประกอบด้วยน้ำหนักของดิน ซึ่งแสดงในตาราง 2.9 และนั่นก็คือเมื่อค่าของระยะเยื้องศูนย์กลาง  $e$  มีค่ามากกว่า  $B/\sigma$ ,  $q_{\min}$  กลายเป็นค่าลบ [สมการ (2.155)] ดังนั้นในสภาวะนั้นจะเกิดความเค้นดึงบางส่วนที่จุดปลายของจุดปลายด้านท้ายกำแพงกันดิน ความเป็นนี้ไม่เป็นที่ต้องการเพราะความต้านทานแรงดึงของดินน้อยมาก ถ้าการวิเคราะห์ในการออกแบบ ซึ่งแสดงค่า  $e > B/\sigma$  การออกแบบควรจะต้องเลือกขนาดใหม่และนำการคำนวณใหม่อีกครั้ง

ค่าความปลอดภัยที่ต้านทานความสามารถลดต่อการพังทลายสามารถจะอธิบายได้ดังนี้

$$FS_{\text{(bearing capacity)}} = \frac{q_u}{q_{\max}} \quad (2.156)$$

โดยทั่วไปค่าความปลอดภัยจะต้องการประมาณ 3

## 2.8 การออกแบบ Braced Cut

การออกแบบระบบ Bracing Cut flexible wall จะประกอบด้วยส่วนโครงสร้างของ Sheet Pile, Wale, Strut และ KingPost ในการวิเคราะห์ brace excavation นั้นจำเป็นต้องวิเคราะห์ทั้งระบบอันประกอบด้วย

- แรงดันน้ำกระทำกับ Sheet Pile
- แรงดันดินกระทำกับ Sheet Pile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงกระทำใน Strut
- การเคลื่อนตัวของกำแพง
- การเคลื่อนตัวของดินโดยรอบ
- การวิเคราะห์เสถียรภาพของทั้งระบบ

### 2.8.1 การออกแบบเข็มพืด (Sheet Pile)

การออกแบบเข็มพืด (Sheet Pile) สามารถแยกเป็น 2 ประเด็นหลัก ๆ คือ การหาความยาวของ Sheet Pile ที่สามารถป้องกันการเกิดการยกขึ้น (heave) และการหาขนาดหน้าตัด (section) หรือชนิดของเข็มพืดในส่วนของกาวิเคราะห์ผลกระทบการยกขึ้น (Heave Effect) นั้น จะขึ้นกับความกว้างของพื้นที่ของการขุดเทียบกับความลึกของการขุด คือ Narrow Cut หรือ Trench Excavation และ Deep brace cut ดังแสดงในรูปที่ 2.38 ในกรณีของ Narrow Cut จะใช้วิธีการตรวจสอบ Safety factor ต่อการเกิด bottom heave ซึ่งเสนอโดย Bjerrum and Eide (1956)

$$FS = \frac{N_c S_u}{(\gamma H + q)} \quad (2.157.)$$

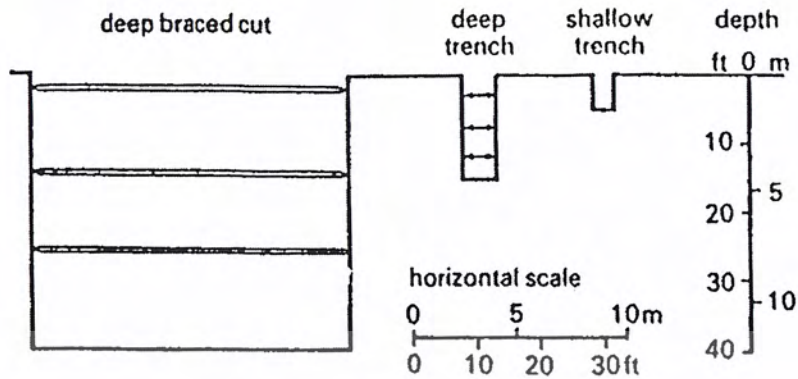
โดยที่

- $q$  = น้ำหนักกดทับ (surcharge) รอบ ๆ บริเวณการขุด
- $S_u$  = ความต้านทานแรงเฉือน (Shear strength)
- $N_c$  = จำนวนเสถียรภาพ (Stability Number) แสดงในรูปที่ 2.38

ในกรณีของ Deep brace cut การคำนวณความยาวของ Sheet Pile เพื่อต้านทานการเกิด heave จะใช้การสมมูลของแรง ดังแสดงในรูปที่ 2.40

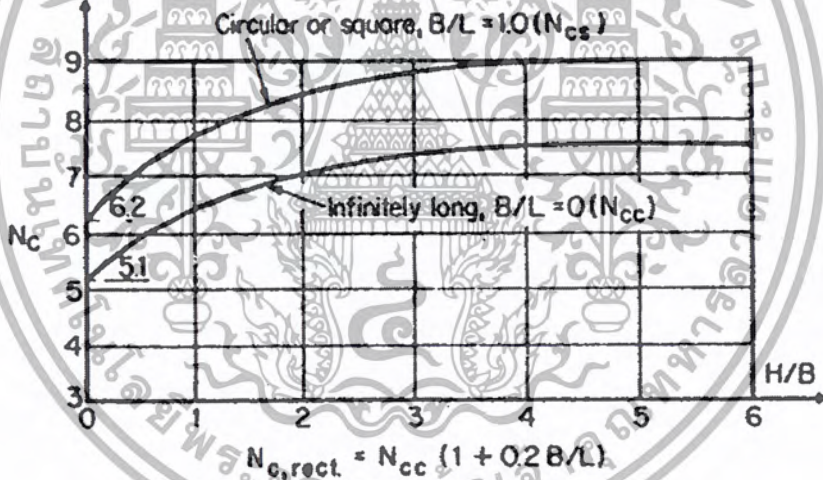
กรณีดินเหนียวเมื่อพิจารณา Free body diagram น้ำหนักของดินในส่วน abcd พยายามจะเคลื่อนลงด้านล่างในขณะที่การต้านทานแรงเฉือน (Shear resistance)  $s$  จะพัฒนาขึ้นด้านรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



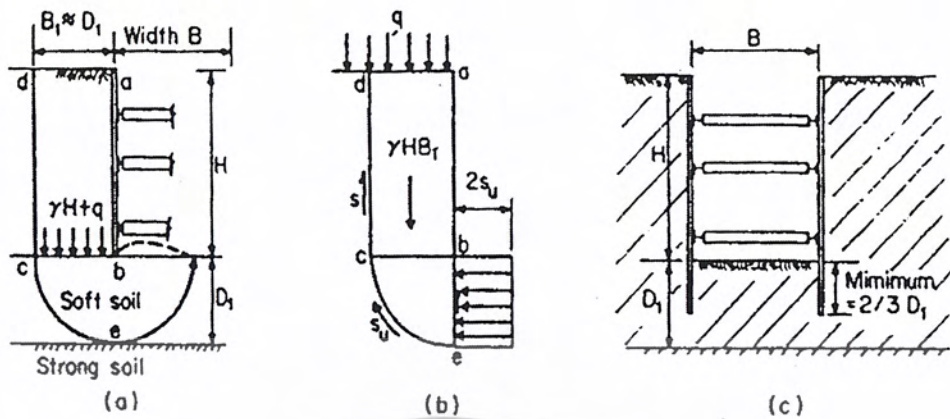
รูปที่ 2.38 ผังแสดงถึงขนาดและชนิดของงานขุด (After Hurrell & Attewell (1984))

(คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2534)



รูปที่ 2.39. ค่า Stability Number  $N_c$  สำหรับการวิเคราะห์ heave ของงาน Braced excavation (After Bjerum & Eide, 1956) (คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2534)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40. การเกิด Bottom heave ใน Soft Clay (a) brace wall in soft clay with bottom heave (b) free body diagram และ (c) ความลึกของ Sheet Pile ที่อาจจะสามารถป้องกันการเกิด heave (คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2534)

$$S = HS_u - H_1 S_u \quad (2.158.)$$

โดยที่

$$H_1 = \text{Tension zone} = 2S_u / \gamma$$

เมื่อจัดรูปแบบแล้วจะได้

$$S = \frac{1}{2} q_u (H - q_u / \gamma) \quad (2.159)$$

โดยที่

$$q_u = \text{unconfined compressive strength} = 2S_u$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาน้ำหนักของดินที่ Slide ลงมา abcd รวมกับน้ำหนัก surcharge  $q$  ซึ่งจะต้านทานด้วย shear resistance,  $S$  บนผิว cd และด้วย cohesive resistance  $S_u$  บนผิว ce และแรง Passive pressure บนผิว be โดยไม่คำนึงถึงน้ำหนักดินใต้เส้น bc และบริเวณทั้งสองด้านของเส้น be ค่า Net passive earth pressure มีค่าเท่ากับ  $q_u = 2S_u$  เมื่อพิจารณา Moment รอบจุด b จะได้

$$(\gamma H + q)B_1 - 2S - \frac{\pi}{2} B_1 q_u \leq q_u B_1 \quad (2.160.)$$

ความยาวของ Sheet Pile ควรตกลงไปไม่น้อยกว่า (2/3)  $D_1$  หรือ (2/3)  $B_1$  วิธีการคำนวณนี้จะเหมาะสมสำหรับกรณีที่มีความกว้างของการขุดดินจะต้องกว้างกว่าความลึกของการขุด

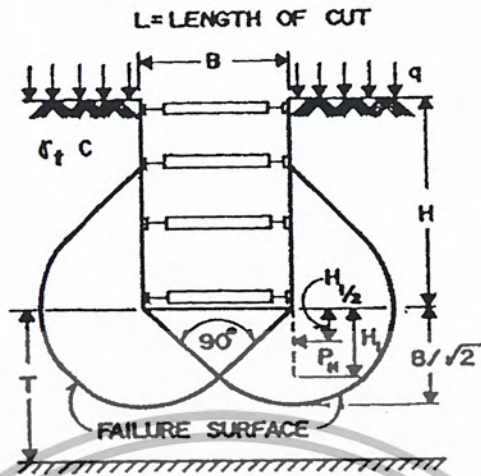
การวิเคราะห์ความยาวของ Sheet Pile เพื่อป้องกันการเกิด heave อาจจะทำตาม โดยใช้ empirical formula เสนอโดย NAVFAC DM7 (1974) โดยมีข้อกำหนดว่าค่าความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 1.5 ดังแสดงในรูปที่ 2.41

ถ้าค่าความปลอดภัยมีค่าน้อยกว่า 1.5 Sheet piling must be carried below base of cut to insure the stability

$$\text{If } H_1 > \frac{2}{3} \frac{B}{\sqrt{2}} ; P_H = 0.7(\gamma H B - 1.4 C N - \pi C B) \quad (2.161)$$

$$\text{If } H_1 < \frac{2}{3} \frac{B}{\sqrt{2}} ; P_H = 1.5 H_1 \left( \gamma H - \frac{1.4 C N}{B} - \pi C \right) \quad (2.162)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

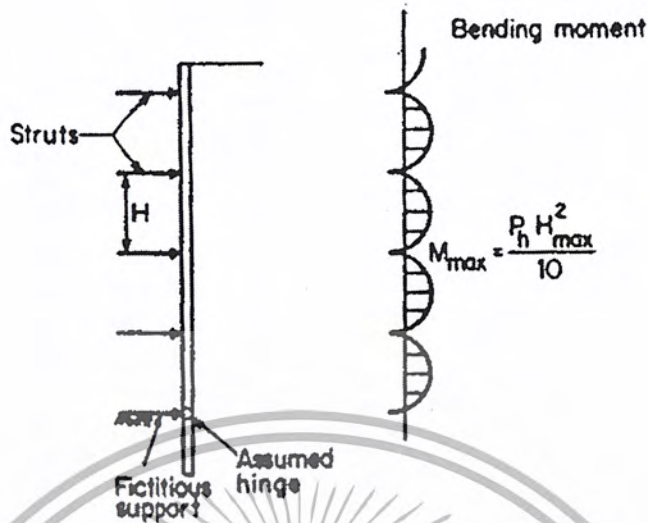


รูปที่ 2.41 การหาความยาวของ Sheet Pile เพื่อป้องกัน heave สำหรับดินเหนียว (After NAVFAC DM7, 1974) (คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2534)

การหาความยาวของ Sheet Pile โดยใช้สมการที่ 2.159 และ 2.160 จะเหมาะสมและสะดวกต่อการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามความยาวของ Sheet Pile ควรต่อจมลงไปถึงดินแข็ง

การหา Section ของ Sheet Pile จะคำนวณหาจากค่า Section Modulus ซึ่งได้จากการคำนวณค่า Maximum Moment ที่อาจจะเกิดขึ้นใน Sheet Pile ค่า Maximum Moment สามารถประมาณได้โดยใช้แรงกระทำด้านข้าง หรือ Diagram ที่เสนอ โดย Terzaghi & Peck (1967) ซึ่งมีค่าประมาณได้ดังแสดงในรูปที่ 2.42 Maximum Moment ใน Sheet Pile จะขึ้นกับระดับและระยะของการ Bracing ซึ่งจะต้องจัดให้เหมาะสมกับขั้นตอนการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

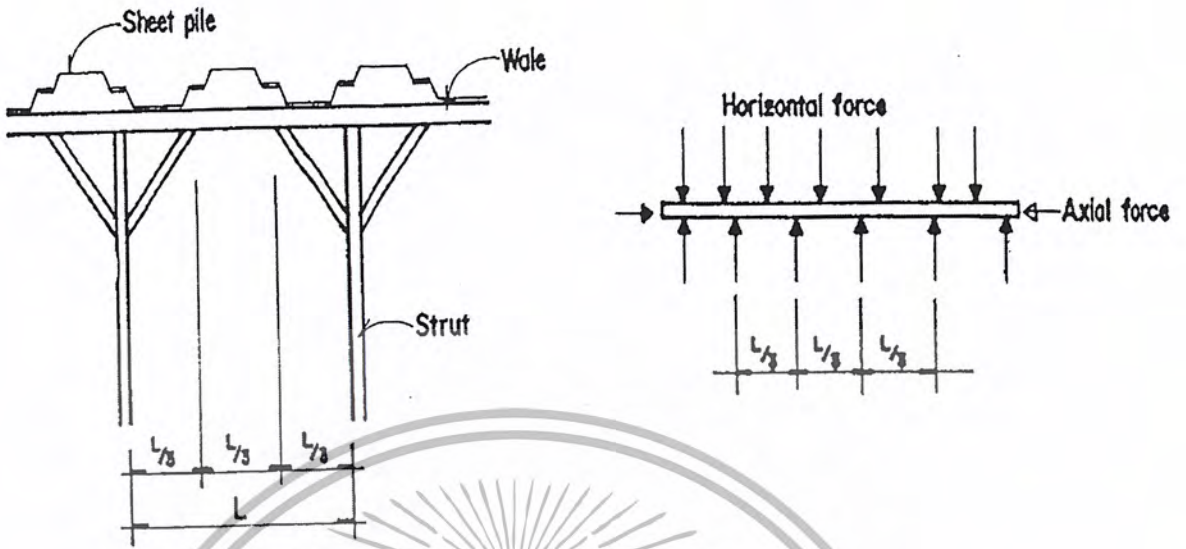


รูปที่ 2.42 การออกแบบขนาดของ Sheet Pile ในกรณี Continuous span (คณะกรรมการ  
 วิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรม  
 ราชาูปถัมภ์, 2534)

### 2.8.2 การออกแบบ Wale

Wale จะออกแบบเพื่อให้ต้านแรงดันด้านข้างจาก Sheet Pile ซึ่งจะถ่ายแรงเป็น Uniform horizontal force เข้าสู่ Wale Wale ส่วนใหญ่จะเป็นเหล็ก H-beam และยาวตลอดเพื่อให้การถ่ายแรงได้สมบูรณ์ นอกจาก Moment จากแรงดันด้านข้างแล้ว ยังมีแรง Axial force ใน Wale เกิดขึ้นด้วย เนื่องจากแรงกระทำจากจุดตัดตั้งฉากบริเวณจุดเปลี่ยนมุม ดังนั้น การออกแบบเพื่อหาขนาดของ Wale จะคำนวณโดยให้ Wale มีความยาวต่อเนื่องรับแรงทั้ง Lateral force และ Axial force ดังแสดงในรูปที่ 2.43 ขนาดของ Wale จะเปลี่ยนแปลงขึ้นกับระยะของ Bracing หรือระยะห่างของ Strut ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะพยายามจำกัดให้ระยะห่างของ Strut ต่ำลงโดยใช้ค้ำยันจาก Strut เป็นรูปตัว Y ดังแสดงในรูปที่ 2.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.43 รูปแบบการวิเคราะห์หาค่าขนาด Wale เพื่อรับ Horizontal force จากแรงดันดิน และ Axial force จากแรงกระทำต่อเนื่องบริเวณจุดเปลี่ยนมุม (คณะกรรมการวิชาการ สาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2534)

### 2.8.3 การออกแบบ Strut

การออกแบบ Strut จะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของ Strut ระดับบนสุดและส่วน Strut ระดับล่าง ๆ ในส่วนของ Strut ระดับล่าง ๆ ยกเว้นที่ระดับบนสุดจะออกแบบให้รับแรงจากแรงดันดินในแนว Axial force เท่านั้น แต่ในส่วนของ Strut ระดับบนสุด นอกจากจะออกแบบให้รับ Axial force แล้ว ยังต้องรับน้ำหนักจาก Platform ที่จัดทำให้เครื่องจักรเข้ามาทำการขุดดิน และขนส่งดิน ออกนอกโครงการ การประมาณแรงกระทำใน Strut สามารถประมาณได้จาก Diagram ที่เสนอโดย Terzaghi และ Peck โดยแบ่งแรงดันดินออกแบบช่วง ๆ บริเวณ ณ จุดกึ่งกลางของระดับ Strut

Strut ต้องออกแบบให้มีจุดยึดเพื่อป้องกันการเกิดการโก่งซึ่งจุดที่จะยึดคือจุดที่ติดตั้ง KingPost โดยกำหนดในรูปของ  $l/r$  เพื่อหาตำแหน่งที่จะติดตั้ง KingPost ทั้งในแนวตั้งฉาก และในแนวเดียวกับแนวของ Strut ระยะของ KingPost หรือจุดยึดต้องห่างเพียงพอให้เครื่องจักรสามารถทำงานขุดได้ เช่น ประมาณ 5-6 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.8.4 การออกแบบ KingPost

การออกแบบ KingPost จะกำหนดระยะห่างจากการคำนวณแรงใน Strut การวาง KingPost อาจจะแยกได้เป็น 2 ระบบ คือ KingPost สำหรับน้ำหนักจาก Platform และ KingPost สำหรับยึด Strut ในกรณีที่ฐานรากเป็นฐานรากแบบ Isolate การใช้ KingPost ของ Platform แยกจาก KingPost ของ Strut จะสะดวกกว่า เพราะนอกจาก Strut ของ Platform จะสามารถถอนขึ้นมาใช้ใหม่ได้เมื่อเสร็จโครงการแล้ว ยังไม่ต้องคำนึงถึงการทรุดตัวที่แตกต่างกันของ KingPost และ Platform ว่าจะมีผลต่อ Strut หรือไม่ เนื่องจากแยกส่วนแล้ว

ในกรณีที่ฐานรากของอาคารเป็น Mat foundation การใช้ KingPost สำหรับ Platform แยกเป็น KingPost ยึด Strut จะสิ้นเปลืองมาก เนื่องจาก KingPost ของ Platform ต้องค้ำตั้งเพราะจมอยู่ใน Mat foundation ไม่สามารถถอนขึ้นได้ ทำให้สิ้นเปลืองมากขึ้น จึงทำให้นิยมออกแบบ KingPost สำหรับ Platform ให้เป็นตัวเดียวกับ KingPost ที่ใช้ยึด Strut แต่ปัญหาเกี่ยวกับการทรุดตัวของ KingPost ในส่วนของ Platform อาจจะทำให้เกิดการลุด Strut ลงทำให้เกิด Moment ขึ้นใน Strut ดังนั้นในกรณีต้องคำนวณปริมาณการทรุดตัวเพื่อตรวจสอบ Differential Settlement

การออกแบบ KingPost จะออกแบบให้รับแรงเฉพาะในแนวแกนคือ น้ำหนักจาก Surcharge ของ Platform เท่านั้น หลักการคำนวณใช้หลักการเช่นเดียวกับการออกแบบแรงเสียดทานผิวของเสาเข็ม โดยไม่คำนึงถึงแรงด้านปลายเสาเข็ม ซึ่งค่าน้อยมาก ระยะของแรงเสียดทานของ KingPost จะคำนึงเฉพาะในส่วนที่ลึกต่ำกว่าระดับขุดเท่านั้น การคำนวณสามารถคำนวณได้จาก

$$Q_f = p(\sum \alpha S_u \Delta L) \quad (2.163)$$

โดยที่

$Q_f$	=	Ultimate Skin friction
$p$	=	เส้นรอบรูปของหน้าตัดของ KingPost
$\alpha$	=	adhesive factor
$S_u$	=	Shear strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่  $\Delta L$  ไว้สำหรับการใช้ความยาวของ KingPost ในแต่ละชั้นดินให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวของ KingPost จะคำนวณโดยให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกจาก Platform โดยใช้ Safety factor ประมาณ 1.2-1.5 จากค่า Ultimate skin friction ที่คำนวณได้ข้างต้น

การออกแบบระบบ Bracing ทั้ง Strut, Wale และ KingPost ดังกล่าวแล้ว ข้างต้นในแง่ปฏิบัติจะมีการเปลี่ยนแปลงบ้าง เพื่อให้สามารถทำการก่อสร้างได้ เช่น การจัดวาง Strut ต้องหลีกเลี่ยงตำแหน่งของเสาของโครงสร้าง ตำแหน่งของ KingPost ต้องไม่ตรงกับตำแหน่งเสาเข็มจึงอาจทำให้ระยะห่างของ Strut เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยไปจากที่ได้ออกแบบไว้

### 2.8.5 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของ Sheet Pile และของดินรอบโครงการ

ปัญหาเกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของดินรอบโครงการ และการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile เป็นที่ทราบกันดีว่าจะเกิดขึ้นสูงมาก การป้องกันที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ การใช้ระบบ Preload หรือ Prestress ใน Strut ก่อนดำเนินการขุดดิน นอกจากระบบ Preload ใน Strut แล้ว ขั้นตอนการทำงานหรือการขุดจะสามารถควบคุมการเคลื่อนตัวได้ วิธีการคือ การขุดดินเฉพาะในส่วนบริเวณกลางโครงการ ก่อน จากนั้นจัดวาง Strut กับ KingPost ในส่วนของการต่อ Strut ให้ต่อเนื่องนั้นจะทำการขุดเป็น Trench เพื่อต่อ Strut ให้ค้ำยันตลอด จากนั้นทำการ Preload แล้วจึงจะขุดดินในส่วนที่อยู่ระหว่าง Strut แรง Preload ที่จะใช้ใน Strut นั้น สามารถคำนวณได้จากที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 2.8.3 อย่างไรก็ตามแรง Preload นี้จะไม่กระทำเท่ากับแรงที่ออกแบบไว้ เนื่องจากจะทำให้เกิดแรงต้านหรือแรงดันดินด้านข้างสูงกว่าค่า Active หรืออาจสูงกวากรณี At Rest Hurrell & Attewell (1984) ได้แนะนำว่า ค่า Preload ที่กระทำควรอยู่ระหว่าง 40-70% (หรือประมาณ 50%) ของ Design Load เพื่อกระทำให้โครงสร้างแข็งแรงเพียงพอที่จะป้องกันการเคลื่อนตัว ตัวอย่างรูปแบบการเคลื่อนตัวของกำแพงและ load response อันเนื่องจากการกระทำ Preloading แสดงในรูปที่ 2.44 ซึ่งเสนอโดย O'Rourke (1981)

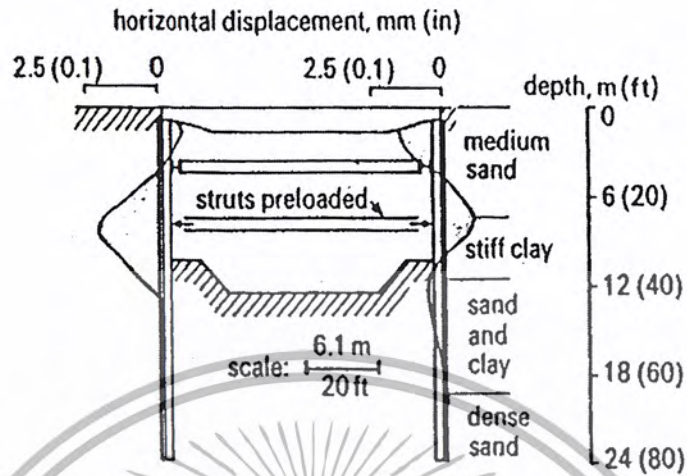
ค่า effective stiffness,  $K_{es}$  ของ Strut ที่กระทำ Preload สามารถประมาณได้จาก

$$K_{es} = Ps/\Delta s \quad (2.164)$$

โดยที่

$$P_s = \text{แรง Preload เฉลี่ยใน Strut}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปริมาณการเคลื่อนตัวของ Strut โดยเฉลี่ย ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

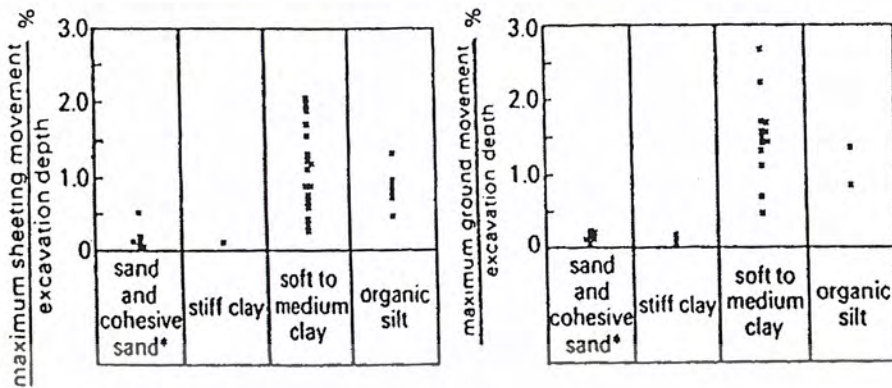


รูปที่ 2.44 การเคลื่อนตัวของกำแพงเมื่อกระทำการ Preload ใน Strut (After O'Rourke, 1981)  
(คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2534)

## 2.8.6 การประมาณการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile และการเคลื่อนตัวของดิน

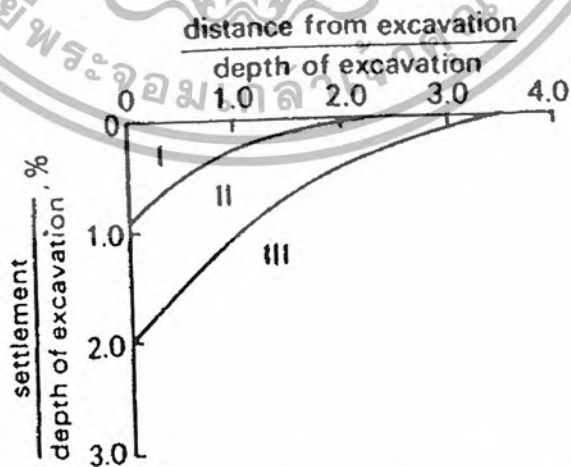
การเคลื่อนตัวของ Sheet Pile และการเคลื่อนตัวของดินสามารถประมาณได้ 2 วิธี คือ วิธี Empirical และวิธี Numerical ในส่วนของวิธี Empirical จะประมาณจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการวัดในสนามหลาย ๆ โครงการ รูปที่ 2.45 แสดงปริมาณการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile และปริมาณการเคลื่อนตัวของดินเทียบกับความลึกของการขุด ซึ่งรวบรวมเสนอโดย Peck (1969) และ D'Polonia, 1971 อย่างไรก็ตามปริมาณการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile จะขึ้นกับปัจจัยหลายประเภท เช่น ระยะห่าง (spacing) ของ Strut ความลึกของการขุดต่ำกว่าระดับ bracing ก่อนที่จะติดตั้ง brace ตัวใหม่ ระยะเวลาที่ใช้ในการขุดและการติดตั้ง Strut รายละเอียดของการ preloading ใน Strut และรายละเอียดขั้นตอนการขุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



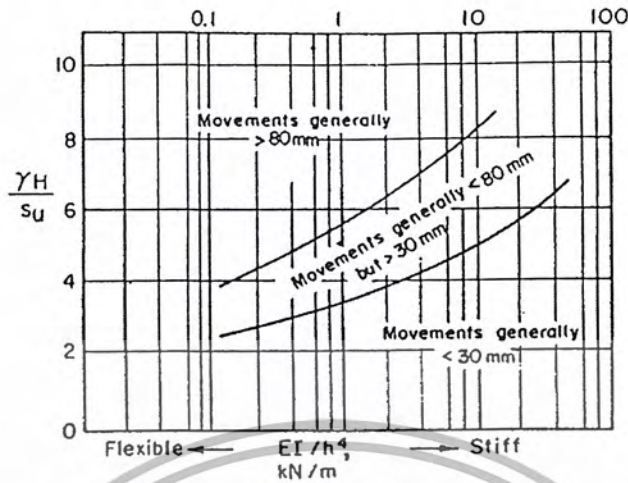
รูปที่ 2.45 ปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงและดินจากงานขุด (ข้อมูลจาก Peck (1969) และ D'Appoloma (1971)(คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2534)

Peck (1969) ได้เสนอวิธีการประมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงและดินโดยรอบสำหรับงาน open cut ในดินเหนียว ดังแสดงในรูปที่ 2.46 การเคลื่อนตัวที่มากที่สุดของ Sheet Pile และปริมาณการทรุดตัวบริเวณผิวดินทั่ว ๆ ไป จะมีค่าประมาณ 1% ถึง 2% ของความลึกการขุด นอกจากนี้แล้ว Goldberg et al (1976) ได้เสนอวิธีการประมาณการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile โดยคำนึงถึง Stiffness ของกำแพง และ Stiffness ของระบบค้ำยัน ดังแสดงในรูปที่ 2.47 EI คือ Stiffness ของกำแพง ในขณะที่ h คือ ระยะระหว่างจุด Support ผลของการเกิดการเคลื่อนตัวเสนอในรูปของ Stability Number ซึ่งเท่ากับ  $\gamma H/S_u$



รูปที่ 2.46 ปริมาณการเคลื่อนตัวและ Settlement สำหรับงาน Open Cut ในดินเหนียว (After Peck, 1969)(คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2534)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



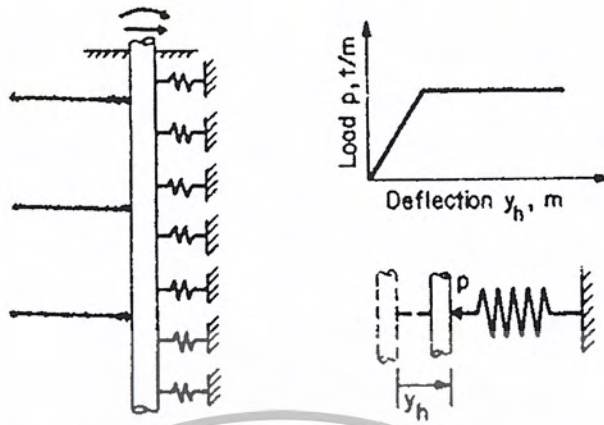
รูปที่ 2.47 ปริมาณการเคลื่อนตัวด้านข้างของกำแพงและผลเนื่องจาก Stiffness ของกำแพง และ Supporting spacing (Goldberg, et al 1976) (คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2534)

การประมาณการเคลื่อนตัวโดยวิธี Numerical จะสามารถประมาณได้โดยใช้ concept ของ Beam-on-an-Elastic Foundation วิธีการวิเคราะห์ห้แบ่งส่วนของ Sheet Pile ออกเป็น Spring Segments ดังแสดงในรูปที่ 2.48 โดยในแต่ละ Spring Segments จะเกิด lateral deflection,  $y$ , และ Soil resistance,  $p$ . การวิเคราะห์นี้อาจจะใช้ four order differential equation โดยกำหนดให้ Soil reaction แทนด้วย line load ดังนี้

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + P_x \frac{d^2 y}{dx^2} + P = 0 \quad (2.165)$$

- $P_x$  = axial load on sheet Pile โดยทั่ว ๆ ไปจะเท่ากับศูนย์
- $y$  = lateral deflection ของ Sheet Pile ที่จุด  $x$
- $p$  = soil reaction
- =  $-k_h x$  ( $k_h$  = Horizontal modulus of subgrade reaction)
- $EI$  = flexural rigidity of pile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.48 Design principle สำหรับการออกแบบรับ Lateral force โดยมี Boundary conditions คือ horizontal force, bending moment, angle of rotation และ degree of restraining (คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2534)

ในกรณีที่มีการ Preload และทำการยึด Strut ไม่ให้เกิดการ movement อาจจะช่วยลดการเคลื่อนตัวของ Sheet Pile ได้ โดยจากประสบการณ์ผู้เขียนพบว่า การวิเคราะห์โดยกำหนดให้จุด Strut เป็น pin ไม่มีการเกิด deflection จะสามารถควบคุมปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพง Sheet Pile ให้อยู่ในอัตราส่วนประมาณ 15-25% ของที่ประมาณได้จากวิธี empirical ที่เสนอในรูปที่ 2.47 ดังนั้นการกำหนดขั้นตอนการ preload และขนาดของ preload ตลอดจน workmanship จะมีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณการเคลื่อนตัวมาก

## บทที่ 3

# วิธีที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม

### 3.1. บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณที่ใช้ในโปรแกรม โดยจะแสดงถึงสูตรและขั้นตอนต่างๆที่ใช้ รวมไปถึงสมการที่ได้มาจากแปลงกราฟต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้งานต่อการใช้งาน

### 3.2. สูตรและผังการทำงานของโปรแกรม Cantilever Sheet pile designed

ในการใช้งาน โปรแกรม Cantilever Sheet pile designed จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับดินที่ต้องพิจารณาดังนี้

1. หน่วยน้ำหนักของดิน
2. กำลังยึดเหนี่ยวภายในของดิน ในดินเหนียว
3. ค่ามุมยึดเหนี่ยวภายในของดิน ในดินทราย

ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ต้องเตรียมมาจากกรทดลองต่างๆหรือข้อมูลเดิมที่มีอยู่แล้ว ข้อมูลเหล่านี้จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าอื่นๆที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ของโปรแกรม ดังนี้

#### 3.2.1. การหาค่าสัมประสิทธิ์ของ Active Pressure

จากสมการของ Rankine

$$K_a = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \quad (3.1)$$

$$= \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$\begin{aligned} K_a &= \text{สัมประสิทธิ์ของ แรงดันกริยา} \\ \phi &= \text{มุมเสียดทานภายใน} \end{aligned}$$

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของ แรงดันกริยา ( $K_a$ ) นั้น ทำได้โดยการแทนค่าตัวแปร  $\phi$  ใน cell ที่กำหนด ค่า  $K_a$  จะถูกคำนวณโดยโปรแกรม และถูกแสดงผลในช่อง cell ที่ระบุ

### 3.2.2. การหาค่า สัมประสิทธิ์ของ Passive Pressure

จากสมการของ Rankine

$$K_p = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} \quad (3.3.)$$

$$= \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.4.)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} K_p &= \text{สัมประสิทธิ์ของแรงดันปฏิกิริยา} \\ \phi &= \text{มุมเสียดทานภายใน} \end{aligned}$$

