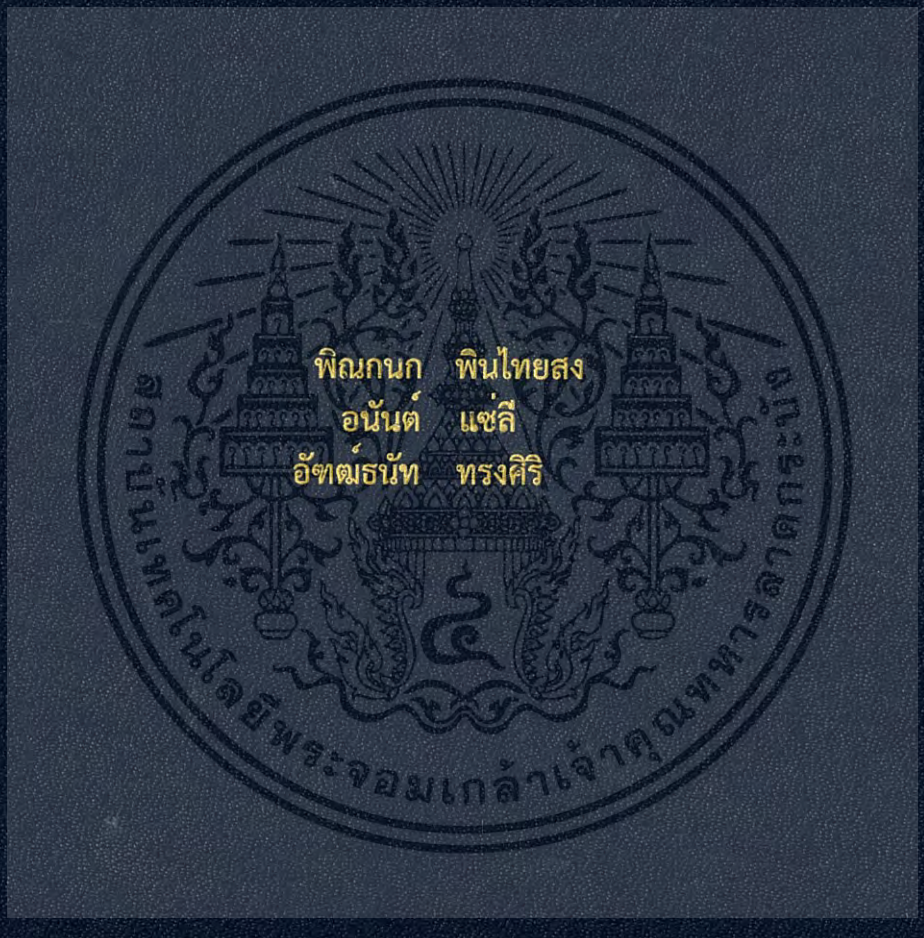
การศึกษาและหาแนวทางเสริมเสถียรภาพของลาดคันคลองดิน คลองเปรมประชากร จ.ปทุมธานี

THE STABILITY OF SLOPES AND IMPROVEMENTS STUDY IN KLONGPRAEM PRACHAKORN PATHUMTHANI PROVINCE



พิณกนก พินไทยสง
อนันต์ แซ่ลี
อัฑฒ์ธนัท ทรงศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การศึกษาและหาแนวทางเสริมเสถียรภาพของลาดคันคลองดิน คลองเปรมประชากร จ.ปทุมธานี

THE STABILITY OF SLOPES AND IMPROVEMENTS STUDY IN KLONGPRAEM PRACHAKORN PATHUMTHANI PROVINCE

พิณกนก พินไทยสง

อนันต์ แซ่ลี

อัฑฒ์ธนัท ทรงศิริ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STABILITY OF SLOPES AND IMPROVEMENTS STUDY IN KLONGPRAEM PRACHAKORN PATHUMTHANI PROVINCE

PINKANOK PINTHAISONG
ANUN SAELEE
AUTTANUT SONGSIRI

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาและหาแนวทางเสริมเสถียรภาพของลาดคันคลองดิน คลองเปรมประชากร จ.ปทุมธานี

THE STABILITY OF SLOPES AND IMPROVEMENTS STUDY IN KLONGPRAEM PRACHAKORN PATHUMTHANI PROVINCE

นักศึกษา นางสาวพิณกนก พินไทยสง รหัสนักศึกษา 57010900
นายอนันต์ แซ่ลี รหัสนักศึกษา 57011465
นายอัฑฒ์ธนัท ทรงศิริ รหัสนักศึกษา 57011525

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์ ดร.วิรุฬห์ คำชุม

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์	
ดร.วิรุฬห์ คำชุม	
ดร.ศลิษา ไชยพุทธ	
อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ 4/6/61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาและหาแนวทางเสริมเสถียรภาพของลาดคันคลองดิน

คลองเปรมประชากร จ.ปทุมธานี

นางสาวพิณกนก พินไทยสง รหัสนักศึกษา 57010900
นายอนันต์ แซ่ลี รหัสนักศึกษา 57011465
นายอัทฆ์ธนัท ทรงศิริ รหัสนักศึกษา 57011525
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์ ดร.วิรุฬห์ คำชุม

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

เมืองไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีการสร้างระบบชลประทาน อีกทั้งจากอดีตที่ผ่านมาเมืองไทยมีการขุดคลองเพื่อใช้ในการสัญจร ดังนั้นจึงมีคลองกระจายอยู่อย่างแพร่หลาย

การคมนาคมของรถยนต์ตามชุมชนเก่าหรือชุมชนใกล้พื้นที่ชลประทานจึงมักจะสร้างถนนบนคันคลองดิน แต่บ่อยครั้งก็จะพบกับปัญหาการพังทลายของคันคลองดินจนอาจนำไปสู่การสูญเสียทรัพย์สินและสร้างผลกระทบต่อการใช้เส้นทางจราจรของประชาชนใกล้เคียง ดังนั้นปริญญานิพนธ์นี้ได้ถูกจัดทำขึ้นโดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการเสริมความมั่นคงแก่ลาดดินคันคลอง ทำการศึกษาด้วย 2 กระบวนการ คือการติดตั้งท่อระบายน้ำ และการติดตั้งเสาเข็มยาวและเสาเข็มสั้น ในการระหว่างการศึกษาได้นำโปรแกรม Finite Element Plaxis 2D มาช่วยศึกษา ผลการศึกษาพบว่า ทั้งสองวิธีช่วยเพิ่มสัดส่วนความปลอดภัยแก่ดินได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: Finite Element Plaxis 2D, สัดส่วนความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The STABILITY of SLOPES and IMPROVEMENTS STUDY in KLONGPRAEM PRACHAKORN PATHUMTHANI PROVINCE

MissPinkanok Pinthaisong Student ID. 57010900
Mr.Anun Saelee Student ID. 57011465
Mr.Auttanut Songsiri Student ID. 5701[illegible]
Advisor: Assoc.Prof.Dr.Thanadol Kongsomboon, Dr.Viroon Kamchoom
Academic Year 2017

ABSTRACT

Thailand is an agricultural country, so there are many irrigate systems. Since in the past to nowadays Thailand has communicated by the boat. For these reasons the canals spread around Thailand.

The communication by road beside the canals are usually constructed on the berm; however we usaually confront with the berm collapsed problems which leads to destroy people treasure and stop the communication. Therefore, this reseaech aim to study the how to strenghthen the slopes stability. Our solutions divide into installing drains system and piles system and analyze with in Plaxis 2D programe (Finite element programe). We found both solutions absolutely can improve the stability of slopes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์ และ ดร.วิรุฬห์ คำชุม ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง คอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่าง ๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงงาน รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาโยธานี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

นางสาวพิณกนก พินไทยสง
นายอนันต์ แซ่ลี
นายอัฑฒ์ธนัท ทรงศิริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ	4
2.2 การพิบัติของถนนริมคันคลอง	5
2.3 ความมั่นคงของลาดดิน	12
2.4 แนะนำเบื้องต้นในเกี่ยวกับโปรแกรม plaxis 2D	40
2.5 การแปลงค่าความแข็งเชิงดัดเทียบเท่าของหน้าตัด	48
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	49
ความสำคัญของแผนการดำเนินงาน	49
3.1 การกำหนดหัวข้อวิจัย	49
3.2 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	49
3.3 กำหนดขอบเขตและพื้นที่ที่ศึกษา	49
3.4 การสำรวจข้อมูล	50
3.5 ขั้นตอนการนำข้อมูลวิเคราะห์ในโปรแกรม	50
3.6 สรุปผลการทดลอง	52
3.7 จัดทำรายงานผลการศึกษา	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล..... 54
4.1 การพังของลาดดินเนื่องจากการลดลงอย่างรวดเร็วของน้ำ..... 54
4.2 การเพิ่มความแข็งแรงแก่ลาดดิน..... 55
4.2.1 กาติดตั้งท่อระบายน้ำในแนวราบ..... 54-55
4.2.2 การติดตั้งเสาเข็ม..... 55-57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 59
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 59
5.2 การนำไปใช้ประโยชน์..... 59
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน..... 60
5.4 ข้อเสนอแนะ..... 60
เอกสารอ้างอิง..... 61
ภาคผนวก ก. พื้นที่ที่ทำการสำรวจ..... 62
ภาคผนวก ข. ข้อมูลดิน(Boring Log)..... 63
ภาคผนวก ค. งานสำรวจภาคสนาม..... 64
ภาคผนวก ง. ภาพแสดงการติดตั้งอุปกรณ์เสริมความแข็งแรงแก่ลาดดิน..... 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจำแนกประเภทการเคลื่อนพังของลาดโดยวิธีของ Varnes.....	14
2.2 วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมต่อช่วงต่าง ๆ หรือกรณีต่าง ๆ.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า

2.1-1 แสดงโครงสร้างชั้นดินของดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay)..... 4

2.2-1 พื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จำแนกตามความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อนตั้งแต่หนาที่สุดไปจนถึงบางที่สุด (Zone F ถึง Zone A)..... 6

2.2-2 การยุบตัวและดันตัวออกด้านข้างของชั้นดินอ่อนใต้คันทาง..... 6

2.2-3 กลไกการเกิด Sudden drawdown ก. ข้อมูลระดับน้ำในคลองรังสิตในปี พ.ศ.2542 ในช่วงที่มีการพิบัติ ข.ช่วงปลายฤดูฝนที่น้ำเต็มตลิ่ง ค. ช่วงปลายฤดูฝนระดับน้ำในคลองจะลดลงแต่ระดับน้ำในตลิ่ง จะไหลออกช้ากว่าจึงดันดินตลิ่งให้พังทลาย..... 7

2.2-4 การพิบัติของตลิ่งเมื่อระดับน้ำลดลงต่ำ ก. แรงดันน้ำในคลองไม่พอที่จะพยุงลาดตลิ่ง ข. ขณะที่น้ำในคลองยังต่ำอยู่ หากเกิดฝนตกจะยิ่งเพิ่มโอกาสเสี่ยงในการพิบัติมากขึ้น..... 9

2.2-5 การพิบัติของลาดตลิ่งด้านหน้ากำแพงเนื่องจากน้ำลดลงต่ำมาก ส่งผลให้กำแพงเคลื่อนตัวตาม เพราะสูญเสียแรงต้านด้านหน้า..... 10

2.2-6 การขุดปรับลาดตลิ่งเพื่อสูบน้ำของเกษตรกร..... 11

2.2-7 รถบรรทุกที่หนักและวิ่งเร็วเป็นปัจจัยกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนตัวและพิบัติได้ง่ายเมื่อระดับน้ำอยู่ต่ำ..... 11

2.3.1 ตัวอย่างการเคลื่อนพังของลาดโดยวิธีของ Varnes (1978)..... 15

2.3.2 การพิบัติของลาดดินแบบเป็นส่วนโค้งของวงกลม..... 16

2.3.3 การพิบัติของมวลดินแบบไม่เป็นส่วนโค้งของวงกลม..... 17

2.3.4 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ..... 18

2.3.5 ความสัมพันธ์ของความเค้น (σ) และความเครียด (ε) แบบต่าง ๆของวัสดุ..... 19

2.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำในตัวเขื่อน และอัตราส่วนปลอดภัยที่ช่วงเวลาต่าง ๆ..... 24

2.3.7 Flownet ของตัวเขื่อนในระหว่างที่น้ำลดอย่างรวดเร็ว..... 25

2.3.8 ขบวนการเกิดRapid Drawdown (GERD)..... 26

2.3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำและอัตราส่วนปลอดภัยที่ช่วงเวลาต่างๆ..... 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำและอัตราส่วนปลอดภัยที่ช่วงเวลาต่าง ๆ..... 29
2.3.11 การพิบัติของตลิ่งแม่น้ำบางปะกง (GERD)..... 30
2.3.12 การพิบัติเมื่อตลิ่งถูกกัดเซาะโดยกระแสน้ำ..... 31
2.3.13 ระดับน้ำใต้ดิน 2 ชั้น เนื่องจากฝนที่ตกหนักในระยะเวลาสั้นๆ..... 33
2.3.14 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Circular Surface..... 35
2.3.15 รูปตัดการเคลื่อนพังของลาดดินและการดัดแปลงมวลดิน..... 36
2.3.16 แรงและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน..... 37
2.3.17 หลักการวิเคราะห์สมดุลแรงในชิ้นดิน..... 37
2.3.18 วิธีการหาจุดศูนย์กลางของอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด..... 39
4.1 กราฟแสดงสัดส่วนความปลอดภัยของลาดดินที่ระดับน้ำต่าง ๆ..... 54
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการติดตั้งท่อระบายน้ำ กับ สัดส่วนความปลอดภัยของลาดคันคลอง..... 56
4.3 ภาพนิ่งจากโปรแกรม Plaxis 2Dแสดงการเสียรูปของดินเมื่อติดตั้งเสาเข็มสั้น..... 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงมีคลองน้ำชลประธานหลายสายและตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันวิถีชีวิตคนไทยยังคงใช้คลองเป็นทางสัญจรเสมอมา บ่อยครั้งที่พบเจอปัญหาคันคลองดินพิบัติจากการใช้งาน เช่น ถนนเรียบแม่น้ำที่ทรุดตัวยาวกว่า 20 เมตร อ.สรรคบุรี จ.ชัยนาท ถนนคันคลองระพิพัฒน์เกิดการแตกร้าวจนดินทรุดตัวกว่า 200 เมตร อ.หนองแค จ.สระบุรี ถนนริมคลองรังสิตประยูรศักดิ์ อ.องครักษ์ จ. นครนครนายก ฯลฯ ด้วยเหตุผลทางกระบวนการก่อสร้างคันคลองดินหลายๆแห่งจะใช้วิธีขุดคลองมาถมเป็นคันคลอง เมื่อกาลเวลาผ่านไปคันคลองที่ถูกถมด้วยดินอ่อนนั้นก็ถูกพัฒนาเป็นทางเกวียนและถนนสายสำคัญๆในปัจจุบัน ทำให้ถนนคันคลองจึงไม่มีการคันเลือกวัสดุที่แข็งแรงมาก่อสร้างถนน อีกทั้งมีปัจจัยจากน้ำในคลองที่มีทั้งขึ้นและลงทำให้ถนนคันคลองที่สภาวะต่าง ๆที่เกิดความไม่มั่นคง

ดังนั้นทางผู้ศึกษาจึงสนใจที่จะศึกษาวิเคราะห์ ตรวจสอบสภาวะความไม่มั่นคงและหาแนวทางในการเพิ่มเสถียรภาพแก่ถนนคันคลอง

1.2. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สำหรับถนนคันคลองบนดินอ่อนจะพบปัญหาการพังถล่มอยู่เรื่อยมาตามข่าว สาเหตุที่พังก็มีอยู่ด้วยกันสี่สาเหตุหลัก ได้แก่ การพังเนื่องจากน้ำหนักของลาดดิน การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ การเสียกำลังของดิน และการผุพังเนื่องจากการกัดกร่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถนนริมคันคลอง การพังของคันดินจะส่งผลอันตรายถึงชีวิตแก่ผู้สัญจรหรือผู้พักอาศัยบริเวณใกล้เคียง ดังนั้นการทราบสภาวะที่มีผลต่อความไม่มั่นคงนี้ก่อนถึงสภาวะดินจะพิบัติจึงเป็นแนวทางที่ดีแก่หน่วยงานราชการและประชาชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาเสถียรภาพของลาดดิน
2. เพื่อตรวจสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติการรับกำลังของลาดดิน
3. เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มความแข็งแรงแก่ลาดดิน

1.4. ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาสภาพความมั่นคงของถนนคันคลองเปรม จ.ปทุมธานี Sta.6+10 กิโลเมตร ถึง 10+300 กิโลเมตร
2. ทำการศึกษาความมั่นคงของดินคันคลองภายใต้สภาวะที่มีน้ำระดับน้ำต่าง ๆในคลอง น้ำแห้งระดับต่าง ๆในคลองและการลดลงของระดับน้ำอย่างรวดเร็ว (Rapid drawdown) ที่ระดับต่าง ๆ และภายใต้น้ำหนักบรรทุกขนาดต่าง ๆ กันโดยโปรแกรม Plaxis 2D

1.5. ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. สืบค้นข้อมูลและปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาเกี่ยวกับหัวเรื่องที่จะทำการวิจัย
2. รวบรวมข้อมูลสนามและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับใช้ในการวิจัย ทำได้ดังนี้
3. ประเมินสภาพพื้นที่ทั้งหมดจากข้อมูลในข้อ 3ก. เพื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายในการเก็บข้อมูล
4. สำรวจพื้นที่เป้าหมายในข้อ 4 ประเมินสภาพหน้างานทุกตำแหน่งในเพื่อวางแผนขั้นตอนการเก็บข้อมูลสนาม
5. ทำการเก็บข้อมูลภาพตัดตามขวางท้องคลองจากสนามตามที่ได้วางแผนไว้แล้วในข้อ 4
6. นำข้อมูลที่ได้จากข้อ 4 มาแปลงผลเป็นภาพตัดตามขวางท้องคลอง
7. นำข้อมูลจากข้อ 6 มาประกอบการวิเคราะห์ใน Program Plaxis 2D เพื่อศึกษาสภาพความมั่นคงของดิน
8. รวบรวมผลการทดลองและผลการวิเคราะห์เพื่อสรุปผลการทดลอง
9. จัดทำรูปเล่มงานวิจัย

1.6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้การใช้ Program Plaxis 2D
2. ได้ความรู้เกี่ยวกับสภาวะมั่นคงของดินคันคลอง
3. ได้แนวทางการแจ้งสภาวะวิกฤติของถนนคันคลอง
4. ได้ประยุกต์ใช้ความรู้ด้านงานสำรวจ (Surveying)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ได้รู้จักการทำงานเป็นทีมและการบริหารเวลา
6. ได้สร้างฐานข้อมูลหรือกรณีตัวอย่างสำหรับผู้ที่สนใจนำไปศึกษาหรือวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

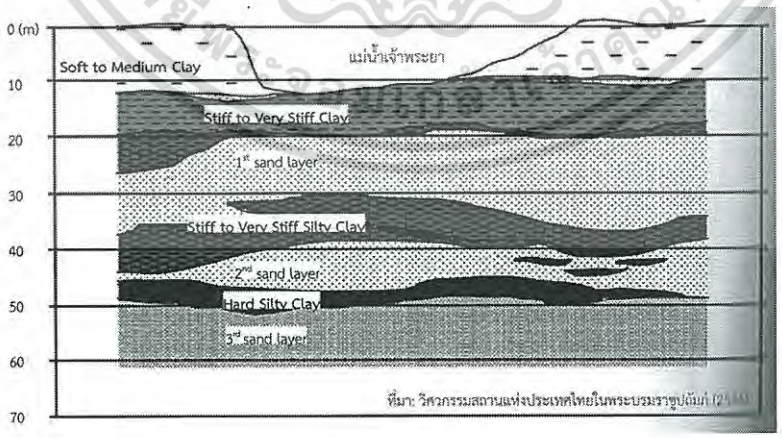
บทที่2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (BANGKOK CLAY)

ดินเหนียวอ่อนโดยทั่วไปเป็นดินที่ตกตะกอนอยู่บริเวณปากแม่น้ำ โดยลักษณะการเกิดของดินเหนียวอ่อนบริเวณน้ำเม็ดดินจะถูกพัดพาจากแม่น้ำลงสู่ทะเลและน้ำทะเลก็หนุนกลับเข้ามาตกตะกอน ทำให้ชั้นดินเหนียวอ่อนนั้นมีทั้งแบบตกตะกอนในแม่น้ำและในทะเล ซึ่งเป็นลักษณะการเกิดของดินเหนียวอ่อนบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างหรือที่เรียกว่าดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok Clay) โดยมีลักษณะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนหนาประมาณ 10-15 เมตร ชั้นถัดไปจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งและชั้นทรายสลับกันไป

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (Bangkok Clay) มีลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติของดิน ดังนี้

- ชั้น Crust ที่มีความลึกประมาณ 0-2 เมตร ดินเหนียวชั้น Crust เป็นดิน เหนียวชั้นบนสุด ที่มีการแปรสภาพของดินจากกระบวนการ Weathering leaching และ cementation ทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม มีค่าความชื้นในดิน (Moisture Content) ลดลงทำให้กำลังสูงขึ้น
- ถัดลงไปจะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนมาก (Soft Clay) มีความลึกประมาณ 7-15 เมตร
- ชั้นถัดลงไปจะเป็น ชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) มีความลึกประมาณตั้งแต่ ประมาณ 15-24 เมตร เป็นต้น จนเจอชั้นทรายชั้นแรกและจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็ง



รูปที่ 2.1-1 แสดงโครงสร้างชั้นดินของดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การพิบัติของถนนริมคันคลอง

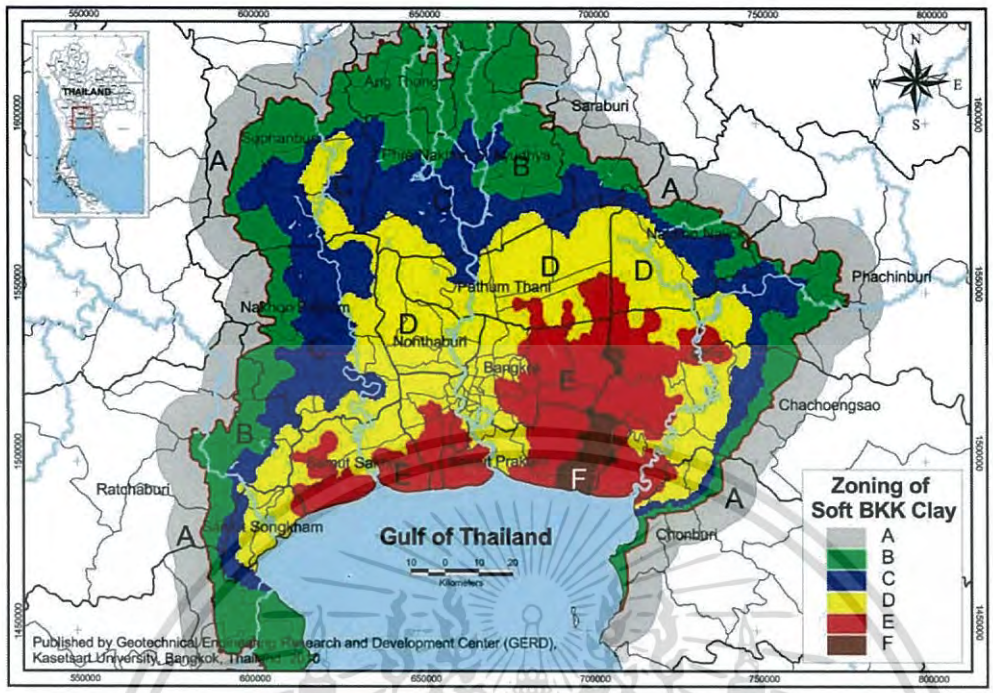
2.2.1 สาเหตุของการพิบัติ

ในช่วงฤดูแล้งที่ยาวนานยืดออกมาจากฤดูการปกติ พบว่ามีการพิบัติของถนนริมคลองชลประทาน จำนวนหลายตำแหน่ง เมื่อทำการลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลและประมวลผลจากข้อมูลในอดีตและตาม ทฤษฎีทำให้สามารถคาดการณ์สาตุการพิบัติได้ดังต่อไปนี้

