การศึกษาหาค่าความลึกของกำแพงกันดินที่ต้านการเกิดการพังทลายแบบกลม

ความลาดชัน

THE STUDY ON EVALUATION OF RETAINING WALL'S DEPTH PREVENTING FROM SLOP STABILITY

นายวีระวุฒิ ยอดคลอง

นายคฤษดา ชูไชยชัง

นายอดิศรรัชต์ เทียงดี

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาหาค่าความลึกของกำแพงกันดินที่สามารถป้องกันการวิบัติเนื่องจากความลาดของดิน

THE STUDY ON EVALUATION OF RETAINING WALL'S DEPTH PREVENTING FROM SLOP STABILITY

นาย วีระวุฒิ ลอดคลอง
นาย ศฤงคาร ชูไชยยัง
นาย อัครรัชต์ เที่ยงดี

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY ON EVALUATION OF RETAINING WALL'S DEPTH PREVENTING FROM SLOP STABILITY

Mr. WEERAWOOT LODKLONG
Mr. SARINGKARN CHOOCHAIYOUNG
Mr. AKKHARARAT THIANGDEE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMEMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING KING
MONGKUT'S INSTITUTR OF THCHNOLOGY LADKRABANG
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาหาค่าความลึกของกำแพงกันดินที่สามารถป้องกันการวิบัติเนื่องจากความลาดของดิน THE STUDY ON EVALUATION OF RETAINING WALL'S DEPTH PREVENTING FROM SLOP STABILITY	
นักศึกษา	นาย วีระวุฒิ ลอดคลอง	รหัสประจำตัว 53011512
	นาย ศฤงคาร ชูไชยยัง	รหัสประจำตัว 53011542
	นาย อัครรัชต์ เที่ยงดี	รหัสประจำตัว 53011907
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัญฑิต	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2556	

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ. สุพจน์ ศรีนิล	
ผศ. สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	
ผศ.ดร. ธนาดล คงสมบูรณ์	
อ. ปรีชานันท์ ศรีแก้ว	
อ. อุบะ ศิริแก้ว	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันที่ 25 มีนาคม 2557 เวลา 13.00 – 16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร CV ห้องประชุมสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(.....)

รศ.สุพจน์ ศรีนิล

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาหาค่าความลึกของกำแพงกันดินที่สามารถป้องกันการวิบัติเนื่องจากความลาดของดิน THE STUDY ON EVALUATION OF RETAINING WALL'S DEPTH PREVENTING FROM SLOP STABILITY	
นักศึกษา	นาย วีระวุฒิ ลอดคลอง	**รหัสประจำตัว** 53011512
	นาย ศฤงคาร ชูไชยยัง	**รหัสประจำตัว** 53011542
	นาย อัครรัชต์ เที่ยงดี	**รหัสประจำตัว** 53011907
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัญฑิต	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2556	

บทคัดย่อ

การศึกษาหาค่าความลึกของกำแพงกันดินที่สามารถป้องกันการวิบัติเนื่องจากความลาดของดิน สามารถวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินต่ำสุดด้วยโปรแกรม PLAXIS version 8.2 ซึ่งจะวิเคราะห์โดยวิธี Finite Element ใช้ค่าพารามิเตอร์ของดินในชั้นต่างๆจากข้อมูลดินในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งการสร้างกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด(Sheet pile)ในชั้นดินเหนียวอ่อนจะต้องคำนึงถึงการวิบัติของเสถียรภาพลาดดินในรูปแบบการเลื่อนพังของทั้งระบบ (Overall Sliding) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการปักเข็มพืด(Sheet pile) ที่สามารถป้องกันการวิบัติเนื่องจากเสถียรภาพลาดดินได้อย่างปลอดภัยตามมาตรฐานของงานขุดดินที่ความลึก 0.5-5.5 เมตร ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าในการก่อสร้างกำแพงกันดินชนิดเข็มพืด(Sheet pile)การขุดดินที่ความลึก 0.5 ถึง 1.5 เมตรพบว่าดินมีเสถียรภาพเพียงพอ ส่วนการขุดดินที่ความลึกตั้งแต่ 2.0 ถึง 5.5 เมตร ต้องเพิ่มระยะการปักเข็มพืด(Sheet pile)ตามการแปรเปลี่ยนของความลึกในการขุดเพื่อที่จะสามารถป้องกันการวิบัติของเสถียรภาพลาดดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TITLE	THE STUDY ON EVALUATION OF RETAINING WALL'S DEPTH PREVENTING FROM SLOP STABILITY	
NAME	Mr. WERAWOOT LODKLONG	ID 53011512
	Mr. SARINGKARN CHOOCHAIYOUNG	ID 53011542
	Mr. AKKHARARAT THIANGDEE	ID 53011907
ADVISOR	ASST.PROF SOMKIAT KHWANPRUK	
DEGREE	BACHELOR CIVIL ENGINEERING	
YEAR	2013	

ABSTRACT

Study on evaluation of retaining wall's depth preventing failures resulting from slope stability can analyze the lowest slope stability through the PLAXIS version 8.2 programs by the Finite Element method which takes each soil horizon's parameters in accord with soil database in Bangkok area into its account. Building sheet pile retaining wall in asthenosphere, one must consider the failures of slope stability in the style of overall sliding so as to correlate the sheet piling with the excavation which can prevent safely, according to standard of excavation at the depth of 0.5 – 5.5 meters, failures resulting from the slope stability. Owing to the study, Building sheet pile retaining wall at the excavation 5 meters in depth shows the sufficient soil stabilization. Whereas the excavation at a depth of 2.0 – 5.5 meters must expand its sheet piling in accord with the varying depth of excavation that is able to prevent dangerous consequences <failures> of the slope stability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้นั้น มิได้เกิดจากคณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษเพียงลำพัง จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนทำให้โครงการพิเศษนี้บรรลุผลสำเร็จด้วยดีดังนี้

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ รศ.สุพจน์ ศรีนิล , อ. ปรีชานันท์ ศรีแก้ว , อ.อุบะ ศิริแก้ว และ ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์ ที่ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขหรือเพิ่มเติมเนื้อหาในส่วนที่ขาดไปทำให้โครงงานพิเศษมีความสมบูรณ์ และถูกต้องยิ่งขึ้น

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ ตลอดระยะเวลาที่ได้ทำการศึกษา ท่านได้ให้คำแนะนำต่างๆ มากมาย และให้คำสั่งสอนที่เป็นประโยชน์กับการทำโครงงานพิเศษอย่างมากมาย ทำให้โครงงานพิเศษมีความสมบูรณ์

บุพการีและครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ให้ข้อคิดดีๆ ตลอดจนอบรมสั่งสอนสรรพสิทธิ์วิทยาการต่างๆ ที่ทำให้สามารถดำเนินการจัดการทำโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รวมทั้ง ขอขอบคุณบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง ซึ่งมีส่วนร่วมกับงานวิจัยทุกท่านที่มีส่วนทำให้โครงงานพิเศษนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ ล้วนเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านทั้งหลายที่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงงานพิเศษรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นาย วีระวุฒิ ลอดคลอง
นาย ศฤงคาร ชูไชยยัง
นาย อัครรัชต์ เที่ยงดี
คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกในภาษาไทย	ก
	ปกในภาษาอังกฤษ	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ญ
	สารบัญรูป	ฏ
1	**บทนำ**	
	1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	1.2. วัตถุประสงค์	1
	1.3. ขอบเขตของการศึกษาโครงงานพิเศษ	2
	1.4. หลักการและทฤษฎีที่ใช้	2
	1.5. ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
	1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการดำเนินโครงการพิเศษ	3
2	**วรรณกรรมปริทัศน์**	
	2.1. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเสถียรภาพของลาดดิน	4
	2.2. การพิบัติของลาดดิน	7
	2.3. การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน	13
	2.4. PLAXIS Program	21
	2.5. กำแพงกันดินหรือโครงสร้างกันดิน	23
	2.6. พฤติกรรมและการพิบัติของกำแพงกันดิน	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	**อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน**	
	3.1. ขั้นตอนวิธีการดำเนินการ	32
	3.2. ศึกษาพารามิเตอร์ของชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีFinite Element	33
	3.3. แนวทางการวิจัยค่าอัตราส่วนปลอดภัยของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) สำหรับงานดินขุดที่ระดับความลึกต่าง ๆ	34
	3.4. หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์และสรุปข้อมูล	34
	3.5. อุปกรณ์	36
4	**ผลการศึกษาและวิเคราะห์**	
	4.1. ขุดดินลึก 1.0 เมตร	37
	4.2. ขุดดินลึก 1.5 เมตร	39
	4.3. ขุดดินลึก 2.0 เมตร	40
	4.4. ขุดดินลึก 2.5 เมตร	42
	4.5. ขุดดินลึก 3.0 เมตร	43
	4.6. ขุดดินลึก 3.5 เมตร	45
	4.7. ขุดดินลึก 4.0 เมตร	46
	4.8. ขุดดินลึก 4.5 เมตร	48
	4.9. ขุดดินลึก 5.0 เมตร	49
	4.10. ขุดดินลึก 5.5 เมตร	51
5	**สรุปและข้อเสนอแนะ**	
	5.1.สรุปผลการศึกษา	53
	5.2.ข้อเสนอแนะ	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	เอกสารและสิ่งอ้างอิง	55
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก คู่มือการใช้โปรแกรม PLAXIS	ผนวก ก-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	วิธีการวิเคราะห์และค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับลักษณะงานต่างๆ	4
2.2	แสดงพารามิเตอร์ชั้นดินต่างๆของดินกรุงเทพที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์	6
2.3	การจำแนกประเภทการเคลื่อนพังของลาดดินโดยวิธี Varnes	12
3.1	พารามิเตอร์ชั้นดินต่างๆของดินกรุงเทพที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์	33
4.1	ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 1 เมตร	37
4.2	ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 1.5 เมตร	39
4.3	ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 2.0 เมตร	40
4.4	ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 2.5 เมตร	42
4.5	ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 3.0 เมตร	43
4.6	ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 3.5 เมตร	45
4.7	ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 4.0 เมตร	46
4.8	ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 4.5 เมตร	48
4.9	ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 5.0 เมตร	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.10	ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 5.5 เมตร	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	การเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติของดินชนิดSoft to medium stiff clay	5
2.2	แสดงชั้นดินที่ความลึกต่างๆ	6
2.3	ตำแหน่งของพื้นของการเคลื่อนพัง	8
2.4	การจำแนกการเคลื่อนพังโดยพิจารณาจากขนาดของการเคลื่อนพังของลาดดิน	9
2.5	ตัวอย่างการเคลื่อนพังของลาดดินโดยวิธีของ Varnes	11
2.6	แสดงการแบ่ง Element ในวัสดุที่มีความต่อเนื่อง	14
2.7	แผนภาพแสดงวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element	15
2.8	ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดของวัสดุ	18
2.9	พื้นผิวพิบัติของแบบจำ ลอง Mohr-Coulomb ในระนาบของหน่วยแรงหลัก	20
2.10	ลักษณะกำแพงกันดินแบบ Gravity walls	23
2.11	ลักษณะกำแพงกันดินแบบ Cantilever wall	24
2.12	ลักษณะกำแพงกันดินแบบ Buttressed and Counterfort Walls	25
2.13	ลักษณะโครงสร้างกันดินแบบ Cantilever and Anchored Sheet Piles	25
2.14	ลักษณะโครงสร้างกันดินแบบ Relieving Platform	26
2.15	ลักษณะโครงสร้างกันดินแบบ Cellular Structures	26
2.16	ลักษณะโครงสร้างกันดินแบบ Braced Sheet Pile	27
2.17	ลักษณะการวิเคราะห์การพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Base Sliding	28
2.18	ลักษณะการวิเคราะห์การพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Overturning	28
2.19	ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Bearing Failure	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.20	ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Structural Failure	29
2.21	ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Overall Sliding	30
2.22	ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Bending Failure	30
2.23	ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Failure of Anchorage System	31
2.24	ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Toe Passive Failure	31
3.1	ขั้นตอนวิธีการดำเนินการ	32
3.2	แบบจำลองหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element แบบ Direct Method	34
3.3	การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนปลอดภัยกับระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)สำหรับงานขุดที่ความลึกต่างๆ	35
3.4	การเปรียบเทียบระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับงานขุดที่ความลึกต่างๆที่ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ1.5 ตามมาตรฐาน มยผ.1911-52	35
4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 1.0 เมตร	38
4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 1.5 เมตร	39
4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 2.0 เมตร	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 2.5 เมตร	42
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 3.0 เมตร	44
4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 3.5 เมตร	45
4.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 4.0 เมตร	47
4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 4.5 เมตร	48
4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 5.0 เมตร	50
4.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 5.5 เมตร	51
5.1	กราฟการเปรียบเทียบระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles)กับงานขุดที่ความลึกต่างๆที่ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1.5 ตามมาตรฐาน มยผ.1911-52	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ความลาดชันของดินถูกสร้างขึ้นโดยธรรมชาติ หรืออาจเกิดจกมนุษย์สร้างขึ้น ตัวอย่างเช่น ถนน เขื่อน และกำแพงดิน เป็นต้น โครงสร้างเหล่านี้ถูกบังคับให้ต้องรับแรงดันด้านข้าง เป็นผลให้โครงสร้างที่มีความลาดชันเกิดความไม่เสถียรภาพ ความเสียหายของความลาดชันในธรรมชาติจะเกิดในลักษณะการเลื่อนถล่มของดิน (Land slide) หรือถ้าเป็นโครงสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น ความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในดิน ซึ่งอาจเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใดหรืออาจเป็นไปอย่างช้าๆก็ได้

กำแพงกันดินเป็นโครงสร้างหนึ่งที่ได้รับผลจากแรงดันด้านข้างของดิน ในการก่อสร้างกำแพงกันดินต้องทราบถึงเสถียรภาพของดิน รูปแบบการวิบัติของดิน และตำแหน่งของการวิบัติที่ให้ค่าความปลอดภัยต่ำสุด เพื่อใช้ในการออกแบบความลึกของฐานรากกำแพงกันดิน ที่ทำให้เกิดความปลอดภัยตามมาตรฐานที่กำหนด

ปัญหาในการก่อสร้างกำแพงกันดิน คือไม่สามารถบอกถึงความลึกในการปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ทำให้ดินมีเสถียรภาพเพียงพอในการต้านทานการวิบัติของดินเนื่องจากลาดดิน

จากปัญหาดังกล่าว จึงต้องวิเคราะห์เสถียรภาพของดินโดยใช้โปรแกรมในการหาความลึกในการปักเข็มพืด(Sheet pile)ที่ปลอดภัย

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปลอดภัยของการวิบัติลาดดินกับระยะการปัก (Sheet pile)ในงานขุดที่ความลึกต่าง ๆด้วยวิธี Finite Elementที่สามารถป้องกันการวิบัติของลาดดิน(slop stability)ได้

2) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการปักเข็มพืด(Sheet pile) ที่สามารถป้องกันการวิบัติเนื่องจากเสถียรภาพลาดดินได้อย่างปลอดภัย กับงานขุดดินที่ความลึกต่างๆ

3) เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษาโครงงานพิเศษ

1) ใช้ข้อมูลชั้นดินในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร

2) ศึกษาเสถียรภาพลาดดิน ในการก่อสร้างกำแพงกันดินในแนวดิ่งเท่านั้น

3) สามารถคาดการหาความลึกที่เหมาะสมในการปักเข็มพืด(Sheet pile) เป็นกำแพงกันดินได้ โดยสามารถป้องกันการวิบัติเนื่องจากเสถียรภาพลาดดินได้อย่างปลอดภัย เพื่อเป็นพื้นฐานหรือแนวทาง ในการออกแบบกำแพงกันดิน

4) การใช้โปรแกรม Plaxis 8.2 ในการวิเคราะห์ในสภาพ Undrain condition และไม่มีแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนัก Surcharge load

1.4 หลักการและทฤษฎีที่ใช้

1) หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดของดินโดยวิธี Finite Element

2) ลักษณะการวิบัติกำแพงกันดิน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) ศึกษาข้อมูลดินในเขตกรุงเทพมหานคร

2) ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเสถียรภาพลาดดิน

3) ศึกษาการใช้โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน

4) ใช้โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินที่ความลึกต่างๆโดยใช้ข้อมูลดินในเขตกรุงเทพมหานคร

5) นำค่าที่ได้จากการใช้โปรแกรมมาหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนปลอดภัยกับความลึกในการปักเข็มพืดสำหรับการขุดดินที่ความลึกต่างๆ

6) วิเคราะห์ผลหาความสัมพันธ์ระหว่างการขุดดินที่ความลึกต่างๆ กับความลึกในการปักเข็มพืดเพื่อป้องกันการวิบัติเนื่องจากเสถียรภาพลาดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการดำเนินโครงการพิเศษ

1) ผู้ออกแบบกำแพงกันดินสามารถนำผลที่ได้ไปตรวจสอบเพื่อเสริมสร้างความมั่นใจ

2) สามารถใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์เสถียรภาพของดินได้

3) สามารถหาความลึกที่เหมาะสมในการก่อสร้างกำแพงกันดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเสถียรภาพของลาดดิน

งานวิจัยนี้ได้ทำการค้นคว้าและรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาเสถียรภาพของลาดดินในการก่อสร้างกำแพงกันดินซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

มยผ.1911-52 มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพลาดเอียงที่ปลอดภัยในการขุดดินและถมดิน ได้กล่าวถึงเกณฑ์สำหรับการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับการเลื่อนไถลแบบระนาบหรือการเลื่อนไถลแบบหมุนสำหรับลักษณะงานต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วิธีการวิเคราะห์และค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับลักษณะงานต่างๆ

ประเภทงาน	ช่วงเวลาการก่อสร้าง	วิธีการวิเคราะห์	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ยอมรับ
งานขุดดินและถมดิน	ขณะขุดดินหรือถมดินที่ใช้เวลาไม่เกิน 6เดือน	การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวมหรือแบบกำลังของดินไม่ระบายน้ำ	≥1.3
	ขณะขุดดินหรือถมดินที่ใช้เวลามากกว่า6 เดือน	การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวมหรือแบบกำลังของดินไม่ระบายน้ำ	≥1.5
	ขณะใช้งาน	การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงรวมหรือแบบกำลังของดินไม่ระบายน้ำ	≥1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วรากร ไม้เรียง,วรรณี ศุขสาตร[2542] ได้ศึกษาเรื่องลักษณะทางธรณีเทคนิคของการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติ เป็นการกำหนดลักษณะของพื้นผิวการเคลื่อนที่ หรือรูปแบบของการเคลื่อนที่ของลาดดินธรรมชาติ เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน การวิจัยนี้มีขึ้นเพื่อบ่งบอกรูปแบบของการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติ จากทฤษฎีและเอกสารวิชาการตลอดจนกรณีศึกษาของการพังทลายของลาดดินมากกว่า30เรื่อง จากผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเนื้อเดียว พบว่าสภาพการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติมีลักษณะพื้นผิวเป็นส่วนโค้งของวงกลม จากการวิเคราะห์ดิน90รูปแบบตัวอย่างและกรณีตัวอย่างการพังทลายของลาดจากภาคสนามจำนวน18ตัวอย่างพบว่าดินชนิดSoft to medium stiff clay โดยระดับน้ำใต้ดินไม่มีผลต่อค่าอัตราส่วนปลอดภัยของลาดเมื่อใช้Total stress analysis with Φ=0 มีการเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติมีลักษณะแสดงในรูปที่2.1

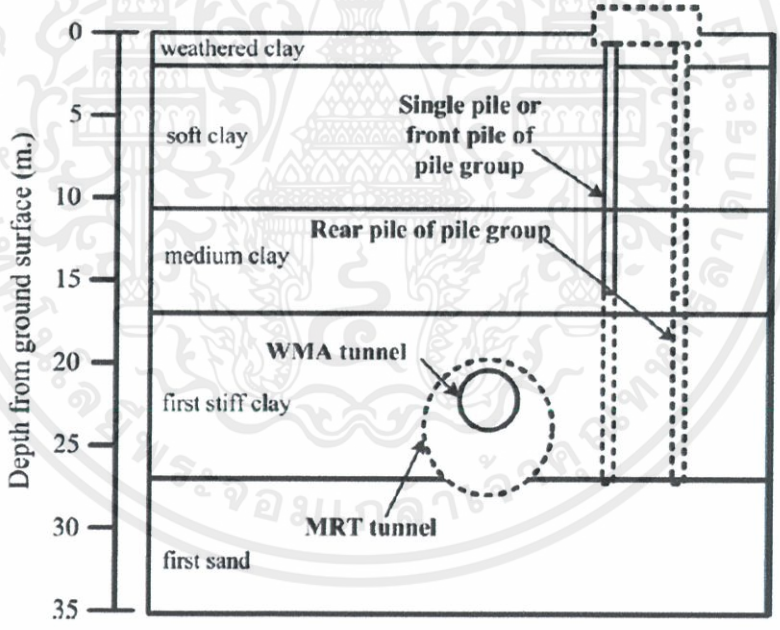
รูปที่2.1 การเคลื่อนที่ของลาดดินเนื้อเดียวตามธรรมชาติของดินชนิดSoft to medium stiff clay
[ที่มา:วรรณี ศุขสาตร]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Rukdeechuai et al., 2009) ได้ทำการศึกษาการจำลองเชิงตัวเลขสำหรับงานด้านวิศวกรรมปฐพีในชั้นดินกรุงเทพโดยได้ค่าพารามิเตอร์ของดินในชั้นต่างๆดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงพารามิเตอร์ชั้นดินต่างๆของดินกรุงเทพที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์

Soil layer	Wea.crust	Solf clay	Med.clay
Material model	MC	MC	MC
E' (kPa)	6000	5000	20000
λ_{sat} (kN/m^3)	17	16	18
v'	0.32	0.32	0.33
$\emptyset$ ' (^{o})	22	22	22
C (kPa)	8	5	10



รูปที่ 2.2 แสดงชั้นดินที่ความลึกต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การพิบัติของลาดดิน

ดินที่เกิดจากตามธรรมชาติย่อมมีทั้งภูเขา ที่ราบหรือที่มีความลาดเอียง ดังนั้นในการก่อสร้างอาคาร เขื่อน ถนน คลองขุด จำเป็นต้องตรวจสอบเสถียรภาพของดินก่อน เพื่อไม่ให้เกิดการพังทลายของโครงสร้างที่วางอยู่บนดินนั้นๆได้

การพิบัติของลาดดินทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาถึงสาเหตุของการพิบัติ เพื่อที่จะนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการแก้ไขหรือบรรเทา ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการพิบัติของลาดดิน

สาเหตุของการเกิดการเคลื่อนพัง หรือความไม่มั่นคงในลาดดินนั้น อาจเกิดจากสิ่งต่อไปนี้

1.) แรงดึงดูดของโลก หรือความต่างระดับของดิน

2.) แรงกระทำภายนอกมวลดิน เช่น น้ำหนักบรรทุก หรือแรงแผ่นดินไหว

3.) การสูญเสียกำลังของดินเนื่องจากแรงดันน้ำ การบวมตัว การอิ่มตัว การไหลซึมผ่านของน้ำ