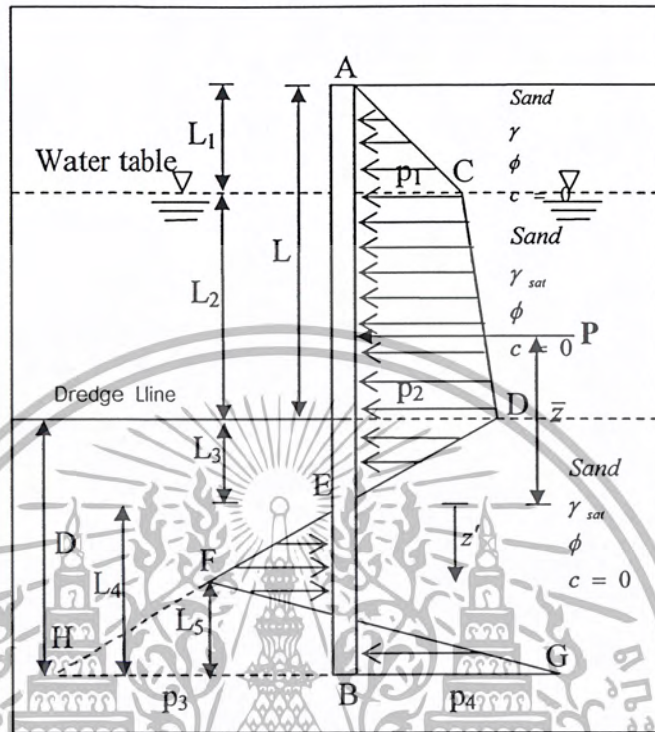
ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของ แรงดันปฏิกิริยา ( $K_p$ ) นั้น ทำได้โดยการแทนค่าตัวแปร  $\phi$  ใน cell ที่กำหนด ค่า  $K_p$  จะถูกคำนวณ โดยโปรแกรม และถูกแสดงผลในช่อง cell ที่ระบุ

### 3.2.3. การหาค่าความดันดิน (p) และแรงดันทางด้านข้าง (P)

การหาค่าความดันดิน(ใช้สัญลักษณ์  $\sigma$  หรือ  $p$  แต่ในที่นี้จะแทนด้วย  $p$  เนื่องจากเป็นสัญลักษณ์เดียวกันกับที่ใช้ในตัว โปรแกรม) และแรงดันทางด้านข้าง ( $P$ ) ในแต่ละกรณีที่พิจารณาจะมีความแตกต่างกัน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3.1. กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils



รูปที่ 3.1. กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils

1. ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่งระดับน้ำ ( $p_1$ )

$$p_1 = \gamma L_1 K_a \quad (3.5.)$$

โดยที่

- $K_a$  = สัมประสิทธิ์ Active pressure ของ Rankine
- $\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดินเหนือระดับน้ำใต้ดิน
- $L_1$  = ระยะความลึกตั้งแต่ระดับผิวดิน ถึงตำแหน่งระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่ง Dredge Line

$$p_2 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_a \quad (3.6)$$

โดยที่

$\gamma'$  = หน่วยน้ำหนักของดินประสิทธิผล  
 $\gamma'$  =  $\gamma_{sat} - \gamma_w$   
 $\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดินเหนือระดับน้ำใต้ดิน  
 $\gamma_w$  = หน่วยน้ำหนักของน้ำ  
 $\gamma_w$  = 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
 $\gamma_w$  = 62.44 lb/ft<sup>3</sup>  
 $L_2$  = ระยะความลึกตั้งแต่ ระดับผิวดิน ถึงตำแหน่งระดับน้ำ  
 $L_2$  = ระยะความลึกตั้งแต่ระดับน้ำ ถึง Dredge Line  
 $K_a$  = สัมประสิทธิ์ แรงดันกริยาของ Rankine

3. ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่งปลาย Sheet Pile

$$p_4 = p_p - p_a \quad (3.7)$$

$$= (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_p + \gamma' D (K_p - K_a) \quad (3.8)$$

$$= (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_p + \gamma L_3 (K_p - K_a) + \gamma L_4 (K_p - K_a) \quad (3.9)$$

$$= p_5 + \gamma L_4 (K_p - K_a) \quad (3.10)$$

โดยที่

$$p_4 = \text{ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่งปลาย Sheet Pile}$$

$$p_5 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_p + \gamma L_3 (K_p - K_a) \quad (3.11)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับราชการใช้เฉพาะที่หน่วยงานนี้ เมื่อผู้นับถือเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

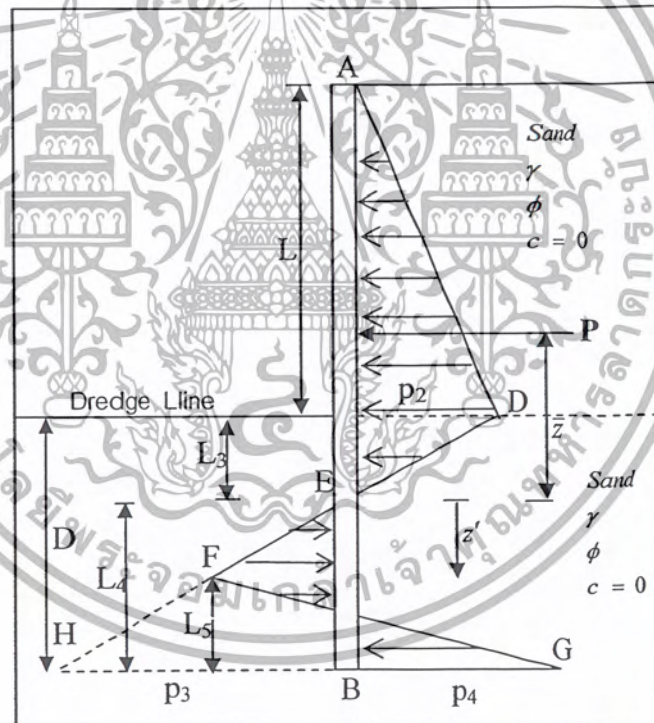
$L_3$  = ความลึกตั้งแต่ Dredge Line ถึงตำแหน่งที่ความดันดินมีค่า = 0 (จุด E)

$L_4$  = ความลึกตั้งแต่จุด E ถึงปลาย Sheet Pile

4. แรงดันทางด้านข้างของระยะความลึกตั้งแต่ระดับผิวดิน ถึงตำแหน่งที่ความดันดินมีค่า=0(จุดE)

$$\begin{aligned}
 P &= \text{พื้นที่ของรูป ACDE} \\
 &= \frac{1}{2} p_1 L_1 + p_1 L_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) L_2 + \frac{1}{2} p_2 L_3 \quad (3.12.)
 \end{aligned}$$

### 3.2.3.2. กรณี Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table



รูปที่ 3.2. กรณี Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table

1. ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่ง Dredge Line

$$p_2 = \gamma L K_a \quad (3.13.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

- $p_2$  = ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่ง Dredge Line  
 $\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดิน  
 $L$  = ระยะความลึกตั้งแต่ ระดับผิวดิน ถึงตำแหน่ง Dredge Line

2. ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่งปลาย Sheet Pile

$$p_4 = p_5 + \gamma L_4 (K_p - K_a) \quad (3.14)$$

$$p_5 = \gamma L K_p + \gamma L_3 (K_p - K_a) \quad (3.15)$$

$$L_3 = \frac{p_2}{\gamma (K_p - K_a)} \quad (3.16)$$

$$L_4 = \frac{L K_a}{(K_p - K_a)} \quad (3.17)$$

โดยที่

- $p_4$  = ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่งปลาย Sheet Pile  
 $p_5$  = ผลรวมของพจน์ข้างต้น เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ  
 $L_3$  = ความลึกตั้งแต่ Dredge Line ถึงตำแหน่งที่ความดันดินมีค่า = 0 (จุด E)  
 $L_4$  = ความลึกตั้งแต่จุด E ถึงปลาย Sheet Pile

3. แรงดันทางด้านข้าง ของระยะความลึกตั้งแต่ระดับผิวดิน ถึงตำแหน่งที่ความดันดินมีค่า=0(จุดE)

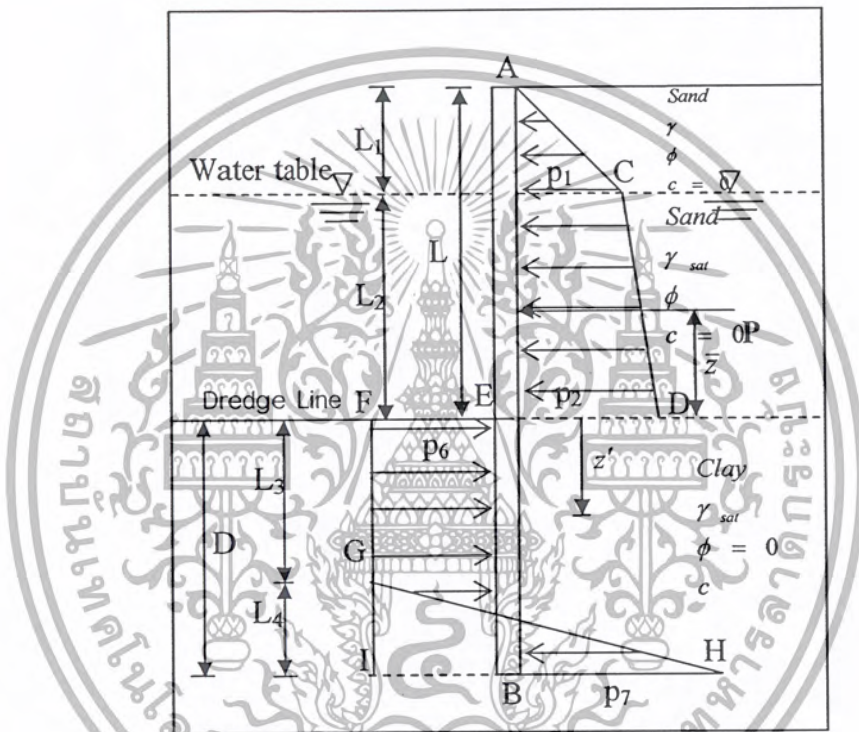
$$\begin{aligned}
 P &= \text{พื้นที่ของรูป ADE} \\
 &= \frac{1}{2} p_2 L + \frac{1}{2} p_2 L_3 \quad (3.18)
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$P$  = แรงดันทางด้านข้าง ของระยะความลึกตั้งระดับผิวดิน  
ถึงตำแหน่งที่ความดันดินมีค่า=0(จุดE)

### 3.2.3.3. กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating clay



รูปที่ 3.3. กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating clay

1. ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่งระดับน้ำ

$$p_1 = \gamma L_1 K_a \quad (3.19.)$$

โดยที่

$p_1$  = ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่งระดับน้ำ  
 $\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดินเหนือระดับน้ำใต้ดิน

$L_1$  = ระยะความลึกตั้งระดับผิวดิน ถึงตำแหน่งระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่ง Dredge Line

$$p_2 = (\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_a \quad (3.20.)$$

โดยที่

- $p_2$  = ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่ง Dredge Line
- $\gamma'$  = หน่วยน้ำหนักของดินประสิทธิผล
- $\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดินเหนือระดับน้ำใต้ดิน
- $\gamma_w$  = หน่วยน้ำหนักของน้ำ
- = 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- = 62.44 lb/ft<sup>3</sup>
- $L_1$  = ระยะความลึกตั้งแต่ ระดับผิวดิน ถึงตำแหน่งระดับน้ำ
- $L_2$  = ระยะความลึกตั้งแต่ระดับน้ำ ถึง Dredge Line

3. แรงดันทางด้านข้างของระยะความลึกตั้งแต่ระดับผิวดิน ถึงตำแหน่ง Dredge Line

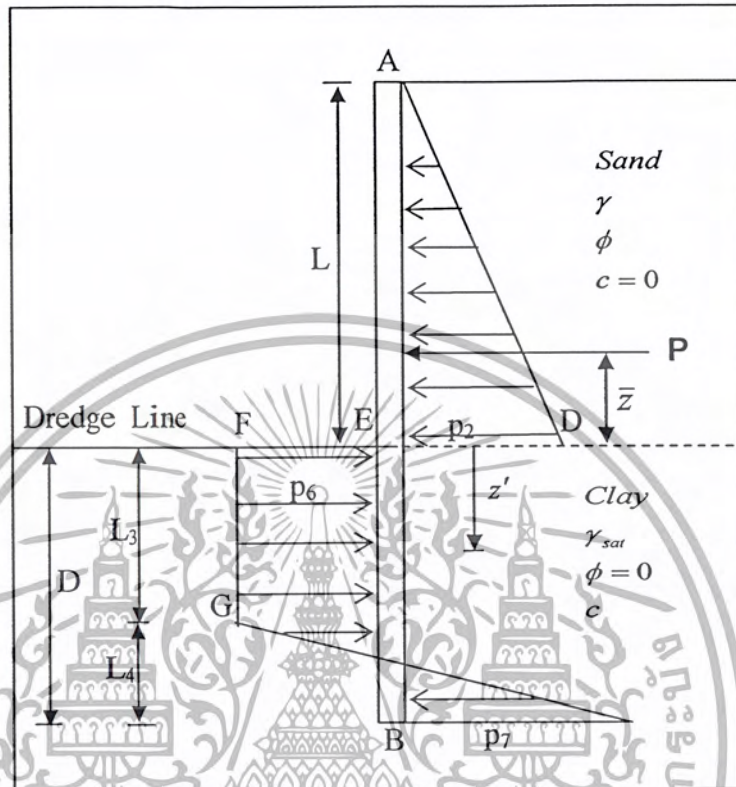
$$P_1 - [4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)] D + \frac{1}{2} L_1 [4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2) + 4c + (\gamma L_1 + \gamma' L_2)] = 0 \quad (3.21.)$$

โดยที่

$$P_1 = \text{พื้นที่ของผังแรงดัน ACDE}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3.4. กรณี Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table



รูปที่ 3.4. กรณี Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table

1. ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่ง Dredge Line

$$p_2 = \gamma L K_a \quad (3.22.)$$

โดยที่

- $p_2$  = ค่าความดันดิน ณ ตำแหน่ง Dredge Line
- $\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดิน
- $L$  = ระยะความลึกตั้งแต่ ระดับผิวดิน ถึงตำแหน่ง Dredge Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แรงดันทางด้านข้างของระยะความลึกตั้งแต่ระดับผิวดิน ถึงตำแหน่ง Dredge Line

$$P_1 = \frac{1}{2} L p_2 \quad (3.23.)$$

$$= \frac{1}{2} \gamma L^2 K_a \quad (3.24.)$$

โดยที่

$$P_1 = \text{พื้นที่ของผังแรงดัน ACDE}$$

### 3.2.4. การคำนวณหาภาระระยะความลึกฝังที่ต้องการของ Sheet pile

การคำนวณหาภาระระยะความลึกฝังที่ต้องการของ Sheet pile จำเป็นต้องอาศัยการแก้สมการกำลังสี่ ซึ่งเป็นการยากที่จะทำให้เป็นผลสำเร็จ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีการ Trial & Error มาช่วยในการคำนวณและในแต่ละกรณีจะมีพจน์ที่เกี่ยวข้องต่างกันออกไป ดังต่อไปนี้

#### 3.2.4.1. กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils

จากสมการ

$$D = L_3 + L_4 \quad (3.25.)$$

โดยที่

$$D = \text{ระยะความลึกฝังที่ต้องการ}$$

$$L_3 = \text{ระยะจาก Dredge Line ถึงจุดที่ความดันเป็นศูนย์ (จุด E)}$$

$$L_4 = \text{ระยะจากจุด E ถึงปลาย Sheet pile หาจากการ Trial & Error}$$

สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 $L_4 + A_1 L_4^2 - A_2 L_4^3 - A_3 L_4^4 = A_4$  (3.26.)  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$A_1 = \frac{P_5}{\gamma'(K_p - K_a)} \quad (3.27.)$$

$$A_2 = \frac{P_5}{\gamma'(K_p - K_a)} \quad (3.28.)$$

$$A_3 = \frac{6P[2z\gamma'(K_p - K_a) + p_5]}{\gamma'^2(K_p - K_a)^2} \quad (3.29.)$$

$$A_4 = \frac{P(6z\gamma' + 4P)}{\gamma'^2(K_p - K_a)^2} \quad (3.30.)$$

โดยที่

$z$  = ความลึกจากจุดเซนทรอยด์ ที่แรง P กระทำ ถึงจุด E

### 3.2.4.2. กรณี Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table

จากสมการ

$$D = L_3 + L_4$$

โดยที่

$D$  = ระยะความลึกฝังที่ต้องการ

$L_3$  = ระยะจาก Dredge Line ถึงจุดที่ความดันเป็นศูนย์ (จุด E)

$L_4$  = ระยะจากจุด E ถึงปลาย Sheet pile หาจากการ Trial & Error

สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$A'_1 = \frac{P_s}{\gamma(K_p - K_a)} \quad (3.32.)$$

$$A'_2 = \frac{8p}{\gamma(K_p - K_a)} \quad (3.33.)$$

$$A'_3 = \frac{6P[2\bar{z}\gamma(K_p - K_a) + p_s]}{\gamma^2(K_p - K_a)^2} \quad (3.34.)$$

$$A'_4 = \frac{P(6\bar{z}p_s + 4P)}{\gamma^2(K_p - K_a)^2} \quad (3.35.)$$

โดยที่

$$\bar{z} = L_3 + \frac{L}{3} \quad (3.36.)$$

$$= \frac{LK_a}{K_p - K_a} + \frac{L}{3} \quad (3.37.)$$

$$= \frac{L(2K_a + K_p)}{3(K_p - K_a)} \quad (3.38.)$$

โดยที่

$L$  = ระยะความลึกตั้งแต่ ระดับผิวดิน ถึงตำแหน่ง  
Dredge Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4.3. กรณี Cantilever Sheet Pile Penetrating clay

ทำการหาระยะความลึกฝังที่ต้องการ ( $D$ ) โดยอาศัยการ Trial & Error สมการ

$$A_1 D^2 - A_2 D - A_3 = 0 \quad (3.39.)$$

โดยที่

$$A_1 = 4c - (\gamma L_1 + \gamma L_2) \quad (3.40.)$$

$$A_2 = 2P_1 \quad (3.41.)$$

$$A_3 = \frac{P_1(P_1 + 12c\bar{z}_1)}{(\gamma L_1 + \gamma L_2) + 2c} \quad (3.42.)$$

โดยที่

$$P_1 = \frac{1}{2} p_1 L_1 + p_1 L_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) L_2 \quad (3.43.)$$

$$p_6 = p_p - p_a \quad (3.44.)$$

$$= \frac{[\gamma_{sat}(z - L_1 - L_2) + 2C] - [\gamma L_1 + \gamma L_2 + \gamma_{sat}(z - L_1 - L_2) + 2c]}{2} \quad (3.45.)$$

$$= 4c - (\gamma L_1 + \gamma L_2) \quad (3.46.)$$

$$z' = \frac{P_1}{p_6} \quad (3.47.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4.4. กรณี Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table

ทำการหาระยะความลึกฝังที่ต้องการ (D) โดยอาศัยการ Trial & Error สมการ

$$A_1 D^2 - A_2 D - A_3 = 0 \quad (3.48.)$$

โดยที่

$$A_1 = 4c - \gamma L \quad (3.49.)$$

$$A_2 = 2P_1 \quad (3.50.)$$

$$A_3 = \frac{P_1 (P_1 + 12c\bar{z}_1)}{\gamma L + 2c}$$

โดยที่

$$L = \text{ระยะความลึกจากผิวดินถึง Dredge Line}$$

$$\bar{z}_1 = \frac{L}{3}$$

$$P_1 = \frac{1}{2} L p_2 \quad (3.51.)$$

$$= \frac{1}{2} \gamma L^2 K_a \quad (3.52.)$$

### 3.3. สูตรและผังการทำงานของโปรแกรม Retaining Walls designed

ในการใช้งานโปรแกรม Retaining Walls designed จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลชั้นดิน เช่นเดียวกันกับโปรแกรม Cantilever Sheet Pile designed แต่ข้อมูลที่ต้องการจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ข้อมูลดินด้านหลังกำแพงกันดิน

2. ข้อมูลดินด้านหน้าและใต้ฐานกำแพงกันดิน

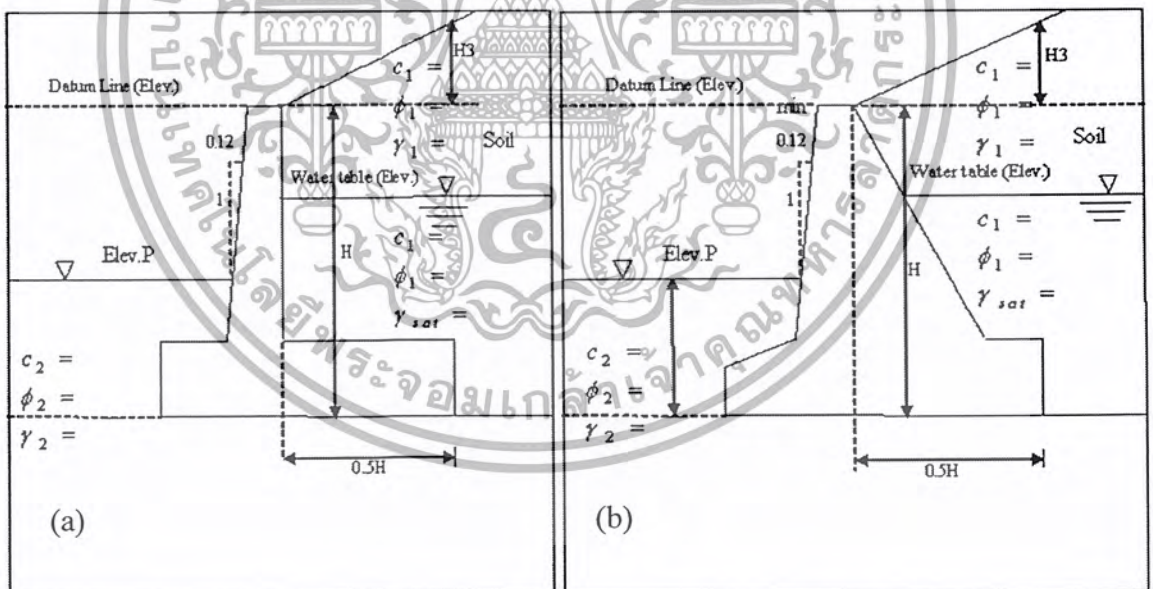
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งข้อมูลต่างๆ จะนำมาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลต่อความปลอดภัยของตัวกำแพงกันดิน ดังนี้

1. องค์ประกอบโครงสร้างของกำแพง จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการต้านทานแรงเฉือน และ โมเมนต์คดที่เกิดจากดินหรือน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ
2. โครงสร้างกำแพงจะต้องปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ (Overturning)
3. โครงสร้างกำแพงจะต้องปลอดภัยต่อการเคลื่อนไถล (Sliding)
4. วัสดุที่เป็นฐานรากรองรับกำแพง จะต้องมีความแข็งแรงที่จะไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนพิบัติ (Bearing Failure) ภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำ

เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ตัวโปรแกรมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

### 3.3.1. ส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณวิเคราะห์ชั้นดิน



รูปที่ 3.5. (a) และ (b) แสดงส่วนประกอบของข้อมูลในการวิเคราะห์ชั้นดินกำแพงกันดินประเภท Cantilever และ Gravity ตามลำดับ

จุดประสงค์ของโปรแกรมส่วนนี้ คือวิเคราะห์ข้อมูลชั้นดิน เพื่อหาค่าต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.1. แรงดันดินกิริยา

จำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์ แฟลคเตอร์ที่เกี่ยวข้องในแต่ละส่วน ดังนี้

#### 1. สัมประสิทธิ์ของ Active Pressure

อาศัยทฤษฎีของ Rankine เช่นเดียวกับ โปรแกรม Cantilever Sheet pile designed แต่จะมีความแตกต่างกันเนื่องจากอาจมีการถมดินด้านหลังกำแพงกันดินเอียงเป็นมุมลาด (ในกรณีดินทราย)

จากสมการของ Rankine

$$K_a = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \quad (3.53.)$$

โดยที่

$\phi$  = มุมของความเสียดทานของดิน

$\alpha$  = มุมที่ระนาบของดินถมที่ทำกับระนาบราบ

ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของ Passive Pressure จะใช้สมการเดียวกับหัวข้อ Cantilever Sheet pile

#### 2. แรงดันเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก

$$p_q = K_a q \quad (3.54.)$$

$$P_q = p_q H \quad (3.55.)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่โครงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. แรงดันดินกิริยา

$$P_{a1} = K_a \gamma H' - 2cK_a^2 \quad (3.56.)$$

$$P_{a2} = p_{a1} + K_a \gamma H_2 - 2c\sqrt{K_a} \quad (3.57.)$$

โดยที่

$$P_a = \frac{1}{2} p_{a1} H_1 + \frac{1}{2} (p_{a1} + p_{a2}) H_2 \quad (3.58.)$$

$$P_{ah} = P_a \cos \alpha \quad (3.59.)$$

$$P_{av} = P_a \sin \alpha \quad (3.60.)$$

โดยที่

$$P_a = \text{แรงดันดินกิริยา}$$

$$P_{ah} = \text{แรงดันดินกิริยาในแนวราบ}$$

$$P_{av} = \text{แรงดันดินกิริยาในแนวตั้ง}$$

### 4. แรงดันเนื่องจากน้ำใต้ดิน

$$P_w = \gamma_w H_2 \quad (3.61.)$$

$$P_w = \frac{1}{2} \gamma_w H_2 \quad (3.62.)$$

โดยที่

$$P_w = \text{แรงดัน เนื่องจากน้ำใต้ดิน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แรงดันปฏิกิริยา

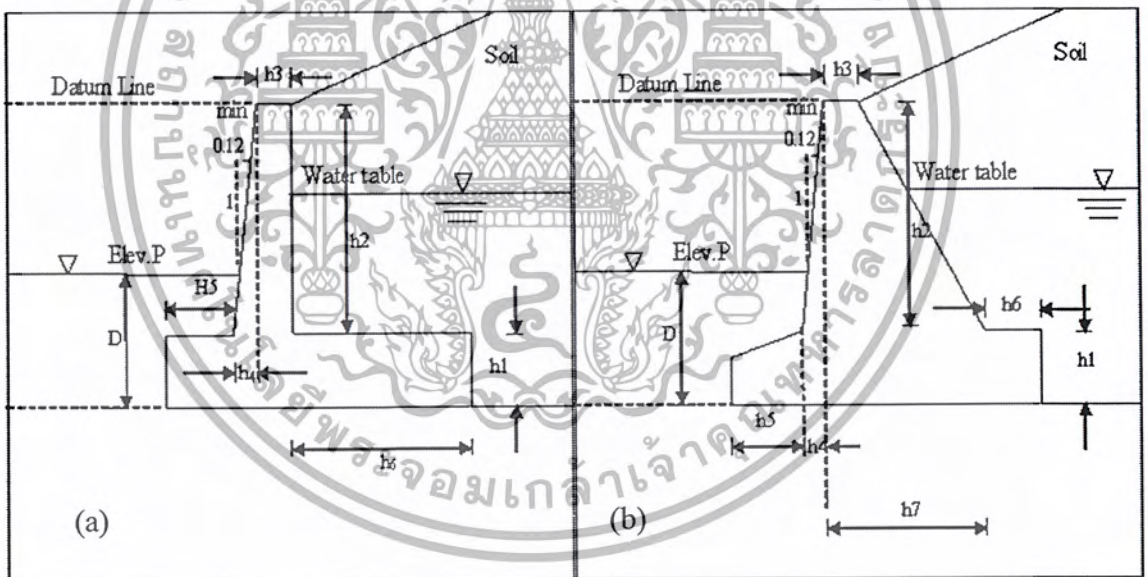
$$P_p = K_p \gamma H_p + 2c\sqrt{K_p} \quad (3.63.)$$

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H_p^2 + 2c\sqrt{K_p} H_p \quad (3.64.)$$

โดยที่

$$P_p = \text{แรงดันปฏิกิริยา}$$

3.3.2. ส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบกำแพงกันดิน



รูปที่ 3.6. (a) และ (b) แสดงระยะที่ใช้ในการออกแบบกำแพงกันดินประเภท Cantilever และ Gravity ตามลำดับ

แบ่งการทำงานออกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.1. การตรวจสอบขนาดของกำแพงกันดิน

ในส่วนนี้ จะเป็นส่วนที่ทำการเสนอเสนอแนะขนาดต่างๆ ในส่วนประกอบของกำแพงกันดิน โดยในขั้นตอนนี้ผู้ใช้สามารถเลือกออกแบบตามค่าที่โปรแกรมแนะนำ หรือออกแบบอย่างอิสระก็ได้

ระยะที่แนะนำต่างๆจะปรากฏเป็นตัวเลขตามหน่วยที่ผู้ใช้เลือก ซึ่งอ้างอิงจากรูปแบบดังรูปที่ 3.6

### 3.3.2.2. การตรวจสอบกำแพงกันดิน

ทำการตรวจสอบกำแพงกันดิน ในสามรูปแบบ ดังนี้

1. ตรวจสอบสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

ค่าความสามารถที่ต้านทานการพลิกคว่ำอาจจะแสดง โดยสมการดังนี้

$$FS_{(overturning)} = \frac{\sum M_R}{\sum M_O} \quad (3.65.)$$

โดยที่

$$\sum M_O = \text{ผลรวมของโมเมนต์ของแรงที่ทำให้เกิดการหมุนตัวรอบจุด C} \quad (3.66.)$$

$$\sum M_R = \text{ผลรวมของโมเมนต์ของแรงที่ต้านการหมุนตัวรอบจุด C} \quad (3.67.)$$

ค่าโมเมนต์การหมุนตัว คือ

$$\sum M_O = P_h \left( \frac{H'}{3} \right) \quad (3.68.)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$P_h = P_a \cos \alpha \quad (3.69.)$$

## 2. ตรวจสอบสัมประสิทธิ์ต่อการเลื่อนไถล

ค่าความสามารถที่ต้านทานการเลื่อนไถลอาจจะแสดงโดยสมการดังนี้

$$FS_{(sliding)} = \frac{\sum F_{R'}}{\sum F_d} \quad (3.70.)$$

ซึ่ง

$$\frac{\sum F_{R'}}{\sum F_d} = \frac{\text{ผลรวมของแรงต้านทานตามแนวนอน}}{\text{ผลรวมของแรงที่ผลักตามแนวนอน (แรงจากดินด้านหลังกำแพง)}}$$

สามารถเขียนอยู่ในรูปแสดงพจน์ต่างๆ ดังนี้

$$FS_{(sliding)} = \frac{(\sum V) \tan \delta + BC_a + P_p}{P_a \cos \alpha} \quad (3.71.)$$

โดยที่

## 3. ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงกด

โปรแกรมจะทำการตรวจสอบ ความสามารถในการรับแรงกด ของกำแพงกันดิน โดยอาศัยทฤษฎี ของ ทฤษฎีของ Meyerhof ทฤษฎีของ Hansen และ ทฤษฎีของ Terzaghi

โดยทำการคำนวณ ค่าแรงกดสูงสุด ที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบมาจากสมการต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_O}{\sum V} \leq \frac{B}{6} \quad (3.72.)$$

โดยที่

$e$  = ตำแหน่งที่แรงกระทำเยื้องออกจากแนวกลางของฐานราก  
 $B$  = ความกว้างของฐานราก  
 $\sum V$  = ผลรวมของแรงในแนวดิ่ง  
 $q_{toe} = \frac{\sum V}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$

(3.73.)

โดยที่

$q_{toe}$  = หน่วยแรงกดที่ฐานรากทำต่อดินที่ตำแหน่งปลายด้านหน้ากำแพง (toe)  
 $q_{heel} = \frac{\sum V}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right)$

(3.74.)

โดยที่

$q_{heel}$  คือ หน่วยแรงกดที่ฐานรากทำต่อดินที่ตำแหน่งปลายด้านหลังกำแพง (heel)  
 - ทฤษฎีของ Terzaghi

$$q_u = cN_c s_c + \bar{q}N_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma \quad (3.75.)$$

โดยที่

$N_c$  = Bearing Capacity Factor  
 $c$  = การยึดเหนี่ยวของอนุภาคดิน (cohesion)  
 $\bar{q}$  = หน่วยแรงกดที่กระทำต่อดินใต้ฐานรากด้านหน้ากำแพง  
 $\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดินใต้ฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนวิชาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$q_u$  = หน่วยแรงกดที่ดินสามารถต้านทานต่อที่มากกระทำได้  
 $N_c$  = Bearing Capacity Factor

- ทฤษฎีของ Meyerhof

$$q_u = cN_c d_c i_c + \bar{q}N_q d_q i_q + \frac{1}{2}\gamma B'N_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (3.76.)$$

โดยที่

$d_c$  = Depth Factor  
 $i_c$  = Inclination Factor

- ทฤษฎีของ Hansen

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \bar{q}N_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B'N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (3.77.)$$

โดยที่

$s_c$  = Shape Factor

### 3.4. สูตรและฟังก์ชันการทำงานของโปรแกรม Braced Cuts Designed

ในการออกแบบกำแพงกันดินประเภท Braced Cuts ต้องทำการออกแบบ ติดตั้ง ส่วนประกอบต่างๆ อันเป็นส่วนสำคัญในการรับแรง โดยในแต่ละชิ้นส่วน จะมีวัตถุประสงค์ในการ ติดตั้งแตกต่างกัน ซึ่งจะอาศัยการสูตรคำนวณต่างๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1. การออกแบบ Sheet Pile

ในขั้นแรก ทำการหาความยาวของ Sheet pile ที่สามารถต้านทานการหลุดตัวของดิน โดยอาศัยการตรวจสอบ จากสมการ

$$S = HS_u - H_1 S_u \quad (3.78.)$$

$$F.S. = \frac{[2SB_1 S_{u2} B_1 \pi B_1 + 2S_{u2} L_{s2}]}{[(\gamma H + q) B_1^2]} \quad (3.79.)$$

โดยที่

- $H$  = ระยะความลึกของดินขุด
- $H_1$  = Tension zone
- $H_1 = 2S_u / \gamma$
- $S_u$  =
- $\gamma$  = กำหนดน้ำหนักของดิน
- $B$  = ความกว้างของกำแพงกันดิน หรือ ความยาวของ Strut
- $D$  = ระยะความลึก ของมวลดินที่เกิดการหลุดตัว
- $B_1$  =  $D$
- $B_1 = 0.7B$

เมื่อทำการตรวจสอบความยาว จนได้ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยที่ยอมรับได้แล้ว ทำการหาค่า Section modulus ที่ต้องการในการรองรับ โมเมนต์ถัดต่อไป

### 3.4.2. การออกแบบ King Post

การคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่ยังบนชั้นดินแข็ง หรือชั้นทราย โดยสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน [  $\frac{Q_u}{F.S_0}$  ] เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.80.) การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$\begin{aligned} Q_u &= \text{น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของเสาเข็ม} \\ &= \text{แรงต้านทานสูงสุดที่ปลายเข็ม} \\ Q_b &= A_b \times q_b \end{aligned} \quad (3.81.)$$

$$\begin{aligned} Q_f &= \text{แรงเสียดทานสูงสุดที่ผิวเข็ม} \\ &= R \times q_f \end{aligned} \quad (3.82.)$$

$$\begin{aligned} A_b &= \text{พื้นที่หน้าตัดปลายเสาเข็ม} \\ q_b &= \text{หน่วยแรงต้านทานสูงสุดที่ปลายเสาเข็ม} \\ R &= \text{เส้นรอบรูปของเสาเข็ม} \\ q_f &= \text{หน่วยแรงเสียดทานสูงสุดที่ผิวของเสาเข็ม} \end{aligned}$$

1. หน่วยแรงต้านทานสูงสุดที่ปลายเสาเข็ม จากสมการของ Terzaghi

$$q_b = 1.3cN_c + \gamma DN_q + 0.4B\gamma N_\gamma \quad (3.83.)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} N_c, N_q, N_\gamma &= \text{Bearing Capacity Factor} \\ \gamma &= \text{ค่าหน่วยน้ำหนักของดิน} \\ D &= \text{ความลึกปลายล่างของเสาเข็ม} \\ B &= \text{ส่วนแคบของพื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม} \end{aligned}$$

2. หน่วยแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม

$$q_f = \alpha cD + K_s \gamma D^2 \tan(\beta\phi) \quad (3.84.)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้หน่วยแรงเสียดทานสูงสุดของผิวเข็ม แต่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $\phi$  = มุมเสียดทานภายในของดิน
- $\beta$  = สัมประสิทธิ์แรงยึดเหนี่ยวของผิวเข้มน และดินรอบข้าง
- $K_s$  = สัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างของดินรอบผิวเข้มน

สำหรับค่า  $\alpha$  และ  $K_s$  มีผู้เสนอค่าแนะนำ โดย Tomlinson ซึ่งขึ้นกับชนิดของวัสดุ ดังตารางที่ 3.1