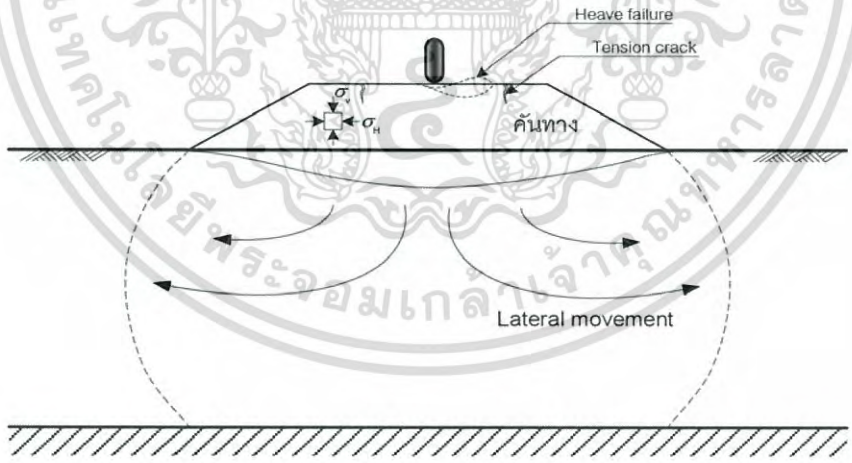
2.2.1.1 การพิบัติของถนนริมคลองชลประทาน

เกิดขึ้นในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ซึ่งชั้นดิน เหนียวอ่อนกรุงเทพฯนั้นเกิดขึ้นจากการตกตะกอนของดินเหนียวในพื้นที่ที่ในอดีตเมื่อกว่า 10,000 ปีที่แล้วเป็น ทะเล พื้นที่ดังกล่าวมีขนาดประมาณ 100x100 ตร.กม. (รูปที่ 2.2-1) ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่จังหวัดอ่างทองลงมา จรดอ่าวไทยและในฝั่งตะวันตกตั้งแต่เขตอำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม จนมาสุดฝั่งตะวันออกในพื้นที่จังหวัด ชลบุรี นครนายก เมื่อดูจากทิศตะวันตก-ตะวันออก ดินเหนียวอ่อนนี้มีความหนาเฉลี่ย 8-12 เมตรในช่วงบริเวณกรุงเทพฯ และมีความหนาต่างๆกันไปตามพื้นที่ ลักษณะชั้นดินนั้นมีความแปรปรวน ไม่คงที่ การเจาะสำรวจชั้นดินตามมาตรฐานนั้น (ทุกๆ 250-500 เมตร) อาจจะข้ามพื้นที่ที่มีดินฐานรากที่อ่อนมากและหนามากไปได้ จึง อาจจะมีโอกาสเกิดการพิบัติได้มากกว่าบริเวณอื่น ทั้งนี้ชั้นดินอ่อนใต้คันทางนั้นจะถูกแรงกดจากน้ำหนักถนน และดันตัวออกด้านข้างด้วยระยะการเคลื่อนตัวและแรงดันที่มาก (รูปที่ 2.2-2) ดังนั้นหากเป็นถนนริมคลอง ดินฐาน รากก็จะถูกดันออกไปบริเวณตลิ่งริมคลองและจะเกิดการพิบัติได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2-1 พื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จำแนกตามความลึกของชั้นดินเหนียวอ่อนตั้งแต่หนาที่สุดไปจนถึงบางที่สุด (Zone F ถึง Zone A) (ฐานข้อมูลชั้นดินในพื้นที่ดินเหนียวอ่อน, จากงานวิจัยของ รศ.ดร. วรากร ไม้เรียง, วิทยานิพนธ์ของ เชิดพันธ์ (2553), สุทธิศักดิ์ และคณะ (2553) และกรมทรัพยากรธรณี (2553))



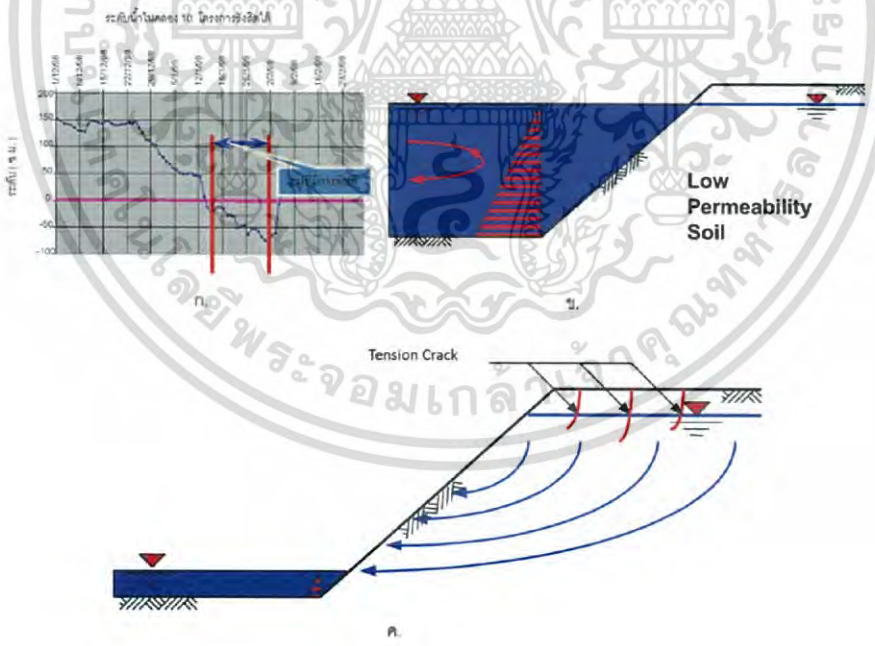
รูปที่ 2.2-2 การยุบตัวและดันตัวออกด้านข้างของชั้นดินอ่อนใต้คันทาง (รศ.ดร.วิชาญ ภู่พัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 จุดที่เกิดการพิบัตินั้นบางตำแหน่งเป็นบริเวณที่เป็นพื้นที่ชุ่มน้ำเดิม

หรือเป็นบ่อน้ำอยู่ริมคลอง หรือเป็นจุดตัดระหว่างคลองชลประทานกับคลองธรรมชาติเดิม พื้นที่ดังกล่าวเหล่านี้ เป็นพื้นที่ที่มีความชื้นใน ดินและแรงดันน้ำใต้ดินสูงกว่าบริเวณอื่น ซึ่งแรงดันน้ำกล่าวจะดันตลิ่งคันคลองให้พิบัติได้ง่ายเมื่อระดับน้ำในคลองลดลง

2.2.1.3 คลองชลประทานมีโอกาสเกิดการลดลงของระดับน้ำอย่างรวดเร็ว(Sudden drawdown) จากการใช้งานปกติที่มีการจ่ายน้ำคลองซอย หรือในช่วงที่น้ำแล้งมากที่เกษตรกรจะเร่งสูบน้ำเข้าพื้นที่สวนหรือไร่นา หรือในช่วงปลายฤดูฝนต้นฤดูหนาวที่น้ำในคลองจะระบายออกได้เร็วขึ้น ซึ่งจะทำให้มีโอกาสในการพิบัติของลาดตลิ่งมากขึ้น ทั้งนี้พฤติกรรมการพิบัติของลาดตลิ่งจากการที่ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็วนั้นเกิดจากการที่เมื่อน้ำอยู่ในคลองน้ำในคลองจะซึมเข้าไปในดินลาดตลิ่ง แต่เมื่อน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็วด้วยสาเหตุต่าง ๆที่กล่าวมาข้างต้น น้ำในดินที่อยู่ในลาดตลิ่งจะระบายน้ำออกมาไม่ทัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งลาดตลิ่งที่เป็นดินเหนียว ดินลาดตลิ่งจึงอุ้มน้ำและเกิดแรงดันเนื่องจากน้ำพยายามจะไหลออกมาแรงดันดังกล่าวถ้ามากพอก็จะ ทำให้ลาดตลิ่งและถนนคันคลองที่อยู่ด้านบนเกิดการพิบัติ (รูปที่ที่ 2.2-3)



รูปที่ 2.2-3 กลไกการเกิด Sudden drawdown ก. ข้อมูลระดับน้ำในคลองรังสิตในปี พ.ศ.2542 ในช่วงที่มีการพิบัติ ข.ช่วงปลายฤดูฝนที่น้ำเต็มตลิ่ง ค. ช่วงปลายฤดูฝนระดับน้ำในคลองจะลดลงแต่ระดับน้ำในตลิ่ง จะไหลออกช้ากว่าจึงดันดินตลิ่งให้พังทลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.4 การควบคุมความยาวเข็ม

ถนนริมคลองหลายสายที่ประสงค์ที่จะใช้เป็นคันกั้นน้ำ มักจะต้องมีการยกระดับความสูงให้พ้นน้ำท่วม ส่งผลให้มีน้ำหนักดินที่จะดันลาดคันคลองลงไปในคลองมากขึ้น จึงจำเป็นต้องออกแบบโดยใช้เสาเข็มตอกเสียบไว้ด้านข้างถนนในลักษณะกำแพงกันดินและช่วยเพิ่มเสถียรภาพของลาดชันโดยรวม (Overall stability) อย่างไรก็ตามกำแพงกันดินนี้ได้รับการก่อสร้างแบบควบคุมความยาวให้เป็นไปตามการเจาะสำรวจและออกแบบ (Pile length control) โดยปลายเข็มจะต้องหยั่งปลายลงไปในชั้นแข็งเพียงพอตามที่ผู้ออกแบบกำหนด ดังนั้นถ้าผลการเจาะสำรวจถูกต้องทุกอย่างจะไม่มีปัญหา แต่หากผลการเจาะสำรวจไม่ครอบคลุมจุดที่มีความหนาของชั้นดินอ่อนที่หนาผิดปกติ เสาเข็มที่ตอกลงไปก็จะสั้นเกินไปและจะมีโอกาสที่จะพิบัติได้

2.2.1.5 ฤดูแล้งที่ยาวนาน

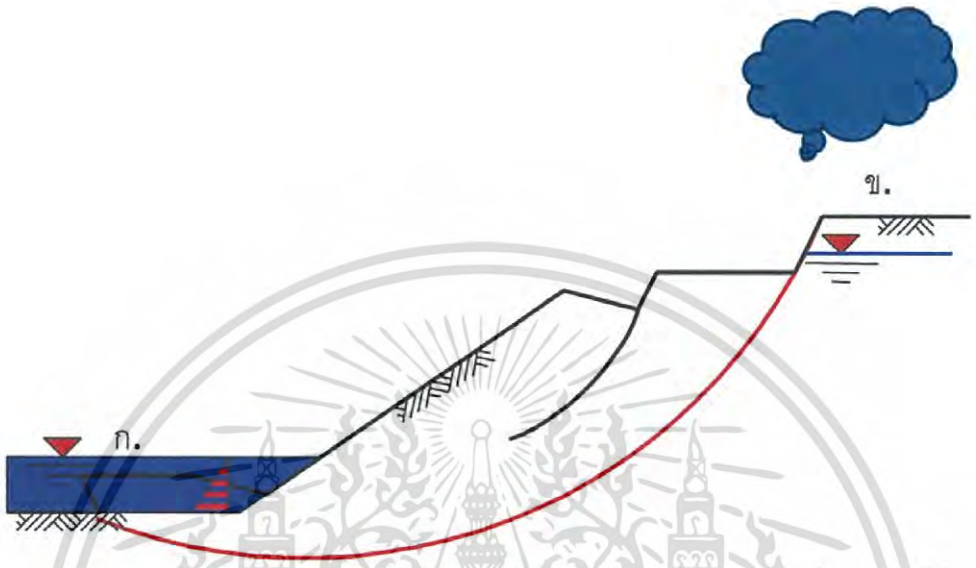
ส่งผลโดยตรงต่อการพิบัติของลาดตลิ่งและถนนริมคลองชลประทานเนื่องด้วย การขาดน้ำในคลองที่จะช่วยดันหรือพยุงลาดตลิ่งให้มีเสถียรภาพหรือเกี่ยวเนื่องจากเหตุอื่นซึ่งได้ประมวลสาเหตุต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ดังต่อไปนี้

ก. ระดับน้ำต่ำกว่าระดับน้ำต่ำสุดที่ใช้ในการออกแบบ ทั้งนี้คลองชลประทานเป็นโครงสร้างทางวิศวกรรมที่มีการออกแบบและมีข้อจำกัดของการใช้งาน หนึ่งในนั้นคือการออกแบบความปลอดภัยของลาดชันคลองในสภาวะที่ระดับน้ำอยู่ที่ระดับต่ำสุด ซึ่งในกรณีของการออกแบบนั้นมีอย่างน้อยสองรูปแบบ คือกรณีความปลอดภัยระยะสั้น พิจารณาในกรณีหลังการขุดเสร็จใหม่ๆยังไม่มีน้ำในคลอง ซึ่งเป็นช่วงเวลาสั้นๆหลังการก่อสร้าง กรณีที่สองคือกรณีความปลอดภัยระยะยาวคือกรณีที่ระดับน้ำอยู่ที่ระดับปกติ และระดับน้ำต่ำสุด โดยกรณีหลังจะประเมินว่าระดับน้ำในคลองอาจจะอยู่ที่ระดับต่ำสุดเป็นเวลานาน อย่างไรก็ตามในกรณีที่เกิดขึ้นจริงจะพบว่าไม่ตรงกับกรณีการวิเคราะห์ โดยระดับน้ำต่ำกว่าระดับน้ำต่ำสุดหรือแทบจะไม่มีน้ำ แต่เกิดขึ้นเป็นระยะเวลานาน กรณีดังกล่าวถือว่าวิกฤติกว่ากรณีที่ใช้ในการออกแบบ (รูปที่ 2.2-4)

ข. เกิดการคืบของดิน การที่ไม่มีน้ำมาช่วยพยุงตลิ่งไว้เป็นเวลานานดินฐานรากและดินลาดตลิ่งอาจเกิดการคืบตัว(creep)อย่างช้า ๆจนหลายส่วนในมวลดินเกิดการครากหรือวิบัติ ซึ่งสังเกตได้จากการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถนนเริ่มยุบตัวหรือมีรอยแตกเป็นวง จนสุดท้ายความแข็งแรงของดินก็ไม่สามารถจะเอาชนะน้ำหนักของถนน และลาดดินที่ไหลตัวลงตามแรงโน้มถ่วงในที่สุด



รูปที่ 2.2-4 การพิบัติของตลิ่งเมื่อระดับน้ำลดลงต่ำ ก. แรงดันน้ำในคลองไม่พอที่จะพยุงลาดตลิ่ง ข. ขณะที่น้ำในคลองยังต่ำอยู่ หากเกิดฝนตกจะยิ่งเพิ่มโอกาสเสี่ยงในการพิบัติมากขึ้น

ค. การพิบัติของลาดดินหน้ากาแพงกันดิน กำแพงกันดินแบบ Cantilever ที่ค้ำยันถนนไว้นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องอาศัยแรงดันดินหน้ากำแพงเพื่อค้ำยันตัวกำแพงไว้อีกทีหนึ่ง (Passive force) ดังนั้น เมื่อน้ำลดระดับลงเผยให้เห็นลาดตลิ่งคลองส่วนล่างใกล้ตีนคลองที่ส่วนมากจะชันเพราะการไหลกัดเซาะของน้ำ หรือการขุดลอก แต่ที่ผ่านมาระดับไม่ได้ต่ำถึงขนาดนี้ น้ำจึงพยุงลาดตลิ่งส่วนล่างนี้ไว้ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำ ลดลงต่ำลาดดินส่วนนี้ก็จะไถลลงไปในคลอง (รูปที่ 2.2-5) ส่งผลให้แรงค้ำยันด้านหน้ากำแพงลดลง และทำให้กำแพงและถนนด้านบนเกิดการเคลื่อนตัวตามมาและพิบัติในที่สุด ดังนั้นจุดสำคัญที่สุดประการหนึ่งในการออกแบบระบบกำแพงกันดินแบบ Cantilever wall นี้คือการทำให้ดินด้านหน้ากำแพงมีความเสถียรมากที่สุด ที่ดีที่สุดคือให้มีลาดตลิ่งที่ไม่ชันและมีความเสถียรของตัวเองมากพอ

ง. ดินลาดตลิ่งแห้งและหดตัว(shrink) เนื่องจากความแห้งแล้งที่ยาวนานส่งผลให้ดินลาดตลิ่งแตกระแหงและสูญเสียกำลังความแข็งแรงจนอาจจะพิบัติในที่สุด ซึ่งถ้าเป็นกำแพงกันดินแบบ Cantilever wall เมื่อดินส่วนนี้พิบัติก็จะนำพากำแพงและถนนพังตามลงมา อย่างไรก็ตมข้อสันนิฐานประการนี้ยังต้องการ การพิสูจน์ในทางวิชาการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2-5 การพิบัติของลาดตลิ่งด้านหน้ากำแพงเนื่องจากน้ำลดลงต่ำมาก ส่งผลให้กำแพงเคลื่อนตัวตามเพราะสูญเสียแรงต้านด้านหน้า

จ. การสูบน้ำของเกษตรกรในช่วงที่น้ำต่ำ โดยการขุดการตัดลาดชันของลาดตลิ่งส่งผลให้ รูปร่างของลาดตลิ่งชันขึ้น การพิบัติจึงอาจเกิดได้ง่ายขึ้น ข้อนี้เป็นข้อสันนิฐานจากสิ่งที่พบเห็นในสนาม (รูปที่ 2.2-6)

ฉ. แรงสั่นสะเทือนจากการจราจร เมื่อน้ำในคลองอยู่ในระดับต่ำสุดความมั่นคงของกำแพงกันดินลาดตลิ่งและถนนที่อยู่ด้านบนจะอยู่ในสภาวะที่ง่ายต่อการพิบัติ หากมีแรงกระทำที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนจากการจราจร โดยเฉพาะรถบรรทุกที่หนักและวิ่งด้วยความเร็วสูง จะเป็นการเร่งให้การพิบัติเกิดได้ง่าย หรือถ้าจุดใดที่มีการร้าวหรือแตกไปแล้วซึ่งหมายถึงว่าดินใต้คันทางและลาดตลิ่งได้เริ่มคลากแล้ว อย่างไรก็ ตามในทางวิศวกรรมตัวกระตุ้นการพิบัตินั้นไม่สำคัญเท่าระบบที่ไม่มั่นคงตั้งแต่แรก (รูปที่ 2.2-7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2-6 การขุดปรับลาดตลิ่งเพื่อสูบน้ำของเกษตรกร

รูปที่ 2.2-7 รถบรรทุกที่หนักและวิ่งเร็วเป็นปัจจัยกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนตัวและพิบัติได้ง่ายเมื่อระดับน้ำอยู่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความมั่นคงของลาดดิน (Slope stability)

การพิบัติหรือความไม่มั่นคงของลาดดิน (Sliding or Slope Failure) คือพฤติกรรมที่มวล ดินส่วนหนึ่งเกิดการเคลื่อนตัวพังทลายจากที่สูงลงมาสู่ที่ต่ำภายใต้แรงดึงดูดของโลก(วรากร,2542) อันจะมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคาร ที่พักอาศัย ถนน คันดิน ลาดเขื่อน ตลอดจนชีวิตและทรัพย์สินการพิบัติของลาดดินนั้นถือว่าเป็นภัยธรรมชาติที่สามารถตรวจพบได้ก่อนหรือสามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าภัยธรรมชาติอื่น(รัฐธรรม, 2547) ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมและทำความเข้าใจถึงสาเหตุของการพิบัติจะนำไปสู่การป้องกันการแก้ไขการเตือนภัยหรือบรรเทาปัญหาที่อาจเกิดขึ้นอันเนื่องจากการพิบัติของลาดดินได้

2.3.1 รูปแบบการพิบัติของลาดดิน

การศึกษารูปแบบหรือลักษณะการพิบัติของลาดดินเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์ที่สำคัญในการที่จะนำมาพิจารณาเลือกใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์เสถียรภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย การจำแนกรูปแบบการพิบัติของลาดดินได้มีการพิจารณาศึกษากันอย่างกว้างขวาง โดยมีองค์ประกอบที่ใช้ในการจำแนกหลายชนิด เช่น ประเภทของดินหรือหิน ความชันของลาด รูปร่างของผิวการเคลื่อนพัง อัตราการเคลื่อนตัว เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีที่ใช้ในการจำแนกรูปแบบการพิบัติของลาดดิน ต่างก็มีหลักการและเหตุผลที่แตกต่างกันไป(รัฐธรรม,2547)

Varnes (1978) อธิบายการจำแนกรูปแบบของการพิบัติในรายงานของ Transportation Research Board, Special Report 176 Landslides; Analysis and Control ดังแสดงในตารางที่ 2.3.1 ซึ่งเป็นที่นิยมค่อนข้างกว้างขวางเนื่องจากมีรูปในลักษณะสามมิติที่สามารถประกอบคำอธิบายให้เข้าใจได้ง่าย โดยพิจารณาจากรูปแบบการเคลื่อนตัว ชนิดของวัสดุและอัตราการเคลื่อนที่ เป็นปัจจัยหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.3.1 ทั้งยังแบ่งชนิดของวัสดุที่เกี่ยวข้องออกเป็น 3 ประเภทคือ ดิน ดินปนหิน และหิน Varnes ได้จำแนกประเภทของการพิบัติออกเป็น 6 ประเภทหลักๆ คือ

1. การร่วงหล่น (Falls) เป็นการพิบัติในลักษณะที่ชิ้นส่วนของมวลดินหรือหิน แตกออกจากชิ้นส่วนหลักแล้วร่วงหล่นอย่างอิสระหรือกลิ้งลงมาตามแนวลาดที่มีความชันสูง หรือร่วงหล่นลงมาจากจุดยอด เช่น หน้าผา เป็นต้น มีอัตราการเคลื่อนตัวเร็วมาก (1 m/s. ถึงมากกว่า 100 m/s.) โดยชิ้นส่วนที่ร่วงหล่นอาจจะเป็นก้อนเดี่ยว ๆ หรือเป็นกลุ่มของมวลวัสดุก็ได้

2. แบบกลิ้งไปข้างหน้า (Topples) หรือการล้มคะมำ เป็นการพิบัติที่เกิดการเคลื่อนตัวไปข้างหน้าของมวลวัสดุ เช่น หินหรือดิน ที่เกิดการเอียงตัว โดยที่มวลวัสดุนั้นยังไม่เกิดการพังทะลายก่อนเกิดการล้มคะมำ เมื่อมวลวัสดุล้มคะมำลงแล้วจะหมุนตัวลงสู่ลาดอย่างรวดเร็ว การล้มคะมำนี้จะเกิดขึ้นเนื่องจาก มวลวัสดุที่มีความแข็งแรงมากวางตัวอยู่เหนือมวลวัสดุที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า เมื่อมวลวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการผุกร่อนตามระยะเวลา มวลวัสดุชั้นล่างจะเกิดการผุกร่อนมากกว่ามวลวัสดุชั้นบนจึงทำให้เกิดการล้มคะมำขึ้น

3. แบบเลื่อนไถล (Slides) เป็นการพิบัติที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของมวลวัสดุ เช่น หินหรือมวลดิน ผ่านแนวระนาบที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุด (รับแรงเฉือนได้น้อยที่สุด) อัตราเคลื่อนตัวอยู่ในช่วง 0.06 m/ปี ถึง 0.3 m/นาที โดยชนิดของการเลื่อนไถลแบ่งเป็น 2 แบบดังนี้

3.1 แบบ Rotational Slides แนวของการพิบัติจะมีลักษณะเป็นส่วนโค้งของวงกลม (Circular Arc) ซึ่งแนวของส่วนโค้งนี้อาจจะตัดที่ผิวหน้าของลาด (Slope Failure) หรือตัดที่ผิวล่างของลาด (Toe Failure) หรือตัดลึกลงไปใต้ฐานความลาดของดิน (Base Failure) ก็ได้ โดยทั่วไปมักเกิดในสภาพชั้นดินเนื้อเดียว (Homogeneous soil) และในสภาพของงานคันดินหรือดินถมบนชั้นดินอ่อน

3.2 แบบ Translational Slides แนวของการพิบัติไม่เป็นส่วนโค้งของวงกลม (Noncircular Arc) แต่จะมีแนวของการพิบัติเกือบจะอยู่ในแนวระนาบ (Near – Planar) โดยทั่วไปทิศทางของการเคลื่อนที่จะถูกจำกัดไปตามระนาบของผิวดินอ่อนหรือผิวระนาบที่เป็น Fault หรือ Joint เป็นต้น

4. แบบเคลื่อนตัวขยายตัวไปด้านข้าง (Lateral spreads) มีลักษณะของการเคลื่อนตัวเป็นการขยายตัวด้านข้างของมวลวัสดุ การเคลื่อนที่แบบนี้มักพบในดินประเภท Sensitive Silt and Clay ที่มีการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นทันทีทันใดด้วยอัตราการเคลื่อนที่ระหว่าง $3x10^{-5}$ m/sec. แต่ถ้าพบในชั้นหิน อัตราการเคลื่อนที่จะน้อยกว่า $3x10^{-9}$ m/sec.

5. แบบไหล (Flows) มักพบในวัสดุที่ไม่มีการยุบอัดตัว เช่น ก้อนหิน กรวด ทราย และเม็ดดิน โดยจะไหลลงตามแนวลาดเอียงของเชิงเขาเป็นผิวขนานกับผิวหน้าของลาดที่มีความชื้นสูงโดยมีอัตราการเคลื่อนตัว 0.3 m/min. ถึงมากกว่า 3 m/min.