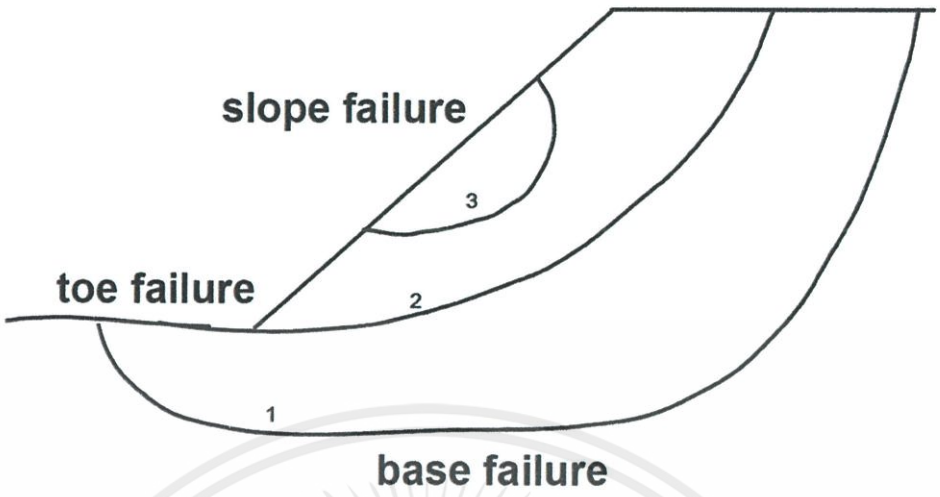
4.) การกัดกร่อนผุพังตามธรรมชาติ หรือการกัดเซาะ

ดังนั้นในการวิเคราะห์ จึงจำเป็นต้องทราบสาเหตุที่แท้จริงของการพิบัติ เพื่อแก้ปัญหาได้ตรงจุดประหยัดและปลอดภัย

การศึกษารูปแบบหรือลักษณะการพิบัติของลาดดินนั้น มีความสำคัญอย่างมากเพราะเป็นปัจจัยสำคัญในการที่จะนำมาใช้พิจารณาทฤษฎีวิเคราะห์เสถียรภาพในการคำนวณหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย การจำแนกรูปแบบการพิบัติของลาดดินมีการพิจารณาศึกษากันอย่างกว้างขวางโดยมีองค์ประกอบที่ใช้ในการจำแนกหลายชนิด เช่น ประเภทของดินหรือหิน ความชันของลาดดิน รูปร่างของผิวการเคลื่อนตัว ฯลฯ ซึ่งแต่ละวิธีที่ใช้ในการจำแนกต่างก็มีหลักการและเหตุผลที่แตกต่างกัน

Bishop (1954 , 1955 , 1957) มีข้อสมมติฐานกรณีพื้นผิวของการเคลื่อนที่เป็นส่วนโค้งของวงกลมโดยมีตำแหน่งของพื้นผิวที่เกิดขึ้นอาจเป็น Base Failure Surface , Toe Failure Surface และ Slope Failure Surface ดังแสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1.Base Failure Surface 2.Toe Failure Surface 3.Toe Failure Surface

รูปที่ 2.3 ตำแหน่งของพื้นของการเคลื่อนพัง

Blong (1973) จำแนกชนิดของการพิบัติของลาดดิน เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ โดยพิจารณาจากรูปร่างของการพิบัติ และความเร็วในการเคลื่อนตัวเป็นหลัก ดังนี้

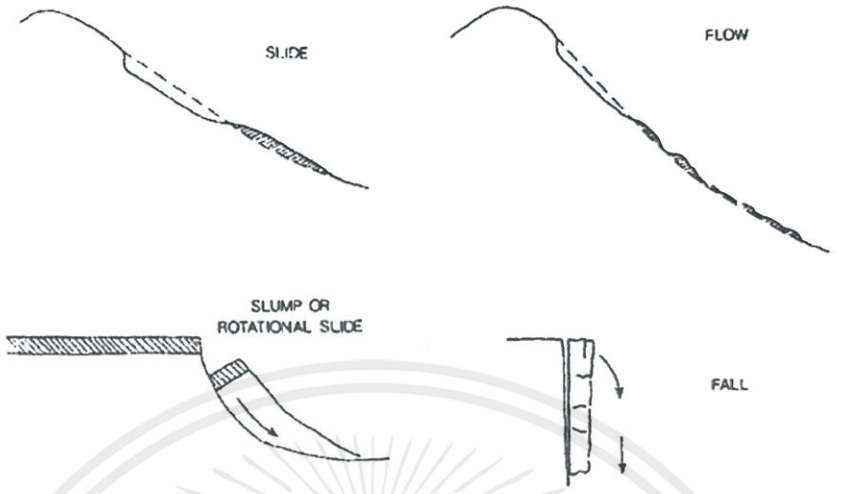
1) Slides เมื่อผิวเคลื่อนพังขนานกับผิวหน้าลาดดินโดยประมาณ ความลึกของมวลดินประมาณ 5-10 % ของความยาวการเคลื่อนพัง อัตราการเคลื่อนตัวอยู่ในช่วง 0.06 เมตรต่อปี ถึง 0.3 เมตรต่อนาที

2) Slumps หรือ Rotational Slides เมื่อผิวเคลื่อนพังเป็นรูปโค้งหงายขึ้น คล้ายตักด้วยช้อน ความลึกของผิวเคลื่อนประมาณ 15-30 % ของความยาวของการเคลื่อนพัง โดยมีอัตราการเคลื่อนตัวช้ากว่าประเภทแรกอยู่ในช่วงระหว่าง 0.06 เมตรต่อปี ถึง 1.5 เมตรต่อวัน

3) Flows เกิดในลักษณะผิวเคลื่อนบางและตื้น เป็นผิวขนานกับผิวหน้าของลาดดิน มีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นทางยาว โดยอัตราส่วนความหนาต่อความยาวประมาณ 0.5-3.0 % และวัสดุชุ่มน้ำหรือมีความชื้นสูง จึงเคลื่อนตัวในลักษณะการไหลลงตามลาดเขาอย่างรวดเร็วในอัตราการเคลื่อนตัวเป็น 0.3 เมตรต่อนาที ถึงมากกว่า 3 เมตรต่อวินาที

4) Falls เกิดขึ้นในลักษณะชิ้นส่วนของมวลดินหรือดินแตกแยกออกจากชิ้นส่วนหลักแล้วร่วงหล่นหรือกลิ้งลงมาตามหน้าผาหรือไหล่เขา โดยมีอัตราการเคลื่อนตัวเร็วมากในช่วง 1.0 เมตรต่อวินาทีถึงมากกว่า 100 เมตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4. การจำแนกการเคลื่อนพังโดยพิจารณาจากขนาดของการเคลื่อนพังของลาดดิน

[ที่มา : Blong (1973)]

Varnes (1978) อธิบายการจำแนกรูปแบบการพิบัติในรายงานของ Transportation Research Board , Special Report 176 Landslides ; Analysis and Control ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นที่นิยมคอนข้างกว้างขวางเนื่องจากมีรูปในลักษณะสามิติที่สามารถประกอบคำอธิบายให้เข้าในได้ง่าย โดยพิจารณาจากรูปการเคลื่อนตัว ชนิดของวัสดุและอัตราการเคลื่อนที่ ดังแสดงในภาพที่ 3 ทั้งยังแบ่งวัสดุที่เกี่ยวข้องออกเป็น 3 ประเภท คือ ดิน ดินปนหิน และหิน Varnes ได้จำแนกประเภทการพิบัติออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้

1) การร่วงหล่น (Falls) เป็นรูปแบบการเคลื่อนตัวของมวลวัสดุที่เป็นกลุ่มก้อนหรือเป็นก้อนหินร่วงหล่นลงมาจากหน้าผา มีอัตราการเคลื่อนที่มากกว่า 3×10^{-3} เมตรต่อวินาที

2) แบบกลิ้งไปข้างหน้า (Topples) เป็นรูปแบบของการเคลื่อนตัวต่อเนื่องกลายเป็นแบบร่วงหล่น (Fells) หรือแบบเลื่อนไถล (Slides) ได้ต่อไป

3) แบบเลื่อนไถล (Slides) เป็นรูปแบบของการเคลื่อนพังของมวลวัสดุในรูปแบบของการเลื่อน

4) แบบเคลื่อนตัวขยายตัวไปด้านข้าง (Lateral Spreads) มีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นการขยายตัวด้านข้างของมวลวัสดุ การเคลื่อนที่แบบนี้มักพบในดินประเภท Sensitive Silt and Clay ที่มี

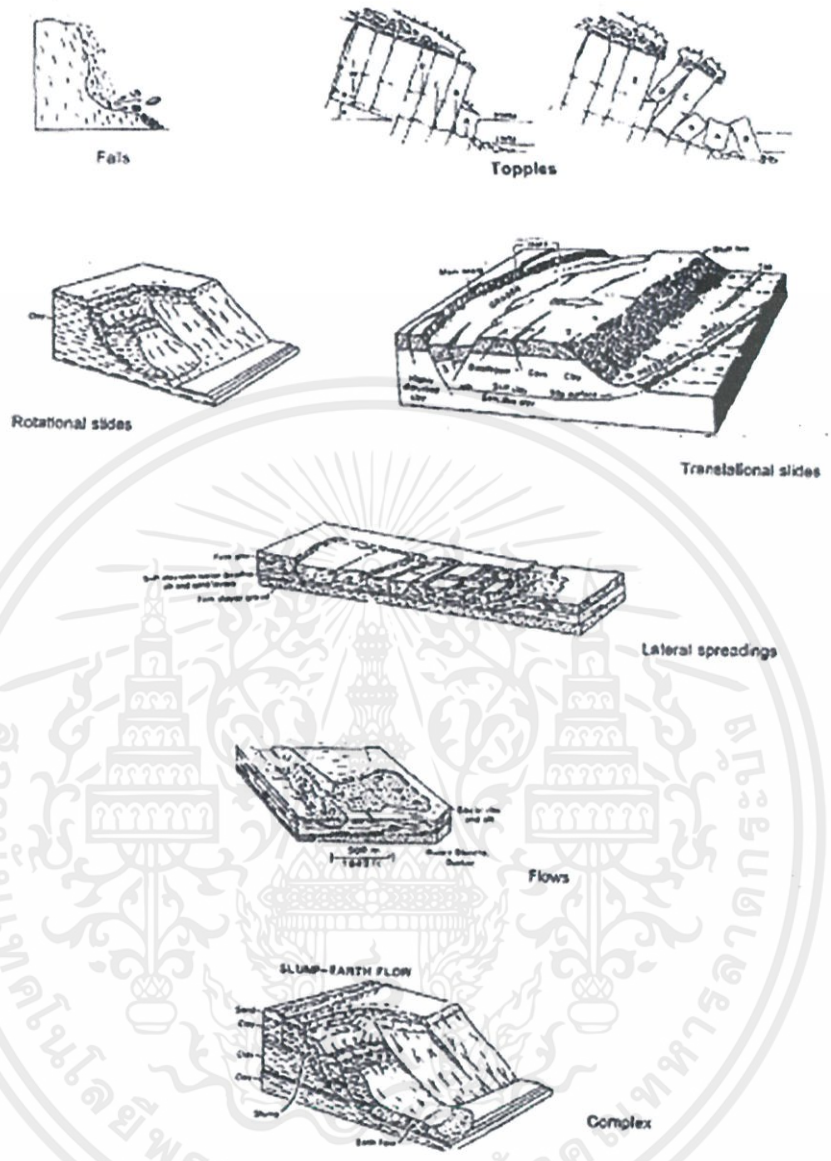
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นทันทีทันใดด้วยอัตราการเคลื่อนที่ระหว่าง 3×10^{-5} เมตรต่อวินาที แต่ถ้าพบในชั้นหินอัตราการเคลื่อนที่จะน้อยกว่า 3×10^{-9} เมตรต่อวินาที

5) แบบไหล (Flows) การเคลื่อนตัวแบบไหล มักพบในวัสดุที่ไม่มีการยุบอัดตัว มีลักษณะการเคลื่อนตัวในรูปแบบของการไหลของของเหลวที่มีความหนืดขนานกันแนวลาดเดิม

6) แบบ Complex มีลักษณะของการเคลื่อนตัวที่ประกอบด้วยหลายรูปแบบรวมกัน เช่น รูปแบบที่มีการเคลื่อนพังเป็นแบบ Complex ที่ประกอบด้วย Rock Slide , Rock Fall และ Debris Flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการเคลื่อนพังของลาดดินโดยวิธีของ Varnes ที่มา : Varnes (1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 การจำแนกประเภทการเคลื่อนพังของลาดดินโดยวิธี Varnesที่มา : Varnes (1978)

TYPE OF MOVEMENT			TYPE OF MATERIAL		
			BEDROCK	DEBRIS (coarse soil and rocks)	EARTH (fine soil)
I	FALLS		rock fall	debris fall	earth fall
II	TOPPLES		rock topple	debris topple	earth
III	SLIDES	ROTATIONAL	rock slump	debris slump	earth slump
		TRANSLATIONAL	a. rock block slide	debris slide	earth slide
			b. rock slide		
IV	SPREADS		rock spread		earth lateral spread
V	FLOWS		bedrock flow	a. debris flow	a. wet sand flow
				b. debris	b. rapid earth flow
				avalanche stream	c. earth flow
				d. solifluction	d. loess flow
				e. soil creep	e. dry sand flow
VI	COMPLEX		combination of above movement		

งานวิจัยนี้ได้เลือกเอาลักษณะการพิบัติแบบเคลื่อนหมุน (Rotational Slide) มาใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทางภายใต้ขอบเขตของลักษณะและคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน

2.3.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element Method

Janbu (1954) กล่าวว่า ความมั่นคงของ Homogeneous Slope จะขึ้นอยู่กับ Slope Height (H), Inclination (β), Unit weight of soil (γ), Cohesion (C) and Angle of friction(φ) และผลของ Factor เหล่านี้สามารถที่จะนำมาคิดรวมกันได้โดยการใช้ Dimensionless parameter ($\lambda_{c\phi}$) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการที่(2.1) ได้ดังนี้

$$\lambda_{c\phi} = \frac{\gamma H tan\phi}{c} \qquad (2.1)$$

จากสมการของ Janbu (1954) แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดสามารถที่จะแสดงได้ในเทอมของ $\lambda_{c\phi}$ และ อีก 2 Dimensionless coefficient คือ $\frac{F\gamma H}{c}$ และ Tangent of the slope angle, (tan φ) ค่าของ $\lambda_{c\phi}$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า Frictional component of soil strength ค่าของ $\lambda_{c\phi}$ มีได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงค่าอนันต์ (Infinity) โดยจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อ tanφ = 0 หรือดินเป็นดินเหนียวโดยสมบูรณ์ และจะมีค่าอนันต์เมื่อค่า C = 0

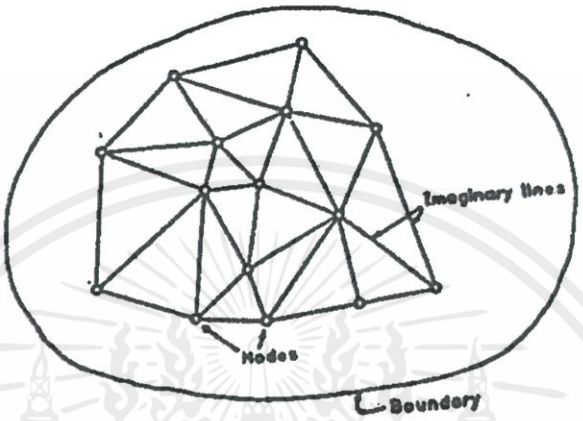
Finite Element Method

วิธี Finite Element นำมาใช้ทางวิศวกรรมปฐพีเป็นครั้งแรกโดย Clough and Woodward (1967) ในการวิเคราะห์หน่วยแรงและการเคลื่อนตัวของเขื่อนดิน ลักษณะโดดเด่นที่สำคัญที่สุดของวิธีการนี้ คือ การใช้รูปความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นของ Stress – Strain (Non-linear Stress – Strain Characteristics)

วิธี Finite Element เป็นวิธีที่ใช้กันในการแก้ปัญหาใน Continuum Mechanics ซึ่งสามารถใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณให้มีความแม่นยำ และรวดเร็วยิ่งขึ้น หลักการโดยทั่วไปคือ ทำการแบ่งวัตถุที่มีความต่อเนื่องออกเป็นส่วนย่อยเล็กๆ เรียกว่า Element ซึ่งเป็นได้ทั้งรูปสามเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยมโดยที่ Element เหล่านี้ถูกแยกออกจากกันด้วยเส้นสมมติ (Imaginary line) หรือพื้นผิวสมมติ (Imaginary Surface) และต่อเชื่อมระหว่างกันด้วยจุด (Node) ที่อยู่บนขอบเขตของ Element ในการคำนวณหน่วยแรงและการเคลื่อนตัวจะทำการคำนวณในทุก Element ทำให้ได้ค่าที่มีความละเอียดสูง (Chowdhury, 1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของดินหรือหิน ความสัมพันธ์ของ Stress–Strain มักไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Stress–Strain Characteristics) ดังนั้นการวิเคราะห์เชิงตัวเลขจึงมีความจำเป็นต้องปรับความสัมพันธ์ดังกล่าวให้ถูกต้อง ซึ่งโดยทั่วไปมี 3 วิธีคือ



รูปที่ 2.6 แสดงการแบ่ง Element ในวัสดุที่มีความต่อเนื่อง

1.) Incremental method คือการแบ่งความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรงออกเป็นส่วนประกอบของเส้นตรงหลายช่วง โดยแต่ละช่วงให้ถือว่าความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นเป็นเส้นตรง

2.) Iterative method คือการเริ่มกำหนดความสัมพันธ์เริ่มต้นค่าใดค่าหนึ่ง แล้วคำนวณหาความเบี่ยงเบนจากค่าที่แท้จริงเพื่อปรับหาค่าความสัมพันธ์ในช่วงถัดไป

3.) Mixed method คือการรวม 2 วิธีข้างต้นเข้าด้วยกัน

ส่วนสำคัญของวิธี Finite Element คือค่าสติฟเนส (Stiffness) ของแต่ละเอลิเมนต์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า Poisson 's Ratio (**V**) และ Modulus of Elasticity (E) ของดิน เนื่องจากมีจุดต่อเป็นจำนวนมากจึงมีสมการการเคลื่อนที่ของจุดต่อมาก การแก้สมการเหล่านี้จึงต้องอาศัยหลักการของเมตริกซ์ (Matrix algebra) และคำตอบของวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์จะขึ้นอยู่ในรูปของสมการสมดุลย์และความสอดคล้องของแต่ละจุดต่อ ซึ่งสามารถทำสมการให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ ดังนี้

$$\{F\} = [K]\{\delta\} \qquad (2.2)$$

เมื่อ $\{F\}$= แรงที่กระทำ (Vector of applied nodal forces)

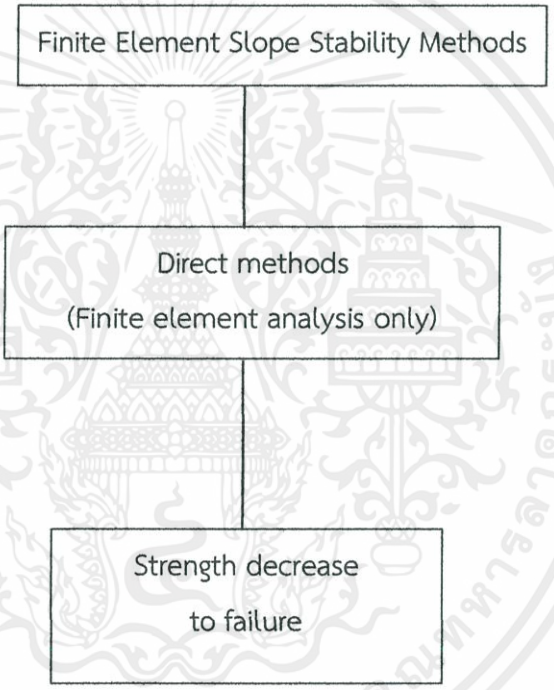
$[K]$= Stiffness matrix

$\{\delta\}$= Unknown modal displacement vector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อแก้สมการจะทำ ให้ทราบค่าการเคลื่อนตัวของดินใต้ฐานราก ทำการเปลี่ยนค่าการเคลื่อนตัวของแต่ละจุดต่อไปเป็นความเครียดของแต่ละเอลิเมนต์และใช้ความสัมพันธ์ของStress-strain หาค่าหน่วยแรงในเอลิเมนต์

การวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Sheet pile) ด้วยวิธี Finite Element สามารถจำแนกวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element ออกได้เป็น 2 แบบหลักด้วยกัน คือ แบบ Enhanced Limit Method และแบบDirect Method ทั้งสองแบบมีหลักการแตกต่างกันออกไป ได้นำวิธีวิเคราะห์แบบ Direct Method มาเป็นประเด็นในการศึกษาในครั้งนี้



รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element
[ที่มา: Fredlund and Scoular (1999)]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดินเข็มพืด(Sheet pile) ด้วยวิธี Finite Element แบบ Direct Method ได้ใช้วิธีวิเคราะห์โดยหลักการลดค่าความแข็งแรงของชั้นดินจนกระทั่งโครงสร้างเกิดการพิบัติ (Strength decrease to failure) ซึ่งเป็นวิธีเฉพาะทาง Finite Element ที่มีบรรจุอยู่ในโปรแกรม PLAXIS โดยมีชื่อเรียกในโปรแกรมว่า วิธีPhi-c-reduction

การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element แบบ Direct Method เป็นการวิเคราะห์เสถียรภาพเพื่อหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด(Minimum factor of safety) จากวิธี Finite Element โดยตรง ใช้โปรแกรม PLAXIS และใช้แบบจำ ลอง Mohr-Coulomb(Perfect-plasticity) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีการที่เรียกว่า Phi-c-reduction ซึ่งเป็นวิธีการที่มีอยู่ในโปรแกรม PLAXIS

ในวิธีการทาง Finite Element ได้มีหลักการหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย โดยหลักการนี้จะใช้วิธีการลดค่าความแข็งแรงของดินลง(Strength Reduction) จนกระทั่งโครงสร้างคันทางเกิดการพิบัติ ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีการคำนวณที่ค่อนข้างซับซ้อนไม่สามารถวิเคราะห์ตามแบบปกติได้ต้องใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์หลักการดังกล่าวได้บรรจุอยู่ในโปรแกรม PLAXIS ในชื่อที่วิธีการที่เรียกว่า Phi-c-reduction ซึ่งได้ใช้หลักการนี้มาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของกำแพงกันดิน

วิธี Phi-c-reduction ได้กำหนดให้ค่าองค์ประกอบกำลังรับแรงเฉือนของดิน (Strength Parameter) คือ Friction Angle (tan$\emptyset$) และ Cohesion (C) จะถูกลดค่าลงจนกระทั่งโครงสร้างเกิดการพิบัติ ซึ่งสมการที่ใช้หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสามารถแสดงในสมการที่(2.3)ได้ดังนี้

$$FS = \frac{tan\emptyset_{input}}{tan\emptyset_{reduced}} = \frac{C_{input}}{C_{reduced}} \qquad (2.3)$$

เมื่อ C_{input}และ $\emptyset_{input}$คือค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้จากการทดสอบทางวิศวกรรมปฐพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิธีการ Phi-c-reduction ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเริ่มต้น (FSinitial) จะมีค่าเท่ากับ1 เนื่องจากค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ใส่เข้าไปและค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ถูกลดมีค่าเท่ากัน หลังจากนั้นค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจะถูกลดค่าลงโดยอัตโนมัติ (ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (FS) ก็จะเพิ่มสูงขึ้น) จนกระทั่งโครงสร้างเกิดการพิบัติ และที่จุดพิบัตินี้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.4)

$$FS = \frac{\text{Available Strength}}{\text{Strength at failure}} = FS_{\text{at failure}} \qquad (2.4)$$