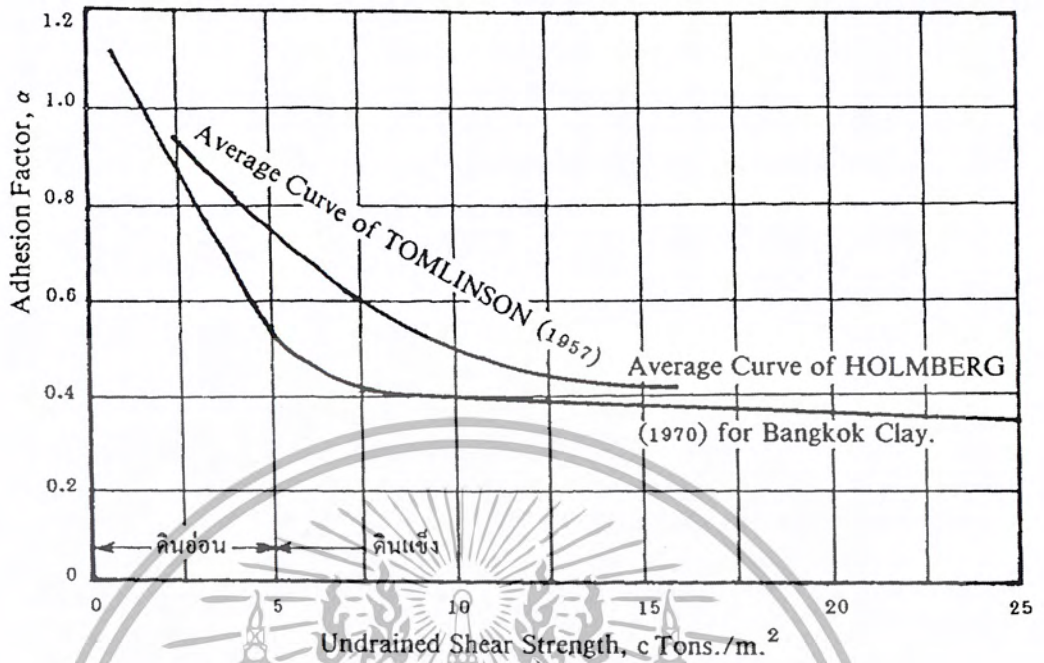
ตารางที่ 3.1. ค่าสัมประสิทธิ์ แรงดันดินข้างเข้มน  $K_s$  และ มุม  $\alpha$  (Tomlinson 1974)

ลักษณะเข้มน	มุมเสียดทาน	สัมประสิทธิ์ $K_s$	
	$\alpha$	$N < 20$	$N > 20$
เข้มนเหล็ก	20°	0.5	1.0
เข้มนคอนกรีต	0.75 $\phi$	1.0	2.0
เข้มนคอนกรีตหล่อในที่	1.00 $\phi$	1.0	2.0
เข้มนไม้	0.67 $\phi$	1.5	4.0

ที่มา : วรากร ไผ่เรียง, วิศวกรรมฐานราก

สำหรับค่า  $\beta$  Holmberg ได้เสนอค่าดัดแปลงจากค่าของ Tomlinson โดยค่าดังกล่าวเป็นค่าที่ให้ผลที่เหมาะสมกับสภาพของดินในกรุงเทพมหานคร แสดงรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Adhesion Factors for Clays.  $C_a = \alpha \cdot c$

รูปที่ 3.7. กราฟแสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงยึดเหนี่ยวของผิวแข็ง และดินรอบข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ส่วนประกอบและวิธีการใช้โปรแกรม

### 4.1. กล่าวนำ

ในบทนี้ ได้แสดงถึงรูปร่างหน้าตาของโปรแกรมต่างๆ ความสามารถของโปรแกรม และวิธีการใช้โปรแกรม เช่น ขั้นตอนการป้อนข้อมูล การแสดงผลบนหน้าจอ และเครื่องพิมพ์ เป็นต้น โดยได้แยกอธิบายเป็นแต่ละโปรแกรมดังนี้

### 4.2. ลักษณะและรูปร่างหน้าตาของโปรแกรม

โปรแกรมทั้ง 3 โปรแกรมคือ โปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบ Cantilever Sheet Pile, โปรแกรม Braced cuts designed และ โปรแกรม Retaining Walls designed จะมีลักษณะรูปแบบแตกต่างกัน เป็นลักษณะเฉพาะตัว

ซึ่งในแต่ละโปรแกรมก็จะมีหน้าจอหลัก หน้าต่างป้อนข้อมูล และการแสดงผลที่แตกต่างไปตามลักษณะงานที่ออกแบบ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดแยกเป็นแต่ละโปรแกรมในหัวข้อต่อไป

### 4.3. ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานโปรแกรม Cantilever Designed

โปรแกรม Cantilever Designed เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาความยาวของ Sheet pile ที่จำเป็นในการรับแรงกระทำ และโมเมนต์ที่เกิดจากแรงดันดินด้านข้าง โดยโปรแกรมมีความสามารถต่างๆดังนี้

1. โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของ Ranking, ความดันดิน ณ ตำแหน่ง พิจารณาต่างๆ และแรงดันดินที่มีผลกระทบต่อตัว Sheet pile ที่ใช้ในการ ออกแบบ
2. แสดงรายการคำนวณเป็นพจน์ผลรวมต่างๆ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบความถูกต้องได้โดยง่าย
3. คำนวณหาค่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดกับ Sheet pile คำนวณหาหน้าตัดที่เหมาะสมในการใช้งาน

4. สามารถใช้วิเคราะห์ได้ 2 หน่วยคือ SI และ English

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1. หน้าหลักของโปรแกรม Cantilever Designed

วิธีการใช้งาน โปรแกรม Cantilever Designed จะแบ่งกรณีใช้งานออกเป็น 4 กรณีดังนี้

1. Case1-Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils
2. Case2-Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table
3. Case3-Cantolever Sheet Pile Penetrating clay
4. Case4-Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table

โดยผู้ใช้ต้องทำการเลือกกรณีให้ตรงกับการใช้งานที่หน้าหลักโดยการคลิกที่แถบ

ตัวเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลิกเลือกหัวข้อใด หัวข้อ  
หนึ่ง ตามที่ต้องการจะ  
ออกแบบ

Case1-Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils

Case2-Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table

Case3-Cantolever Sheet Pile Penetrating clay

Case4-Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table

#### รูปที่ 4.2. การเลือกใช้กรณีในการใช้งาน โปรแกรมที่หน้าจอหลัก

เมื่อผู้ใช้เลือกกรณีที่จะใช้งานแล้ว โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าจอต่างๆ ดังนี้

##### 4.3.1. กรณีที่1 Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils

เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ “Case1-Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils” โปรแกรม  
จะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.4 โดยมีวิธีใช้งานดังนี้

คลิกที่ Case1

Case1-Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils

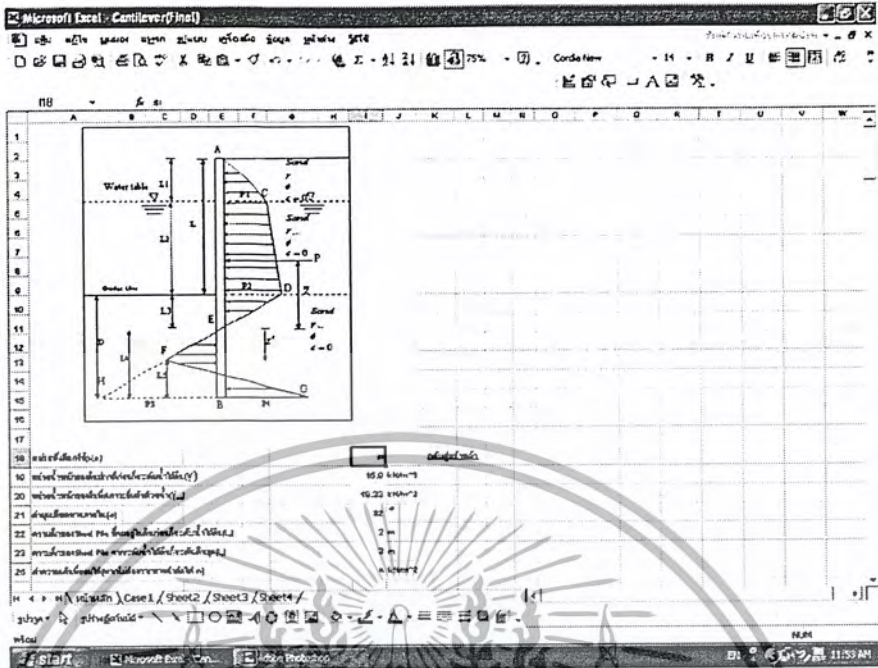
Case2-Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table

Case3-Cantolever Sheet Pile Penetrating clay

Case4-Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table

#### รูปที่4.3. การเลือกใช้งานส่วนของโปรแกรม Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4. หน้าจอของส่วนของโปรแกรม Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils

วิธีใช้งาน(ข้อกำหนด กรอกข้อมูลในช่องสีฟ้าเท่านั้น ให้ครบถ้วน)

1. หน่วยที่เลือกใช้ ทำการเลือก โดยกรอกข้อมูลในช่อง "I17" หากต้องการใช้หน่วย SI ให้กรอก "si" หรือหากต้องการใช้หน่วยอังกฤษ ให้กรอก "e" โปรแกรมจะแสดงหน่วยต่อท้ายผลลัพธ์ หรือข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องกรอก
2. หน่วยน้ำหนักของดินปรกติก่อนถึงระดับน้ำใต้ดิน(γ) และ หน่วยน้ำหนักของดินปรกติก่อน ถึงระดับน้ำใต้ดิน(γ<sub>sat</sub>) คือค่าหน่วยน้ำหนักที่ผู้ใช้จำเป็นต้องกรอกข้อมูลดังรูปที่แสดง โดยกรอกค่าที่ช่อง "I19" และ "I20" ตามลำดับ
3. ค่ามุมเสียดทานภายใน (φ) คือข้อมูลของชั้นดินทรายที่แสดง โดยกรอกค่าที่ช่อง "I21"
4. ความลึกของ Sheet Pile ที่จมอยู่ในดินก่อนถึงระดับน้ำใต้ดิน (L1) และ ความลึกของ Sheet Pile จากระดับน้ำใต้ดิน ถึงระดับดินขุด(L2) คือระยะที่กำหนดให้ผู้ใช้ต้องกรอกตามรูปที่กำหนด โดยกรอกค่าที่ช่อง "I22" และ "I23"ตามลำดับ
5. ค่าความเค้นที่ยอมให้ คือค่าความเค้นที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดเอง ในการที่จะให้ Sheet pile มีความสามารถในการรับความเค้นตัด ที่เกิดจากโมเมนต์คดได้เท่าไร เพื่อใช้ในการหาโมดูลัสที่จำเป็นของหน้าตัด โดยทำการกรอกข้อมูลในช่อง "I24" หากผู้ใช้ไม่ต้องการหาค่าโมดูลัสของหน้าตัด ให้กรอกข้อมูลในช่องนี้เป็น "n"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรระวัง การกรอกข้อมูลในทุกช่อง จะต้องกรอกค่าให้สอดคล้องกับหน่วยที่ผู้ใช้ได้เลือกไว้ในขั้นตอนที่1 หากกรอกข้อมูลไม่สัมพันธ์กัน จะทำให้การคำนวณผิดพลาด

	A	B	C	D	E	F	1	G	H	I	J
18	หน่วยที่เลือกใช้(si,e)						1			si	
19	หน่วยน้ำหนักของดินปรกติก่อนถึงระดับน้ำใต้ดิน( $\gamma$ )						2			15.9 kN/m <sup>3</sup>	
20	หน่วยน้ำหนักของดินที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ( $\gamma_{sat}$ )						3			19.33 kN/m <sup>3</sup>	
21	ค่ามุมเสียดทานภายใน( $\phi$ )						4			32	
22	ความลึกของSheet Pile ที่จมอยู่ในดินก่อนถึงระดับน้ำใต้ดิน( $L_1$ )						5			2 m	
23	ความลึกของSheet Pile จากระดับน้ำใต้ดินถึงระดับดินขุด( $L_2$ )									3 m	
25	ค่าความเค้นที่ยอมรับได้(หากไม่ต้องการหาหน้าตัดใส่ n)									17000 kN/m <sup>2</sup>	

รูปที่ 4.5. หน้าต่างในการกรอกข้อมูลส่วนของโปรแกรม Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils

เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลครบถ้วนแล้ว โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณตามช่อง (Cell) ต่างๆที่ได้กำหนดไว้ ดังนี้

1. แสดงรายการคำนวณของ ค่าสัมประสิทธิ์ของActive Pressure ( $K_a$ ) และสัมประสิทธิ์ของPassive Pressure ( $K_p$ ) ในแถวที่29 ถึงแถวที่31
2. แสดงรายการคำนวณของ ความดันดิน ณ ตำแหน่งดินขุด( $p_1$ ) ในแถวที่ 33 ถึงแถวที่ 35
3. แสดงรายการคำนวณของ ความดันดิน ณ ตำแหน่งดินขุด( $p_2$ ) ในแถวที่ 37 ถึงแถวที่ 39
4. แสดงรายการคำนวณของ ความลึกของ Sheet Pile จากตำแหน่งดินขุด ถึงจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ (จุดE) หรือระยะ  $L_3$  ในแถวที่ 41 ถึงแถวที่ 45
5. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมแรงดันที่กระทำต่อSheet Pile จากระดับผิวดินถึงตำแหน่งจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์(P)ในแถวที่ 47 ถึงแถวที่ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
29	สัมประสิทธิ์ของ	=	$\tan^2(45-\phi/2)$			สัมประสิทธิ์ของ	=	$\tan^2(45+\phi/2)$		
30	Active Pressure ( $K_a$ )		$\tan^2(45-32/2)$			Passive Pressure ( $K_p$ )		$\tan^2(45+32/2)$		
31			0.307					3.25		
32										
33	แรงดันดิน ณ ตำแหน่ง	=	$\gamma L_1 K_a$							
34	ดินน้ำใต้ดิน( $p_1$ )		$15.9 \times 2 \times 0.307$							
35			9.77 kN/m <sup>2</sup>							
36										
37	แรงดันดิน ณ ตำแหน่งดิน	=	$(\gamma L_1 + \gamma L_2) K$							
38	ชุด( $p_2$ )		$[(15.9(2) + (19.33 - 9.81)(3))](0.307)$							
39			18.55 kN/m <sup>2</sup>							
40										
41	ความลึกของ Sheet Pile	=	$\frac{P_2}{\gamma(K_p - K_a)}$							
42			$\frac{18.546}{(19.33 - 9.81)(3.265 - 0.307)}$							
43	จากตำแหน่งดินชุด ถึงจุด		0.56 m							
44										
45	ที่แรงดันดินเป็นศูนย์( $E(L_2)$ )									

รูปที่ 4.6. หน้าต่างแสดงผล ในหัวข้อที่ 1 ถึง 4

6. แสดงรายการคำนวณของ ระยะความลึกวัดจากจุดที่แรงกระทำถึงจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์( $Z$ ) และ ระยะความลึกวัดจากจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ ถึงจุดที่เกิดโมเมนต์สูงสุด( $Z'$ ) ในแถวที่ 52 ถึงแถวที่ 54
7. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์  $p_5$  ในแถวที่ 52 ถึงแถวที่ 54
8. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์  $A_1$  ในแถวที่ 60 ถึงแถวที่ 64
9. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์  $A_2$  ในแถวที่ 66 ถึงแถวที่ 70
10. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์  $A_3$  ในแถวที่ 72 ถึงแถวที่ 76
11. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์  $A_4$  ในแถวที่ 78 ถึงแถวที่ 82
12. แสดงรายการคำนวณของ ความลึกตั้งแต่จุดที่แรงดันเป็นศูนย์ ถึงปลายความยาวของ Sheet Pile หรือระยะ  $L_4$  ในแถวที่ 86 ถึงแถวที่ 89 ซึ่งในแถวนี้ ผู้ใช้จะต้องทำการคลิกปุ่มตามที่กำหนดในรูป เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำการ Trial & Error เพื่อหาระยะ  $L_4$  ที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความสัมพันธ์มากที่สุด
13. แสดงรายการคำนวณของ ความลึก Sheet Pile ที่ฝังอยู่ใต้ระดับดินชุดตามทฤษฎี หรือ  $D_{theory}$  ในแถวที่ 91 ถึงแถวที่ 93
14. แสดงรายการคำนวณของ ความยาว Sheet Pile สุทธิ ในแถวที่ 95 ถึงแถวที่ 97
15. แสดงรายการคำนวณของ ค่าโมเมนต์ตัดสูงสุดที่เกิดขึ้น ในแถวที่ 99 ถึงแถวที่ 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



	A	B	C	D	E	F
86	L4 คือความลึกค้ำแรงจุดที่	Eq	$L_4^4 + A_1 L_4^3 + A_2 L_4^2 + A_3 L_4 + A_4 = 0$			
87	แรงดันเป็นศูนย์ ถึงปลาย				คคคเพื่อ Trial ทหาระยะ L4	
88		L4=	4.8 m			
89	ความยาวของSheet Pile					
90						
91	ความลึกSheet Pile ที่ฝัง	=	$L_3 + L_4$			
92	อยู่ในระดับดินหมด(ตาม		$D_{theory}$			
93	ทฤษฎี)( $D_{theory}$ )		5.461 m			
94						
95	ความยาวSheet Pile สูตร	=	$L_1 + L_2 + 1.3(L_3 + L_4)$			
96	(Factor = 1.3)		Factor = 1.3			
97			12.039 m			
98						
99	$M_{max}$	=	$P(z+z) - (1/2 \gamma z^2 (K_p - K_a)) z / 3$			
100			209.577 kN-m/m			

รูปที่ 4.9. หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อที่ 12 ถึง 15

	A	B	C	D	E	F
98						
99	$M_{max}$	=	$P(z+z) - (1/2 \gamma z^2 (K_p - K_a)) z / 3$			
100			209.577 kN-m/m			
101						
104	Section modulus	=	$M_{max}$			
105			$\sigma_{all}$			
106			209.577			
107			17000			
108			0.01233 m <sup>3</sup> /m			

รูปที่ 4.10. หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อที่ 16

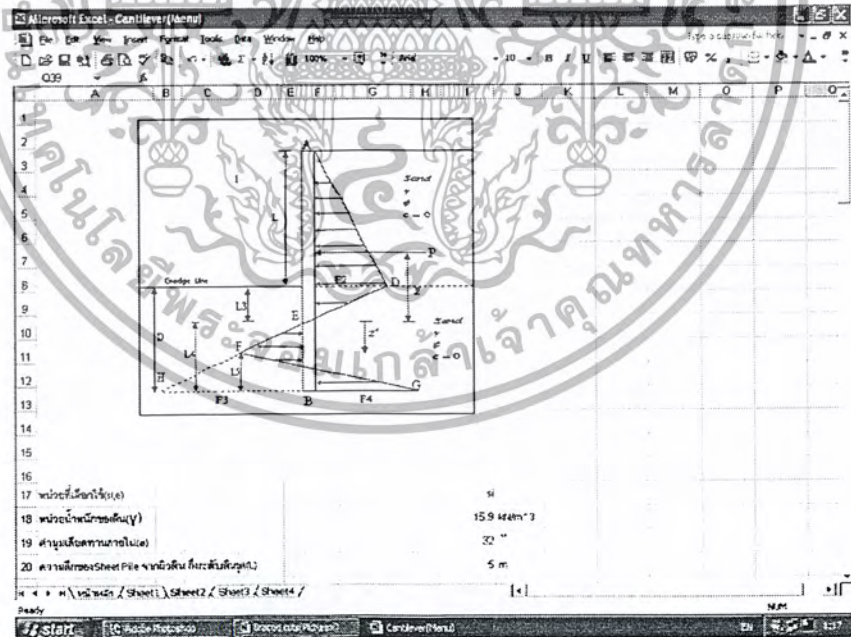
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2. กรณีที่ 2 Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table

- Case1-Cantilever Sheet Pile Penetrating sandy soils
- Case2-Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table
- Case3-Cantolever Sheet Pile Penetrating clay
- Case4-Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table

รูปที่ 4.11. การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table

เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ “Case2-Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table” โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.12 ซึ่งจะมีวิธีการใช้งานคล้ายกันกับในกรณีแรก โดยมีข้อแตกต่างกันในการกรอกข้อมูลเพียงเล็กน้อยดังนี้



รูปที่ 4.12. หน้าจอของส่วนของโปรแกรม Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. หน่วยน้ำหนักของดินที่ผู้ใช้ต้องทำการกรอกจะมีเพียงค่าเดียวเท่านั้น คือ “หน่วยน้ำหนักของดิน ( $\gamma$ )” โดยกรอกข้อมูลลงในช่อง “I18”
2. ค่าระยะความลึกที่ผู้ใช้ต้องทำการกรอกจะมีเพียงค่าเดียวเท่านั้น คือ “ความลึกของSheet Pile จากผิวดิน ถึงระดับดินขุด (L)” โดยทำการกรอกข้อมูลลงในช่อง “I20”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
16	หน่วยที่เลือกใช้(s,e)									si
17	หน่วยน้ำหนักของดิน( $\gamma$ )					1			15.9 kN/m <sup>3</sup>	
18	ค่ามุมเสียดทานภายใน( $\phi$ )								32 °	
19	ความลึกของSheet Pile จากผิวดินถึงระดับดินขุด(L)					2			5 m	
20	ค่าความเค้นที่ยอมให้(หากไม่ต้องการหาค่าใส่ k)									n kN/m <sup>2</sup>

รูปที่ 4.13. หน้าต่างในการกรอกข้อมูล ส่วนของ โปรแกรม Sheet Piling Penetrating a sandy soil in the absence of the water table

เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลครบถ้วนแล้ว โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณตามช่อง (Cell) ต่างๆที่ได้กำหนดไว้ ดังนี้

1. แสดงรายการคำนวณของ ค่าสัมประสิทธิ์ของActive Pressure ( $K_a$ ) และสัมประสิทธิ์ของPassive Pressure ( $K_p$ ) ในแถวที่27 ถึงแถวที่29
2. แสดงรายการคำนวณของ ความดันดิน ณ ตำแหน่งดินขุด( $p_2$ ) ในแถวที่31 ถึงแถวที่33
3. แสดงรายการคำนวณของ ความลึกของ Sheet Pile จากตำแหน่งดินขุด ถึงจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ (จุดE) หรือระยะ L3 ในแถวที่35 ถึงแถวที่39
4. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์  $p_5$  ในแถวที่41 ถึงแถวที่43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
27	สัมประสิทธิ์ของ	=	$\tan^2(45-\phi/2)$			สัมประสิทธิ์ของ	=	$\tan^2(45+\phi/2)$		
28	Active Pressure (Ka)		$\tan^2(45-32/2)$			Passive Pressure (Kp)		$\tan^2(45+32/2)$		
29			0.307					3.255		
31	แรงดันดิน ณ ตำแหน่งดิน	=	$\gamma L K_a$							
32	จุด (p <sub>2</sub> )		$15.9 \times 5 \times 0.307$							
33			24.43 kNm <sup>2</sup>							
35	ความลึกของ Sheet Pile	=	$\frac{L K_p}{K_p - K_a}$							
37	จากตำแหน่งดินจรด ถึงจุด		$5 \times 0.307$							
38			$3.255 - 0.307$							
39	ที่แรงดันดินเป็นศูนย์ (L <sub>z</sub> )		0.52 ม							
41	p5 คือผลรวมของพจน์	=	$\gamma K_p \gamma L_z (K_p - K_a)$							
42	ความที่แสดง เพื่อจ่ายคือ		$(15.9)(5)(3.255) + (15.9)(5.21)(3.255 - 0.307)$							
43	การคำนวณ		283.17 kNm <sup>3</sup>							

รูปที่ 4.14. หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 1 ถึง 4

- แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมแรงดันที่กระทำต่อ Sheet Pile จากระดับผิวดินถึงตำแหน่งจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ (P) ในแถวที่ 45 ถึงแถวที่ 48
- แสดงรายการคำนวณของ ระยะความลึกวัดจากจุดที่แรง P กระทำถึงจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ (Z) และ ระยะความลึกวัดจากจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ ถึงจุดที่เกิดโมเมนต์สูงสุด (z') ในแถวที่ 50 ถึงแถวที่ 54
- แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์ A1 ในแถวที่ 56 ถึงแถวที่ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



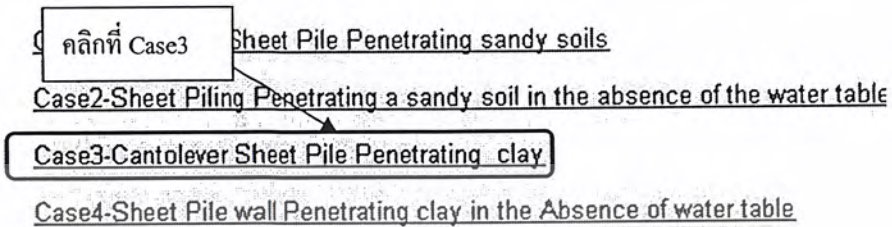
11. แสดงรายการคำนวณของ ความลึกตั้งแต่จุดที่แรงดันเป็นศูนย์ ถึงปลายความยาวของSheet Pile หรือระยะL4 ในแถวที่ 81 ถึงแถวที่ 84 ซึ่งในแถวนี้ ผู้ใช้จะต้องทำการคลิกปุ่มตามที่กำหนดในรูป เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำการ Trial & Error เพื่อหาระยะ L4 ที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความสัมพันธ์มากที่สุด
12. แสดงรายการคำนวณของ ความลึกSheet Pile ที่ฝังอยู่ใต้ระดับดินขุดตามทฤษฎี หรือ  $D_{theory}$  ในแถวที่ 86 ถึงแถวที่ 88
13. แสดงรายการคำนวณของ ความยาวSheet Pile สุทธิ ในแถวที่ 90 ถึงแถวที่ 92
14. แสดงรายการคำนวณของ ค่าโมเมนต์ค้ดสูงสุดที่เกิดขึ้น ในแถวที่ 94 ถึงแถวที่ 95
15. แสดงรายการคำนวณของ การหาค่า Section Modulus ในแถวที่ 97 ถึงแถวที่ 101 แต่หากผู้ใช้ไม่ต้องการแสดงรายการคำนวณในส่วนนี้ โดยการกรอกข้อมูลในช่องที่ "I25" ให้เป็น "n" ข้อมูลในส่วนนี้จะไม่ปรากฏขึ้น

	A	B	C	D	E	F
81	L4 คือความลึกตั้งแต่จุดที่	Eq	$L_4^4 + A_1 L_4^3 - A_2 L_4^2 - A_3 L_4 - A_4 = 0$			
82	แรงดันเป็นศูนย์ ถึงปลาย		คลิกเพื่อ Trial หาระยะ L4			
83	ความยาวของSheet Pile	L4=	4.1 m			
84						
85						
86	ความลึกSheet Pile ที่ฝัง	=	$1.3 + L_4$			
87	อยู่ใต้ระดับดินขุด(ตาม		$z_1 = 4$			
88	ทฤษฎี)( $D_{theory}$ )		4.62 m			
89						
90	ความยาวSheet Pile สุทธิ	=	$L + 1.3(1.3 + L_4)$			
91	(Factor = 1.3)		Factor=1.3			
92			11.01 m			
93						
94	$M_{max}$	=	$P(z+z) - [1/2 V z^2 (Kp-Ka)] z^{1/3}$			
95			223.81 m <sup>3</sup> /m			

รูปที่ 4.17. หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 11 ถึง 14

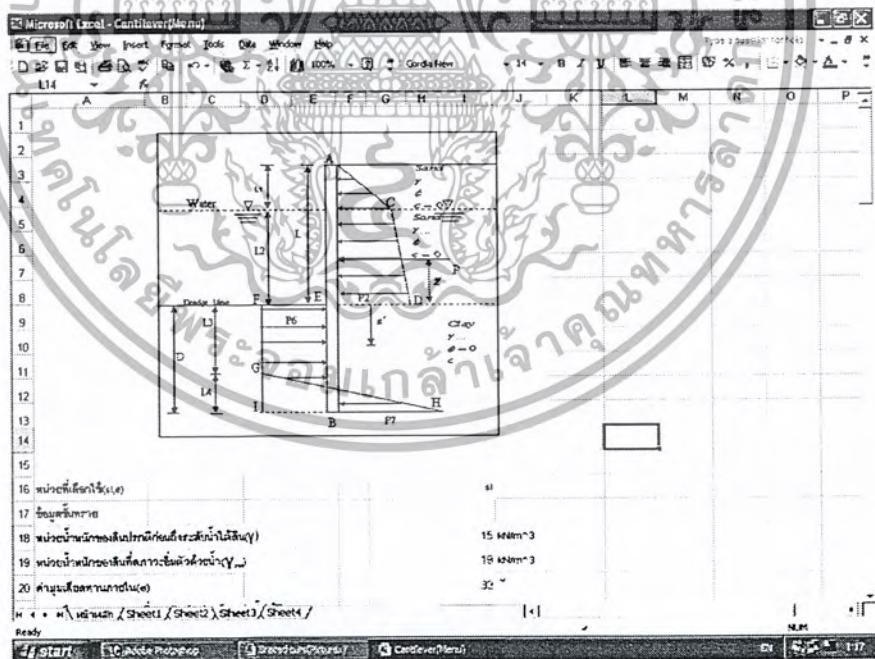
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3. กรณีที่3 Cantilever Sheet Pile Penetrating clay



รูปที่4.18. การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Cantilever Sheet Pile Penetrating clay

เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ “Case3-Cantolever Sheet Pile Penetrating clay” โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.19 ซึ่งจะมีวิธีการใช้งานคล้ายกันกับในกรณีแรก โดยมีข้อแตกต่างกันในการกรอกข้อมูลเพียงเล็กน้อยดังนี้



รูปที่ 4.19. หน้าจอของกรณีที่3

1. หน่วยน้ำหนักของดินจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของดินทรายชั้นบน กับส่วนของดินเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักของดินเหนียวจะมีค่าเท่ากับหน่วยน้ำหนักของดินที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ ( $\gamma_{sat}$ ) ในชั้นดินทราย

- ผู้ใช้งานเป็นต้องกรอกค่าข้อมูลของชั้นดินเหนียวเพิ่มเติมอีกหนึ่งค่าคือ ค่าแรงยึดเหนี่ยวภายใน ( $c$ ) โดยกรอกข้อมูลในช่อง “I29”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
18	หน่วยที่เลือกใช้(sl,e)									sl	
19	ข้อมูลชั้นทราย										
20	หน่วยน้ำหนักของดินปรกติก่อนถึงระดับน้ำใต้ดิน( $\gamma$ )								15 kN/m <sup>3</sup>		1
21	หน่วยน้ำหนักของดินที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ( $\gamma_{sat}$ )								19 kN/m <sup>3</sup>		
22	ค่ามุมเสียดทานภายใน( $\phi$ )								32		
23	ความลึกของSheet Pile ที่จมอยู่ในดินก่อนถึงระดับน้ำใต้ดิน( $L_1$ )								2 m		
24	ความลึกของSheet Pile จากระดับน้ำใต้ดินถึงระดับดินชั้น( $L_2$ )								3.5 m		
25	ข้อมูลชั้นดินเหนียว										
28	หน่วยน้ำหนักของดินที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ( $\gamma_{sat}$ )								19 kN/m <sup>3</sup>		
29	แรงยึดเหนี่ยวภายใน( $c$ )								50 kN/m <sup>2</sup>		2
30											
31	ค่าความเหนียวที่ยอมให้(หากไม่ต้องการหาค่าใส่ค)								172000 kN/m <sup>2</sup>		

รูปที่ 4.20. หน้าต่างในการกรอกข้อมูล ส่วนของ โปรแกรม Cantilever Sheet Pile Penetrating clay

เมื่อผู้ใช้งานกรอกข้อมูลครบถ้วนแล้ว โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณตามช่อง (Cell) ต่างๆที่ได้กำหนดไว้ ดังนี้

- แสดงรายการคำนวณของ ค่าสัมประสิทธิ์ของActive Pressure ( $K_a$ ) และสัมประสิทธิ์ของPassive Pressure ( $K_p$ ) ในแถวที่ 33 ถึงแถวที่ 35
- แสดงรายการคำนวณของ ความดันดิน ณ ตำแหน่งดินจุด( $p_1$ ) ในแถวที่ 37 ถึงแถวที่ 39
- แสดงรายการคำนวณของ ความดันดิน ณ ตำแหน่งดินจุด( $p_2$ ) ในแถวที่ 41 ถึงแถวที่ 43
- แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมแรงดันที่กระทำต่อSheet Pile จากระดับผิวดินถึงระดับดินจุด ( $P_1$ )ในแถวที่ 45 ถึงแถวที่ 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H
33	สัมประสิทธิ์ช่อง	=	$\tan^2(45-\alpha/2)$					
34	Active Pressure (Ka)		$\tan^2(45-32/2)$				1	
35			0.3073					
36								
37	แรงดันดิน ณ ตำแหน่ง	=	$\gamma L_1 K_a$				2	
38	ระดับน้ำใต้ดิน (p1)		$15 \times 0.307$					
39			9.22 kN/m <sup>2</sup>					
40								
41	แรงดันดิน ณ ตำแหน่ง	=	$(\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_a$				3	
42	ดินชุด (p2)		$[(15(2) + (19-9.81)(3.5))](0.307)$					
43			19.101 kN/m <sup>2</sup>					
44								
45	ผลรวมแรงดันที่กระทำ	=	$\frac{1}{2} p_1 L_1 + p_1 L_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) L_2$				4	
46	ต่อ Sheet Pile จาก		$(1/2)(9.218)(2) + (9.218)(3.5) + (1/2)(19.101-9.218)(3.5)$					
47	ระดับผิวดินถึงระดับดิน		9.218 + 32.262 + 17.295					
48	ชุด (P1)		58.775 kN/m					

รูปที่ 4.21. หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 1 ถึง 4

5. แสดงรายการคำนวณของ ความดันดินที่ระดับผิวดินเหนียวตามความลึก L3 (p6 ) ในแถวที่ 50 ถึงแถวที่ 52
6. แสดงรายการคำนวณของ ระยะความลึกวัดจากจุดที่แรง P กระทำถึงจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ (Z) และ ระยะความลึกวัดจากจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ ถึงจุดที่เกิด โมเมนต์สูงสุด (Z') ในแถวที่ 55 ถึงแถวที่ 57
7. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์ A1 ในแถวที่ 59 ถึงแถวที่ 61
8. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์ A2 ในแถวที่ 63 ถึงแถวที่ 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
50	ความดันดินที่ระดับผิว =		$4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$								
51	ดินเหนียวตามความลึก		$4 \times 50 - (15 \times 2 + (19 - 9.81) \times 3.5)$					5			6
52	$L_3 (D_0)$		137.835 kN/m <sup>2</sup>								
53											
54											
55	ระยะความลึกวิกฤตจาก		$\sum M_e / P_1$			ระยะความลึกวิกฤตจาก				$P_1 / p_6$	
56	จุดที่แรง P กระทำถึงจุด		$\sum M_e / 59.775$			จุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์				$59.775 / 137.835$	
57	ที่แรงดันดินเป็นศูนย์ (Z <sub>1</sub> )		1.957 m			ถึงจุดที่เกิด M <sub>max</sub> (Z)				0.426 m	
58											
59	A1 คือผลรวมของพจน์		$4c - (\gamma L_1 + \gamma' L_2)$								
60	ตามที่แสดง เพื่อจ่ายต่อ		137.835								
61	การคำนวณ										
62											
63	A2 คือผลรวมของพจน์		$2P$								
64	ตามที่แสดง เพื่อจ่ายต่อ		117.550								
65	การคำนวณ										

รูปที่ 4.22. หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 5 ถึง 8

9. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์ A3 ในแถวที่ 67 ถึงแถวที่ 69
10. แสดงรายการคำนวณของ ความลึก Sheet Pile ที่ฝังอยู่ใต้ระดับดินเหนียวตามทฤษฎี หรือระยะ  $D_{theory}$  ในแถวที่ 71 ถึงแถวที่ 73 ซึ่งในแถวนี้ ผู้ใช้จะต้องทำการคลิกปุ่มตามที่กำหนดในรูป เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำการ Trial & Error เพื่อหาระยะ  $D_{theory}$  ที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความสัมพันธ์มากที่สุด
11. แสดงรายการคำนวณของ ความยาว Sheet Pile สุทธิ ในแถวที่ 75 ถึงแถวที่ 77
12. แสดงรายการคำนวณของ ค่าโมเมนต์คดสูงสุดที่เกิดขึ้น ในแถวที่ 79 ถึงแถวที่ 80

