

การเลือกใช้ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินสำหรับการออกแบบความลาดเหมืองถ่านหิน
กรณีศึกษา บ่อเหมืองบางหมาก , จังหวัดกระบี่

SELECTION ON SHEAR STRENGTH PARAMETERS OF COAL MINE SLOPE DESIGN
FOR CASE STUDY AT BANGMARK , KRABI PROVINCE



โดย

นายรัฐพร นวกิจรังสรรค์

นายวิหวัติ สีนประเสริฐวงศ์

นายสรสิทธิ์ กิตติวงศ์โสภณ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....33946
วัน, เดือน, ปี.2.3.ก.ย. 2542

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา เทคโนโลยีการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกา ประจำปีการศึกษา 2541 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SELECTION ON SHEAR STRENGTH PARAMETERS OF COAL MINE SLOPE DESIGN
FOR CASE STUDY AT BANGMARK , KRABI PROVINCE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT
OF REQUIREMENTS FOR BACHELOR'S DEGREE
OF CONSTRUCTION ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHMOLOGY LADKRABANG

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ การเลือกใช้กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินสำหรับการออกแบบความลาด
เหมืองถ่านหิน กรณีศึกษา บ่อเหมืองบางหมาก จังหวัดกระบี่

นักศึกษา นายรัฐพร นวกิจรังสรรค์ รหัสประจำตัว 38014235

นายวิทวุฒิ สีนประเสริฐวงศ์ รหัสประจำตัว 38014462

นายสรสิทธิ์ กิตติวงศ์โสภณ รหัสประจำตัว 38014540

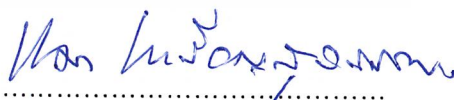
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ อุบะ ศิริแก้ว

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
อาจารย์ อำนวย พานิชกุลพงศ์	
อาจารย์ อุบะ ศิริแก้ว	
อาจารย์ แผลมทอง เหล่าคงถาวร	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร. แดง เหริยญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถลุล่วงสำเร็จลงได้นั้น มิได้เกิดจากคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษเพียงลำพัง จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณบุคคลผู้มีส่วนที่ทำให้โครงการพิเศษนี้บรรลุผลสำเร็จด้วยดี ดังนี้

บริษัท ปัญญาคอนซัลแตนท์ ที่อนุเคราะห์โปรแกรม slope/w ในการทำโครงการพิเศษ
อาจารย์ อุบะ ศิริแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาซึ่งให้คำแนะนำที่ดีตลอดมา สอนให้รู้จักกระบวนการทำงานอันเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ที่จะใช้ในการทำงานตลอดไปในอนาคต

คุณ วิสันต์ ต้นทิกุล ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล อำนวยความสะดวกในการติดต่อกับ กฟผ. และให้แนวทางในการทำโครงการพิเศษ

คุณประหยัด นิคมภักดิ์ ที่ให้คำปรึกษา และสอนโปรแกรม Slope/w
ที่ ๆ เจ้าหน้าที่ของ กฟผ. ประจําบ่อเหมืองบางหมาก จังหวัดกระบี่ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกและช่วยเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำกลับมาทดสอบ

อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้อง Lab ใช้ในการทำงาน และอุปกรณ์ในการทำโครงการพิเศษ

อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ตลอดจนคุณครู อาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้, อบรมจริยธรรม ศีลธรรม คุณธรรม ตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมา จึงทำให้มีวันนี้

เพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ร่วมทุกข์ร่วมสุข ให้คำแนะนำที่ดีตลอดระยะเวลา 3 ปี
ขอบคุณบทเพลงทุกบทเพลงที่ให้กำลังใจและคลายเหงาในช่วงเวลาค่าคืนตลอดระยะเวลา
การทำโครงการพิเศษ

สุดท้ายนี้ที่จะลืมเสียมิได้คือ บุพการี ญาติพี่น้อง บุคคลซึ่งทำสิ่งที่ยิ่งใหญ่และดีที่สุดในชีวิตของผู้จัดทำโครงการพิเศษที่ผ่านมา

กราบขออภัยบุคคลผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวถึง ณ. ที่นี้ แต่ยังคงระลึกถึงตลอดไป

นายรัฐพร นวกิจรังสรรค์

นายวิวัฒน์ สิ้นประเสริฐวงศ์

นายสรสิทธิ์ กิตติวงศ์โสภณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินสำหรับการออกแบบความลาดเหมืองถ่านหิน
กรณีศึกษาบ่อเหมืองบางหมาก จังหวัดกระบี่

SELECTION ON SHEAR STRENGTH PARAMETERS OF COAL MINE SLOPE
DESIGN FOR CASE STUDY AT BANGMARK , KRABI PROVINCE

โดย นายณัฐพร นวกิจรังสรรค์
นายวิทวัติ สีนประเสริฐวงศ์
นายสรสิทธิ์ กิตติวงศ์โสภณ

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อุษะ ศิริแก้ว

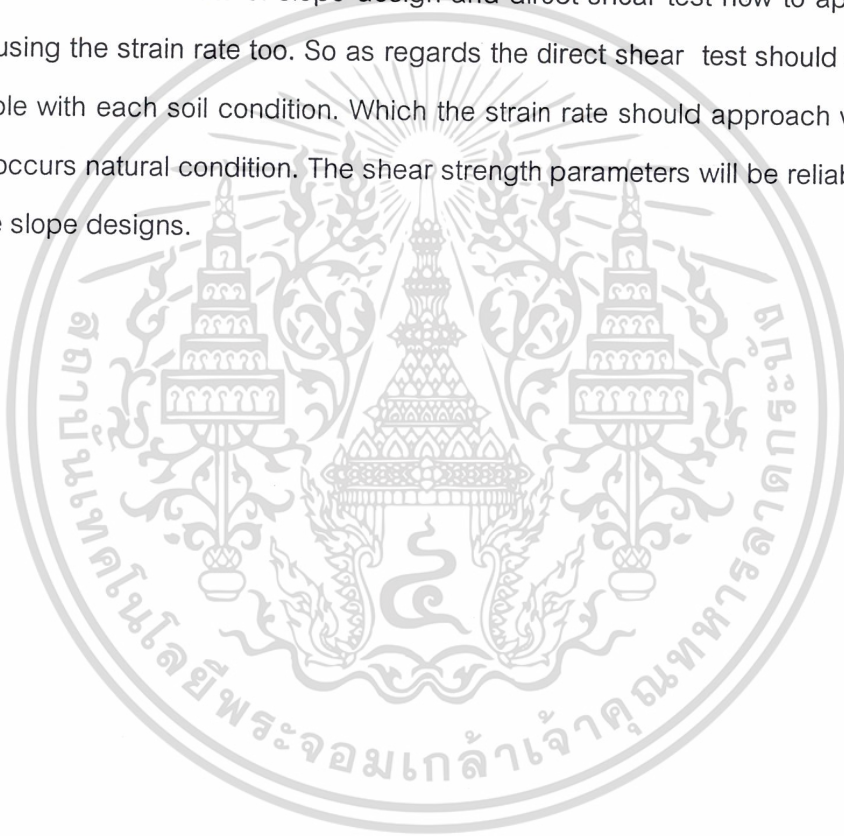
บทคัดย่อ

การขุดเปิด slope ของเหมืองถ่านหินให้ปลอดภัยและได้ปริมาณถ่านหินมากขึ้นจะขึ้นกับการออกแบบเหมือง ซึ่งการออกแบบดังกล่าวจะขึ้นกับค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน โดยสมมติให้ระนาบการพังทลายผ่าน toe ของ slope เปรียบได้กับการทดสอบค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินโดยวิธีการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง ซึ่งทำการทดสอบโดยใช้ค่าอัตราการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ผลจากการทดสอบ พบว่าการเลือกใช้ค่าอัตราการเคลื่อนที่ตัวที่ต่างกันในการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงนั้น จะทำให้ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินมีค่าแตกต่างกันด้วย ดังนั้นจึงต้องทำการเลือกค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่เหมาะสม โดยสามารถทำการตรวจสอบได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมของแรงเสียดทานภายใน(ϕ) และค่าแรงยึดเหนี่ยว(C) ที่ Factor of Safety ต่างๆ กัน และอาจทำการตรวจสอบอีกครั้งได้จากค่าอัตราการเคลื่อนที่ตัวของ slope ที่ออกแบบไว้กับค่าอัตราการเคลื่อนที่ตัวที่ใช้ในการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงว่ามีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ เพื่อเป็นการยืนยันถึงค่าอัตราการเคลื่อนที่ตัวที่เลือกใช้ด้วย ดังนั้นในการทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินโดยวิธีการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง ควรเลือกใช้ค่าอัตราการเคลื่อนที่ตัวในการทดสอบให้เหมาะสมกับสภาพของดินแต่ละชนิด เพื่อให้อัตราการเคลื่อนที่ตัวที่เลือกใช้นั้นใกล้เคียงกับอัตราการเคลื่อนที่ตัวในสภาพจริงตามธรรมชาติ ซึ่งจะทำให้ได้ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินที่น่าเชื่อถือสำหรับใช้ในการออกแบบ slope เหมืองถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

The safeties in open-pit coal mine slope and having maximum products depend on mine slope designs. As mentioned designs depend on shear strength parameters of soil. By the way ,the failure surfaces were assumed to occur through the toe of slope. It compares to the Direct Shear Test that use different strain rate. The result of testing was found that different strain rate effect to change of shear strength parameters of soil. So selection on shear strength parameters of soil is suitable. It can check from graphs that show relationship between friction angle (ϕ) and cohesion (C) at varied factor of safety. And maybe recheck strain rate of slope design and direct shear test how to approach. It will confirm using the strain rate too. So as regards the direct shear test should use strain rate is suitable with each soil condition. Which the strain rate should approach with strain rate while it occurs natural condition. The shear strength parameters will be reliable values for coal mine slope designs.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
สารบัญ	iv
สารบัญรูป	vi
สารบัญตาราง	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ทิวไป	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ลักษณะการพังทลายของความลาด	3
2.2 Shear Strength Parameter	6
2.3 สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการพังทลายของทางลาด	9
2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มค่าแรงเฉือน	9
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการลดค่าแรงเฉือน	10
2.4 วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาด	12
2.4.1 Simplified Bishop Method	12
2.4.2 Morgenstern and Price's Method	15
2.4.3 Finite – Element Method	17
2.5 โปรแกรม SLOPE / W	18
2.5.1 ขั้นตอนการใช้งาน	19
2.6 Circular Failure Charts	20
2.6.1 ที่มาของ Circular Failure Charts	20
2.6.2 ขั้นตอนการใช้ Circular Failure Charts	20
2.6.3 การวิเคราะห์ย้อนกลับโดยใช้ Circular Failure Charts	21
2.7 ขั้นตอนการเปิดเหมือง	21
2.8 การพิจารณารถุดดินเพื่อหาระยะ bench ของ slope	24
2.9 ปัจจัยในการเลือกความลาด	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3	วิศวกรรมธรณีวิทยาของบ่อเหมืองบางหมาก	28
3.1	ลักษณะทั่วไป	28
3.2	ธรณีวิทยาแหล่งถ่านลิกไนต์ บ่อเหมืองบางหมาก	28
3.3	Stability Calculation	29
3.4	Slope Monitoring	31
บทที่ 4	วิธีการศึกษา	32
4.1	การรวบรวมข้อมูล	32
4.2	การสำรวจด้านสนามและเก็บตัวอย่างดิน	32
4.3	การทดสอบในห้องทดลอง	33
4.4	การวิเคราะห์เสถียรภาพ	33
บทที่ 5	ผลการศึกษาและวิเคราะห์	35
5.1	ลักษณะทั่วไป	35
5.2	คุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดิน	35
5.3	ผลการทดสอบ Direct Shear Test	36
5.4	สาเหตุการเลือกใช้ข้อมูลในสถานะ Nature แทนการเลือกใช้ Saturation	38
5.5	การเลือกใช้ Strain Rate ที่เหมาะสมโดยใช้กราฟ	40
5.6	การวิเคราะห์หาค่า Factor of Safety (FS.) ที่มุม overall slope ต่าง ๆ	45
5.7	การเลือกค่าความสูงของ Bench	47
5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างมุม overall slope กับปริมาตรดินขุด	50
5.9	การออกแบบ Slope	52
5.10	การตรวจสอบ Strain Rate ที่เกิดขึ้นจริงโดยวิธี Overburden	53
บทที่ 6	สรุปผลและเสนอแนะ	56
6.1	สรุปผล	56
6.2	เสนอแนะ	57
ภาคผนวก ก.		58
ภาคผนวก ข.		85
บรรณานุกรม		99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงการเกิดการพังทลายแบบ Topple ใน Jointed bedrock (Alan E. Kehew , n.d.)	3
2.2	แสดงลักษณะการพังทลายแบบ slide ที่มีรูปร่างผิวการพังทลายเป็นส่วนโค้ง (Alan E. Kehew , n.d.)	4
2.3	แสดงการพังทลายแบบ lateral spread ซึ่งมีสาเหตุมาจากการไหลออกของชั้นดินที่มีความอ่อนแอข้างใต้ทำให้เกิดการพังทลายอย่างรวดเร็ว (Alan E. Kehew , n.d.)	5
2.4	แสดงการไหลอย่างรวดเร็ว หรือ earth flow (Alan E. Kehew , n.d.)	6
2.5	สาเหตุความพิบัติของงานดินต่างระดับ (มานะ อภิพัฒนมนตรี , 2538)	11
2.6	แสดงการวิเคราะห์ความมั่นคงโดยวิธี Simplified Bishop (มานะ อภิพัฒนมนตรี , 2538)	12
2.7	แผนภูมิระหว่างค่าของ m_s กับมุม α สำหรับ Simplified Bishop Method (มานะ อภิพัฒนมนตรี , 2538)	15
2.8	แรงที่กระทำบนพื้นที่แต่ละส่วนโดย Morgenstern and Price's Method (Yang H. Huang , 1983)	15
2.9	แสดงความดัน ณ ตำแหน่งพื้นผิวการพิบัติ (Yang H. Huang , 1983)	17
2.10	แสดงการใช้ Circular Failure Charts (E. Hoek and J.W. Bray , 1981)	21
2.11	แสดงขั้นตอนการเปิดเหมือง (Koehter S. Stout , 1960)	23
2.12	แสดงส่วนประกอบของรถขุดตักแบบตักเข้าหาตัวรถ (ดิเรก ลาวัญศิริ , 2538)	24
2.13	แสดงขอบเขตการทำงานของรถขุดตักแบบตักเข้าหาตัวรถ (ดิเรก ลาวัญศิริ , 2538)	25
5.1	แสดงค่า shear strength ของดิน	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.2	แสดงการหาค่า Factor of Safety ระหว่างสภาวะ Saturated และ Natural	38
5.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear strength และ slope angle ที่ FS. แตกต่างกันสำหรับสภาวะ Natural (H = 100 m)	40
5.4	ค่า Factor of Safety ที่ได้จากการคำนวณด้วย Slope/w	41
5.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Factor of Safety กับค่ามุม Overall Slope ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	46
5.6	กราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงของปริมาณดินซุดเมื่อความสูงของ Bench เปลี่ยนแปลง	48
5.7	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินซุดและ Overall Slope	51
5.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินซุดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ Overall Slope ที่ 26°	51
5.9	รูปแสดงการออกแบบ Slope ที่มุม Overall $28^\circ - 32^\circ$ ความสูงของ Bench = 10 เมตร ความกว้างของ Bench = 4 เมตร	53
ก.1	แสดงการหาค่า Factor of Safety ของ overall slope $26^\circ - 34^\circ$ ที่ความสูงของ bench ต่าง ๆ	78
ข.1	แสดงลักษณะการพังทลายของความลาดโดยแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ (Huang A.E., n.d.)	86
ข.2	แสดงลักษณะการพังทลายของความลาดโดยแบ่งออกเป็น 5 ลักษณะ (มานะ อภิพัฒนะมนตรี, 2539)	87
ข.3	แสดงสภาพการไหลของระดับน้ำใต้ดินสำหรับนำไปใช้ใน Circular Failure Chart (Hoek E. and Bray J.W., 1981)	88
ข.4	Circular Failure Chart Number 1 (Hoek E. and Bray J.W., 1981)	89
ข.5	Circular Failure Chart Number 2 (Hoek E. and Bray J.W., 1981)	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข.6	Circular Failure Chart Number 3 (Hoek E. and Bray J.W., 1981)	91
ข.7	Circular Failure Chart Number 4 (Hoek E. and Bray J.W., 1981)	92
ข.8	Circular Failure Chart Number 5 (Hoek E. and Bray J.W., 1981)	93
ข.9	แนวการวางตัวของบ่อเหมืองบางหมาก และ Structural Contour ระดับพื้นของชั้นลิกไนต์ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541)	94
ข.10	ลักษณะของบ่อเหมืองบางหมากในปัจจุบัน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541)	95
ข.11	แสดงลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของบ่อเหมืองบางหมาก โดยถ่ายภาพจากทิศใต้ไปทิศเหนือ	96
ข.12	แสดงระดับปัจจุบันของบ่อเหมืองบางหมาก	96
ข.13	แสดงความลาดเดิมของบ่อเหมืองบางหมากที่ระดับ -7.50 เมตร โดยถ่ายภาพจากทิศเหนือไปทิศใต้	97
ข.14	แสดงการเปลี่ยนแปลงชั้นดินจาก SW ไปเป็น CL อย่างชัดเจน ที่ระดับ -10.00 เมตร	97
ข.15	แสดงวิธีเก็บตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบ	98
ข.16	แสดงตัวอย่างที่เก็บเรียบร้อยแล้ว	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงจำนวนตัวแปรต่าง ๆ ที่ไม่รู้ค่าของ Morgenstern and Price's Method (Huang Y.H., 1983)	17
2.2	ค่าความปลอดภัยที่แนะนำในการเปิดเหมือง (Stout K.S., 1980)	22
2.3	ค่าสัมประสิทธิ์ของความจุ (ดิเรก ลาวณิชย์ศิริ, 2538)	26
3.1	สรุปค่า shear strength parameter ของดินชั้นต่าง ๆ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2541)	29
5.1	แสดงค่าคุณสมบัติของดิน	36
5.2	แสดงค่า shear strength ของดินที่ strain rate ต่าง ๆ กัน	36
5.3	แสดงการเปรียบเทียบค่า Factor of Safety ระหว่าง Saturated กับ Natural Condition	39
5.4	แสดงค่าสรุป Factor of Safety ที่ได้จากการคำนวณโดย Slope/w	44
5.5	แสดงการเปรียบเทียบค่า Factor of Safety ของ Strain Rate 0.30 & 1.14 mm/min ที่ได้จากการ Slope/w กับ กราฟ	44
5.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Factor of Safety กับค่ามุม Overall Slope ที่ความสูงต่าง ๆ กัน	45
5.7	แสดงค่า Factor of Safety เมื่อความสูงของ Bench เปลี่ยนไป	49
5.8	แสดงปริมาณดินขุดที่เปลี่ยนไปเมื่อมุม Overall Slope เพิ่มขึ้น	50
5.9	แสดงปริมาณดินขุดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเมื่อเทียบกับปริมาณดินขุดที่ Overall Slope ที่ 26°	51
5.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Overall Slope , Strain Rate ที่ใช้ในการออกแบบ และ Strain ที่เกิดขึ้นจริง	55
ก.1	ผลการทดลองหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weigth) ของ well graded sand	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญัตินี้ (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.2	ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil Solid) ของ well graded sand	60
ก.3	ผลการทดลองหาความชื้น (Water Content) , พิกัดเหลว (Liquid Limit) , พิกัดพลาสติก (Plastic Limit) ของ well graded sand	61
ก.4	ผลการทดลองหาขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) ของ well graded sand	62
ก.5	ผลการทดลองหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weight) ของ clay	63
ก.6	ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil Solid) ของ clay	64
ก.7	ผลการทดลองหาความชื้น (Water Content) , พิกัดเหลว (Liquid Limit) , พิกัดพลาสติก (Plastic Limit) ของ clay	65
ก.8	ผลการทดลองหาค่า Shear Strength โดยวิธี Direct Shear ของ well graded sand และ clay ที่ strain rate 0.30 และ 1.14 mm/min	66
ข.1	แสดงการแบ่งแยกลักษณะการพังทลายของความลาด (Huang A.E., n.d.)	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ทัวไป