6. แบบผสม (Complex) มีลักษณะของการเคลื่อนตัวที่ประกอบด้วยหลายรูปแบบรวมกัน เช่น การเคลื่อนพังที่ประกอบด้วย Rock Slide, Rock fall และ Debris เป็นต้น

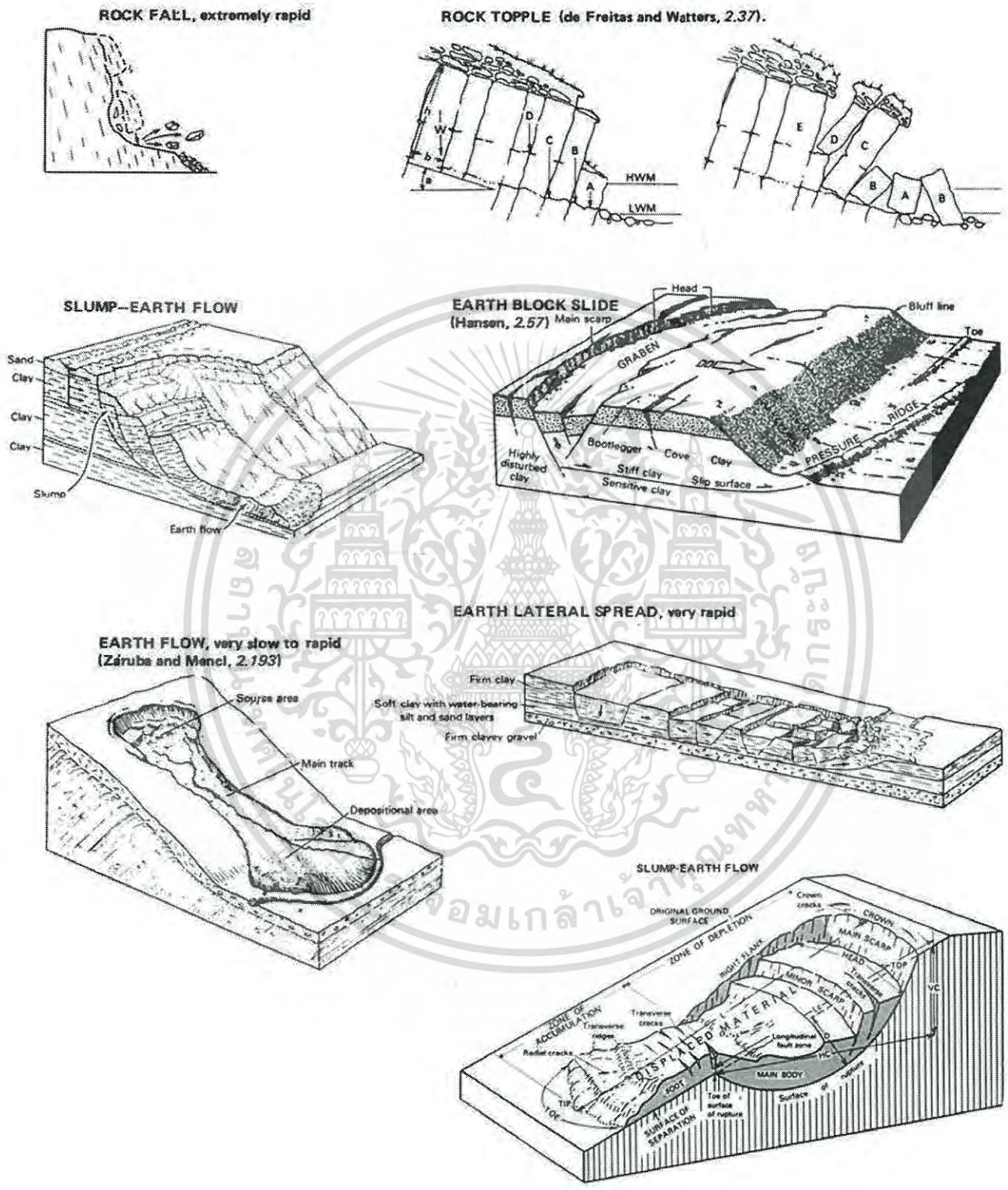
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การจำแนกประเภทการเคลื่อนพังของลาดโดยวิธีของ Varnes

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 topple
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 avalanche	b. rapid earth flow
				c. block stream	c. earth flow
				d. solifluction	d. loess flow
				e. soil creep	e. dry sand flow
VI	COMPLEX		combination of above movement		

ที่มา: Varnes (1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.1 ตัวอย่างการเคลื่อนพังของลาดโดยวิธีของ Varnes (1978)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 สาเหตุของการเคลื่อนพังของลาดดิน

สาเหตุของการเกิดการเคลื่อนพัง หรือความไม่มั่นคงในลาดดินโดยทั่วไปนั้น อาจเกิดจากสิ่งต่อไปนี้เพียงข้อเดียว หรือหลายข้อรวมกัน(รัฐธรรม,2547) คือ

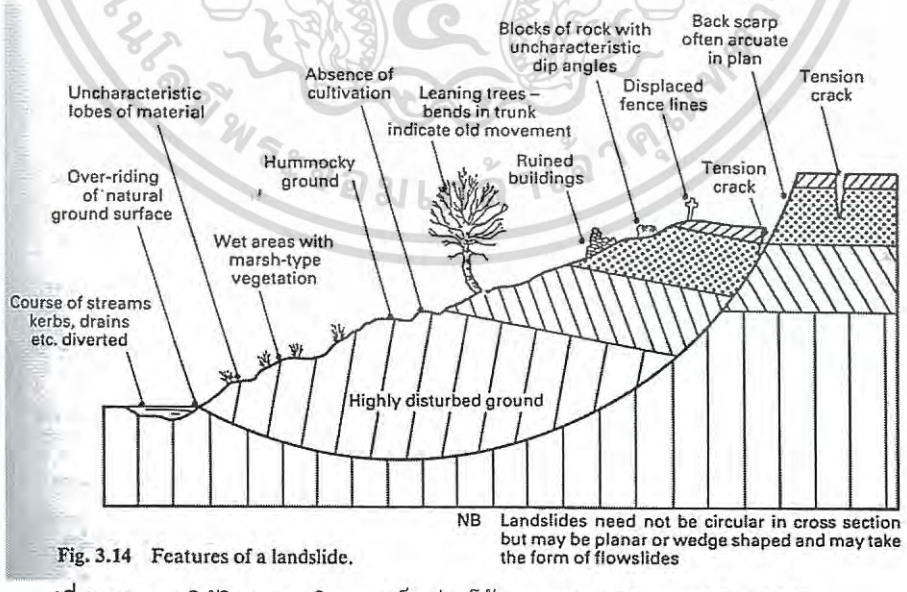
1. แรงดึงดูดของโลก หรือความต่างระดับของมวลดิน

2. แรงกระทำจากภายนอกมวลดิน เช่น น้ำหนักบรรทุก หรือแผ่นดินไหว เป็นต้น

3. การสูญเสียกำลังของดินเนื่องจากแรงดันน้ำ การบวมตัว การอิ่มตัว การไหลซึมของน้ำ

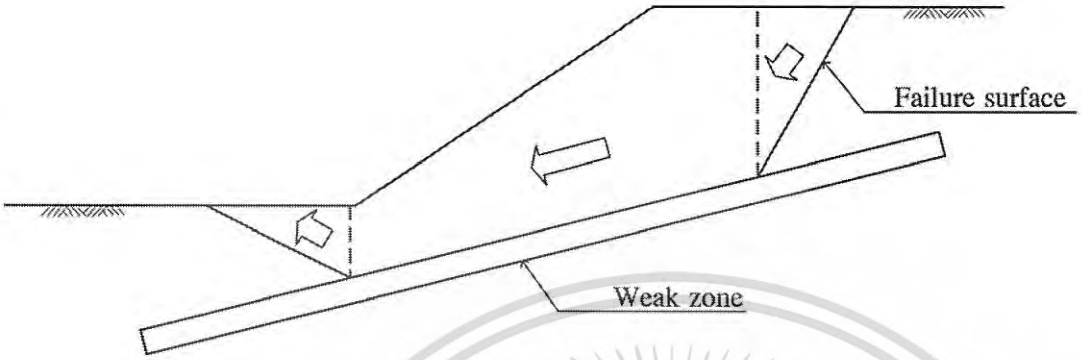
4. การกัดกร่อนผุพังตามธรรมชาติ หรือการกัดเซาะ

การพิบัติที่ผิวเคลื่อนพังมีลักษณะคล้ายส่วนโค้งของวงกลมมักจะเกิดกับ ดินที่มีทั้ง Cohesion (c) และ Internal Friction Angle (ϕ) และมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Soil) หรือมีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน แสดงไว้ในรูปที่ 2.3.2 แต่การพิบัติแบบ Non – Circular นั้นมักเกิดกับดินประเภทที่มีเฉพาะ Internal Friction Angle เช่น ทราย เป็นต้น หรือเกิดกับดินที่มีความแข็งแรงแตกต่างกันมาก เช่น กรณีที่มีชั้นดินอ่อนบังคับแนวการเคลื่อน กรณีลาดดินหรือหินธรรมชาติที่มีแนวชั้นดินอ่อนหรือรอยแตกของชั้นหินลาดลง หรือชั้นดินวางตัวอยู่บนชั้นดินหรือชั้นหินแข็ง และกรณีของงานเขื่อนที่มีแนวแกนดินเหนียวเอียงไปทางด้านเหนือน้ำ

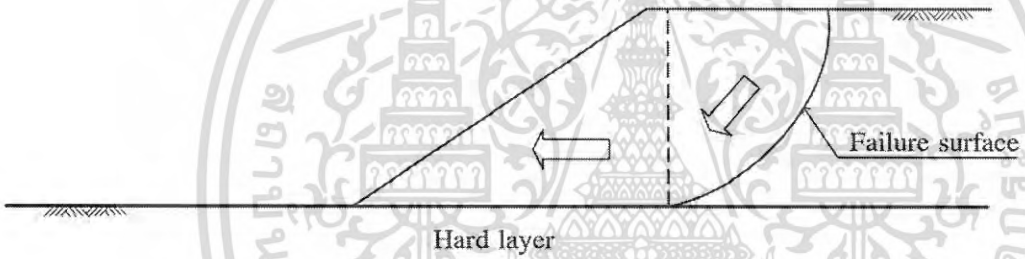


รูปที่ 2.3.2 การพิบัติของลาดดินแบบเป็นส่วนโค้งของวงกลม(Joyce,M.D. 1982)

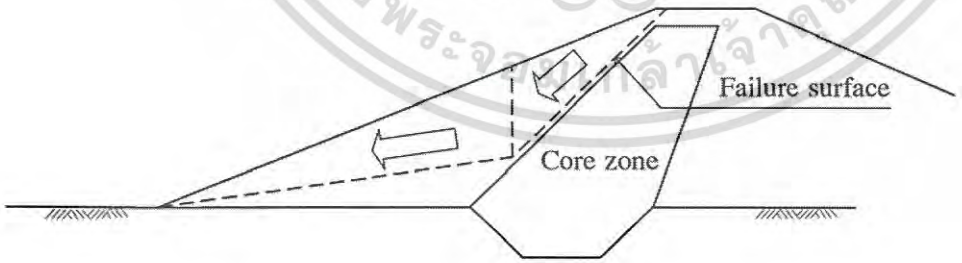
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กรณีมีชั้นดินเหนียวอ่อนบังคับแนวการเคลื่อนพัง



(ข) กรณีชั้นดินวางตัวอยู่บนชั้นดินหรือชั้นหินแข็ง



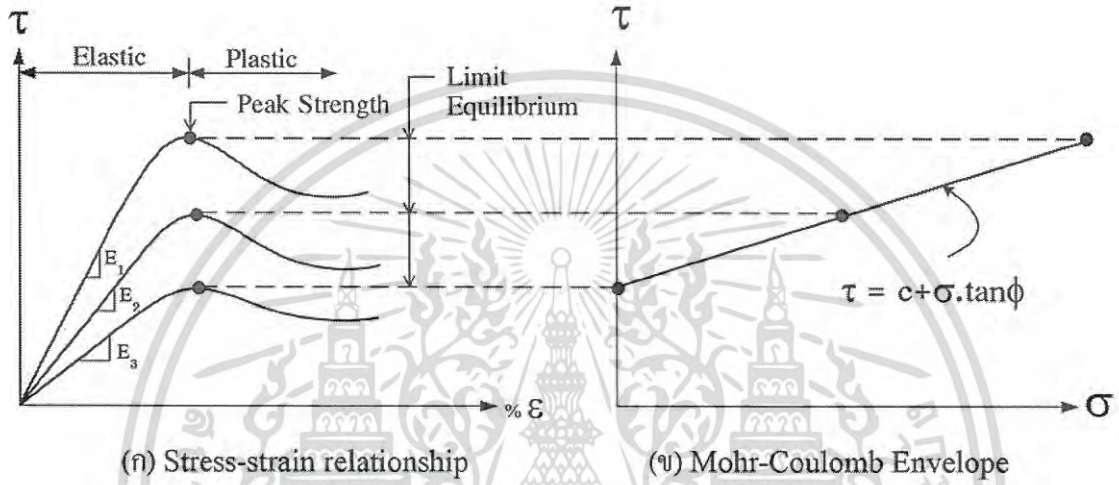
(ค) กรณีเขื่อนที่มีแนวแกนดินเหนียวเอียงไปทางด้านเหนือน้ำ

รูปที่ 2.3.3 การพิบัติของมวลดินแบบไม่เป็นส่วนโค้งของวงกลม (รัฐธรรม,2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 หลักการทั่วไปของการวิเคราะห์เสถียรภาพ

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน มีวิธีการวิเคราะห์แบบต่าง ๆเป็นจำนวนมาก แต่ถ้าพิจารณาถึงหลักการในการวิเคราะห์แล้ว สามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทวิธี(รัฐธรรม,2547) คือ Stress-Strain Analysis และ Limit Equilibrium Analysis



(ก) Stress-strain relationship (ข) Mohr-Coulomb Envelope

รูปที่ 2.3.4 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ (รัฐธรรม,2547)

1) การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน โดยวิธี Stress-Strain Analysis

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้เป็นวิธีวิเคราะห์ที่นำเอาความสัมพันธ์ stress-strain ของวัสดุ (stress-strain relationship) มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยจะพิจารณา stress-strain เปรียบเทียบกับ shear strength หรือ strain ที่วัสดุนั้นสามารถรับได้ ในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินจึงทำการทดสอบดินตัวอย่างในด้านกำลังรับแรงเฉือนในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเมื่อแรงกระทำยังมีค่าต่ำกว่าจุดพิบัติมาก ๆ ดินจะอยู่ในสภาวะอิลาสติก ความสัมพันธ์ระหว่าง τ - %ε (กำลังรับแรงเฉือนกับเปอร์เซ็นต์ strain) มีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.3.5(ก) จนเมื่อแรงกระทำมีค่ามากขึ้นจนเกินระดับหนึ่งแล้ว มวลดินจะอยู่ในสภาวะพลาสติกซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่าง τ - %ε ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะเริ่มมีค่าลดลงพร้อมกับการเพิ่มขึ้นอย่างมากของ strain

โดยทั่วไปจะใช้วิธีนี้ในการวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวหรือการเคลื่อนตัวของมวลดิน การเปลี่ยนแปลงของแรงในมวลดินเช่น การวิเคราะห์เพื่อต้องการทราบถึงปริมาณการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดิน แรงดันดินที่กระทำต่อกำแพงกันดินและระบบค้ำยัน ส่วนมากเป็นการวิเคราะห์โดยใช้ Finite element ซึ่งการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

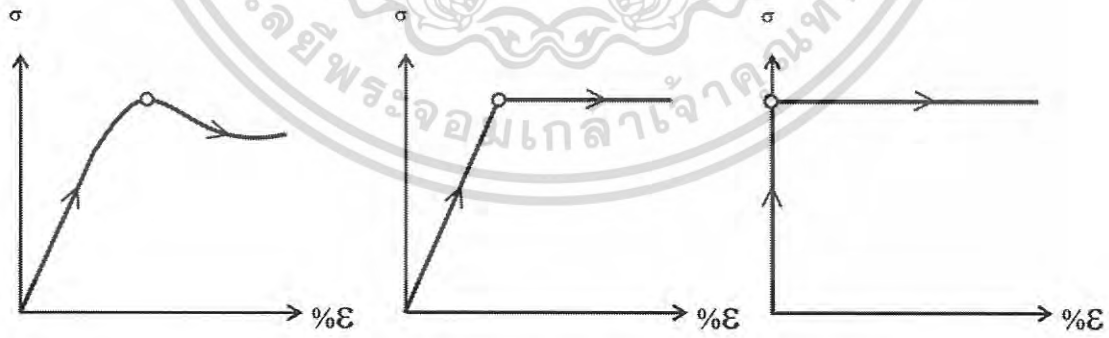
วิเคราะห์วิธีนี้แม้ว่าทางทฤษฎีแล้วจะให้ผลที่ใกล้เคียงความจริงมาก แต่มักไม่นิยมใช้ในการวิเคราะห์แบบปกติ เพราะการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ถูกต้องในการวิเคราะห์ทำได้ลำบาก และมักต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์

2) การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน โดยวิธี Limit Equilibrium

วรากร (2542) กล่าวไว้ว่าหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินนั้น โดยปกติใช้วิธีการพิจารณา สมดุลจำกัดของมวลดิน (Limit Equilibrium) โดยสมมติให้มวลดินที่สนใจเกิดการเคลื่อนพังและ ณ ช่วงเวลาที่เกิดการเคลื่อนพังพอดีนั้นมวลดินอยู่ในสภาวะสมดุล การวิเคราะห์เริ่มด้วยการสมมติ รูปแบบลักษณะของผิวการเคลื่อนพังว่าเป็นแบบใด เช่น เส้นตรง ส่วนของวงกลม โค้งก้นหอย รูปหลายเหลี่ยม ฯลฯ แล้วทำการคำนวณแรงต้านทานที่ทำให้เกิดความสมดุลของมวลดินที่ทำให้มวลดินที่สมมติเกิดการพิบัติพอดี โดยค่าความแข็งแรงของมวลดินที่ใช้ในการวิเคราะห์จะพิจารณาจากจุดที่มีความแข็งแรงสูงสุดที่มวลดินสามารถรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3.5(ข)

สมมติฐานหลักของวิธี Limit Equilibrium คือ

1. ดินเป็นวัสดุแบบ Rigid-Perfectly Plastic ดังรูปที่ 2.3.5(ค)
2. เงื่อนไขการวิบัติเป็นไปตาม Mohr-Coulomb ($\tau = c + \sigma.\tan\phi$)
3. ค่าอัตราส่วนปลอดภัยของความเชื่อมแน่นเท่ากับของแรงเสียดทาน ($F.S_c = F.S_\phi$)



(ก) Typical Stress-Strain (ข) Elasto-Plastic (ค) Rigid-Perfectly Plastic

รูปที่ 2.3.5 ความสัมพันธ์ของความเค้น (σ) และความเครียด (ε) แบบต่าง ๆของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างกำลังต้านทานสูงสุดของดินต่อหน่วยแรงกระทำที่ทำให้มวลดินพิบัติ ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.) ซึ่งต้องทำการทดลองสุ่มหาค่าของอัตราส่วนความปลอดภัยหลายๆสภาวะ โดยการเปลี่ยนลักษณะหรือตำแหน่งของผิวการเคลื่อนพังที่น่าจะ หรือมีโอกาสเกิดขึ้นไปเรื่อย ๆ จนพบค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่น้อยที่สุด ที่จะเป็นลาดดินวิเคราะห์ที่เสี่ยงต่อการพังมากที่สุด หรืออาจทราบลักษณะการพังได้แน่นอนจากการสำรวจการพิบัติที่เกิดขึ้นจริงแล้วในสนามแล้วทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนความปลอดภัยที่เหลืออยู่ของลาดพิบัตินั้น เพื่อการแก้ไข ซ่อมแซมต่อไป

2.3.4 อัตราส่วนปลอดภัย

หรือตัวประกอบความปลอดภัย คือ อัตราส่วนของกำลังรับน้ำหนักของดินบนผิวเคลื่อนต่อหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจริงในพื้นผิวเดียวกัน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ง่ายๆ ดังนี้

$$F.S. = \frac{\text{Shear Strength}}{\text{Shear Stress}} = \frac{\tau_f}{\tau}$$

หรือ F.S. = แรงต้าน / แรงกระทำ

$$F.S. = \tau(c + \sigma_v \tan\phi) \text{ / แรงกระทำ (น้ำหนักของมวลดินที่จะเคลื่อนพัง)}$$

เมื่อ

τf = กำลังรับแรงเฉือนสูงสุดของมวลดินหรือหินบนผิวเคลื่อน
ซึ่งตามทฤษฎีของ Mohr - Coulomb แล้วจะมีค่าเท่ากับ $c + \tan \sigma\phi$

τ = หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริงซึ่งเพียงพอทำให้มวลนั้นสมดุลสำหรับการพิบัติในลักษณะจำเพาะต่าง ๆ เช่น ผิวเคลื่อนเป็นส่วนโค้งของวงกลม อัตราส่วนปลอดภัยอาจหมายถึง อัตราส่วนของโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลาง ก็ได้เช่น

$$F.S. = \frac{\text{โมเมนต์ที่เกิดจากกำลังรับแรงเฉือนของดินต้านการพิบัติ}}{\text{โมเมนต์ที่เกิดจากน้ำหนักมวลดินที่จะทำให้พิบัติ}} = \frac{M_R}{M_D}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้ว ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน โดยวิธี Limit Equilibrium ทำได้ดังนี้

1. สมมุติหรือสันนิษฐานลักษณะของพิบัติหรือผิวการเคลื่อนพัง
2. คำนวณแรงต้านทานต่อการพิบัติที่สมมติไว้
3. คำนวณแรงกระทำที่ทำให้มวลดินเกิดการพิบัติ
4. เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างกำลังของดินต่อหน่วยแรงต้านทานขณะสมดุล ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety, F.S.)

โดยการเปลี่ยนลักษณะหรือผิวการเคลื่อนพังที่น่าจะหรือมีโอกาสเกิดขึ้นไปเรื่อย ๆ จนพบค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่น้อยที่สุด ซึ่งผิวการเคลื่อนพังที่สมมตินั้นน่าจะเป็นลักษณะการพิบัติที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน ด้วยการวิเคราะห์แรงต้านและแรงกระทำของลาดดินที่สมมติรูปแบบของการพิบัติไว้แล้ว

2.3.5 ความแข็งแรงของดินและหินที่จะใช้ในการวิเคราะห์ความมั่นคง

เนื่องจากดินหรือหินมักจะมีความชื้นหรือน้ำอยู่ภายในมวลดิน ดังนั้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงขึ้นในมวลดิน ก็จะทำให้มีการเพิ่มหรือลดของแรงดันน้ำในมวลดิน ซึ่งมีผลต่อกำลังประสิทธิผลของมวลดิน ตามสมการของ Mohr - Coulomb ดังนี้

$$\tau = c + \sigma.\tan\phi$$

$$\bar{\tau} = \bar{c} + (\sigma - u).\tan\bar{\phi}$$

เมื่อ τ = ความแข็งแรงหรือกำลังรับแรงเฉือนของดินประสิทธิผล

c = ความเหนียว หรือแรงยึดเกาะของมวลดินประสิทธิผล

σ = หน่วยแรงรวมที่กระทำตั้งฉากกับผิวเคลื่อน

u = ความดันน้ำ ณ จุดที่กำลังพิจารณา

ϕ = มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล

ดังนั้นวัสดุทางธรณีวิศวกรรม(ดินและหิน) จึงต้องมีหลักการระบุความแข็งแรงและลักษณะการวิเคราะห์ได้ 2 ลักษณะ (วรากร, 2542) คือ

1. วิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงรวม (Total stress analysis)
2. วิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress analysis)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) หลักการของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress , σ')

ถ้าการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงในมวลดินเกิดขึ้น ทำให้มีแรงดันน้ำ (Pore pressure , u) เกิดขึ้นในมวลดินด้วย และถ้าสามารถวัดค่าหรือคาดคะเนความดันน้ำได้แน่นอน เรามักจะแยกหน่วยแรงที่เกิดจากความดันน้ำออกไปเสียก่อน คงเหลือแต่หน่วยแรงที่ส่งผ่านระหว่างเม็ดดินเท่านั้น

ทั้งนี้เพราะแรงดันน้ำไม่ก่อให้เกิดกำลังแต่อย่างใด หากแต่ลดกำลังเสียดทานระหว่างเม็ดดินโดยเกิดแรงลอยตัวยกเม็ดดินขึ้นด้วยซ้ำ และมุมเสียดทานของน้ำเป็นศูนย์ จึงมีเฉพาะหน่วยแรงประสิทธิผลเท่านั้นที่ทำให้เกิดกำลังหรือหน่วยแรงต้านทานได้

2) หลักการของหน่วยแรงรวม (Total stress , σ)

ในทางปฏิบัติแล้วการที่วิศวกรจะแยกแรงดันประสิทธิผลของมวลดิน และค่าความดันน้ำ (u) ให้ถูกต้องทำได้ยากมาก ดังนั้นในบางกรณีที่ไม่สามารถทราบค่าความดันน้ำได้ชัดเจนเช่น การบรรทุกน้ำหนักโดยเร็ว มวลดินไม่อิ่มตัว ความดันน้ำเกิดจากการบดอัด เป็นต้น เรามักผนวกความดันน้ำที่เกิดขึ้นเข้าไปในกำลังของดินเลย

ซึ่งจะต้องทำการทดสอบโดยให้มวลดินมีสภาพความชื้น อัตราการบรรทุกน้ำหนัก และสภาพอื่น ๆ ให้เหมือนกับที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการก่อสร้างจริง การทดสอบดังกล่าวคาดว่าความดันน้ำที่เกิดขึ้นในตัวอย่างดินที่กำลังทดสอบใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในสนาม ซึ่งจะไปลดหน่วยแรงประสิทธิผลโดยอัตโนมัติ โดยไม่จำเป็นต้องทราบค่าความดันน้ำที่เกิดขึ้นในมวลดินแต่อย่างใด

2.3.6 ช่วงสำคัญสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพ

เสถียรภาพของลาดดินขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น กำลังของวัสดุ (Strength), แรงดันน้ำ (Pore Pressure), ช่วงเวลา (Critical Period) และตำแหน่งการพิบัติ (Location) เป็นต้น ซึ่งทำให้ช่วงวิกฤตต่อการพังทะลายแตกต่างกันตามประเภทของงาน การเลือกใช้ปัจจัยที่มีความสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง และเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสม จะทำให้ผลการคำนวณที่ได้ก็จะมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ (รัฐธรรม,2547)

2.3.6.1 งานเขื่อนหรือคันดินขนาดใหญ่

งานเขื่อนหรือคันดินขนาดใหญ่ หมายถึงงานดินถมขนาดใหญ่ที่วางอยู่บนชั้นดินหรือชั้นหินที่มีความมั่นคง ระยะเวลาการก่อสร้างใช้เวลานานเมื่อเทียบกับอัตราการคายน้ำของดินฐานราก ลักษณะของการพิบัติส่วนใหญ่จะเกิดกับตัวเขื่อนหรือคันดินเป็นหลัก ซึ่งสามารถเกิดได้ทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำขึ้นกับช่วงเวลาที่พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ช่วงการก่อสร้าง (During Construction)