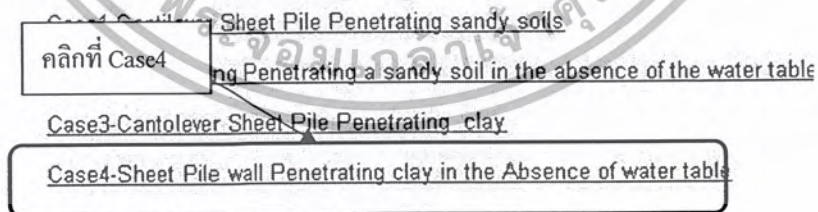
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F
67	A3 คือผลรวมของพจน์	=	$P_1(P_1+12cZ_1)$			
68	ตามที่แสดง เพื่อจ่ายต่อ		$(\gamma L_1 + \gamma' L_2) + 2c$			9
69	การคำนวณ		446.957			
70						
71	ความลึก Sheet Pile ที่	Eq	$A1D^2 - A2D - A3 = 0$			
72	ฝังลงไปใต้ระดับดินเหนียว		คลิกเพื่อ Trial หาหะระ D			10
73	(ตามทฤษฎี) ( $D_{theory}$ )	$D_{theory} =$	2.3 m			
74						
75	ความยาว Sheet Pile	=	$L1 + L2 + 1.3D_{theory}$			
76	สูตร (Factor = 1.3)		Factor = 1.3			11
77			8.490 m			
78						
79	Mmax	=	$P_1(Z1 + z) - p_c Z1/2$			
80			127.5751 kN.m/m			12

รูปที่ 4.23. หน้าตาแสดงผลในหัวข้อ 9 ถึง 12

13. แสดงรายการคำนวณของ การหาค่า Section Modulus ในแถวที่ 82 ถึงแถวที่ 86 แต่หากผู้ใช้ไม่ต้องการแสดงรายการคำนวณในส่วนนี้ โดยการกรอกข้อมูลในช่องที่ "n31" ให้เป็น "n" ข้อมูลในส่วนนี้จะไม่ปรากฏขึ้น

#### 4.3.4. กรณีที่ 4 Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table



รูปที่ 4.24. การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table

เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ “Case4-Sheet Pile wall Penetrating clay in the Absence of water table” โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.25 ซึ่งจะมีวิธีการใช้งานคล้ายกันกับในกรณีที่ 3 โดยมีข้อแตกต่างกันในการกรอกข้อมูลเพียงเล็กน้อยดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลครบถ้วนแล้ว โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณตามช่อง (Cell) ต่างๆที่ได้กำหนดไว้ดังนี้

1. แสดงรายการคำนวณของ ค่าสัมประสิทธิ์ของActive Pressure (Ka) และสัมประสิทธิ์ของPassive Pressure (Kp) ในแถวที่ 30 ถึงแถวที่ 31
2. แสดงรายการคำนวณของ ความดันดิน ณ ตำแหน่งดินซุด(p6) ในแถวที่ 34 ถึงแถวที่ 36
3. แสดงรายการคำนวณของ ความดันดิน ณ ตำแหน่งดินซุด(p7) ในแถวที่ 38 ถึงแถวที่ 40
4. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมแรงดันที่กระทำต่อSheet Pile จากระดับผิวดินถึงตำแหน่งระดับดินซุด(P1)ในแถวที่ 42 ถึงแถวที่ 45

	A	B	C	D
30	ค่าสัมประสิทธิ์ของ	=	tan <sup>2</sup> (45-φ/2)	
31	Active Pressure (Ka)		tan <sup>2</sup> (45-30/2)	
32			0.3333	
33				
34	แรงดันดิน passive ณ	=	4c-γL	
35	ตำแหน่งดินซุด(p6)		(4×40)-(15×4)	
36			100.00 kN/m <sup>2</sup>	
37				
38	แรงดันดิน ณ ตำแหน่ง	=	4c+γL	
39	ปลายของSheetpile(p7)		(4×40)+(15×4)	
40			220.00 kN/m <sup>2</sup>	
41				
42	ผลรวมแรงดันที่กระทำ	=	1/2γL <sup>2</sup> Ka	
43	ต่อSheet Pile จาก		1/2×15×40 <sup>2</sup> ×0.333	
44	ระดับผิวดินถึงระดับดิน		40.000 kN/m	
45	ซุด(P1)			

รูปที่ 4.27. หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 1 ถึง 4

5. แสดงรายการคำนวณของ ระยะความลึกวัดจากจุดที่แรงPกระทำถึงจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ (Z) และ ระยะความลึกวัดจากจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ ถึงจุดที่เกิด โมเมนต์สูงสุด (z')ในแถวที่ 47 ถึงแถวที่ 49
6. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์ A1 ในแถวที่ 51 ถึงแถวที่ 53
7. แสดงรายการคำนวณของ ผลรวมของพจน์ A2 ในแถวที่ 55 ถึงแถวที่ 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีทีซี จำกัด (มหาชน) เมื่อผู้ดูเห็นหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
47	ระยะความลึกวัดจาก	=	$L/3$			ระยะความลึกวัด	=	$P_1/P_c$			
48	จุดที่แรงPgกระทำถึง		$4/3$			จากจุดที่แรงดันดิน		$40/100$			
49	ระดับดินชุด(Z1)		1.333 m			เป็นศูนย์ ถึงจุดที่		0.4 m			
50											
51	A1 คือผลรวมของพจน์	=	$4c-YL$								
52	ตามที่แสดง เพื่อจ่ายค่า		100								
53	การคำนวณ										
54											
55	A2 คือผลรวมของพจน์	=	$2P_1$								
56	ตามที่แสดง เพื่อจ่ายค่า		80.000								
57	การคำนวณ										
58											
59	A3 คือผลรวมของพจน์	=	$P_1(P_1+12cZ_1)$								
60	ตามที่แสดง เพื่อจ่ายค่า		$YL+2c$								
61	การคำนวณ		194.28c								

รูปที่ 4.28. หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 5 ถึง 8

9. แสดงรายการคำนวณของ ความลึกSheet Pile ที่ฝังอยู่ใต้ระดับดินเหนียวตามทฤษฎี หรือ Dtheory ในแถวที่ 63 ถึงแถวที่ 65 ซึ่งในแถวนี้ ผู้ใช้จะต้องทำการคลิกปุ่มตามที่กำหนดในรูป เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำการ Trial & Error เพื่อหาระยะ L4 ที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความสัมพันธ์มากที่สุด
10. แสดงรายการคำนวณของ ความยาวSheet Pile สุทธิ ในแถวที่ 67 ถึงแถวที่ 69
11. แสดงรายการคำนวณของ ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น ในแถวที่ 71 ถึงแถวที่ 72

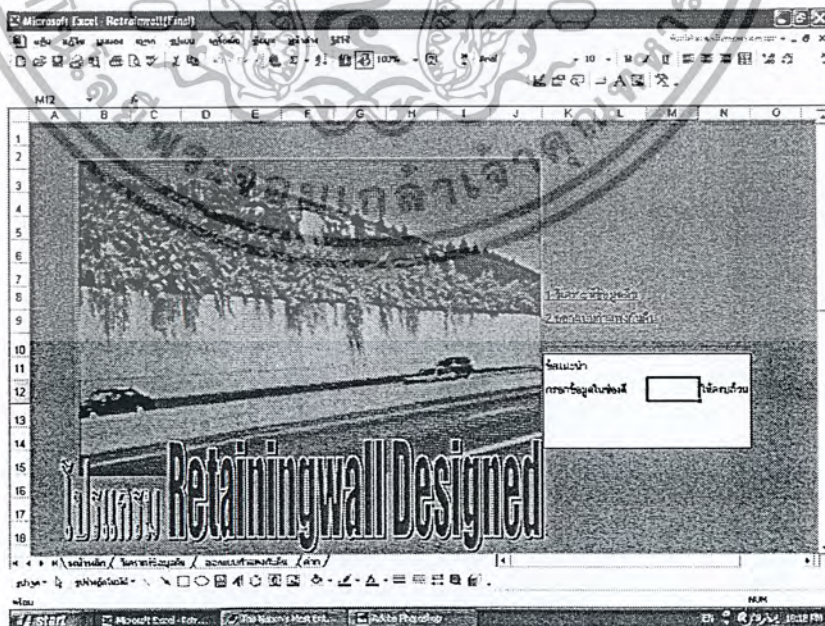
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F
9	65	ความลึกSheet Pile ที่	Eq	$A1D^2-A2D-A3=0$		
	66	ฝังอยู่ใต้ระดับดินเหนียว		คลิกเพื่อTrial ทหาระยะD		
	65	(ตามทฤษฎี)(D <sub>theory</sub> )	D <sub>theory</sub> =	1.9 m		
	66					
10	67	ความยาวSheet Pile	=	L+1.3D <sub>theory</sub>		
	68	สูตร(Factor = 1.3)		Factor=1.3		
	69			6.470 m		
	70					
11	71	Mmax	=	$P1(z'+z1)-p_g z'^2/2$		
	72			61.33 kN.m/m		

รูปที่ 4.29. หน้าต่างแสดงผลในหัวข้อ 9 ถึง 11

- แสดงรายการคำนวณของ การหาค่า Section Modulus ในแถวที่74 ถึงแถวที่78 แต่หากผู้ใช้ไม่ต้องการแสดงรายการคำนวณในส่วนนี้ โดยการกรอกข้อมูลในช่องที่ "I28" ให้เป็น "n" ข้อมูลในส่วนนี้จะไม่ปรากฏขึ้น

#### 4.4. ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานโปรแกรม Retaining wall Designed



รูปที่ 4.30. หน้าหลักของ โปรแกรม Retaining wall Designed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม Retaining wall Designed เป็นโปรแกรมที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถหาค่าความดันดิน และแรงดันดิน ซึ่งเกิดจากมวลดินรูปแบบต่างๆที่มากระทำต่อกำแพงกันดิน เพื่อใช้ในการออกแบบกำแพงกันดินประเภท Gravity Retaining wall และประเภท Cantilever Retaining wall โดยโปรแกรมมีความสามารถต่างๆดังนี้

1. โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่า สัมประสิทธิ์ของ Active Pressure ( $K_a$ ) และ สัมประสิทธิ์ของ Passive Pressure ( $K_p$ ) โดยทฤษฎีของ Ranking
2. คำนวณค่าความดัน และแรงดันที่เกิดจากน้ำหนักของมวลต่างๆที่มีผลต่อตัวกำแพงกันดิน ในตำแหน่งต่างๆที่จำเป็นต่อการพิจารณา ออกแบบกำแพงกันดิน
3. แนะนำค่าระยะต่างๆในส่วนประกอบของกำแพงกันดิน ที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้ออกแบบให้ผู้ใช้ได้มีข้อมูลในการตัดสินใจเลือกรูปแบบของกำแพงกันดิน
4. ตารางแสดงค่าโมเมนต์ ที่เกิดจากส่วนต่างๆของกำแพงกันดิน และแรงดันของดิน เพื่อเป็นรายการคำนวณ ให้ผู้ใช้ติดตามผลการคำนวณได้
5. ตรวจสอบเสถียรภาพของกำแพงกันดิน ต่อการพังทลายในรูปแบบต่างๆได้แก่ ตรวจสอบส.ป.ส. ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ, ตรวจสอบส.ป.ส. การเลื่อนไถล และตรวจสอบ ส.ป.ส. Bearing capacity โดยใช้ทฤษฎีของ Meyerhof, Hazen และ Terzaghi

วิธีการใช้งานโปรแกรมโปรแกรม Retaining wall Designed แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ด้วยกันคือ

1. ส่วนโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูลดิน
2. ส่วนโปรแกรมในการออกแบบกำแพงกันดิน

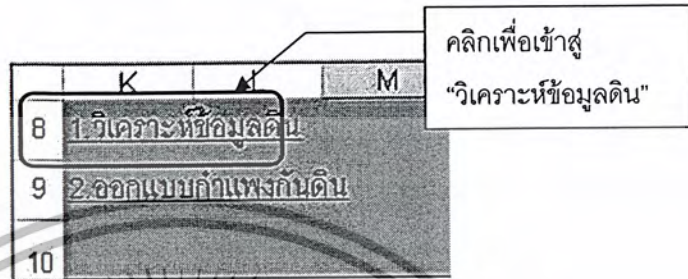
โดยผู้ใช้ต้องทำการเลือกกรณีให้ตรงกับการใช้งานที่หน้าหลัก

	K	L	M
8	1.วิเคราะห์ข้อมูลดิน		
9	2.ออกแบบกำแพงกันดิน		
10			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ส่วนลิขสิทธิ์ในการใช้งานของโปรแกรมที่ขึ้นโปรแกรมที่นำมาใช้ในประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.31. การเลือกส่วนโปรแกรมที่ต้องการใช้งานที่หน้าจอหลัก  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

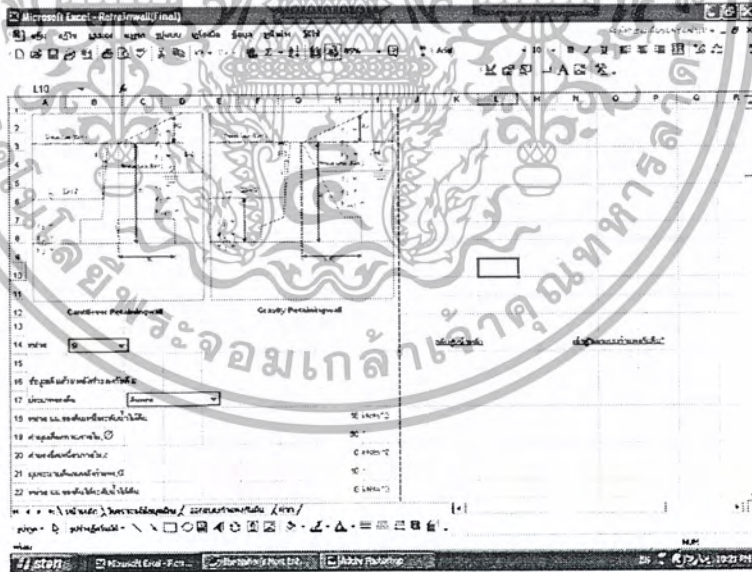
เมื่อผู้ใช้เลือกกรณีที่จะใช้งานแล้ว โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าจอต่างๆ ดังนี้

#### 4.4.1. ส่วนโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูลดิน



รูปที่ 4.32. การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม วิเคราะห์ข้อมูลดิน

เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ “วิเคราะห์ข้อมูลดิน” โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.33 โดยมีวิธีใช้งานดังนี้

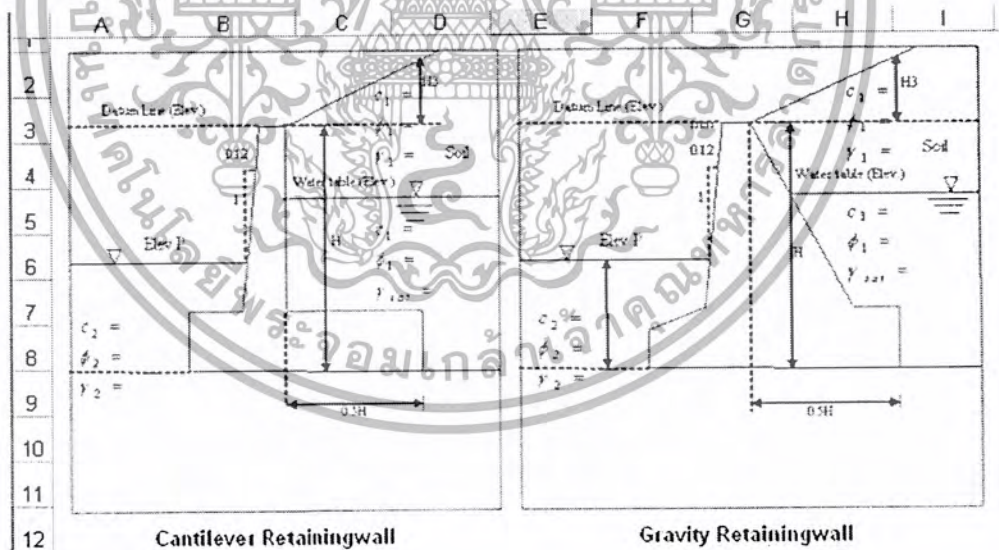


รูปที่ 4.33. หน้าจอส่วน โปรแกรม วิเคราะห์ข้อมูลดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีใช้งาน(ข้อกำหนด กรอกข้อมูลในช่องสีฟ้า(เท่านั้น)ให้ครบถ้วน)

1. หน่วยที่เลือกใช้ ทำการเลือก โดยการคลิกเลือกจากแถบข้อความ หากต้องการใช้หน่วย SI ให้เลือก “si” หรือหากต้องการใช้หน่วยอังกฤษ ให้เลือก “e” โปรแกรมจะแสดงหน่วยต่อท้ายผลลัพธ์ หรือข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องกรอก
2. ส่วนของข้อมูลด้านหลังกำแพงกันดิน ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกประเภทของดินในแถบข้อความ โดยเลือกชนิดเป็นดินเหนียว หรือ ดินทราย จากนั้นทำการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับ หน่วย นน.ของดินเหนือระดับน้ำใต้ดิน,ค่ามุมเสียดทานภายใน( $\phi$ ),ค่าแรงยึดเหนี่ยวภายใน( $c$ ),มุมระนาบดินลมหหลังกำแพง ( $\alpha$ ) และหน่วย นน.ของดินใ้ระดับน้ำใต้ดิน ตามรูปที่ได้อธิบายส่วนประกอบต่างๆในส่วนบนของโปรแกรม(รูปที่ 4.34 )
3. ส่วนของข้อมูลด้านหน้ากำแพงกันดิน ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกประเภทของดินในแถบข้อความ โดยเลือกชนิดเป็นดินเหนียว หรือ ดินทราย จากนั้นทำการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับ หน่วย นน.ของดินเหนือระดับน้ำใต้ดิน,ค่ามุมเสียดทานภายใน( $\phi$ ) และค่าแรงยึดเหนี่ยวภายใน(  $c$  ) ตามรูปที่ได้อธิบายส่วนประกอบต่างๆของชั้นดินในส่วนบนของโปรแกรม(รูปที่ 4.34 )



รูปที่ 4.34. ภาพ อธิบายส่วนประกอบต่างๆของชั้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
14	หน่วย	SI		1					
15									
16	ข้อมูลค้ำทับแห้งก้ำแพงก้ำดิน								
17	ประเภทของดิน	ดินทราย							
18	หน่วย นน. ของดินเหนื่อระดับน้ำใต้ดิน							18 kN/m <sup>3</sup>	
19	ค่ามุมเสียดทานภายใน, $\phi$							30 °	
20	ค่าแรงยึดเหนี่ยวภายใน, c							0 kN/m <sup>2</sup>	
21	มุมรนาบดินถมหลังก้ำแพง, $\alpha$							10 °	
22	หน่วย นน. ของดินใต้ระดับน้ำใต้ดิน							0 kN/m <sup>3</sup>	
23									
24	ข้อมูลค้ำทับน้ำก้ำแพงก้ำดิน								
25	ประเภทของดิน	ดินเหนียว							
26	หน่วย นน. ของดินด้านหน้าก้ำแพงก้ำดิน							19 kN/m <sup>3</sup>	
27	ค่ามุมเสียดทานภายใน( $\phi$ )							20 °	
28	ค่าแรงยึดเหนี่ยวภายใน, c							40 kN/m <sup>2</sup>	

รูปที่ 4.35. หน้าต่างในการกรอกข้อมูลชั้นดิน

- ส่วนของการกำหนดระดับตำแหน่งต่างๆ ของก้ำแพงก้ำดิน และชั้นดิน โดยในส่วนนี้ ก้ำที่กรอกจะมีค่าน้อยกว่า 0 เสมอ(คือมีค่าติดลบ) เพราะโปรแกรมจะกำหนด Datum line อยู่ที่ขอบบนของก้ำแพงก้ำดิน ข้อมูลที่กรอก ให้กรอกตามรูปแบบที่กำหนดในรูปที่ 4.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
30	ระดับความลึกของชั้นดิน(ค่าค่า Datum Line มีค่าที่ความ								
31	ตำแหน่งระดับฐานของกำแพงกันดิน								-6.7 m
32	ตำแหน่งระดับน้ำใต้ดินหากไม่พิจารณาใส่ก								n m
33	ตำแหน่งผิวดินชุด								-5.2 m
34	H	=							6.7 m
35	H <sub>1</sub>	=							6.7 m
36	H <sub>2</sub>	=							0 m
37	H <sub>3</sub> (คือค่าความลึกของดินลาดที่เอียงพิจารณา=0.5H(tan α)								0.59 m
38	H'(คือค่าความลึกที่จะใช้ในการพิจารณาหาความดันดิน=H <sub>1</sub> +H <sub>2</sub> )								7.29 m
39	Hp(ความลึกของผิวดินชุดถึงฐาน)								1.5 m
40									
41	น้ำหนักบรรทุก(q)								0 kN/m <sup>2</sup>
42									

รูปที่ 4.36. หน้าต่างในการกรอกข้อมูลระดับต่างๆ และน้ำหนักบรรทุก

โดยเมื่อกรอกข้อมูลในส่วนนี้แล้ว โปรแกรม จะทำการคำนวณ ระยะความลึกของ ส่วนประกอบของชั้นดิน ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ชั้นดินต่อไป

5. ส่วนของการกรอกค่าน้ำหนักบรรทุก โดยกรอกข้อมูลตามรูปที่ 4.36

ข้อควรระวัง การกรอกข้อมูลในทุกช่อง จะต้องกรอกค่าให้สอดคล้องกับหน่วยที่ผู้ ใช้ได้เลือกไว้ในขั้นตอนที่ หากกรอกข้อมูลไม่สัมพันธ์กัน จะทำให้การคำนวณผิดพลาด

เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลครบถ้วนแล้ว โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณตามช่อง (Cell) ต่างๆที่ได้กำหนดไว้ ดังนี้

1. แสดงรายการคำนวณของ สัมประสิทธิ์ของActive Pressure (Ka) และ สัมประสิทธิ์ของPassive Pressure (Kp)ในแถวที่ 49 ถึงแถวที่ 53
2. แสดงรายการคำนวณของค่าความดันดิน โดยแบ่งการแสดงผลดังนี้

2.1. ความดันเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก ในแถวที่ 56 ถึงแถวที่ 57

2.2. ความดันเนื่องจากมวลดินเหนือระดับน้ำใต้ดิน(ณ ตำแหน่งระดับน้ำใต้ดิน) ในแถวที่ 59 ถึง

แถวที่ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.3. ความดันเนื่องจากมวลดินใต้ระดับน้ำใต้ดิน (ณ ตำแหน่งฐานของกำแพงกันดิน) ในแถวที่ 62 ถึงแถวที่ 63
- 2.4. ความดันเนื่องจากน้ำใต้ดิน ในแถวที่ 65 ถึงแถวที่ 67
- 2.5. ความแรงดันเนื่องจากมวลดินหน้ากำแพงกันดินในแถวที่ 69 ถึงแถวที่ 70

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
43	สัมประสิทธิ์ของ Active Pressure ( $K_a$ )								
44	$\cos \alpha$						=	0.985	
45	$\cos^2 \alpha$						=	0.970	
46	$\cos^2 \phi$						=	0.866	
47	$\cos^2 \phi'$						=	0.750	
48									
49	$K_a =$	$\cos \alpha$	$\cos \alpha$	$(\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi)$	$1e$		=	0.350	
50				$\cos \alpha + (\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi)$	$1e$				
51									
52	สัมประสิทธิ์ของ Passive Pressure ( $K_p$ )								
53	$K_p = \tan^2 (45 + \phi/2)$						=	2.040	
54									

รูปที่ 4.37. หน้าต่างแสดงผล ของรายการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ ของ Ranking

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
65	ความดันดิน								
66	ความดันเนื่องจากน้ำหนักมวลราก								
67	$p_d = K_a q$						=	0.000 kN/m <sup>2</sup>	
68									
69	ความดันเนื่องจากมวลดินเมื่อระดับน้ำใต้ดิน (ณ ตำแหน่งระดับน้ำใต้ดิน)								
70	$p_{s1} = K_a \gamma' H_1$						=	45.868 kN/m <sup>2</sup>	
71									
72	ความดันเนื่องจากมวลดินใต้ระดับน้ำใต้ดิน (ณ ตำแหน่งฐานของกำแพงกันดิน)								
73	$p_{s2} = p_{s1} + K_a \gamma' H_2$						=	45.868 kN/m <sup>2</sup>	
74									
75	ความดันเนื่องจากน้ำใต้ดิน								
76	$p_w = 0$			ณ ตำแหน่งระดับน้ำใต้ดิน			=	0 kN/m <sup>2</sup>	
77	$p_w = \gamma_w H_2$			ณ ตำแหน่งฐานของกำแพงกันดิน			=	0 kN/m <sup>2</sup>	
78									
79	ความแรงดันเนื่องจากมวลดินหน้ากำแพงกันดิน								
80	$p_p = K_p \gamma H_p$			$+ 2cK_p^{0.5}$			=	172.381 kN/m <sup>2</sup>	
81									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.38. หน้าต่างแสดงผล ของรายการคำนวณความดันดิน  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แสดงรายการคำนวณของค่าแรงดันดิน โดยแบ่งการแสดงผลดังนี้

- 3.1. แรงดันเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก ในแถวที่ 73 ถึงแถวที่ 74
- 3.2. แรงดันเนื่องจากมวลดินด้านหลังกำแพงกันดิน ในแถวที่ 76 ถึงแถวที่ 79
- 3.3. แรงดันเนื่องจากน้ำใต้ดิน ในแถวที่ 81 ถึงแถวที่ 82
- 3.4. แรงดันทางด้านข้างทั้งหมด ในแถวที่ 84 ถึงแถวที่ 85
- 3.5. แรงดันเนื่องจากมวลดินหน้ากำแพงกันดิน ในแถวที่ 87 ถึงแถวที่ 88

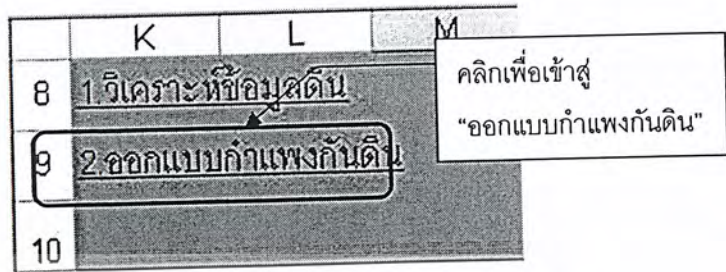
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
72	แรงดันดิน								
73	แรงดันเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก								
74		$P_s = p_v \cdot H$					=	0.000	kN/m
75									
76	แรงดันเนื่องจากมวลดินด้านหลังกำแพงกันดิน								
77		$P_u = 0.5 \cdot p_{a1} \cdot H + 0.5 \cdot (p_{a1} + p_{a2}) \cdot H_2$					=	167.206	kN/m
78		$P_{uh} = P_u \cdot \cos \alpha$					=	164.666	kN/m
79		$P_{uv} = P_u \cdot \sin \alpha$					=	29.035	kN/m
80									
81	แรงดันเนื่องจากน้ำใต้ดิน								
82		$P_w = 0.5 \cdot p_w \cdot H^2$					=	0	kN/m
83									
84	แรงดันด้านข้างทั้งหมด								
85		$P_h = P_{uh} + P_{wh}$					=	164.666	kN/m
86									
87	แรงดันเนื่องจากมวลดินหน้ากำแพงกันดิน								
88		$P_p = 0.5 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot H_p^2 + 2cK_p \cdot 0.5 \cdot H_p$					=	214.974	kN/m
89									

รูป 4.39. หน้าต่างแสดงผล ของรายการคำนวณแรงดันดิน

เมื่อผู้ใช้ตรวจสอบรายการคำนวณต่างๆ ในหน้า วิเคราะห์ข้อมูลดินนี้แล้ว ค่าต่างๆที่วิเคราะห์ได้ ผู้ใช้สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการคำนวณในหน้า ออกแบบกำแพงกันดินต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2. ส่วนโปรแกรมในการออกแบบกำแพงกันดิน



รูปที่ 4.40. การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรมออกแบบกำแพงกันดิน

เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ “ออกแบบกำแพงกันดิน” โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.41 โดยมีวิธีใช้งานดังนี้

ขนาดของกำแพงกันดิน	ตารางสรุปผล
h1	0.7 m
h2	6 m
h3	0.5 m
h4	0.2 m
h5	0.7 m
	$\sum V =$
	$\sum M_x =$
	FSovertumimg=
	FSliding=
	Estimated safety factor=

รูปที่ 4.41. หน้าต่างของโปรแกรมส่วน ออกแบบกำแพงกันดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีใช้งาน(ข้อกำหนด กรอกข้อมูลในช่องสีฟ้า(เท่านั้น)ให้ครบถ้วน)

1. หน่วยที่เลือกใช้ ทำการเลือกโดยการคลิกเลือกจากแถบข้อความ หากต้องการใช้หน่วย SI ให้เลือก “si” หรือหากต้องการใช้หน่วยอังกฤษ ให้เลือก “e” โปรแกรมจะแสดงหน่วยต่อท้ายผลลัพธ์ หรือข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องกรอก
2. ประเภทกำแพงกันดิน ทำการเลือกโดยการคลิกเลือกจากแถบข้อความ หากต้องการออกแบบกำแพงกันดิน ประเภท Gravity Retaining wall ให้เลือก “Gravity” หากต้องการออกแบบกำแพงกันดิน ประเภท Cantilever Retaining wall ให้เลือก “Cantilever”
3. แรงกระทำต่างๆที่กระทำต่อกำแพงกันดิน ตามที่กำหนดไว้ในรูปที่ 4.31 ประกอบด้วย แรงกระทำในแนวราบจากดินด้านหลังกำแพงกันดิน,แรงกระทำในแนวราบจากดินด้านหน้ากำแพงกันดิน และ แรงกระทำในแนวตั้งจากดินด้านหลังกำแพงกันดิน ซึ่งมาจากข้อมูลที่ผู้ใช้มีอยู่เดิมแล้ว หรือได้จากรายการคำนวณในหน้า “วิเคราะห์ข้อมูลดิน” โดยกรอกข้อมูลในช่อง “H4” ”H5” และ “H6”
4. ค่าหน่วยน.ของคอนกรีต คือค่าที่จะนำไปใช้ในการออกแบบหาน้ำหนักของตัว Retaining wall โดยกรอกข้อมูลในช่อง “H8”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	หน่วย	SI		1					
2	ประเภทกำแพงกันดิน								
3	Cantilever			2			3		
4	แรงกระทำในแนวราบจากดินด้านหลังกำแพงกันดิน $P_h$							158.95 kN/m	
5	แรงกระทำในแนวราบจากดินด้านหน้ากำแพงกันดิน $P_p$							215 kN/m	
6	แรงกระทำในแนวตั้งจากดินด้านหลังกำแพงกันดิน $P_v$							28.03 kN/m	
7									
8	ค่าหน่วยน.ของคอนกรีต			4				23.58 kN/m <sup>3</sup>	

รูปที่ 4.42. หน้าต่างในการกรอกข้อมูลในหัวข้อที่ 1 ถึง 4

5. ส่วนของข้อมูลด้านหลังกำแพงกันดิน ทำการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับ หน่วย นน.ของดิน และ มุมระนาบดินถมหลังกำแพง( $\alpha$ ) โดยกรอกข้อมูลในช่อง “H11” และ “H12”
6. ส่วนของข้อมูลด้านหน้ากำแพงกันดิน ทำการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับ หน่วย นน.ของดิน,ค่ามุมเสียดทานภายใน( $\phi$ )และค่าแรงยึดเหนี่ยวภายใน( $c$ ) โดยกรอกข้อมูลในช่อง “H14” ”H15”และ “H16”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ 160 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
10	ข้อมูลคิณกำลังก้ำแกงกัณคิณ								
11	ค้ำพ่วยณน.ของคิณลั้กค้ำแกงกัณคิณ/1								
12	มูมระนาคของคิณถมลั้กค้ำแกงกัณคิณ,c								
13	ข้อมูลคิณให้ก้ำแกงกัณคิณ								
14	ค้ำพ่วยณน.ของคิณค้ำแกงกัณคิณ/2								
15	แรงยั้ดเหนืยวภายในของคิณ,c								
16	มูมเสืยตทานภายใน,c								
17									

รูปที่ 4.43. หน้าต่างในการกรอกข้อมูลในหัวข้อที่ 5 ถึง 6

7. ส่วนของการออกแบบก้ำแกงกัณคิณ โดยผู้ใ้ต้องกรอกข้อมูลในส่วนของ”ความลึกจากคิณคิณ ถึงฐานของก้ำแกงกัณคิณ (H)” ในช่อง “H19” โปรแกรมจะทำการแนะนำค้ำระยะต่างๆในส่วนประกอบของก้ำแกงกัณคิณ ตามรูปที่ 4.44 โดยผู้ใ้จะเป็นผู้ค้คิณใจในการเลืกใช้ระยะต่างๆด้วยตนเอง โดยการกรอกข้อมูลในช่อง “H20” ถึง “H27”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
18	รูปแบบก้ำแกงกัณคิณ								
19	ความลึกจากคิณคิณ ถึงฐานของก้ำแกงกัณคิณ(H)								
20	h1 มีค้ำประมาณ 0.1 H = 0.67 m 0.7 m								
21	h2 =H-h1 8 m								
22	h3 มีขนาดอย่างล้า 0.3 m 0.5 m								
23	h3+h4+h5+h6+h7 ควรมีค้ำอยู่ระยะ 0.5 ถึง 0.7 H = 3.35-4.69 m								
24	h4 มีขนาดอย่างล้า 0.02H = 0.134 m 0.2 m								
25	h5 มีค้ำประมาณ 0.1 H = 0.67 m 0.7 m								
26	h6 2.6 m								
27	h7 มีค้ำ =0 เท้า 0 m								
28	h3+h4+h5+h6+h7 = B ความยาวฐานอยู่ในวงที่ก้ำหนด 4 m								
29									
30	h' ความสูงส่วนของคิณลาลที่นำมาพิจารณา 0.458 m								
31	ความสูงของก้ำแกงกัณคิณที่ใช้ในการออกแบบ H <sub>c</sub> 7.158 m								

รูปที่ 4.44. หน้าต่างในการกรอกข้อมูลในหัวข้อที่ 7

8. ความลึกระดับคิณคิณด้านหน้าก้ำแกงจากระดับคิณคิณ ถึงฐานก้ำแกง (D) และค้ำความยาวของก้ำแกงกัณคิณ (L) โดยการกรอกข้อมูลในช่อง “H33” ถึง “H34”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
33	ความลึกระดับดินด้านหน้ากำแพงจากระดับดินชุด ถึงฐานกำแพง,D								1.5 m
34	ความยาวของกำแพงกันดิน,L								10 m

รูปที่ 4.45. หน้าต่างในการกรอกข้อมูลในหัวข้อที่ 8

ข้อควรระวัง การกรอกข้อมูลในทุกช่อง จะต้องกรอกค่าให้สอดคล้องกับหน่วยที่ผู้ใช้ได้เลือกไว้ในขั้นตอนที่ 1 หากกรอกข้อมูลไม่สัมพันธ์กัน จะทำให้การคำนวณผิดพลาด

เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลครบถ้วนแล้ว โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณตามช่อง (Cell) ต่างๆที่ได้กำหนดไว้ ดังนี้

1. แสดงตารางรายการคำนวณค่าโมเมนต์ต่างๆที่กระทำกับกำแพงกันดิน รวมถึงผลรวมของ แรงกระทำในแนวราบ แสดงในแถวที่ 36 ถึง 46

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
36	Section No.	Area	Weight	unit length	Moment arm from point C				Moment
37		m <sup>2</sup>		kN/m	m				kN-m
38	1	6x0.5=	3	70.74	1.15				81.351
39	2	0.5x0.2x6=	0.6	14.148	0.833				11.79
40	3	4x0.7=	2.8	66.024	2				132.048
41	4	6x2.6=	15.6	280.8	2.7				758.160
42	5		0	0					0
43	6		0	0					0
44	7	0.5x2.6x0.458=	0.596	10.728	3.133				33.614
45			Pv=	28.03					4 112.12
46			ΣV=	470.470					ΣM <sub>R</sub> = 1129.083