ความสำคัญในการทำเหมืองแร่ นอกจากจะเป็นการขุดเอาทรัพยากรที่มีอยู่ในธรรมชาติอันได้แก่ ถ่านหิน มาใช้ประโยชน์แล้ว ความปลอดภัยของคนงานและเครื่องมือเครื่องจักรในการทำงานก็มีความสำคัญต่อการทำงาน ซึ่งส่วนที่จะมีผลกระทบโดยตรงต่อการทำเหมือง คือ ลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นดิน (Geological of soil) อันจะส่งผลต่อเสถียรภาพความลาดชันของดิน นอกจากลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นดินแล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่นๆที่จะมีผลต่อเสถียรภาพความลาดชันของดิน ได้แก่ ระดับน้ำใต้ดิน (Water level), คุณสมบัติของดิน (Soil Property), น้ำหนักบรรทุกกระทำ (Machine load, Earth quake), รูปทรงเรขาคณิตของความชัน (Slope Geometry) และอื่นๆอีกมากมาย

สำหรับกรณีศึกษาบ่อเหมืองบางหมาก จ.กระบี่ ซึ่งเป็นเหมืองที่ผลิตถ่านหินลิกไนต์ เพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า ได้เกิดปัญหาการพังทลายของผนังของเหมืองด้าน Low-wall อันส่งผลให้การดำเนินการผลิตถ่านหินเกิดการหยุดชะงักได้ เนื่องจากการออกแบบเสถียรภาพทางลาดที่เลือกใช้ค่า strain rate ในการทดลองไม่ใกล้เคียงกับสภาพที่เป็นจริงตามธรรมชาติ จึงส่งผลให้การคำนวณความปลอดภัยมีความคลาดเคลื่อนได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) รวบรวมข้อมูลที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์หาเสถียรภาพความลาดชัน อันประกอบด้วยลักษณะทางธรณีวิทยา , ระดับน้ำใต้ดิน , ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกลของดิน และลักษณะรูปแบบการวิบัติของความลาดชัน (slope failure) ซึ่งทำการศึกษา กรณีบ่อเหมืองบางหมาก
- 2) พิจารณาหารูปแบบการพังทลายที่เกิดขึ้นก่อนหน้าในบ่อเหมืองบางหมาก
- 3) รวบรวมข้อมูลคุณสมบัติของดิน สำหรับดินในแต่ละชนิด ซึ่งได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ
- 4) รวบรวมข้อมูลการทดสอบ Direct Shear ณ ค่า strain rate ต่าง ๆ กัน โดยใช้ดินทรายและดินเหนียวในการทดสอบ
- 5) วิเคราะห์การเลือกใช้ strain rate ที่เหมาะสมในการออกแบบผนังบ่อเหมือง
- 6) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละชนิดที่มีผลต่อค่าความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) วิเคราะห์และออกแบบผนังบ่อเหมืองให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด ซึ่งหาได้โดยเทียบกับค่ามุม overall slope ที่แตกต่างกัน

8) วิเคราะห์การเลือกใช้ strain rate โดยวิธีอื่น ๆ เพื่อความเหมาะสมในการออกแบบเสถียรภาพทางลาดชั้นของดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ลักษณะการพังทลายของความลาด

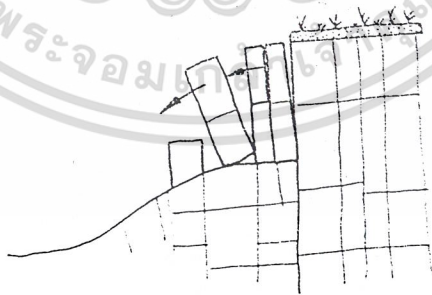
รูปแบบการพังทลายของทางลาด แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

1) Fall and Topples

เป็นลักษณะการพังทลายของ หิน,ดิน ที่ทับถมกันบริเวณผิวทางลาด และเกิดเคลื่อนที่พัง โดยการตกอย่างอิสระ หรือจะเคลื่อนที่ม้วนลงมา เรียกว่า การพังทลายแบบ “ Fall “ มักเกิดกับหินในลักษณะที่หินขนาดใหญ่วางตัวอยู่ในลักษณะที่เป็นยอดแหลม ได้รับการกระทบกระเทือน ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวเนื่องจากแผ่นดินไหว สำหรับการพังทลายแบบ Fall ในส่วนของดินมักเกิดจากการกัดเซาะของแม่น้ำ ทำให้เกิดการหล่นแบบอิสระของดิน

Topples เป็นการเคลื่อนที่พังทลายแบบหมุน ลักษณะของการพังทลายแบบ Topple เป็นการหมุนเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของก้อนวัสดุที่พังทลายโดยจะมีจุดที่ยึดใกล้บริเวณฐานของก้อนวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 Topple จะเกิดในหินหรือดินที่มีรอยแตก, รอยแยก ในแนวตั้ง หรือจุดต่อวางตัวขนานกับผิวทางลาด โดยจะมีลักษณะเป็นแผ่นวัสดุบางๆ ซึ่งจะถูกรัดแน่นด้านข้างผลักดันทำให้เกิดการพังทลายขึ้น ได้แก่ แรงดันเนื่องจากวัสดุ (ดิน,หิน) ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง , แรงผลักดันเนื่องจากการแข็งตัวของน้ำ , แรงเนื่องจากการขยายตัวของรอยแตก (cracks) ถ้าฐานของแผ่นวัสดุเหล่านี้ถูกยึดติดไว้จะทำให้เกิดโมเมนต์ (overturning moment) ทำให้เกิดการพังทลายแบบ Topple ดังรูปที่

2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิดการพังทลายแบบ Topple ใน Jointed bedrock (Kehew A.E., n.d.)

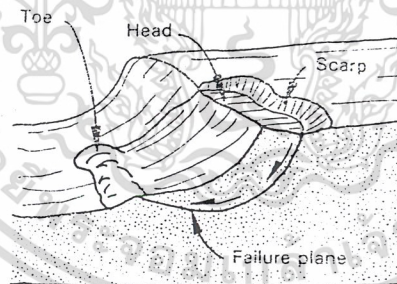
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Slides

ลักษณะของการพังทลายแบบ Slides เป็นการพังทลายที่พบได้บ่อยครั้ง เกิดเนื่องจากแรงเฉือน (shear) ระหว่างมวลที่เคลื่อนที่พังลงมาที่วัสดุที่เป็นฐานรองรับไม่สามารถรองรับทางลาดได้ ซึ่งลักษณะที่แตกต่างกันระหว่างการพังทลายแบบ Slides กับ การพังทลายแบบ Flow คือ การพังทลายแบบ Slides จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของมวลดินที่เกิดการเคลื่อนตัว (deformation) หรือ ถ้าเกิดก็น้อยมาก แต่ถ้าเป็นการพังทลายแบบ Flow จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของมวลโดยสิ้นเชิงในช่วงการเคลื่อนตัว (movement)

นอกจากนั้นลักษณะของการพังทลายแบบ Slides ยังแบ่งออกตามลักษณะของผิวการเคลื่อนตัว โดยลักษณะผิวการเคลื่อนตัวโดยปกติจะเป็น เส้นโค้ง (curve) หรือโค้งวงกลม (circular) ดังรูปที่ 2.2 ลักษณะการเคลื่อนตัวดังกล่าวนี้มักเกิดในดินหรือหินที่มีค่าหน่วยแรงเฉือนต่ำๆ (low shear strength) ลักษณะการพังทลายเช่นนี้จะทำให้เกิดรอยตัดขึ้นบริเวณหัวของการเคลื่อนตัว เรียกว่า scarp

ถ้าผิวของการพังทลายมีความราบมากกว่า การพังทลายแบบส่วนโค้ง (curve) ผลก็คือ จะทำให้เกิดลักษณะการเคลื่อนตัวแบบ translational slide ในกรณีของการพังทลายที่เกิดในหิน การพังทลายที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนตัวของหินแต่ละก้อน ซึ่งจะประกอบด้วยหินหลายๆขนาด ในความเป็นจริงแล้วรูปร่างการเคลื่อนตัวจะเกิดบริเวณชั้นหินที่มีความอ่อนแอหรือรอยตำหนิ และจะเป็นอันตรายอย่างยิ่งถ้าระนาบที่มีความอ่อนแอวางตัวอยู่ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของทางลาด

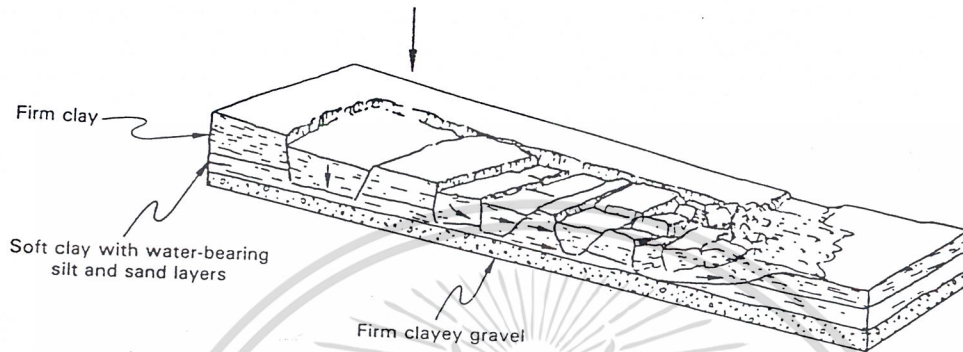


รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการพังทลายแบบ slide ที่มีรูปร่างผิวการพังทลายเป็นส่วนโค้ง (Kehew A.E., n.d.)

3) Lateral Spreads

Lateral Spreads เป็นการเคลื่อนตัวของหินหรือมวลดิน โดยจะใช้เวลาการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ไปจนถึงการเคลื่อนตัวแบบทันทีทันใด การไหลของชั้นดินที่มีความอ่อนแอ เป็นสาเหตุส่วนใหญ่ของการพังทลายแบบ Lateral Spreads วัสดุที่มีความแข็งแรงที่วางตัวอยู่ในระนาบการพังทลายจะไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีลักษณะเป็นแผ่น และจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation) แต่อาจจะมีการแตกหักเกิดขึ้นบ้างเนื่องจากการขยายออกของพื้นผิว โดยเฉพาะเมื่อวัสดุที่มีความแข็งแรงวางตัวอยู่บนชั้นดินเหนียวที่มีความไวต่อการรบกวน (sensitive clay) โดยที่ค่าหน่วยแรงเฉือน (shear strength) ของดินเหนียวมีแนวโน้มที่จะลดลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการจัดเรียงโครงสร้างของดินเหนียวใหม่



รูปที่ 2.3 แสดงการพังทลายแบบ lateral spread ซึ่งมีสาเหตุมาจากการไหลออกของชั้น ดินที่มีความอ่อนแอข้างใต้ทำให้เกิดการพังทลายอย่างรวดเร็ว (Kehew A.E., n.d.)