2.3.2.แบบจำลองพฤติกรรมของดิน

จากทฤษฎีของกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics) เมื่อวัสดุได้รับแรงกระทำจะเกิดการกระจายหน่วยแรงและจะมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนตัว (Deformation) ลักษณะและขนาดของการเคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ Stress-strain

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียด (Stress-strain relation) ของวัสดุแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

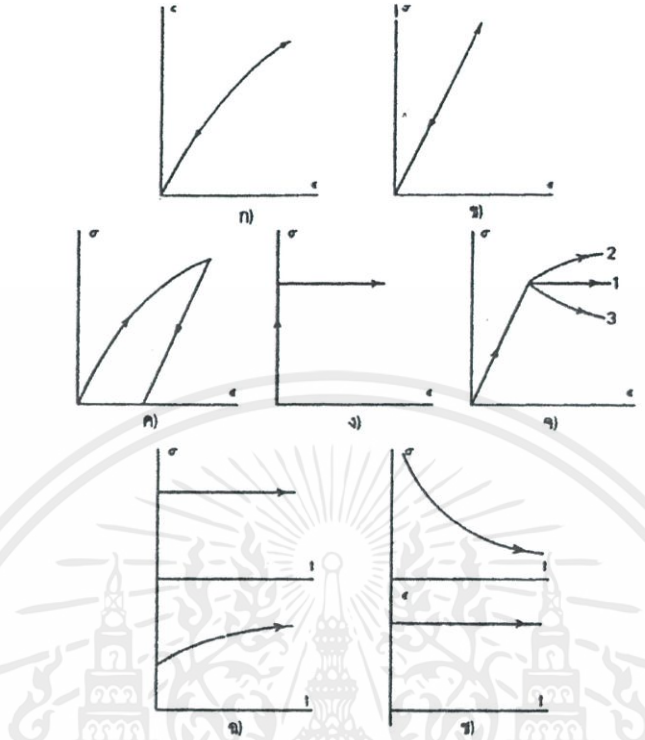
1) Nonlineary Elastic คือ ความสัมพันธ์ที่มีความยืดหยุ่นโดยสมบูรณ์แต่ไม่เป็นเชิงเส้น วัสดุที่มีความสัมพันธ์เช่นนี้ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นสามารถคืนกลับได้หมดเมื่อนำแรงกระทำออก

2) Linearly Elastic ความสัมพันธ์เป็นแบบเดียวกันกับข้อ 1 แต่เป็นเชิงเส้น

3) Nonelastic คือความสัมพันธ์ในกรณีที่ความเครียดไม่สามารถคืนกลับได้ทั้งหมดเมื่อเอาน้ำหนักกระทำออกค่าความเครียดจะคืนตัวได้บางส่วน ลักษณะนี้เรียกว่า ความเครียดพลาสติก

4) Perfectly Plastic คือความสัมพันธ์ที่มีความเป็นพลาสติกโดยสมบูรณ์ เมื่อเอาน้ำหนักกระทำออก ค่าความเครียดจะไม่มีการคืนตัว ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า Rigid-Plastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียดของวัสดุ ที่มา: พงษ์ศิลป์ (2544)

5) Elasto-Plastic คือความสัมพันธ์ในลักษณะที่มีทั้งแบบที่สามารถคืนกลับได้และที่ไม่สามารถคืนกลับได้ ซึ่งเป็นพฤติกรรมแบบผสมผสานทั้งอิลาสติกและพลาสติก เป็นความสัมพันธ์ที่มีความยืดหยุ่นโดยสมบูรณ์ในช่วงแรกจนกระทั่งถึงจุดคลากความสัมพันธ์จะเปลี่ยนไปเป็นแบบพลาสติก ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ลักษณะคือ

Curve 1 เป็น Perfectly Plastic มีความเป็นพลาสติกโดยสมบูรณ์ กรณีที่หน่วยแรงไม่มีผลกับความเครียดในช่วงพลาสติก

Curve 2 เป็น Strain Hardening ค่าความเค้นในเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้นเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น

Curve 3 เป็น Strain Softening มีค่าความเค้นในเนื้อวัสดุลดลงเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น

6) Viscoelastic Creep at Constant Stress คือความสัมพันธ์ในวัสดุที่มีแรงกระทำคงที่แต่ความเครียดเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป เช่น กรณีของการเกิดการคืบและ Consolidation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) Viscoelastic Relaxation at Constant Strain คือความสัมพันธ์ในวัสดุที่มีความเครียดคงที่แต่แรงกระทำลดลงตามเวลาที่ผ่านไป

ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาเลือกใช้แบบจำลองที่มีอยู่ในโปรแกรม PLAXIS โดยใช้แบบจำลอง Mohr-Coulomb (Perfect-plasticity) ในการวิเคราะห์ด้านเสถียรภาพ

2.3.3.แบบจำ ลอง Mohr-Coulomb (Perfect-plasticity)

เป็นแบบจำ ลองที่มีพื้นผิวพิบัติ (Yield surface) ที่แน่นอน ซึ่ง Yield surface นี้จะถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของดิน (Soil parameter) ที่ใส่เข้าไป และ Yield surface นี้จะไม่ขึ้นอยู่กับความเครียด (Strain) สภาวะของหน่วยแรง (Stress) ใดๆ ก็ตามที่อยู่ภายในขอบเขตของ Yield surface จะมีพฤติกรรมเป็น Elastic โดยสมบูรณ์

ในการกำหนดขอบเขตของพื้นผิวพิบัติจะให้กฎของ Mohr-Coulomb เป็นตัวกำหนด ซึ่งรูปแบบของ Mohr-coulomb yield function สามารถจำแนกออกเป็น 3 สมการด้วยกัน ซึ่งแต่ละสมการแสดงอยู่ในเทอมของหน่วยแรงหลัก (Principle stress) ดังนี้

$$f_1 = \frac{1}{2}|\sigma'_2 - \sigma'_3| + \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_3)sin\phi - Ccos\phi \leq 0 \qquad (2.5)$$

$$f_2 = \frac{1}{2}|\sigma'_3 - \sigma'_1| + \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_1)sin\phi - Ccos\phi \leq 0 \qquad (2.6)$$

$$f_3 = \frac{1}{2}|\sigma'_1 - \sigma'_2| + \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_2)sin\phi - Ccos\phi \leq 0 \qquad (2.7)$$

Yield function ของแบบจำ ลอง Mohr-Coulomb สามารถแสดงเป็นรูปกรวย 6 เหลี่ยมในระนาบของหน่วยแรงหลัก (Principle stress) ได้ดังภาพ

ตัวแปรพื้นฐาน (Basic parameter) ที่ใช้ในแบบจำ ลอง Mohr-Coulomb มีทั้งหมด 5 ตัวด้วยกัน ซึ่งทั้งหมดเป็นพารามิเตอร์ที่ทราบกันดีทางด้านวิศวกรรมปฐพี โดยตัวแปรทั้ง 5 ตัว คือ

E : Young's modulus

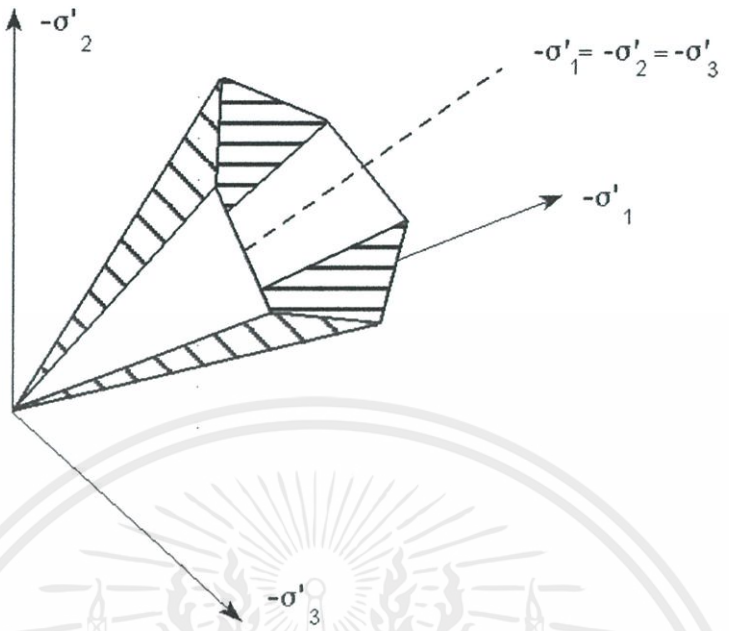
V : Poisson's ratio

φ : Friction angle

C : Cohesion

Ψ : Dilatancy angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 พื้นผิวพิบัติของแบบจำ ลอง Mohr-Coulomb ในระนาบของหน่วยแรงหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 PLAXIS Program

โปรแกรม PLAXIS เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แบบจำ ลองทางธรณีเทคนิคด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนท์ (Finite Element Method) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1987 ที่ Technical University of Delt ประเทศเนเธอร์แลนด์ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม PLAXIS version 8.2

โปรแกรม PLAXIS สามารถวิเคราะห์ปัญหาได้ทั้งแบบ Undrained และConsolidation Analysis ทั้งในระบบ 3 มิติ และ 2 มิติ (Plane Strain or Axismmetry) สามารถกำหนดขอบเขตของการเคลื่อนตัว ความดันน้ำส่วนเกิน และสามารถจำลองขั้นตอนของการก่อสร้าง(Construction Stage) ได้

โปรแกรม PLAXIS ประกอบด้วยกลุ่มงาน 3 กลุ่มหลักและมีความต่อเนื่องกัน โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

INPUT เป็นกลุ่มงานที่ใช้ในการกำหนดลักษณะขอบเขตแบบจำลองของชั้นดินและคุณสมบัติของรูปร่างของแบบจำลอง (Geometry) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งในการทำงานมีลักษณะที่สำคัญดังต่อไปนี้

1.) ในการกำหนดขอบเขตชั้นดิน (Soil Layer) โครงสร้างประกอบ (Structures) ขั้นตอนการก่อสร้าง (Construction Stage) และขอบเขตเงื่อนไขของแบบจำลอง (BoundaryCondition) ได้โดยใช้วิธีการทางกราฟฟิก

2.) รูปแบบของเอลลิเมนท์ (Element) สามารถกำหนดเป็น Beams, Geotextiles,Anchors, Interface Element และ Tunnels

3.) ชนิดของเอลลิเมนท์ (Element) ที่สามารถกำหนดในโปรแกรม PLAXIS ประกอบด้วย 6-node triangular element และ 15- node triangular element สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาใน 2 มิติ (2D Analysis) ส่วนในการวิเคราะห์ปัญหาใน 3 มิติ (3D Analysis) สามารถกำหนดได้เพียงรูปแบบเดียวคือ 15-node wedge element ดังแสดงในภาพ

4.) แบบจำ ลองของชั้นดิน (Soil Model) ที่สามารถกำหนดได้ในโปรแกรม PLAXIS มีทั้งหมด 5 แบบ คือ Linear Elastic, Mohr-Coulomb, Soft-Soil model, Hardening Soil modelและ Soft-Soil (creep) model

CALCULATION เป็นกลุ่มงานที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม PLAXIS มีขั้นตอนการคำนวณที่แยกจากกันชัดเจนระหว่าง Plastic Calculation, Consolidation Analysis และ Update Mesh Analysis ดังนั้นในการวิเคราะห์แต่ละโครงการจะมีขั้นตอนในการคำนวณมากกว่าหนึ่งขั้นตอน ลักษณะเฉพาะของการคำนวณที่มีในโปรแกรม PLAXIS มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) Automatic Load Stepping โปรแกรม PLAXIS สามารถกำหนดลำดับและเวลาของขั้นตอนการเพิ่มของน้ำหนักกระทำ (Load) ได้โดยอัตโนมัติ

2) Arc-Length Control ในการคำนวณหาค่าน้ำหนักกระทำ ที่ทำให้โครงสร้างเกิดการพิบัติ (Collapse Load) และกลไกของการพิบัติ (Failure Mechanisms) โปรแกรม PLAXIS จะใช้หลักการ Arc-Length Control ซึ่งเป็นหลักการทาง Mechanical Engineering เข้ามาใช้ในการควบคุมและตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์

3) Stage Construction โปรแกรม PLAXIS สามารถที่จะจำลองลำดับขั้นตอนของการก่อสร้าง เช่น สามารถจำลองลำดับของงานขุด (Excavation) และงานถมได้ใกล้เคียงกับลำดับขั้นตอนของการก่อสร้างจริงที่เกิดขึ้นในสนาม

4) Safety Factor โปรแกรม PLAXIS มีหลักการพิเศษที่เรียกว่า Phi-c-reductionสามารถใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของการก่อสร้างได้โดยตรงจากวิธี Finite Element OUTPUT เป็นกลุ่มงานที่ใช้สรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการป้อนข้อมูลใน INPUT และผลการคำนวณจาก CALCULATION รูปแบบการแสดงผลของโปรแกรม PLAXIS มีดังนี้

1) รูปแบบกราฟฟิค โดยสามารถแสดงผลในรูปของ Contour Line, Contour Shading,Deformed Mesh, Displacement Arrows, Cross-Sections นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันพิเศษที่สามารถแสดงเส้นทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) เพื่อใช้ในการติดตามและตรวจสอบพฤติกรรมของชั้นดินที่เกิดจากก่อสร้างในแต่ละขั้นตอนได้

2) รูปแบบตาราง ผลการคำนวณที่ได้สามารถแสดงค่าในรูปแบบของตารางและสามารถนำค่าในตารางที่ได้จากโปรแกรมนี้เชื่อมโยงเข้ากับโปรแกรมอื่น เช่น Microsoft Words และMicrosoft Excels ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กำแพงกันดินหรือโครงสร้างกันดิน

กำแพงกันดิน หรือโครงสร้างกันดิน คือ โครงสร้างที่รับแรงดันดินด้านข้าง ซึ่งเกิดจากระดับดินที่ต่างกัน แบ่งเป็นกลุ่มของโครงสร้าง 4 ประเภท คือ

1) กำแพงกันดิน (Retaining Wall)

2) เข็มพืด หรือแผ่นผนังกันดิน (Sheet Pile Structures)

3) ผนังค้ำยันการขุด (Excavation Bracing)

4) ผนังดินเสริมแรง (Earth Reinforcement)

ซึ่งกำแพงกันดิน หรือโครงสร้างกันดินที่สามารถพบได้ทั่วไป และนิยมใช้กันมาก มีดังต่อไปนี้

กำแพงกันดินแบบถ่วงน้ำหนัก (Gravity Walls)

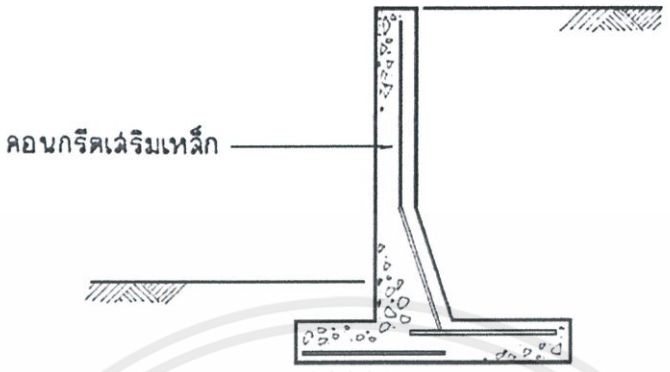
ก. ผนังกันดินคอนกรีตล้วน

รูปที่ 2.10 ลักษณะกำแพงกันดินแบบ Gravity walls

- กำแพงหินก่อ
- กำแพงกันดินอิฐก่อ
- กำแพงหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู ต้องมีขนาดและน้ำหนักมากพอที่จะต้านทานแรงดันดิน ไม่ให้เกิดการเลื่อนไถล (Sliding) ที่ฐาน และไม่ให้เกิดการพลิกคว่ำด้วยน้ำหนักตัวเอง
- ส่วนมากจะใช้ในกรณีความสูงอยู่ในช่วง 1-5 เมตร
- ต้องการความกว้างของฐานประมาณ 0.5 – 0.7 เท่าของความสูงของกำแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ Cantilever Wall



ข , ผนังกันดินคอนกรีตเสริมเหล็ก

รูปที่ 2.11 ลักษณะกำแพงกันดินแบบ Cantilever wall

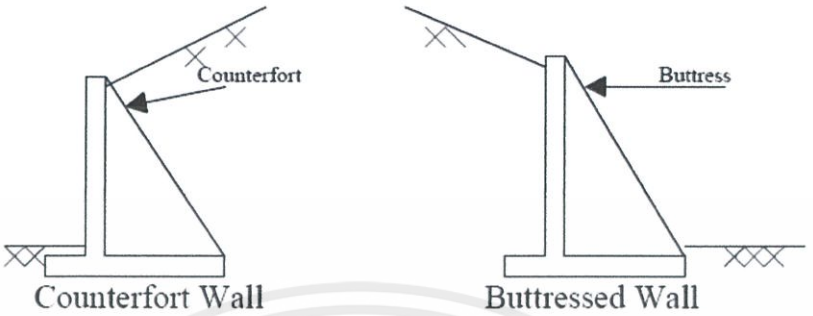
- กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัว T คว่ำ ผนังและฐานคอนกรีตบาง ต้องรับแรงดันโดยโมเมนต์และกำลังรับแรงเฉือนของหน้าตัดเอง ส่วนการเกิดการเลื่อนไถล (Sliding) ที่ฐาน และการพลิกคว่ำต้านทานด้วยน้ำหนักของคอนกรีตและดินที่อยู่เหนือฐานขึ้นไป

- ส่วนมากจะใช้ในกรณีความสูงอยู่ในช่วง 2-10 เมตร

- ต้องการความกว้างของฐานประมาณ 0.5 – 0.7 เท่าของความสูงของกำแพง

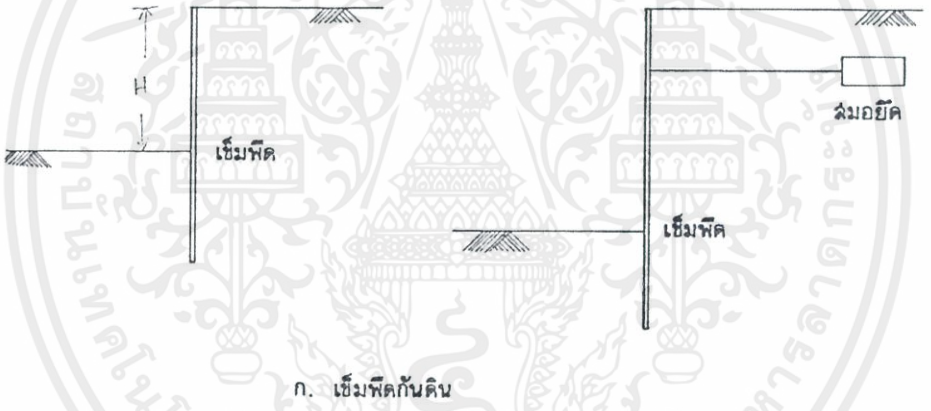
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำแพงกันดินคอนกรีตเสริมเหล็กแบบครีบยันและครีบดึง (Buttressed and CounterfortWalls)



รูปที่ 2.12 ลักษณะกำแพงกันดินแบบ Buttressed and Counterfort Walls

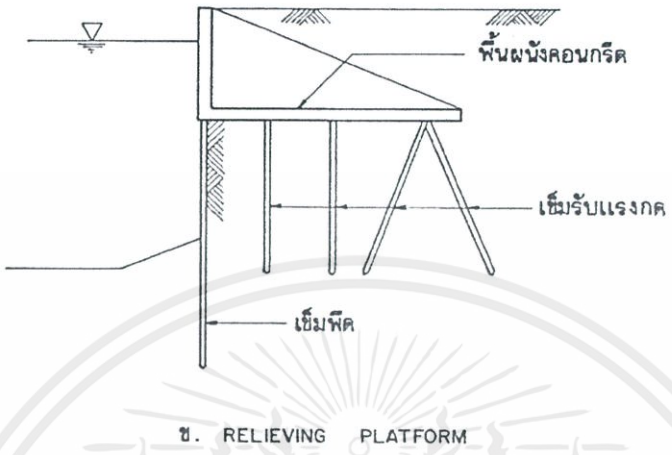
โครงสร้างกันดินแบบ Cantilever and Anchored Sheet Piles



รูปที่ 2.13 ลักษณะโครงสร้างกันดินแบบ Cantilever and Anchored Sheet Piles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

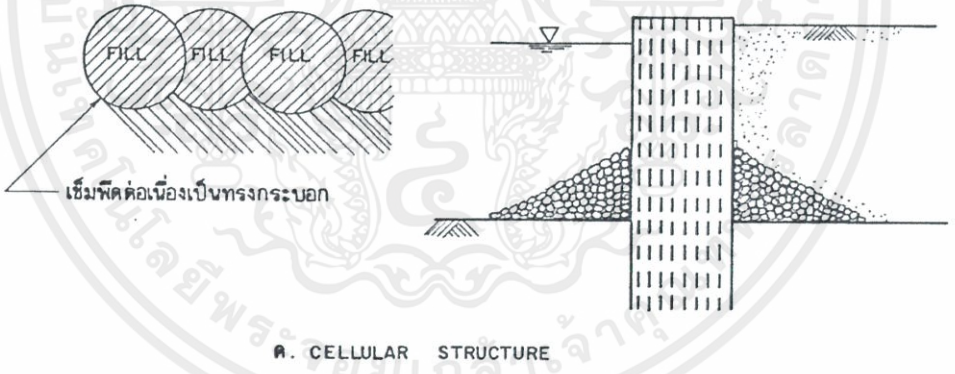
โครงสร้างกันดินแบบ Relieving Platform



ข. RELIEVING PLATFORM

รูปที่ 2.14 ลักษณะโครงสร้างกันดินแบบ Relieving Platform

โครงสร้างกันดินแบบ Cellular Structures

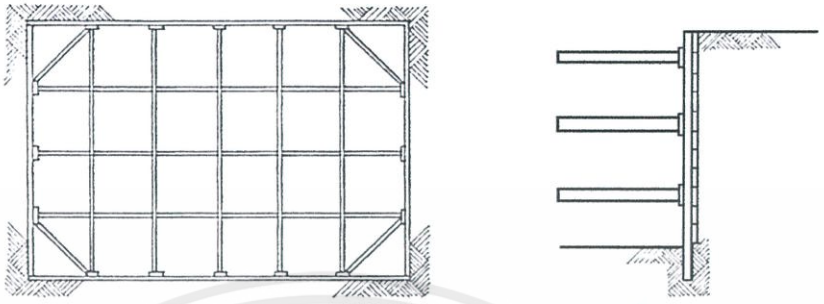


ค. CELLULAR STRUCTURE

รูปที่ 2.15 ลักษณะโครงสร้างกันดินแบบ Cellular Structures

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างกันดินแบบ Braced Sheet Pile