รูปที่ 4.46. หน้าต่างแสดงตารางรายการคำนวณค่าโมเมนต์ต่างๆ

2. รายการคำนวณ การตรวจสอบส.ป.ส.ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ และ การ ตรวจสอบ ส.ป.ส. การเลื่อนไถล แสดงในแถวที่ 48 ถึง 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
48	ตรวจสอบผล.ป.ส.ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ								
49	$M_o = P_h(H_d/3)$						=	379.279 kN-m	
50	$FS_{\text{overturning}} = \sum M_R / M_o$						=	2.977	
51									
52	ตรวจสอบผล.ป.ส.การเลื่อนไถล								
53	$FS_{\text{sliding}} = [(\sum V)\tan(k_1 \phi_2) + Bk_2 c_2 + P_p] / P_h$						=	2.725	
54	หมายเหตุ: $k_1 = k_2 = 2/3$								

รูปที่ 4.47. หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบ สัมประสิทธิ์ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำและการเลื่อนไถล

3. รายการคำนวณ การตรวจสอบ Bearing capacity โดยแสดงการตรวจสอบใน 3 ทฤษฎี ได้แก่

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
56	ตรวจสอบ Bearing capacity									
57	$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$						=	2.040		
58	$e = B/2 - (\sum M_R - \sum M_o) / \sum V, \leq B/6$						=	0.406	$\leq$	0.667
59	ดังนั้น $e =$						=	0.406 m		
60										
61	$q_{\text{net}} = \sum V * (1 + 6e/B) / B$						=	189.293 kN/m <sup>2</sup>		
62	$q_{\text{net}} = \sum V * (1 - 6e/B) / B$						=	45.942 kN/m <sup>2</sup>		
63	$q_{\text{net}} =$						=	189.293 kN/m <sup>2</sup>		

รูปที่ 4.48. หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบ Bearing capacity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1. โดยทฤษฎีของ Meyerhof

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
65	1.โดยทฤษฎีของ Meyerhof								
66	$q_u = cN_c d_c i_c + q'N_q d_q i_q + 0.5\gamma B'N_\gamma d_\gamma i_\gamma$								
67	เมื่อ $\phi = 20$			$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$			
68				14.83	6.4	5.39			
69	$q' = \gamma D$						=	28.5 kN/m <sup>2</sup>	
70	$B' = B - 2e$						=	3.187 m	
71									
72	$\theta = \arctan(PH/\Sigma V)$						=	18.660	
73	$i_c = i_q = (1 - \theta/90)^\alpha$						=	0.628	
74	$i_\gamma = (1 - \theta/90)^\beta$						=	0.004	
75	$d_c = 1 + 0.2K_p^{0.5} D/B$						=	1.107	
76	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1K_p^{0.5} D/B, \phi > 10$						=	1.054	
77									
78	$q_u =$						=	534.154 kN/m <sup>2</sup>	
79									
80	$F_s$ bearing capacity			$q_u/d$ design			=	2.822	
81									

รูปที่ 4.49. หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบ Bearing capacity โดยทฤษฎีของ Meyerhof

### 3.2 โดยทฤษฎีของ Hazen

โดยผู้ใช้งานจำเป็นต้องทำการเพิ่มเติมข้อมูล ดังนี้

	A	B	C	D	E	F	G	H	
90	$\alpha_1$	มีค่าระหว่าง 2-5(หากผู้ใช้ไม่กำหนดเอง จะกำหนดให้เท่ากับ 2.5)							2
91	$\alpha_2$	มีค่าระหว่าง 2-5(หากผู้ใช้ไม่กำหนดเอง จะกำหนดให้เท่ากับ 3.5)							
92	factor, $c_a$	มีค่าระหว่าง 0.6-1.0(หากผู้ใช้ไม่กำหนดเอง จะกำหนดให้เท่ากับ 0.8)							

รูปที่ 4.50. หน้าต่างในการกรอกข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบ Bearing capacity โดยทฤษฎีของ Hazen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและห้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  และ  $c_a$  คือค่าfactor ที่กำหนดในทฤษฎีของ Hazen หากผู้ใช้ไม่ทำการกรอกค่า โปรแกรมจะทำการเลือกค่าที่แนะนำ มาใช้ในการคำนวณต่อไป

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
82	2. โภคณทฤษฎีของHazen									
83	เมื่อ $\phi =$	20								
84	$\phi$	$\leq$	34							
85	ตั้งนั้น $\phi_{ps}$	$=$	20	$N_c$	$N_q$	$N_Y$				
86				14.83	6.4	2.95				
87										
88	$q_{ult} = cN_c.S_c.d_c.i_c.q_u.bc + q'N_q.S_q.d_q.i_q.g_q.b_q + 0.5YB'N_Y.S_Y.d_Y.Y_Y.g_Y.b_Y$									
89										
90	$\alpha_1$	มีค่าระหว่าง 2-5(หากผู้ใช้ไม่กำหนดเอง จะกำหนดให้เท่ากับ 2.5)							2	
91	$\alpha_2$	มีค่าระหว่าง 2-5(หากผู้ใช้ไม่กำหนดเอง จะกำหนดให้เท่ากับ 3.5)								
92	(factor, $c_a$ )	มีค่าระหว่าง 0.6-1.0(หากผู้ใช้ไม่กำหนดเอง จะกำหนดให้เท่ากับ 0.8)								
93	$k =$	D/B						0.375		
94	พิจารณาตามข									
95		$i_{s,b}$	$s_{s,b}$	$d_{s,b}$						
96	$i_q$	0.952	$S_q$	1.103	$d_q$			1.118		
97	$i_c$	0.943	$S_c$	1.130	$d_c$			1.15		
98	$i_Y$	1.000	$S_Y$	0.873	$d_Y$			1		
99										

รูปที่ 4.51. หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบ Bearing capacity โดยทฤษฎีของ Hazen

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
100	$q_{ult(b)}$	1018.8885							
101									
102	$k =$	D/L						0.15	
103		$i_{s,l}$	$s_{s,l}$	$d_{s,l}$					
104	$i_q$	1	$S_q$	2.012	$d_q$			1.047	
105	$i_c$	0.95202373	$S_c$	2.289	$d_c$			1.06	
106	$i_Y$	1	$S_Y$	0.6	$d_Y$			1	
107									
108	$q_{ult(L)}$	1808.132							
109	ตั้งนั้น $q_{ult}$	1018.888							
110	$F_{s_{bearing capacity}}$		$q_{ult}/q_{design}$					5.383	
111									

รูปที่ 4.52. หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบ Bearing capacity โดยทฤษฎีของ Hazen

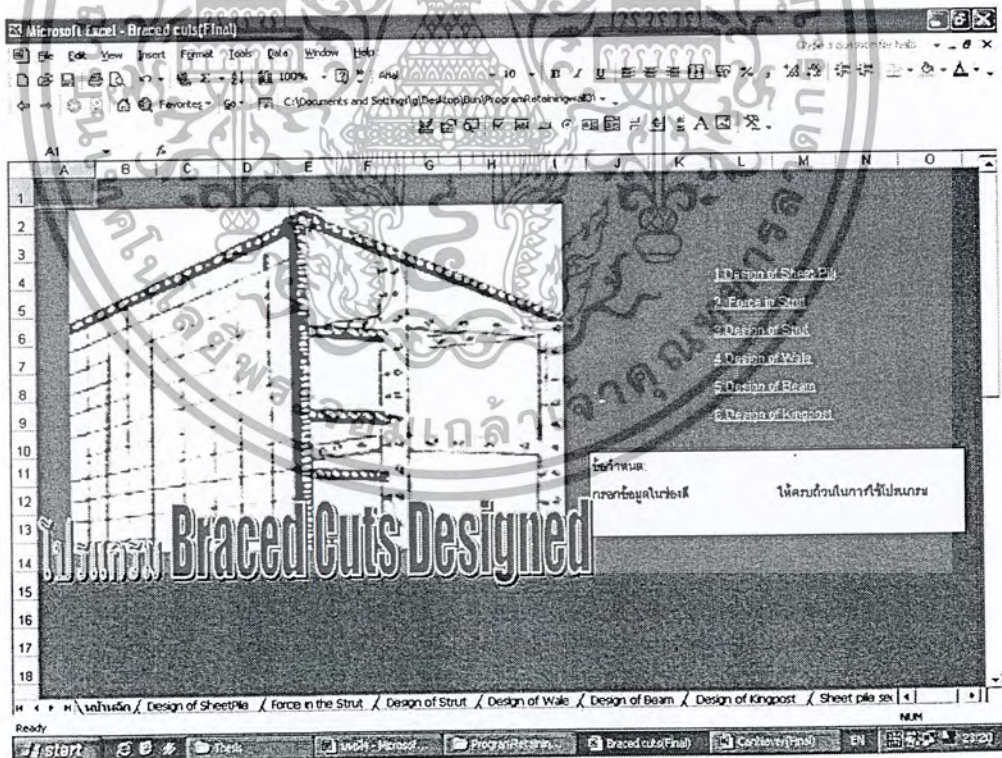
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3. โดยทฤษฎีของ Terzaghi

	A	B	C	D	E	F	G	H
112	ข. ทฤษฎีของ Terzaghi							
113	เมื่อ $\phi = 20$			$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$		
114				15.734	6.727	0.535		
115								
116	quilt =	841.418						
117	$F_s$ bearing capacity =		$qu/d_{design}$				=	4.445
118								

รูปที่ 4.53. หน้าต่างแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบ Bearing capacity โดยทฤษฎีของ Terzaghi

### 4.5. ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานโปรแกรม Braced Cuts Designed



รูปที่ 4.54. หน้าหลักของโปรแกรม Braced Cuts Designed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม Braced Cuts Designed ที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ และออกแบบ  
 กำแพงกันดิน ประเภท Braced Cuts โดยทำการออกแบบส่วนประกอบต่างๆของกำแพงกันดินดังนี้

1. Design of Sheet Pile
2. Force in Strut
3. Design of Strut
4. Design of Wale
5. Design of Beam
6. Design of Kingpost

ตัวเลือก

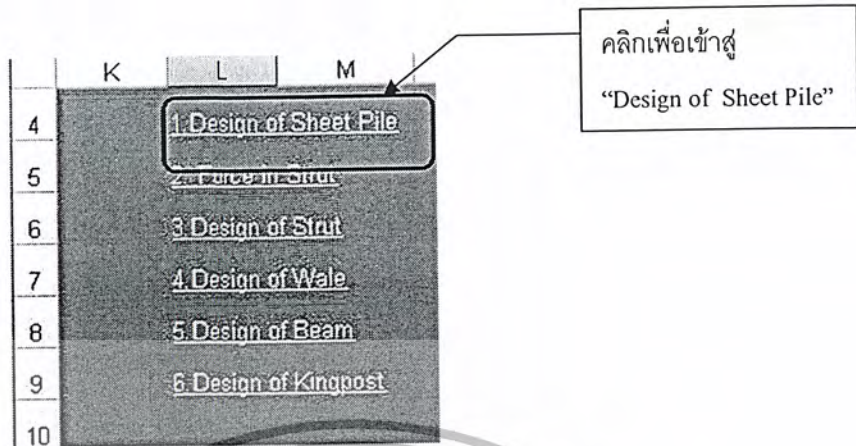
โดยผู้ใช้ต้องทำการเลือกกรณีให้ตรงกับการใช้งานที่หน้าหลักโดยการคลิกที่แถบ



รูปที่ 4.55. การเลือกใช้กรณีในการใช้งาน โปรแกรมที่หน้าจอหลัก

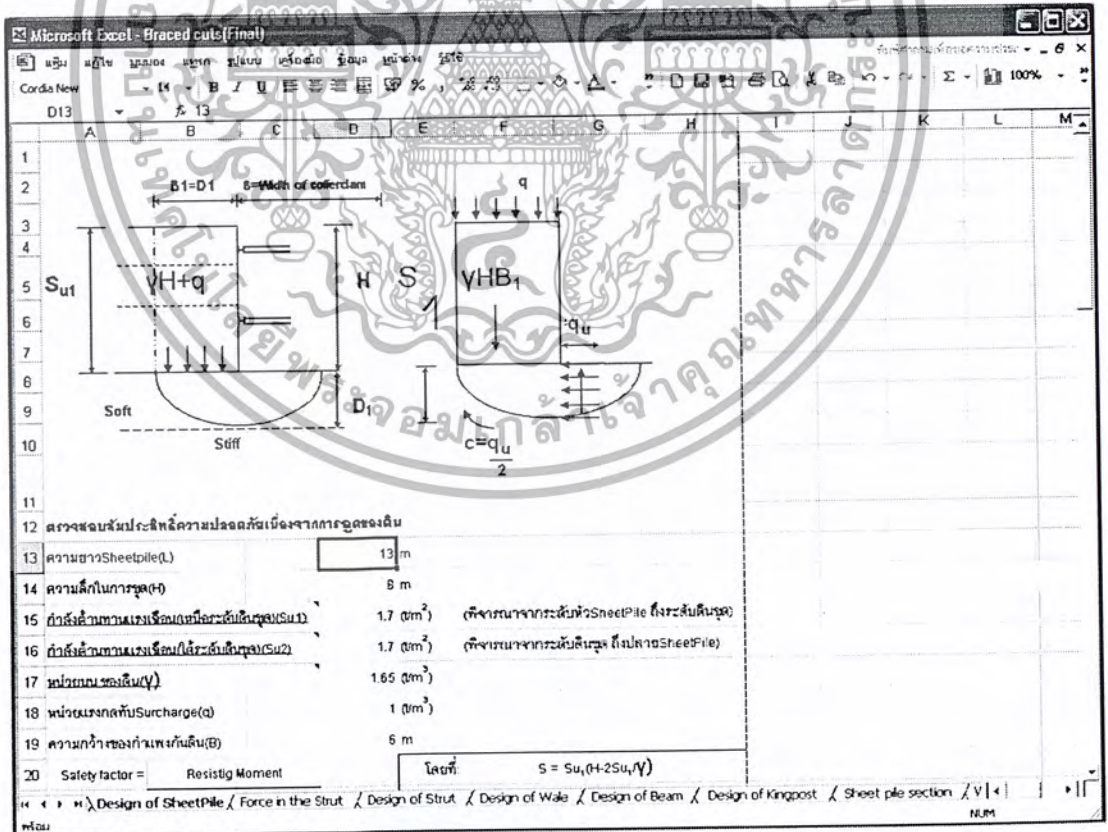
เมื่อผู้ใช้เลือกกรณีที่จะใช้งานแล้ว โปรแกรมจะเข้าสู่หน้าจอต่างๆ ดังนี้

#### 4.5.1. ส่วนของโปรแกรม Design of Sheet Pile



รูปที่ 4.56. การเลือกใช้งานส่วน โปรแกรม Design of Sheet Pile

เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ “Design of Sheet Pile” โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.57 โดยมีวิธีใช้งานดังนี้



รูปที่ 4.57. หน้าจอส่วนของ โปรแกรม Design of Sheet Pile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E
12	ตรวจสอบสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยเนื่องจากการรูดของค้ำ				
13	ความยาวSheetpile(L)			13 m	1.1
14	ความลึกในการขุด(H)			8 m	1.2
15	กำลังต้านทานแรงเฉือน(เหนือระดับดินขุด)(Su1)			1.7 (t/m)	1.3
16	กำลังต้านทานแรงเฉือน(ใต้ระดับดินขุด)(Su2)			1.7 (t/m)	1.4
17	หน่วยบนของดินตลอดความลึกที่เจาะผ่าน( $\gamma$ )			1.65 (t/m)	1.5
18	หน่วยแรงกดทับSurcharge(q)			1 (t/m)	1.6
19	ความกว้างของค้ำเพงกันดิน(B)			6 m	1.7

รูปที่ 4.58. หน้าจอในการกรอกข้อมูล ตรวจสอบการรูดตัวของดิน

วิธีใช้งาน(ข้อกำหนด กรอกข้อมูลในช่องสีฟ้า(เท่านั้น)ให้ครบถ้วน)

1. ส่วนของการหาความยาวของ Sheetpile เพื่อคำนวณการรูดตัวของดิน โดยผู้ใช้งานต้องกรอกข้อมูล ดังนี้
  - 1.1. ความยาวSheetpile(L) เพื่อเป็นการ Trial หาความยาวที่ปลอดภัยเพียงพอตามที่ผู้ใช้งานต้องการ
  - 1.2. ความลึกในการขุด(H)
  - 1.3. กำลังต้านทานแรงเฉือน(เหนือระดับดินขุด)(Su1) หากชั้นดินมีมากกว่า 1 ชั้น ต้องทำการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักโดยความลึกของชั้นดิน ผู้ใช้งานสามารถคลิกที่ข้อความ เพื่อเชื่อมโยงไปยังตารางคำนวณสำเร็จรูป
  - 1.4. กำลังต้านทานแรงเฉือน(ใต้ระดับดินขุด)(Su2) หากชั้นดินมีมากกว่า 1 ชั้น ต้องทำการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักโดยความลึกของชั้นดิน ผู้ใช้งานสามารถคลิกที่ข้อความ เพื่อเชื่อมโยงไปยังตารางคำนวณสำเร็จรูป
  - 1.5. หน่วยบนของดิน( $\gamma$ )หากชั้นดินมีมากกว่า 1 ชั้น ต้องทำการหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักโดยความลึกของชั้นดิน ผู้ใช้งานสามารถคลิกที่ข้อความ เพื่อเชื่อมโยงไปยังตารางคำนวณสำเร็จรูป
  - 1.6. หน่วยแรงกดทับSurcharge(q)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ 169 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

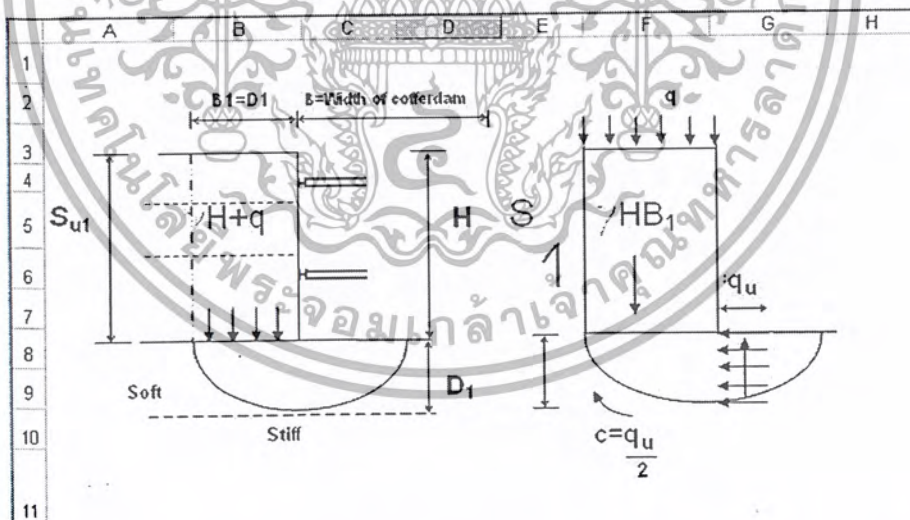
1.7. ความกว้างของกำแพงกันดิน(B)

เมื่อกรอกข้อมูลครบทุกช่องแล้ว โปรแกรมจะทำการแสดงรายการคำนวณ ในเซลล์ (Cell) ต่างๆ ดังนี้

	A	B	C	D	E	F	G	H
19	ความกว้างของกำแพงกันดิน(B)				6 m			
20	Safety factor =	Resisting Moment		โดยที่:		$S = Su_1(H-2Su_1/\gamma)$		
21		Acting moment				10.097		
22		$= 2S \cdot B_1 \cdot Su_2 \cdot B_1 \cdot TT \cdot B_1 + 2 \cdot Su_2 \cdot Ls^2$				ความลึกฝัง $Ls =$	5 m	
23		$(\gamma H + q) B_1^2$				$B_1 = D = 0.7B$	4.2 m	
24	=	1.054						
28								

รูปที่ 4.59. หน้าจอส่วนของโปรแกรม “Design of Sheet Pile”

1.8. ส่วนแสดงรายการคำนวณค่า S, Ls และ B1 โดยมีรูปแบบตามที่แสดงในสูตรคำนวณ และรูปแสดงส่วนประกอบ(ตามรูปที่ 4.60)



รูปที่ 4.60. รูปแสดงส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ การถอดตัวของดิน

1.9. ส่วนแสดงรายการคำนวณการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยในการต้านทานการถอดตัวของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H
20	Safety factor =	Resislig Moment			โดยที่:	$S = Su_1(H-2Su_1/\gamma)$		
21		Acting moment				10.097		
22		$= 2S.B_1.S_{u2}.B_1.\Pi.B_1+2.S_{u2}.Ls^2$			ความลึกฝังLs=	5 m		
23		$(\gamma H+q)B_1^2$			$B_1=D=0.7B$	4.2 m		
24	=	1.054						

รูปที่ 4.61. รูปแสดงรายการคำนวณ การตรวจสอบสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยต่อการถอดตัวของดิน

2. ส่วนของการออกแบบหน้าตัด Sheet pile โดยโปรแกรมจะทำการแสดงรายการ คำนวณหาค่าโมเมนต์สูงสุดที่กระทำต่อตัว Sheet pile แบ่งกรณีที่ใช้พิจารณาออกเป็น 2 กรณีคือ

- 2.1. กรณีที่ 1 For Normal Bracing System ผู้ใช้ต้องทำการกรอกค่า “ระยะห่างระหว่าง Strut ที่มากที่สุด(Max.Depth)” คือระยะห่างระหว่าง Strut สองตัวที่อยู่ติดกัน ที่มีระยะห่างกันมากที่สุด โดยทำการกรอกค่าในช่อง “D37”
- 2.2. กรณีที่ 2 For After Remove The Strut Case ผู้ใช้ต้องทำการกรอกค่า “ระยะช่องว่างในการถอดที่มากที่สุด (Max.Depth)” คือระยะช่องว่างระหว่าง Strut กับชั้นดิน กับระดับดินที่มากที่สุด โดยทำการกรอกค่าในช่อง “D50”

	A	B	C	D	E
36	กรณีที่ 1 For Normal Bracing System				
37	ระยะห่างระหว่าง Strut ที่มากที่สุด(Max.Depth)				3 m
39	stress at bottom				$= (\gamma H-4Su)+q$
40					$= 9.667 \text{ (t/m}^2\text{)}$
41					
42	Maximum Moment				$= wL^2/10$ t-m
43					$= 8.7$ t-m
44					
45	Required Section Modulus				$= 621.429 \text{ cm}^3/\text{m}$
46					
47	Case 1 Required Section Modulus				$621.429 \text{ cm}^3/\text{m}$

รูปที่ 4.62. รูปแสดงรายการคำนวณ การหาค่าโมเมนต์สูงสุดตามกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E
49	กรณีที่ 2 For After Remove The Strut Case				
50	ระยะช่วงว่างในการกดที่มากที่สุด(Max.Depth)			3.5 m	
51	stress at bottom		=	(YH-4Su)+q	
52			=	2.242 t/m <sup>2</sup>	
53					
54	Maximum Moment		=	wl <sup>2</sup> /2 t-m	
55			=	13.730 t-m	
56					
57	Required Section Modulus		=	980.729 cm <sup>3</sup> /m	
58					
59	Case2 Required Section Modulus			980.729 cm <sup>3</sup> /m	
60					

รูปที่ 4.63. รูปแสดงรายการคำนวณ การหาค่าโมเมนต์สูงสุดตามกรณีที่ 2

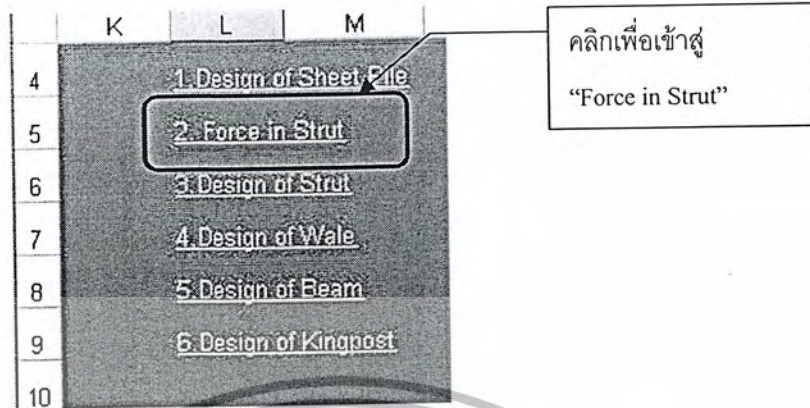
เมื่อเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่เกิดจากทั้ง 2 กรณีแล้ว โปรแกรมจะทำการเลือกค่ามากที่สุดเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหน้าตัด โดยการคำนวณหาค่าโมดูลัสของหน้าตัด โดยผู้ใช้งานต้องทำการคลิกที่ปุ่ม “คลิกเพื่อให้โปรแกรมเลือกSheet Pileให้” โปรแกรมจะทำการเลือกหน้าตัด Sheet pile จากตารางรายการให้ และหากผู้ใช้งานต้องการเลือกขนาดเอง ผู้ใช้สามารถกรอกข้อมูลของ Sheet pile ที่เลือกในช่องถัดไป เพื่อทำการเปรียบเทียบได้

	A	B	C	D	E	F	G
	Design by	Case2	Required Section	คลิก			cm <sup>3</sup> /m
61	คลิกเพื่อให้โปรแกรมเลือกSheetPileให้			เพื่อทำการเลือกหน้า			
62				Selected by program	Selected by user		
63	Section			YSP U-15			
64	Dimensions	w	mm	400			
65		h	mm	150			
66		t	mm	12.2			
67	Sectional Area	per pile	cm <sup>2</sup>	74.4			
68	Weight	per pile	kg/m	58.4			
69		per well width	kg/m <sup>2</sup>	146			
70	Moment of Inertia	per pile	cm <sup>4</sup>	2700			
71		per well width	cm <sup>4</sup> /m	22600			
72	Section	per pile	cm <sup>3</sup>	238			
73	Modulus	per well width	cm <sup>3</sup> /m	1520			

รูปที่ 4.64. รูปแสดงรายการหน้าตัดของ Sheet pile

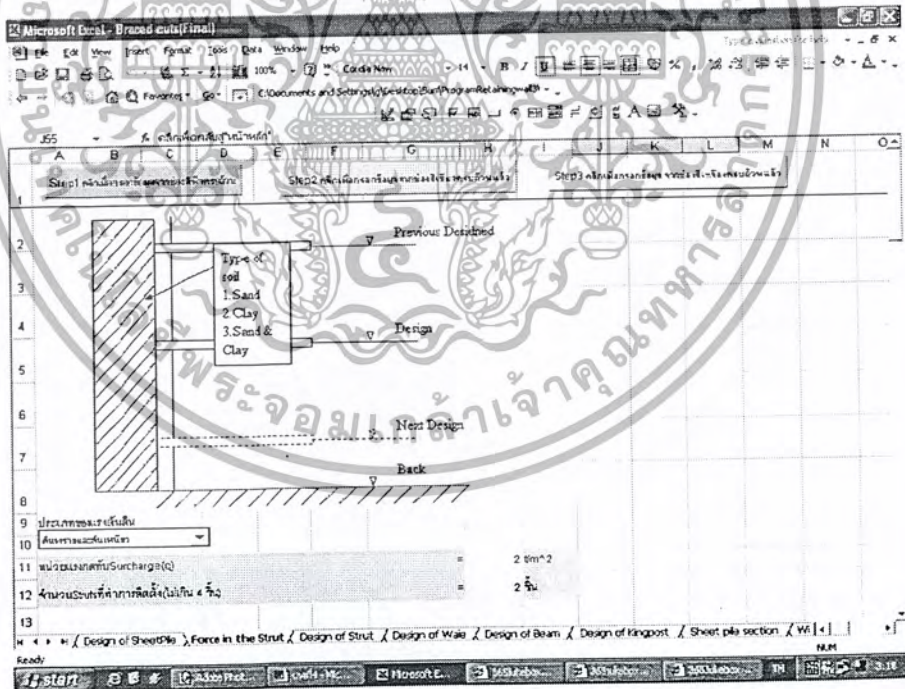
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัวอย่างเป็นอันขาดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.2. ส่วนของโปรแกรม Force in Strut



รูปที่ 4.65. การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Force in Strut

เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ “Force in Strut” โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.66 โดยมีวิธีใช้งานดังนี้



รูปที่ 4.66. หน้าจอส่วนของโปรแกรม Force in Strut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีใช้งาน(ข้อกำหนด กรอกข้อมูลในช่องสีฟ้า เท่านั้นให้ครบถ้วน

1. ทำการเลือกประเภทของดินที่พิจารณา โดยเลือกจากแถบข้อความ โดย เลือกดินประเภท ดินทราย, ดินเหนียว หรือ ดินทราย ช้อนกับดินเหนียว
2. ทำการกรอกข้อมูลในส่วนของกรอบสีม่วงให้ครบถ้วน (กรอกในช่องสีฟ้าเท่านั้น)

	A	B	C	D	E	F
1	Step1 คลิกเมื่อกรอกข้อมูลจากกรอบสีม่วงครบถ้วนแล้ว					Step2 คลิกเมื่อกรอกข้อมูลในส่วนที่2 ครบถ้วน
9	ประเภทของแรงดันดิน					
10	ดินทรายและดินเหนียว					
11	หน่วยแรงกดทับSurcharge(q)					
12	จำนวนStrutsที่ทำการติดตั้ง(ไม่เกิน 4 ชั้น)					

รูปที่4.67. หน้าจอส่วนของโปรแกรม Force in Strut ในหัวข้อ 1 ถึง 3

3. เมื่อกรอกข้อมูลครบถ้วนแล้ว ทำการคลิกปุ่ม “Step1 คลิกเมื่อกรอกข้อมูลในกรอบสีม่วงครบถ้วนแล้ว”
4. ทำการกรอกข้อมูลในส่วนของกรอบสีเขียวให้ครบถ้วน (กรอกในช่องสีฟ้าเท่านั้น)
5. เมื่อกรอกข้อมูลครบถ้วนแล้ว ทำการคลิกปุ่ม “Step2 คลิกเมื่อกรอกข้อมูลในกรอบสีเขียวครบถ้วนแล้ว”

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	Step1 คลิกเมื่อกรอกข้อมูลจากกรอบสีม่วงครบถ้วนแล้ว					Step2 คลิกเมื่อกรอกข้อมูลจากกรอบสีเขียวครบถ้วนแล้ว				
14	ความหนาของชั้นดินเหนียว								=	3 m
15	หน่วย นน.ของชั้นดิน								=	2 t/m <sup>3</sup>
16	หน่วยแรงยึดเหนี่ยวภายใน								=	2 t/m <sup>2</sup>
17	qu=								=	3
18									=	
19	ความหนาของชั้นทราย								=	2 m
20	หน่วย นน.ของชั้นดิน								=	1.5 t/m <sup>3</sup>
21	มุมเสียดทานภายใน								=	30 °
22									=	
23	cav= (γsKsHs <sup>2</sup> tanos+(H-Hs)n'qu)/(2H)								=	1.02 t/m <sup>2</sup>
24	ya= (γsHs+(H-Hs)γc)/H								=	1.8 t/m <sup>3</sup>

รูปที่4.68. หน้าจอส่วนของโปรแกรม Force in Strut ในหัวข้อ 4 ถึง 5

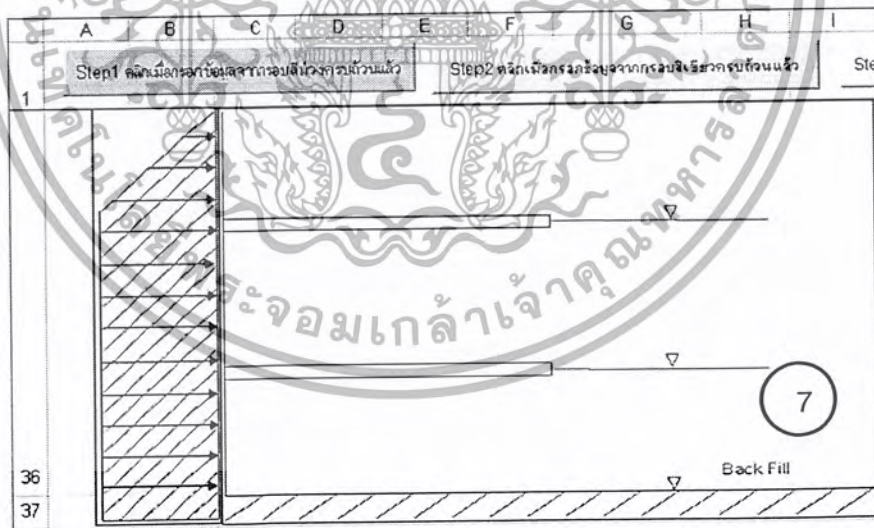
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อทำการคลิกปุ่มแล้ว จะปรากฏรายการคำนวณ ค่าความดันดินที่จะต้องนำมาพิจารณาต่างๆ ในช่องสี่เหลี่ยม

25	ตรวจสอบกรณีของรูปแบบแรงดันดิน	
26	$\gamma H/c =$	8.811 > 4
27		
28	Soft to Medium Clay, $p_a = \gamma H[1 - 4c(\gamma H)] + q$ or $p_a = 0.3\gamma H + q$ (เลือกค่ามากในการออกแบบ)	
29	$p_a = \gamma H[1 - 4c(\gamma H)]$	= 4.914359 $\text{t/m}^2$
30	$p_a = 0.3\gamma H$	= 2.7 $\text{t/m}^2$
31	ดังนั้น $p_a =$	= 4.914359 $\text{t/m}^2$
32	$p_a + q =$	= 6.914359 $\text{t/m}^2$
33		
34		6
35		

รูปที่ 4.69. หน้าจอส่วนของโปรแกรม Force in Strut ในหัวข้อ 6

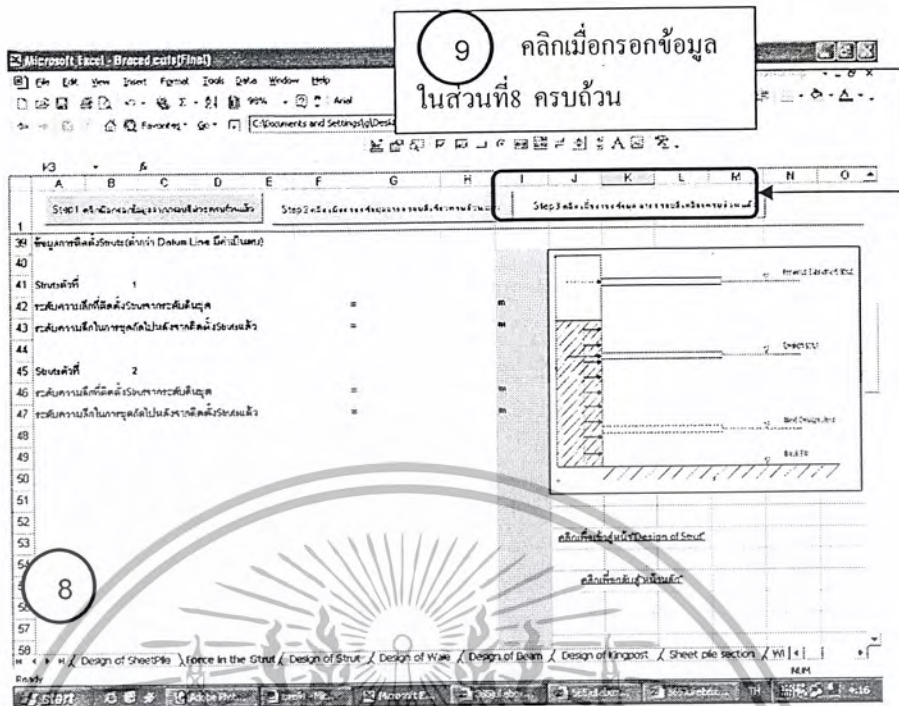
7. ภาพประกอบของแรงดันดิน และ Strut ที่จะทำการออกแบบ มาจากการวิเคราะห์ชั้นดิน ในหัวข้อ ด้านบน และข้อมูลที่ใช้ได้ทำการกรอก



รูปที่ 4.70. หน้าจอส่วนของโปรแกรม Force in Strut ในหัวข้อ 7

8. จากนั้นผู้ใช้ทำการกรอกข้อมูลการติดตั้ง Strut ที่ได้แสดงไว้ บนกรอบสี่เหลี่ยม โดยการกรอกข้อมูล ให้เป็นไปตามภาพประกอบทางด้านข้างของตัวโปรแกรม