ปรากฏการณ์แผ่นดินไหว จะทำให้เกิดการไหลได้อย่างทันทีสำหรับดินเหนียวที่ไวต่อการรบกวน (sensitive clay) สำหรับสาเหตุอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดการไหลของชั้นดินอ่อน เช่น การระเบิด แรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรขนาดใหญ่

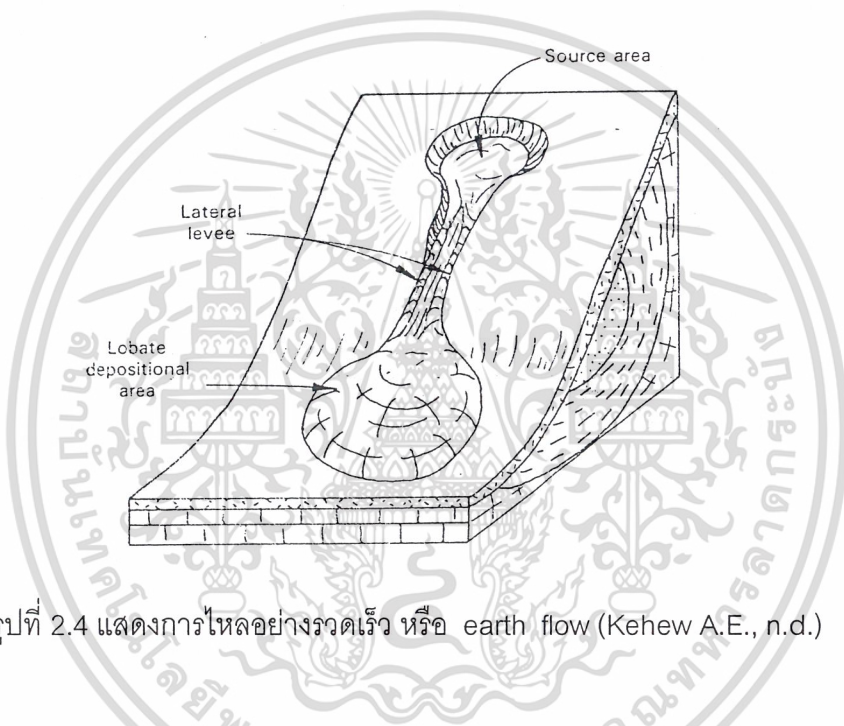
4) Flows

การเคลื่อนตัวแบบ Flow เป็นการพังทลายที่มีความซับซ้อนมาก ซึ่งสามารถเกิดขึ้นในดินหรือหินหลายประเภทที่มีการแสดงคุณสมบัติที่มีความเหนียวหนืด หรือมีพฤติกรรมเป็นพลาสติก (plastic) หลักการของการเคลื่อนที่แบบ Flow คือ จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายในทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของวัสดุ

เมื่อการเคลื่อนที่แบบ Flow ไหลไปอย่างช้า ๆ จนจบกระบวนการบางครั้งจะเรียกว่า การ creep หรือการคลาน จะปรากฏในหินซึ่งจะใช้ระยะเวลาในการดำเนินกระบวนการนาน ปรากฏการณ์การ creep มักมีการเตือนก่อนล่วงหน้าว่าจะเกิดการเคลื่อนตัวครั้งใหญ่ ชนิดของการ creep มักเกิดในหินที่ผ่านการกัดกร่อนมามาก หรือทางลาดประกอบไปด้วยดินที่มีความเปียกชื้น กระบวนการพังทลายจะเริ่มจากการขยายตัวของดินในทิศทางที่ตั้งฉากกับความลาด ซึ่งกระบวนการขยายตัวนี้เกิดจากการแข็งตัวของน้ำ หรือการบวมตัวของดินเนื่องจากการเพิ่มปริมาณความชื้นในดิน (water content) ซึ่งเป็นขั้นตอนเริ่มแรกของการเคลื่อนตัวก็เมื่อเกิดการละลายหรือการหดตัวของดิน ก็จะมีการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการเคลื่อนตัวต่ำลงไปแนวตั้งเนื่องจากน้ำหนักของตัวเอง ดังนั้นการขยายตัวและหดตัวของดินหลาย ๆ ครั้ง ทำให้เกิดการลดต่ำลงของทางราบมีลักษณะเป็น ชั้น ๆ เล็ก ๆ ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวเองทางลาด

เมื่อลักษณะการไหล Flow เป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งการไหลนี้จะประกอบไปด้วย ซากปรักหักพัง ดินและโคลน กระบวนการพังทลายอย่างรวดเร็วมีสาเหตุมาจากการไหลของวัสดุที่เปียกชุ่มไหลลงมาตามทางลาดอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีลักษณะการไหลเหมือนกับซากปรักหักพัง ลาวา และหิมะ โดยทั้งสามอย่างมีลักษณะเหมือนกันทางด้านการเกิดรูปแบบของพื้นที่การไหล โดยจะสร้างช่องทางการไหล จากนั้นจะขยายออกทางตอนล่างโดยจะไม่กักตัวไว้ในช่องทางการไหล ดังรูปที่ 2.4 ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า lateral levee



รูปที่ 2.4 แสดงการไหลอย่างรวดเร็ว หรือ earth flow (Kehew A.E., n.d.)

2.2 Shear Strength parameter

การหาค่าแรงเฉือนเป็นส่วนที่มีความสำคัญสำหรับการออกแบบทางลาด ความสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยสำหรับค่าหน่วยแรงเฉือน (shear strength) อาจมีผลทำให้เสถียรภาพของทางลาดเปลี่ยนแปลงไปได้ เช่น ความสูงของความลาด มุมของความลาด ค่ามุมเสียดทานภายใน (friction angle) ค่าแรงดึงดูดระหว่างมวลดิน (cohesive strength) ค่าความหนาแน่นของวัสดุ ค่าต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนแต่มีความสำคัญโดยตรงกับค่าแรงเฉือน

ค่ามุมเสียดทานภายใน (friction angle) และค่าแรงดึงดูดระหว่างมวลดิน (cohesive) สามารถหาได้จากการพล็อตกราฟ ระหว่าง shear stress และ normal stress จะได้สมการดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

- τ = ค่าหน่วยแรงเฉือนของดิน (shear strength)
- c = ค่าแรงดึงดูระหว่างมวลดิน (cohesive strength)
- σ = ค่าแรงกดตั้งฉากกับระนาบแรงเฉือน (normal stress)
- ϕ = มุมเสียดทานภายใน (friction angle)

ค่าหน่วยแรงเฉือน (shear strength) สามารถหาได้จากการทดลองจากห้องทดลองหรือทดสอบได้จากสนาม ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าเชื่อถือสำหรับหาค่าหน่วยแรงเฉือน ซึ่งค่าหน่วยแรงเฉือนนั้นจะไม่ขึ้นอยู่กับการทดลองเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับความระมัดระวังในการแบ่งความหมายของพฤติกรรมที่แท้จริงของดินและหินที่ถูกต้อง และนำไปสู่การออกแบบทางลาดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงค่าหน่วยแรงเฉือนในหินอาจเกิดขึ้นได้เนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ของน้ำในหิน สภาพอากาศ ความหยาบของผิวหน้า และความแตกต่างของผิวหน้าของวัสดุที่นำมาทดสอบและระนาบการพังทลายที่เกิดขึ้น

การเลือกใช้ค่าหน่วยแรงเฉือนที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางลาดจะขึ้นอยู่กับความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับกลไกการเกิดการพังทลาย โดยค่าหน่วยแรงเฉือน (shear failure) และปัจจัยหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลกับค่าหน่วยแรงเฉือนที่เป็นลักษณะเฉพาะของมวลหิน

สำหรับหินที่ไม่มีความต่อเนื่องกัน ค่า shear strength ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับค่าแรงต้านหน่วยแรงเฉือนที่อยู่ในผิวหน้าที่ไม่ต่อเนื่องกัน เมื่อเกิดความไม่ต่อเนื่องของหินชั้นสามารถที่จะทำการวิเคราะห์ได้ 3 วิธีคือ

1) Shear Strength of Planar Discontinuities ในกรณีที่ความไม่ต่อเนื่องของผิวหน้าอยู่ในลักษณะที่ราบเรียบ และทิศทางการค่า shear stress ขนานกับผิวหน้า การหาค่าแรงเฉือนจะแทนมุมเสียดทานภายในด้วย peak shear strength จะได้สมการเป็น

$$\tau = c + \sigma \tan \phi_p$$

และเมื่อแทนด้วย residual shear strength สมการจะเป็น

$$\tau = c + \sigma \tan \phi_r$$

ถ้ามีน้ำอยู่บนระนาบแรงเฉือนสมการจะกลายเป็น

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan \phi$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาค่าหน่วยแรงเฉือนจากสมการดังกล่าว เหมาะกับการหาค่าหน่วยแรงเฉือนของระนาบหิน (bedding plane) หรือ ผิวหน้าที่มีลักษณะเป็นจุดต่อ (joint) สำหรับตัวอย่างที่ไม่ได้รับการกระทบกระเทือน

2) Shearing on an Inclined Plane บนระนาบเอียงค่าหน่วยแรงเฉือน และค่าแรงกดตั้งฉากกับระนาบแรงเฉือน (normal stress) บนระนาบผิวการพังทลาย หาได้จากสมการ

$$\tau_i = \tau \cos^2 i - \sigma \sin i \cos i \quad (2.1)$$

$$\sigma_i = \sigma \cos^2 i - \tau \sin i \cos i \quad (2.2)$$

ถ้าหินมีความไม่ต่อเนื่องกันจะสมมติให้ค่าแรงดึงดูระหว่างมวลเป็นศูนย์ ($c = 0$) ค่าหน่วยแรงเฉือนจะหาได้จากสมการ

$$\tau = \sigma \tan \phi$$

เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.1) และ (2.2) จะได้สมการ

$$\tau = \sigma \tan (\phi + i)$$

3) Surface Roughness ลักษณะผิวหน้าที่มีความหยาบ ขรุขระ จะมีค่าหน่วยแรงเฉือนมากกว่าผิวหน้าที่ราบเรียบ ที่ค่าแรงกดตามแนวแกนต่ำ ๆ การขยายตัวจะเกิดขึ้นบริเวณระนาบ แต่ถ้าค่าแรงกดตามแนวแกนสูง ๆ จะทำให้เกิดค่าหน่วยแรงเฉือนเนื่องจากลักษณะผิวที่หยาบขึ้น จะทำให้มุมความหยาบประสิทธิผล กลายเป็นศูนย์ ($i = 0$)

จากการศึกษาและประสบการณ์ของ Ladungi & Archambault (1970 , 1972) เกี่ยวกับการขยายตัวกับแรงเฉือน ได้เสนอสมการสำหรับ peak shear strength ดังนี้

$$\tau = \frac{(1 - \varepsilon)(\nu + \tan \phi) + \varepsilon \tau_r}{1 - (1 - \varepsilon)\nu \tan \phi}$$

เมื่อ ν = อัตราการขยายของ $\frac{dv}{du}$ ที่ peak strength

τ_r = ค่าหน่วยแรงเฉือนของหินที่ไม่ถูกกระทบกระเทือน

เมื่อค่าแรงกดตามแนวแกนต่ำ ๆ ค่า $\varepsilon = 0$ และ $\nu = \tan 0$ มิฉะนั้น $\varepsilon = 1$ และ

ค่าจะกลายเป็น τ_r

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกทางเลือกสำหรับการพยากรณ์ค่าหน่วยแรงเฉือนของจุดต่อของผิวที่มีความขรุขระที่เสนอโดย Barton (1973) ซึ่งเป็นการสรุปสูตรการคำนวณซึ่งได้จากการทำการทดลองซ้ำแล้วซ้ำอีกจะได้ว่า

$$\tau = \sigma \tan \left(\sigma + \text{JRC} \log \frac{\pi}{\sigma} \right)$$

เมื่อ JRC = สัมประสิทธิ์ของจุดที่ขรุขระ

2.3 สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการพังทลายของทางลาด

สาเหตุส่วนใหญ่ที่ทำให้เกิดการพังทลายของทางลาด จะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน การที่จะพยายามตัดสินใจว่าสาเหตุใดเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการพังทลายของทางลาดอย่างแท้จริง สามารถกระทำได้ไม่ยากแต่เป็นการกระทำที่ไม่ถูกต้องนัก เพราะสาเหตุที่ทำให้เกิดการพังทลายของทางลาดทุกสาเหตุจะไปกระตุ้นการเคลื่อนตัวของทางลาดบริเวณขอบของผิวการพังทลาย ซึ่งทุกการเคลื่อนตัวของทางลาดที่เกิดขึ้นในดิน เกิดจากการมีดินมีค่าหน่วยแรงเฉือนต่ำกว่าค่าที่จะทำให้ทางลาดสามารถคงตัวอยู่ได้ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการพังทลายแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มค่าแรงเฉือนในดิน (Factor that contribute to increase shear stress) ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มค่าแรงเฉือนในดิน คือ

- 1) ปัจจัยทางด้านข้างที่มีผลต่อหน่วยแรงเฉือน
 - การกัดเซาะ เนื่องจาก สายน้ำ แม่น้ำ การไหลของน้ำเมื่อฝนตกหนัก สภาพอากาศ การเปียกและแห้งของดิน การแข็งตัวของน้ำ
 - การเคลื่อนที่พังทลายของหินหรือดิน ที่เกิดขึ้นก่อนหลัง
 - การขุดเจาะของมนุษย์ การเปิดบ่อเหมือง การตัดถนน การวางท่อ
- 2) น้ำหนักที่กดทับ
 - น้ำหนักที่เกิดจาก ฝนตก การกองวัสดุ
 - ความดันที่เกิดขึ้นจากการซึมผ่านของน้ำ
 - การวางของวัสดุที่นำมาถม สายลำเลียงแร่หรือของเสียที่จะนำไปทิ้ง
 - น้ำหนักของอาคาร
- 3) แรงที่มีการเปลี่ยนแปลง
 - แรงจากแผ่นดินไหว
 - แรงสั่นสะเทือนจากการกระชากของลม การทำงานของเครื่องจักร การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์บางส่วนที่เกิดการพังทลายของทางลาดอยู่บริเวณใกล้เคียง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ความลาดเอียงของพื้นที่

- ความลาดเอียงจะเพิ่มมุมของทางลาดซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการเคลื่อนตัวของดิน

5) แรงดันด้านข้าง

- น้ำอยู่ภายในรอยแตก
- การแข็งตัวของน้ำในรอยแตก
- การบวมตัว

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการลดค่าแรงเฉือน (Factor that contribute to reduce shear stress)

1) สถานะเริ่มต้น (Initial state)

- ค่าแรงเฉือนของวัสดุในสภาวะเริ่มต้นจะลดลงเนื่องจาก การจัดเรียงตัว ลักษณะของแรงพื้นผิว โครงสร้างที่มีความหยาบ และความลาดชัน
- การจัดเรียงตัวและลักษณะพื้นผิว ของวัสดุบางประเภทสามารถอ่อนแอลงได้อย่างง่ายดายเนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน หรือการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ วัสดุที่มีความหลวมหรือมีรูที่มีการซึมได้จะทำให้มีค่าหน่วยแรงเฉือนต่ำ
- โครงสร้างที่มีความหยาบ และลักษณะการวางตัวของทางลาด
- ความไม่ต่อเนื่อง เช่น รอยตำหนิ ระบายชั้นหิน จุดต่อต่าง ๆ พื้นผิวของหินที่มีลักษณะเป็นมันเนื่องจากการเสียดสี หินผลึกที่มีลักษณะเป็นแผ่น รอยแยก หินที่เป็นก้อนกลมแต่มีหินก้อนเล็ก ๆ ช่วยทำให้จับตัวเป็นก้อนได้
- ชั้นหินที่วางเรียงตัวไปกับผิวน้ำ
- ความอ่อนแอระหว่างชั้นหินที่น้ำซึมผ่านได้และชั้นหินที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ เช่น หินทรายหรือหินทราย กับดินเหนียวหรือหินชนวน
- ทิศทางของทางลาด

2) การเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสภาพอากาศ และสภาวะทางเคมี

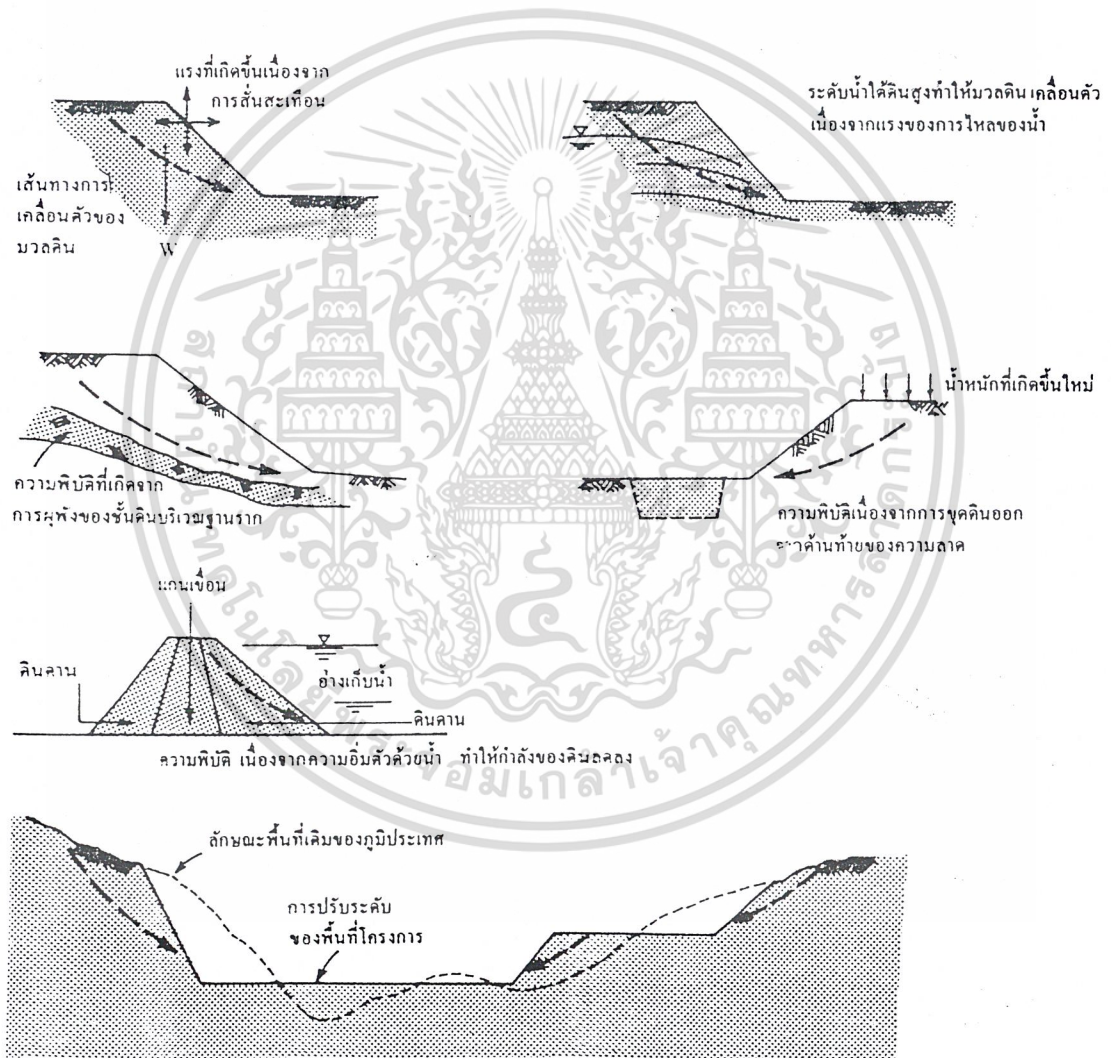
- ความอ่อนแอในส่วนของรอยแตกของดินเหนียว
- ความแตกแยกของหิน
- การลดลงของค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างดิน (cohesion)
- การบวมตัว

3) การเปลี่ยนแปลงของแรงระหว่างเม็ดดินเนื่องจากปริมาณน้ำและความดันของ

เอกสารนี้เป็นน้ำเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในสภาวะที่ชุ่มไปด้วยน้ำจะเป็นการลดค่าความดันของเม็ดดิน (effective intergranular pressure) และค่าแรงเสียดทาน (friction) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดเมื่อฝนตกหรือหิมะละลาย หรืออาจเพราะการกระทำของมนุษย์เอง เช่น การทำลายป่า การทำลายพื้นที่เพาะปลูก อ่างเก็บน้ำ และการเบี่ยงเบนของสายน้ำ

4) การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง รอยแตกของหินชนวน และการผ่านแรงกดมาก่อน สำหรับดินเหนียว (pre-consolidate clay) การแตกหักและความหลวม



รูปที่ 2.5 สาเหตุความพิบัติของงานดินต่างระดับ (มานะ อภิพัฒนะมนตรี, 2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

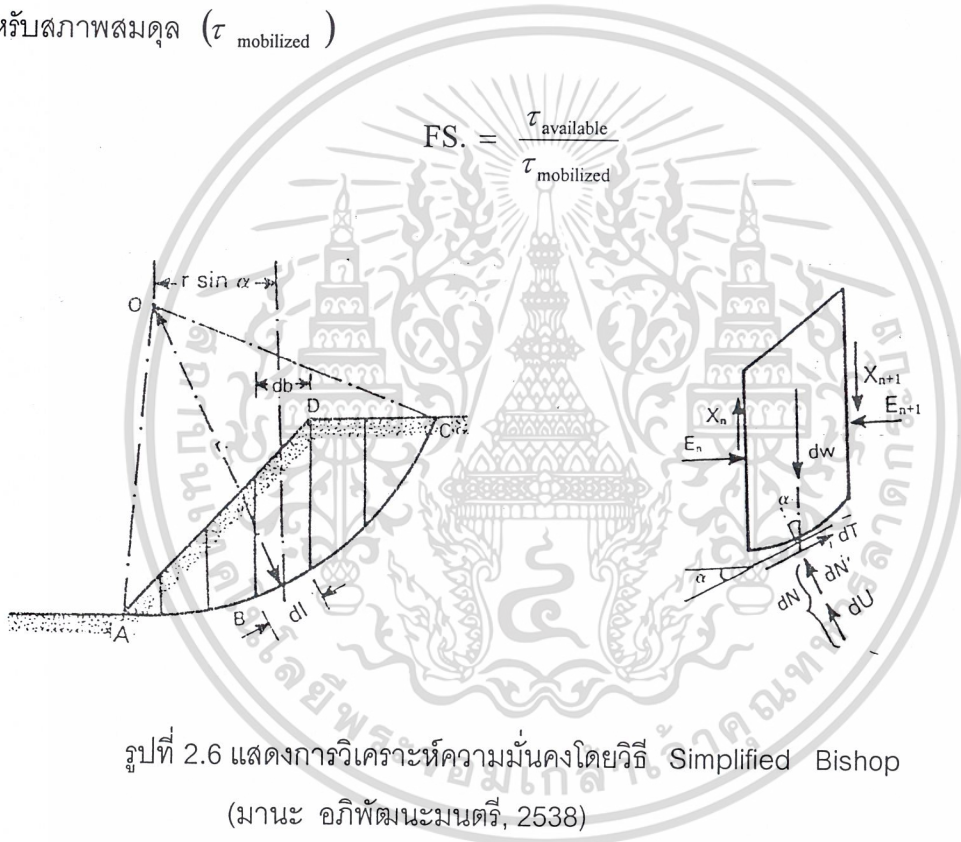
2.4 วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาด

2.4.1 Simplified Bishop Method

พิกัดการใช้งาน : พื้นระนาบพิบัติวงกลมของดินทุกชนิด

ข้อแนะนำการใช้งาน : วิธีการไม่ซับซ้อนสามารถคำนวณด้วยมือในทางปฏิบัติ

A.W. Bishop (1955) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดของดิน โดยแบ่งดินที่มีอยู่บนพื้นระนาบการเคลื่อนตัวออกเป็นส่ว ๆ (Method of slice) โดยพิจารณาแรงกระทำด้านข้างของดินแต่ละส่วนที่แบ่งออก ดังรูปที่ 2.6 โดยที่เสถียรภาพองค์ประกอบของความลาดขึ้นอยู่กับค่าปัจจัยความปลอดภัยที่สามารถต้านทานการพิบัติ ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของกำลังหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่ดินเกิดการเคลื่อนตัว ($\tau_{available}$) เทียบกับความต้านทานของหน่วยแรงเฉือนที่ต้องการสำหรับสภาพสมมูล ($\tau_{mobilized}$)



หน่วยแรงประสิทธิผล

$$\tau_{available} = c' + \sigma' \tan \phi'$$

$$\tau_{mobilized} = \frac{1}{FS} [c' + (\sigma' - u) \tan \phi']$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ
- W = น้ำหนักของดิน
 - N = แรงรวมตั้งฉากกับพื้นระนาบเคลื่อนตัว
 - N' = แรงประสิทธิผลตั้งฉากกับพื้นระนาบเคลื่อนตัว
 - $u l$ = แรงเนื่องจากความดันของน้ำ
 - u = ความดันน้ำที่กระทำใต้ฐานของดินส่วนที่แบ่งซึ่งมีค่าเท่ากับ $\gamma_w Z_w$
 - γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ
 - Z_w = ระยะความลึกจากผิวน้ำถึงพื้นระนาบเคลื่อนตัว
 - E_t, E_r = แรงตั้งฉากบนพื้นระนาบตั้งแนวส่วนแบ่งของดิน
 - T_t, T_r = แรงเฉือนบนพื้นระนาบตั้งแนวส่วนแบ่งของดิน

บนพื้นฐานความสมดุลภายใต้โมเมนต์

$$\sum W \cdot x = \sum S \cdot r = \sum \tau \cdot l \cdot r$$

$$FS. = \frac{\tau_{\text{available}}}{\tau_{\text{mobilized}}}$$

ดังนั้น

$$\sum W \cdot x = \frac{1}{FS.} \sum \left[c' + \left(\frac{N}{l} - u \right) \tan \phi' \right] (l \cdot r)$$

$$FS. = \frac{\sum r [c'l + (N - ul)] \tan \phi'}{\sum W \cdot x}$$

เพราะว่า

$$x = r \cdot \sin \alpha$$

$$FS. = \frac{\sum [c'l + N' \tan \phi']}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (2.3)$$

สมมติให้ $T_r - T_t$ มีค่าน้อยมากสามารถตัดทิ้งได้
รวมแรงกระทำในแนวตั้ง

$$W = N' \cos \alpha + u l \cos \alpha + S \sin \alpha$$

เพราะว่า

$$S = \tau \cdot l$$

$$W = N' \cos \alpha + u l \cos \alpha + \frac{1}{FS.} [c'l + (N - ul) \tan \phi'] \sin \alpha$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W = N' \cos \alpha + u l \cos \alpha + \frac{c'l \sin \alpha}{FS.} + \frac{N' \sin \alpha \tan \phi'}{FS.}$$

$$N' \left[\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{FS.} \right] = W - u l \cos \alpha - \frac{c'l \sin \alpha}{FS.}$$

กำหนดให้ $m_a = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{FS.}$

และ $b = l \cdot \cos \alpha$

$$N' = \frac{\left(W - ub - \frac{c'l \sin \alpha}{FS.} \right)}{m_a}$$

นำค่า N' ไปแทนในสมการ (2.3)

$$FS. = \frac{\sum \left[c'l + \left(\frac{W - ub - \frac{c'l \sin \alpha}{FS.}}{m_a} \right) \tan \phi' \right]}{\sum W \sin \alpha}$$

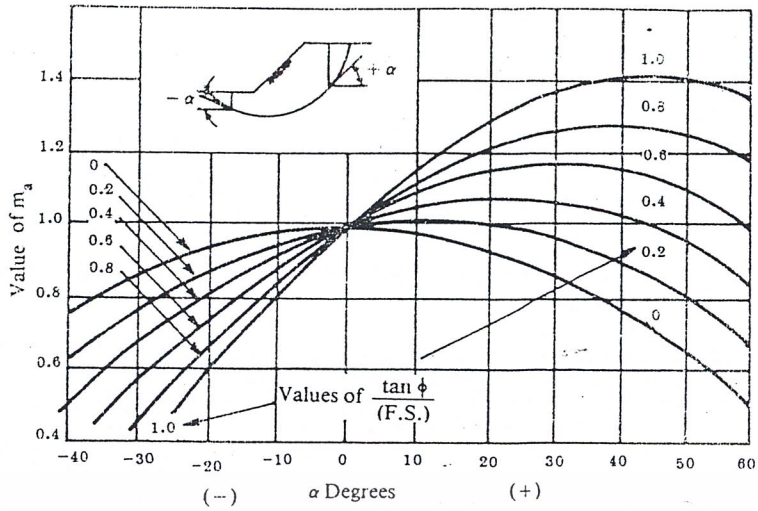
$$FS. = \frac{\sum \frac{1}{m_a} \left[(c'b \sec \alpha) \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{FS.} \right) + (W - ub) \tan \phi' - \frac{c'b \sec \alpha \sin \alpha \tan \phi'}{FS.} \right]}{\sum W \sin \alpha}$$

$$FS. = \frac{\sum \frac{1}{m_a} \left[(c'b \sec \alpha \cos \alpha) + \left(\frac{c'b \sec \alpha \sin \alpha \tan \phi'}{FS.} \right) - \left(\frac{c'b \sec \alpha \sin \alpha \tan \phi'}{FS.} \right) + (W - ub) \tan \phi' \right]}{\sum W \sin \alpha}$$

$$FS. = \frac{\sum \left[\frac{c'b + (W - ub) \tan \phi'}{m} \right]}{\sum W \sin \alpha} \quad (2.4)$$

สมการ (2.4) เรียกว่า Simplified Bishop Method ค่า m_a สามารถหาได้จากแผนภูมิระหว่างค่าของ m_a กับมุม α

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

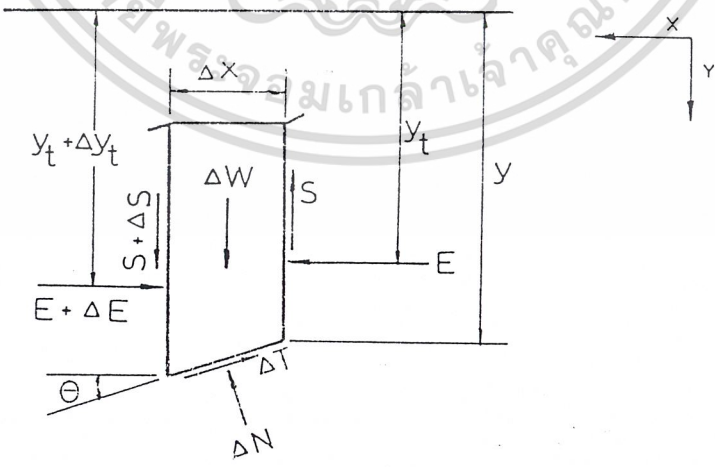


รูปที่ 2.7 แผนภูมิระหว่างค่าของ m_a กับมุม α สำหรับ Simplified Bishop Method (มานะ อภิปัทธนะมนตรี, 2538)