รูปที่ 2.16 ลักษณะโครงสร้างกันดินแบบ Braced Sheet Pile

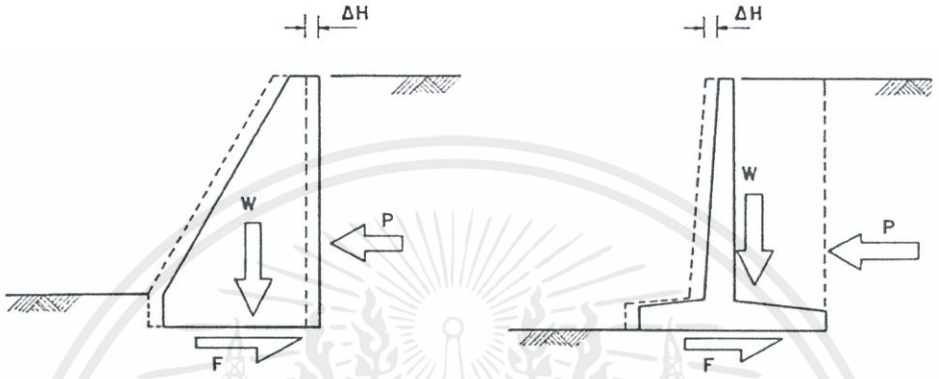
ซึ่งงานวิจัยเรื่องนี้ได้ทำการศึกษาโครงสร้างกันดินแบบ Cantilever Sheet Piles ในการศึกษาเสถียรภาพลาดดินที่ส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความลึกในการปัก Cantilever Sheet Piles กับความลึกในการขุด เพื่อไม่ให้เกิดการเลื่อนพังของทั้งระบบ (Overall Sliding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 พฤติกรรมและการพิบัติของกำแพงกันดิน

การเลื่อนของฐาน (Base Sliding)

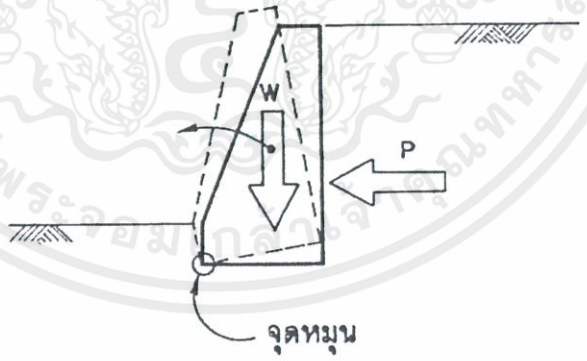
เกิดกับผนังกันดินคอนกรีตเป็นส่วนมาก เนื่องจากแรงดันดินด้านข้างมากกว่าแรงต้านที่ฐานอันเกิดจากความเหนียวหรือความฝืดของดินที่สัมผัสกับฐาน ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ลักษณะการวิเคราะห์การพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Base Sliding

การพลิกคว่ำ (Overturning)

เนื่องจากโมเมนต์ที่เกิดจากแรงดันดินมากกว่าโมเมนต์เนื่องจากน้ำหนักที่ต้าน ดังแสดงใน รูปที่ 2.18

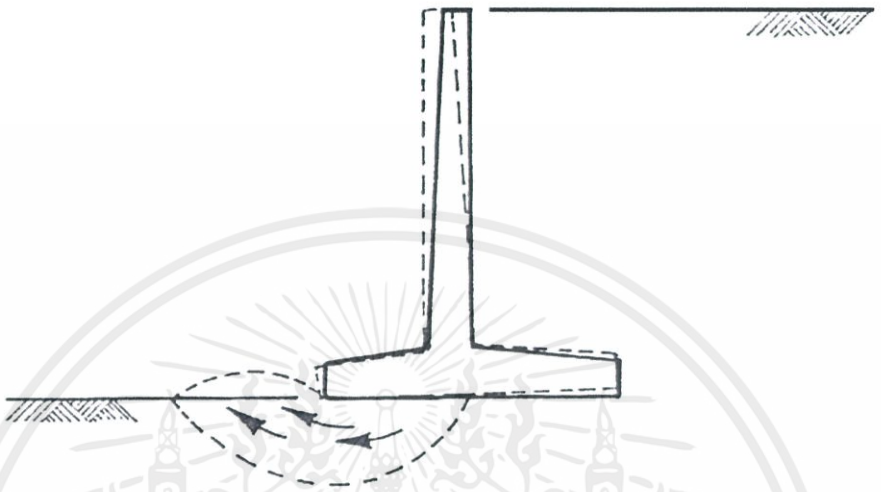


รูปที่ 2.18 ลักษณะการวิเคราะห์การพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Overturning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงต้านที่ฐานไม่เพียงพอ (Bearing Failure)

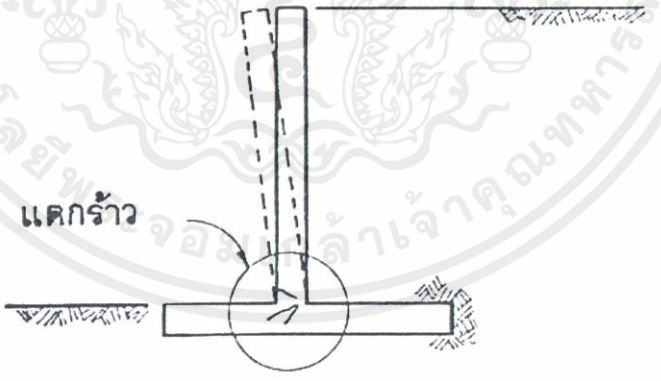
เนื่องจากชั้นดินใต้ฐานอ่อนจนไม่สามารถรับแรงกดจากน้ำหนักและแรงดันด้านข้าง ทำให้เกิดการทรุดจมของฐาน โดยเฉพาะริมนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Bearing Failure

การพิบัติของโครงสร้าง (Structural Failure)

เกิดเนื่องจากการออกแบบความเข็งแรงของตัวโครงสร้างไม่แข็งแรงพอที่จะรับโมเมนต์หรือแรงเฉือนได้เพียงพอ ดังแสดงในรูปที่ 2.20

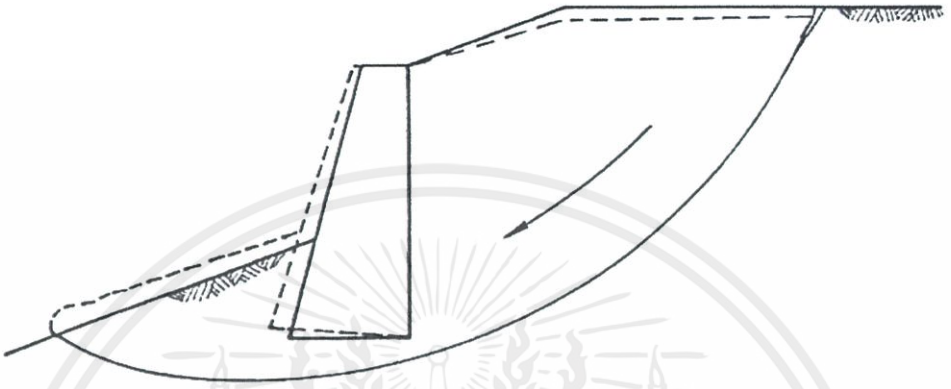


รูปที่ 2.20 ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Structural Failure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลื่อนพังของทั้งระบบ (Overall Sliding)

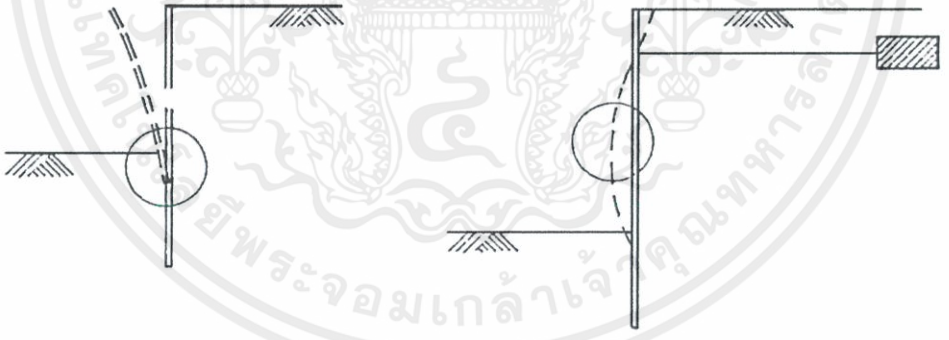
มักจะเกิดในกรณีดินที่กันไว้มีความลาดเอียง หรือมีชั้นดินอ่อนอยู่ที่ระดับลึกใต้ฐานลงไป จึงอาจเกิดผิวเคลื่อนของดินที่ไม่ผ่านตัวผนังแต่อย่างใด ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Overall Sliding

การโค้งงอหรือหักของเข็มพืด (Bending Failure)

ในเข็มเมื่อโมเมนต์ดัดมาก อาจเกิดการโค้งงอในตำแหน่งวิกฤตต่างๆ

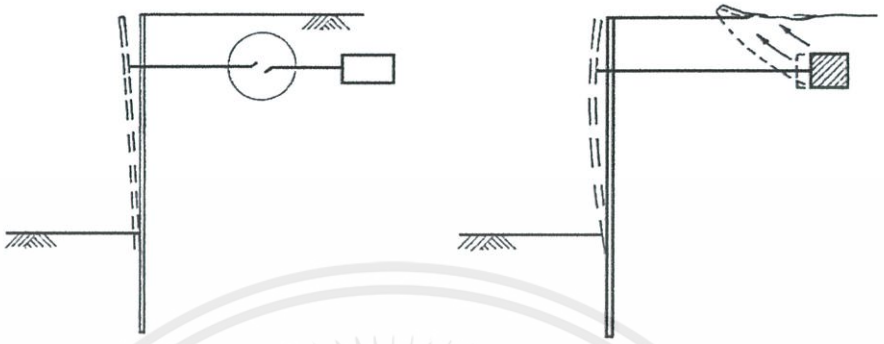


รูปที่ 2.22 ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Bending Failure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

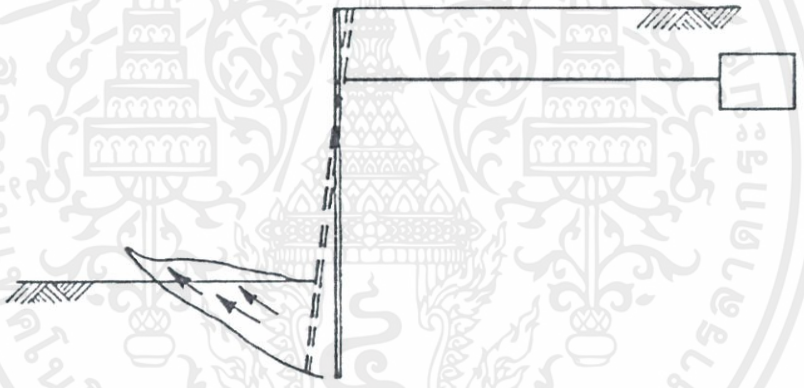
การเคลื่อนพังของระบบสมอยึด (Failure of Anchorage System)

เนื่องจากสายสมอขาด หรือการเลื่อนของสมอยึด ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Failure of Anchorage System

การเคลื่อนตัวที่ปลายล่างของเข็มพืด (Toe Passive Failure)



รูปที่ 2.24 ลักษณะการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบ Toe Passive Failure

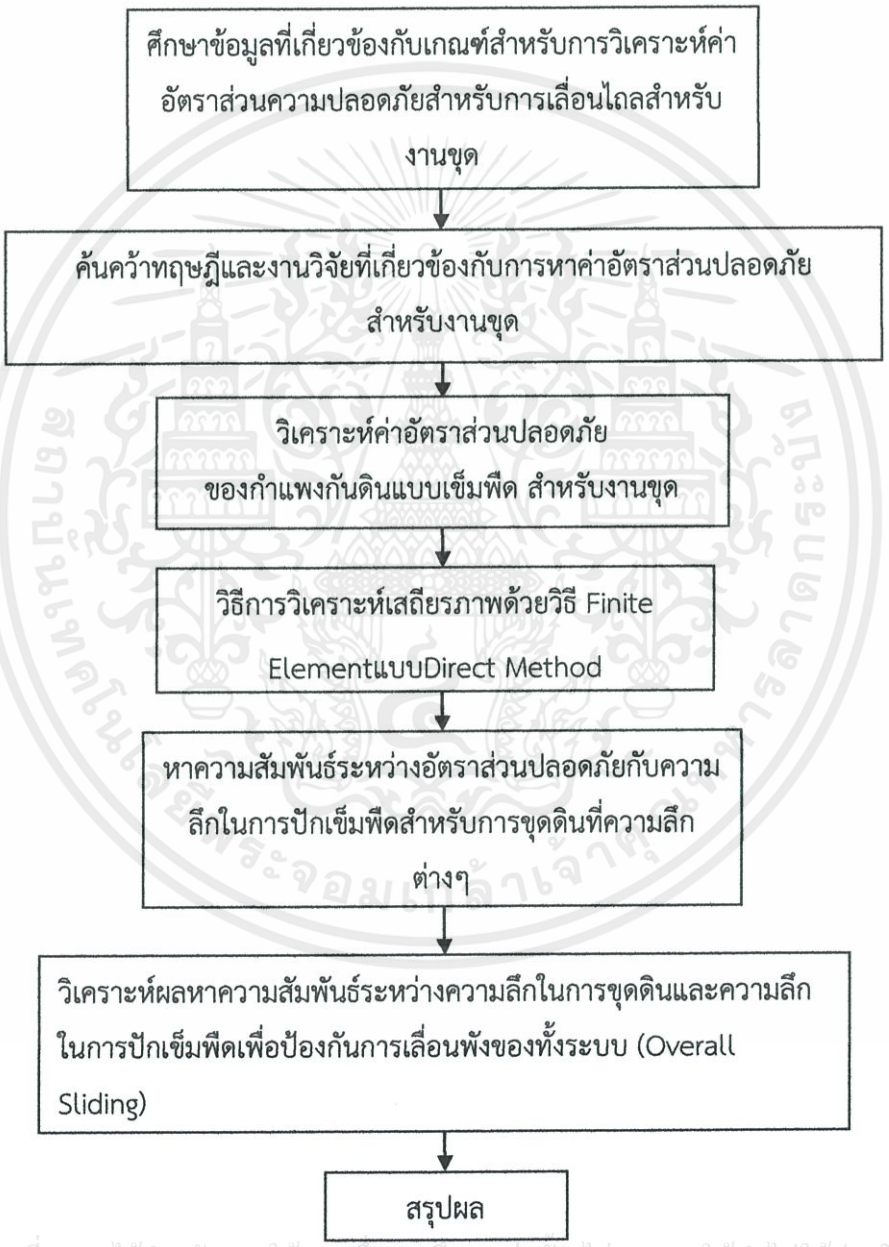
ซึ่งงานวิจัยเรื่องนี้ได้ทำการศึกษาโครงสร้างกันดินแบบ Cantilever Sheet Piles ในการศึกษาเสถียรภาพลาดดินที่ส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความลึกในการปัก Cantilever Sheet Piles กับความลึกในการขุด เพื่อไม่ให้เกิดการเลื่อนพังของทั้งระบบ (Overall Sliding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

3.1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1ขั้นตอนวิธีการดำเนินการ

จากรูปที่ 3.1เป็นการแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินการ ซึ่งในการดำเนินการวิเคราะห์จะจัดทำในรูปแบบของโมเดลโดยใช้โปรแกรม PLAXIS version 8.2ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element แบบ Direct Method ของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) เพื่อจำลองงานก่อสร้างกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)พร้อมทั้งหาค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่ความลึกในระดับต่างๆของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)ตามมาตรฐานงานขุด ที่ความลึกในระดับต่าง ๆ

3.2 ศึกษาพารามิเตอร์ของชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีFinite Element

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element แบบ Direct Method ได้กำหนดข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของชั้นดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งได้รวบรวมมาจากผลการทดลองและงานวิจัยในอดีตซึ่งมีผู้รวบรวมไว้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(Rukdeechuai et al., 2009) ได้ทำการศึกษาการจำลองเชิงตัวเลขสำหรับงานด้านวิศวกรรมปฐพีในชั้นดินกรุงเทพโดยได้ค่าพารามิเตอร์ของดินในชั้นต่างๆดังตารางที่ 3.1.ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงพารามิเตอร์ชั้นดินต่างๆของดินกรุงเทพที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์

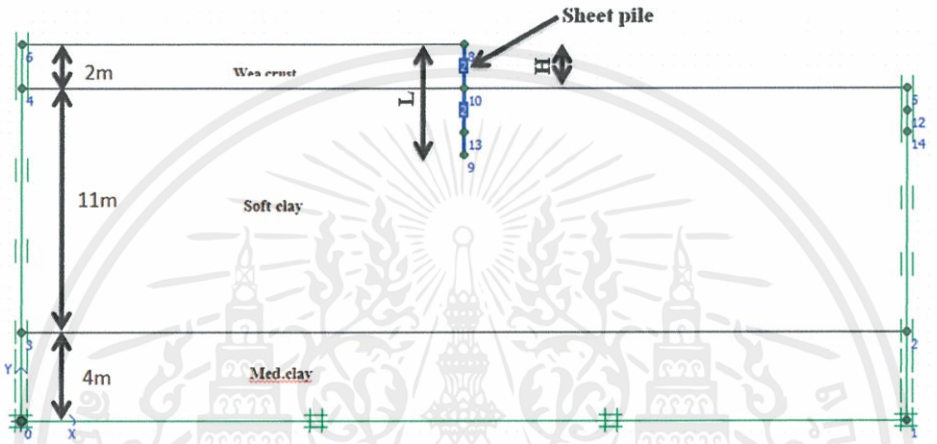
[ที่มา: Rukdeechuai et al 2009)]

Soil layer	Wea.crust	Solf clay	Med.clay
Material model	MC	MC	MC
E' (kPa)	6000	5000	20000
λ_{sat} (kN/m^3)	17	16	18
v'	0.32	0.32	0.33
Ø' (^{o})	22	22	22
C (kPa)	8	5	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แนวทางการวิจัยค่าอัตราส่วนปลอดภัยของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) สำหรับงานดินขุดที่ระดับความลึกต่าง ๆ

3.3.1 วิเคราะห์ค่าอัตราส่วนปลอดภัยของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) ด้วยโปรแกรม PLAXIS version 8.2ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element แบบ Direct Method ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)ในการขุดดินที่ความลึกต่างๆ



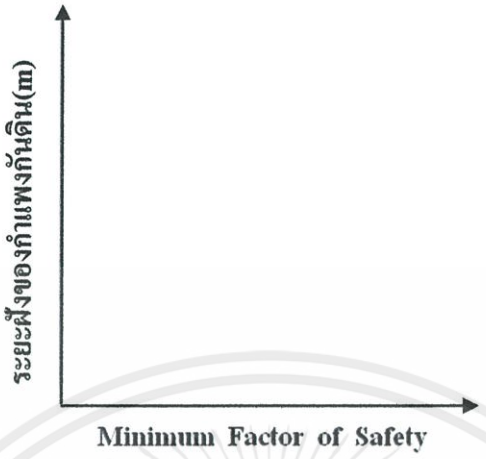
รูปที่ 3.2. แบบจำลองหน้าตัดที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element Direct Method

จากภาพที่ 3.2. แสดงความลึกของดินขุดโดยแบ่งระดับความลึกในงานขุดที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็น 10 ระดับ คือ 0.50 เมตร 1.00 เมตร 1.50 เมตร 2.00 เมตร 2.50เมตร 3.00 เมตร 3.50เมตร 4.00 เมตร 4.50 เมตรและ 5.00 เมตรตามลำดับ และแปรเปลี่ยนระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)ในการขุดดินที่ความลึกต่างๆเมื่อวัดจากตำแหน่งผิวดิน แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพ PLAXIS version 8.2ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element แบบ Direct Method

3.4 หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์และสรุปข้อมูล

3.4.1 เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนปลอดภัยน้อยสุดกับระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles)ในงานขุดที่ความ 1.00 เมตร 1.50 เมตร 2.00 เมตร 2.50เมตร 3.00 เมตร 3.50เมตร 4.00 เมตร 4.50 เมตร 5.00 เมตร และ 5.50 เมตรตามลำดับ เมื่อวัดจากตำแหน่งผิวดิน เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการวิเคราะห์ หาค่าระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)ในงานขุดที่ความลึกต่างๆที่ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ1.5 ตามมาตรฐานมยผ.1911-52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3. การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนปลอดภัยกับระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles)สำหรับงานขุดที่ความลึกต่างๆ

3.4.2 การเปรียบเทียบระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับงานขุดที่ความลึกต่างๆที่ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ1.5 ตามมาตรฐานมยผ.

รูปที่ 3.4. การเปรียบเทียบระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับงานขุดความลึกต่างๆที่ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ1.5 ตามมาตรฐาน มยผ.1911-52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 อุปกรณ์

1) เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมอุปกรณ์ต่อพ่วง

2) โปรแกรม PLAXIS version 8.2ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite Element ของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Sheet pile)

3) ระบบปฏิบัติการ Windows 98 หรือสูงกว่า

4) เครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์

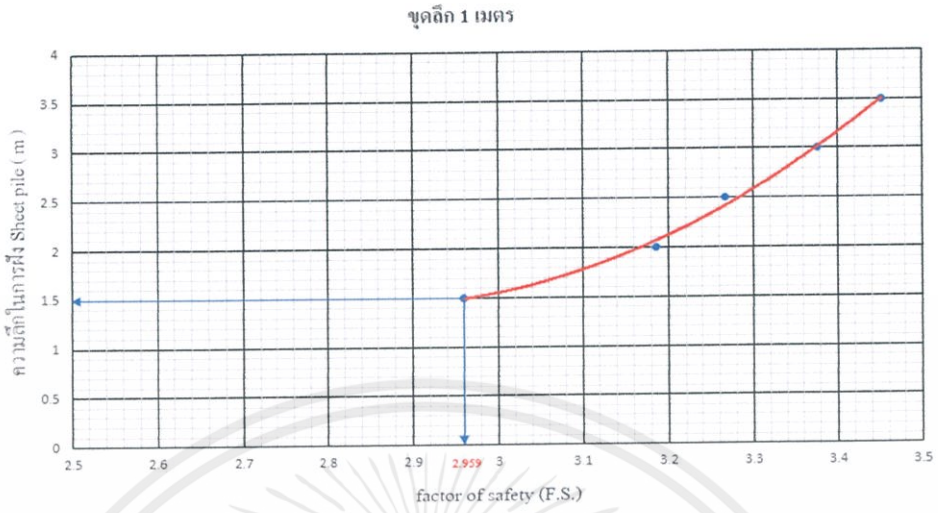
เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนปลอดภัยน้อยสุดกับระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) ในงานขุดที่ความลึก 1.00 เมตร 1.50 เมตร 2.00 เมตร 2.50เมตร 3.00 เมตร 3.50เมตร 4.00 เมตร 4.50 เมตร 5.00 เมตรและ 5.50 เมตรตามลำดับ เมื่อวัดจากตำแหน่งผิวดิน เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการวิเคราะห์ หาค่าระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)ในงานขุดที่ความลึกต่างๆที่ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ1.5 ตามมาตรฐานมยผ.1911-52

4.1 ขุดดินลึก 1.0 เมตร

ตารางที่ 4.1 ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 1 เมตร

Sheet pile (m)	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.)
1.5	2.959
2.0	3.186
2.5	3.267
3.0	3.377
3.5	3.452