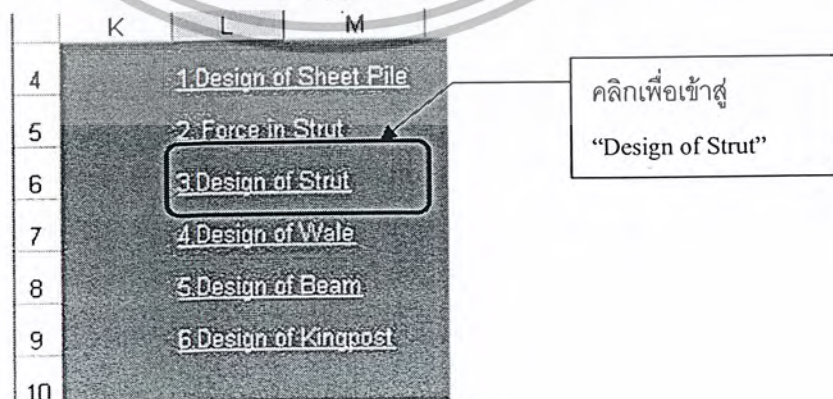
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตั้งร่ำอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.71 หน้าจอส่วนของ โปรแกรม Force in Strut ในหัวข้อ 8 ถึง 9

9. เมื่อกรอกข้อมูลครบถ้วนแล้ว ทำการคลิกปุ่ม “Step3 คลิกเมื่อกรอกข้อมูลในกรอบสี่เหลี่ยมครบถ้วนแล้ว”
10. เมื่อทำการคลิกปุ่มแล้ว จะปรากฏค่าแรงกระทำตามแนวแกนต่อตัว Strut แต่ละตัว โดยผู้ใช้สามารถนำค่าเหล่านี้ไปออกแบบ Strut ในส่วนของโปรแกรม “Design of Strut”

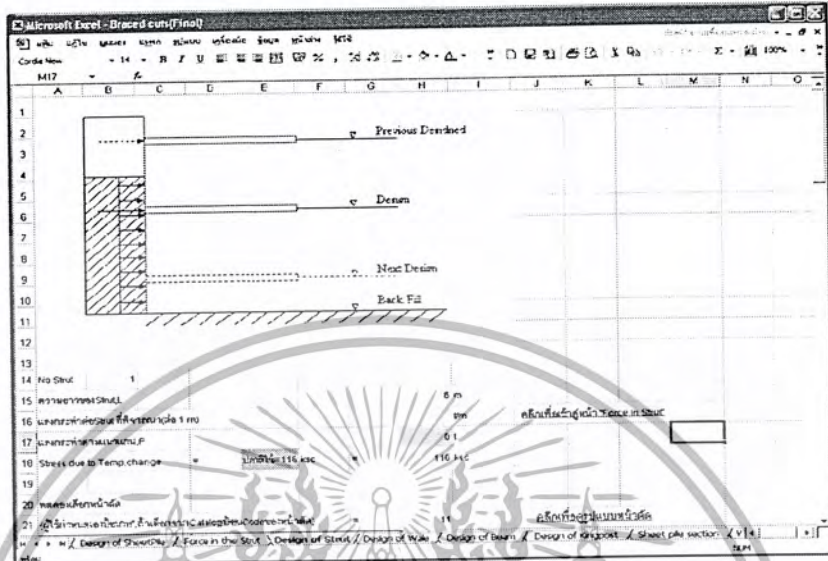
#### 4.5.3 ส่วนของโปรแกรม Design of Strut



รูปที่ 4.72. การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Design of Strut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

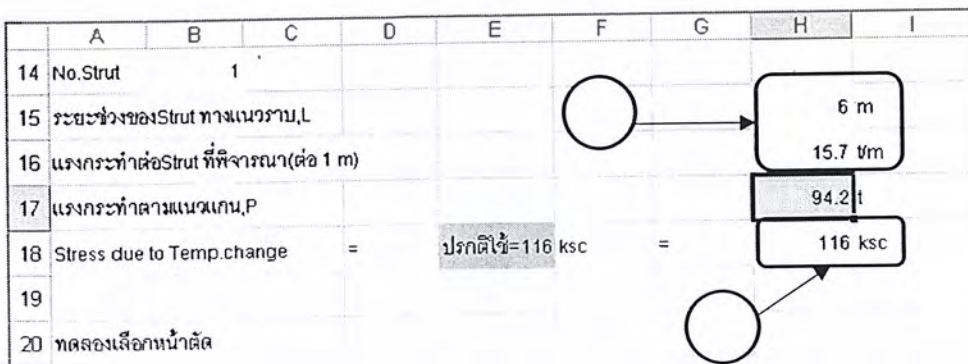
เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ “Design of Strut” โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.73 โดยมีวิธีใช้งานดังนี้



รูปที่4.73. หน้าจอส่วนของโปรแกรม Design of Strut

วิธีใช้งาน (ข้อกำหนด กรอกข้อมูลในช่องสีฟ้าเท่านั้นให้ครบถ้วน)

1. ทำการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับตัว Strut คือ ระยะช่วงของStrut ทางแนวราบ(L) และ แรงกระทำต่อ Strut ที่พิจารณา(ต่อ 1 m) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากรายการคำนวณในส่วนของ “Force in Strut” ซึ่งเมื่อทำการกรอกข้อมูลทั้ง2ค่าครบถ้วนแล้ว โปรแกรมจะแสดงค่า”แรงกระทำตามแนวแกน(P)” ในช่อง “H17”
2. ทำการกรอกข้อมูล “Stress due to Temp change” ซึ่งมีค่านำเข้าเท่ากับ116 ksc



รูปที่4.74. หน้าจอส่วนในการกรอกข้อมูล Design of Strut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการทดลองเลือกหน้าตัด ผู้ใช้สามารถเลือกจากรายการ โดยการคลิกที่ข้อความ “คลิกเพื่อดูรูปแบบหน้าตัด” จากนั้นจำ Code ของหน้าตัดที่ต้องการนำมาทดลอง กรอกลงในช่อง “H21” หรือผู้ใช้จะเลือกหน้าตัดขึ้นมาเอง โดยการป้อน “m” ลงในช่อง “H21”แล้วทำการกรอกข้อมูล ในช่อง “A25”ถึง “G25” ให้ครบถ้วนแทน

	A	B	C	D	E	F	G	H	
20	ทดลองเลือกหน้าตัด								
21	(ผู้ใช้กำหนดเองป้อน"m"ถ้าเลือกจากCatalogป้อนCodeของหน้าตัด)						=	11	←
22	Name		Area		Radius of Gyration, cm				
23			cm <sup>2</sup>		rx	ry			
24	WF 300x300x10x15(94kg)		119.8		13.1	7.51			
25									

รูปที่4.75. หน้าจอส่วนในทดลองเลือกหน้าตัด Design of Strut โดยผู้ใช้เลือกจากรายการหน้าตัด

	A	B	C	D	E	F	G	H	
20	ทดลองเลือกหน้าตัด								
21	(ผู้ใช้กำหนดเองป้อน"m"ถ้าเลือกจากCatalogป้อนCodeของหน้าตัด)						=	m	←
22	Name		Area		Radius of Gyration, cm.				
23			cm <sup>2</sup>		rx	ry			
24	Type of Wind Flank		ป้อนในหน่วย cm <sup>2</sup>		cm		cm		
25	300x300x20		143		21	10			

รูปที่4.76. หน้าจอส่วนในทดลองเลือกหน้าตัด Design of Strut โดยผู้ใช้เลือกหน้าตัดมาเอง

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
2	Code	Name	Dimension ,mm					Sectional	Weight
3	คลิกเพื่อ	"Design of Strut"						Area	
4	กลับสู่	"Design of Wale"	d	b	t	t	r	cm <sup>2</sup>	kg/m
5	1	WF 588x300x12x20(151kg)	588	300	12	20	28	192.5	151
6	2	WF 400x400x13x21(172kg)	400	400	13	21	22	218.7	172
7	3	WF 488x300x11x18(128kg)	488	300	11	18	20	163.5	128
8	4	WF 600x200x11x17(106kg)	600	200	11	17	22	134.4	106
9	5	WF 440x300x11x18(124kg)	440	300	11	18	24	157.4	124
10	6	WF 350x350x12x19(136kg)	350	350	12	19	20	173.9	136
11	7	WF 330x300x10x16(107kg)	330	300	10	16	22	136.0	107

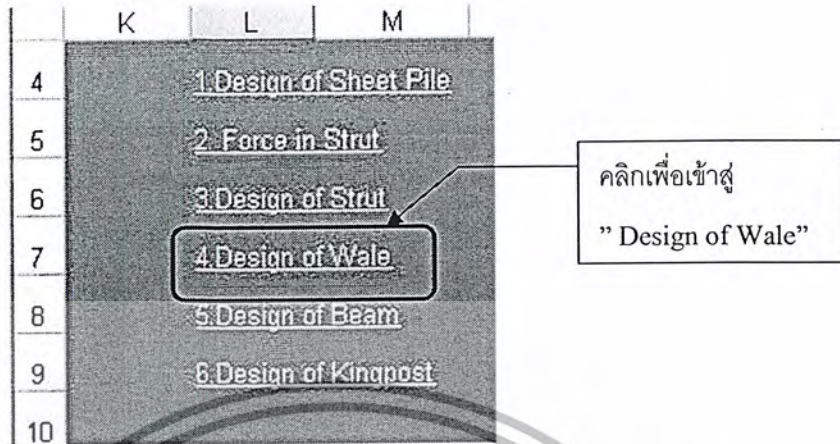
รูปที่4.77. หน้าจอส่วนในทคตลงเลือกหน้าตัด Design of Strut ตารางรายการแสดง Code

4. จากนั้น โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณ ในการตรวจสอบหน้าตัดที่เลือกว่าจะเกิดความเกินตามแนวแกนขึ้นเท่าไร เพื่อให้ผู้ใช้เปรียบเทียบกับค่าความเกินยอมให้ ที่ผู้ใช้กำหนดเอง

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
27	$P/A + I_x$	=		774.74 ksc					
28									4
29	For X-axis								
30	$L/r_x$	=		28.571 ksc		$F_a =$		1400 ksc	
31	$F_a =$	1400	>	774.74 ksc					
32									
33	For Y-axis								
34	$L/r_y$	=		60.000 ksc		$F_a =$		1348 ksc	
35	$F_a =$	1348	>	774.74 ksc					
36									

รูปที่4.78. หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Strut

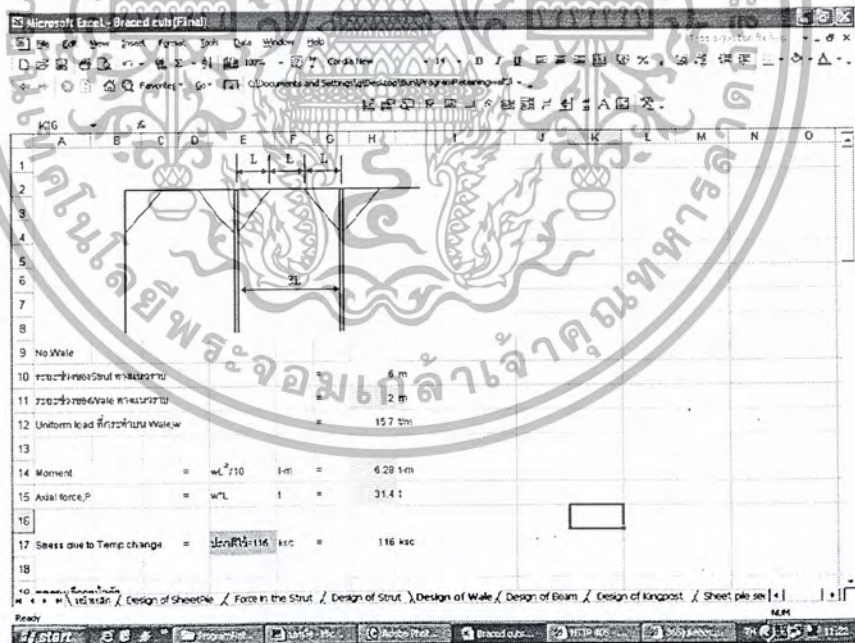
#### 4.5.4. ส่วนของโปรแกรม Design of Wale



รูปที่ 4.79. การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Design of Wale

เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ "Design of Wale" โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.80 โดยมี

วิธีใช้งานดังนี้



รูปที่ 4.80. หน้าจอส่วนของ โปรแกรม Design of Wale

1. ทำการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับตัว Wale คือ ระยะช่วงของ Strut ทางแนวราบ(L) และ แรงกระทำต่อ

Wale ที่พิจารณา(ต่อ 1 m) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากรายการคำนวณในส่วนของ "Force in Strut" ซึ่งเมื่อทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ 180 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกรอกข้อมูลทั้ง2ค่า โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณ ค่าโมเมนต์คัตสูงสุด และค่าแรงใน  
แนวแกน

- ทำการกรอกข้อมูล “Stress due to Temp change” ซึ่งมีค่าแนะนำเท่ากับ116 ksc

	A	B	C	D	E	F	G	H
9	No.Wale	1						
10	ระยะช่วงของStrut ทางแนวราบ					=	6 m	1
11	ระยะช่วงของWale ทางแนวราบ					=	2 m	
12	Uniform load ที่กระทำบน Wale,w					=	15.7 t/m	
13								
14	Moment			=	$wL^2/10$	t-m	=	6.28 t-m
15	Axial force,P			=	$w*L$	t	=	31.4 t
16								
17	Stress due to Temp.change			=	ปกรกติใช้=116	ksc	=	116 ksc
18								

รูปที่4.81. หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Wale

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
19	ทดลองเลือกหน้าตัด								3
20	ผู้ใช้กำหนดเองป้อน“m” ถ้าเลือกจากCatalogป้อนCodeของหน้าตัด=							11	
21	Name	Area		Radius of Gyration(ry), cm.		Section Modulus(Zx), cm.			
22	WF 300x300x10x15(94kg)	119.8		7.51		1360			
23									

รูปที่4.82. หน้าจอส่วนในทดลองเลือกหน้าตัด Design of Wale

- ทำการทดลองเลือกหน้าตัด ผู้ใช้สามารถเลือกจากรายการ โดยการคลิกที่ข้อความ “คลิกเพื่อดูรูปแบบหน้าตัด” จากนั้นจำ Code ของหน้าตัดที่ต้องการนำมาทดลอง กรอกลงในช่อง”H20” หรือผู้ใช้จะเลือกหน้าตัดขึ้นมาเอง โดยการป้อน “m” ลงในช่อง “H20”แล้วทำการกรอกข้อมูล ในช่อง “A23”ถึง “G23” ให้ครบถ้วนแทน
- จากนั้น โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณ ในการตรวจสอบหน้าตัดที่เลือกว่าจะเกิดความเค้นตามแนวแกนขึ้น และความเค้นคัตเท่าไร เพื่อให้ผู้ใช้เปรียบเทียบกับค่าความเค้นยอมให้ ที่ผู้ใช้กำหนดเอง

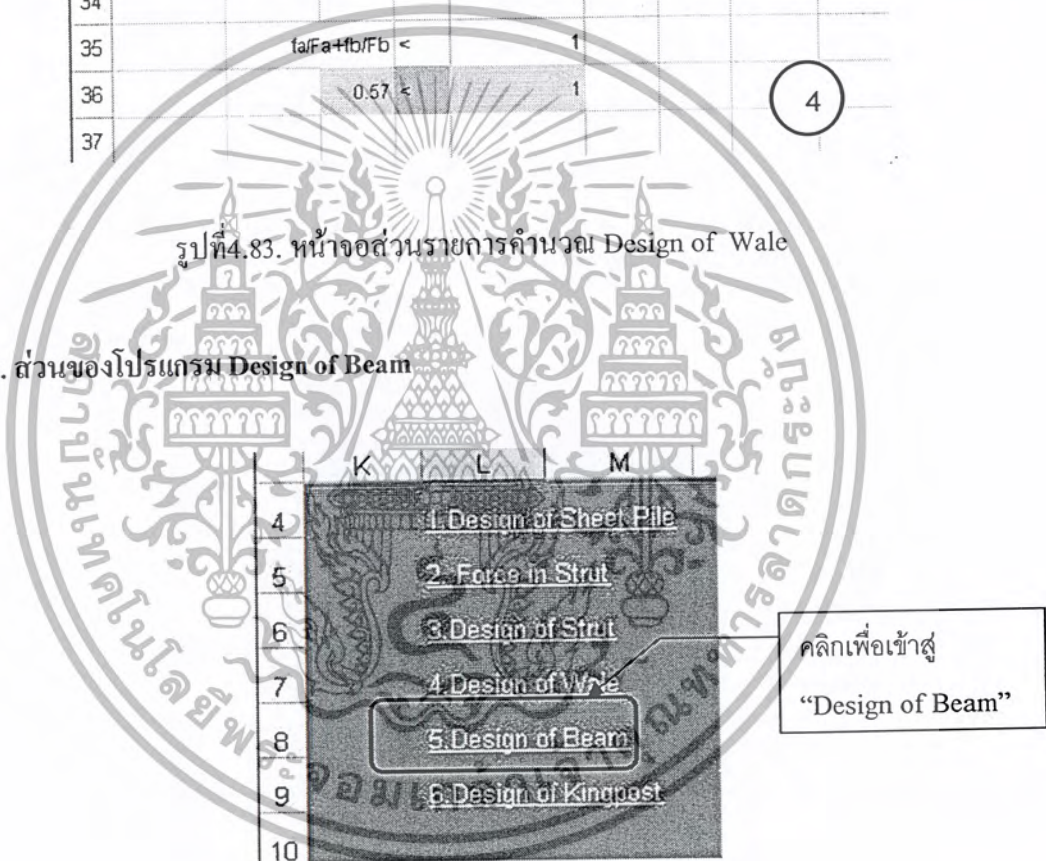
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H
25	L/r			=	0.266		Fa=	1420 ksc
26	P/A			=	262 ksc		Fb=	1500 ksc
27	M/Z			=	462 ksc			
28								
29	fa			=	$P+H_{\Delta}$			ksc
30				=	378 ksc			
31								
32	fb			=	M/Z			ksc
33				=	462 ksc			
34								
35				$fa/Fa+fb/Fb <$				1
36				$0.67 <$				1
37								

4

รูปที่ 4.83. หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Wale

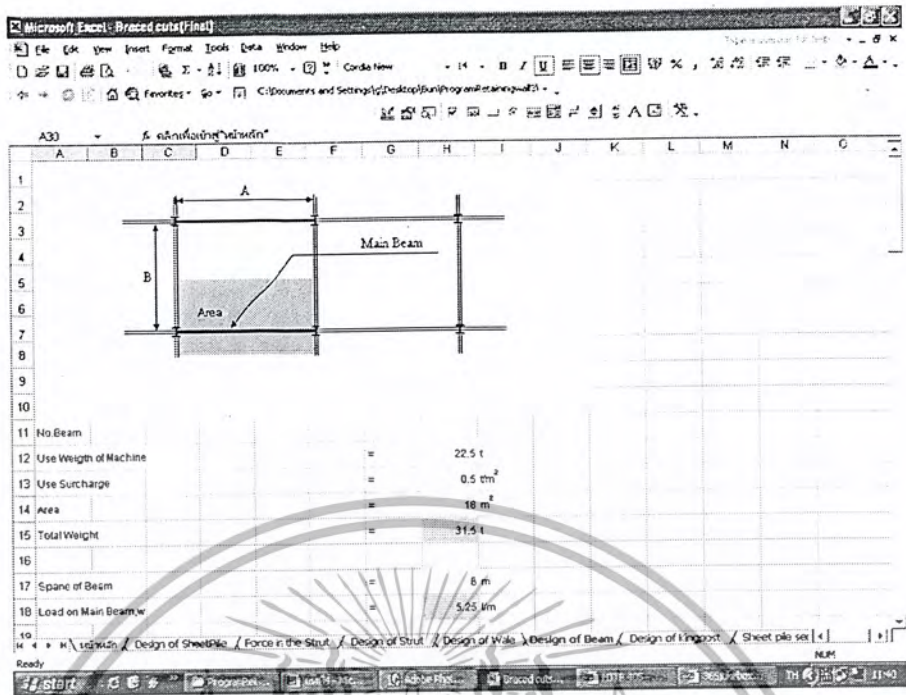
4.5.5. ส่วนของโปรแกรม Design of Beam



รูปที่ 4.84. การเลือกใช้งานส่วนโปรแกรม Design of Beam

เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ “Design of Beam” โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.85 โดยมีวิธีใช้งานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตัวอักษรอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.85. หน้าจอส่วนของโปรแกรม Design of Beam

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
11	No. Beam								
12	Use Weight of Machine								22.5 t
13	Use Surcharge								0.5 tm <sup>2</sup>
14	Area								18 m <sup>2</sup>
15	Total Weight								31.5 t
16									
17	Spane of Beam								6 m
18	Load on Main Beam, w								5.25 tm

รูปที่ 4.86. หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Beam

1. ทำการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับตัว Beam คือ น้ำหนักของเครื่องจักรใช้งาน, น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่, พื้นที่รับน้ำหนัก และระยะช่วงของกาน
2. ทำการทดลองเลือกหน้าตัด ผู้ใช้สามารถเลือกจากรายการ โดยการคลิกที่ข้อความ “คลิกเพื่อดูรูปแบบหน้าตัด” จากนั้นจำ Code ของหน้าตัดที่ต้องการนำมาทดลอง กรอกลงในช่อง “H21” หรือผู้ใช้จะเลือกหน้าตัดขึ้นมาเอง โดยการป้อน “m” ลงในช่อง “H21” แล้วทำการกรอกข้อมูล ในช่อง “A25” ถึง “G25” ให้ครบถ้วนแทน

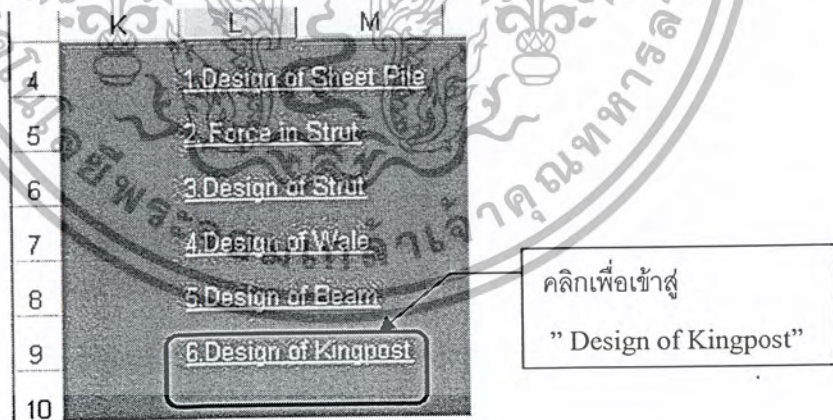
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้น โปรแกรมจะแสดงรายการคำนวณ ในการตรวจสอบหน้าตัดที่เลือกว่าจะเกิด ความเค้นคดเท่าไร เพื่อให้ผู้ใช้เปรียบเทียบกับค่าความเค้นยอมให้ ที่ผู้ใช้กำหนดเอง

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
20	ทดลองเลือกหน้าตัด									
21	(ผู้ใช้กำหนดเองป้อน"m",ถ้าเลือกจากCatalogป้อนCodeของหน้าตัด)						=		11	
22	Name		Area		Elastic Modulus, cm.					
23			cm <sup>2</sup>		Sx		Sy			
24	WF 300x300x10x15(94kg)		119.8		1360		450			
25										
26										
27	Moment, M =	$wL^2/10$		=			=	18.9 t-m		
28	fb	=	$M/Sx$	=			=	1390 ksc		
29	Fb	=	ksc	<=	1390 ksc				2	
30										

รูปที่ 4.87. หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Beam

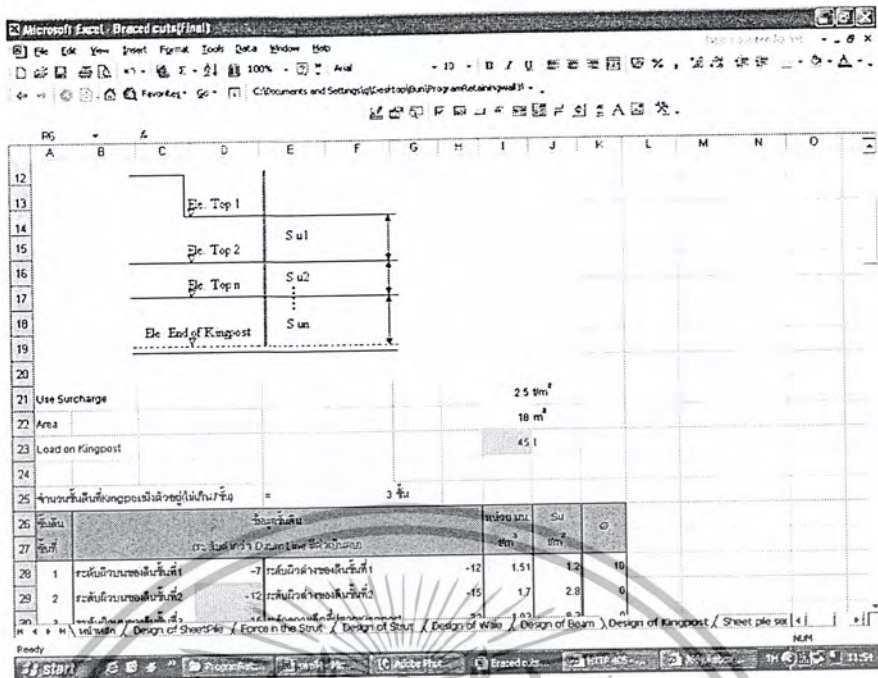
4.5.6. ส่วนของโปรแกรม Design of Kingpost



รูปที่ 488. การเลือกใช้งานส่วน โปรแกรม Design of Kingpost

เมื่อผู้ใช้คลิกเลือกที่ “Design of Kingpost” โปรแกรมจะนำเข้าสู่หน้าจอตามรูปที่ 4.89 โดยมีวิธีใช้งานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ 184 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.89. หน้าจอส่วนของโปรแกรม Design of Kingpost

	A	B	C	D	E	F	G	H	J	J	K
21										2.5 ๓m <sup>2</sup>	
22										18 ๓m <sup>2</sup>	
23										45 t	
24											
25											3 ชั้น
26										หน่วย นน.	Su
27										๓m <sup>3</sup>	๓m <sup>2</sup>
											Ø
28	1	ระดับผิวบนของดินชั้นที่ 1	-7	ระดับผิวล่างของดินชั้นที่ 1	-12	1.51	1.2	10			
29	2	ระดับผิวบนของดินชั้นที่ 2	-12	ระดับผิวล่างของดินชั้นที่ 2	-15	1.7	2.8	0			
30	3	ระดับผิวบนของดินชั้นที่ 3	-15	ระดับผิวความลึกที่ปลาย Kingpost	-22	1.93	8.3	0			
31											
32											
33											
34											

รูปที่ 4.90. หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Kingpost ข้อมูลชั้นดิน

1. ทำการกรอกข้อมูลเกี่ยวกับตัว น้ำหนักบรรทุกคง และ พื้นที่รับน้ำหนัก จากนั้นทำการกรอกข้อมูลชั้นดินที่ Kingpost เจาผ่าน ในตารางคำนวณ
2. กรอกข้อมูลเกี่ยวกับชนิด และคุณสมบัติของเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ 185 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	2
37	ชนิดของเสาเข็ม		คอนกรีต		
38	Name		Arera(A)	เส้นรอบรูป(R)	ส่วนแฉกสุด(B)
39			cm <sup>2</sup>	cm	cm
40			120	100	20
41					

รูปที่4.91. หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Kingpost คุณสมบัติเสาเข็ม

3. กรอกข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ที่จะใช้ในสมการคำนวณค่าการรับแรงของเสาเข็ม โดยโปรแกรมจะแสดงค่าแนะนำไว้ให้

	A	B	C	D	E	F	G	H
47	ชั้นดิน	มุมเสยสทาบ $\alpha$	สัมประสิทธิ์ $\beta$		สัมประสิทธิ์ $K_s$			
48		มีค่าประมาณ 20°	เลือกจากกราฟ		มีค่าประมาณ 0.5-1.0			
49	ชั้นที่	ความหนา	ผู้ใช้เลือก	ค่าแนะนำ	ผู้ใช้เลือก	ผู้ใช้เลือก		
50	1	20	20	1.039	1.038	1.5		
51	2	20	20	0.822	0.9	1.5		
52	3	20	20	0.399	0.399	1.5		
53								
54								
55								
56								3
57								

รูปที่4.92. หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Kingpost สัมประสิทธิ์ของสมการคำนวณ

4. จากนั้น โปรแกรมจะแสดงผลค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม เพื่อให้ผู้ใช้เปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักแบกทานที่เข็มต้องรับ

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
59	พื้นที่				qb	qf		4	
60	ค่า	Nc	Nq	N <sub>V</sub>	tm <sup>2</sup>	tn			
61	1	8.35	2.47	1.22	31.82	26.8378145			
62	2	5.14	1	0	23.81	17.0723169			
63	3	5.14	1	0	68.9706	111.938798			
64									
65									
66									
67									
68				Total	124.60	155.848929			
69									
70	Qb=	A*qb					=		14.9522
71	Qf=	R*qf					=		155.849
72	F.S. <sub>o</sub> =						=		3
73	F.S. <sub>o</sub> =	(Qb/F.S. <sub>o</sub> +Qf)/Q <sub>u</sub>					=		3.57407
74									

รูปที่ 4.93. หน้าจอส่วนรายการคำนวณ Design of Kingpost คำนวณน้ำหนักแบกทาน



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทนำ

โปรแกรม วิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างกันดิน ทั้ง 3 โปรแกรม เป็น โปรแกรมที่ใช้ ในการออกแบบและวิเคราะห์กำแพงกันดิน โดยอาศัยทฤษฎีที่ศึกษาในระดับปริญญาตรีเป็นส่วนใหญ่ เพื่อให้ผู้ใช้ สามารถเข้าใจในหลักทฤษฎี และสามารถตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ได้ด้วยตัวเอง

#### 5.2 สรุปผล

โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาั้นเหมาะสำหรับนำไปใช้ ในการออกแบบ กำแพงกันดิน ประเภทคานยื่น, กำแพงกันดินประเภท Gravity และ Cantilever, กำแพงกันดินประเภท Braced Cuts โดยในภาคผนวก ได้แสดงการเปรียบเทียบรายการคำนวณ ระหว่าง ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยมือ และ ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม โดยจะพบว่า ผลที่ได้ มีความใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ดี โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาี้ ยังเป็นเพียงเครื่องมือที่ช่วยวิศวกรในการคำนวณ และให้ผลเป็นไปตาม ทฤษฎีเท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว จำเป็นต้องอาศัยปัจจัยอื่น ที่นอกเหนือจากผลการคำนวณทางทฤษฎี เข้ามาประกอบการตัดสินใจ

เนื่องจากผู้พัฒนา ยังขาดประสบการณ์ ในการออกแบบงานจริง และมีข้อจำกัดในด้าน เวลา ทำให้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาี้ ยังคงมีข้อจำกัดต่างๆ ดังนี้

1. โปรแกรมไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ในกรณีที่ผู้ใช้งาน ป้อนข้อมูลที่ไม่สมจริง ดังนั้นผู้ใช้งานควรจะต้องเป็นผู้มีความรู้พอสมควร ในเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลดิน และการออกแบบ โครงสร้างกันดิน
2. โปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมที่เน้นใช้งานทางด้านเอกสาร จึงมีข้อจำกัดในความยืดหยุ่นของการใช้งาน ดังนั้น ผู้ใช้จึงควรศึกษาคู่มือการใช้งาน และกรอกข้อมูลตามที่โปรแกรม ต้องการอย่างครบถ้วน เพื่อมิให้เกิดข้อผิดพลาดในกระบวนการทำงานของโปรแกรม
3. การแสดงผลทางด้านกราฟฟิกของโปรแกรม Microsoft Excel ไม่สามารถปรับเปลี่ยนตามผลของ การคำนวณที่เปลี่ยนไปได้ ดังนั้น ภาพที่แสดงระยะต่างๆ จึงไม่ใช่อัตราส่วนจริง ครข้อมูลปรากฏ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจัดทำโครงการครั้งนี้ ผู้จัดทำ ได้พบกับปัญหา และอุปสรรคต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะได้ดังนี้

1. จำเป็นต้องทำการศึกษาทฤษฎีที่ใช้ ให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ ก่อนที่จะเริ่มทำการพัฒนาโปรแกรม เพื่อป้องกันการเกิดข้อผิดพลาด และทำให้ไม่เสียเวลาในการกลับมาแก้ไขใหม่
2. ควรมีการวางแผนก่อนที่จะเริ่มทำการพัฒนาโปรแกรม เช่น การกำหนดขอบเขต และองค์ประกอบต่างๆของโปรแกรม เพื่อที่จะได้กำหนดแนวทางของโปรแกรมที่จะทำการพัฒนาต่อไป
3. ในการเขียนโปรแกรม ควรจะแยกการทำงานของโปรแกรม ให้เป็นสัดส่วนย่อย อย่างเป็นระบบ เพื่อให้ง่ายต่อการเรียกใช้ และสามารถตรวจสอบข้อผิดพลาด รวมทั้งทำการแก้ไขได้ง่าย

อย่างไรก็ตาม ขณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะที่กล่าวมาข้างต้น จะเป็นประโยชน์ต่อผู้นำโปรแกรมไปใช้งาน ผู้ที่ต้องการศึกษาแนวคิดของโปรแกรม เพื่อที่จะนำไปพัฒนาโปรแกรมใหม่ หรือผู้ที่ต้องการที่จะนำโปรแกรมเดิมนี้ออกไปพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

- บุญเทพ นานะกรังสรรค, 2539. Foundation engineering and tunnelling. 3000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไลบรารีนาถ.
- มานะ อภิปัทธนะมนตรี, 2543. วิศวกรรมปฐพีและฐานราก. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- วันชัย เทพรักษ์, 2534. การสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง งานฐานราก และงานก่อสร้างใต้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- Bowles, J.E., 1996. Foundation analysis and design. Fifth Edition. New York : McGraw-Hill.
- Das, B.M., 1994. Principles of geotechnical engineering. Third Edition. Boston : PSW PUBLISHING.
- Das, B.M., 1999. Principles of foundation engineering. Fourth Edition. Boston : PSW PUBLISHING.



## บรรณานุกรม

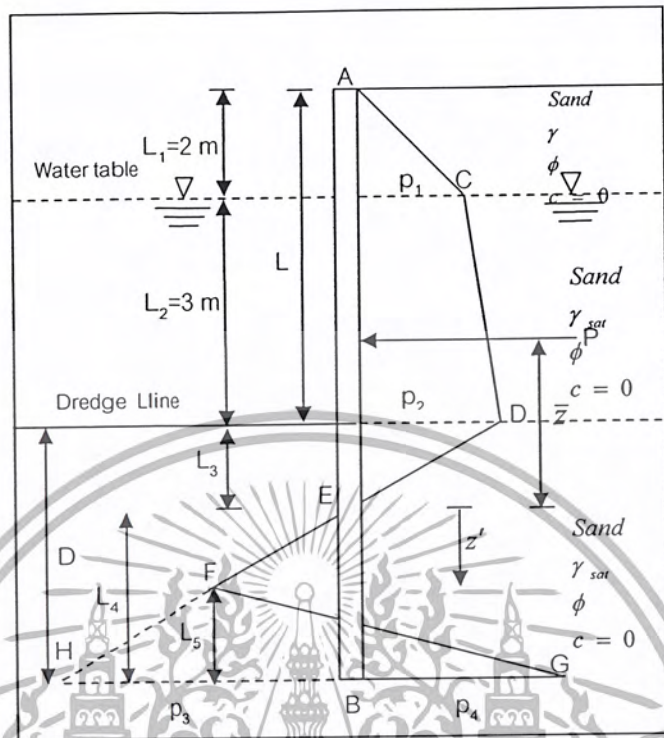
- กรภัทร์ สุทธิคารา, 2543. Basic & Advanced Excel 2000. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส.
- บุญเทพ นานะรังสรรค์, 2539. Foundation engineering and tunnelling. 3000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไลบรารีนาย.
- มนเชียร กังสดีเทียม, 2543. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 9. นนทบุรี : สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- มานะ อภิพัฒนะมนตรี, 2543. วิศวกรรมปฐพีและฐานราก. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.
- วรรณิ สุขสาตร, 2540. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โพธิ์เพช.
- วันชัย เทพรัักษ์, 2534. การสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง งานฐานราก และงานก่อสร้างใต้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์.
- สถาพร คูวิจิตรจรรู, 2541. ทดลองปฐพีกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไลบรารีนาย.
- สุพจน์ ศรีนิล, เหลลมทอง เหล่าคงถาวร และชลธิ เร้นบ้านเกาะ, 2544. คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพีกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Bowles, J.E., 1996. Foundation analysis and design. Fifth Edition. New York : McGraw-Hill.
- Das, B.M., 1994. Principles of geotechnical engineering. Third Edition. Boston : PSW PUBLISHING.
- Das, B.M., 1999. Principles of foundation engineering. Fourth Edition. Boston : PSW PUBLISHING.