2.4.2 Morgenstern and Price's Method

พิกัดการใช้งาน : พื้นระนาบพิบัติวงกลมและไม่เป็นวงกลมของดินทุกชนิด
 ข้อแนะนำการใช้งาน : วิธีการซับซ้อนต้องปฏิบัติการคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดของ Morgenstern and Price (1965) ได้ทำการพิจารณาสมดุลของแรงและสมดุลของโมเมนต์สำหรับพื้นที่แต่ละส่วน ในรูปที่ 2.8 แสดงองค์ประกอบของแรงต่าง ๆ ของพื้นที่แต่ละส่วนในมวลดินที่เกิดการพังทลาย สมดุลของโมเมนต์จะกำหนดให้โมเมนต์ที่ฐานเท่ากับศูนย์ และ สมดุลของแรงจะกำหนดให้ ผลรวมของแรงในแนวตั้งและผลรวมของแรงในแนวนอนเท่ากับศูนย์ ดังนั้นความสัมพันธ์เหล่านี้ คือ



รูปที่ 2.8 แรงที่กระทำบนพื้นที่แต่ละส่วนโดย Morgenstern and Price's Method

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (Huang Y.H., 1983) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S = y \frac{dE}{dx} - \frac{d}{dx}(E \cdot y_i) \quad (2.5)$$

$$\Delta N = (\Delta W + \Delta S) \cos \theta + \Delta E \sin \theta \quad (2.6)$$

$$\Delta T = (\Delta W + \Delta S) \sin \theta - \Delta E \cos \theta \quad (2.7)$$

จากเกณฑ์การพังทลาย Mohr-Coulomb

$$\Delta T = \frac{c \Delta x \sec \theta + \Delta N \tan \phi}{FS.} \quad (2.8)$$

รวมและจัดรูปสมการ (2.6),(2.7),(2.8) และกำหนดให้ $x \rightarrow 0$

$$\frac{dE}{dx} \left(1 + \frac{\tan \phi}{FS.} \frac{dy}{dx} \right) + \frac{dS}{dx} \left(\frac{\tan \phi}{FS.} - \frac{dy}{dx} \right) = - \frac{c}{FS.} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right] - \frac{dW}{dx} \left(\frac{\tan \phi}{FS.} - \frac{dy}{dx} \right) \quad (2.9)$$

สมการ (2.5) และ (2.6) ให้สมการอนุพันธ์กำลังสอง ในการหาผลเฉลยจะมีฟังก์ชันไม่รู้ค่า E , S และ y_i ดังนั้นเพื่อให้สมการมีความสมบูรณ์ จะมีการสมมติว่า

$$S = \lambda f(x) E \quad (2.10)$$

โดย $f(x)$ เป็นฟังก์ชันของ x
 λ เป็นค่าคงที่

การวิเคราะห์จะต้องระบุขอบเขตของสภาพโดยประมาณ แล้วจึงคำนวณหา λ และ $FS.$ จากสมการ (2.5) และ (2.9) จนเป็นที่น่าพอใจ ฟังก์ชัน $f(x)$ จะถูกสมมติว่าเป็นฟังก์ชันเส้นตรง โดยการระบุค่าของตัวเลขสำหรับ f ในพื้นที่แต่ละส่วน

การใช้สมการ (2.10) จะมีจำนวนของตัวไม่รู้ค่าเป็น $3n$ ตามตารางในหน้าถัดไป

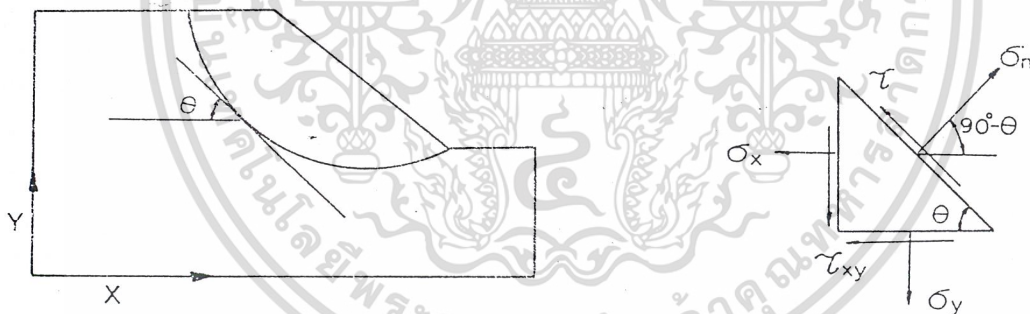
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงจำนวนตัวแปรต่าง ๆ ที่ไม่รู้ค่าของ Morgenstern and Price's Method (Huang Y.H., 1983)

Unknown	Number
FS.	1
λ	1
N	n
E	n-1
y_i	n-1
Total	3n

2.4.3 Finite-Element Method

The Bureau of Mines (Wang et al., 1972) ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดโดยการวิเคราะห์ finite-element stress รูปที่ 2.9 แสดงความเค้น ณ ตำแหน่งพื้นผิวดการพิบัติ ความเค้น σ_x , σ_y และ τ_{xy} จะคำนวณได้โดยวิธี finite-element



รูปที่ 2.9 แสดงความเค้น ณ ตำแหน่งพื้นผิวดการพิบัติ (Huang Y.H., 1983)

ถ้าระนาบการพิบัติ ทำมุม θ กับระนาบ x ความเค้นหลัก และความเค้นเฉือน บนระนาบการพิบัติ สามารถคำนวณได้โดย

$$\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) - \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า
 เอกสารนี้เป็นการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นทั้งหมดบนพื้นผิวการพิบัติ หาได้จากการวิเคราะห์ finite-element คือ ความเค้นหลักและความเค้นเฉือน ณ ตำแหน่งต่างๆบนพื้นผิวการพิบัติ สามารถคำนวณได้จากสมการ (2.11) และ (2.12) ตามลำดับ

จากทฤษฎีของ Mohr-Coulomb กำลังรับแรงเฉือน , S

$$S = c + \sigma_n \tan \phi \quad (2.13)$$

ดังนั้น ค่าความปลอดภัย

$$FS. = \frac{\sum S \cdot \Delta l}{\sum \tau \cdot \Delta l}$$

$$FS. = \frac{\sum (c + \sigma_n \tan \phi) \cdot \Delta l}{\sum \tau \cdot \Delta l} \quad (2.14)$$

2.5 โปรแกรม SLOPEW

SLOPEW เป็นโปรแกรมซอฟต์แวร์ ที่ใช้ในการหา factor of safety ของความลาดของดินและหิน โดยใช้ limit equilibrium theory ซึ่งได้ทำการรวบรวมสูตร และวิธีการวิเคราะห์ต่างๆ ไว้อยู่ในโปรแกรมนี้และสามารถวิเคราะห์ในสภาพที่มีน้ำหนักภายนอกมากกระทำ , สภาพชั้นดิน , สภาพทางเรขาคณิต ทั้งที่เป็นแบบธรรมดาและแบบที่ซับซ้อนมากขึ้น

SLOPEW เป็นโปรแกรมซอฟต์แวร์ที่ปฏิบัติการภายใต้โปรแกรม Microsoft Windows 3.1 ขึ้นไป ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้ ส่วนลักษณะและความสามารถของโปรแกรม SLOPEW เช่น

วิธีการวิเคราะห์สามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายวิธีเช่น Fellenius , Bishop 's Simplified , Janbu 's Simplified , Morgenstern – Price เป็นต้น

ลักษณะและสภาพของชั้นดิน สามารถมีชั้นดินได้หลายชั้น แต่ละชั้นอาจจะต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องกันก็ได้ หรืออาจมีชั้นของ Impenetrable ก็ได้ สภาพของชั้นดินอาจจะเป็น dry, partial submergence หรือเกิด tension cracks ก็ได้เช่นกัน

ลักษณะผิวการพังทลาย สามารถสมมติให้เกิดขึ้นในลักษณะ Circular Shape , Composite Shape เป็นต้น แรงดันน้ำสามารถกำหนดได้หลายลักษณะเช่น Pore – water coefficient , Piezometer lines เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของดิน สามารถกำหนดเป็น Total and/or effective strength , Undrained strength , Bedrock เป็นต้น ลักษณะของแรงกระทำภายนอก สามารถกำหนดได้หลายลักษณะ เช่น Line loads , Surcharge , Seismic เป็นต้น

2.5.1 ขั้นตอนการใช้งาน

1) กำหนดปัญหา (Defining Problems) โดยการกำหนดรูปแบบของปัญหา ทั้งทางด้านเรขาคณิต , ลักษณะของชั้นดิน , คุณสมบัติของชั้นดิน , ระดับน้ำใต้ดิน , แรงกระทำภายนอก , ฯลฯ แล้วจึงทำการลงข้อมูลเหล่านั้นลงในโปรแกรม SLOPE / W

2) การไขปัญหา (Solving Problems) เมื่อทำการกำหนดรายละเอียด หรือรูปที่แบบของปัญหาลงในโปรแกรม SLOPE / W แล้ว ต่อไปก็จะทำการแก้ปัญหานั้นเพื่อหา Minimum factor of safety โดยวิธีต่าง ๆ ตามที่ต้องการ การไขปัญหานั้นจะทำการกำหนดขอบเขตของจุดหมุน และจำนวนผิวการพังทลาย ตามแต่ต้องการ

3) ผลการวิเคราะห์ (Results Analysis)

- Minimum factor of safety
- Free body diagram
- Force polygon
- Graph of results along the distance of slip surface

สามารถทำการพล็อตกราฟเหล่านี้ได้

- Strength
- Shear resistance
- Base cohesion
- Base friction angle
- Base Phi B
- Base Normal stress
- Pore – water pressure
- Interslice force function
- Interslice forces
- Weight / Slice Width
- Seismic Force / Slice Width
- m_{α} Values

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Circular Failure Charts

2.6.1 ที่มาของ Circular Failure Charts

- 1) สมมติว่าความลาดเป็นวัสดุที่มีเนื้อเดียวกัน (homogeneous)
- 2) กำลังรับแรงเฉือนของวัสดุจะถูกกำหนดโดยค่า c และ ϕ ตามสมการ $\tau = c + \sigma \tan \phi$
- 3) สมมติว่าเกิด Circular Failure ตลอดจนกระทั่งถึง toe of slope
- 4) สมมติว่าเกิด Tension crack ที่ผิวบนของความลาด
- 5) ตำแหน่งของ Tension crack และตำแหน่งของ Failure surface จะเป็นตำแหน่งที่มี factor of safety น้อยที่สุด สำหรับรูปแบบของความลาดและสภาพของระดับน้ำใต้ดิน ที่พิจารณาเท่านั้น
- 6) ในการวิเคราะห์ภายใต้น้ำหนักที่มากกระทำ ระดับน้ำใต้ดินจะเปลี่ยนแปลง ตั้งแต่สภาพ dry slope จนกระทั่งถึง full saturated slope

โดยกำหนด factor of safety ,

$$FS. = \frac{\text{shear strength available to resist sliding}}{\text{shear stress mobilized along failure surface}}$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\tau_{mb} = \frac{c}{FS.} + \frac{\sigma \tan \phi}{FS.}$$

โดย τ_{mb} = shear stress mobilized along failure surface

FS. = factor of safety

c = Cohesion

ϕ = friction angle

σ = normal stress

2.6.2 ขั้นตอนการใช้ Circular Failure Charts

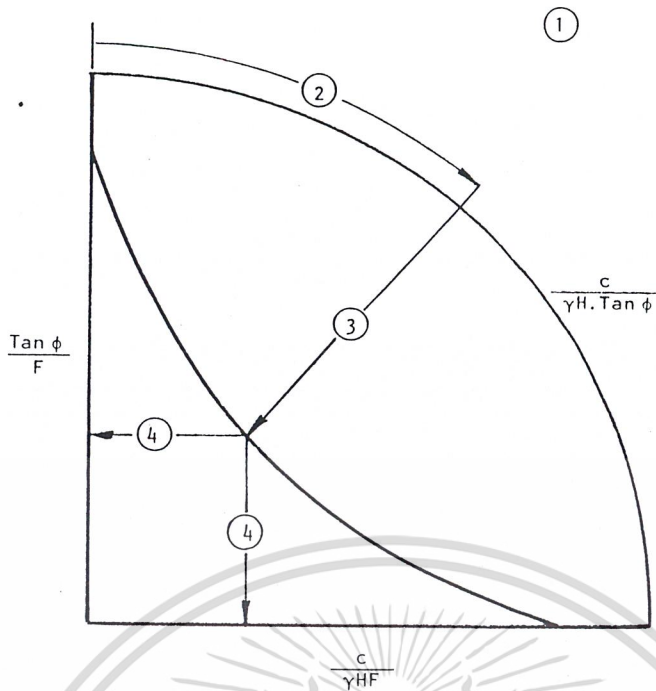
- 1) กำหนดสภาพของระดับน้ำใต้ดินของความลาดแล้ว เลือกใช้แผนภาพให้ตรงกับสภาพนั้นๆ

2) คำนวณค่า $\frac{c}{\gamma H \tan \phi}$ แล้วนำไปอ่านค่าบนสเกล

3) ลากเส้นตรงตามแนววิศมี ไปตัดกับมุมของความที่พิจารณา

4) หาค่า $\frac{\tan \phi}{FS.}$ หรือ $\frac{c}{\gamma H \cdot FS.}$ แล้วคำนวณหาค่า FS. ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงการใช้ Circular Failure Charts (Hoek E. and Bray J.W., 1981)

2.6.3 การวิเคราะห์หัยอนกลับโดยใช้ Circular Failure Charts

- 1) กำหนดสภาพระดับน้ำใต้ดินของความลาด แล้วเลือกใช้แผนภาพให้ตรงกับสภาพนั้นๆ
- 2) เมื่อ FS. = 1 จะได้ว่า $\frac{\tan \phi}{FS.} = \tan \phi$, $\frac{c}{\gamma H \cdot FS.} = \frac{c}{\gamma H}$
- 3) นำค่าที่ได้จากข้อที่ 2 ลากไปตัดกับมุมของความลาดที่พิจารณา
- 4) ที่จุดตัดจากข้อที่ 3 ลากเส้นตามแนวรัศมี แล้วอ่านค่า $\frac{c}{\gamma H \tan \phi}$

สภาพการพิจารณาและ stability chart แสดงในรูปที่ ข.3 และ รูปที่ ข.4 ตามลำดับของภาคผนวก ข

2.7 ขั้นตอนการเปิดเหมือง

ก่อนจะทำการเปิดเหมืองใด ๆ ก็ตามจะต้องทราบรูปร่าง และตำแหน่งของแร่เสียก่อน ซึ่งถือเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ดังรูปที่ 2.11 (ก) หลังจากนั้นก็จะทำการเปิดดินด้านบนออก ดังรูปที่ 2.11 (ข) ดินที่ถูกเปิดออกนี้จะต้องนำไปทิ้งให้ไกลจากพื้นที่ทำงานโดยจะต้องไม่กีดขวางการทำงาน ภายภาคหน้าด้วย จากรูปที่ 2.11 (ข)-(ค) จะมีการใช้ระบบชั้นบันได (bench) ซึ่งระยะความสูงของชั้นบันไดประมาณ 7.5 ถึง 18 เมตร ขึ้นอยู่กับความลึกของเครื่องจักรที่จะสามารถทำงานได้ และความปลอดภัยในการทำงานของเครื่องจักร ความกว้างของชั้นบันไดนั้นก็ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องจักร ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ใช้ในการลาก , ตักแร่ออกมา รูปที่ 2.11 (ค) จะเริ่มทำการขุดแร่ออกมา และจะทำการขุดเป็นลักษณะของชั้นบันไดไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะถึงระดับความลึกที่ออกแบบไว้