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 1 เมตร

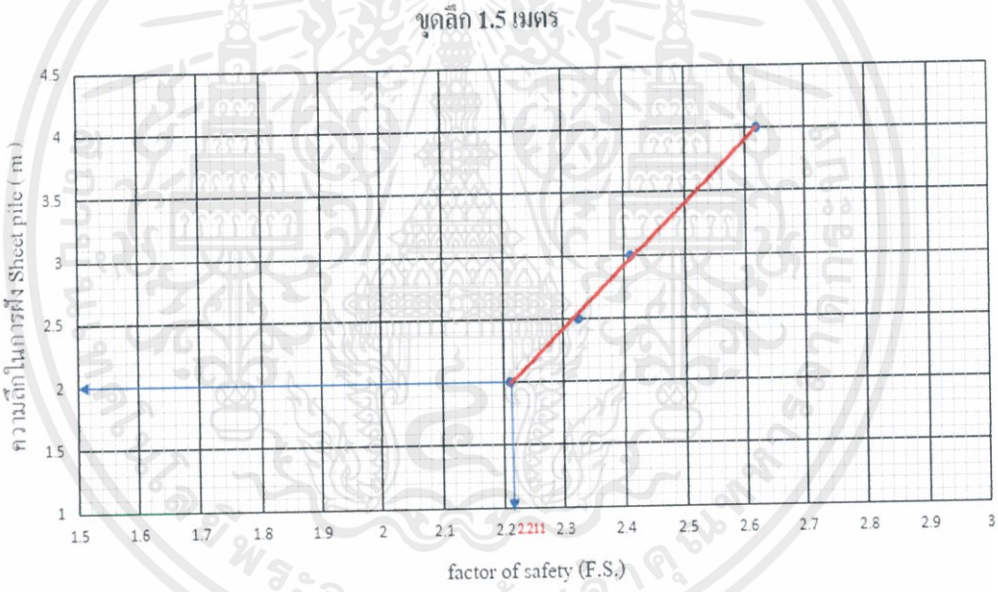
การขุดดินลึกลงไป 1 เมตรนั้น ชั้นดินที่ถูกขุดดินออกไปอยู่ในชั้นผิวดิน ที่มีค่าความหนาแน่นและแรงยึดเหนี่ยว(C)สูง จากกราฟจะเห็นได้ว่าการปักเข็มพืด (Sheet pile) ทำให้ได้ค่า Factor of safety (FS) ที่ได้น้อยที่สุดจากตารางความสัมพันธ์ระหว่าง Factor of safety (FS) กับ ความลึกในการฝัง Sheet pile (m.) คือ 2.959 ที่ความยาวของเข็มพืด (Sheet pile) เท่ากับ 1.5 เมตร ซึ่งเป็นค่า FS ที่น้อยที่สุดที่โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ผลได้ จากการวิเคราะห์ความลึกที่ 1 เมตร ดินจะมีความปลอดภัยต่อการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบลักษณะการเลื่อนพังของทั้งระบบ Overall Sliding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขุดดินลึก 1.5 เมตร

ตารางที่ 4.2 ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 1.5 เมตร

Sheet pile (m)	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.)
2.0	2.211
2.5	2.324
3.0	2.412
4.0	2.620



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 1.5 เมตร

การขุดดินลึกลงไป 1.5 เมตรนั้น ชั้นดินที่ถูกขุดดินออกไปอยู่ในชั้นผิวดิน ที่มีค่าความหนาแน่นและแรงยึดเหนี่ยว(C)สูง จากกราฟจะเห็นได้ว่าการปักเข็มพืด (Sheet pile) ทำให้ได้ค่า Factor of safety (FS) ที่ได้น้อยที่สุดจากตารางความสัมพันธ์ระหว่าง Factor of safety (FS) กับ ความลึกในการฝัง Sheet pile (m.) คือ 2.211 ที่ความยาวของเข็มพืด (Sheet pile) เท่ากับ 2 เมตร ซึ่งเป็นค่า FS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

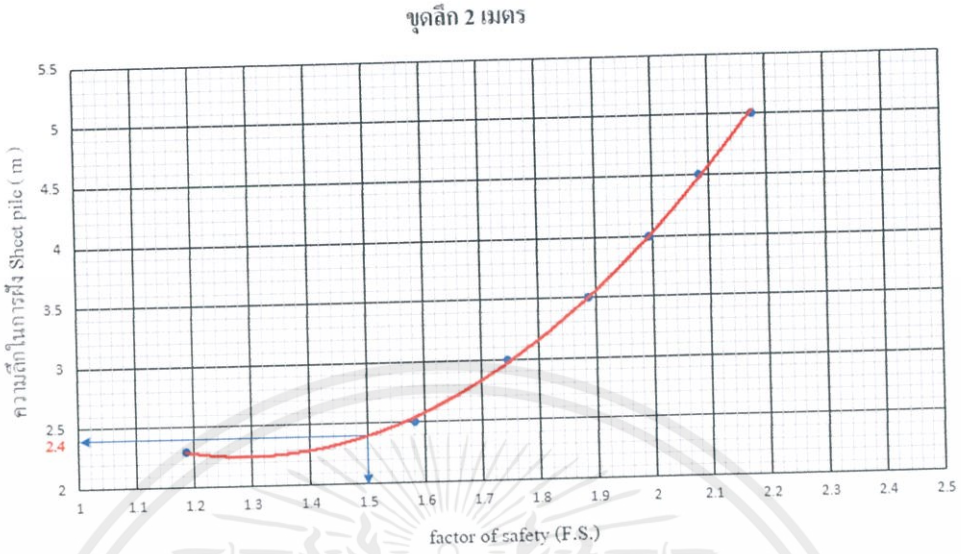
ที่น้อยที่สุดที่โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ผลได้แสดงว่าดินจะมีความปลอดภัยต่อการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบลักษณะการเลื่อนพังของทั้งระบบ Overall Sliding

4.3 ขุดดินลึก 2.0 เมตร

ตารางที่ 4.3 ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 2.0 เมตร

Sheet pile (m)	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยF.S.
2.3	1.186
2.5	1.582
3.0	1.745
3.5	1.887
4.0	1.992
4.5	2.082
5.0	2.176

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 2.0 เมตร

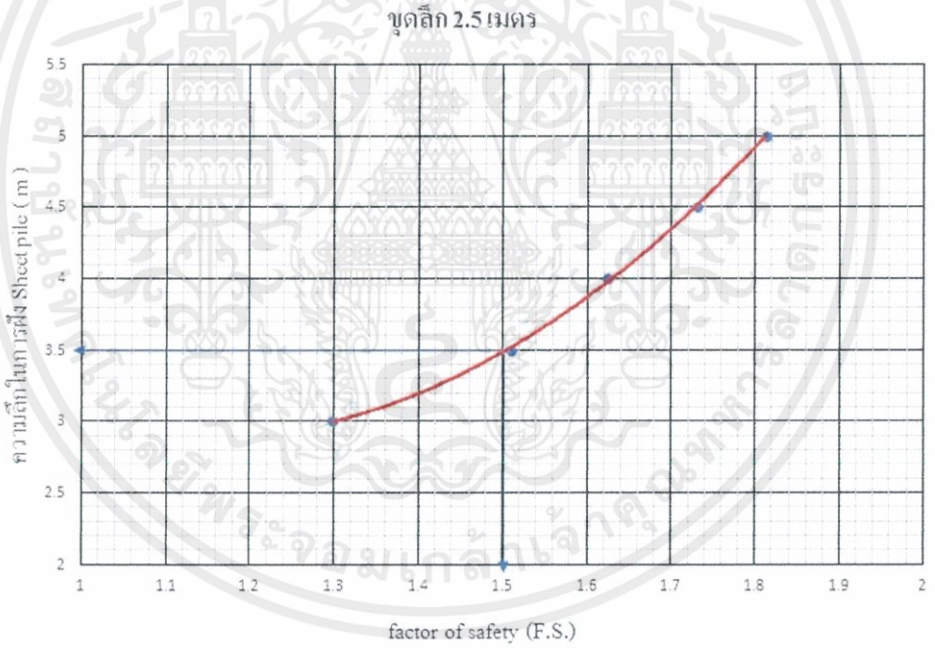
การขุดดินลึกลงไป 2 เมตรนั้น ชั้นดินที่ถูกขุดดินออกไปอยู่ที่จุดเชื่อมระหว่างชั้นดินที่เป็นประเภทหน้าดินกับดินประเภทดินเหนียวอ่อน จากกราฟจะเห็นได้ว่าการปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ทำให้ได้ค่า Factor of safety (FS) เท่ากับ 1.5 คือ จะต้องปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ความลึกเท่ากับ 2.4 เมตร ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าความลึกที่เหมาะสมในการปักเข็มพืด (Sheet pile) ปลายเข็มพืด (Sheet pile) นั้นจะอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน ดังนั้นการก่อสร้างในเขตพื้นที่ กทม. ถ้าจะต้องขุดดินลึกลงไป 2 เมตร ควรปักเข็มพืด (Sheet pile) ด้วยความลึก 2.4 เมตร เพื่อความปลอดภัยต่อการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบลักษณะการเลื่อนพังของทั้งระบบ Overall Sliding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ขุดดินลึก 2.5 เมตร

ตารางที่ 4.4 ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 2.5 เมตร

Sheet pile (m)	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.)
3.0	1.298
3.5	1.510
4.0	1.623
4.5	1.731
5.0	1.812



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 2.5 เมตร

การขุดดินลึกลงไป 2.5 เมตรนั้น ชั้นดินที่ถูกขุดดินออกไปคือชั้นดินที่เป็นหน้าดินกับดินประเภทดินเหนียวอ่อน จากกราฟจะเห็นได้ว่าการปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ทำให้ได้ค่า Factor of safety (FS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

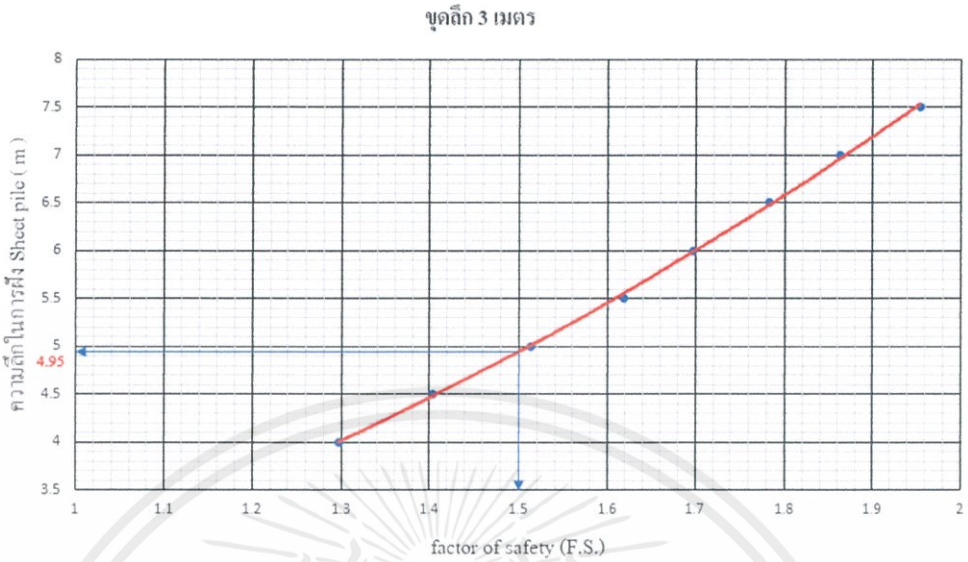
เท่ากับ 1.5 คือ จะต้องปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ความลึกประมาณ 3.64 เมตร ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าความลึกที่เหมาะสมในการปักเข็มพืด (Sheet pile) ปลายเข็มพืด (Sheet pile) นั้นจะอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน ดังนั้นการก่อสร้างในเขตพื้นที่ กทม. ถ้าจะต้องขุดดินลึกลงไป 2.5 เมตร ควรปักเข็มพืด (Sheet pile) ด้วยความลึก 3.64 เมตร เพื่อความปลอดภัยต่อการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบลักษณะการเลื่อนพังของทั้งระบบ Overall Sliding

4.5 ขุดดินลึก 3.0 เมตร

ตารางที่ 4.5 ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 3.0 เมตร

Sheet pile (m)	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.)
4.0	1.297
4.5	1.403
5.0	1.513
5.5	1.618
6.0	1.698
6.5	1.782
7.0	1.863
7.5	1.954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 3.0 เมตร

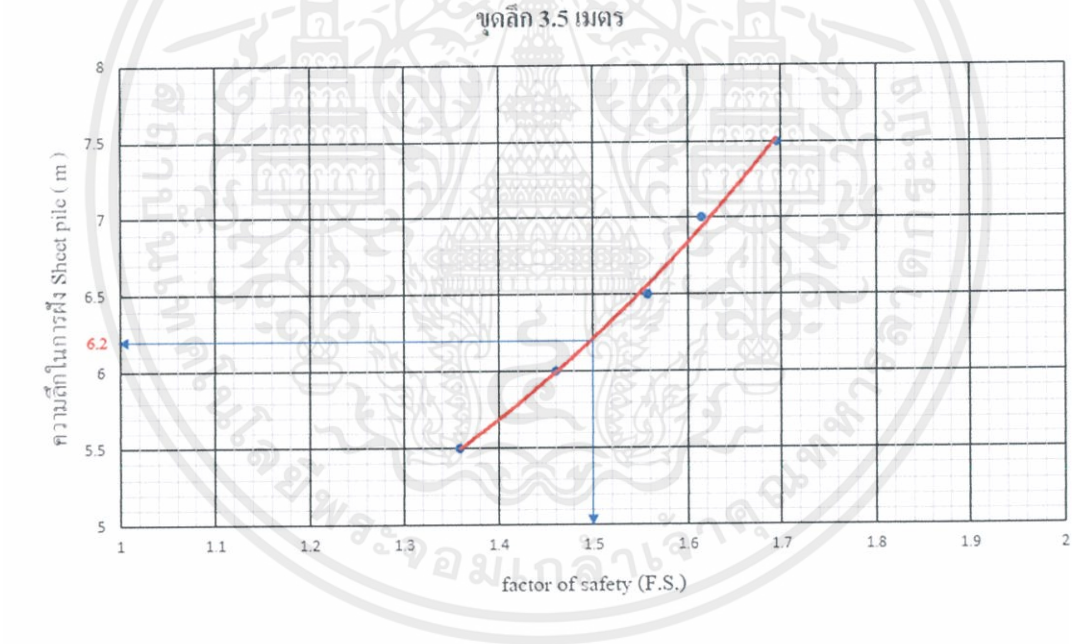
การขุดดินลึกลงไป 3 เมตรนั้น ชั้นดินที่ถูกขุดดินออกไปคือชั้นดินที่เป็นประเภทหน้าดินกับดินประเภทดินเหนียวอ่อน จากกราฟจะเห็นได้ว่าการปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ทำให้ได้ค่า Factor of safety (FS) เท่ากับ 1.5 คือ จะต้องปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ความลึกประมาณ 4.95 เมตร ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าความลึกที่เหมาะสมในการปักเข็มพืด (Sheet pile) ปลายเข็มพืด (Sheet pile) นั้นจะอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน ดังนั้นการก่อสร้างในเขตพื้นที่ กทม. ถ้าจะต้องขุดดินลึกลงไป 3 เมตร ควรปักเข็มพืด (Sheet pile) ด้วยความลึก 4.95 เมตร เพื่อความปลอดภัยต่อการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบลักษณะการเลื่อนพังของทั้งระบบ Overall Sliding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ขุดดินลึก 3.5 เมตร

ตารางที่ 4.6 ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 3.5 เมตร

Sheet pile (m)	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.)
5.5	1.359
6.0	1.460
6.5	1.557
7.0	1.614
7.5	1.695



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 3.5 เมตร

การขุดดินลึกลงไป 3.5 เมตรนั้น ชั้นดินที่ถูกขุดดินออกไปคือชั้นดินที่เป็นหน้าดินกับดินประเภทดินเหนียวอ่อน จากกราฟจะเห็นได้ว่าการปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ทำให้ได้ค่า Factor of safety (FS) เท่ากับ 1.5 คือ จะต้องปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ความลึกประมาณ 6.20 เมตร ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

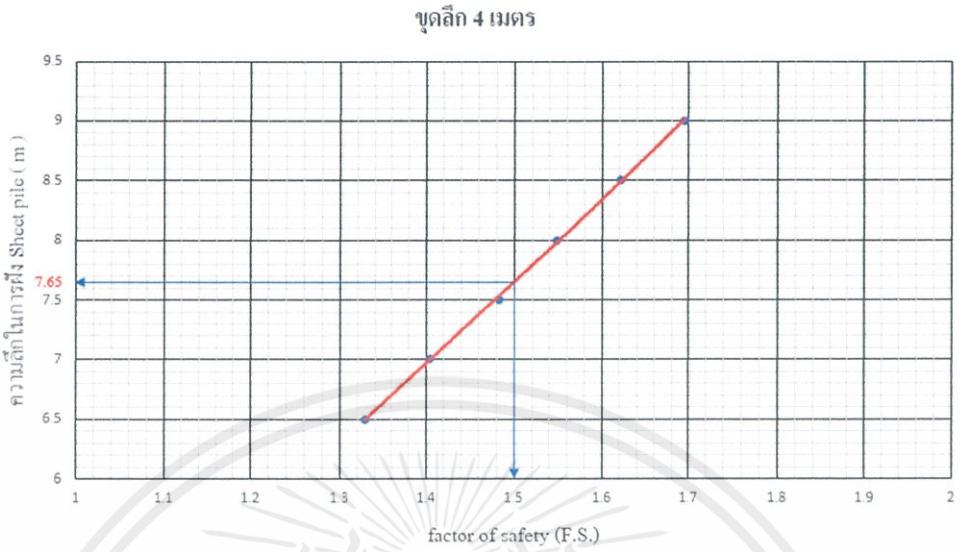
ความลึกที่เหมาะสมในการปักเข็มพืด (Sheet pile) ปลายเข็มพืด (Sheet pile) นั้นจะอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน ดังนั้นการก่อสร้างในเขตพื้นที่ กทม. ถ้าจะต้องขุดดินลึกลงไป 3.5 เมตร ควรปักเข็มพืด (Sheet pile) ด้วยความลึก 6.20 เมตร เพื่อความปลอดภัยต่อการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบลักษณะการเลื่อนพังของทั้งระบบ Overall Sliding

4.7 ขุดดินลึก 4.0 เมตร

ตารางที่ 4.7 ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 4.0 เมตร

Sheet pile (m)	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.)
6.5	1.329
7.0	1.404
7.5	1.438
8.0	1.548
8.5	1.621
9.0	1.695

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 4.0 เมตร

การขุดดินลึกลงไป 4 เมตรนั้น ชั้นดินที่ถูกขุดดินออกไปคือชั้นดินที่เป็นหน้าดินกับดินประเภทดินเหนียวอ่อน จากกราฟจะเห็นได้ว่าการปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ทำให้ได้ค่า Factor of safety (FS) เท่ากับ 1.5 คือ จะต้องปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ความลึกเท่ากับ 7.69 เมตร ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าความลึกที่เหมาะสมในการปักเข็มพืด (Sheet pile) ปลายเข็มพืด (Sheet pile) นั้นจะอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน ดังนั้นการก่อสร้างในเขตพื้นที่ กทม. ถ้าจะต้องขุดดินลึกลงไป 4 เมตร ควรปักเข็มพืด (Sheet pile) ด้วยความลึก 7.69 เมตร เพื่อความปลอดภัยต่อการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบลักษณะการเลื่อนพังของทั้งระบบ Overall Sliding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ขุดดินลึก 4.5 เมตร

ตารางที่ 4.8 ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 4.5 เมตร

Sheet pile (m)	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.)
7.0	1.220
8.0	1.371
9.0	1.501
10.0	1.632
11.0	1.74

รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 4.5 เมตร

การขุดดินลึกลงไป 4.5 เมตรนั้น ชั้นดินที่ถูกขุดดินออกไปคือชั้นดินที่เป็นหน้าดินกับดินประเภทดินเหนียวอ่อน จากกราฟจะเห็นได้ว่าการปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ทำให้ได้ค่า Factor of safety (FS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

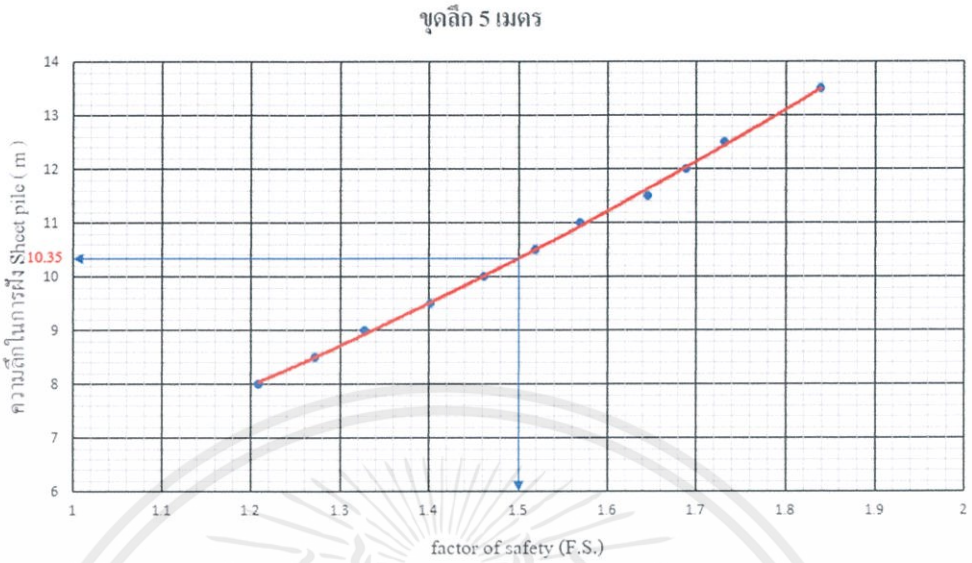
เท่ากับ 1.5 คือ จะต้องปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ความลึกประมาณ 8.95 เมตร ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าความลึกที่เหมาะสมในการปักเข็มพืด (Sheet pile) ปลายเข็มพืด (Sheet pile) นั้นจะอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน ดังนั้นการก่อสร้างในเขตพื้นที่ กทม. ถ้าจะต้องขุดดินลึกลงไป 4.5 เมตร ควรปักเข็มพืด (Sheet pile) ด้วยความลึก 8.95 เมตร เพื่อความปลอดภัยต่อการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบลักษณะการเลื่อนพังของทั้งระบบ Overall Sliding

4.9 ขุดดินลึก 5.0 เมตร

ตารางที่ 4.9 ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 5.0 เมตร

Sheet pile (m)	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.)
8.0	1.209
8.5	1.272
9.0	1.328
9.5	1.402
10.0	1.461
10.5	1.519
11.0	1.569
11.5	1.646
12.0	1.689
12.5	1.731
13.5	1.839

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด (Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 5.0 เมตร

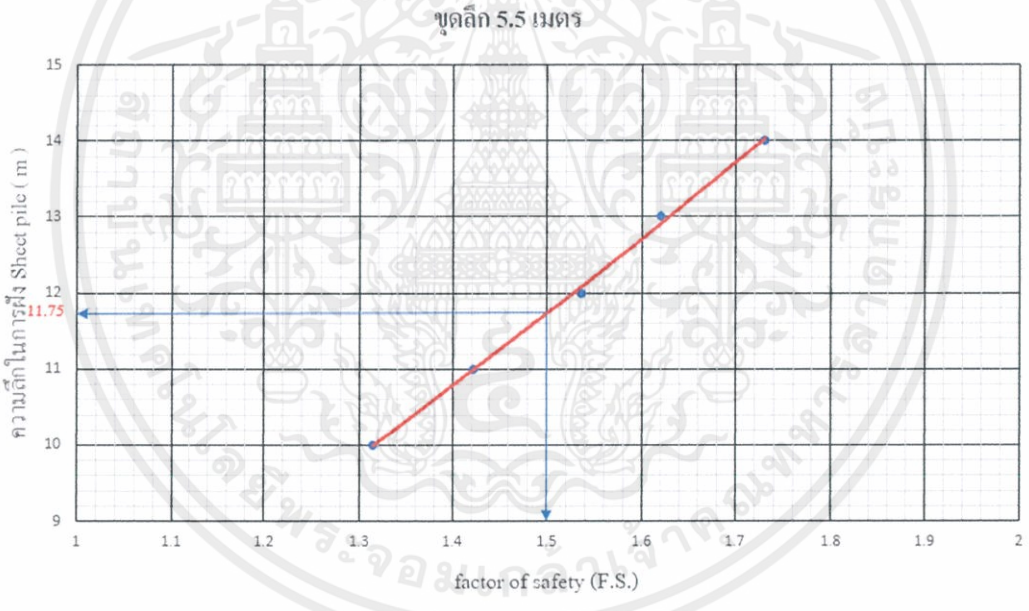
การขุดดินลึกลงไป 5 เมตรนั้น ชั้นดินที่ถูกขุดดินออกไปคือชั้นดินที่เป็นหน้าดินกับดินประเภทดินเหนียวอ่อน จากกราฟจะเห็นได้ว่าการปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ทำให้ได้ค่า Factor of safety (FS) เท่ากับ 1.5 คือ จะต้องปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ความลึกเท่ากับ 10.4 เมตร ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าความลึกที่เหมาะสมในการปักเข็มพืด (Sheet pile) ปลายเข็มพืด (Sheet pile) นั้นจะอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน ดังนั้นการก่อสร้างในเขตพื้นที่ กทม. ถ้าจะต้องขุดดินลึกลงไป 5 เมตร ควรปักเข็มพืด (Sheet pile) ด้วยความลึก 10.4 เมตร เพื่อความปลอดภัยต่อการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบลักษณะการเลื่อนพังของทั้งระบบ Overall Sliding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 ขุดดินลึก 5.5 เมตร