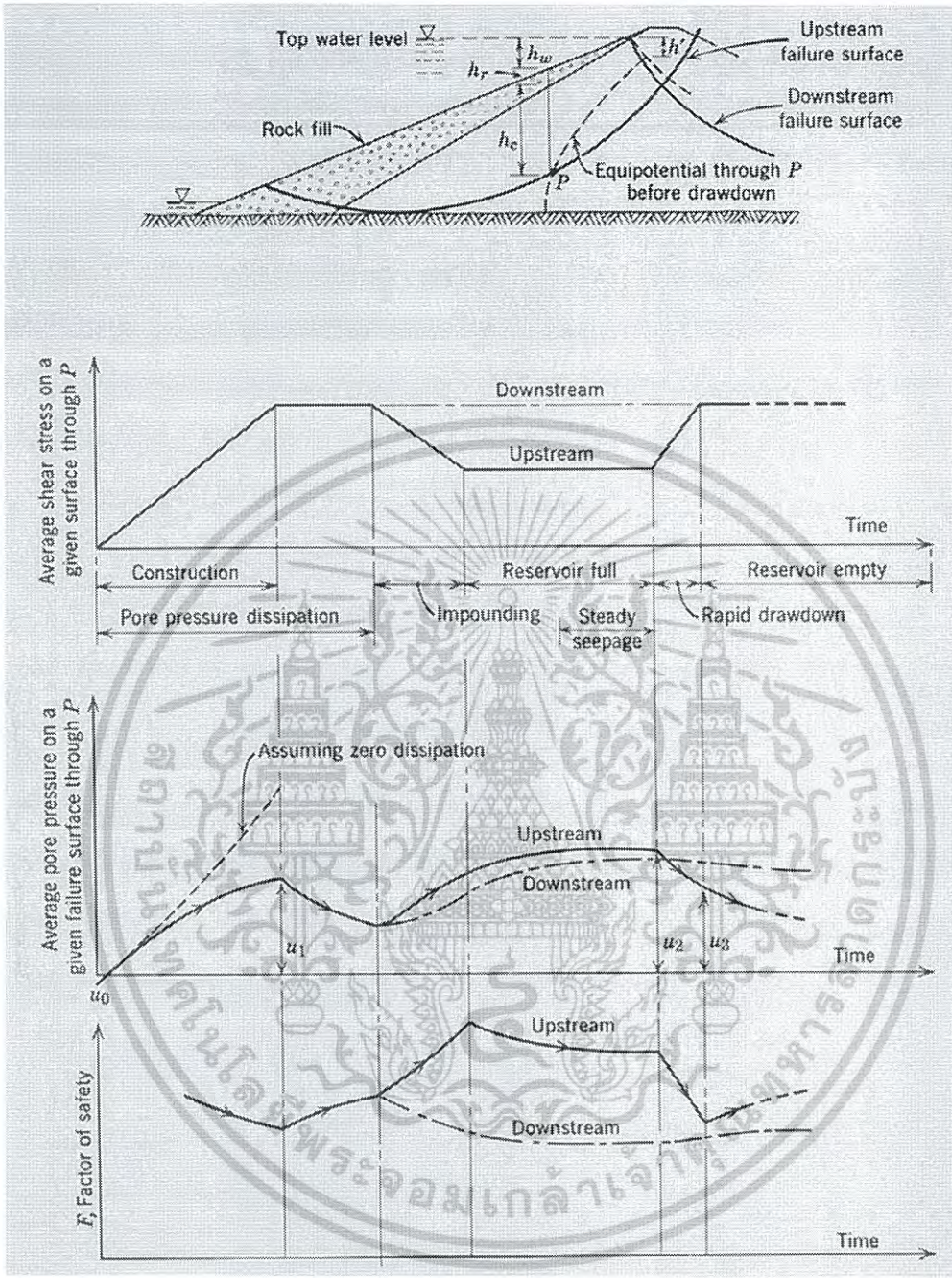
ที่สภาวะนี้ ค่าความดันน้ำเนื่องจากการบดอัดตัวเขื่อนจะมีค่าสูงสุดในช่วงท้ายของการก่อสร้าง และเมื่อหยุดการก่อสร้างแล้วจะค่อยๆ ลดลง ดังรูปที่ 2.3.6 ดังนั้นการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ จึงควรเลือกค่าที่ได้มาจากผลการทดสอบแบบ UU ของตัวอย่างทดลองที่บดอัดจนมีความหนาแน่น (density) และปริมาณน้ำ (water content) ใกล้เคียงหรือเท่ากับในสนาม

ในการวิเคราะห์ ควรจะพิจารณาถึงความมั่นคงของลาดเขื่อนทั้งด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ เพราะมีโอกาสที่จะเกิดการพังทลายใกล้เคียงกัน วิธีการวิเคราะห์สามารถใช้ได้ทั้ง Total stress analysis และ Effective stress analysis แต่มักนิยมใช้วิธี Total stress analysis เนื่องจากเป็นการยากที่จะหาค่าความดันน้ำที่เกิดขึ้นจริงในสภาวะนี้ โดยทั่วไปแล้วเพื่อให้หาผลจากความดันน้ำได้ง่ายขึ้น มักใช้ Pore Pressure Ratio ($r_u = \Delta u/\Delta\sigma v$) เข้ามาร่วมในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Effective stress analysis

2) ช่วงกักเก็บน้ำเต็ม (Full reservoir)

หลังจากที่มีการกักเก็บน้ำเต็มในระยะหนึ่งแล้ว สภาพการไหลซึมภายในตัวเขื่อนจะเป็นแบบ steady state ค่าความดันน้ำในตัวเขื่อนจะมีค่ามากที่สุดด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.3.6 ซึ่งทำให้ค่าความปลอดภัยทางด้านท้ายน้ำมีค่าลดต่ำลงจนอาจอยู่ในสภาวะวิกฤตได้ ส่วนทางด้านเหนือน้ำนั้นจะมีแรงดันของน้ำที่เก็บกักเข้ามาช่วยต้านทานการเคลื่อนพังไว้ จึงไม่มีผลต่อค่าความปลอดภัยมากนัก ที่สภาวะนี้เมื่อมีความเค้นเพิ่มขึ้น มวลดินจะมีเวลาเพียงพอที่จะสามารถระบายความดันน้ำส่วนเกินออกไปได้ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์จึงควรใช้ค่าที่ได้จากผลการทดสอบแบบ CD หรือ การทดสอบ CU ที่มีการวัดค่าความดันน้ำ นิยมใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Effective stress analysis โดยเขียน Flownet ประกอบในการหาค่าความดันน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



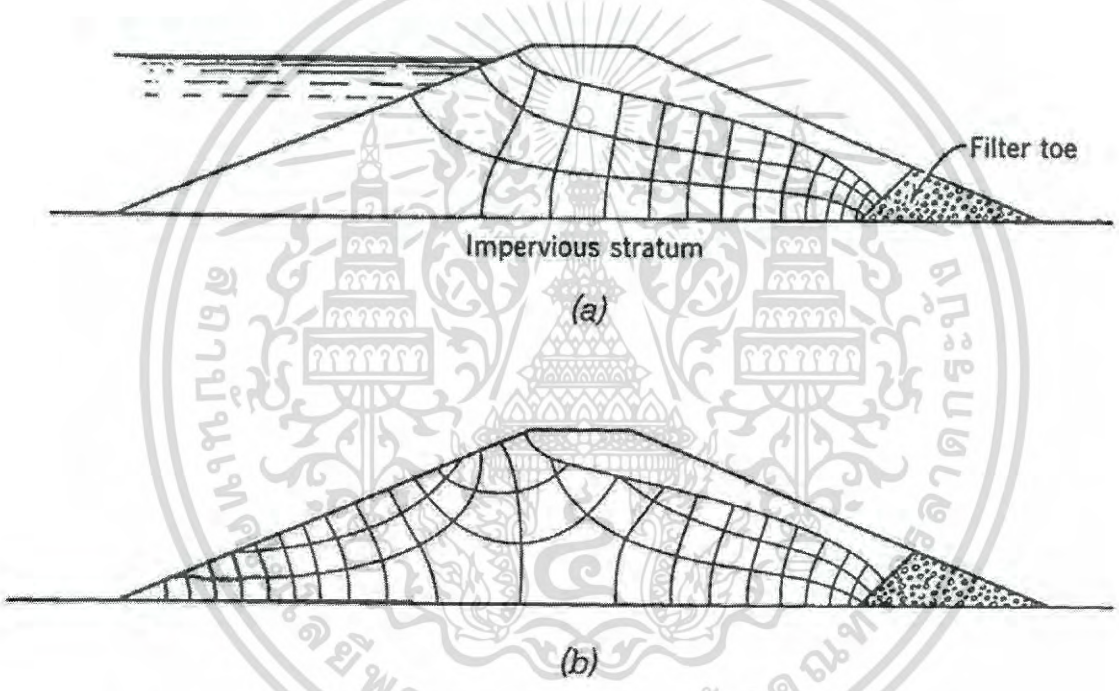
รูปที่ 2.3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำในตัวเขื่อน และอัตราส่วนปลอดภัยที่ช่วงเวลาต่าง ๆ

ที่มา: Lambe และ Whitman (1969)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

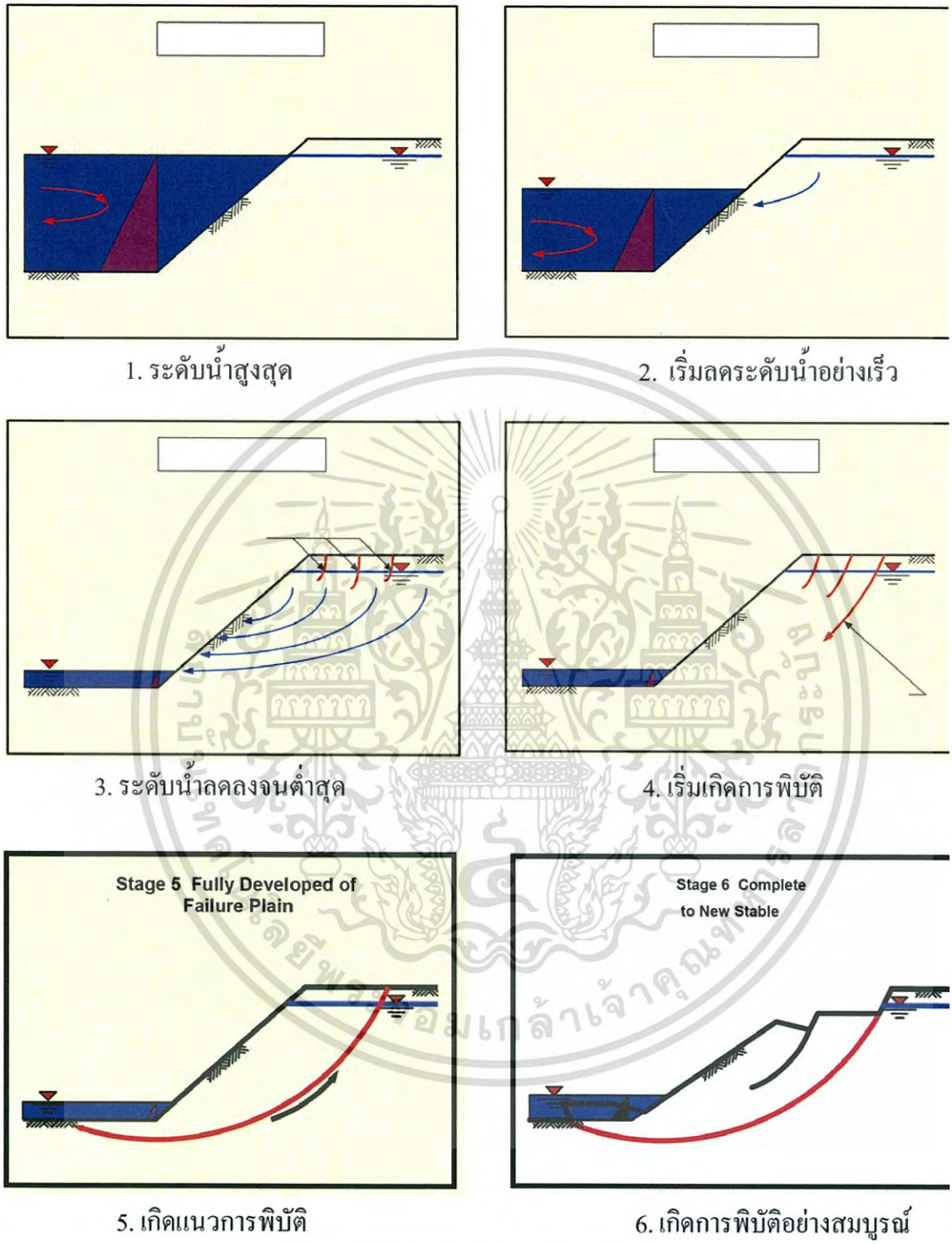
3) ช่วงที่ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)

ภายหลังจากเขื่อนดินกักเก็บน้ำเต็มที่มาช่วงระยะเวลาหนึ่ง มวลดินอิ่มตัวด้วยน้ำและต่อมามีการลดระดับลงอย่างรวดเดียว ทำให้ปริมาณน้ำในมวลดิน(ในส่วนของดินเหนียวทึบน้ำไม่สามารถระบายออกได้ทัน และน้ำภายในตัวเขื่อนจะไหลในทิศทางด้านเหนือน้ำ แทนที่จะไหลไปยังด้านท้ายน้ำตามปกติ เป็นผลให้ค่าความดันน้ำทางด้านเหนือน้ำลดต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 2.3.6 แต่เนื่องจากปริมาณน้ำในมวลดินไม่สามารถระบายออกได้ในทันที ทำให้มีน้ำหนักของมวลดินมาก และแรงดันของน้ำที่เก็บกัก ที่คอยต้านทานการเคลื่อนพัง มีค่าลดต่ำลงไปด้วยตามระดับน้ำ ค่าความปลอดภัยทางด้านเหนือน้ำจึงมีค่าลดต่ำลงจนอาจอยู่ในสภาวะวิกฤตได้ ดังรูปที่ 2.3.7



รูปที่ 2.3.7 Flownet ของตัวเขื่อนในระหว่างที่น้ำลดอย่างรวดเร็ว (ที่มา: Sherard, 1963)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.8 ขบวนการเกิดRapid Drawdown (GERD)

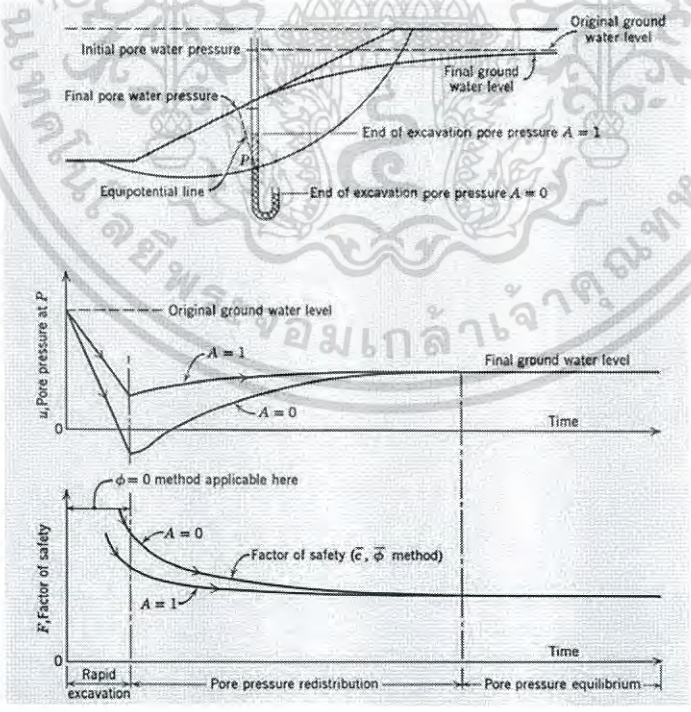
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.2 งานขุดในดินอ่อน

ลักษณะงานที่เกี่ยวข้องกับการขุด ไม่ว่าจะเป็นแบบชั่วคราวหรือถาวร จะเป็นการลด น้ำหนักกดทับ และลดแรงดันดินด้านข้าง กรณีที่การขุดดินเป็นไปอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับอัตรา การคายน้ำ ดินจะเกิดการขยายตัว ทำให้ช่องว่างในมวลดินเพิ่มขึ้น แรงดันน้ำในมวลดินในช่วงแรกจึงมีค่าเป็นลบและค่อยๆ เพิ่มขึ้นในเวลาตา ทำให้ต้องมีการคำนึงถึงความปลอดภัยสำหรับช่วงต่าง ๆ ของการสร้างด้วย

1) หลังจากการขุดทันที (Rapid Excavation)

หากถือว่าการขุดทำได้รวดเร็วทันที ภายหลังการขุดนั้น ความดันน้ำในมวลดินจะเกิดเป็นค่าลบ หรือเป็นแรงดึง ซึ่งจะมีผลทำให้มวลดินมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นและจะค่อยๆลดลงตามระยะเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.3.9 สำหรับการวิเคราะห์นิยมใช้วิธี Total stress analysis หรือ Undrained strength Analysis (USA) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของดินสามารถหาได้จากผลการทดสอบ UU (Unconsolidated undrained test) หรือ UCS (Unconfined compression strength test) หรือ FV (Field vane shear test) ซึ่งถ้าใช้ผลของการทดสอบแบบ FV ควรปรับแก้ไขค่าก่อนนำไปใช้งาน โดยใช้ค่าปรับแก้ของ Bjerrum (1972)



รูปที่ 2.3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำและอัตราส่วนปลอดภัยที่ช่วงเวลาต่างๆ ที่มา: Lambe และ Whitman (1969)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) หลังจากการขุดเป็นระยะเวลานาน (Long time Excavation)

ภายหลังจากการขุดทันที ความดันน้ำที่มีค่าเป็นลบจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าเป็นบวกและเข้า สู่สภาวะสมดุลกับระดับน้ำใต้ดินปกติ กระบวนการนี้อาจใช้เวลานานพอสมควร ดังแสดงในรูปที่ 2.9.9 ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยใช้วิธี Effective stress analysis ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของดินสามารถหาได้จากผลการทดสอบ CD หรือการทดสอบ CU ที่มีการวัดค่าความดันน้ำ

2.3.6.3 งานถมบนดินอ่อน

ส่วนใหญ่จะเป็นการถมโดยใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงมากกว่าเช่น งานถนน หรืองานถม เพื่อปรับระดับ เป็นต้น ดังนั้นลักษณะการพิบัติที่เกิดขึ้นจึงตัดลึกลงไปในชั้นดินฐานราก และโอกาสพิบัติจะเกิดในช่วงแรกของการถมมากกว่าช่วงหลังการถมเป็นเวลานาน เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปความดันน้ำสะสมในมวลดินค่อยๆลดลง ทำให้กำลังของดินเพิ่มขึ้น

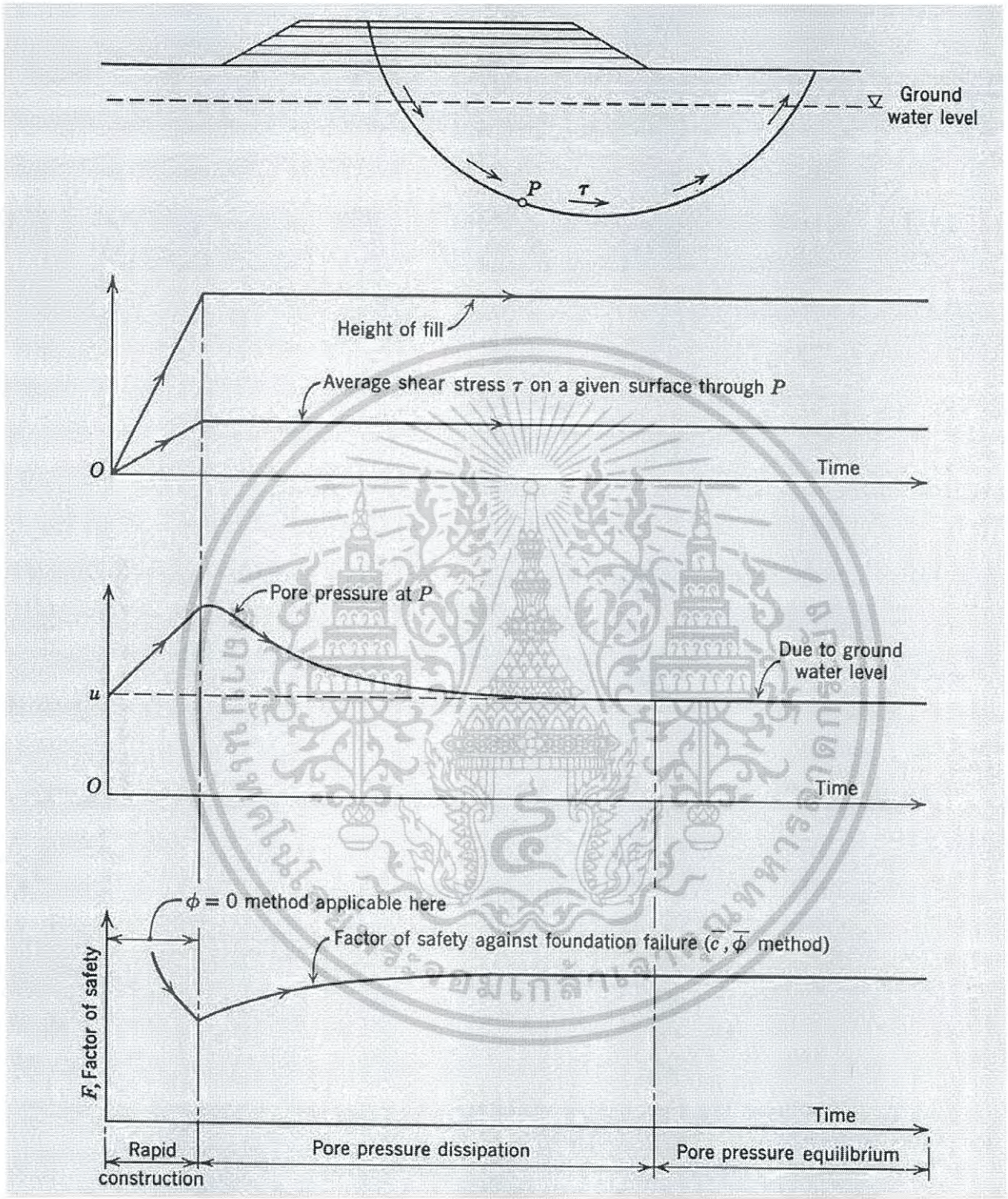
1) หลังจากถมบันที (Rapid Construction)

ในสภาวะทันทีภายหลังการถมความดันน้ำในมวลดินจะมีค่าสูงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความสูงของ Embankment ที่เพิ่มขึ้น อันเป็นผลจากน้ำหนักของมวลดินที่เพิ่มขึ้นบวกกับความดันน้ำจากการบดอัดเกิดเป็นความดันน้ำสะสม ที่ไม่สามารถระบายออกไปได้ทันในระหว่างการก่อสร้าง ค่าความดันน้ำจะมีค่าสูงสุดในขณะที่การก่อสร้างเพิ่มแล้วเสร็จและจะค่อยๆลดลง เนื่องจากการที่น้ำไหลซึมไปตามช่องว่างของเม็ดดินในเวลาต่อๆมา ดังรูปที่ 2.3.10 ในช่วงนี้การวิเคราะห์ควรใช้ Total stress analysis หรือ Undrained Strength Analysis (USA) ส่วนค่าพารามิเตอร์ ควรใช้ค่าที่ได้มาจากผลการทดสอบแบบ UU (Unconsolidated undrained test) หรือ UCS (Unconfined compression strength test) หรือ FV (Field vane shear test) ซึ่งถ้าใช้ผลของการทดสอบแบบ FV ควรปรับแก้ไขค่าก่อนนำไปใช้งาน โดยใช้ค่าปรับแก้ของ Bjerrum (1972)

2) หลังจากการถมเป็นระยะเวลานาน (Long time Construction)

ภายหลังจากเสร็จสิ้นขบวนการถม ความดันน้ำสะสมในมวลดินจะค่อยๆลดลง เนื่องจากน้ำไหลซึมออกไปตามช่องว่างของเม็ดดินในเวลาต่อ ๆมา กระบวนการนี้อาจใช้เวลานานพอสมควร ดังแสดงในรูปที่ 2.3.10 สามารถทำการวิเคราะห์ได้โดยใช้วิธี Effective stress analysis ซึ่ง ค่าพารามิเตอร์ของดินสามารถหาได้จากผลการ CDหรือการทดสอบ CU ที่มีการวัดค่าความดันน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำและอัตราส่วนปลอดภัยที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ที่มา: Lambe และ Whitman (1969)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.4 งานลาดริมตลิ่ง

การพิบัติของลาดริมตลิ่งเกิดจากผลของการขึ้นลงของระดับน้ำ เช่น เมื่อน้ำขึ้นและน้ำลงมีระดับแตกต่างกันมาก หรือเมื่อเกิดน้ำหลากแล้วน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นต้น ทำให้มวลดินมีน้ำหนักมากขึ้น และแรงดันน้ำที่ช่วยพยุงลาดตลิ่งลดลง ทำให้เกิดการเคลื่อนพังตามมา นอกจากนั้นลำน้ำที่มีลักษณะคดเคี้ยวจะส่งผลให้เกิดการกัดเซาะบริเวณคุงน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยแวดล้อมที่เร่งให้การพิบัติเร็วขึ้น

1) ระดับน้ำในแม่น้ำลดลงอย่างรวดเร็ว

เมื่อระดับน้ำสูงขึ้น น้ำซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างมวลดินทำให้มวลดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ต่อมาน้ำลดระดับลงอย่างรวดเร็ว ปริมาณน้ำในมวลดินไม่สามารถระบายออกได้ทัน มวลดินจึงมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ประกอบกับแรงต้านการเคลื่อนพังที่เกิดจากระดับน้ำก็มีค่าลดลงเช่นกัน ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจึงมีค่าลดต่ำลงจนอาจเป็นสาเหตุของการพิบัติได้ ส่วนวิธีการวิเคราะห์ใช้ได้ทั้ง Total stress analysis และ Effective stress analysis

กรณีตัวอย่างของการพิบัติแบบนี้คือ การพิบัติของริมตลิ่งแม่น้ำบางปะกง ซึ่งมีการสร้างเขื่อนทดน้ำเพื่อป้องกันการรุกของน้ำเค็ม แต่หลังจากการปิดบานระบาย ได้เกิดการพิบัติของลาดตลิ่งบริเวณท้ายน้ำเป็นระยะทางประมาณ 20 กิโลเมตรแรก เนื่องจากในช่วงน้ำลงไม่มีน้ำจืดจากแม่น้ำบางปะกง (เหนือเขื่อน) มาช่วยรักษาระดับน้ำบริเวณท้ายน้ำ ทำให้ระดับน้ำระหว่างน้ำขึ้นและน้ำลงมีความแตกต่างกันมาก เป็นเหตุให้เกิดการพิบัติขึ้น (บุญชัย, 2545)