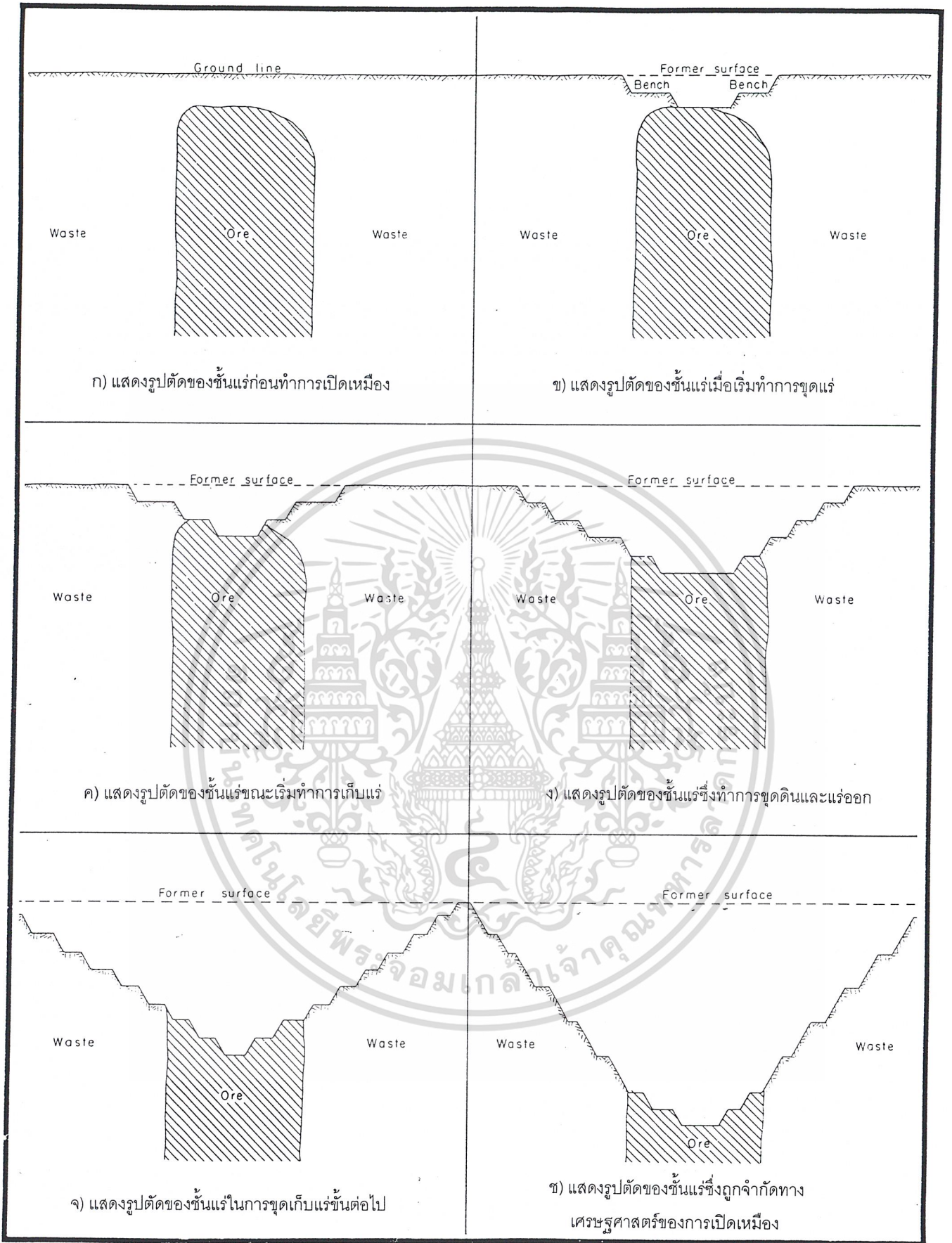
อัตราส่วนดิน : แร่ ในการขุดลึกลงไป ก็จะต้องทำการเปิดหน้าดินให้กว้างมากขึ้นจากเดิมอีก ทำให้มีความชันมากขึ้นดังรูปที่ 2.11 (ง) ซึ่งก็จะทำเช่นนี้จนกระทั่งถึงความลึกที่ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 2.11 (ข) ในการขุดลึกลงไปแต่ละครั้งนั้นจะต้องคำนึงถึงด้านเศรษฐศาสตร์ โดยการขุดลึกลงไปในแต่ละเมตรนั้น จะต้องคำนึงถึงอัตราส่วนดิน : แร่ ที่ได้ด้วย ถ้าสามารถทำการเปิดเหมืองให้ชันมากขึ้นเท่าไร ก็จะได้ปริมาณของแร่ที่มากขึ้นตาม แต่การเปิดเหมืองให้ชันมากขึ้นนั้นจะถูกจำกัดด้วยความปลอดภัยจะต้องอยู่ภายในขอบเขตที่ยอมรับได้ในการทำงาน ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าความปลอดภัยที่แนะนำในการเปิดเหมือง (Stout K.S., 1980)

UNITED STATES (FEDERAL REGISTER, 1977)		MINIMUM SAFETY FACTOR	
I	End of construction	1.3	
II	Partial pool with steady seepage saturation	1.5	
III	Steady seepage from spillway or decant crest	1.5	
IV	Earthquake (cases II and III with seismic loading)	1.0	
UNITED STATES (D'APPOLONIA CONSULTING ENGINEERS, INC., 1975)		SUGGESTED MINIMUM FACTORS OF SAFETY WITH HAZARD POTENTIAL	
		HIGH	MODERATE
Designs based on shear strength parameters measured in the laboratory	1.5	1.4	1.3
Designs that consider maximum seismic acceleration expected at the site	1.2	1.1	1.0
BRITAIN (NATIONAL COAL BOARD, 1970)		FACTOR OF SAFETY	
		I*	II**
(1) For slip surfaces along which the peak shear stress is used.	1.5	1.25	
(2) For slip surfaces passing through a foundation stratum which is at its residual shear strength (slip circles wholly within the bank should satisfy (1)).	1.35	1.15	
(3) For slip surfaces passing along a deep vertical subsidence crack where no shear strength is mobilized and which is filled with water (slip surfaces wholly within intact zones of bank and foundations should satisfy (1)).	1.35	1.15	
(4) For slip surfaces where both (2) and (3) apply.	1.2	1.1	
CANADA (MINES BRANCH, CANADA, 1972)		FACTOR OF SAFETY	
		I*	II**
Design is based on peak shear strength parameters	1.5	1.3	
Design is based on residual shear strength parameters	1.3	1.2	
Analyses that include the predicted 100-year return period accelerations applied to the potential failure mass	1.2	1.1	
For horizontal sliding on base of dike in seismic areas assuming shear strength of fine refuse in impoundment reduced to zero	1.3	1.3	

*where there is a risk of danger to persons or property
 **where no risk of danger to persons or property is anticipated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) แสดงรูปตัดของชั้นแร่ก่อนทำการเปิดเหมือง

ข) แสดงรูปตัดของชั้นแร่เมื่อเริ่มทำการขุดแร่

ค) แสดงรูปตัดของชั้นแร่ขณะเริ่มทำการเก็บแร่

ง) แสดงรูปตัดของชั้นแร่ซึ่งทำการขุดดินและแร่ออก

จ) แสดงรูปตัดของชั้นแร่ในการขุดเก็บแร่ขั้นต่อไป

ช) แสดงรูปตัดของชั้นแร่ซึ่งถูกจำกัดทาง
เศรษฐศาสตร์ของการเปิดเหมือง

รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนการเปิดเหมือง (Stout K.S., 1980)

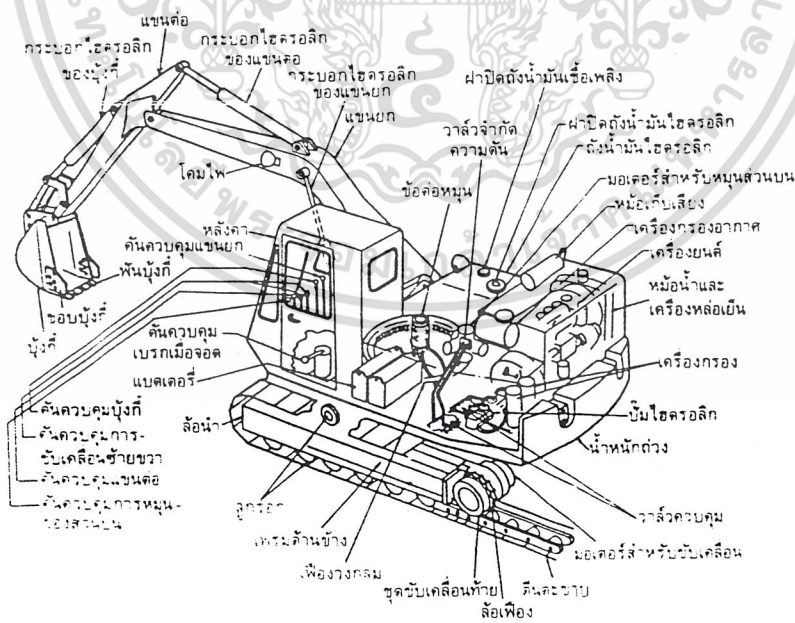
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การพิจารณารถขุดดินเพื่อหาระยะ bench ของ slope

รถขุดตักดินเป็นเครื่องจักรกล สำหรับงานก่อสร้างที่ทำหน้าที่ ในการเคลื่อนย้ายวัสดุซึ่งสามารถทำการขุดและตักดินแล้วเคลื่อนย้ายไปเท โดยทั่วไปจะมีแขนยื่นบุงกีหรือที่จับออกไปขุดและตัก และจะหมุนส่วนบนของตัวรถไปยังตำแหน่งที่ต้องการแล้วก็จะเทวัสดุออกจากบุงกีหรือที่จับ ส่วนด้านล่างของตัวรถที่สัมผัสกับพื้นนั้น จะไม่มีการเคลื่อนย้ายสำหรับการทำงานในแต่ละวงจร ซึ่งรถขุดตัก (excavator) นี้สามารถแบ่งได้เป็น

- 1) รถขุดตักแบบตักเข้าหาตัวรถ
- 2) รถขุดตักแบบตักออกจากตัวรถ
- 3) รถขุดตักแบบลากตึง
- 4) รถขุดตักแบบคืบ
- 5) รถขุดตักแบบปั้นจั่น

สำหรับการพิจารณาเลือกใช้รถขุดตัก ในการ cut slope ของโครงการนี้จะพิจารณาเลือกใช้รถขุดตักแบบตักเข้าหาตัวรถเท่านั้น โดยระบบการทำงานจะใช้ระบบไฮดรอลิกซึ่งล้วน ทั้งการขับเคลื่อน การหมุนส่วนบนและการทำงานของอุปกรณ์ขุดตัก ส่วนของที่รองรับจะใช้แบบตีนตะขาบ เพราะสามารถทำงานได้ดีในที่ลุ่มและมีการทรงตัวที่ดีในขณะที่ทำงานขุดตัก สำหรับอุปกรณ์ที่สำคัญของรถขุดตักแบบตักเข้าหาตัวรถนี้ พิจารณาจากรูปที่ 2.12



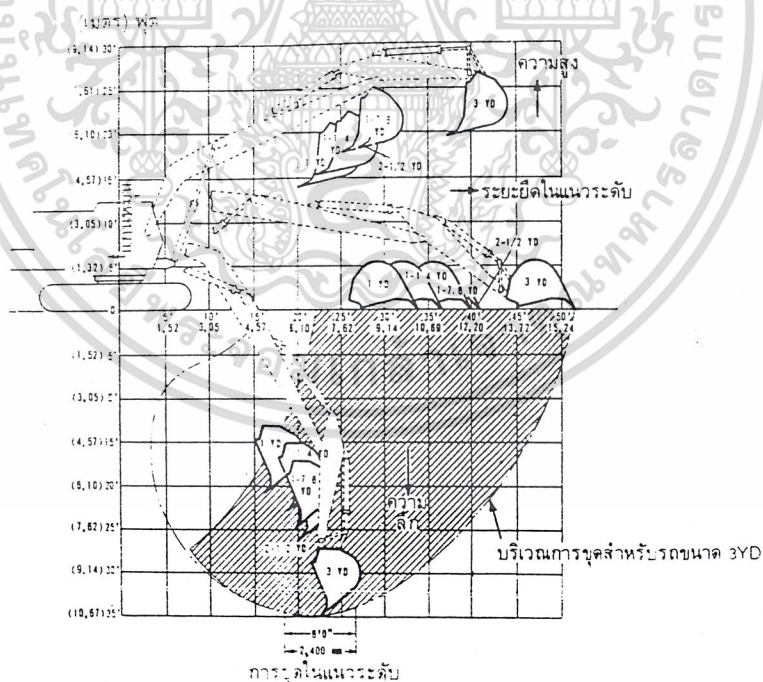
รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของรถขุดตักแบบตักเข้าหาตัวรถ (ดิเรก ลาวัญยศิริ, 2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมรรถนะของรถขุดตักแบบตักเข้าหาตัวรถจะถูกกำหนดโดยขอบเขตการทำงาน (working range) แรงของฟันขุด (tooth force) และขนาดของบั้งกี (bucket size)

ขอบเขตของการทำงานนิยามที่จะแสดงโดยผังแสดงขอบเขตของการทำงานตามตัวอย่าง ในรูปที่ 2.13 ซึ่งมีรายละเอียด คือ

1. ระยะไกลสุดในแนวระดับ (maximum reaches) คือ ระยะที่วัดจากแกนหมุนไปยังปลายฟันของบั้งกีเมื่อยื่นแขนออกไปไกลสุดในแนวระดับ
2. ระยะลึกสุดในการขุด (maximum depth) คือ ระยะที่วัดจากพื้นระดับในแนวตั้งไปยังปลายฟันของบั้งกีเมื่อแขนอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด
3. ระยะสูงสุด (maximum height) คือ ระยะที่วัดจากพื้นระดับในแนวตั้งไปยังส่วนบนสุดของอุปกรณ์ขุดตักเมื่อแขนอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด
4. บริเวณการขุด (digging range) คือ บริเวณที่ต่ำลงจากพื้นระดับที่ฟันของบั้งกีสามารถไปถึง ซึ่งแสดงโดยเส้นของขอบเขตที่ฟันของบั้งกีไปถึงเมื่อยืดแขนออกไปมากที่สุดในแต่ละตำแหน่ง
5. บริเวณการขุดในแนวระดับ (level clear up area) คือ บริเวณที่ต่ำลงจากพื้นระดับที่บั้งกีสามารถขุดพื้นของหลุมให้อยู่ในแนวระดับโดยไม่ต้องเลื่อนตัวรถ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระดับความลึกที่จะขุด บริเวณการขุดในแนวระดับนี้แสดงดังด้วยบริเวณที่แรเงาในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงขอบเขตการทำงานของรถขุดตักแบบตักเข้าหาตัวรถ (ดิเรก ลาวัณย์ศิริ, 2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณงานที่รถขุดตักแบบตักเข้าตัวเองสามารถทำได้จะขึ้นอยู่กับ

1. ความจุของบั้งกี (cycle load) หมายถึง ปริมาตรของวัสดุที่บั้งกีสามารถขุดตักได้ในแต่ละครั้ง

$$\text{ความจุของบั้งกี} = \text{ขนาดของบั้งกีเมื่อวัสดุพูนอยู่} \times \text{สปส.ของความจุ}$$

สำหรับค่า สปส.ของความจุจะมีรายละเอียดตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของความจุ (ดิเรก ลาวัณย์ศิริ, 2538)