ตารางที่ 4.10 ค่าความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles)กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 5.5 เมตร

Sheet pile (m)	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.)
10.0	1.315
11.0	1.422
12.0	1.536
13.0	1.620
14.0	1.731



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัย(F.S.) ในการขุดดินลึก 5.5 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

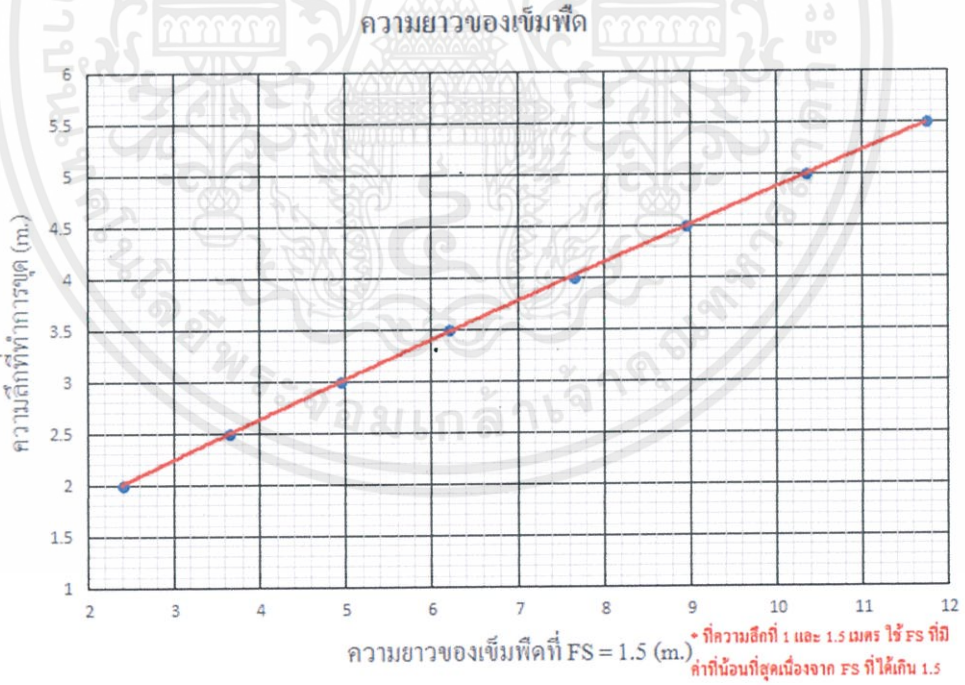
การขุดดินลึกลงไป 5.5 เมตรนั้น ชั้นดินที่ถูกขุดดินออกไปคือชั้นดินที่เป็นประเภทหน้าดินกับดินประเภทดินเหนียวอ่อน จากกราฟจะเห็นได้ว่าการปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ทำให้ได้ค่า Factor of safety (FS) เท่ากับ 1.5 คือ จะต้องปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่ความลึกประมาณ 11.75 เมตร ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าความลึกที่เหมาะสมในการปักเข็มพืด (Sheet pile) ปลายเข็มพืด (Sheet pile) นั้นจะอยู่ในชั้นดินเหนียวอ่อน ดังนั้นการก่อสร้างในเขตพื้นที่ กทม. ถ้าจะต้องขุดดินลึกลงไป 5.5 เมตร ควรปักเข็มพืด (Sheet pile) ด้วยความลึก 11.75 เมตร เพื่อความปลอดภัยต่อการพิบัติของกำแพงกันดินในรูปแบบลักษณะการเลื่อนพังของทั้งระบบ Overall Sliding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1.สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับเสถียรภาพและพฤติกรรมของดินในเขตกรุงเทพฯ สำหรับใช้ในงานก่อสร้างที่มีการขุดดินออกจากเขตพื้นที่การก่อสร้างตามความลึกต่างๆ และมีการใช้เข็มพืด (Sheet pile) ช่วยป้องกันการพังทลายของดิน ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้โปรแกรม PLAXIS 2 มิติ ซึ่งโปรแกรมจะวิเคราะห์ ด้วยวิธี Finite Element ผลของการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการวิบัติของเสถียรภาพของดิน จากการวิเคราะห์ของโปรแกรมจะวิเคราะห์การวิบัติในรูปแบบ การเคลื่อนพังของทั้งระบบ (Overall sliding) และแสดงถึงแนวโน้มการปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่เหมาะสม โดยแปรเปลี่ยนตามความลึกของการขุดดิน พร้อมทั้งได้สร้าง กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความลึกในการปักเข็มพืด (Sheet pile) กับ ความลึกที่ขุดดินออก เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ออกแบบการปักเข็มพืด ตามความลึกของการขุดดิน ภายใต้ขอบเขตของความลึกในการขุดดินตั้งแต่ 1 เมตร ถึง 5.5 เมตร



รูปที่ 5.1 กราฟการเปรียบเทียบระยะฝังของกำแพงกันดินแบบเข็มพืด(Cantilever Sheet Piles) กับงานขุดที่ความลึกต่างๆที่ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ1.5 ตามมาตรฐาน มยผ.1911-52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่จะทำการก่อสร้างในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ โดยจำเป็นจะต้องทำการขุดดินออกในการทำการก่อสร้างนั้นจะต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับการวิบัติและการพังทลายของดินก่อนที่จะทำการขุดดินออก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายในเขตพื้นที่การก่อสร้าง ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาเกี่ยวกับการวิบัติและการพังทลายของดิน โดยจะทำอย่างไรเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการพังทลายของดิน ในกรณีศึกษานี้จะอาศัยเข็มพืด (Sheet pile) ในการช่วยพยุงไม่ให้เกิดการพังทลายของดิน จากกราฟข้างต้นซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความลึกในการปักเข็มพืด (Sheet pile) กับ ความลึกที่ขุดดินออก โดยกราฟนี้จะให้ค่าความปลอดภัย (Factor of safety , (FS)) เท่ากับ 1.5 กราฟข้างต้นนี้เป็นข้อมูลที่จะสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาว่าควรทำการก่อสร้างอย่างไรเมื่อมีการขุดดินออกในการทำการก่อสร้าง ที่จะไม่ทำให้เกิดอันตรายในเขตพื้นที่การก่อสร้าง โดยทำการศึกษาความลึกที่ทำการขุดดินออกในช่วงความลึก 1 เมตร ถึง 5.5 เมตร ซึ่งการปักเข็มพืด (Sheet pile) ที่เหมาะสมตามการแปรเปลี่ยนของความลึกในการขุด จะสามารถหาได้จากกราฟ เช่น ถ้าต้องการขุดดินออกให้มีความลึก 3.5 เมตร ควรทำการปักเข็มพืด (Sheet pile) ให้มีความลึกทั้งหมด 6.2 เมตร เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการพังทลายของดินและเกิดอันตรายภายในเขตพื้นที่การก่อสร้าง

5.2.ข้อเสนอแนะ

จากผลของการวิเคราะห์เสถียรภาพและการศึกษาพฤติกรรมของดิน สำหรับใช้ในงานก่อสร้างที่มีการขุดดินออกจากเขตพื้นที่การก่อสร้างตามความลึกต่างๆ และมีการใช้เข็มพืด (Sheet pile) ช่วยป้องกันการพังทลายของดิน ภายใต้ข้อมูลดินในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ ในส่วนของการใช้โปรแกรมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของดินได้ศึกษาเพียงรูปแบบ 2 มิติ ซึ่งการวิเคราะห์จะไม่ละเอียดเท่า และค่าที่ได้จะมีความแม่นยำน้อยกว่าการวิเคราะห์เสถียรภาพของดินในรูปแบบ 3 มิติ ดังนั้นถ้าต้องการค่าที่ละเอียดและมีความแม่นยำมากๆ ควรใช้การวิเคราะห์ในรูปแบบ 3 มิติ

ในส่วนของการทำงานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณาแรงกระทำรอบข้างพื้นที่การก่อสร้าง(Surcharge load) ดังนั้นหากต้องการให้ผลวิจัยมีการวิเคราะห์ที่แม่นและครอบคลุมมากขึ้น การวิจัยในอนาคตควรมีการเพิ่มข้อมูลแรงกระทำรอบข้างพื้นที่การก่อสร้าง(Surcharge load)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] มณเฑียน กังศศิเที่ยม. (2539). กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์,กรุงเทพฯ

[2] วารุณี กะการดี, สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์, และรัฐธรรม อิสโรหาร. (ม.ป.ป.). การศึกษาความเหมาะสมของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดงานขุดโดยเปรียบเทียบวิธีสมดุลจำกัด, ไฟไนต์อิลิเมนต์ และสมดุลจำกัดร่วมกับการพิจารณาหน่วยแรงในมวลดิน. เข้าถึงได้จาก : http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Paper/3_Landslide.html (วันที่ค้นข้อมูล : 10 ตุลาคม 2556).

[3] มยผ. 1911-52 มาตรฐานประกอบการคำนวณหาค่าเสถียรภาพ ความลาดเอียงที่ปลอดภัย ในงานขุดดินและถมดิน. (ม.ป.ป.). เข้าถึงได้จาก : http://eservices.dpt.go.th/eservice_5/standard/sd_work.html (วันที่ค้นข้อมูล : 16 ตุลาคม 2556).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

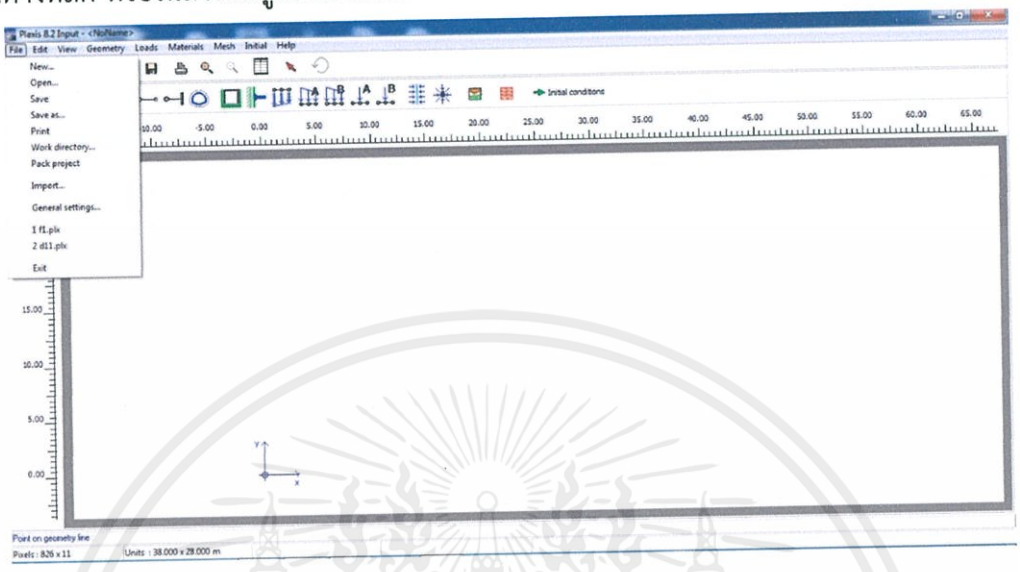
ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้โปรแกรม PLAXIS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) การเข้าสู่โปรแกรม PLAXIS

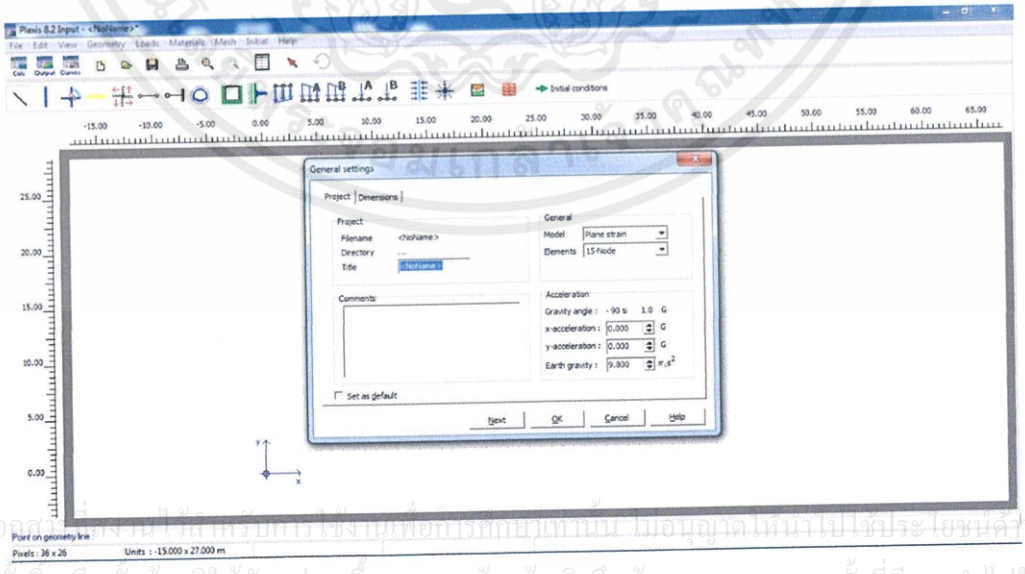
1.1) การเข้าสู่โปรแกรม PLAXIS สามารถทำได้โดยการคลิกที่ไอคอนของโปรแกรมบนหน้าต่างหลัก หรือในส่วนเมนูโปรแกรมก็ได้



- คลิกปุ่มเริ่มงานใหม่ (New Project) เพื่อลบข้อมูลเก่าทั้งหมด

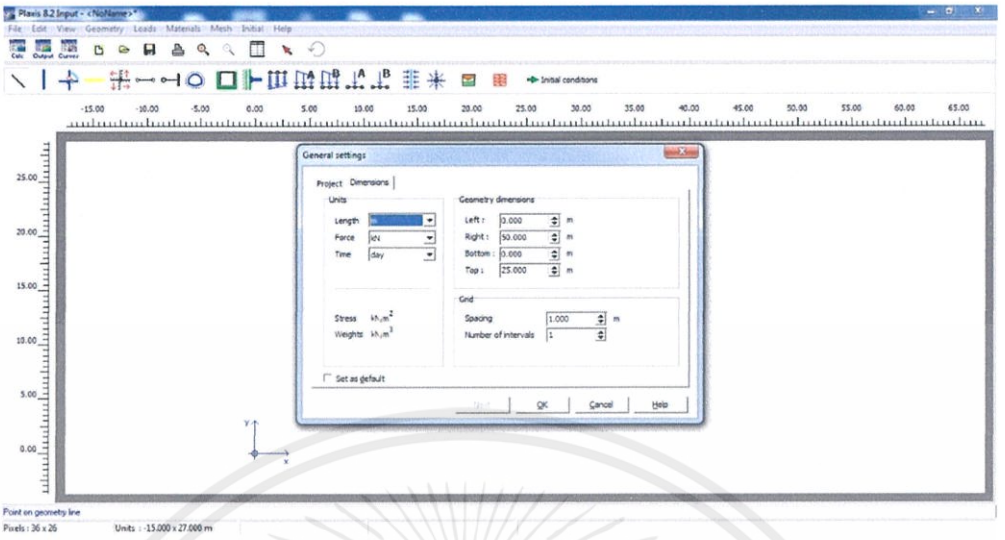
- คลิกปุ่มตกลง (OK) เพื่อยืนยันการเริ่มงานใหม่

1.2) ตั้งชื่องานที่เราจะต้องการบันทึก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3) การตั้งค่าขอบเขตต่างๆ



1.3.1) หน่วย (Units)

- ความยาว (length), เมตร (m.)
- แรง (force), กิโลนิวตัน (kN.)
- เวลา (time), วัน (day.)
- ความเค้น (stress), กิโลนิวตัน/ตารางเมตร (kN/m^2)
- หน่วยน้ำหนัก (weights), กิโลนิวตัน/ตารางเมตร (kN/m^3)

1.3.2) ขอบเขตเลขาคณิต

การเขียนรูปตัดของดิน จะวาดได้ยาวสุด 50เมตร ลึกสุด 25เมตร ซึ่งมีขอบเขตดังนี้

ข้างซ้ายเริ่มต้นที่ 0

ข้างขวาสิ้นสุดที่ 50 เมตร

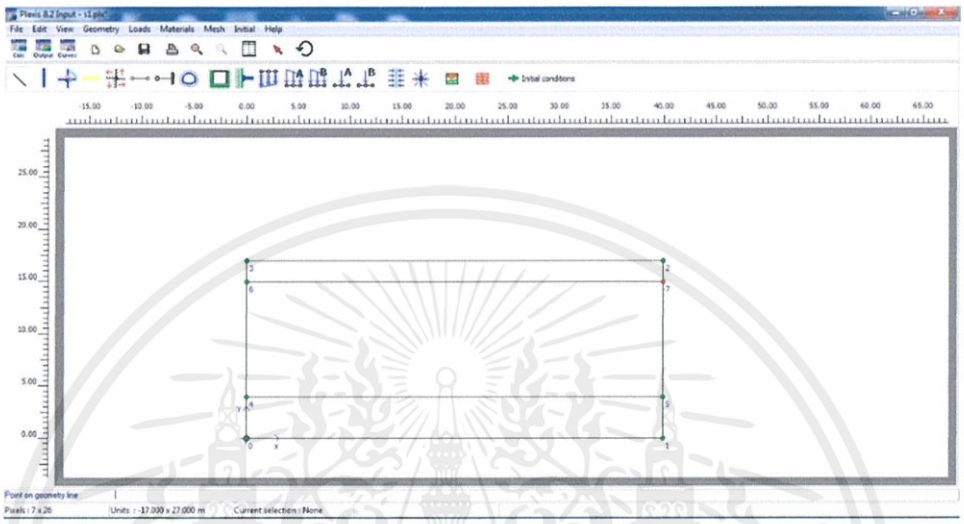
ข้างล่างเริ่มที่ 0

ข้างบนสิ้นสุดที่ 25 เมตร

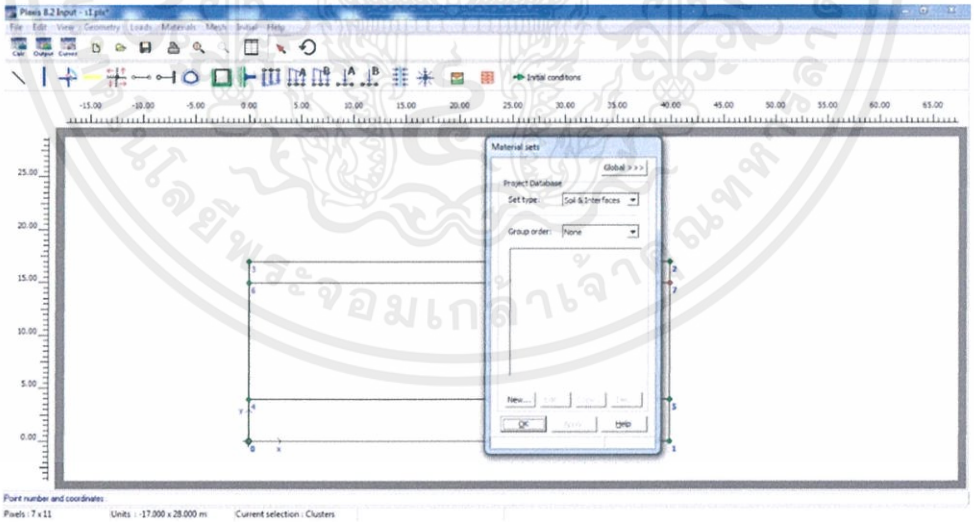
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การป้อนข้อมูลคุณสมบัติดิน ลักษณะชั้นดิน

2.1) คลิกที่วาดเส้นชั้นดิน (geometry line) ทำการป้อนขอบเขตเพื่อกำหนด ความหนาของชั้น ความยาว ความสูง ของชั้นดินที่ต้องการวาด โดยป้อนค่าเป็นตัวเลข ที่ point on geometry line ตัวเลข 0 ข้างหน้าเป็นจุดที่อยู่ในแกน x และเลข 0 ตัวหลังจะเป็นจุดที่อยู่ในแกน y เมื่อวาดเสร็จจะได้ตามรูปข่างล่าง



2.2) คลิกที่ปุ่มกำหนดคุณสมบัติวัสดุ material sets เพื่อกำนดุณสมบัติต่างๆของดิน



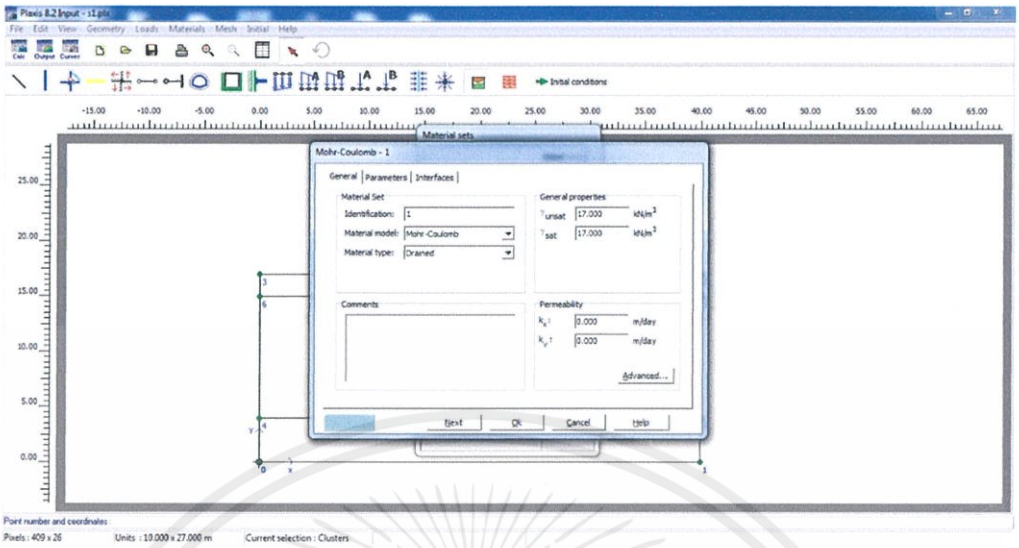
2.2.1) เลือกชนิดของวัสดุ soil & interfaces