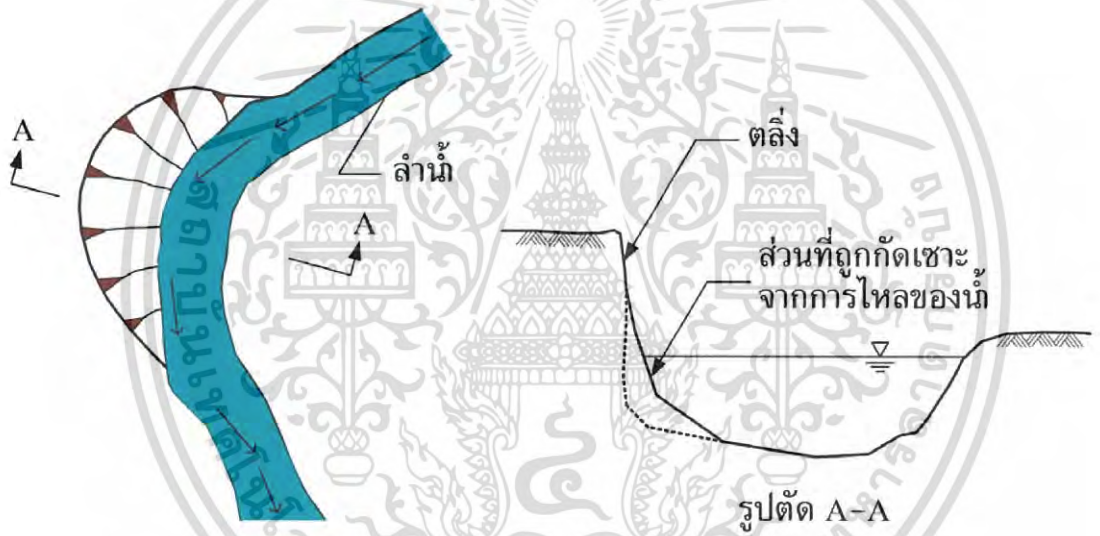
รูปที่ 2.3.11 การพิบัติของตลิ่งแม่น้ำบางปะกง (GERD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เมื่อมีการกัดเซาะบริเวณคุ้งน้ำ (Scouring)

การไหลของน้ำในลำน้ำที่มีความคดโค้ง กระแสน้ำจะปะทะกับริมตลิ่งบริเวณที่เป็นทางโค้ง (คุ้งน้ำ) แรงปะทะทำให้มวลดินริมตลิ่งถูกกัดเซาะ และพัดพาไปกับกระแสน้ำ ผลจากการกัดเซาะทำให้ตลิ่งมีความชันมากขึ้น ดังรูปที่ 2.3.12 และทำให้เกิดการพิบัติในที่สุด

ในสภาพธรรมชาติ การพิบัติของลาดริมตลิ่งจะเกิดจากสาเหตุควบคู่กันระหว่างการกัดเซาะบริเวณคุ้งน้ำ และการลดระดับอย่างรวดเร็วของน้ำในแม่น้ำ โดยการลดระดับของน้ำในแม่น้ำอย่างรวดเร็วจะเป็นการเร่งการพิบัติให้เกิดเร็วขึ้นในบริเวณที่ตลิ่งถูกกัดเซาะ ดังนั้นตำแหน่งที่เป็นตัวแทนสำหรับการวิเคราะห์ลาดริมตลิ่ง คือ บริเวณคุ้งน้ำ หรือส่วนโค้งต่าง ๆ ของลำน้ำโดยต้องคำนึงถึงการกัดเซาะที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตด้วย



รูปที่ 2.3.12 การพิบัติเมื่อตลิ่งถูกกัดเซาะโดยกระแสน้ำ (ที่มา: Abramson, L.W., et al., 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.5 งานลาดดินธรรมชาติ

ปัจจัยที่มีผลต่อการพิบัติของลาดดินธรรมชาติ ประกอบด้วยปัจจัยทางธรรมชาติ เช่น ปริมาณน้ำฝน ความลาดชันของพื้นที่ และลักษณะทางธรณีวิทยา เป็นต้น และปัจจัยเนื่องจากมนุษย์ เช่น การตัดไม้ทำลายป่า เป็นต้น ดังนั้นการวิเคราะห์จึงต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้ปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

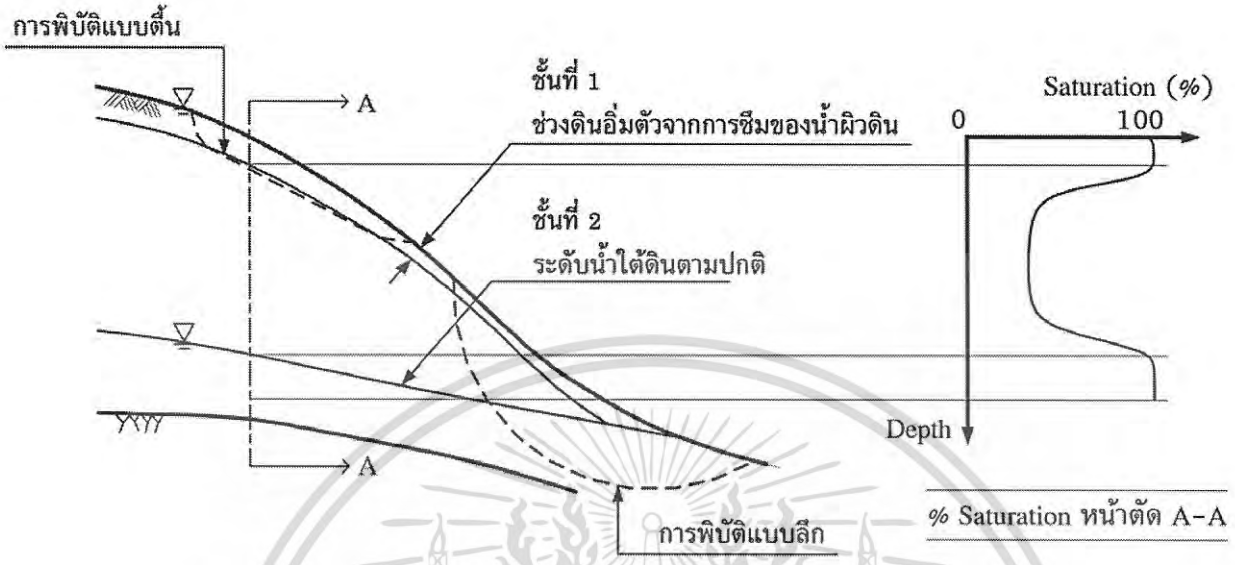
1) การเลือกตำแหน่งตัวแทนการพิบัติ ต้องมีขนาด ความชัน และรูปแบบการพิบัติที่เป็นตัวแทนของการพิบัติทั้งหมดได้ นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงความสะดวกในการเข้าถึงพื้นที่อีกด้วย

2) ลักษณะทางธรณีวิทยา ความแตกต่างของธรณีวิทยามีผลทำให้รูปแบบการพิบัติมีความแตกต่างกันด้วย เช่น กรณีชั้นดินที่เกิดจากการผุพังของหินแกรนิต (Granitic Soil) ที่มีความหนามากการพิบัติสามารถเกิดได้ทั้งแบบส่วนโค้งวงกลม หรือแบบไม่เป็นส่วนโค้งวงกลมก็ได้ กรณีที่มีชั้นหินแข็งอยู่ในระดับตื้นๆ การพิบัติจะเป็นแบบขนานไปกับลาดดิน (Infinite Slope) หรือแบบแบบไม่เป็นส่วนโค้งวงกลมได้ก็ได้ เป็นต้น

3) ค่าความซึมน้ำ และการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดิน ผลของน้ำใต้ดินจะมีอิทธิพลต่อเสถียรภาพของลาดดินในธรรมชาติเป็นอย่างมาก เนื่องจากกำลังรับแรงเฉือนของดินจะลดลงเมื่อระดับความอิ่มตัวเพิ่มขึ้น โดยฝนที่ตกหนักในระยะเวลาสั้นๆ จะทำให้เกิดระดับน้ำใต้ดิน 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นระดับน้ำใต้ดินปกติ ชั้นบนเป็นระดับน้ำใต้ดินเสมือน ซึ่งผลเนื่องจากน้ำใต้ดินชั้นที่ 1 จะทำให้เกิดการพิบัติในแบบตื้นๆ แต่ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินชั้นที่ 2 อยู่สูงหรือบริเวณที่น้ำใต้ดินทั้ง 2 ชั้น มาบรรจบกันจะมีโอกาสเกิดการพิบัติแบบลึกได้ ดังรูปที่ 2.3.13 ส่วนกรณีฝนตกน้อย ๆ ในระยะเวลานาน จะทำให้ระดับน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นตามปกติ (นงลักษณ์, 2546) นอกจากนั้นชนิดของดิน และลักษณะการใช้พื้นที่ที่แตกต่างกัน จะมีผลทำให้การซึมน้ำลงใต้ดินต่างกันด้วย

4) วิธีการวิเคราะห์ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้ง Total stress analysis และ Effective stress analysis แต่มักนิยมใช้วิธี Total stress analysis เนื่องจากเป็นการยากที่จะหาค่าความดันน้ำที่เกิดขึ้นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.13 ระดับน้ำใต้ดิน 2 ชั้น เนื่องจากฝนที่ตกหนักในระยะเวลาสั้นๆ (ที่มา: นงลักษณ์, 2546)

จากการพิจารณาศึกษาปัจจัยสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถสรุปวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับช่วงเวลา หรือกรณีต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมต่อช่วงต่าง ๆ หรือกรณีต่าง ๆ (รัฐธรรม,2547)

ช่วงวิกฤตต่างๆในงานก่อสร้าง	วิธีการที่แนะนำในการวิเคราะห์
งานเขื่อนหรือคันดินขนาดใหญ่	
ช่วงการก่อสร้าง (During Construction)	TSA, ESA(r_u)
ช่วงกักเก็บน้ำเต็ม (Full reservoir)	ESA(flownet)
ช่วงที่ระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)	ESA(flownet)
ช่วงลดระดับน้ำปานกลาง (Partial Pool)	ESA(flownet)
งานขุดในดินอ่อน	
หลังจากการขุดทันที (Rapid Excavation)	TSA, USA
หลังจากการขุดเป็นระยะเวลานาน (Long time Excavation)	ESA(flownet)
งานถมบนดินอ่อน	
หลังจากถมทันที (Rapid Construction)	TSA, USA
หลังจากการถมเป็นระยะเวลานาน (Long time Construction)	ESA(r_u)
ลาดริมตลิ่ง	
ระดับน้ำในแม่น้ำลดลงอย่างรวดเร็ว	TSA, ESA
เมื่อมีการกัดเซาะบริเวณคุ้งน้ำ (Scouring)	TSA, ESA
ลาดดินธรรมชาติ	TSA, ESA

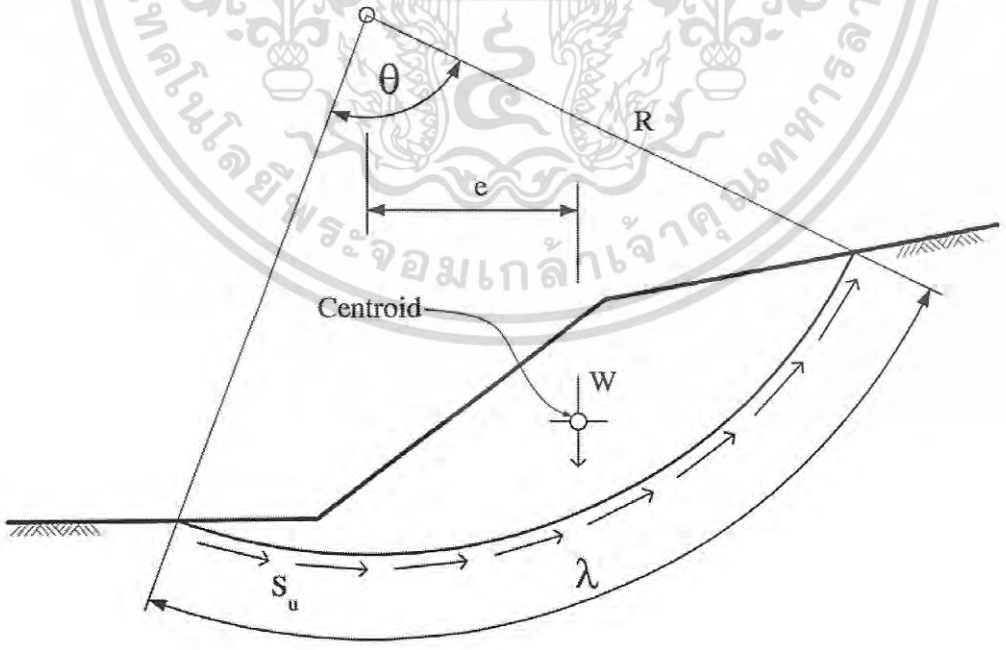
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน

วิธีการในการวิเคราะห์เสถียรภาพ ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ซึ่งแต่ละวิธีต่างก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป โดยในแต่ละวิธี ต่างก็มีสมมติฐานและรูปแบบการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น บางวิธีเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของผิวเคลื่อนพังที่เป็นเส้นตรง บางวิธีเหมาะกับผิวที่เป็นส่วนโค้งของวงกลม หรือบางวิธีสามารถใช้ได้กับลักษณะของผิวเคลื่อนที่เป็นทั้งเส้นตรงและส่วนโค้งของวงกลม เป็นต้น ซึ่งทฤษฎีในการวิเคราะห์ดังกล่าว มีอยู่มากมายหลายวิธี ในที่นี้จึงขอกล่าวถึงแต่บางวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วไป(รัฐธรรม,2547)

2.3.7.1 Circular Surface Analysis

กรณีที่ผิวเคลื่อนพังเป็นส่วนโค้งของวงกลมในชั้นดินเหนียวที่มีการก่อสร้างโดยเร็ว (สภาวะ undrained shear strength)กรณีนี้มวลดินเป็นดินเหนียว) (ϕ = 0) และเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Materials) พื้นผิวการพิบัติที่วิกฤตที่สุดจะมีลักษณะเป็นส่วนโค้งวงกลมเนื่องจากเป็นพื้นผิวที่ให้ค่าพื้นที่ต่อเส้นรอบรูปมากที่สุด ซึ่งหมายถึงให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดนั่นเอง การวิเคราะห์ทำได้โดยการพิจารณาสมดุลโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางวงกลมของพื้นผิวพิบัตินั้น ๆ ดังรูปที่ 2.3.16



รูปที่ 2.3.14 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Circular Surface (รัฐธรรม,2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการการวิเคราะห์สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F.S. = \frac{Resisting\ Moment}{Driving\ Moment} = \frac{Su.l.R}{W.e}$$

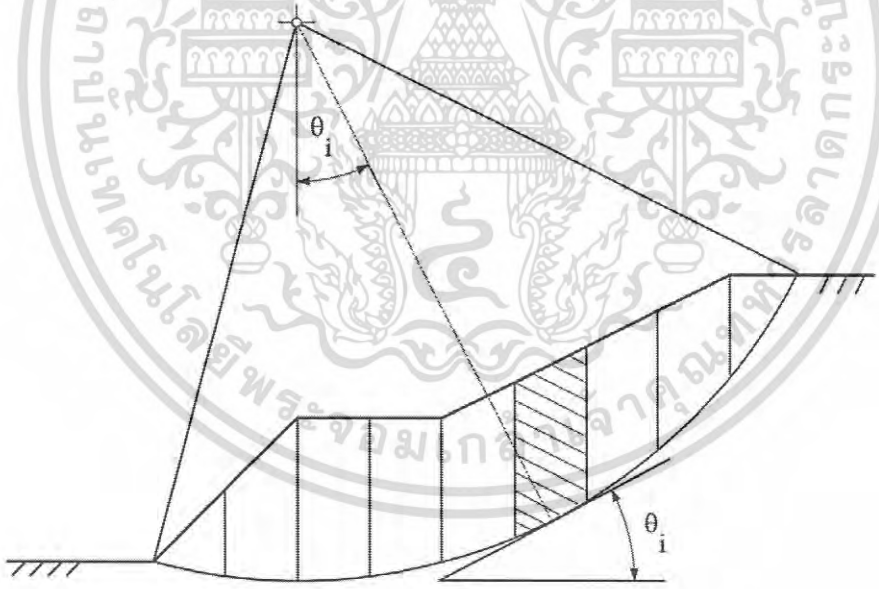
ยังคงยึดหลักการ F.S. = Shear strength / Shear Stress

หรือ F.S. = แรงต้าน / แรงกระทำ

วิธีนี้จะให้ค่า F.S. น้อยกว่าวิธีมาตรฐานอื่น ๆ

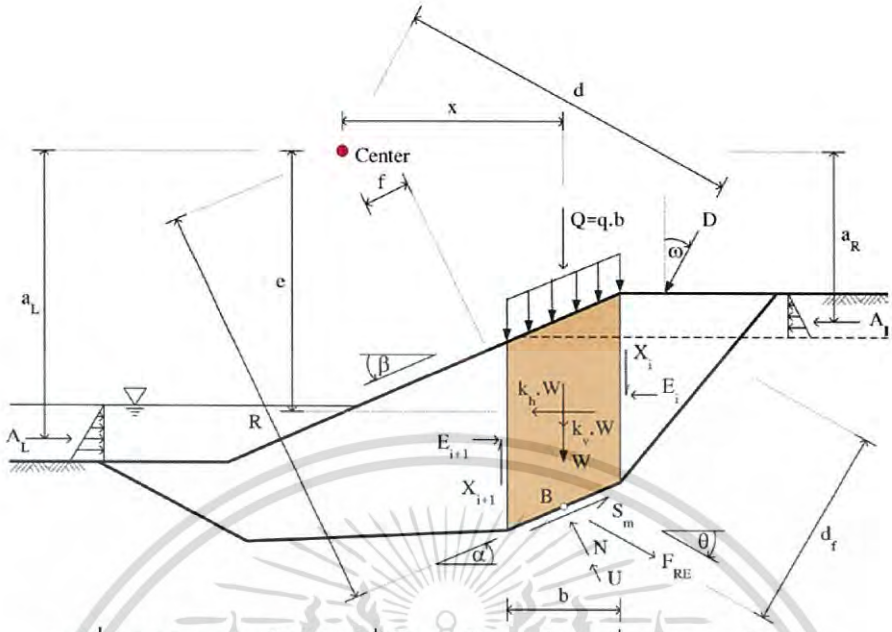
2.3.7.2 Method of Slices

โดยการแบ่งมวลดินในผิวเคลื่อนพัง (Sliding mass) ออกเป็นชิ้นๆ ตามแนวดิ่ง จากผิวดินจนถึงผิวเคลื่อนด้านล่าง ดังรูปที่ 2.3.17 โดยการนำเอาแรงที่กระทำต่อดินในแต่ละชิ้นซึ่งอยู่ในสภาพสมดุลตามแนวขนานและตั้งฉากกับผิวเคลื่อนมาพิจารณา ซึ่งในที่นี้ได้แนะนำวิธีการวิเคราะห์ไว้ 2 วิธีคือ วิธี Ordinary Method of Slice (Fellenius Method) และ วิธี Simplified Bishop Method



รูปที่ 2.3.15 รูปตัดการเคลื่อนพังของลาดดินและการดัดแปลงมวลดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



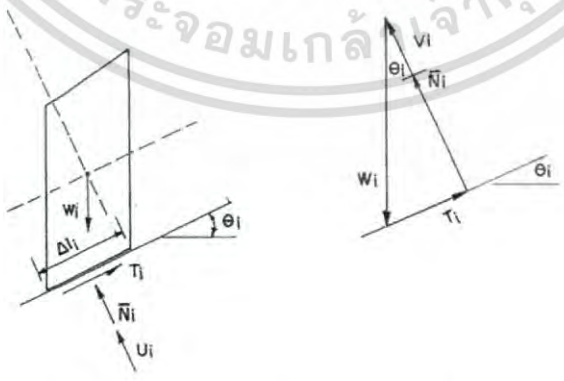
รูปที่ 2.3.16 แรงและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดิน

ที่มา: วรากร และรัฐธรรม (2546)

การวิเคราะห์โดยวิธี Ordinary Method of Slice (Fellenius Method)

เป็นวิธีที่มีการใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ.1920 โดยการรถไฟของสวีเดน ซึ่งบางครั้งเรียกว่า "Swedish Circle Method" ผลการวิเคราะห์ไม่ยุ่งยาก มีความถูกต้องพอสมควร และใช้วิเคราะห์ได้กับผิวเคลื่อนหลายลักษณะ

โดยการแบ่งมวลดินในผิวเคลื่อนพังออกเป็นชิ้น ๆ ตามแนวดิ่ง (Slices) จากผิวดินจนถึงผิวการเคลื่อนด้านล่าง แล้วนำแรงที่กระทำต่าง ๆ ที่กระทำต่อชิ้นดิน (Slices) เช่น แรงเฉือนของผิวเคลื่อน น้ำหนักชิ้นดิน แรงยกของน้ำ เป็นต้น มาคำนวณหาสัดส่วนความปลอดภัยของลาดดินที่พิจารณา



รูปที่ 2.3.17 หลักการวิเคราะห์สมดุลแรงในชิ้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงกระทำต่อชิ้นดิน

Normal Force

$$\overline{N}_i = W_i \cos\theta_i - U_i$$

Sliding Force

$$T_i = W_i \sin\theta_i$$

Resisting Force

$$R_i = \overline{c}_i \Delta l_i + (W_i \cos\theta_i - U_i)\tan\overline{\phi}_i$$

เพราะฉะนั้น สัดส่วนปลอดภัยของแต่ละแท่งชิ้นดิน เท่ากับ

$$F.S. = \frac{\text{Re}sisting\ force}{Sliding\ force} = \frac{\overline{c}_i \Delta l_i + (W_i \cos\theta_i - U_i)\tan\overline{\phi}_i}{W_i \sin\phi_i}$$

สัดส่วนความปลอดภัยรวมของทุก ๆ แท่งชิ้นดิน

$$F.S. = \frac{\sum_{i=1}^{n}[\overline{c}_i \Delta l_i + (W_i \cos\theta_i - U_i)\tan\overline{\phi}_i]}{\sum_{i=1}^{n}[W_i \sin\phi_i]}$$

$\overline{c}, \overline{\phi}$ = Effective soil strength parameter

Δl_i = ความยาวของส่วนโค้งบนผิวเคลื่อนพังของแต่ละชิ้นดิน

W_i = น้ำหนักดินทั้งหมดของแต่ละชิ้นดิน

θ_i = มุมเอียงของเส้นสัมผัส ณ แนว centroid ของชั้นดิน

U_i = แรงยกตัวของความดันน้ำบนผิวเคลื่อนของแต่ละชิ้นดิน

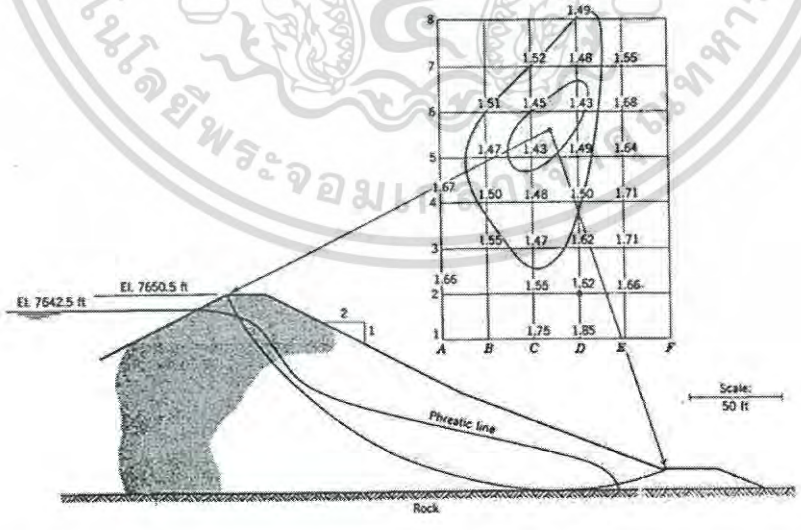
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8 การหาอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด

การหาอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดคือ การหาแนวการพิบัติที่น่าจะเกิดขึ้นจากการทำนายรูปแบบการพิบัติที่ได้คาดการณ์ไว้ โดยพิจารณาจากสัดส่วนของแรงต้านทานต่อแรงกระทำ ถ้าแนวการพิบัติที่คำนวณหาค่าสัดส่วนการปลอดภัยได้ค่าต่ำที่สุด หมายความว่า เส้นแนวการพิบัตินั้นเป็นเส้นที่อาจเกิดการพิบัติได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ความมั่นคงที่ได้กล่าวมานั้น ตำแหน่งของผิวเคลื่อนพัง ขนาดและรูปร่างของมวลดินที่พังเป็นเพียงการยกขึ้นมาวิเคราะห์รูปแบบเดียวซึ่งอาจจะยังไม่เกิดอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุดก็ได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์จะต้องมีการค้นหาจุดที่มีอัตราส่วนปลอดภัยต่ำที่สุด โดยพื้นผิวพิบัติวิกฤตอาจมีลักษณะเป็นส่วนโค้งวงกลม หรือไม่เป็นส่วนโค้งวงกลมก็ได้ ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของปัจจัยหลักที่สำคัญ 4 ประการ คือ

1. ลักษณะรูปร่างทางเรขาคณิตของลาดดิน
2. ลักษณะชั้นดิน
3. ความดันน้ำในดิน
4. ลักษณะของแรงภายนอกที่กระทำ

ในการออกแบบทั่วไปมักวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดด้วยพื้นผิวพิบัติเป็นส่วนโค้งวงกลม เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง และขั้นตอนการคำนวณไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่ในสภาพความเป็นจริงการเคลื่อนพังอาจมีลักษณะที่ไม่ใช่ส่วนวงกลมก็ได้ ดังนั้นการตั้งสมมติฐานลักษณะผิวของการเคลื่อนพังจึงมีความสำคัญมาก ถ้าสมมติผิดแม้จะทำการวิเคราะห์ถูกต้องและละเอียดเพียงใดก็ไม่สามารถใช้วิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินได้อย่างถูกต้องดังนั้นการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์จะต้องมีการค้นหาแนวการพิบัติที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด



รูปที่ 2.3.18 วิธีการหาจุดศูนย์กลางของอัตราส่วนปลอดภัยต่ำสุด (Lambe & Whitman,1969)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรม Plaxis2D

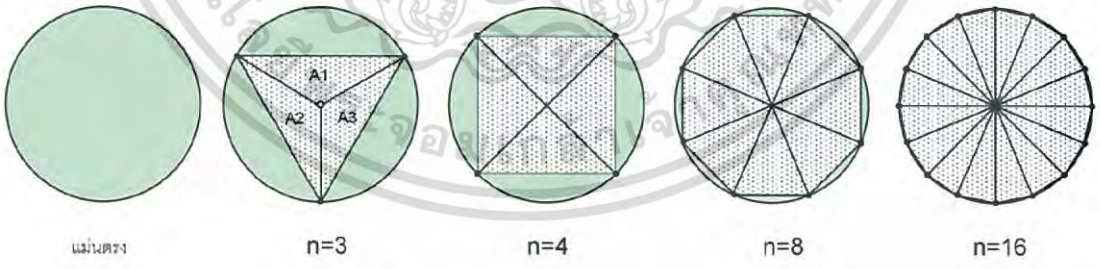
PLAXIS 2D โปรแกรมสำหรับงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค (Geotechnical Engineering) โดยเฉพาะ ซึ่งวิเคราะห์ด้วย Finite Element Method แบบ 2 มิติ สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนรูป (Deformation) และเสถียรภาพ ของงานธรณีเทคนิค

โปรแกรม PLAXIS 2D เป็นโปรแกรมด้านธรณีเทคนิคที่เป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดในโลก เพราะสามารถวิเคราะห์ได้แม่นยำ สามารถใส่ค่าตัวแปรของดิน (Parameters) แต่ละประเภทได้เอง โดยสามารถทำเป็นฐานข้อมูลดินไว้ได้ (Soil Database) สามารถวิเคราะห์แรงกระทำระหว่างตัวอาคารและดินได้ สามารถโมเดลการวิเคราะห์ขั้นสูงแบบ Non-Linear ,time dependent and anisotropic พฤติกรรมของดิน และหิน

โดยกำหนดวัสดุหลายๆเฟสได้ (multi phase material) สามารถที่จะกำหนดแรงดันของน้ำในดิน โดยการกำหนดหรือสร้างโมเดลเป็นกราฟิกเพื่อให้ง่ายในการเข้าใจ

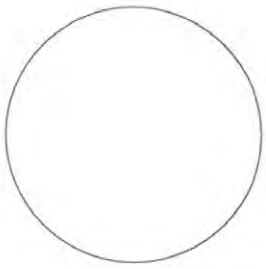
2.4.1 The Finite Element Method (FEM)

คือวิธีการประมาณโดยการแบ่งวัสดุเป็นชิ้นๆ โดยจะใช้วิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ในปัญหาที่ซับซ้อนเกินกว่าจะใช้ทฤษฎีหรือวิธีที่มีอยู่ได้ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการหาพื้นที่ของวงกลม 1 หน่วย ด้วยการแบ่งเป็นรูปสามเหลี่ยมย่อย ต้องการคำตอบถูกต้องถึงทศนิยมหลักที่ 3



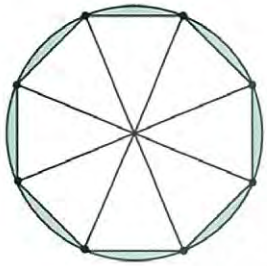
การคำนวณโดยแบ่งพื้นที่เป็นรูปสามเหลี่ยมย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

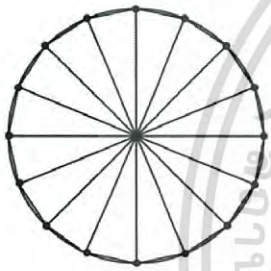


คำนวณพื้นที่ของวงกลม ซึ่งมีรัศมี r =1

A= 3.14159265358979

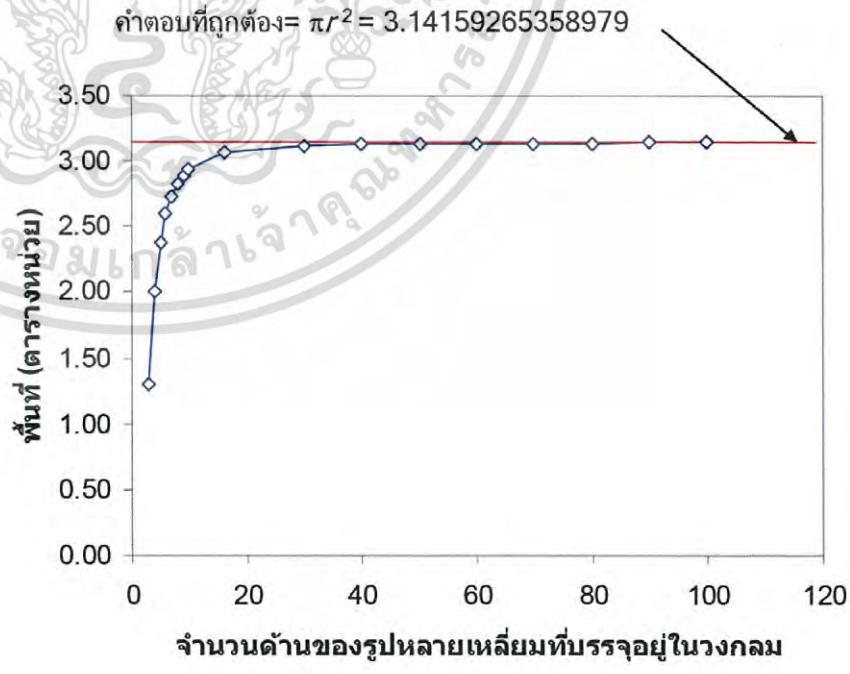


คำนวณพื้นที่ของวงกลมโดยการแบ่งเส้นรอบวงของวงกลม
เป็นเส้นตรงแล้วรวมพื้นที่สามเหลี่ยมย่อย ๆเข้าด้วยกัน
แบ่งเป็น 8 จุด พื้นที่ = 2.82842712474619



แบ่งเป็น 16 จุด พื้นที่ = 3.06146745892072

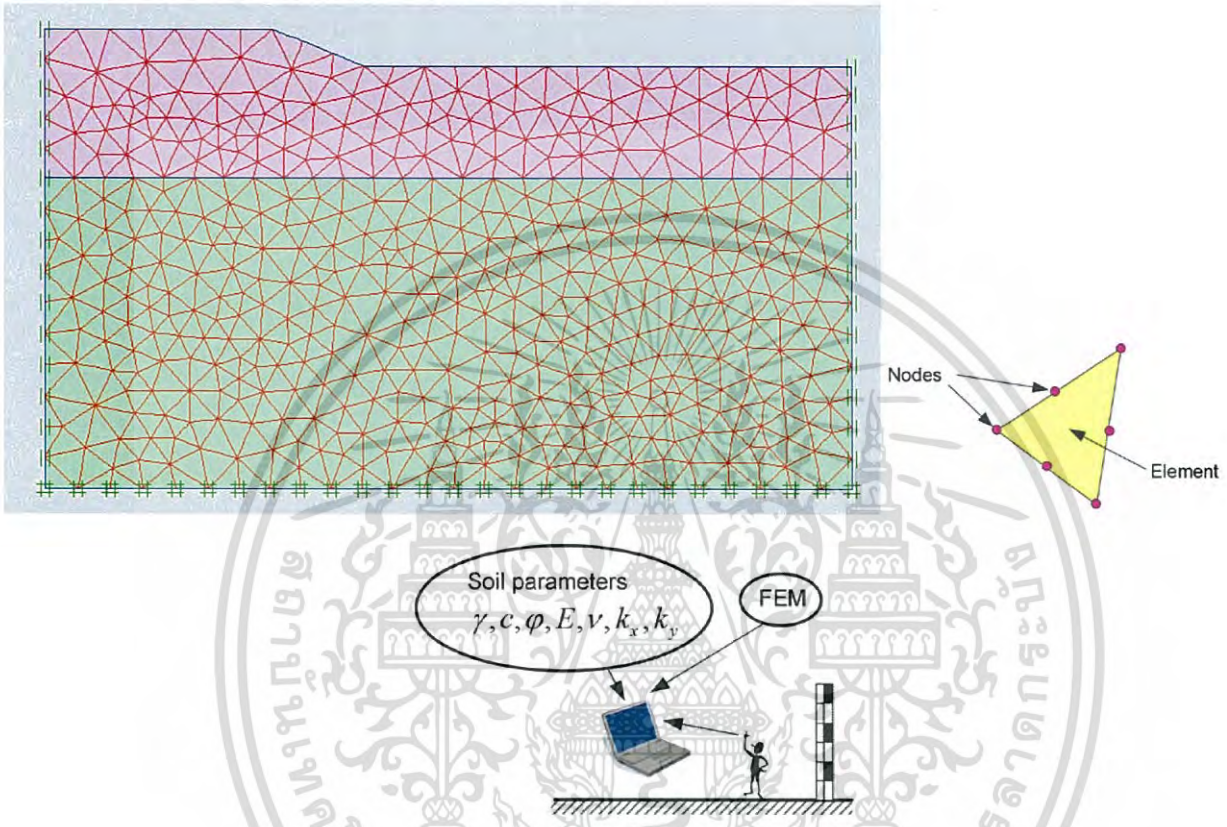
แบ่ง 20,000 จุด พื้นที่ =3.14159260191267



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่า ถ้าเราแบ่งจำนวนรูปสามเหลี่ยมในวงกลมให้มีจำนวนมากขึ้น คำตอบจะมีค่าใกล้เคียงคำตอบที่ถูกต้องมากขึ้น

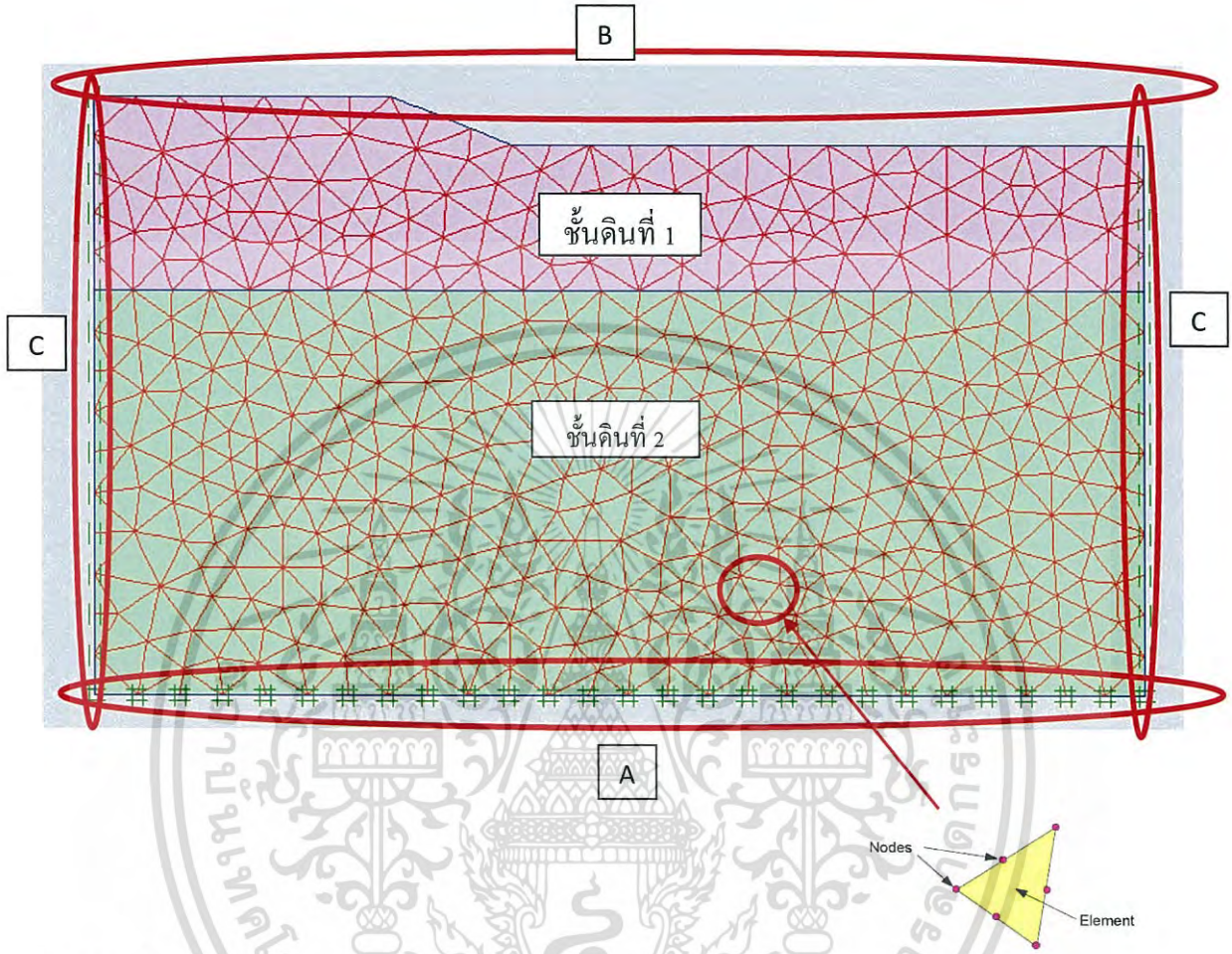
2.4.2 แบบจำลองเชิงตัวเลข (Numerical Models)



เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากค่า Soil parameters เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ โดยการสร้าง mesh (หลายๆ อีลิเมนต์รวมกัน) จากนั้นทำการวิเคราะห์แต่ละอีลิเมนต์โดยมีการกำหนด Nodes เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการวิเคราะห์ เช่น การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของดินหรือการทรุดตัวของดิน โดยการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของแต่ละอีลิเมนต์ จากนั้นดูการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของ Nodes ต่าง ๆ และนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละอีลิเมนต์มารวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของ Numerical Models



ประกอบด้วย

A คือ ขอบเขตเป็นแบบจุดยึดแน่น หมายความว่า ชั้นดินไม่สามารถเคลื่อนที่ ขึ้น-ลง , ซ้าย-ขวา

B คือ ขอบเขตเป็นแบบอิสระ หมายความว่า ชิ้นดินสามารถเคลื่อนที่ได้ในทุกทิศทาง

C คือ ขอบเขตเป็นแบบล้อเลื่อน หมายความว่า ยอมให้ชั้นดินเคลื่อนที่ได้ในระนาบดิ่ง หรือ ขึ้น-ลง เท่านั้น ไม่สามารถเคลื่อนที่ในระนาบราบ หรือ ซ้าย-ขวา

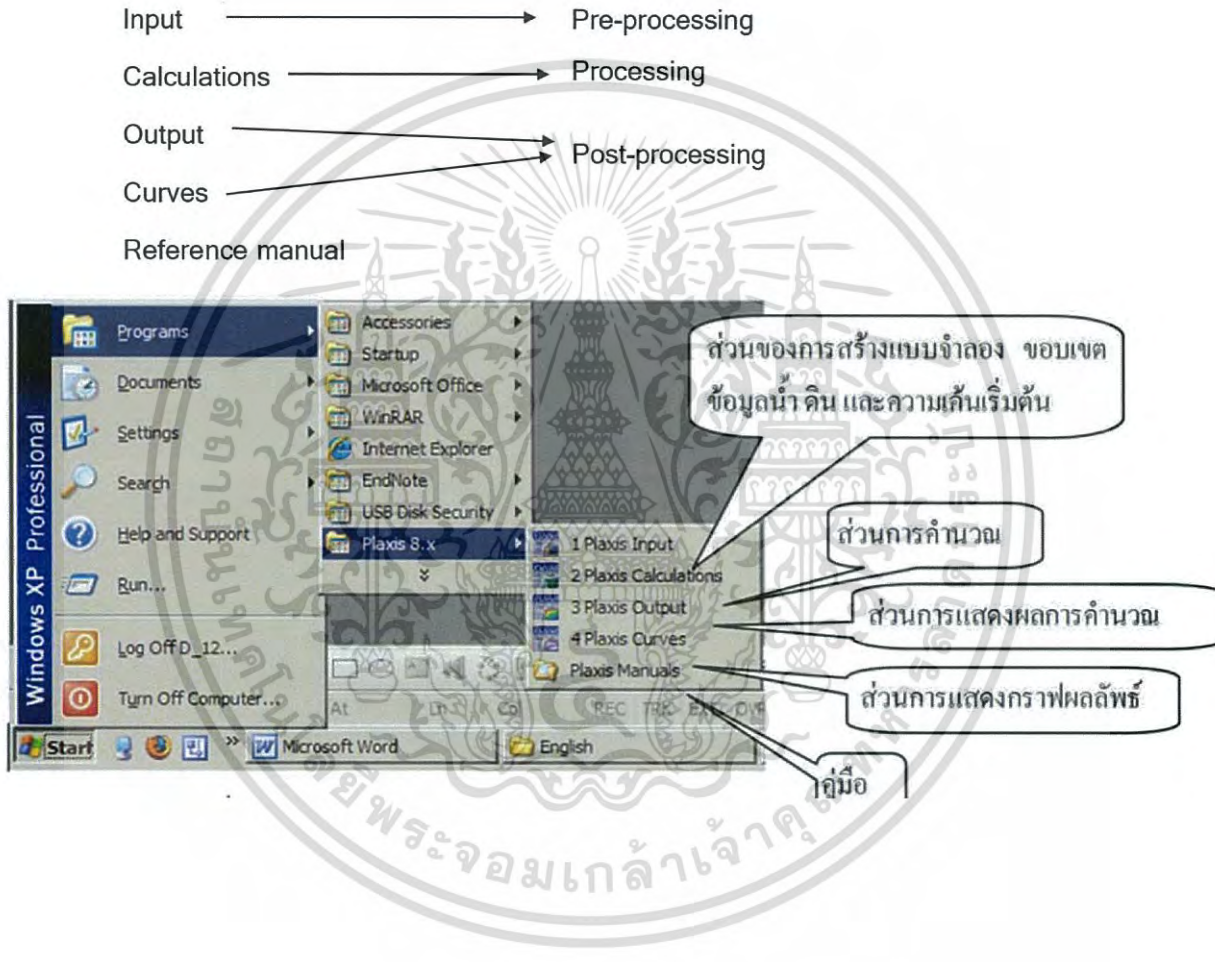
Mesh คือ การแบ่งชั้นดินเป็นชิ้นส่วนสามเหลี่ยม (อีลิเมนต์) หลายๆชิ้นส่วนรวมกัน

ชั้นดินที่ 1 , 2 คือ ชั้นดินที่พิจารณาโดยมีการ Input ข้อมูลต่าง ๆของดินลงไปในโปรแกรม โดยข้อมูลจะขึ้นอยู่กับวิธีหรือเงื่อนไขที่เลือกพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

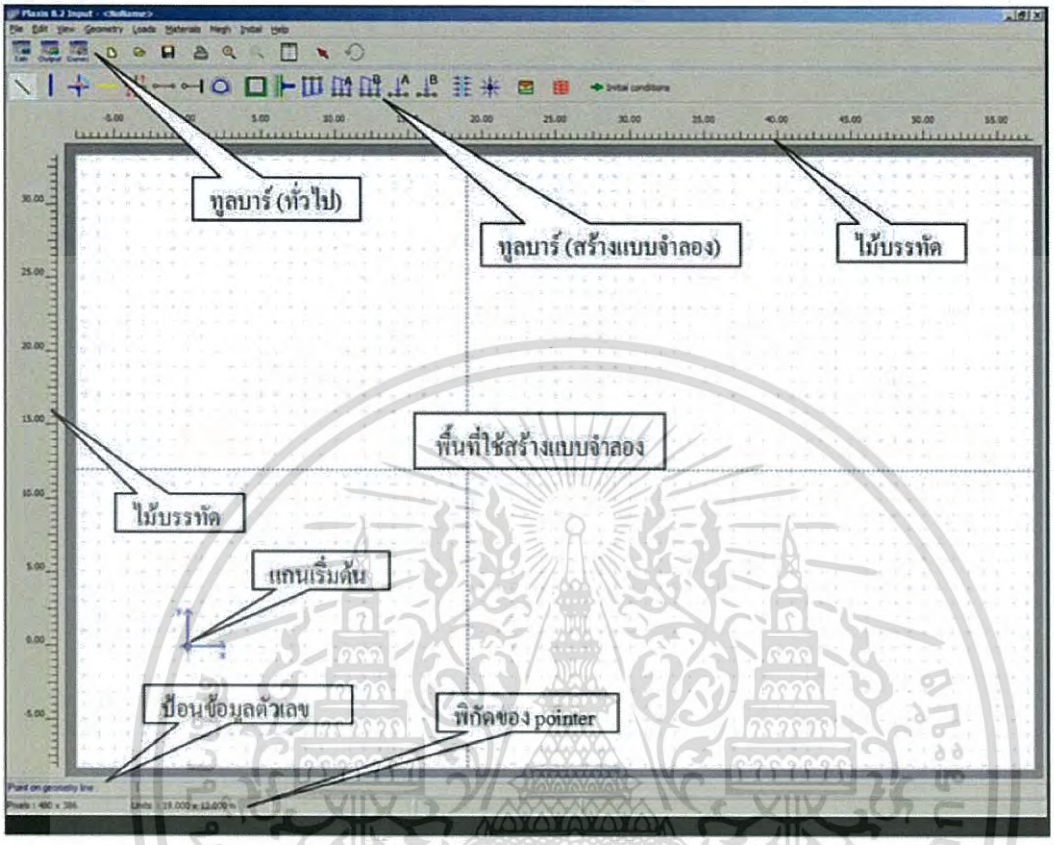
2.4.3 แนะนำเครื่องมือ/อุปกรณ์เบื้องต้น

เมื่อติดตั้งโปรแกรมเป็นที่เรียบร้อยแล้ว สามารถเปิดโปรแกรมได้ดังรูป โดยโปรแกรมจะประกอบไปด้วยส่วนของ

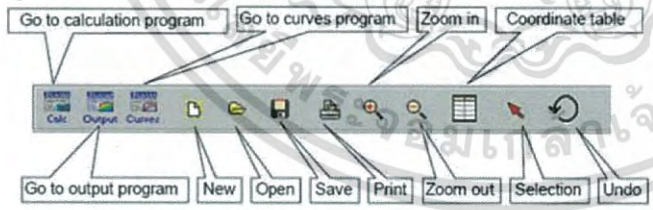


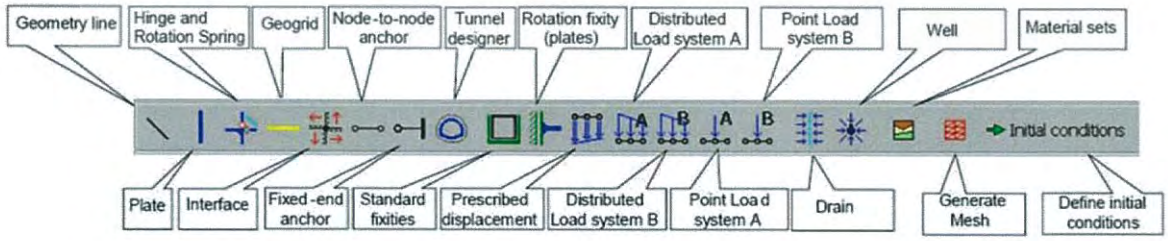
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ Input



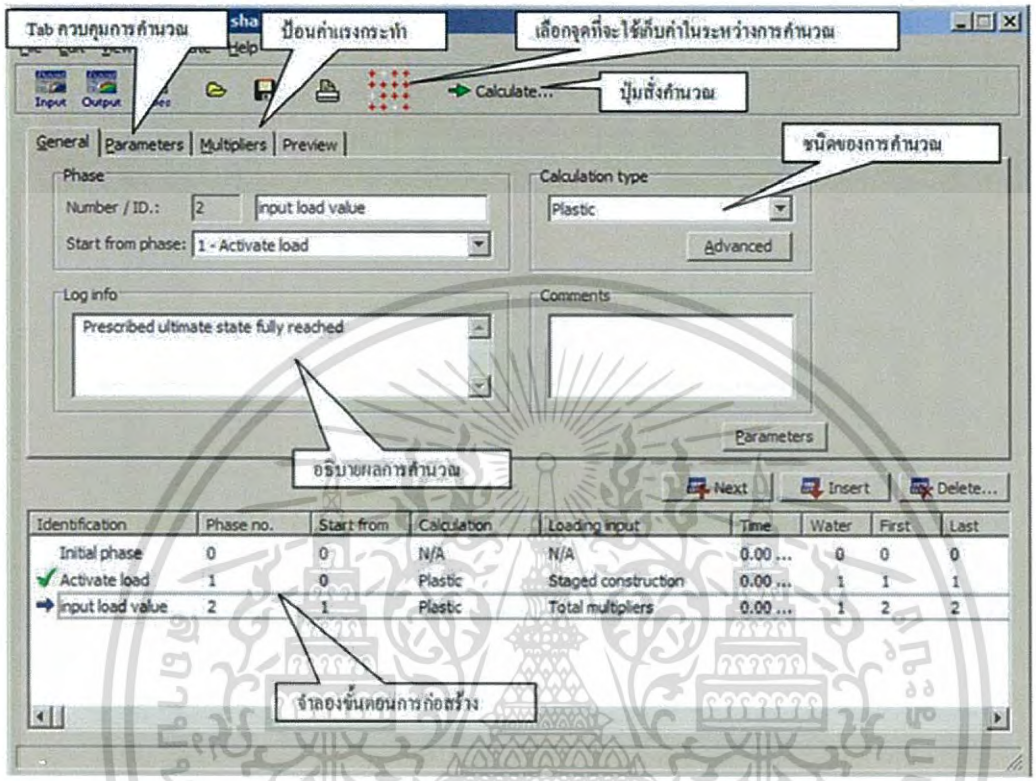
ทูลบาร์ – ส่วนของ pre-processing



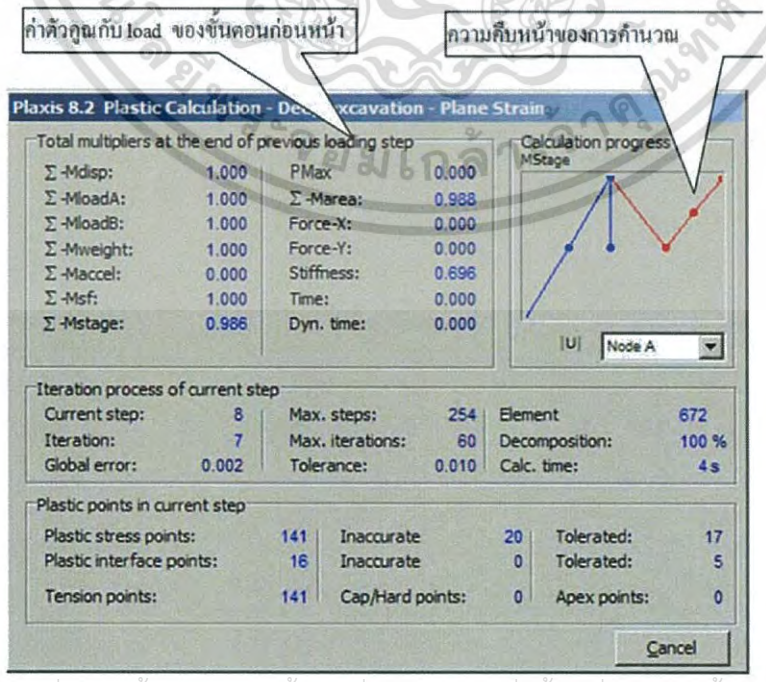


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทูลบาร์ – ส่วนของ processing