ชนิดของวัสดุ	สัมประสิทธิ์ของความจุ
ดินเหนียวอ่อน	1.00 - 1.10
ดิน	0.90 - 1.05
กรวดและทราย	0.90 - 1.00
หินคัต	0.80 - 0.90
ดินเหนียวแข็ง	0.75 - 0.85
หินที่ระเบิดออกเป็นก้อนเล็ก	0.60 - 0.75
หินที่ระเบิดออกเป็นก้อนใหญ่	0.40 - 0.60

2. เวลาที่ใช้ในหนึ่งรอบของการทำงาน (cycle time) สำหรับงานขุดของรถขุดตักก็คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ไปในหนึ่งรอบของการทำงานตั้งแต่การขุด การหมุนส่วนบนของตัวรถ การเทวัสดุออกจากบั้งกี จนถึงการหมุนส่วนบนตัวรถกลับมาขุดอีกครั้ง เวลาที่ใช้ในหนึ่งรอบของการทำงานนี้จะขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัสดุที่จะตัก สภาพของบริเวณที่ขุดตัก ความลึกของการขุดตัก มุมที่ต้องหมุนส่วนบนของตัวรถไปมาและสภาพของการเท

$$\text{จำนวนรอบของการทำงานใน 1 ชม.} = \frac{\text{ประสิทธิภาพการทำงาน (นาที/ชม.)} \times 60}{\text{เวลาที่ใช้ในหนึ่งรอบของการทำงาน (วินาที)}}$$

และ ปริมาณงาน = จำนวนรอบของการทำงานใน 1 ชม. x ความจุของบั้งกี

สำหรับเครื่องจักรที่จะใช้ในการประเมินผลเพื่อวิเคราะห์หาความลึกของในแต่ละชั้น และขนาดของ bench จะใช้ข้อมูลของบริษัท Caterpillar โดยพิจารณารุ่น 245

รุ่น 245 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ขนาดของเครื่องยนต์	325	แรงม้า
- น้ำหนัก	63	ตัน
- ความลึกสูงสุดที่ขุดได้	9.71	เมตร
- ขนาดบั้งกี	3.10	ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความจุของบั้งกี (ใช้ สปส.ของความจุ = 1)

(ความจุ = สปส.ของความจุ x ขนาดบั้งกี = 1 x 3.1 = 3.1 ลบ.ม.)

- ปริมาณงานที่ทำได้ใน 1 ชม. (จากการคำนวณ) 220 ลบ.ม./ชม.

$$\text{- ปริมาตรในสภาพเดิม} = \frac{\text{ปริมาตรที่ฟูขึ้น}}{1 + \frac{\% \text{ที่ฟูขึ้น}}{100}}$$

สำหรับดินเหนียวใช้เปอร์เซ็นต์ที่ฟูขึ้น เท่ากับ 30%

$$\text{เพราะฉะนั้น ปริมาตรในสภาพเดิม} = \frac{220}{1 + \frac{30}{100}} = 170 \text{ ลบ.ม./ชม.}$$

2.9 ปัจจัยในการเลือกความลาด

องค์ประกอบในการเลือกความลาด

1. ปริมาณดินขุดเพื่อให้ได้ดินขุดที่มีปริมาณน้อยสุด และเป็นอันตรายน้อยสุด เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขุดดินลง

2. เนื่องจากการทำงานต้องมีการใช้รถไปเก็บดินและตัวถ่านหินเพื่อให้งานเป็นไปด้วยความสะดวกและไม่ติดขัด จึงจำเป็นต้องออกแบบให้มี bench ในแต่ละชั้น

3. ค่าความปลอดภัย (Factor of safety) เพื่อให้ค่าความปลอดภัยเป็นที่ยอมรับได้ ควรมีการกำหนดช่วงของ FS. เช่น 1.3-1.5 เพื่อให้เกิดความปลอดภัยขณะดำเนินงานและประหยัดในส่วนของงานและประหยัดในส่วนของการดำเนินการขุดดิน

4. การระบายน้ำ (Drainage) ถ้าเหมืองมีระบบการระบายน้ำที่ดี การเลือกใช้ factor of safety ต่ำๆก็อาจจะยอมรับได้ เนื่องจากการวิเคราะห์หาค่า FS. จะใช้สภาพที่มีระดับน้ำท่วมเต็มชั้นดิน

5. ระดับของชั้นถ่านหิน ถ้าว่านหินมีระดับลึก ในการขุดดินออกเพื่อให้ประหยัดที่สุดควรใช้ความลาดที่ชัน แต่มีความปลอดภัย ไม่เกิดการพังทลายหรือถ้ำเกิดก็อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขุดดินลง

6. เครื่องจักรและอุปกรณ์ขุดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิศวกรรมธรณีวิทยาของบ่อเหมืองบางหมาก

3.1 ลักษณะทั่วไป

บ่อเหมืองบางหมาก เป็นเหมืองถ่านหินที่จะนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ต้องปิดกิจการลง เนื่องจากโรงไฟฟ้ากระบี่ไม่สามารถเดินเครื่องต่อไปได้ ซึ่งในปัจจุบันระดับพื้นบ่อเหมืองอยู่ที่ระดับ - 29 ม. (รทก.) มีปริมาณดินและถ่านคงเหลือถึงระดับ - 50 ม. (รทก.) ซึ่งเป็นระดับที่ได้วางแผน (Final Plan Depth) ไว้และมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

1) ปริมาณดินคงเหลือประมาณ 3 ล้าน ลบ.ม. ประกอบด้วย

- Overburden ประมาณ 1.3 ล้าน ลบ.ม. และ

- Under burden ประมาณ 1.7 ล้าน ลบ.ม.

2) ปริมาณถ่านคงเหลือ ประมาณ 0.8 ล้านตัน

3) อัตราส่วน ดิน : ถ่าน (stripping ratio) = 3.72 : 1

ลักษณะของ Structural contour ของชั้นถ่านลิกไนต์และลักษณะของบ่อเหมืองบางหมาก ในปัจจุบัน แสดงในรูปที่ ข.9 และ รูปที่ ข.10 ตามลำดับในภาคผนวก ข.

3.2 ธรณีวิทยาแหล่งถ่านลิกไนต์ บ่อเหมืองบางหมาก

บ่อเหมืองบางหมาก ตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของแหล่งเหมืองบางปุด้า จ.กระบี่ ด้วยระยะห่างประมาณ 0.5 กม. มีการกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 1.5 ตารางกิโลเมตร โดยมีความหนาเฉลี่ยของชั้นลิกไนต์ประมาณ 17 ม. ลักษณะเนื้อของชั้นลิกไนต์เป็นแบบผสมผสานระหว่างชนิดบางปุด้าและชนิดหวายเล็ก ชั้นลิกไนต์มีแนวการวางตัวเช่นเดียวกับแหล่งบางปุด้า คือ อยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ ค่อนไปทางเหนือ และเอียงเทไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยมุมเอียงที่ค่อนข้างชัน ประมาณ 30 องศา มีแนวรอบเลื่อนตัดผ่านแหล่ง 5 แนว ชั้นลิกไนต์มีความหนาผันแปรมาก คือ ประมาณ 5 ม. ทางตอนเหนือไปเป็น 35 ม. ทางตอนใต้ และอัตราส่วนความหนาระหว่างชั้นลิกไนต์ต่อชั้นดินแทรกประมาณ 2.89 : 1 แนวชั้นลิกไนต์ไหลทางด้านตะวันตกของแหล่ง มีความกว้างประมาณ 50 ม. และยาวประมาณ 2.5 กม.

ลักษณะการวางตัวของชั้นดิน ชั้นหินทางวิศวกรรมธรณี จากข้อมูลการสำรวจ สามารถจัดลำดับชั้นดิน ชั้นหินทางวิศวกรรมธรณีจากผิวดินลงไป สามารถแบ่งได้เป็น 6 หมวด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Upper Beds
- Middle Beds
- Lower Beds
- Lignite Zone
- Floor Succession

สำหรับการวิเคราะห์ออกแบบผนังบ่อเหมือง ที่มีระดับถึง -100 ม. (รทก.) นั้น กองวิศวกรรมธรณี ฝายวิชาการเหมือง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้ดำเนินการวิเคราะห์ ตรวจสอบเสถียรภาพความลาดอีกครั้งด้วย Peak และ Residual shear strength parameters ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปค่า shear strength parameter ของดินชั้นต่าง ๆ (กองวิศวกรรมธรณี ฝายวิชาการเหมือง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย , 2541)

Materials	Peak Shear Strength Parameter			Residual Shear Strength Parameter		
	γ_t (kN/m ³)	C_p (kPa)	ϕ_p (Deg.)	γ_t (kN/m ³)	C_r (kPa)	ϕ_r (Deg.)
1. Overburden Clay stone	18.61	411.0	26.7	12.61	329.0	26.7
2. Lignite	12.90	250.0	22.0	12.90	200.0	22.0
3. Ligneous Clay	18.60	12.0	22.0	18.60	9.0	18.0
4. Under burden	21.09	100.0	33.0	21.09	55.0	25.0

3.3 Stability Calculation

ในปัจจุบัน การวิเคราะห์เสถียรภาพของเหมืองบางหมากเป็นการคำนวณค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Factor of safety) สำหรับการออกแบบความลาดชัน โดยใช้ PC – Slope หรือ SARMA สำหรับ PC-Slope สามารถจัดเรียงรูปแบบการพังทลาย แบบ Circular และ non-Circular ได้ ในขณะที่ SARMA ต้องมีกลไกทางจลศาสตร์สำหรับการพังทลายที่เกิดขึ้น เนื่องจากจำนวนของการวิเคราะห์ที่มาก ซึ่งต้องนำมาแสดงในแต่ละบ่อเหมือง กลุ่มของลักษณะทางธรณีวิทยา ควรใช้ PC-Slope

การวิเคราะห์ความไวตัว (Sensitivity analysis) ใช้ในการตรวจสอบพื้นผิวการพังทลายที่แตกต่างกัน (แบบ Circular และ non – Circular) และค่าตัวแปรในผิวนั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก Low wall จะประกอบไปด้วยชั้นหิน Grey Beds ที่วางอยู่ใต้ถ่านลิกไนต์ Q-Seam ลักษณะการพังทลายที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้จะเป็นแบบ Plane failure หรือ Slab failure mode เนื่องจากแนวชั้นหินเผล่ออกที่ผิวหน้าของความลาดที่ถูกขุดออกตามแนวรอยเลื่อน หรือ อาจเกิดการพังทลายแบบ Wedge failure เนื่องจากแนว fault และแนว Bedding shear มาตัดกัน เป็นแนวประลัดย์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปลักษณะของธรณีวิทยาโครงสร้างเฉพาะแห่ง ในการวิเคราะห์ได้ พิจารณาถึงผลกระทบจากลักษณะการพังทลายทั้ง 2 แบบ และสรุปผลได้ดังนี้

1) โดยทั่วไป Low wall สามารถปรับให้มีความลาดชันเท่ากับมุมเท (dip angle) ของแนวชั้นหินได้

2) ในกรณีที่ Low wall อยู่ในลักษณะของ Plane failure mode และแนวชั้นหินมีมุมเทมากกว่า 90 องศา ควรปรับ Low wall ให้มีความลาดชัน 2.5 :1 หรือ 22 องศา พร้อมทั้งควรทำการระเบิด Low wall บางส่วนเพื่อตัดแนวความต่อเนื่องของชั้นหิน (Stabilization blasting) เพื่อเพิ่มเสถียรภาพให้กับ Low wall ในระยะยาวอีกด้วย

การประเมินเสถียรภาพ สำหรับผลของการสำรวจเสถียรภาพต้องได้รับการประเมินที่พิถีพิถัน เพื่อใช้หาค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง (stability coefficient) หรือ สัดส่วนความปลอดภัย (factor of safety) โดยใช้ factor of safety เท่ากับ 1.0 ซึ่งในความเป็นจริงมีค่า 1.3 หมายความว่า ค่าของ factor of safety อาจตกลงต่ำกว่าหรือเกินกว่าค่าของ 1.3 ในการประเมินผล ต้องเป็นแก่นสารในขณะที่ยกานวนค่า factor of safety มีปริมาณเพียงพอสำหรับในแต่ละกรณี ที่พิจารณา

1) ความจำเป็นของวัตถุประสงค์และสนใจที่จะป้องกัน ซึ่งประกอบด้วย

- ความปลอดภัยของบุคคล
- ความปลอดภัยของเหมือง
- ความปลอดภัยสำหรับพื้นที่อาศัยที่อยู่ใกล้เคียงเหมือง
- ความปลอดภัยในการขนส่ง

2) การขยายของการสำรวจทางธรณีวิทยา ได้แก่ ความน่าเชื่อถือของแผนที่ทางธรณีวิทยา และ รูปตัด

3) การแสดงผลที่แน่นอนของ ค่าทางธรณีกลศาสตร์ ที่ใช้ในการคำนวณ

4) อายุของความลา

5) อุปกรณ์การทำเหมือง และผลกระทบทางเทคนิคที่เป็นไปได้ของอิทธิพล ต่อรูปทรงเรขาคณิตของความลาดในรูปของความสูง ความลาดเอียงและความยาว

6) การวัดเพื่อรักษาและเพิ่มขึ้นของความมั่นคง ได้แก่ การวัดการระบายน้ำ

7) ผลประโยชน์จากการวางแผน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 Slope Monitoring

การเคลื่อนตัวของชั้นดินจะมีการเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวตั้ง ซึ่งจะเกิดขึ้นในทุก ๆ ที่ของความลาดชันของเหมือง แต่การเคลื่อนตัวในแนวตั้งของผิวลาดชัน เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินที่ต่ำ หรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำมีค่ามากขึ้น ถ้าเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัว ในส่วนของการคำนวณหาเสถียรภาพต้องอาศัยข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งจะเป็นข้อกำหนดที่สำคัญในการประเมินค่าความมั่นคงของความลาดชันนั้น

โดยทั่วไปแล้วการเคลื่อนตัวจะประกอบด้วยสาเหตุต่าง ๆ ได้แก่ ปัจจัยลักษณะทางธรณีวิทยา (geological factor) , ปัจจัยลักษณะทางอุทกธรณีวิทยา (hydrological factor) , ปัจจัยลักษณะเชิงกลของหิน (rock mechanical factor) และปัจจัยด้านการปฏิบัติการ (Operational factor) ซึ่งมีความจำเป็นที่จะใช้วัดการเคลื่อนตัว และประเมินความสามารถ เพื่อที่จะใช้ในการประยุกต์หรือความมั่นคงถ้ามีความจำเป็น ลักษณะทางเรขาคณิตของความชัน (slope geometry) ซึ่งเป็นพื้นฐานในการตรวจสอบและคำนวณวัดผลที่ได้

เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดความลาดชัน ได้แก่ กลุ่มของ inclinometers , shear strip , piezometers ซึ่งจะได้ติดตั้งบนพื้นที่ Low - wall ของบ่อเหมือง และบริเวณความลาดชันของบ่อเหมืองที่มีความวิกฤต ซึ่งอุปกรณ์การตรวจวัดที่สำคัญในการให้ข้อมูลต่างๆ ได้แก่