2.2.2) กลุ่มคำสั่งปกติ none

2.2.3 คลิกที่ new

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3) General



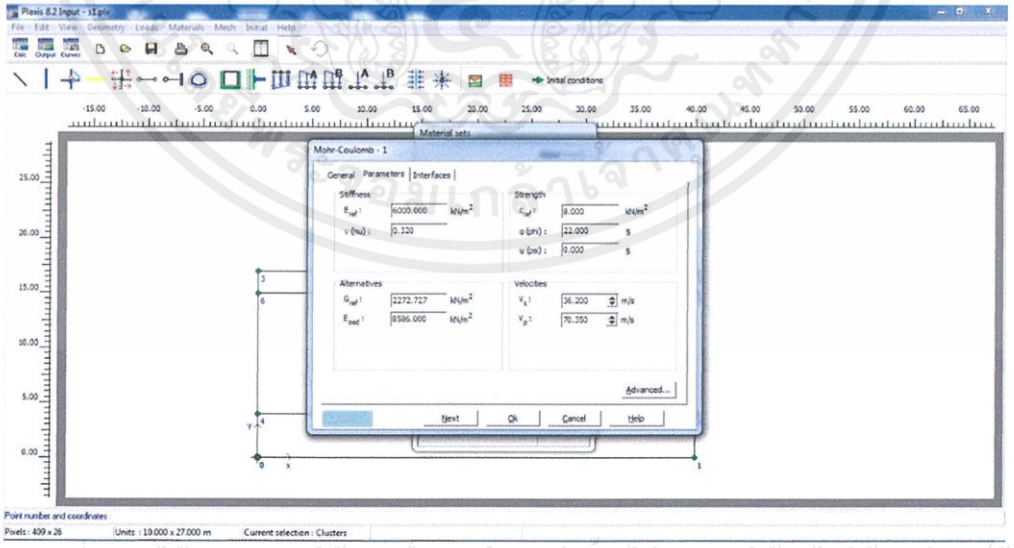
2.3.1) ตั้งชื่อชนิดของดิน

2.3.2) เลือกทฤษฎี mohr-coulomb ในการวิเคราะห์

2.3.3) ชนิดของวัสดุเป็นแบบไม่ระบายน้ำ

2.3.4) ใส่ค่าหน่วยน้ำหนัก ทั้งอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว

2.4) Parameter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใส่ค่าตัวแปลต่างๆซึ่งมีค่าตัวแปลดังต่อไปนี้

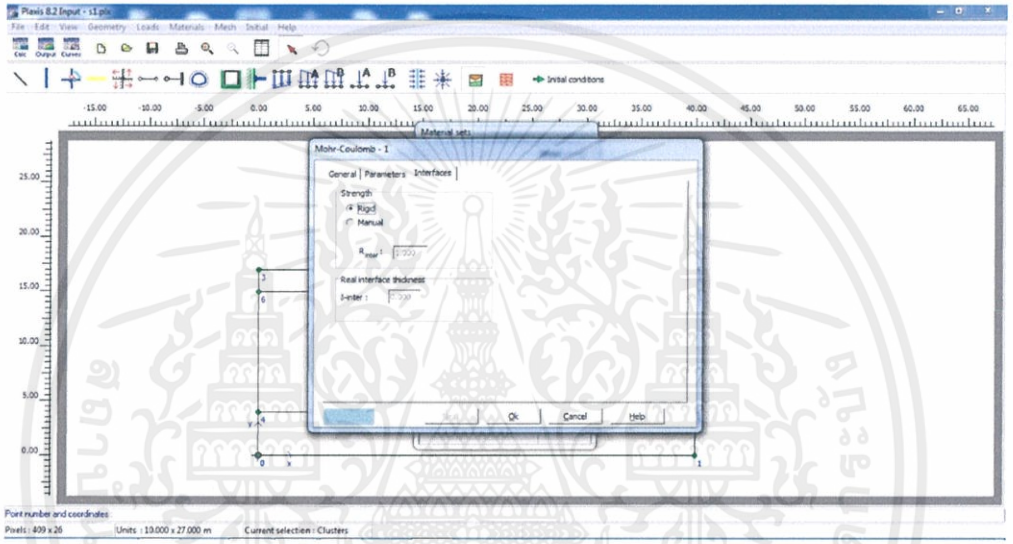
2.4.1) Modulus (E)

2.4.2) Poisson (v)

2.4.3) Coefficient (c_{ref}),kn/m^2

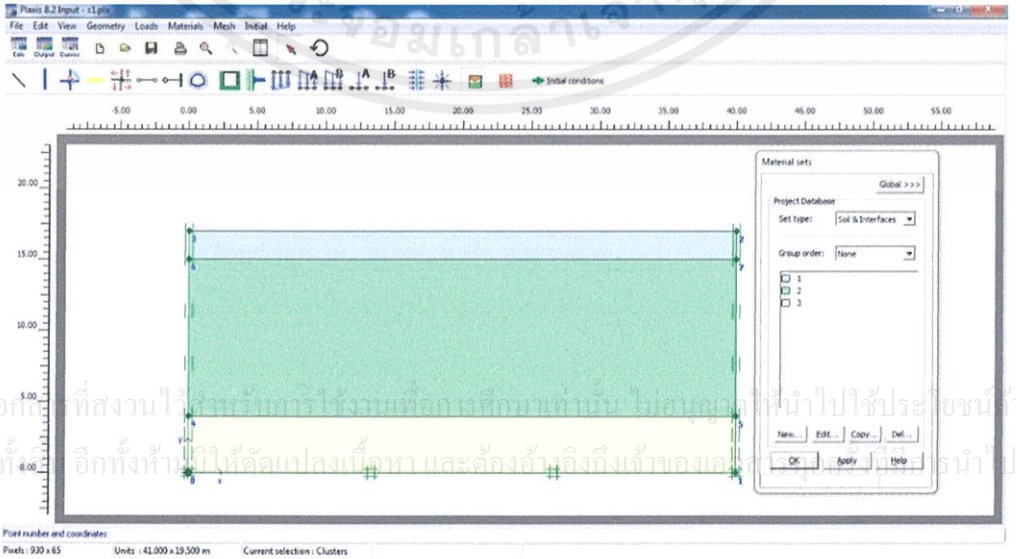
2.4.4) Phi (ϕ), degree

2.5) Interface



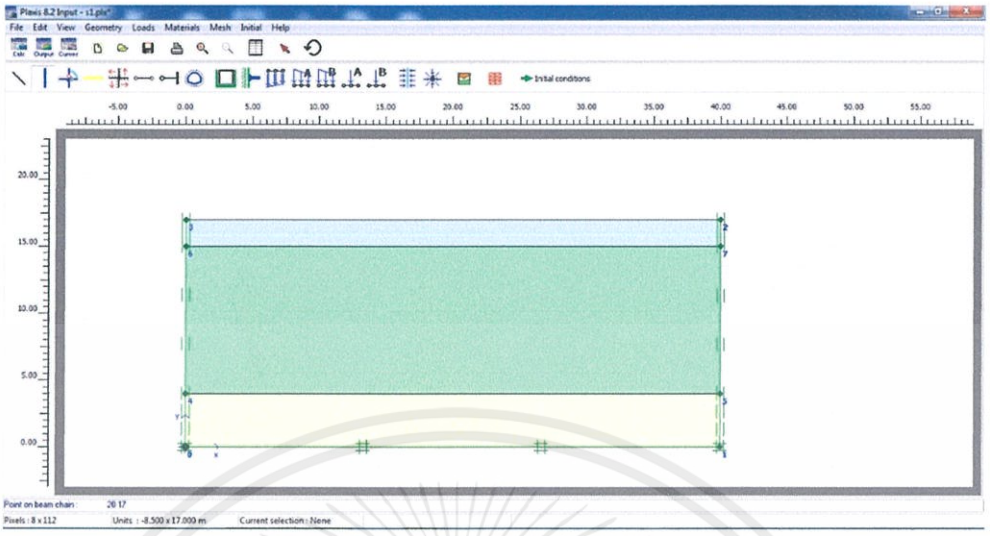
2.5.1) ความแข็งแรงให้เลือกใช้แบบแข็ง (rigid)

เมื่อทำการป้อนข้อมูลคุณสมบัติดินเรียบร้อย เลือกข้อมูลดินใส่ตามที่กำหนดไว้ โดยการคลิกที่ชื่อข้อมูลดินข้างไว้ (1,2 และ 3) จากนั้นลากเมาส์มาที่ชั้นดินที่วาดไว้และปล่อยเมาส์ จะปรากฏสีของชั้นดินตามสีของข้อมูลดินในกรอบหน้าต่างย่อยทางด้านขวามือ ดังแสดงในรูปข้างล่าง

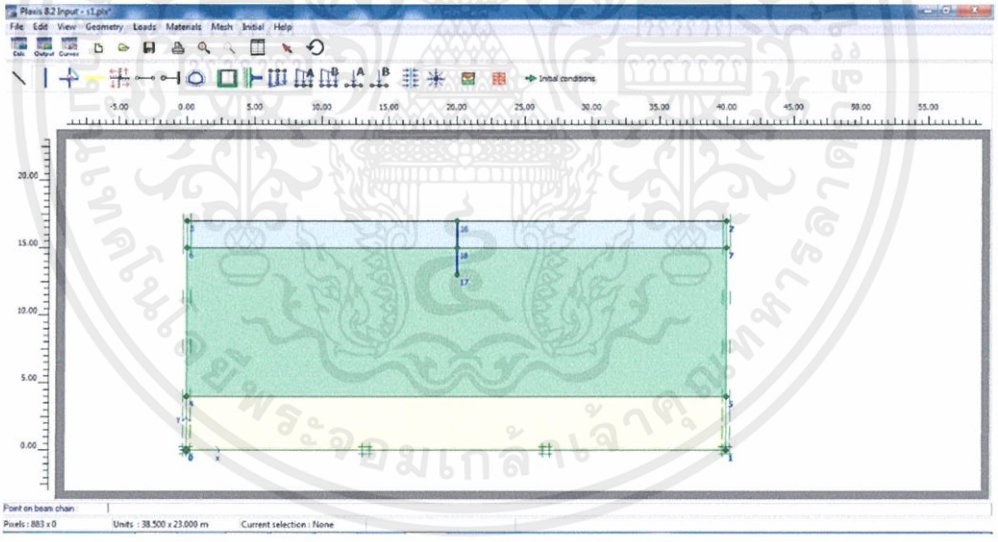


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การป้อนข้อมูลคุณสมบัติเข็มพืด ลักษณะเข็มพืด

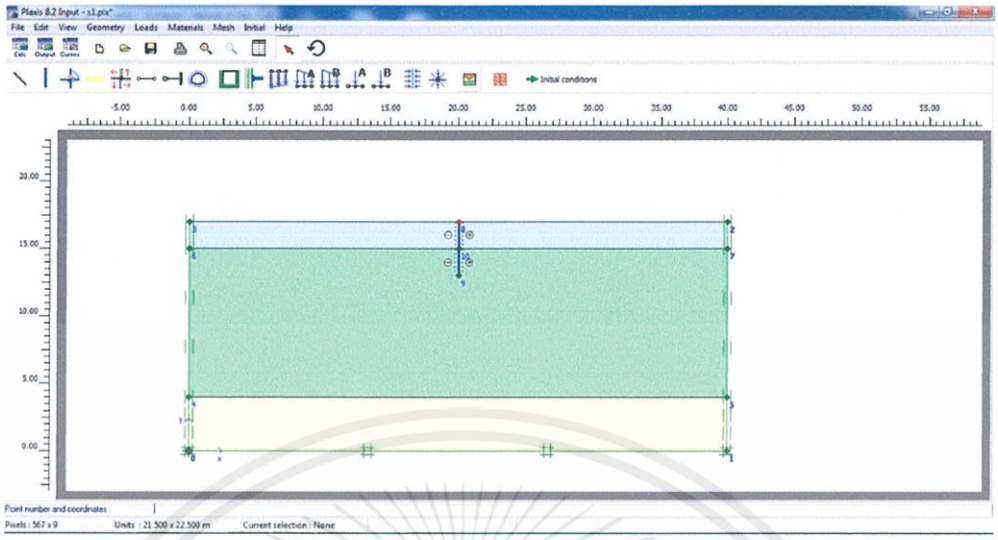


3.1) คลิกที่เมนูหลัก plate เพื่อทำการวาด เข็มพืด สามารถวาดได้โดยการกำหนดจุดที่ point on beam chain เมื่อทำการกำหนดจุดเรียบร้อยจะได้รูปเข็มพืดตามรูปด้านล่าง

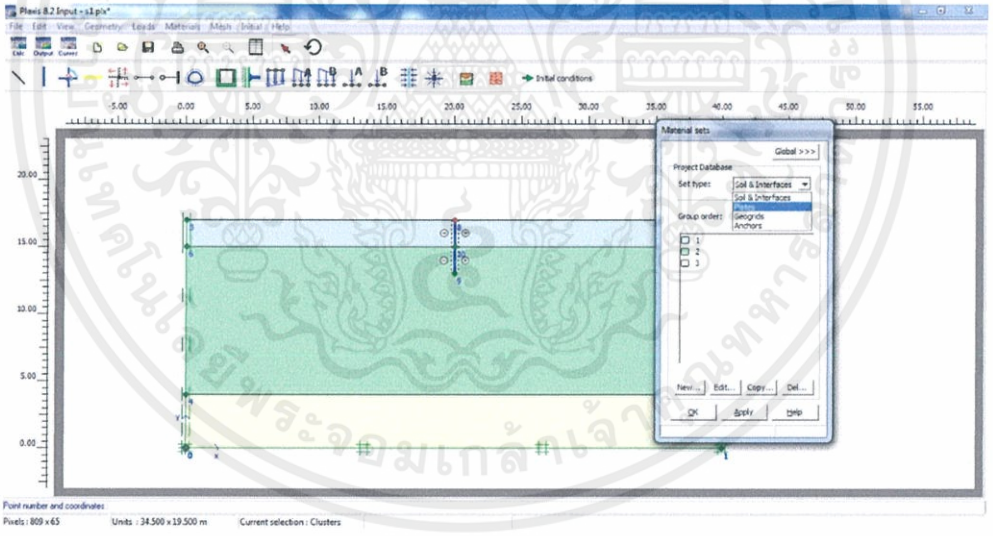


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2) กำหนดขอบเขตของเข็มพืด โยคลิกที่เมนู interface เพื่อใส่ค่าข้อมูลของเข็มพืด

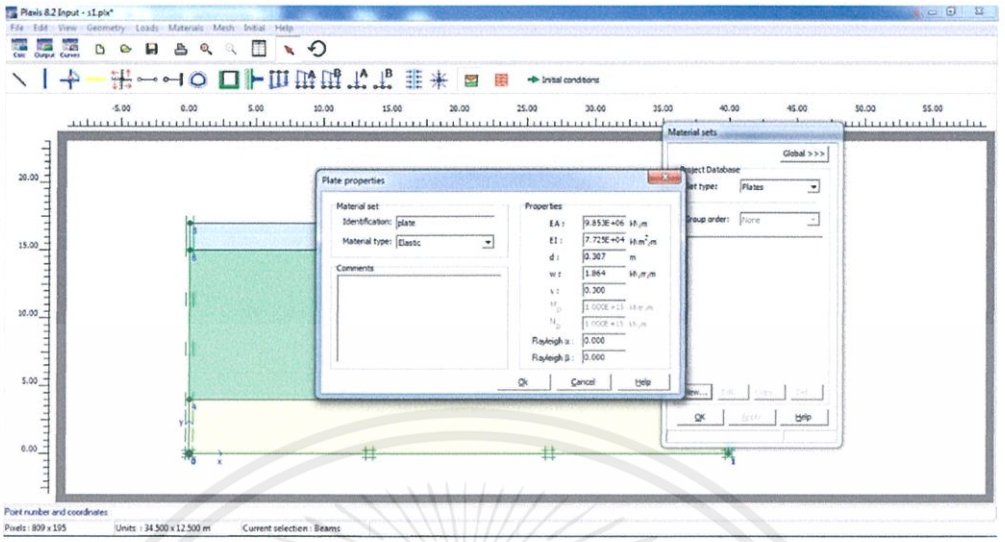


3.3) จากนั้นทำการกำหนดคุณสมบัติของเข็มพืด โดยคลิกที่เมนู Matryrail sets จะปรากฏแหน้าต่างย่อยดังรูป ให้เลือกชนิดของวัสดุ “plates” จากนั้นคลิกที่ปุ่ม new



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4) Plate properties



ใส่ข้อมูลและค่าต่างๆดังนี้

3.4.1) Materail set

3.4.1.1) ตั้งชื่อ plate

3.4.1.2) ชนิดของเข็มพืดใช้แบบ elastics

3.4.2) Properties

3.4.2.1) Modulus x Are (EA) , kN/m

3.4.2.2) Modulu x Moment inertia (EI) , kNm^2/m

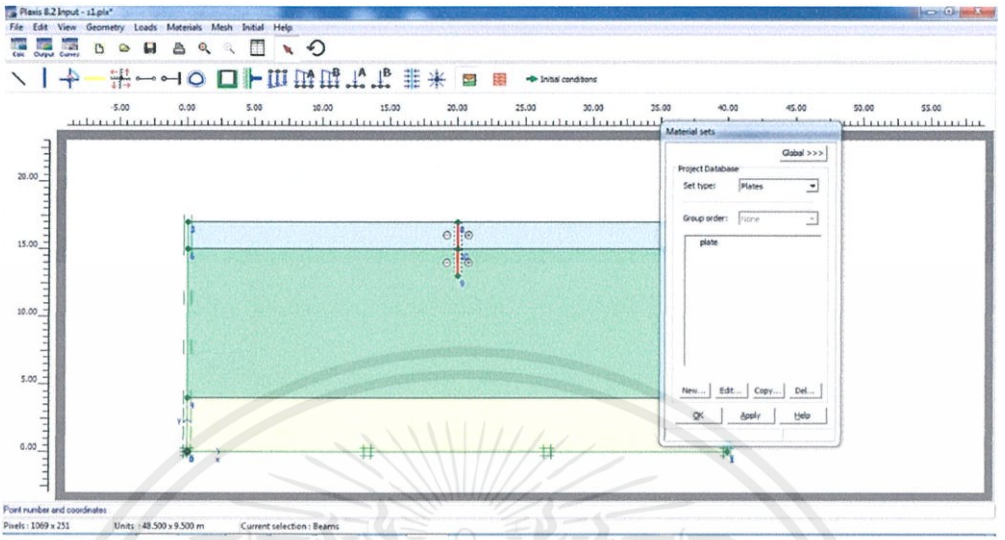
3.4.2.3) Dimeter (D) , m

3.4.2.4) Weigth (W) ,kN/m/m

3.4.2.5) Posion (v)

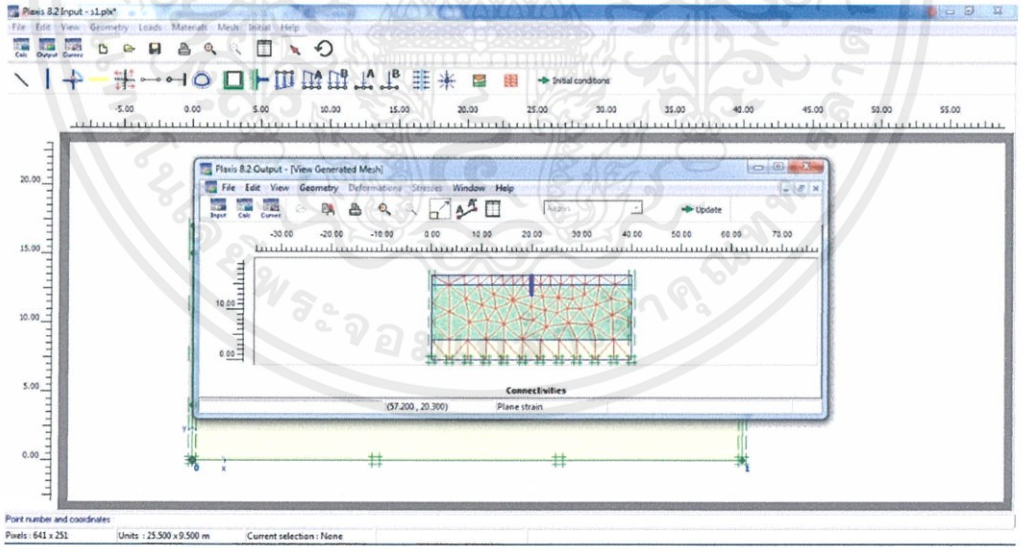
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5) เมื่อใส่คุณสมบัติของเข็มพืดเสร็จ ให้คลิกที่คุณสมบัติ plate ด้านขวามือ จากนั้นมาคลิกใส่ตัวเข็มพืด หากถูกต้อง ตัวของเข็มพืดจะปรากฏเป็นสีแดง ดังแสดงในรูปด้านล่าง



4.สร้างข่ายของดิน

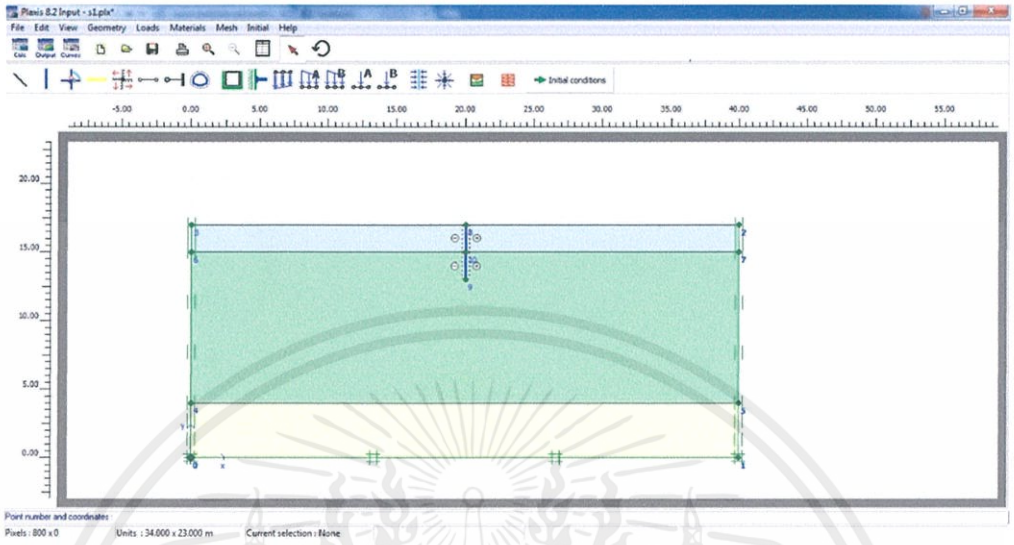
4.1) คลิกที่เมนู generate mesh เพื่อสร้างตาข่ายของดินซึ่งเป็นลักษณะการยึดตัวของดิน จากนั้นคลิกที่ update ที่หน้าต่างย่อยเพื่อทำการอัพเดทข้อมูล หรือเพื่อยืนยันว่าข้อมูลที่ทำได้ถูกต้อง