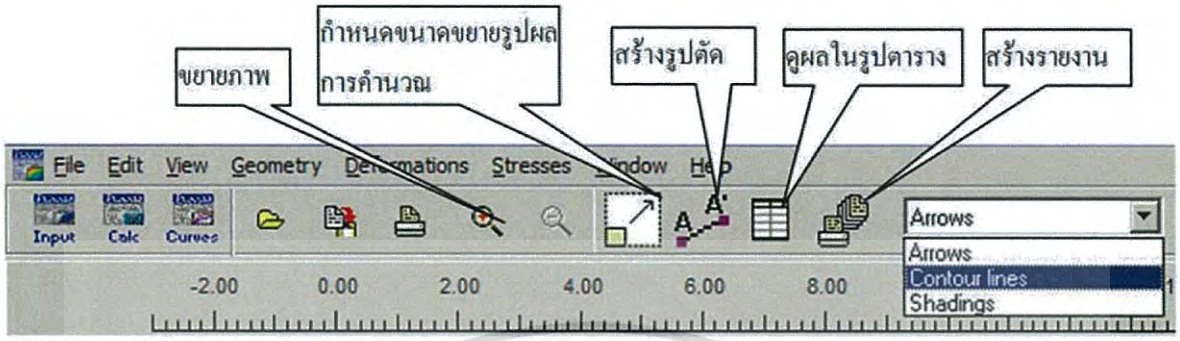


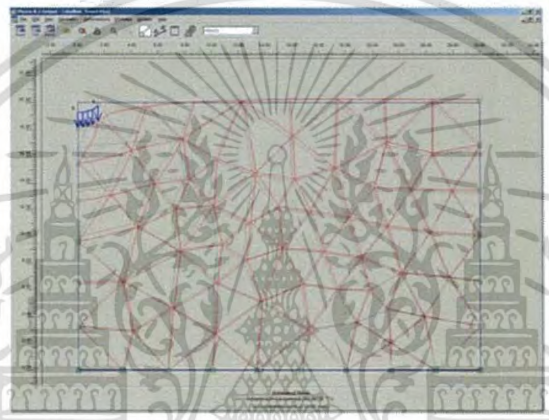
ทูลบาร์ – ส่วนของรายงานความคืบหน้าของการคำนวณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทูลบาร์ – ส่วนของ Post-processing

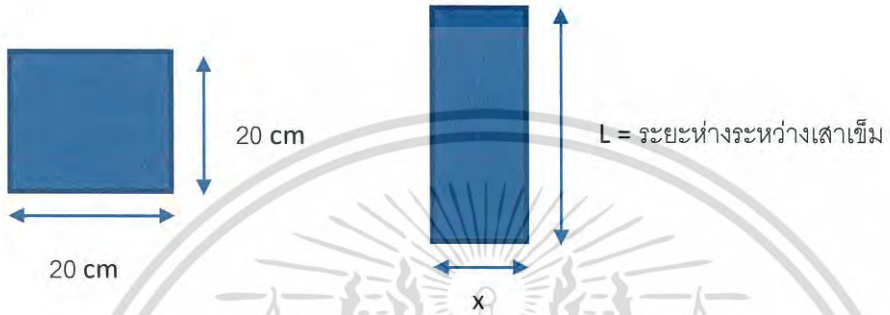




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การแปลงค่าความแข็งเชิงดัดเทียบเท่าของหน้าตัด

เนื่องจากในกรณีที่ใส่เสาเข็มในโปรแกรมโดยมีระยะห่างของเสาเข็มค่าใดค่าหนึ่ง โปรแกรมจะคิดว่าเสาเข็มมีหน้าตัดเดียวตลอดความยาว(ดูรูปประกอบในภาคผนวก ง) จึงทำให้ค่าที่ได้มีค่าเกินความเป็นจริง จำเป็นต้องทำการแปลงหน้าตัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องสมจริง



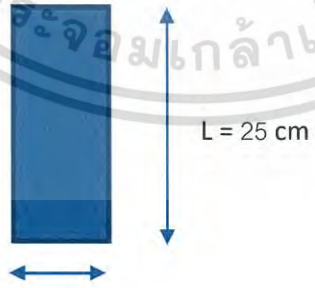
$$I_A = \frac{20x20^3}{12} = 13{,}333.33\ cm^3 \qquad I_e = \frac{L(x^3)}{12}$$

กำหนดให้

$$I_A = I_e$$

$$13{,}333.33 = \frac{L(X^3)}{12}$$ สมมติให้ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม L = 25 cm

แก้สมการหา X = 18.566 cm



X = 18.566 cm

จะเห็นได้ว่าค่าความกว้างของหน้าตัดเปลี่ยนแปลงไป โดยมีค่าน้อยลงซึ่งจะนำค่าที่ได้ไปใช้ในโปรแกรม Plaxis2D ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการศึกษา

ความสำคัญของแผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานมีหน้าที่นำเสนอรายละเอียดขั้นตอนการทำงานทั้งหมดเพื่อให้ผู้ทำงานวิจัยมีทิศทางการทำงานที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นอีกทั้งยังแสดงความน่าเชื่อถือของข้อมูลต่าง ๆในรายงานด้วย ดังนั้นแผนการดำเนินงานจึงมีความสำคัญเป็นลำดับแรกๆสำหรับการทำงานวิจัย

3.1. การกำหนดหัวข้อวิจัย

การกำหนดหัวข้อวิจัยเป็นการบ่งชี้ถึงความสำคัญของเรื่องที่จะทำการศึกษาและเป็นการประเมินความเป็นไปได้ของงานวิจัยให้อยู่ในขอบเขตความรู้ระดับปริญญาตรี ขั้นตอนนี้ต้องปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาอย่างใกล้ชิดตลอดเวลา ในขั้นตอนนี้กลุ่มผู้ศึกษาใช้เวลา 1 สัปดาห์

3.2. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

เป็นการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดสำหรับใช้ประกอบตลอดการวิจัยแบ่งได้ 3 ขั้นตอนดังนี้

1. ข้อมูลดิน Boring Log รวบรวมได้จากอาจารย์
2. ข้อมูลการสำรวจ (Surveying)
3. Program Plaxis2D
4. องค์ประกอบในการเขียนรายงานวิทยานิพนธ์

3.3. กำหนดขอบเขตและพื้นที่ที่ศึกษา

เป็นการวางขอบเขตเนื้อหาที่จะศึกษา ทำได้โดยศึกษาจากข้อมูลที่ได้มาในข้อ 3.2.1 ควบคู่กับการปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา จากนั้นก็กำหนดพื้นที่เป้าหมายที่จะทำการศึกษา กระบวนการทั้งหมดนี้มีไว้เพื่อบ่งชี้ระยะเวลาในการทำวิจัยเหมาะสมกับระยะเวลา 1 ปีที่ใช้ทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4. การสำรวจเก็บข้อมูล

การสำรวจเก็บข้อมูลเป็นการรวบรวมและออกแบบวิธีการสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับขอบเขตของงานวิจัยทั้งหมดซึ่งกระจัดกระจายอยู่ให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมนำมาใช้วิเคราะห์ใน Program Plaxis 2D ทำได้ดังนี้

3.4.1 นำข้อมูลที่ได้จากสนามมาพล็อตกราฟหน้าตัดคลองที่จะทำการวิเคราะห์

3.4.2 จากกราฟที่ได้ นำมาสร้างโมเดลในโปรแกรม Plaxis2D

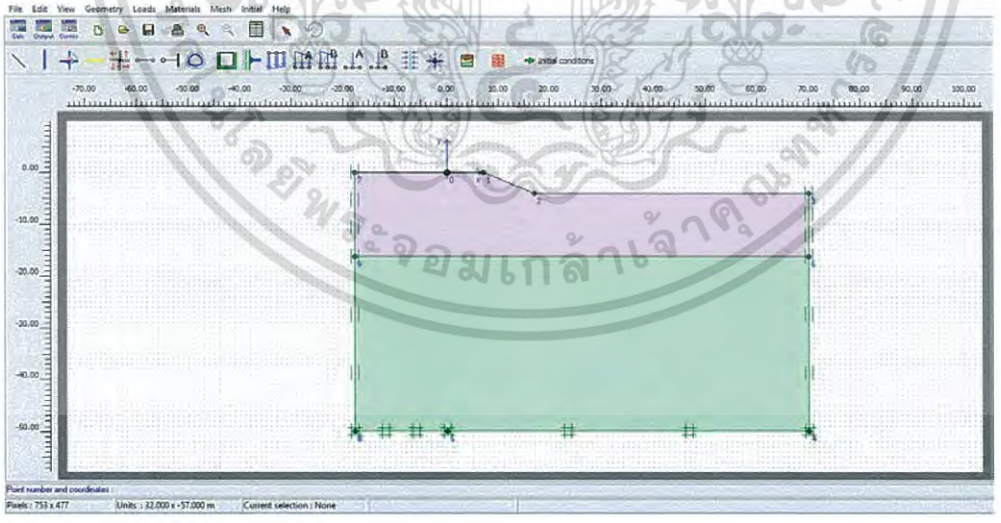
3.4.3 วิเคราะห์ข้อมูลจาก Boring log เพื่อนำค่าข้อมูลของชั้นดินมาใส่ในโปรแกรม Plaxis2D

3.4.4 สำรวจหาข้อมูลบางอย่างจากอินเทอร์เน็ตและอาจารย์ที่ปรึกษา เช่น การแปลง SPT เป็นค่า Su หรือ การหาค่า E ของดิน รวมทั้งการแปลงหน้าตัดของเสาเข็มเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในโปรแกรม Plaxis2D

3.5. ขั้นตอนการนำข้อมูลวิเคราะห์ในโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดข้อมูลทางด้าน Geometry ดูรูป 3.1 ประกอบ สามารถเริ่มต้นได้ดังนี้

- สร้างโมเดลโดยใช้เครื่องมือ Geometry line
- กำหนด support ของขอบเขตโมเดลโดยใช้เครื่องมือ Standard fixities
- กำหนดคุณสมบัติของดินหรือเสาเข็มโดยใช้เครื่องมือ Material Sets
- กำหนด mesh โดยใช้เครื่องมือ โดยเลือกค่าความละเอียดเป็น Fine หรือ Very fine



รูปที่ 3.1 แสดงรูปโมเดลที่สร้างโดยโปรแกรม Plaxis2D

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดข้อมูลทางด้าน Geometryดูรูป 3.2 และ 3.3 ประกอบ

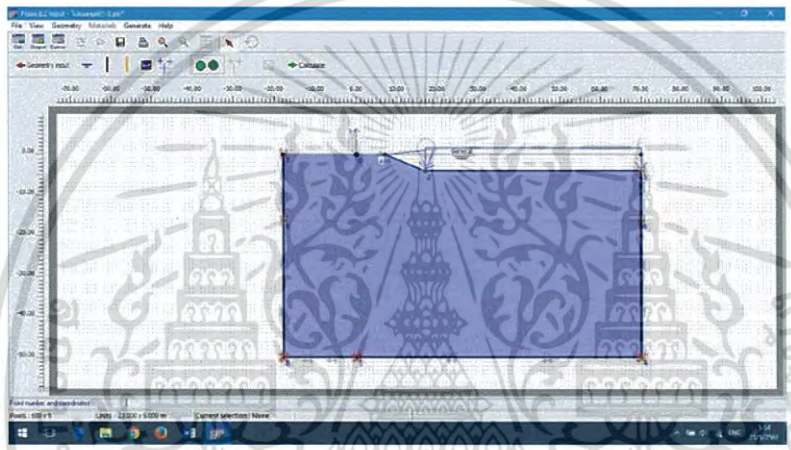
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสร็จแล้ว กดปุ่ม

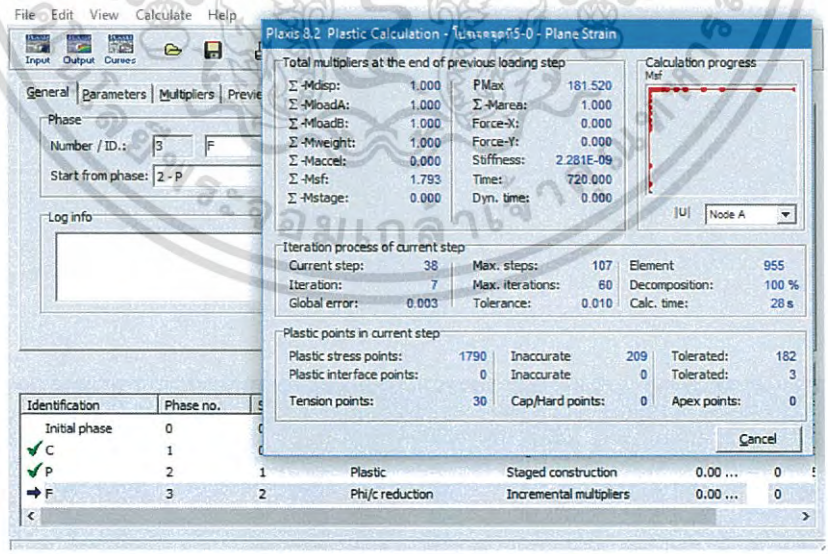
สามารถเริ่มต้นได้ดังนี้

- กำหนดระดับน้ำในโมเดลโดยใช้เครื่องมือ Phreatic level
- กำหนดขอบเขตการไหลของน้ำโดยใช้เครื่องมือ Closed flow boundary
- ใช้เครื่องมือ เพื่อกำหนด water pressure
- กดปุ่ม จากนั้นใช้เครื่องมือ Generate initial stresses
- กำหนดเงื่อนไขเรียบร้อยแล้วกดปุ่ม

เพื่อคำนวณ



รูปที่ 3.2 แสดงรูปโมเดลที่กำหนดเงื่อนไขต่างๆ

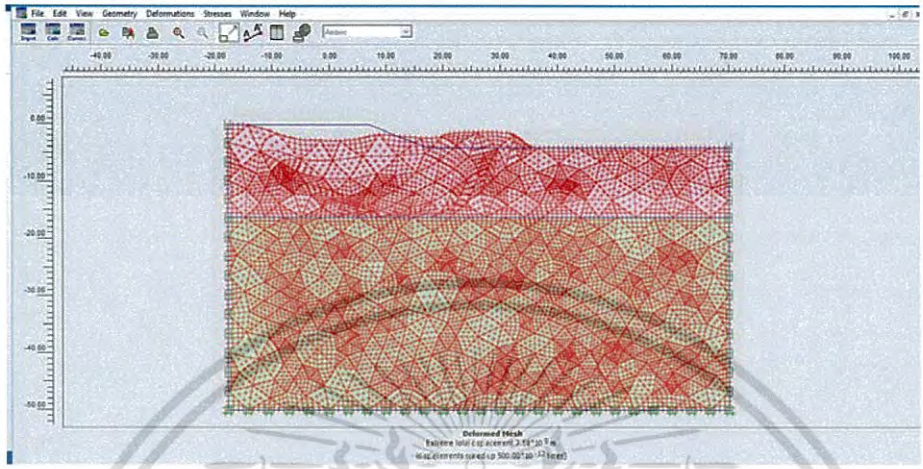


รูปที่ 3.3 แสดงหน้าต่างการคำนวณหา Factor of Safety

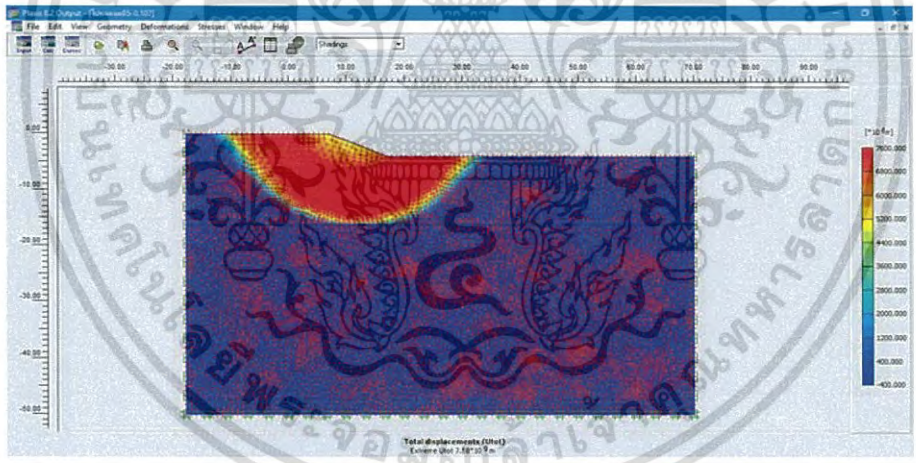
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองจากที่วิเคราะห์ด้วย PLaxis 2D แสดงดังรูป 3.4 ก และ 3.4 ข



รูปที่ 3.4 ก แสดงการเสียรูปของดินที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Plaxis2D



รูปที่ 3.4 ข แสดงความเค้นที่กระทำในดินจากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Plaxis2D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 จัดทำรายงานผลการศึกษา

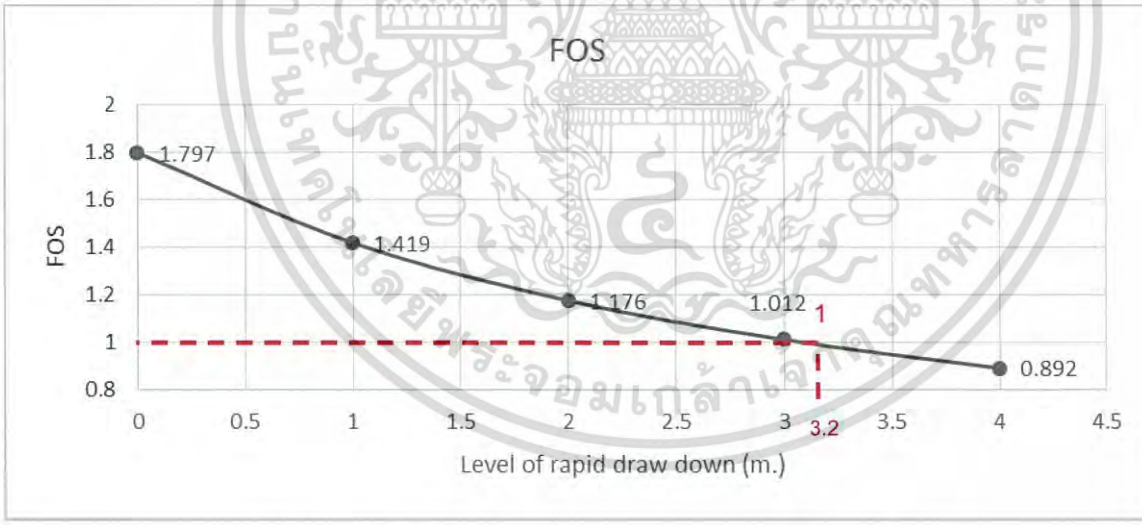
ในขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆที่เกี่ยวของ ได้แก่ บทนำ ทบทวนวรรณกรรม วิธีการศึกษา ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล สรุปผลการทดลอง เอกสารอ้างอิง และภาคผนวก ให้เป็นรูปเล่มวิทยานิพนธ์เพื่อง่ายต่อการเข้าใจจนกระทั่งการเข้าศึกษาค้นคว้าเนื้อหาที่เดิมเคยกระจัดกระจายของระหว่างดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

4.1 การพังของลาดดินเนื่องจากการลดลงอย่างรวดเร็วของน้ำ

การก่อสร้างถนนลาดคันคลองด้วยความชัน 1 ต่อ 2.5 หลังก่อสร้างเสร็จคันคลองมีเสถียรภาพเพียงพอที่จะรับแรงต่าง ๆ และอยู่ได้ด้วยตัวเอง แต่เมื่อเวลาผ่านไปช่วงที่น้ำในคลองลดลงมาก ทำให้คันคลองเกิดการพังและส่งผลให้ถนนบนคันคลองเกิดความเสียหาย จากการวิเคราะห์ข้อมูลดินใน Boring log พบว่าชั้นดินชั้นแรกเป็นดินเหนียวอ่อนลึกประมาณ 17 เมตร มี water content สูงมาก ดังนั้นเมื่อน้ำในคลองลดลงอย่างรวดเร็ว น้ำในดินของถนนคันคลองระบายออกได้น้อยทำให้ระดับน้ำในดินถนนคันคลองสูงกว่าระดับน้ำในคลอง จึงไม่มีแรงดันน้ำด้านข้างในคลองมาช่วยพยุงลาดดินคันคลอง ส่วนแรงดันน้ำในดินคันคลองมีมากทำให้กำลังรับน้ำหนักของดินลดน้อยลง และทำให้ลาดคันคลองเกิดการพังในที่สุด และจากการวิเคราะห์เสถียรภาพของคันคลองโดยโปรแกรม Plaxis 2D วิเคราะห์แบบ undrain เนื่องจากดินเหนียวมีอัตราการระบายน้ำช้ามาก ทำให้ได้เสถียรภาพของคันคลองที่ระดับน้ำต่าง ๆ ดังกราฟในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงสัดส่วนความปลอดภัยของลาดดินที่ระดับน้ำต่าง ๆ

เมื่อน้ำอยู่ในระดับสภาวะปกติ (level of rapid draw down) ที่ระดับ 0 เมตร สัดส่วนความปลอดภัย(factor of safety ; FOS) จะสูงที่สุด มีค่า 1.797 และเมื่อระดับน้ำลดมากสุด (ไม่มีน้ำในคลอง) 4 เมตร สัดส่วนความปลอดภัยต่ำสุด มีค่า 0.892 เมื่อระดับน้ำในคันคลองอยู่ที่ระดับ 3.2 เมตรจะเริ่มเกิดการพังเพราะสัดส่วนความปลอดภัย มีค่า 1 ดังนั้น เมื่อทราบอย่างนี้แล้วจึงควรมีการเสริมความแข็งแรงให้กับลาดคันคลอง เพื่อป้องกันไม่ให้

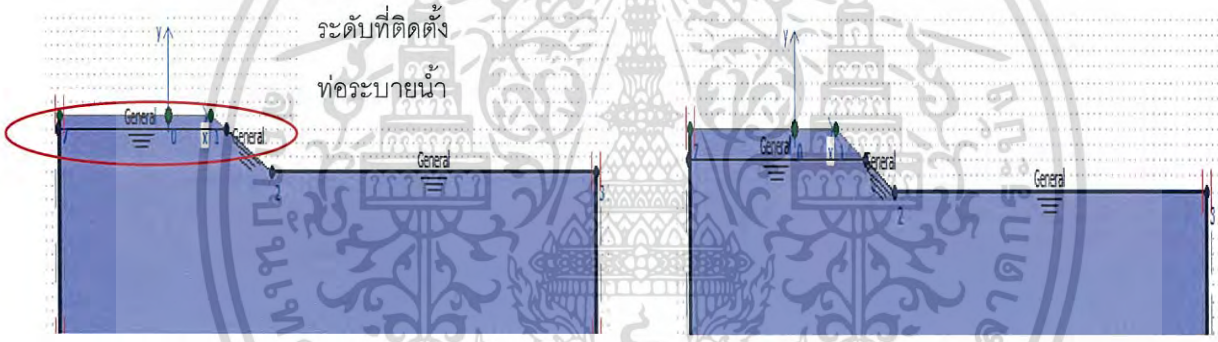
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการพังเสียหายในจุดอื่น ๆบนถนนลาดคันคลองเปรมประชากรที่ยังไม่ได้รับความเสียหาย และยังเป็นแนวทางให้กับหน่วยงานที่ดูแลถนนลาดคันคลองอื่น ๆ เพื่อเสริมความมั่นคงอีกด้วย การเสริมความแข็งแรงให้กับลาดคันคลองจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