## ภาคผนวก ก

การเปรียบเทียบผลการคำนวณ วิเคราะห์ และออกแบบ กำแพง  
กันดินประเภท Cantilever Sheet pile โดยการคำนวณด้วยตัว  
ผู้ใช้งาน กับ ผู้ใช้อาศัยโปรแกรม Cantilever Designed

- ก1. ตัวอย่างที่ 1 ข้อมูลในการออกแบบ
- ก5. รายการคำนวณการออกแบบ

ตัวอย่าง 1



รูปที่ผ.ก.1 แสดงถึงกำแพงเข็มปักแบบยื่นที่ฝังลงในดิน ตามตัวอย่างที่ 1

รูปที่ผ.ก.1. แสดงถึงกำแพงเข็มปักแบบยื่นที่ฝังลงในดิน ซึ่ง  $L_1 = 2 \text{ m}$ ,  $L_2 = 3 \text{ m}$ ,  $\gamma = 15.9 \text{ kN/m}^3$ , และ  $\phi = 32^\circ$

- ค่าความลึกทางทฤษฎีของดินถมมีค่าเท่าไร
- สำหรับการเพิ่มขึ้น 30% ของค่า D, ความยาวรวมของเข็มปักควรจะเป็นเท่าไร
- ค่า Section modulus น้อยที่สุดของเข็มปักควรจะเป็นเท่าไร

$$\sigma = 172 \text{ MN/m}^2$$

ขั้นตอนการทำ

ข้อ a.

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) = \tan^2\left(45 - \frac{32}{2}\right)$$

$$= 0.307$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = \tan^2\left(45 + \frac{32}{2}\right)$$

$$= 3.25$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและทำซ้ำอย่างอื่นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
p_1 &= \gamma L_1 K_a = (15.9)(2)(0.307) \\
&= 9.763 \text{ kN/m}^2 \\
p_2 &= (\gamma L_1 + \gamma L_2) K_a = [(15.9)(2) + (19.33 - 9.81)(3)](0.307) \\
&= 18.53 \text{ kN/m}^2 \\
L_3 &= \frac{p_2}{\gamma'(K_p - K_a)} = \frac{18.53}{(19.33 - 9.81)(3.25 - 0.307)} \\
&= 0.66 \text{ m} \\
P &= \frac{1}{2} p_1 L_1 + p_1 L_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) L_2 + \frac{1}{2} p_2 L_3 \\
&= \left(\frac{1}{2}\right)(9.763)(2) + (9.763)(3) + \left(\frac{1}{2}\right)(18.53 - 9.763)(3) + \left(\frac{1}{2}\right)(18.53)(0.66) \\
&= 58.32 \text{ kN/m} \\
\bar{z} &= \frac{\sum M_E}{P} = 2.23 \text{ m} \\
p_5 &= (\gamma L_1 + \gamma L_2) K_p + \gamma L_3 (K_p - K_a) \\
&= (15.9)(2) + (19.33 - 9.81)(3)(3.25) + (19.33 - 9.81)(0.66)(3.25 - 0.307) \\
&= 214.66 \text{ kN/m}^2 \\
A_1 &= \frac{p_5}{\gamma'(K_p - K_a)} = \frac{214.66}{(19.33 - 9.81)(3.25 - 0.307)} \\
&= 7.66 \\
A_2 &= \frac{8P}{\gamma'(K_p - K_a)} = \frac{(8)(58.32)}{(19.33 - 9.81)(3.25 - 0.307)} \\
&= 16.65 \\
A_3 &= \frac{6P[2\bar{z}\gamma'(K_p - K_a) + p_5]}{\gamma'^2(K_p - K_a)^2} \\
&= \frac{(6)(58.32)[(2)(2.23)(19.33 - 9.81)(3.25 - 0.307) + 214.66]}{(19.33 - 9.81)^2(3.25 - 0.307)^2} \\
&= 151.93 \\
A_4 &= \frac{P(6\bar{z}p_5 + 4P)}{\gamma'^2(K_p - K_a)^2} \\
&= \frac{(58.32)(6)[(2.23)(214.66) + (4)(58.32)]}{(19.33 - 9.81)^2(3.25 - 0.307)^2} \\
&= 230.72 \\
L_4^4 + A_1 L_4^3 - A_2 L_4^2 - A_3 L_4 - A_4 &= 0
\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและนำออกจากรายชื่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_4^4 + 7.66L_4^3 - 16.55L_4^2 - 15193L_4 - 230.72 = 0$$

ดังนั้น  $L_4 = 4.8 \text{ m}$

$$\begin{aligned} D_{theory} &= L_3 + L_4 \\ &= 0.66 + 4.8 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าของ  $D_{theory} = 5.46 \text{ m}$

ข้อ b.

$$\begin{aligned} L_1 + L_2 + 1.3(L_3 + L_4) &= 2 + 3 + 1.3(5.46) \\ \text{ความยาวรวมเมื่อเพิ่มค่า } D \text{ ขึ้น } 30\% &= 12.1 \text{ m} \end{aligned}$$

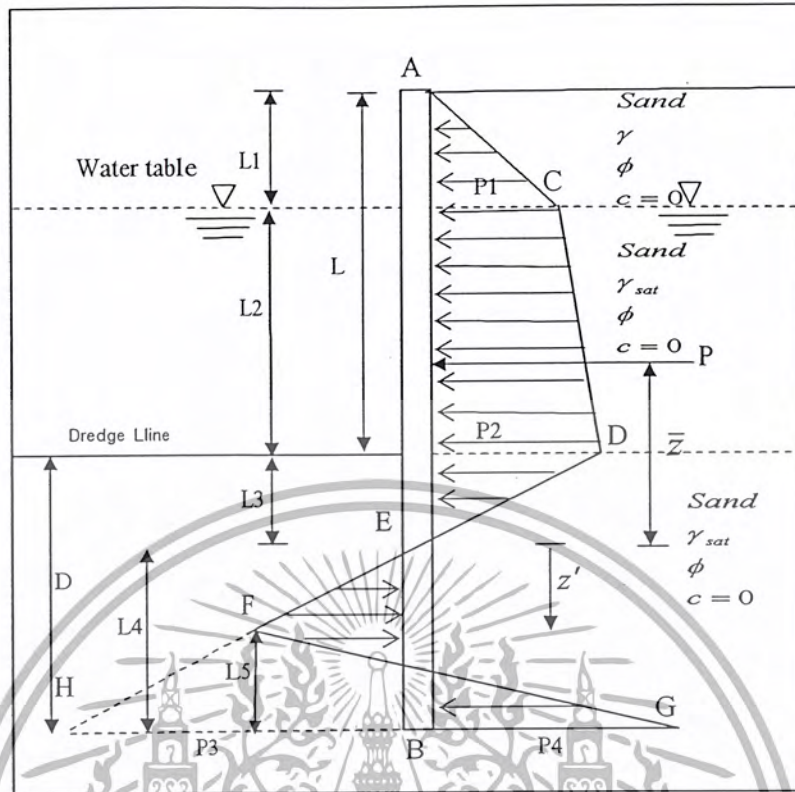
ข้อ c.

$$\begin{aligned} z' &= \frac{\sqrt{\frac{2P}{(K_p - K_a)\gamma'}}}{2} \\ &= \frac{(2)(58.32)}{\sqrt{(3.25 - 0.307)(19.33 - 9.81)}} \\ &= 2.04 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= P(\bar{z} + z') - \left[ \frac{1}{2} \gamma z'^2 (K_p - K_a) \right] \left( \frac{1}{3} \right) z' \\ &= 209.39 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{M_{\max}}{\sigma_{all}} \\ &= \frac{209.39 \text{ kN} \cdot \text{m}}{172 \times 10^3 \text{ kN/m}^2} \\ &= 1.217 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m} \text{ ของกำแพง} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้นฉบับอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หน่วยที่ใช้ (si, e)

หน่วยน้ำหนักของดินปกติจนถึงระดับน้ำใต้ดิน ( $\gamma$ )

หน่วยน้ำหนักของดินที่สามารถอิ่มตัวด้วยน้ำ ( $\gamma_{sat}$ )

ค่ามุมเสียดทานภายใน ( $\phi$ )

ความลึกของSheet Pile ที่จมอยู่ในดินก่อนถึงระดับน้ำใต้ดิน ( $L_1$ )

ความลึกของSheet Pile จากระดับน้ำใต้ดินถึงระดับดินชุด ( $L_2$ )

ค่าความเค้นที่ยอมให้ (หากไม่ต้องการหาหน้าตัดใส่ n)

si

15.9 kN/m<sup>3</sup>

19.33 kN/m<sup>3</sup>

32 °

2 m

3 m

17200 kN/m<sup>2</sup>

สัมประสิทธิ์ของ

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

สัมประสิทธิ์ของ

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

Active Pressure ( $K_a$ )

$$\tan^2(45 - 32/2)$$

Passive Pressure ( $K_p$ )

$$\tan^2(45 + 32/2)$$

0.307

3.25

แรงดันดิน ณ ตำแหน่งระดับน้ำใต้ดิน ( $p_1$ )

$$= \gamma L_1 K_a$$

$$15.9 \times 2 \times 0.307$$

9.77 kN/m<sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและหนังสืออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันดิน ณ ตำแหน่งดินซุด (p<sub>2</sub>) =  $(\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_a$   
 $[(15.9(2) + (19.33 - 9.81)(3))](0.307)$   
 18.55 kN/m<sup>2</sup>

ความลึกของ Sheet Pile จากตำแหน่งดินซุด ถึงจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์(E)(L<sub>3</sub>) =  $\frac{p_2}{\gamma'(K_p - K_a)}$   
 $\frac{18.546}{(19.33 - 9.81)(3.255 - 0.307)}$   
 0.66 m

ผลรวมแรงดันที่กระทำต่อ Sheet Pile จากระดับผิวดิน ถึงตำแหน่งจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์(P) =  $\frac{1}{2} p_1 L_1 + p_1 L_2 + \frac{1}{2} (p_2 - p_1) L_2 + \frac{1}{2} p_2 L_3$   
 $(1/2)(9.771)(2) + (9.771)(3) + (1/2)(18.546 - 9.771)(3) + (1/2)(18.546)(0.661)$   
 $9.771 + 29.312 + 13.16295619 + 6.1293$   
 58.38 kN/m

ระยะความลึกวัดจากจุดที่แรงกระทำถึงจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ ( ) =  $\frac{\sum M_p/P}{\sum ME/58.376}$   
 $\frac{2.23}{58.376}$   
 2.23 m

ระยะความลึกวัดจากจุดที่แรงดันดินเป็นศูนย์ ถึงจุดที่เกิด M<sub>max</sub>(z') =  $\frac{2P/[(K_p - K_a)\gamma']}{z'}$   
 $\frac{2(58.38)}{(19.33 - 9.81)(3.255 - 0.307)}$   
 2.04 m

p<sub>5</sub> คือผลรวมของพจน์ตามที่แสดง เพื่อจ่ายต่อการคำนวณ =  $(\gamma L_1 + \gamma' L_2) K_p + \gamma' L_3 (K_p + K_a)$   
 $(15.9 \times 2 + (19.33 - 9.81)(3))(3.25) + (19.33 - 9.81)(.661)(3.25 - .307)$   
 214.99 kN/m<sup>3</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ **ฝาก** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A1 คือผลรวมของพจน์  
ตามทีแสดง เพื่อง่ายต่อการ  
คำนวณ

$$= \frac{p5}{\frac{\gamma'(Kp-Ka)}{(19.33-9.81)(3.255-.307)}} = 7.66$$

A2 คือผลรวมของพจน์  
ตามทีแสดง เพื่อง่ายต่อการ  
คำนวณ

$$= \frac{8P}{\frac{\gamma'(Kp-Ka)}{(19.33-9.81)(3.255-.307)}} = 16.64$$

A3 คือผลรวมของพจน์  
ตามทีแสดง เพื่อง่ายต่อการ  
คำนวณ

$$= \frac{6P[2Z\gamma'(Kp-Ka)+p_s]}{\frac{\gamma''(Kp-Ka)^2}{119138.23}} = 151.33$$

A4 คือผลรวมของพจน์  
ตามทีแสดง เพื่อง่ายต่อการ  
คำนวณ

$$= \frac{P(6Zp5+4P)}{\frac{\gamma''(Kp-Ka)^2}{181573.78}} = 230.63$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและคัดลอกอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L4 คือความลึกตั้งแต่ว่าจุดที่

$$Eq \quad L_4^4 + A_1 L_4^3 - A_2 L_4^2 - A_3 L_4 - A_4 = 0$$

แรงดันเป็นศูนย์ ถึงปลาย

คลิกเพื่อ Trial หาหะระ L4

$$L_4 = 4.8 \text{ m}$$

ความยาวของSheet Pile

ความลึกSheet Pile ที่ฝังอยู่

$$= L_3 + L_4$$

ได้ระดับดินขุด(ตามทฤษฎี)

$$D_{\text{theory}}$$

(D<sub>theory</sub>)

$$5.461 \text{ m}$$

ความยาวSheet Pile สุทธิ

$$= L_1 + L_2 + 1.3(L_3 + L_4)$$

(Factor = 1.3)

$$\text{Factor} = 1.3$$

$$12.099 \text{ m}$$

M<sub>max</sub>

$$= P(z+z') \left[ \frac{1}{2} \gamma z^2 (K_p - K_a) \right] z / 3$$

$$209.577 \text{ kN-m/m}$$

Section modulus

$$= \frac{M_{\text{max}}}{\sigma_{\text{all}}}$$

$$= \frac{209.577}{17200}$$

$$= 0.01218 \text{ m}^3/\text{m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

การเปรียบเทียบผลการคำนวณ วิเคราะห์ และออกแบบ กำแพง  
กันดินประเภท Gravity & Cantilever Retaining wall  
โดยการคำนวณด้วยตัวผู้ใช้เอง กับ ผู้ใช้อาศัยโปรแกรม  
Retaining wall Designed

- ข1. ตัวอย่างที่ 2 ข้อมูลในการออกแบบ
- ข6. รายการคำนวณการออกแบบ

## ตัวอย่างที่ 2

รูปหน้าตัดของกำแพงกันดินแบบ cantilever ที่แสดงในรูปที่ผ.ข.1. จงคำนวณหาค่าความปลอดภัย (factor of safety) โดยการใช้ ตรวจสอบสำหรับการหมุนตัว (overturning) การตรวจสอบสำหรับการเลื่อนไถล (sliding) และ การตรวจสอบสำหรับความสามารถทนต่อการพังทลาย (bearing capacity)



วิธีคำนวณ

อ้างอิงไปที่รูปผ.ข.1.

$$\begin{aligned} H' &= H_1 + H_2 + H_3 \\ &= 2.6 \tan 10^\circ + 6 + 0.7 \\ &= 7.158 \text{ m} \end{aligned}$$

แรงกระทำต่อหน่วยความยาวของกำแพง ของRankine คือ 
$$P_p = \frac{1}{2} \gamma_1 H'^2 K_a$$

สำหรับ  $\phi_1 = 30^\circ$

$\alpha = 10^\circ$

$K_a$  เท่ากับ 0.350 ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 P_a &= \frac{1}{2}(18)(7.158)^2(0.35) = 161.4 \text{ kN/m} \\
 P_v &= P_a \sin 10^\circ = 28.03 \text{ kN/m} \\
 P_h &= P_a \cos 10^\circ = 158.95 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

ค่าความปลอดภัยโดยการไ้ ตรวจสอบสำหรับกรณีการหมุนตัว ทำการคำนวณได้ดังตารางทางด้านล่างเพื่อเตรียมที่จะหาโมเมนต์ต้านทาน (resisting moment)

Section no.	Area (m <sup>2</sup> )	Weight / unit length (kN/m)	Moment arm from point c (m)	Moment (kN - m)
1	6 × 0.5 = 3	70.74	1.15	81.35
2	$\frac{1}{2}[0.2 \times 6] = 0.6$	14.15	0.833	11.79
3	4 × 0.7	66.02	2.0	132.04
4	6 × 2.6	280.80	2.7	758.16
5	$\frac{1}{2}(2.6)(0.458)$	10.71	3.13	33.52
		$P_v = 28.03$	4.0	112.12
		$\sum V = 470.45$		$\sum 1128.98 = \sum M_R$

โมเมนต์การหมุนตัว ( $M_o$ )

$$M_o = P_h \left( \frac{H'}{3} \right) = 158.95 \left( \frac{7.158}{3} \right) = 379.25 \text{ kN/m}$$

$$FS_{(overturning)} = \frac{\sum M_R}{M_o} = \frac{1128.98}{379.25} = 2.98 > 2 \text{ ใช้ได้}$$

ค่าความปลอดภัยโดยการไ้ ตรวจสอบสำหรับกรณีการเลื่อนไถล

$$FS_{(sliding)} = \frac{(\sum V) \tan(k_1 \phi_2) + Bk_2 c_2 + P_p}{P_a \cos \alpha}$$

$$\text{ให้ } k_1 = k_2 = \frac{2}{3}$$

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma_2 D^2 + 2c_2 \sqrt{K_p} D$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi_2}{2}\right) = \tan^2(45 + 10) = 2.04$$

$$D = 1.5 \text{ m}$$

ซึ่งจะได้ว่า

$$\begin{aligned} P_p &= \frac{1}{2}(2.04)(19)(1.5)^2 + 2(40)(\sqrt{2.04})(1.5) \\ &= 43.61 + 71.39 = 215 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} FS_{(sliding)} &= \frac{(470.45)\tan\left(\frac{2 \times 20}{3}\right) + (4)\left(\frac{2}{3}\right)(40) + 215}{158.95} \\ &= \frac{111.5 + 106.67 + 215}{158.95} \\ &= 2.73 > 1.5 \text{ ใช้ได้} \end{aligned}$$

ค่าความปลอดภัยโดยการ ใช้ตรวจสอบสำหรับความสามารถทนต่อการพังทลาย

$$e = \frac{B}{2} \frac{\sum M_R - \sum M_O}{\sum V}$$

$$= \frac{4}{2} \frac{1128.98 - 379.25}{470.45}$$

$$= 0.406 < \frac{B}{6} = \frac{4}{6} = 0.666 \text{ m}$$

$$q_{toe} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{470.45}{4} \left(1 + \frac{6 \times 0.406}{4}\right) = 189.2 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{heel} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) = \frac{470.45}{4} \left(1 - \frac{6 \times 0.406}{4}\right) = 45.99 \text{ kN/m}^2$$

ค่าความสามารถทนต่อการพังทลายของดินสามารถหาได้ดังนี้คือ

$$q_u = cN_c s_c i_c + \bar{q}N_q s_q i_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

จากโจทย์ค่า  $\phi_2 = 20^\circ$  ดังนั้นจะได้ค่า  $N_c = 14.83$ ,  $N_q = 6.4$ ,  $N_\gamma = 5.93$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและค้ำอย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจะได้ค่า

$$q = \gamma_2 D = (19)(1.5) = 28.5 \text{ kN/m}^2$$

$$B' = B - 2e = 4 - 2(0.406) = 3.188 \text{ m}$$

$$s_c = 1 + 0.4 \left( \frac{D}{B'} \right) = 1 + 0.4 \left( \frac{1.5}{3.188} \right) = 1.188$$

$$s_q = 1 + 2 \tan \phi_2 (1 - \sin \phi_2)^2 \left( \frac{D}{B'} \right) = 1 + 0.315 \left( \frac{1.5}{3.188} \right) = 1.148$$

$$s_\gamma = 1$$

$$i_c = i_q = \left( 1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ} \right)^2$$

$$\theta^\circ = \tan^{-1} \left( \frac{P_a \cos \alpha}{\sum V} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{158.95}{470.45} \right) = 18.67^\circ$$

จะได้ว่า

$$i_c = i_q = \left( 1 - \frac{18.67}{90} \right)^2 = 0.628$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ} \right)^2 = \left( 1 - \frac{18.67}{20} \right)^2 = 0$$

ดังนั้น

$$q_u = (40)(14.83)(1.188)(0.628) + (28.5)(6.4)(1.148)(0.628) + \frac{1}{2}(19)(5.93)(3.188)(1)(0)$$

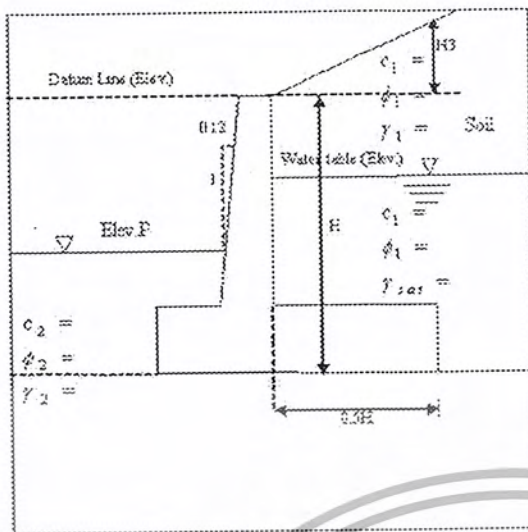
$$= 442.57 + 131.50 + 0$$

$$= 574.07 \text{ kN/m}^2$$

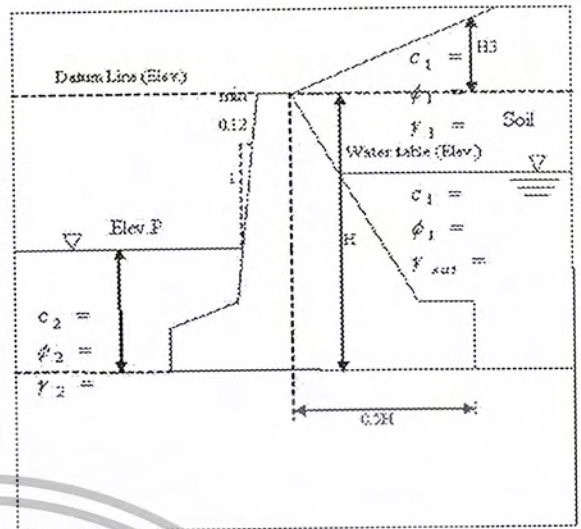
$$FS_{(\text{bearing capacity})} = \frac{q_u}{q_{toe}} = \frac{574.07}{189.2} = 3.03 > 3$$

ใช้ได้

ฉะนั้นแสดงว่ากำแพงกันดินดังกล่าวปลอดภัยสามารถใช้กับดินที่กระทำในรูปข้างบนได้



Cantilever Retainingwall



Gravity Retainingwall

หน่วย

SI

ข้อมูลดินด้านหลังกำแพงกันดิน

ประเภทของดิน

ดินทราย

หน่วย นน.ของดินเหนือระดับน้ำใต้ดิน

18 kN/m<sup>3</sup>

ค่ามุมเสียดทานภายใน,  $\phi$

30 °

ค่าแรงยึดเหนี่ยวภายใน, c

0 kN/m<sup>2</sup>

มุมระนาบดินถล่มหลังกำแพง,  $\alpha$

10 °

หน่วย นน.ของดินใต้ระดับน้ำใต้ดิน

0 kN/m<sup>3</sup>

ข้อมูลดินด้านหน้ากำแพงกันดิน

ประเภทของดิน

ดินเหนียว

หน่วย นน.ของดินด้านหน้ากำแพงกันดิน

19 kN/m<sup>3</sup>

ค่ามุมเสียดทานภายใน( $\phi$ )

20 °

ค่าแรงยึดเหนี่ยวภายใน, c

40 kN/m<sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความลึกของชั้นดิน(ต่ำกว่า Datum Line มีค่าติดลบ)

ตำแหน่งระดับฐานของกำแพงกันดิน

-6.7 m

ตำแหน่งระดับน้ำใต้ดิน,หากไม่พิจารณา ใส่น

n m

ตำแหน่งผิวดินชุด

-5.2 m

H

=

6.7 m

H<sub>1</sub>

=

6.7 m

H<sub>2</sub>

=

0 m

H<sub>3</sub>(คือค่าความลึกของดินลาดที่ต้องพิจารณา=0.5H(tanα))

=

0.59 m

H'(คือค่าความลึกที่จะใช้ในการพิจารณาหาความดันดิน=H<sub>1</sub>+H<sub>3</sub>)

=

7.29 m

H<sub>p</sub>(ความลึกของผิวดินชุดถึงฐาน)

=

1.5 m

น้ำหนักบรรทุก(q)

0 kN/m<sup>2</sup>

สัมประสิทธิ์ของActive Pressure (K<sub>a</sub>)

cosα

=

0.985

cos<sup>2</sup>α

=

0.970

cosφ

=

0.866

cos<sup>2</sup>φ

=

0.750

K<sub>a</sub>=

$$\cos\alpha \cdot \frac{\cos\alpha - (\cos^2\alpha - \cos^2\phi)^{1/2}}{\cos\alpha + (\cos^2\alpha - \cos^2\phi)^{1/2}}$$

=

0.350

สัมประสิทธิ์ของPassive Pressure (K<sub>p</sub>)

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$$

=

2.040

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและเผยแพร่อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันดิน

ความดันเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก

$$p_s = K_a q = 0.000 \text{ kN/m}^2$$

ความดันเนื่องจากมวลดินเหนือระดับน้ำใต้ดิน (ณ ตำแหน่งระดับน้ำใต้ดิน)

$$p_{a1} = K_a \gamma H' = 45.868 \text{ kN/m}^2$$

ความดันเนื่องจากมวลดินใต้ระดับน้ำใต้ดิน (ณ ตำแหน่งฐานของกำแพงกันดิน)

$$p_{a2} = p_{a1} + K_a \gamma' H_2 = 45.868 \text{ kN/m}^2$$

ความดันเนื่องจากน้ำใต้ดิน

$$p_{w0} = 0 \quad \text{ณ ตำแหน่งระดับน้ำใต้ดิน} = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$p_w = \gamma_w H_2 \quad \text{ณ ตำแหน่งฐานของกำแพงกันดิน} = 0 \text{ kN/m}^2$$

ความแรงดันเนื่องจากมวลดินหน้ากำแพงกันดิน

$$p_p = K_p \gamma H_p + 2cK_p^{0.5} = 172.381 \text{ kN/m}^2$$



แรงดันดิน

แรงดันเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก

$$P_s = p_s \cdot H = 0.000 \text{ kN/m}$$

แรงดันเนื่องจากมวลดินหลังกำแพงกันดิน

$$P_a = 0.5 \cdot p_{a1} \cdot H' + 0.5 \cdot (p_{a1} + p_{a2}) \cdot H_2 = 167.206 \text{ kN/m}$$

$$P_{ah} = P_a \cos \alpha = 164.666 \text{ kN/m}$$

$$P_{av} = P_a \sin \alpha = 29.035 \text{ kN/m}$$

แรงดันเนื่องจากน้ำใต้ดิน

$$P_w = 0.5 \cdot p_w \cdot H_2 = 0 \text{ kN/m}$$

แรงดันด้านข้างทั้งหมด

$$P_h = P_s + P_{ah} + P_p = 164.666 \text{ kN/m}$$

แรงดันเนื่องจากมวลดินหน้ากำแพงกันดิน

$$P_p = 0.5 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot H_p^2 + 2c_k p^{0.5} \cdot H_p = 214.974 \text{ kN/m}$$

หน่วย

ประเภทกำแพงกันดิน

แรงกระทำในแนวราบจากดินด้านหลังกำแพงกันดิน	$P_h$	164.666 kN/m
แรงกระทำในแนวราบจากดินด้านหน้ากำแพงกันดิน	$P_p$	214.974 kN/m
แรงกระทำในแนวตั้งจากดินด้านหลังกำแพงกันดิน	$P_v$	29.035 kN/m

ค่าน้ำหนักน.ของคอนกรีต 23.58 kN/m<sup>3</sup>

ข้อมูลดินด้านหลังกำแพงกันดิน

ค่าน้ำหนักน.ของดินหลังกำแพงกันดิน $\gamma_1$  18 kN/m<sup>3</sup>

มุมระนาบของดินถมหลังกำแพงกันดิน, $\alpha$  10 °

ข้อมูลดินได้กำแพงกันดิน

ค่าน้ำหนักน.ของได้กำแพงกันดิน $\gamma_2$  19 kN/m<sup>2</sup>

แรงยึดเหนี่ยวภายในของดิน,c 40 kN/m<sup>2</sup>

มุมเสียดทานภายใน, $\phi$  20 °

รูปแบบกำแพงกันดิน

ความลึกจากผิวดิน ถึงฐานของกำแพงกันดิน(H) 6.7 m

h1 มีค่าประมาณ 0.1 H = 0.67 m 0.7 m

h2 =H-h1 6 m

h3 มีขนาดอย่างต่ำ 0.3 m 0.5 m

h3+h4+h5+h6+h7 ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.7 H = 3.35-4.69 m

h4 มีขนาดอย่างต่ำ 0.02H= 0.134 m 0.2 m

h5 มีค่าประมาณ 0.1 H = 0.67 m 0.7 m

h6 2.6 m

h7 มีค่า =0 เท่านั้น 0 m

h3+h4+h5+h6+h7 = B ความยาวฐานอยู่ในช่วงที่กำหนด 4 m

h' ความสูงส่วนของดินลาดที่นำมาพิจารณา 0.458 m

ความสูงของกำแพงกันดินที่ใช้ในการออกแบบ  $H_d$  7.158 m

ความลึกระดับดินด้านหน้ากำแพงจากระดับดินชุด ถึงฐานกำแพง,D 1.5 m

ความยาวของกำแพงกันดิน,L 10 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Section No.	Area m <sup>2</sup>	Weight/unit length kN/m	Moment arm from point C m	Moment kN·m	
1	6x0.5=	3	70.74	1.15	81.351
2	0.5x0.2x6=	0.6	14.148	0.833	11.79
3	4x0.7=	2.8	66.024	2	132.048
4	6x2.6=	15.6	280.8	2.7	758.160
5		0	0		0
6		0	0		0
7	0.5x2.6x0.458=	0.596	10.728	3.133	33.614
		P <sub>v</sub> =	29.035	4	116.14
		ΣV=	471.475	ΣM <sub>R</sub> =	1133.1026

ตรวจสอบส.ป.ส.ความปลอดภัยต่อการพลิกคว่ำ

$$M_o = P_h(H/3) = 392.918 \text{ kN-m}$$

$$FS_{\text{overturning}} = \sum M_R / M_o = 2.884$$

ตรวจสอบส.ป.ส.การเลื่อนไถล

$$FS_{\text{sliding}} = \frac{[\sum V \tan(k_1 \phi_2) + Bk_2 c_2 + P_v] / P_h}{\text{หมายเหตุ}; k_1 = k_2 = 2/3} = 2.632$$

ตรวจสอบ Bearing capacity

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2) = 2.040$$

$$e = B/2 - (\sum M_R - \sum M_o) / \sum V \leq B/6 = 0.430 < 0.667$$

ดังนั้น e = 0.430 m

$$q_{\text{toe}} = \sum V (1 + 6e/B) / B = 193.905 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{heel}} = \sum V (1 - 6e/B) / B = 41.832 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{desing}} = 193.905 \text{ kN/m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและเผยแพร่อย่างอื่นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โดยทฤษฎีของ Meyerhof

$$q_u = cN_{cd}c_{ic} + q'N_{qd}q_{iq} + 0.5\gamma B'N_{\gamma}d_{\gamma}i_{\gamma}$$

เมื่อ  $\phi = 20$

$N_c$	$N_q$	$N_{\gamma}$
14.83	6.4	5.39

$q' = \gamma D = 28.5 \text{ kN/m}^2$

$B' = B - 2e = 3.140 \text{ m}$

$\Theta = \arctan(\frac{Ph}{\Sigma V}) = 19.244$

$i_c = i_q = (1 - \frac{\Theta}{90^\circ})^2 = 0.618$

$i_{\gamma} = (1 - \frac{\Theta}{\phi})^2 = 0.001$

$d_c = 1 + 0.2K_p^{0.5} \frac{D}{B} = 1.107$

$d_q = d_{\gamma} = 1 + 0.1K_p^{0.5} \frac{D}{B}, \phi > 10 = 1.054$

$q_u = 524.925 \text{ kN/m}^2$

$F_{s_{\text{bearing capacity}}}$

$q_u/q_{\text{design}}$

$= 2.707$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและพ.ร.บ. ๑๒ อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.โดยทฤษฎีของHazen

เมื่อ $\phi =$		20			
$\phi <=$		34			
ดังนั้น $\phi_{ps} =$		20	$N_c$	$N_q$	$N_Y$
			14.83	6.4	2.95

$$q_{ult} = cN_c.S_c.d_c.i_c.q_u.bc + q'N_q.S_q.d_q.i_q.g_q.bq + 0.5YB'N_Y.S_Y.d_Y.i_Y.g_Y.b_Y$$

- $\alpha_1$  มีค่าระหว่าง 2-5(หากผู้ใช้ไม่กำหนดเอง จะกำหนดให้เท่ากับ 2.5) 2
- $\alpha_2$  มีค่าระหว่าง 2-5(หากผู้ใช้ไม่กำหนดเอง จะกำหนดให้เท่ากับ 3.5)
- factor,  $c_a$  มีค่าระหว่าง 0.6-1.0(หากผู้ใช้ไม่กำหนดเอง จะกำหนดให้เท่ากับ 0.8)
- $k =$  D/B 0.375

พิจารณาตามB

	$i_B$	$S_B$	$d_B$
$i_q$	0.950	$S_q$ 1.101	$d_q$ 1.118
$i_c$	0.940	$S_c$ 1.127	$d_c$ 1.15
$i_Y$	1.000	$S_Y$ 0.874	$d_Y$ 1

$$q_{ult(B)} = 1013.4115$$

- $k =$  D/L 0.15

	$i_L$	$S_L$	$d_L$
$i_q$	1	$S_q$ 2.024	$d_q$ 1.047
$i_c$	0.94970070	$S_c$ 2.305	$d_c$ 1.06
$i_Y$	1	$S_Y$ 0.6	$d_Y$ 1

$$q_{ult(L)} = 1816.108$$

$$\text{ดังนั้น } q_{ult} = 1013.412$$

$$F_s^{\text{bearing capacity}} = \frac{q_u}{q_{\text{design}}} = 5.226$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ **หน้า 13** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ทฤษฎีของTerzaghi

เมื่อ  $\phi = 20$

$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
15.734	6.727	0.535

$q_{ult} = 841.418$

$F_{S_{bearing\ capacity}}$

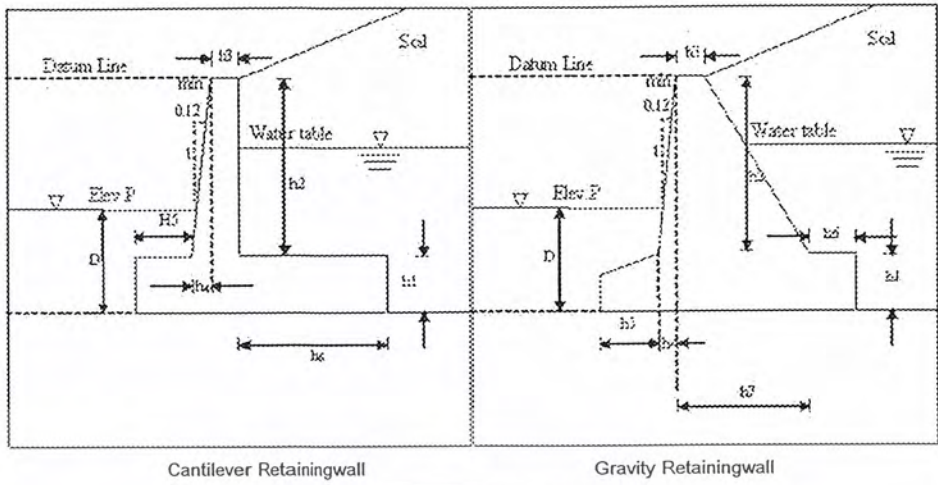
$q_u/q_{design}$

=

$4.339$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ <sup>หน้า 14</sup>อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายการสรุปผล

ขนาดของกำแพงกันดิน	ตารางสรุปผล	หน่วย
h1 0.7 m	$\sum V =$	471.475 kNm
h2 6 m	$\sum M_R =$	1133.1026 kN-m
h3 0.5 m	FSoverturning =	2.884
h4 0.2 m	FSsliding =	2.632
h5 0.7 m	Fsbearing capacity	
h6 2.6 m	Meyerhof FS =	2.707
h7 0 m	Hazen FS =	5.226
	Terzaghi FS =	4.339

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

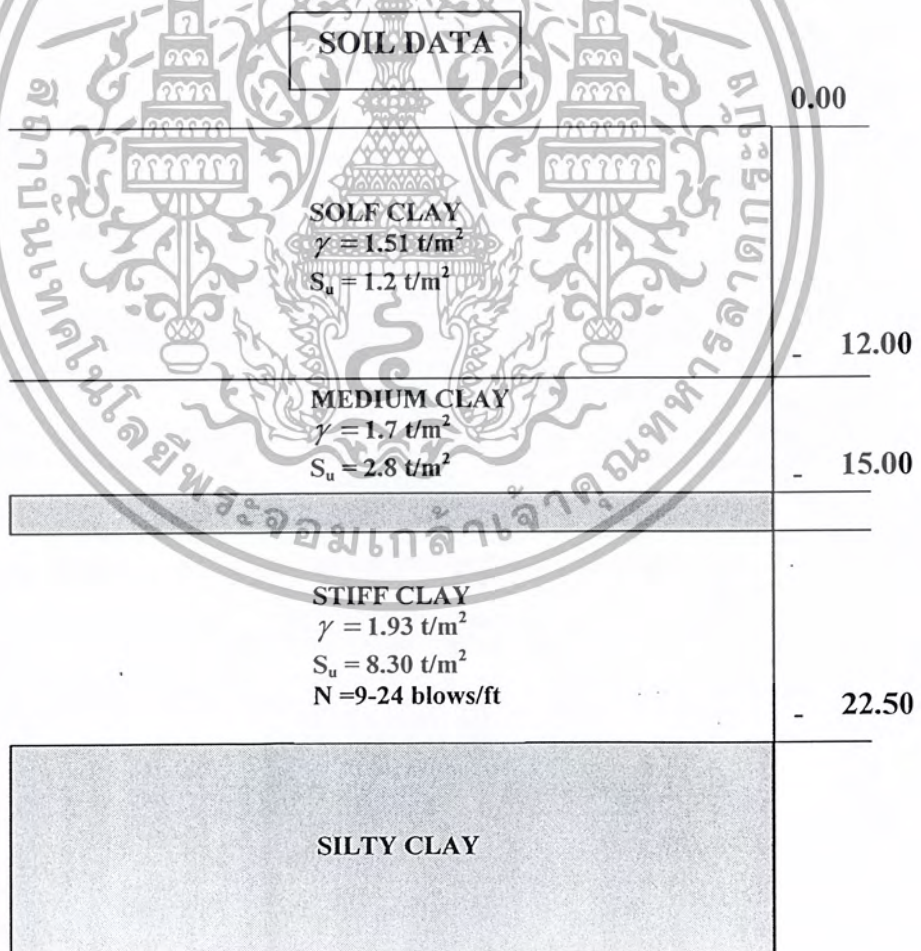
การเปรียบเทียบผลการคำนวณ วิเคราะห์ และออกแบบ กำแพง  
กันดินประเภท Braced Cuts โดยการคำนวณด้วยตัวเอง  
กับ ผู้ใช้อัตย์โปรแกรม Braced Cuts Designed

- ค1. ตัวอย่างที่ 3 ข้อมูลในการออกแบบ
- ค5. รายการคำนวณการออกแบบ

ตัวอย่างที่ 3.