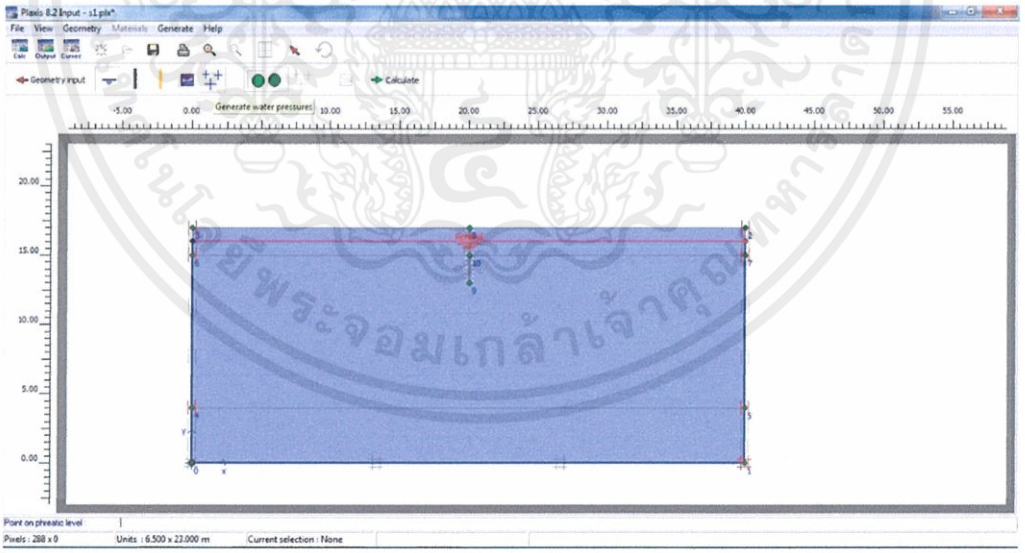
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.สภาวะเริ่มต้น

5.1) คลิกที่เมนู initial condition เพื่อกำหนดค่าเริ่มต้นของดิน ซึ่งเป็นการจำลองสาวะของในให้อยู่ในสภาวะต่างๆตามที่กำหนด เช่น ความดันน้ำ ระดับน้ำ และ stress เป็นต้น

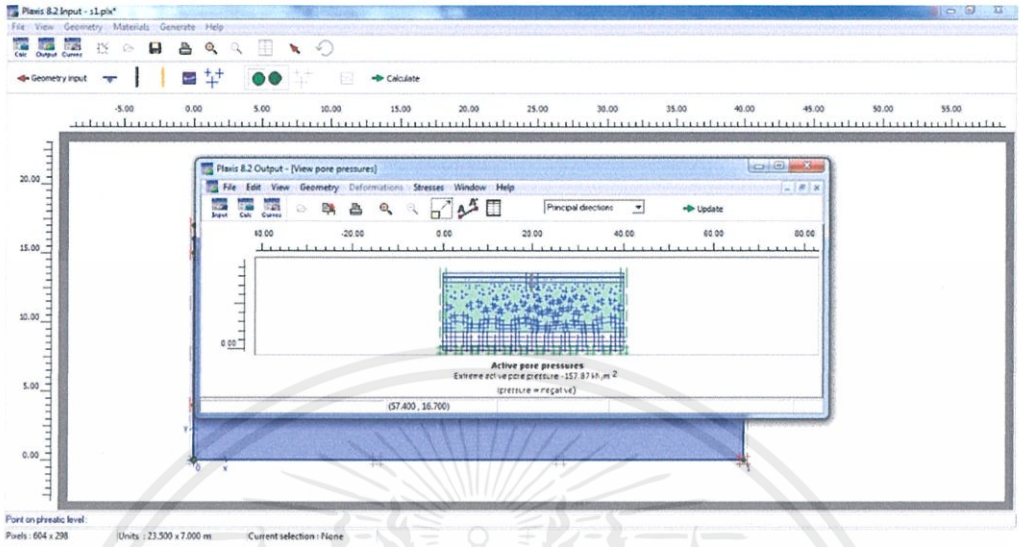


5.2) ใส่ระดับน้ำใต้ดิน คลิกที่เมนู Phreatic Level เพื่อกำหนดระดับน้ำใต้ดิน โดยใส่ค่าที่แถบ Point of Phreatic Level ที่อยู่มุมซ้ายมือด้านล่าง

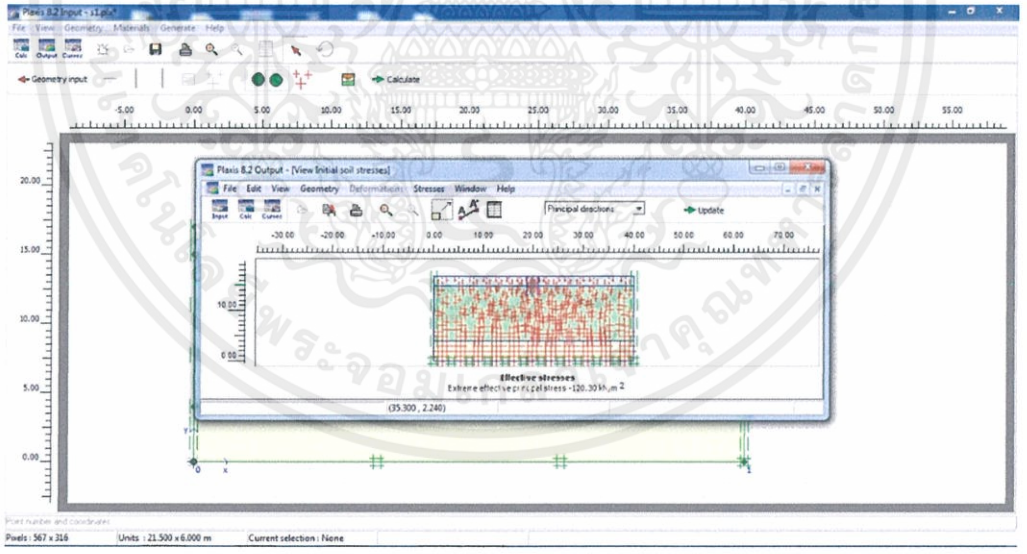


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3) จากนั้นใส่ค่า water pressure จะปรากฏหน้าต่างย่อยที่แสดงตำแหน่ง pore pressure จากยันยืนข้อมูลโดยกดที่ปุ่ม Update



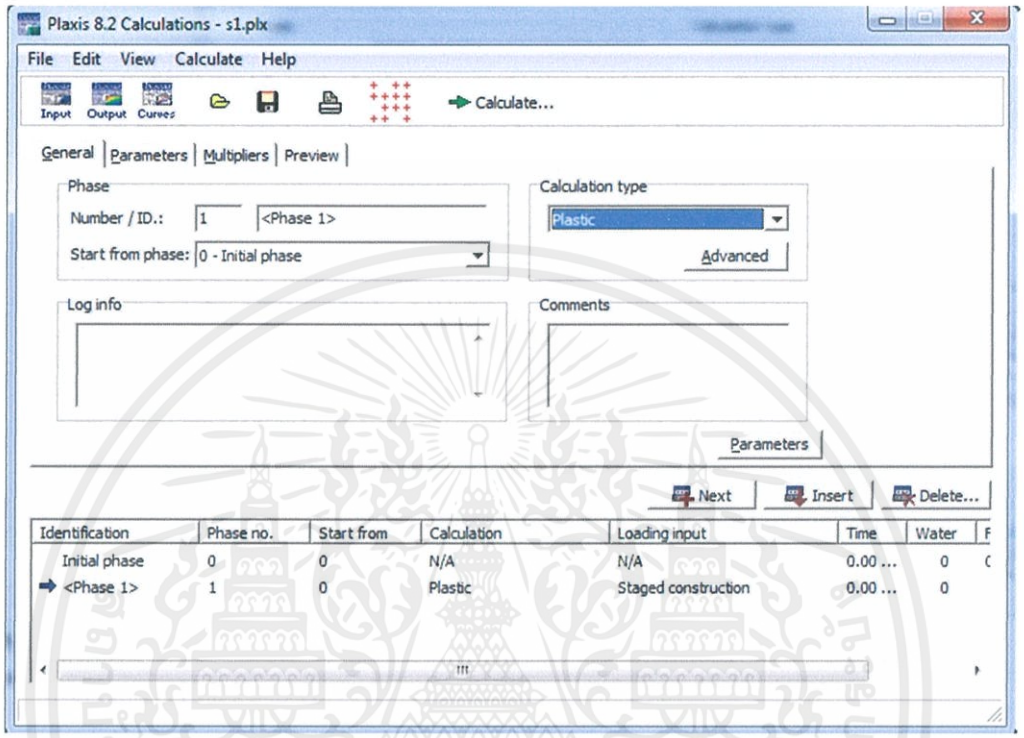
5.4) กำหนด Effective stress โดยคลิกที่เมนู Generate initial stresses จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างย่อยที่แสดง จุดที่เกิด Effective stress จากยันยืนข้อมูลโดยกดที่ปุ่ม Update



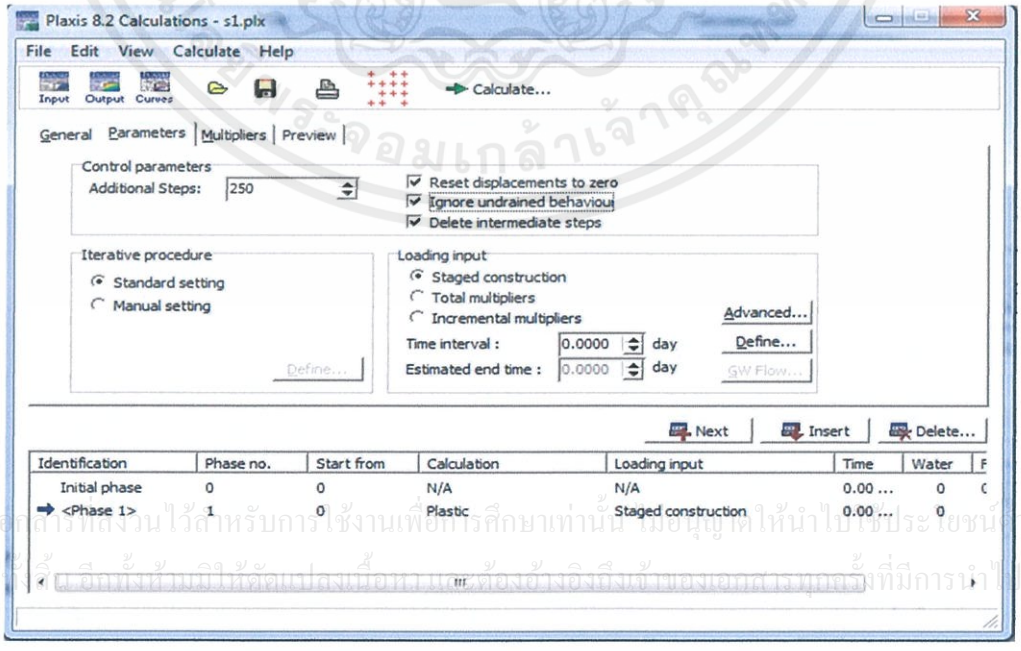
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การคำนวณ

6.1) คลิกที่เมนู calculate จะปรากฏหน้าต่างโปแกรมดังรูปด้านล่าง เพื่อกำหนดชนิดของการคำนวณโดยเลือกใช้ แบบ plastic เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ finite element โดยผลการวิเคราะห์จะแสดงในรูปแบบ ตาราง กราฟ และรูภาพของการวิบัติ



6.2) กำหนด Parameters



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

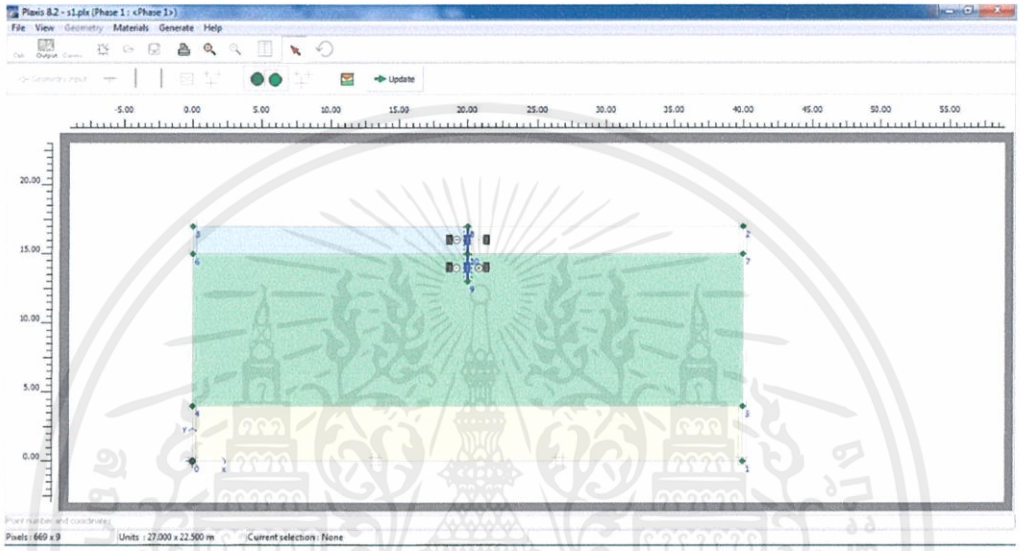
6.2.1) ความละเอียดในการคำนวณ 250 (Additional Steps)

6.2.2) การเคลื่อนตัวเป็น 0 (Reset displacements to zero)

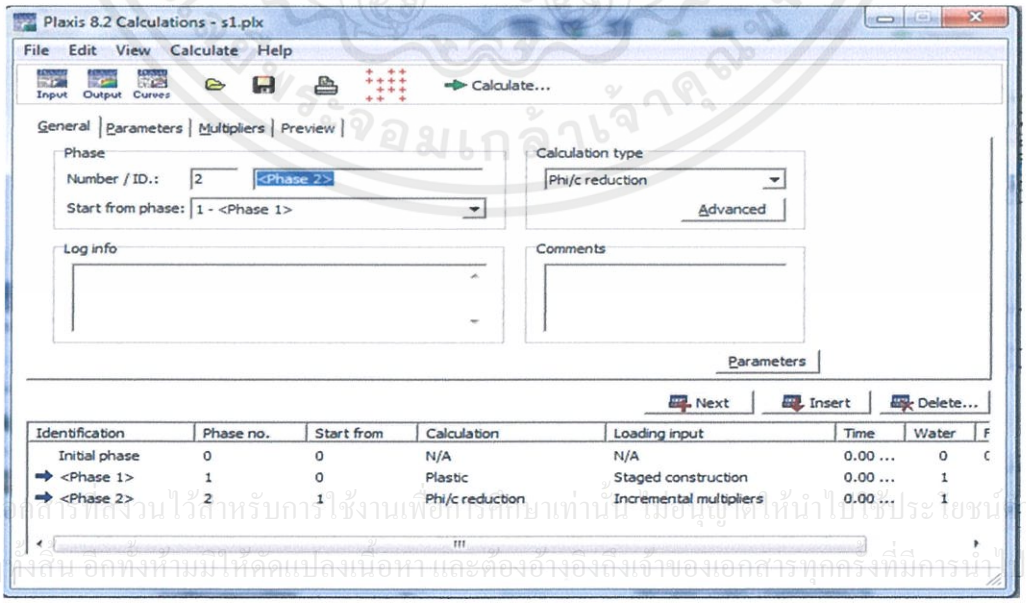
6.2.3) ไม่คิดพฤติกรรมที่ไม่ระบายน้ำ (Ignore undrained behaviour)

6.2.4) ไม่คิดขั้นตอนทำการคิดคำนวณมาแล้ว (Delete intermediate Steps)

จากนั้นกดที่ปุ่ม Define ปรากฏหน้าต่างด้านล่าง เพื่อทำการ กำหนดความลึกของดินที่ขุดและกำหนดให้พิจารณาเข็มพืดด้วย เสร็จแล้วคลิกที่ปุ่ม Update

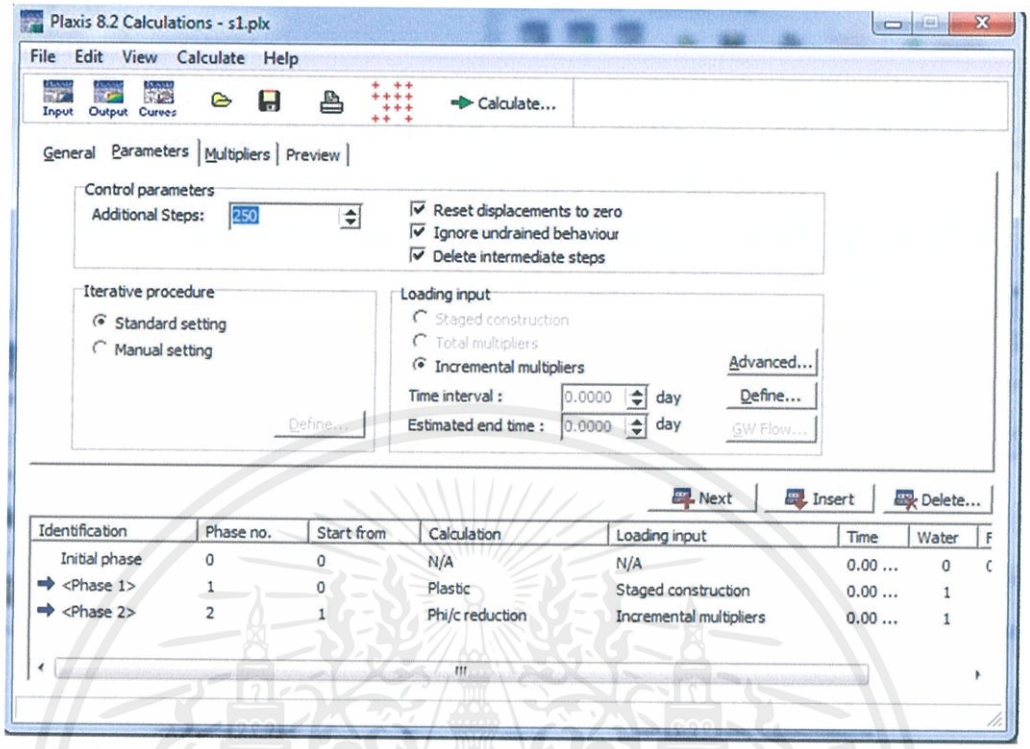


6.3) จากนั้นกำหนดให้โปรแกรมคำนวณหาค่า factor of safety (FS) โดยเลือกรูปแบบในการคำนวณ Phi/c reduction



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4) กำหนด Parameters



6.4.1) ความละเอียดในการคำนวณ 250 (Additional Steps)

6.4.2) การเคลื่อนตัวเป็น 0 (Reset displacements to zero)

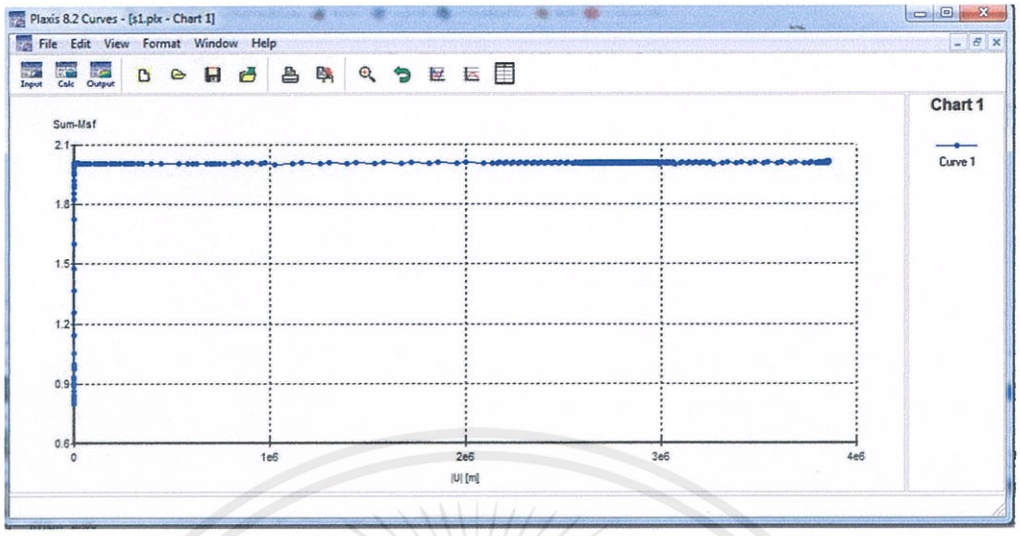
6.4.3) ไม่คิดพฤติกรรมที่ไม่ระบายน้ำ (Ignore undrained behaviour)

6.4.5) ไม่คิดขั้นตอนทำการคิดคำนวณมาแล้ว (Delete intermediate Steps)

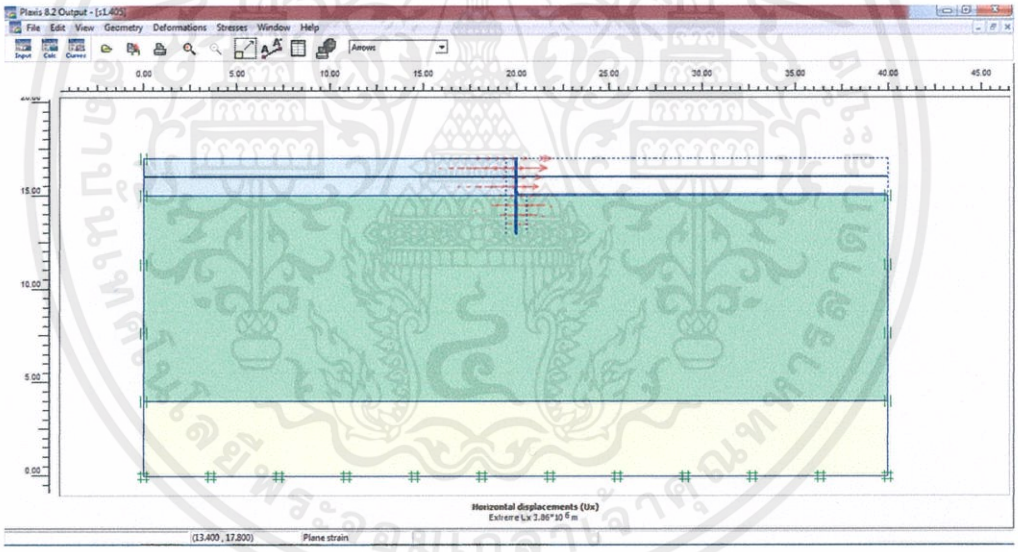
เมื่อกำหนดข้อมูล ค่าต่างๆ และรูปแบบเสร็จ กดที่ปุ่ม calculate เพื่อทำการวิเคราะห์หาค่า factor of safety (FS) และรูปแบบของการวิบัติ

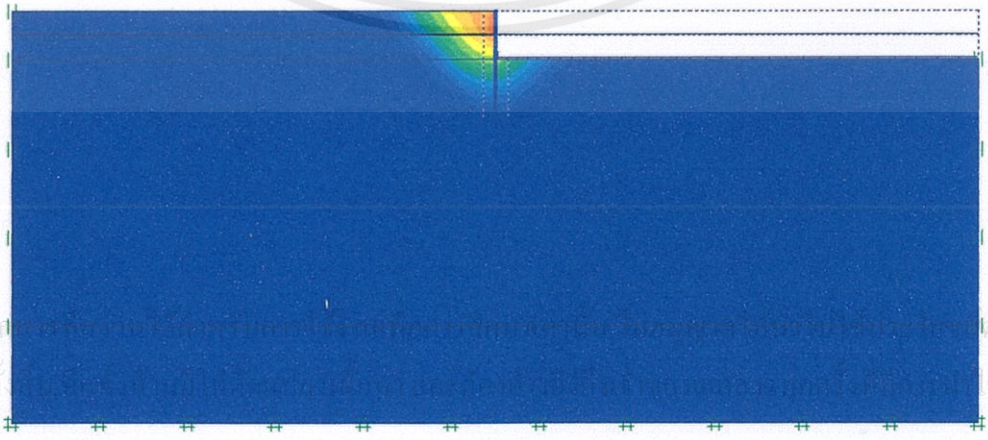
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5) กราฟแสดงค่า Factor of Safety



6.6 รูปแบบการวิบัติ





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้