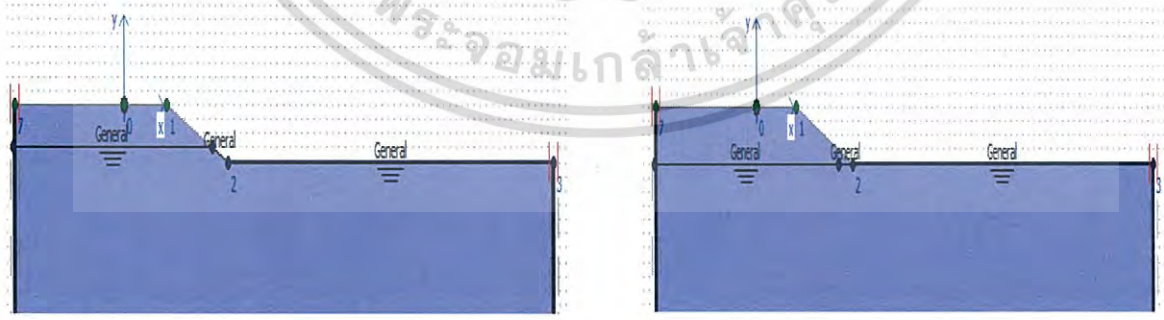
4.2 การเพิ่มความแข็งแรงแก่ลาดดิน

การเสริมความแข็งแรงให้ลาดคันคลอง จะวิเคราะห์ที่สภาวะน้ำในคลองแห้ง(Level of rapid draw down) ที่ระดับ 4 เมตร ซึ่งเป็นสภาวะที่เสี่ยงต่อการพังของลาดคันคลองมากที่สุด ดังกราฟในรูปที่ 4.1 หากเสริมความแข็งแรงที่สภาวะนี้แล้วลาดคันคลองมีเสถียรภาพมั่นคง ที่สภาวะอื่น ๆก็ปลอดภัย การเสริมความแข็งแรงมีด้วยกันหลากหลายวิธี ในที่นี้เลือกเสริม 2 วิธี คือ การติดตั้งท่อระบายน้ำใต้ดินของลาดคันคลองในแนวระดับ และการติดตั้งเสาเข็ม

4.2.1 การติดตั้งท่อระบายน้ำในแนวระดับ

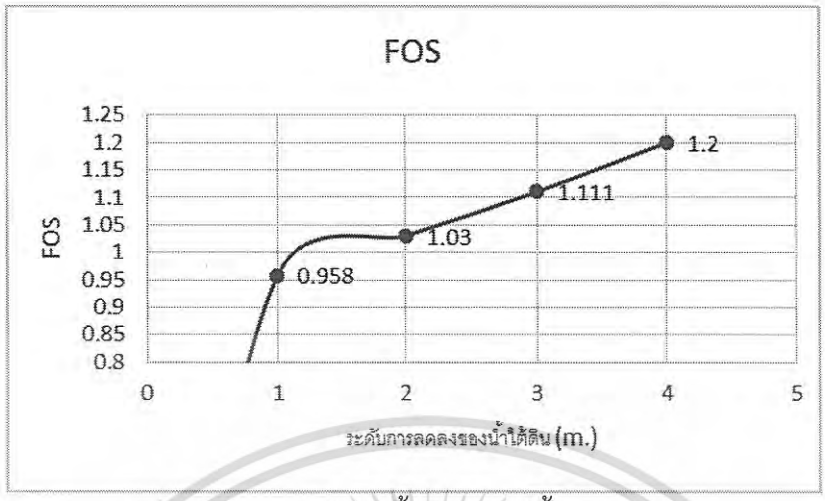


1.ติดตั้งท่อระบายน้ำที่ระดับลึก 1 เมตร จากผิวถนน 2.ติดตั้งท่อระบายน้ำที่ระดับลึก 2 เมตร จากผิวถนน



3.ติดตั้งท่อระบายน้ำที่ระดับลึก 3 เมตร จากผิวถนน 4.ติดตั้งท่อระบายน้ำที่ระดับลึก 4 เมตร จากผิวถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการติดตั้งท่อระบายน้ำ กับ สัดส่วนความปลอดภัยของลาดคันคลอง

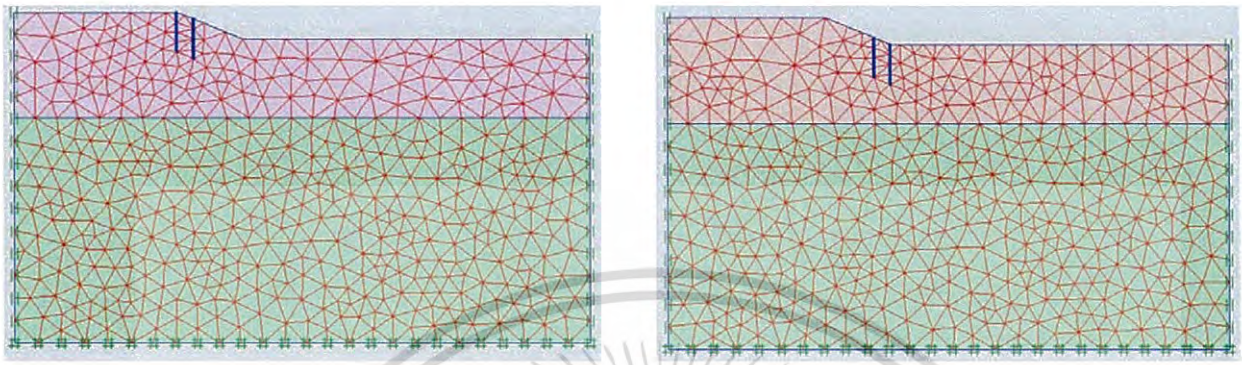
การวิเคราะห์ค่าสัดส่วนความปลอดภัยจากการติดตั้งท่อระบายน้ำในดินของลาดคันคลองในแนวระดับ (Horizontal drain) จะกำหนดให้ระยะติดตั้งที่ความลึกทุก ๆ 1 เมตร จากผิวถนนลาดคันคลอง และจากกราฟในรูปที่ 4.2 หากติดตั้งที่ความลึก 1 เมตร สัดส่วนความปลอดภัยของลาดคันคลอง (factor of safety ; FOS) จะต่ำที่สุด มีค่า 0. 958 ส่วนตำแหน่งติดตั้งท่อระบายน้ำที่ค่า สัดส่วนความปลอดภัยสูงที่สุด คือ ระดับความลึก 4 เมตร มีค่า 1.20 ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า การติดตั้งท่อระบายน้ำที่ความลึกมากขึ้น สัดส่วนความปลอดภัยของลาดคันคลอง (factor of safety ; FOS) ก็มากขึ้นตามไปด้วย

4.2.2 การติดตั้งเสาเข็ม

การติดตั้งเสาเข็มจะติดตั้ง 2 จุด คือ ด้านบนของลาดคันคลอง (top slope) และด้านล่างของลาดคันคลองที่ก้นคลอง (toe slope) เพื่อทำการเปรียบเทียบความแข็งแรงของลาดคันคลองว่าที่จุดใดให้ความแข็งแรงแก่ลาดคันคลองได้มากกว่า จะทำการติดตั้งทั้งเสาเข็มสั้นและยาว ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

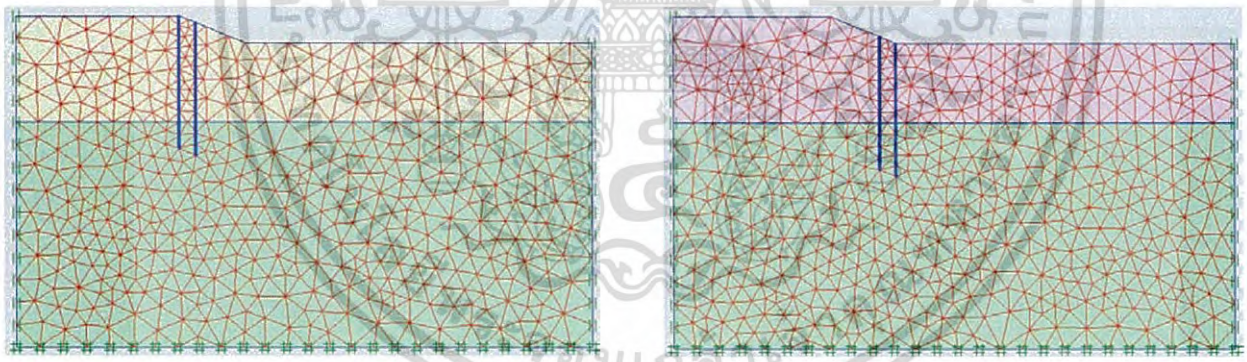
4.2.2.1 การติดตั้งเสาเข็มสั้น



Top slope FOS = 0.885 Toe slope FOS = 0.902

รูปที่ 4.3 ภาพนิ่งจากโปรแกรม Plaxis 2Dแสดงการเสียรูปของดินเมื่อติดตั้งเสาเข็มสั้น

4.2.2.2 การติดตั้งเสาเข็มยาว



Top slope FOS = 1.079 Toe slope FOS = 1.073

รูปที่ 4.4 ภาพนิ่งจากโปรแกรม Plaxis 2Dแสดงการเสียรูปของดินเมื่อติดตั้งเสาเข็มยาว

การติดตั้งเสาเข็มสั้นดังรูปที่ 4.3 ที่ top slope สัดส่วนความปลอดภัยของลาดคันคลอง (factor of safety ; FOS) เท่ากับ 0.885 มีค่าต่ำกว่าที่ toe slope ซึ่งเท่ากับ 0. 902 เพียงเล็กน้อยและทั้งสองจุดที่ติดตั้งไปแม้สามารถเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ลาดคันคลองแต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อการมีเสถียรภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการติดตั้งเสาเข็มยาวดังรูปที่ 4.4 ที่ top slope สัดส่วนความปลอดภัยมีค่า 1.079 ขณะที่ตำแหน่ง toe slope สัดส่วนความปลอดภัยมีค่า 1.073 เพียงเล็กน้อย เพราะว่าความยาวของเสาเข็มนั้นหยั่งลงไปถึงชั้นดินแข็งแต่การพังของลาดดินจะเกิดเพียงในชั้นดินอ่อนเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 3.4 ข ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าการติดตั้งเสาเข็มที่ top slope หรือ toe slope ทั้งแบบเสาเข็มสั้นและเสาเข็มยาวส่งผลให้สัดส่วนความปลอดภัยของลาดคันคลอง (factor of safety ; FOS) ไม่ต่างกันมากเมื่อเทียบกับเสาเข็มยาวที่มีความยาวเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินในกรณีที่เป็นดินเดิมและกรณีที่ปรับปรุงความแข็งแรงแก่ลาดดินด้วยโปรแกรม Plaxis 2D สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลาดดินเสียเสถียรภาพเนื่องจากการลดลงของระดับน้ำอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาสั้นๆ (Rapid Drawdown)

2. การติดตั้งท่อระบายน้ำในแนวระดับตั้งแต่ต่ำกว่าผิวถนน 2 เมตรจนถึงระดับก้นคลองช่วยเพิ่มสัดส่วนความปลอดภัยแก่ลาดดินจนสามารถป้องกันการเสียเสถียรภาพของลาดดินได้

3.การติดตั้งระบบเสาเข็มยาวและสั้นสามารถช่วยเพิ่มสัดส่วนความปลอดภัยแก่ลาดดินได้ แต่มีเพียงเสาเข็มยาวเท่านั้นที่สามารถป้องกันการเสียเสถียรภาพของลาดดินได้

4.จากผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ศึกษา พบผลลัพธ์น่าสนใจอย่างหนึ่งคือเสาเข็มสั้นสามารถเพิ่มสัดส่วนความปลอดภัยแก่ลาดดินเดิมได้เกินกว่าร้อยละ 50 ที่เสาเข็มยาวทำได้ ขณะที่เสาเข็มสั้นมีความยาวเพียงหนึ่งในสามของเสาเข็มยาวเท่านั้น

5.2 การนำไปใช้ประโยชน์

1. การเพิ่มเสถียรภาพแก่ลาดดินที่เคยเสถียรภาพมาก่อนแต่เกิดการพิบัติเนื่องจากการกัดกร่อนจนความชันลาดดินเปลี่ยนไปสามารถใช้วิธีติดตั้งระบบเสาเข็มหรือระบบระบายน้ำได้

2.การเพิ่มเสถียรภาพแก่ลาดดินในบางสถานการณ์สามารถใช้ระบบเสาเข็มสั้นแทนระบบเสาเข็มยาวได้เพื่อประหยัดราคาก่อสร้างเมื่อปัจจัยต่าง ๆเหมาะสมดังเช่นข้อสรุปที่ 4

3.ในการก่อสร้างถนนริมคันคลองสำหรับยุคนี้ สามารถป้องกันการเสียเสถียรภาพของดินได้ด้วยการวิเคราะห์รูปแบบการพังต่าง ๆในทุก ๆสภาวะด้วยโปรแกรม Plaxis ในการหาแนวทางป้องกันตั้งแต่ก่อนก่อสร้างเพื่อลดความเสียหายต่าง ๆที่อาจตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ในการเก็บข้อมูลภาคตัดขวางของงานสำรวจสามารถใช้การหย่อนท่อ PVC ในแนวดิ่งโดยตรงแทนการใช้ลูกดิ่งได้ เมื่อน้ำไม่เชี่ยวมากไป

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

1.การเก็บข้อมูลภาคตัดขวางของคลองทำได้ค่อนข้างยากเนื่องจากน้ำมีการไหลตอลดเวลาทำให้ต้องใช้เวลานานกว่าจะได้ข้อมูลหนึ่งหน้าตัด ดังนั้นจึงได้ข้อมูลเพียงหน้าตัดละหนึ่งชุดเท่านั้น

2.ข้อมูลดินที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเมื่อสองปีก่อน แต่คุณสมบัติของดินในเวลาที่ทำการศึกษาอาจมีการเปลี่ยนแปลงไปก็เป็นได้ จึงอาจส่งผลให้ข้อมูลไม่เที่ยงตรงเพียงพอ

3.โปรแกรม Plaxis 2D เป็นการจำลองสถานการณ์ในสองมิติดังนั้นความเสมือนจริงอาจมีการคลาดเคลื่อนจากสถานการณ์จริงบ้าง

4.การนำข้อมูลดินบางอย่างมาวิเคราะห์เป็นการพิจารณาเลือกข้อมูลตัวแทนของดินแต่ละประเภทไม่ใช่ของดินจริง ได้แก่ ค่ายังโมดูลัส ค่าอัตราส่วนปัวซองและมุมเสียดทานภายในของเม็ดดิน ดังนั้นผการวิเคราะห์อาจมีการคลาดเคลื่อนบ้าง

5.4 ข้อเสนอแนะ

1.ควรมีเวลาและสิ่งอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคตัดขวางคลองเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้น

2.ควรนำข้อมูลดินปัจจุบันมาวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เที่ยงตรงมากขึ้น

3.ควรมีการทดสอบหาคุณสมบัติค่ายังโมดูลัส ค่าอัตราส่วนปัวซองและมุมเสียดทานภายในของเม็ดดิน ของดินจริงแทนข้อมูลตัวแทนเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

หนังสือปฐพีกลศาสตร์ อาจารย์พรพจน์ ตันเส็ง

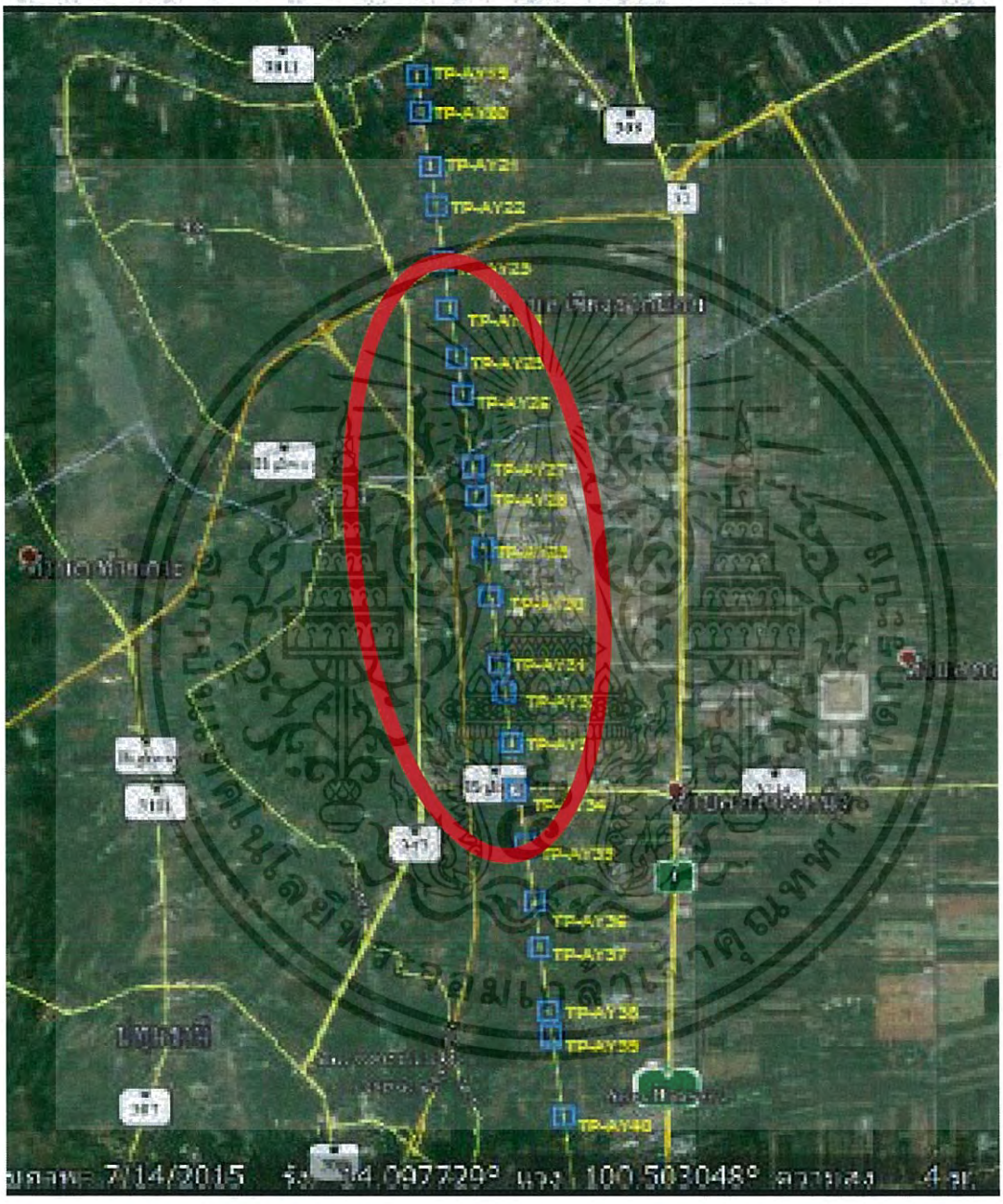
เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ เลขบทความที่ วศ.ปฐพีและฐานราก 58/02 การพิบัติของถนนริมคลองกรณีภัยแล้ง พ.ศ. 2558 โดย รศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมปฐพีและฐานราก หน่วยวิจัยการออกแบบและวิจัยด้านวิศวกรรมปฐพี ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 13 กรกฎาคม 2558

ปฐพีกลศาสตร์ประยุกต์และวิธีไฟไนท์อีลิเมนต์ ดร. ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์วุฒิวิศวกร

http://www.twoplussoft.com/PLAXIS+2D/index.html#tab0-tab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก พื้นที่ที่ทำการสำรวจ

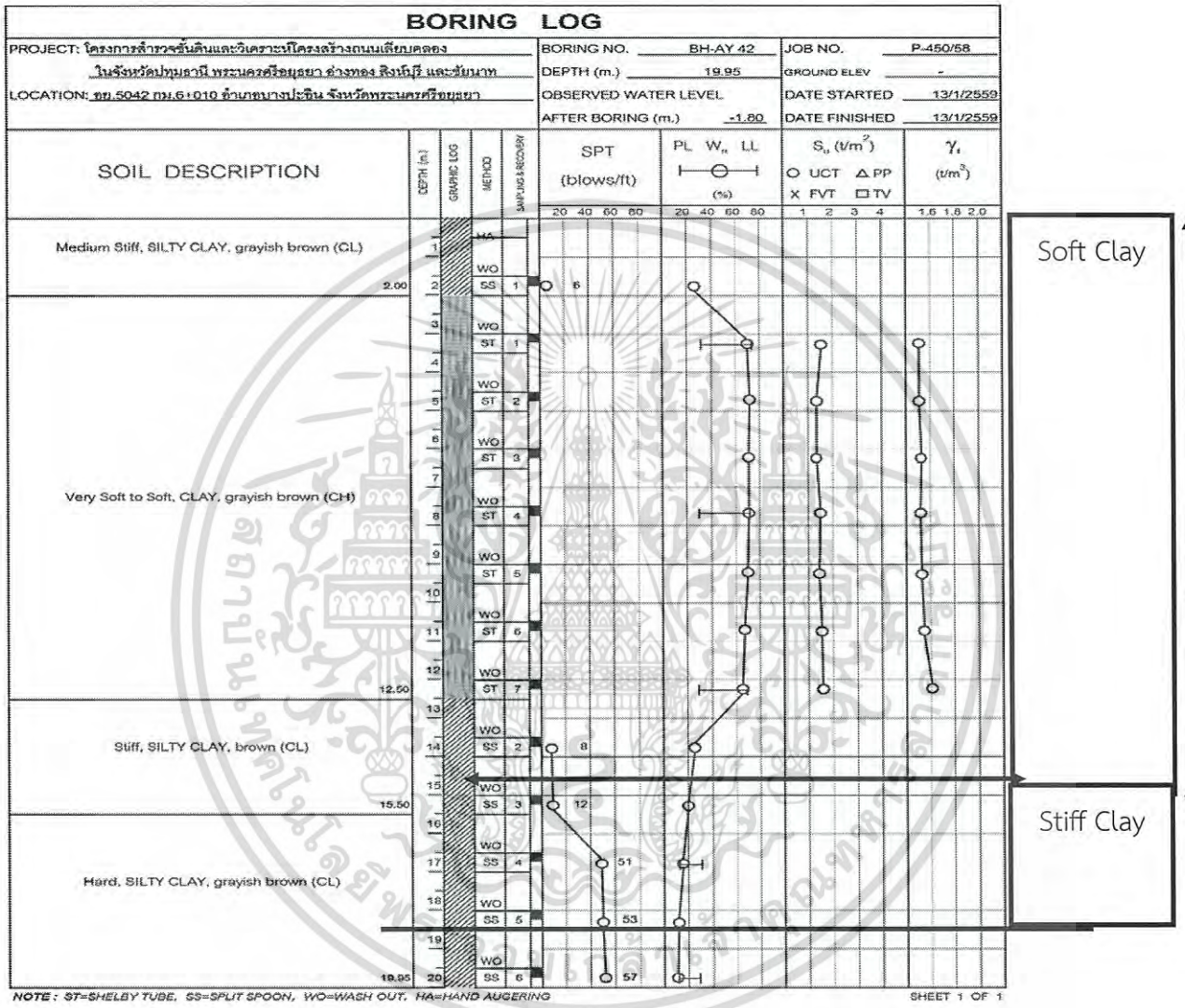


Credited by : T S N ENGINEERING CONSULTANT CO.,LTD.

ภาพขยายแสดงตำแหน่งที่ทำการเจาะสำรวจข้อมูลดิน (วงด้วยสีแดง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ข้อมูลดิน(Boring Log)

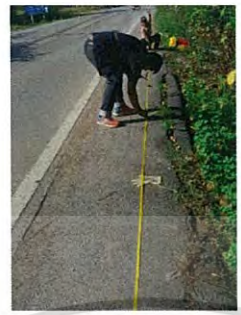


17

ภาพแสดงข้อมูลดิน ณ จุดที่สภาพดินอ่อนที่สุดซึ่งนำมาใช้วิเคราะห์ผลในโปรแกรม Plaxis 2D จากรูปสังเกตเห็นได้ว่าที่ความลึก 0-1.8 เมตร เป็นผิวดิน ส่วนที่ความลึก 1.8-13 เมตร ค่า water content สูงมากจนดินเกือบกลายสภาพเป็นของเหลว และที่ความลึก 13-17 เมตร ค่า water content ลดต่ำลงมากแต่เมื่อเทียบค่า SPT กับ ดินที่ความลึก 17 เมตรเป็นต้นไปค่า SPT สูงมาก ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงแบ่งดินเป็นสองชั้น ได้แก่ ดินอ่อนใช้ข้อมูลดินที่ความลึก 0-17 เมตร และดินเหนียวแข็งที่ความลึก 17 เมตรเป็นต้นไป

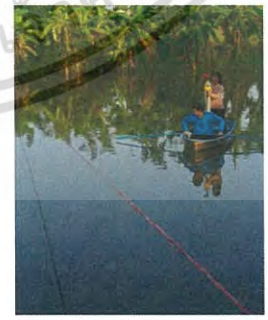
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค งานสำรวจภาคสนาม



ภาพแสดงการวัดระยะจากตำแหน่งอ้างอิงบนถนนเดิม เพื่อหาจุดอ้างอิงใหม่ในการตั้งกล้อง Total Station

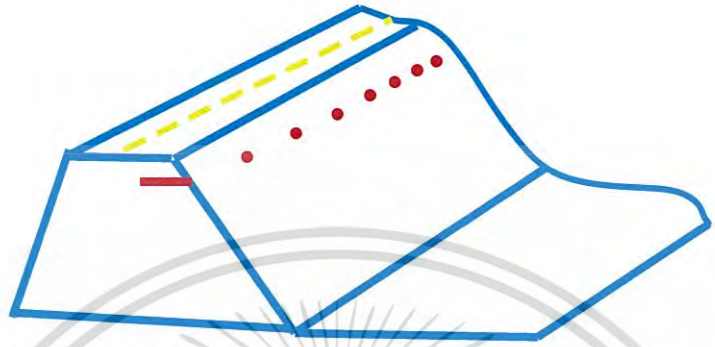
ภาพแสดงการส่องกล้อง Total Station เพื่อเก็บข้อมูลหน้าตัดขวางของคลอง



ภาพแสดงการล่องเรือเพื่อวัดระดับความลึกของก้นคลองมาวาดเป็นกราฟแสดงหน้าตัดคลองในภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง ภาพแสดงการติดตั้งอุปกรณ์เสริมความแข็งแรงแก่ลาดดิน



ภาพจำลองแสดงการติดตั้งระบบระบายน้ำในแนวราบแก่ลาดดิน

ภาพจำลองแสดงการติดตั้งเสาเข็มในหน้างานจริง(รูปทางซ้าย) และภาพจำลองแสดงลักษณะเสาเข็มแบบต่อเนื่องตลอดความยาวเพื่อวิเคราะห์ในโปรแกรม(รูปทางขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้