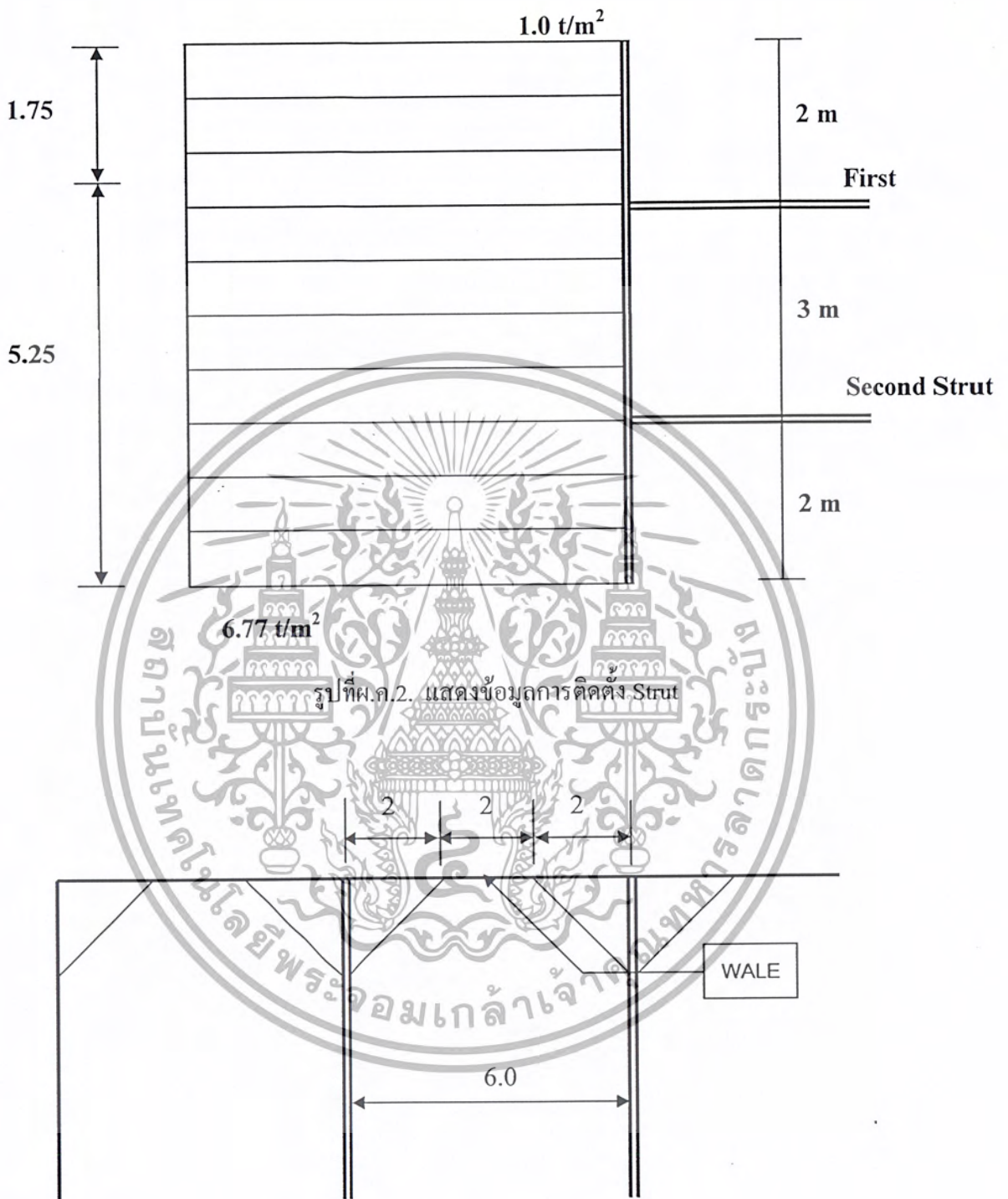
ออกแบบกำแพงกันดินประเภท Braced Cuts ในชั้นดินตามรูปที่ xxxx โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ระดับดินขุด ถัก = -7.00 m จาก Datum Line
- Use Surcharge =  $1t/m^2$
- ความกว้างของบ่อขุด (B) = 6 m
- การติดตั้ง Strut แสดงข้อมูลตามรูปที่ผ.ค.1
- การติดตั้ง Wale แสดงข้อมูลตามรูปที่ผ.ค.2
- การติดตั้ง Main Beam แสดงข้อมูลตามรูปที่ผ.ค.3
- เลือกการติดตั้ง King post เสาฝังชั้นดิน ถัก = 15 m แสดงข้อมูลตามรูปที่ผ.ค.4



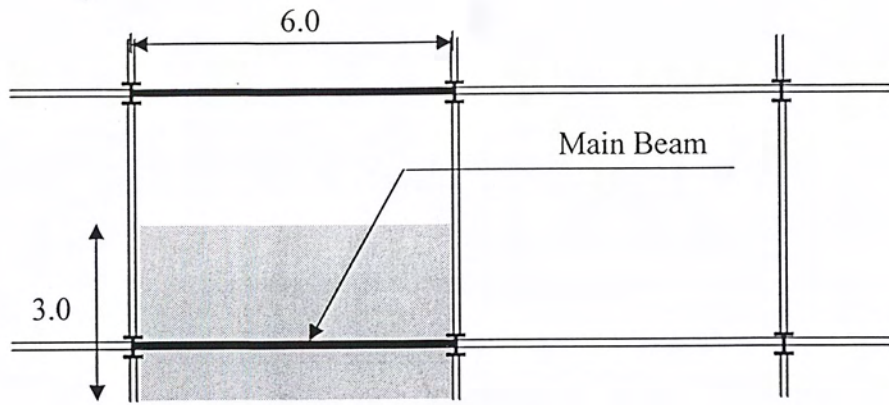
รูปที่ผ.ค.1. ข้อมูลชั้นดินสำหรับการออกแบบ ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและผังอย่างอื่นถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

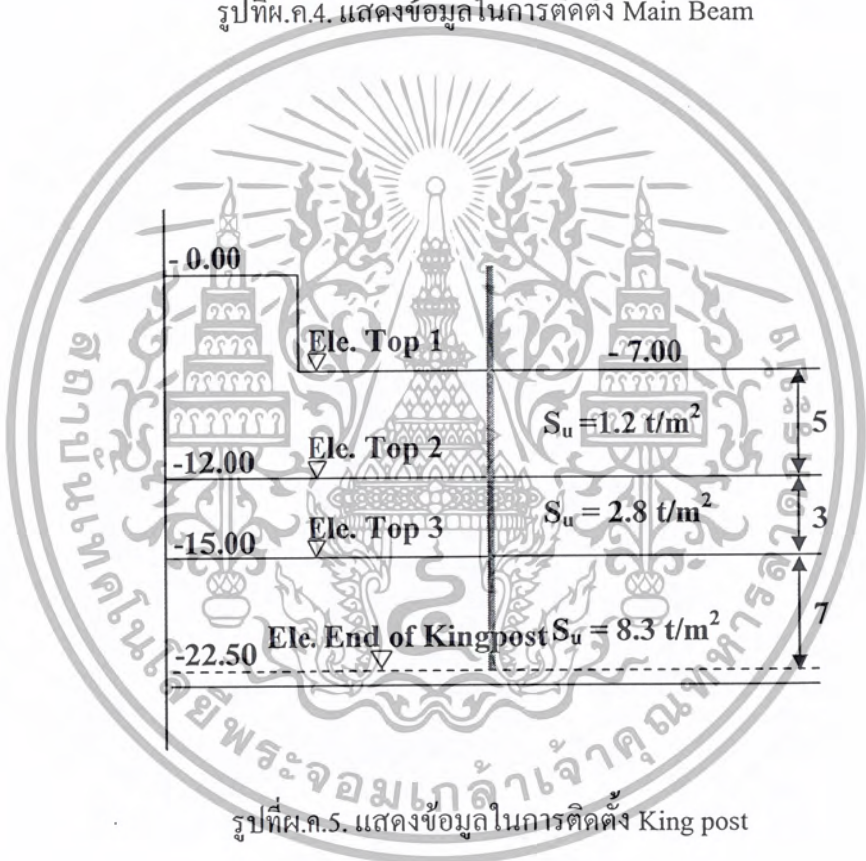


รูปที่ผ.ค.3. แสดงข้อมูลในการติดตั้ง Wale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ ผค3 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

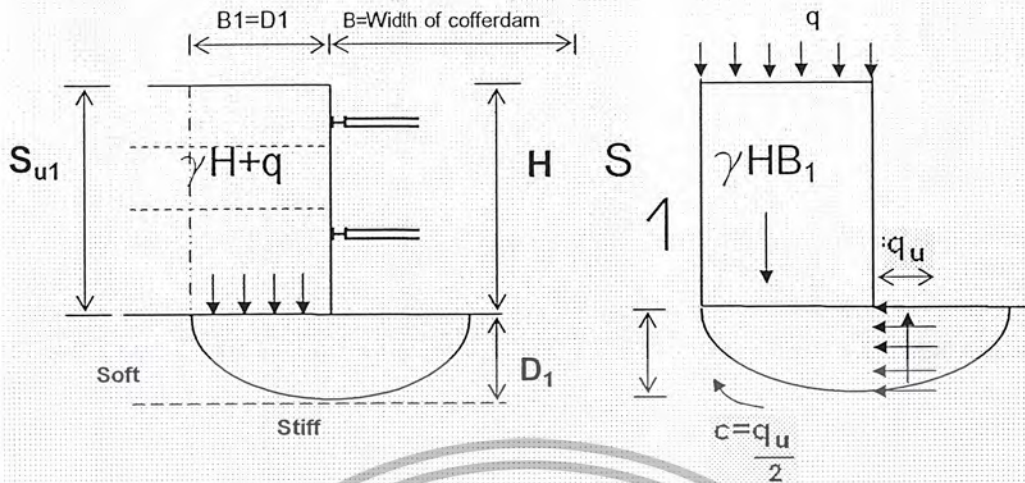


รูปที่ผ.ค.4. แสดงข้อมูลในการติดตั้ง Main Beam



รูปที่ผ.ค.5. แสดงข้อมูลในการติดตั้ง King post

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ ~~ผค4~~ <sup>ผค4</sup> อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตรวจสอบสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยเนื่องจากการขุดของดิน

ความยาวSheetpile(L)	17 m	
ความลึกในการขุด(H)	7 m	
กำลังต้านทานแรงเฉือน(เหนือระดับดินขุด)(Su1)	1.2 (t/m <sup>2</sup> )	(พิจารณาจากระดับหัวSheetPile ถึงระดับดินขุด)
กำลังต้านทานแรงเฉือน(ใต้ระดับดินขุด)(Su2)	2.32 (t/m <sup>2</sup> )	(พิจารณาจากระดับดินขุด ถึงปลายSheetPile)
หน่วยน. ของดินตลอดความลึกที่เจาะผ่าน(Y)	1.59 (t/m <sup>3</sup> )	
หน่วยแรงกดทับSurcharge(q)	2 (t/m <sup>3</sup> )	
ความกว้างของกำแพงกันดิน(B)	10 m	

Safety factor =	Resisting Moment	โดยที่: $S = Su_1(H - 2Su_1/Y)$
	Acting moment	6.589
=	$2S \cdot B_1 \cdot S_{u2} \cdot B_1 \cdot \pi \cdot B_1 + 2 \cdot S_{u2} \cdot L_s^2$	ความลึกฝัง $L_s =$ 10 m
	$(\gamma H + q) B_1^2$	$B_1 = D = 0.7B$ 7 m
=	1.420	

ออกแบบหน้าตัดSheetpile

หน่วยน. ของดิน(Y)ที่พิจารณา	1.59 (t/m <sup>3</sup> )
กำลังต้านทานแรงเฉือน(Su1)ของดินที่พิจารณา	1.2 (t/m <sup>2</sup> )
ค่าS.F.สำหรับกำลังต้านทานแรงเฉือน	1.5
กำลังต้านทานแรงเฉือน(Su)ที่ใช้ออกแบบ	0.800 (t/m <sup>2</sup> )

กรณีที่1 For Normal Bracing System

ระยะห่างระหว่าง Strut ที่มากที่สุด(Max.Depth)	3 m
stress at bottom	$(\gamma H - 4Su) + q$
	9.930 (t/m <sup>2</sup> )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและคัดลอกอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{Maximum Moment} &= w l^2 / 10 \quad \text{t-m} \\ &= 8.937 \quad \text{t-m} \end{aligned}$$

$$\text{Required Section Modulus} = 638.357 \text{ cm}^3 / \text{m}$$

$$\text{Case1 Required Section Modulus} = 638.357 \text{ cm}^3 / \text{m}$$

กรณีที่ 2 For After Remove The Strut Case

$$\text{ระยะช่วงว่างในการถอดที่มากที่สุด(Max.Depth)} = 3.5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{stress at bottom} &= (\gamma H - 4Su) + q \\ &= 4.365 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maximum Moment} &= w l^2 / 2 \quad \text{t-m} \\ &= 26.736 \text{ t-m} \end{aligned}$$

$$\text{Required Section Modulus} = 1909.688 \text{ cm}^3 / \text{m}$$

$$\text{Case2 Required Section Modulus} = 1909.688 \text{ cm}^3 / \text{m}$$

$$\text{Design by Case2 Required Section Modulus} = 1909.688 \text{ cm}^3 / \text{m}$$

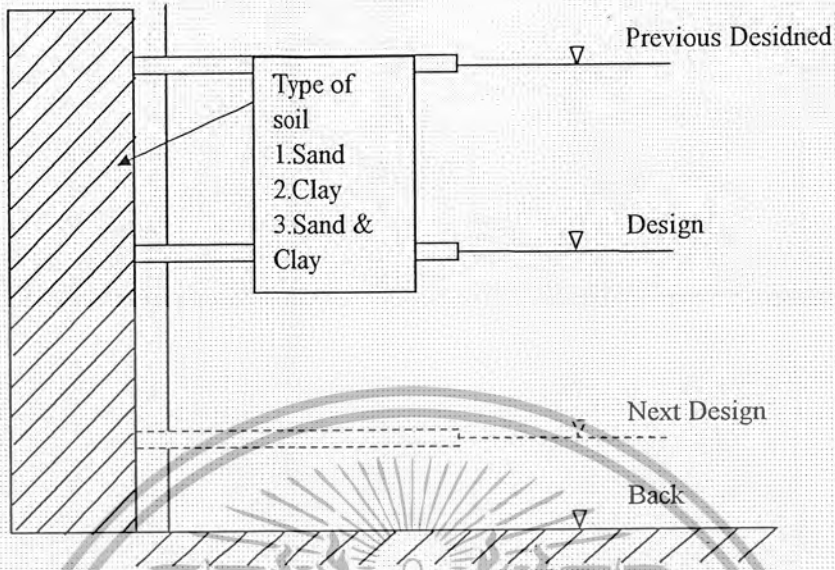
คลิกเพื่อไปหาแบบเลือก Sheet Pile ใน			Select by program	Design by sheet
Section			YSP IV	
Dimensions	w	mm	400	
	h	mm	155	
	t	mm	15.5	
Sectional Area	per pile	cm	96.99	
Weight	per pile	kg/m	76.1	
	per wall width	kg/m	180	
Moment of Inertia	per pile	cm	3690	
	per wall width	cm <sup>4</sup> /m	31900	
Section Modulus	per pile	cm <sup>3</sup>	311	
	per wall width	cm <sup>3</sup> /m	2060	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและแจกจ่ายถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Step1 คลิกเลือกกรอกข้อมูลจากกรอบสีม่วงครบถ้วน

Step2 คลิกเมื่อกรอกข้อมูลจากกรอบสีเขียวครบถ้วนแล้ว

Step3



ประเภทของแรงดันดิน

ดินเหนียว

หน่วยแรงกดทับ Surcharge (q)

2 t/m<sup>2</sup>

จำนวน Struts ที่ทำกรวดติดตั้ง (ไม่เกิน 4 ชั้น)

2 ชั้น

ความหนาของชั้นดินเหนียว

7 m

หน่วย นน. ของชั้นดิน

1.51 t/m<sup>3</sup>

หน่วยแรงยึดเหนี่ยวภายใน (Su)

1.2 t/m<sup>2</sup>

ตรวจสอบกรณีของรูปแบบแรงดันดิน

$\gamma H / \omega u =$  6.306 > 4

Soft to Medium Clay,  $p_a = \gamma H [1 - (4Su / (\gamma H))] + q$  or  $p_a = 0.3\gamma H + q$  (เลือกค่ามากในการออกแบบ)

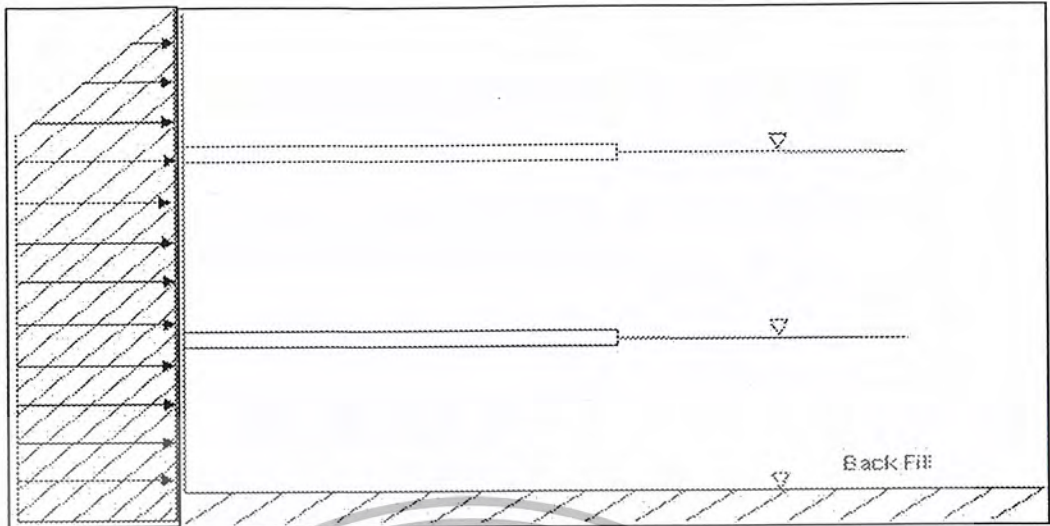
$p_a = \gamma H [1 - (4Su / (\gamma H))] =$  5.77 t/m<sup>2</sup>

$p_a = 0.3\gamma H =$  3.171 t/m<sup>2</sup>

ดังนั้น  $p_a =$  5.77 t/m<sup>2</sup>

$p_a + q =$  7.77 t/m<sup>2</sup>

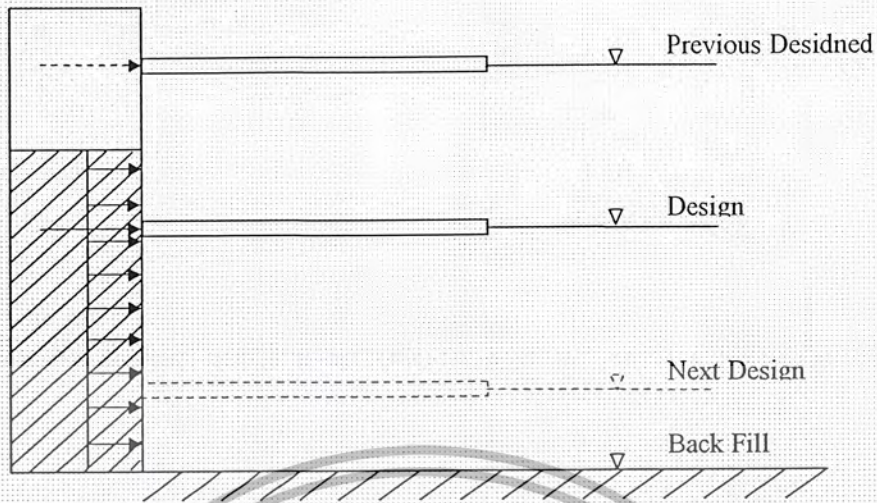
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและคัดลอกอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข้อมูลการติดตั้งStruts(ต่ำกว่า Datum Line มีค่าเป็นลบ)

Strutsตัวที่	1	
ระดับความลึกที่ติดตั้งStrutจากระดับดินจุด		-2 m
ระดับความลึกในการขุดถัดไปหลังจากติดตั้งStrutsแล้ว		-5.5 m
Strutsตัวที่	2	
ระดับความลึกที่ติดตั้งStrutจากระดับดินจุด		-5 m
ระดับความลึกในการขุดถัดไปหลังจากติดตั้งStrutsแล้ว		-7 m
แรงกระทำตามแนวแกนต่อStrut ตัวที่	1	37.68625 t/m
แรงกระทำตามแนวแกนต่อStrut ตัวที่	2	27.195 t/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและผล8อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No.Strut = 1  
 ระยะช่วงของStrut ทางแนวราบ, L = 6 m  
 แรงกระทำต่อStrut ที่พิจารณา(ต่อ 1 m) = 37.69 t/m  
 แรงกระทำตามแนวแกน, P = 226.14 t  
 Stress due to Temp.change = 116 ksc

ทดลองเลือกหน้าตัด

(ผู้ใช้กำหนดเองป้อน"m", ถ้าเลือกจากCatalogป้อนCodeของหน้าตัด) = m

Name	Area cm <sup>2</sup>	Radius of Gyration, cm.	
		rx	ry
Type of Wind Flank	ป้อนในหน่วย cm <sup>2</sup>	cm	cm
300x300x20	143	21	10

$P/A + f_{\Delta t} = 1697.40 \text{ ksc}$

For X-axis

$L/r_x = 28.571 \text{ ksc}$

$F_a = 1400 \text{ ksc}$

$F_a = 1400 <= 1697.40 \text{ ksc}$

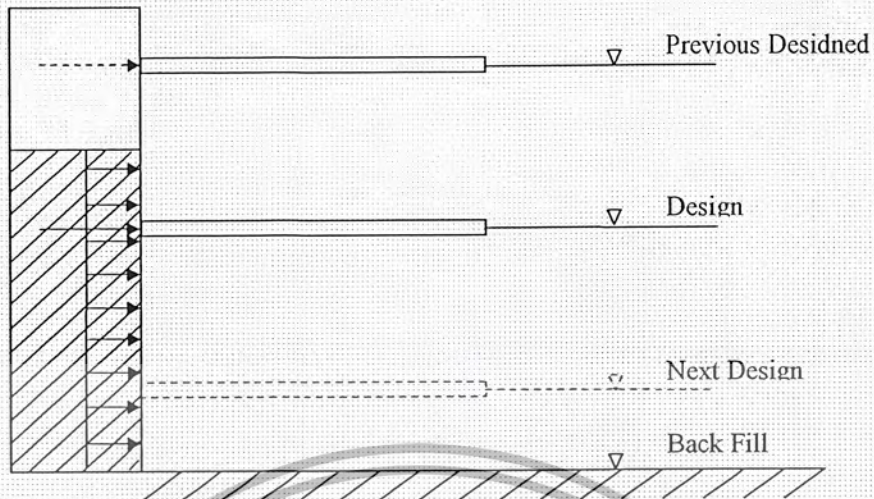
For Y-axis

$L/r_y = 60.000 \text{ ksc}$

$F_a = 1348 \text{ ksc}$

$F_a = 1348 <= 1697.40 \text{ ksc}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและทำซ้ำอย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No.Strut 2  
 ระยะช่วงของStrut ทางแนวนราบ,L 6 m  
 แรงกระทำต่อStrut ที่พิจารณา(ต่อ 1 m) 27.2 t/m  
 แรงกระทำตามแนวแกน,P 163.2 t  
 Stress due to Temp.change 116 ksc

ทดลองเลือกหน้าตัด  
 (ผู้ใช้กำหนดเองป้อน"m",ถ้าเลือกจากCatalogป้อนCodeของหน้าตัด) = m

Name	Area cm <sup>2</sup>	Radius of Gyration, cm.	
		rx	ry
Type of Wind Flank	ป้อนในหน่วย cm <sup>2</sup>	cm	cm
300x300x20	143	21	10

$P/A + f_{\Delta t} = 1257.26 \text{ ksc}$

For X-axis

$L/r_x = 28.571 \text{ ksc}$   $F_a = 1400 \text{ ksc}$

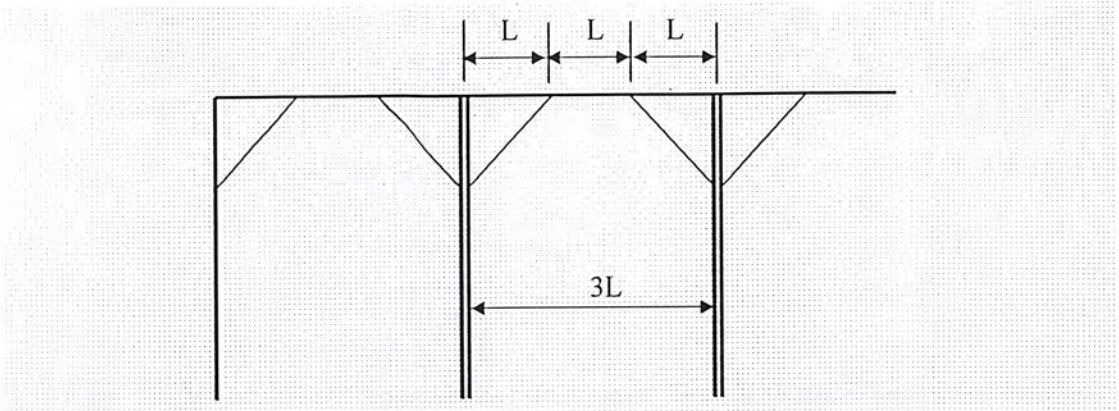
$F_a = 1400 > 1257.26 \text{ ksc}$

For Y-axis

$L/r_y = 60.000 \text{ ksc}$   $F_a = 1348 \text{ ksc}$

$F_a = 1348 > 1257.26 \text{ ksc}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและหน้า 10 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No.Wale 1

ระยะช่วงของStrut ทางแนวนราบ = 6 m

ระยะช่วงของWale ทางแนวนราบ = 2 m

Uniform load ที่กระทำบน Wale,w = 37.69 t/m

Moment =  $wL^2/10$  t-m = 15.076 t-m

Axial force,P =  $wL$  t = 75.38 t

Stress due to Temp.change =  $\frac{P}{A} + \frac{M}{Z} = 116$  ksc = 116 ksc

ทดลองเลือกหน้าตัด

(ผู้ใช้กำหนดเองป้อน"m",ถ้าเลือกจากCatalogป้อนCodeของหน้าตัด) = 7

Name	Area	Radius of Gyration(ry), cm.	Section Modulus(Zx), cm.
WF 330x300x10x16(107kg)	136	7.28	1980

$L/r = 0.275$   $F_a = 1420$  ksc

$P/A = 554$  ksc  $F_b = 1500$  ksc

$M/Z = 761$  ksc

$f_a = P + f_{\Delta t}$  ksc

= 670 ksc

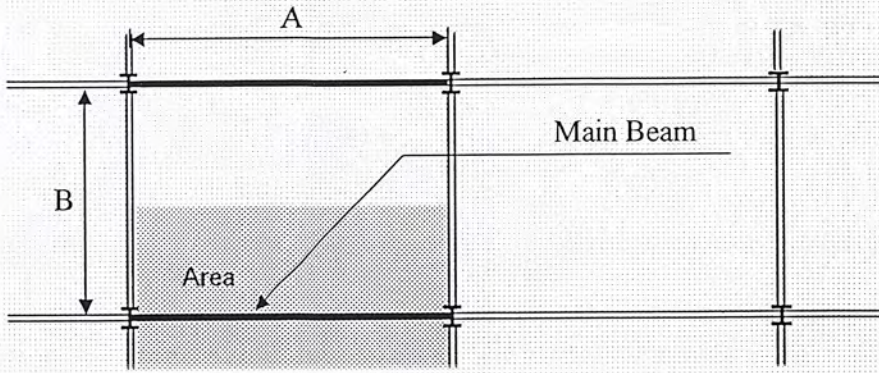
$f_b = M/Z$  ksc

= 761 ksc

$f_a/F_a + f_b/F_b < 1$

$0.98 < 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



No.Beam = 1

Use Weigth of Machine = 45 t

Use Surcharge = 0.5 t/m<sup>2</sup>

Area = 18 m<sup>2</sup>

Total Weight = 54 t

Spance of Beam = 6 m

Load on Main Beam,w = 9 t/m

ทดลองเลือกหน้าตัด

(ผู้ใช้กำหนดเองป้อน"m",ถ้าเลือกจากCatalogป้อนCodeของหน้าตัด) = 6

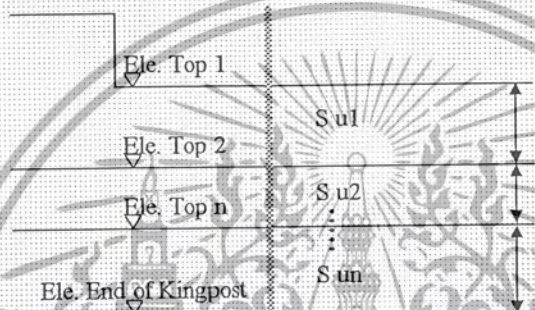
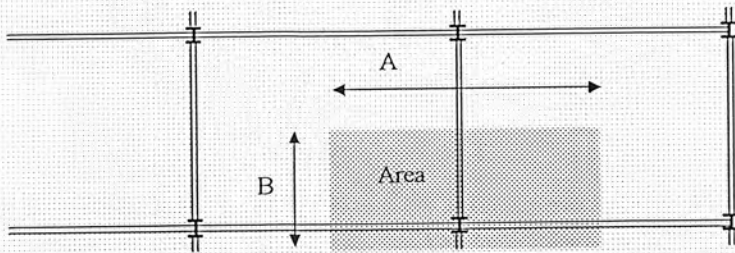
Name	Area cm <sup>2</sup>	Elastic Modulus, cm.	
		Sx	Sy
WF 350x350x12x19(136kg)	173.9	2300	776

Moment,M =  $w \cdot L^2 / 10$  = 32.4 t-m

fb = M/Sx = 1409 ksc

Fb = 1500 ksc > 1409 ksc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและพิกัดอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Use Surcharge  
Area  
Load on Kingpost

2.5 t/m<sup>2</sup>  
18 m<sup>2</sup>  
45 t

จำนวนชั้นดินที่Kingpostฝังตัวอยู่(ไม่เกิน7ชั้น)

3 ชั้น

ชั้นดิน ที่	ระดับดิน	ระดับดิน	ระดับดิน	ปริมาณ ดิน	Su	Ø	
		ระดับค่าว่า Datum Line มีค่าเป็น 0		m <sup>3</sup>	t/m		
1	ระดับผิวบนของดินชั้นที่1	-7	ระดับผิวล่างของดินชั้นที่1	-12	1.51	1.2	10
2	ระดับผิวบนของดินชั้นที่2	-12	ระดับผิวล่างของดินชั้นที่2	-15	1.7	2.8	0
3	ระดับผิวบนของดินชั้นที่3	-15	ระดับความลึกที่ปลายKingpost	-22	1.93	8.3	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ **พค.13** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเสาเข็ม

เหล็ก ▼

Name	Arera(A)	เส้นรอบรูป(R)	ส่วนแคบสุด(B)
	cm <sup>2</sup>	cm	cm
WF 300x300	120	100	20

ความสามารถในการต้านแรงกระทำของKingpost

$$q_b = \text{หน่วยแรงต้านทานสูงสุดที่ปลายเสาเข็ม} = 1.3cN_c + \gamma DN_q + 0.4B\gamma N_\gamma$$

$$q_f = \text{หน่วยแรงเสียดทานสูงสุดของผิวเข็ม} = \beta c \cdot L + K_s \gamma L^2 \tan \alpha$$

ชั้นดิน	มุมเสียดทาน $\alpha$		สัมประสิทธิ์ $\beta$		สัมประสิทธิ์ $K_s$
	มีค่าประมาณ 1.00		เลือกจากกราฟ		มีค่าประมาณ 1.0-2.0
ชั้นที่	ความหนา	ผู้ใช้เลือก	ความหนา	ผู้ใช้เลือก	ผู้ใช้เลือก
1	10	20	1.038	1.038	1.5
2	0	20	0.822	0.9	1.5
3	0	20	0.399	0.399	1.5

ชั้นดิน	Nc	Nq	N $\gamma$	q <sub>b</sub>		q <sub>f</sub>	
				kn	kn	kn	kn
1	8.35	2.47	1.22	31.82	26.83781452		
2	5.14	1	0	23.81	17.07231688		
3	5.14	1	0	68.9706	111.9387976		
Total					124.60	155.848929	

$$Q_b = A \cdot q_b = 14.95225$$

$$Q_f = R \cdot q_f = 155.8489$$

$$F.S._0 = 3$$

$$F.S. = (Q_b / F.S._0 + Q_f) / Q_u = 3.574067$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและทำซ้ำอย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้