1) INCLINOMETERS

สำหรับอุปกรณ์ inclinometers จะใช้ติดตั้งในบริเวณ Low-wall

2) PIEZOMETERS

ข้อมูลที่เกิดขึ้นในพื้นที่ Low-wall เป็นตัวสนับสนุนข้อสมมติฐานที่ว่า ไม่มีน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิดผลของการตกตะกอนของดิน และในบางครั้งแรงดันน้ำติดลบสำหรับช่วงเวลาประมาณ 2 ปี ภายหลังจากเอาน้ำหนักออก การค่อยๆลดลงของแรงดันน้ำ และการตอบสนองที่ลดลงต่อฝนที่ตก โดยการติดตั้งการระบายของน้ำตามแนวราบเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด สำหรับตัว Piezometer นี้จะอยู่ต่ำกว่าผิวหน้าเป็นระยะ 20 ม. ซึ่งจะแสดงการตอบสนองต่อการไหลซึมลงไปไนดินจากฝนที่ตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีการศึกษา

กระบวนการวิธีการศึกษาของโครงการนี้ จะแบ่งได้เป็น

1. การรวบรวมข้อมูล (Data collection)
2. การสำรวจด้านสนามและเก็บตัวอย่างดิน (Field investigation and sampling)
3. การทดสอบในห้องทดลองและผลทดลอง (Laboratory test and Results)
4. การวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability Analysis)

4.1 การรวบรวมข้อมูล (Data collection)

สำหรับการรวบรวมข้อมูลของโครงการนี้ แบ่งได้เป็น

1) ข้อมูลลักษณะทั่วไปของเหมืองบางหมาก จ.กระบี่ ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาประกอบการศึกษานี้ ได้แก่ ข้อมูลคุณสมบัติของชั้นดิน (Soil properties) , บันทึกลักษณะภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝน , ลักษณะภูมิประเทศ , ข้อมูลการขุดเจาะชั้นดิน (drill log records) , ระดับน้ำใต้ดิน (ground water records) ฯลฯ และข้อมูลเหล่านี้จะทำให้ทราบถึง

- Mechanism mode of failure ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่า ϕ , c , H (Height of slope) และ θ (angle of slope)
- Instrumentation
- Mining Sequence เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างสะดวก

2) ข้อมูลการวิเคราะห์ เป็นการรวบรวมข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผล เพื่อจะมาใช้ในการเปรียบเทียบการออกแบบความลาดชันของเหมืองในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยอาศัยการคำนวณจากโปรแกรม slope/w ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดยวิธีของ Simplified Bishop

4.2 การสำรวจด้านสนามและเก็บตัวอย่างดิน (Field Investigation and Sampling)

สำหรับการสำรวจด้านสนามเพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางธรณีวิทยาของชั้นดิน, การจัดเรียงตัวของชั้นดินเบื้องต้น, อิทธิพลที่มีผลต่อลักษณะการพังทลายของชั้นดิน, สำรวจระดับน้ำใต้ดิน ตลอดจนลักษณะการตัด slope ของเหมือง ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะได้จากบ่อเหมืองบางหมาก

สำหรับการเก็บตัวอย่างดิน จะดำเนินการเก็บบริเวณพื้นของ slope ตำแหน่ง toe ของ slope failure เพื่อจะนำดินไปวิเคราะห์ หาค่า shear strength ต่อไป แต่จากการเก็บตัวอย่างของเหมืองบางหมากนี้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์เครื่องมือ การเก็บตัวอย่างดิน จึงใช้การเก็บตัวอย่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างของชั้นดินเหนียว (friction angle ต่ำมาก) โดยสมมติให้แนวพื้นผิวการพังทลาย ผ่านบริเวณ toe ของความลาดซึ่งจะเป็นชั้นดินเหนียว

4.3 การทดสอบในห้องทดลองและผลการทดลอง (Laboratory test and Result)

สำหรับตัวอย่างดินที่เก็บมา จะนำไปทำการทดลองหาคุณสมบัติ (properties) ของดินนั้นๆ อันได้แก่ moisture content , Specific weight และ plastic index แล้วจึงหาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน (shear strength parameter) เพื่อทำการหา cohesion (c) และ friction angle (ϕ) ของดิน โดยพิจารณาที่ Condition ต่างๆกัน คือ

- Saturated and natural condition
- Strain rate condition

4.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพ (Stability Analysis)

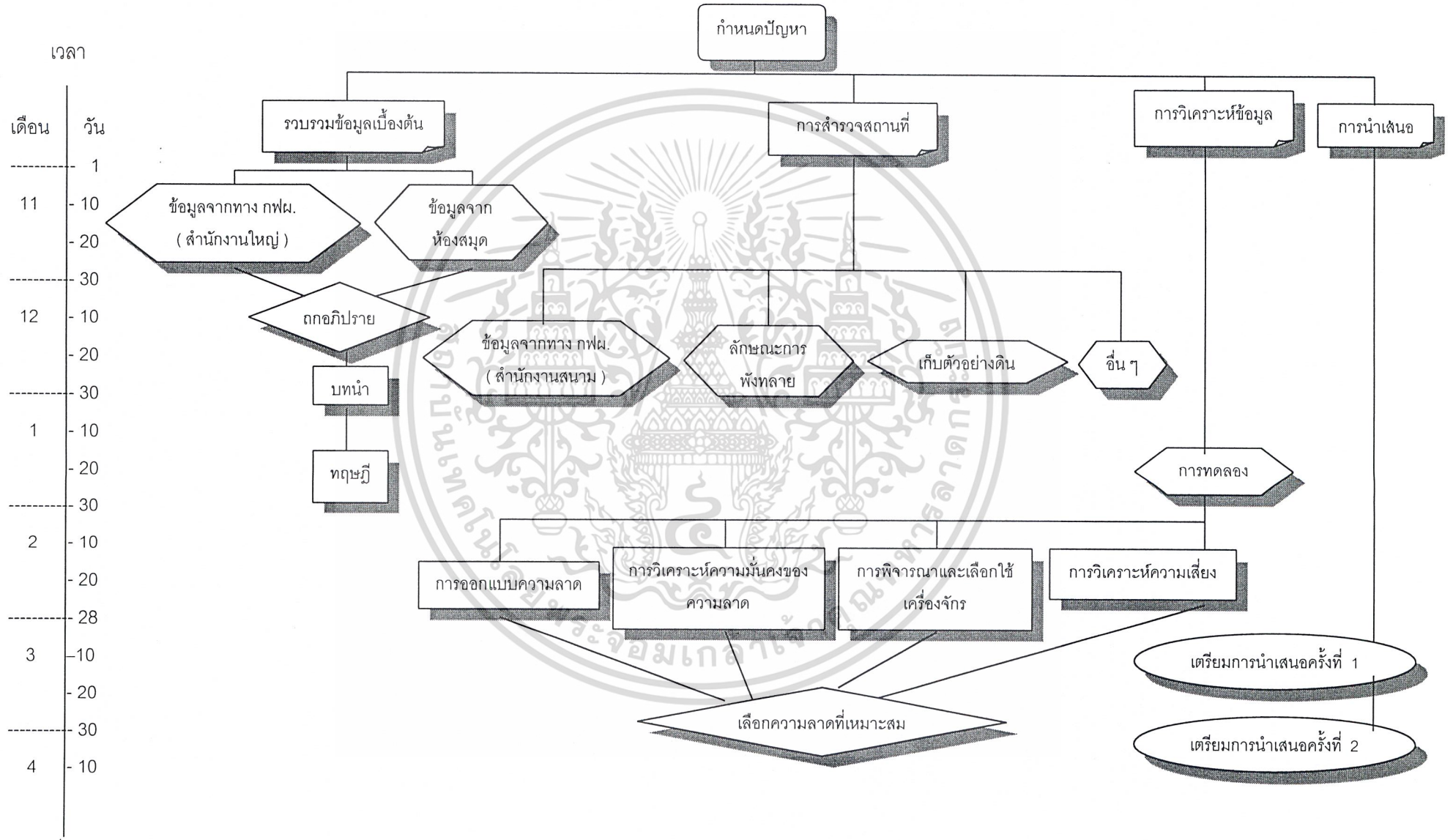
สำหรับการวิเคราะห์หาเสถียรภาพความลาดของดินนี้ จะอาศัยการวิเคราะห์จาก

1) Graphical Analysis เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϕ , c , H (Height of slope) และ θ (angle of slope) กับค่าความปลอดภัย (factor of safety) เบื้องต้น เพื่อนำไปใช้ design slope ต่อไป

2) Slope/W Program เป็นการนำข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางด้าน graphic มาวิเคราะห์ให้ละเอียดขึ้น โดยการ trial รูปแบบของ slope ที่แตกต่างกันไปอันจะทำให้ค่าของ factor of safety แตกต่างกัน เพื่อนำไปประเมิน factor อื่นๆในการเลือกใช้ slope ที่ต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการศึกษา



บทที่ 5

ผลการศึกษาและวิเคราะห์

5.1 ลักษณะทั่วไป

จากการสำรวจลักษณะดิน ณ บ่อเหมืองบางหมาก จ.กระบี่ พบว่าลักษณะผิวดินในช่วงความลึก 10 เมตรแรกจะมีลักษณะเป็นชั้นดินถ่าน ส่วนผิวหน้าจะมีการเกาะตัวกันเป็นแผ่น แต่หลุดร่อนได้ง่าย ส่วนผิวดินด้านในจะมีการเกาะตัวของดินทรายผสม ส่วนบริเวณระดับผิวล่าง (ต่ำกว่าระดับความลึก 10 เมตร) ซึ่งจะพิจารณาค่า shear strength parameter จะมีลักษณะเป็นชั้นดินเหนียวสีเหลืองผสมสีเทา

เมื่อทำการเก็บตัวอย่างดินโดยการใช้ท่อทรงกระบอก PVC เก็บตัวอย่างดินเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่า soil properties ของดิน โดยจะเก็บตัวอย่างดิน 2 ชนิด คือ ดินบริเวณด้านบน ซึ่งมีลักษณะเป็นทรายผสมถ่าน และดินบริเวณด้านล่าง ซึ่งมีลักษณะเป็นดินเหนียว โดยการทดลองจะพิจารณาค่า soil properties ดังต่อไปนี้

1. Unit weight (γ)
2. Specific gravity (G_s)
3. Water content (W_n)
4. Liquid limit (L.L.)
5. Plastic index (P.I.)
6. Grain size analysis (สำหรับดินทราย)
7. Direct Shear Test

5.2 คุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดิน

สำหรับผลการทดลองหาค่า soil properties พิจารณาจากผลการทดลองต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าคุณสมบัติของดิน

Soil parameter	CL		SW	
	Nature	Saturation	Nature	Saturation
γ	1.9	2.0	1.6	1.7
γ_{dry}	1.49	1.49	1.26	1.25
G_s	2.66	-	2.68	-
W_n	24.18	30.41	29.32	36.47
L.L.	77	-	77	-
P.I.	9.62	-	44.34	-

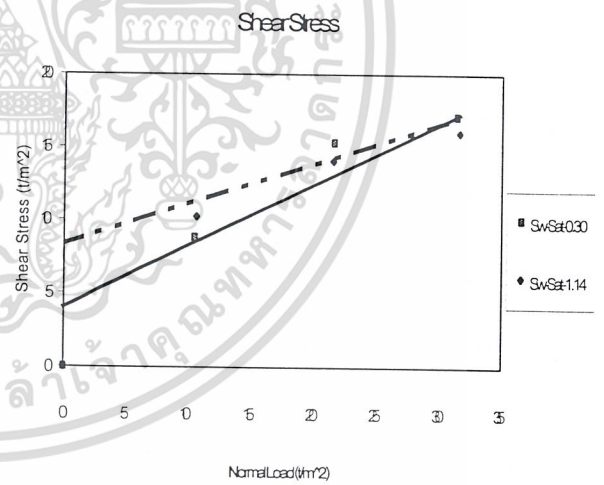
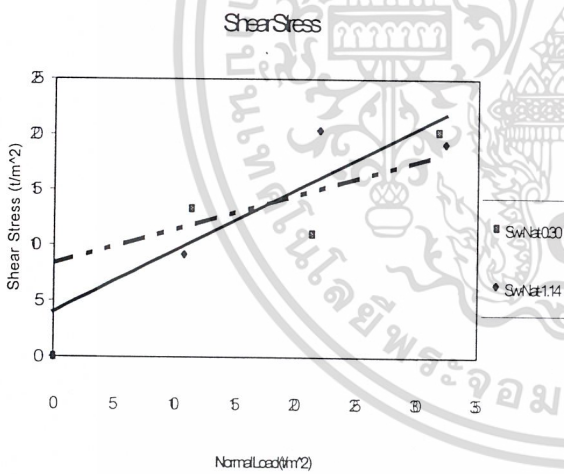
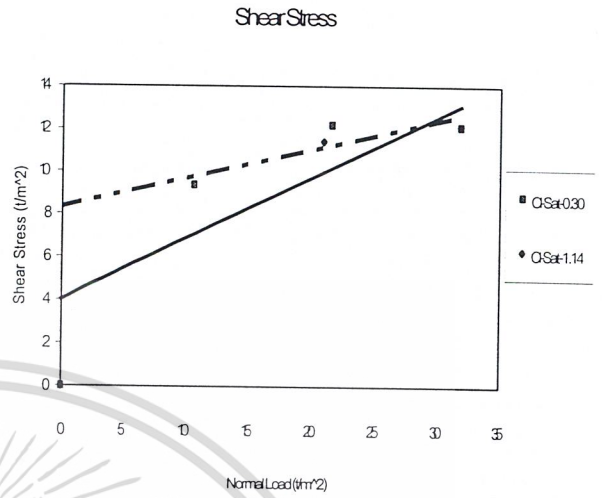
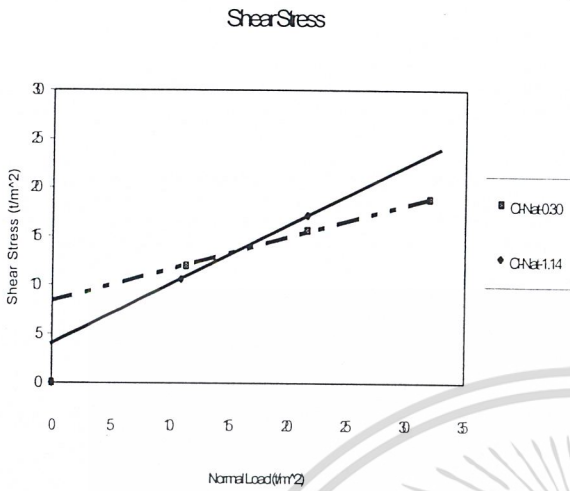
5.3 ผลการทดลอง Direct Shear Test

จากการทดลอง Direct Shear Test จะแบ่งการทดลองเป็น Natural Condition กับ Saturated Condition และเลือกใช้ strain rate ที่ 0.3 และ 1.14 mm/min. จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ ก.8 ในภาคผนวก ก และตารางสรุปผลการทดสอบในรูปที่ 5.1 และตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงค่า Shear Strength ของดินที่ strain rate ต่าง ๆ กัน

Strain rate (mm./min.)	ชนิดของดิน	Soil condition	Cohesion (t/m^2)	Friction angle (ϕ)
0.3	Clay	Nature	8.5	27.2
		Saturation	8.3	7.4
	Sand	Nature	8	18
		Saturation	7.5	15.4
1.14	Clay	Nature	4	31.3
		Saturation	4	15.6
	Sand	Nature	4	27.3
		Saturation	4	22.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 แสดงค่า shear strength ของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 สาเหตุการเลือกใช้ข้อมูลในสถานะ Nature แทนการใช้ Saturation

จากการวิเคราะห์ค่า Factor of Safety ที่สภาพ Saturation และ Nature ดังรูปที่ 5.2 แล้วพบว่า ที่มุม overall เดียวกันแล้ว ที่สภาพ Saturation จะมีค่า Factor of Safety น้อยกว่าที่สภาพ Nature ค่อนข้างมาก ซึ่งการเลือกใช้ข้อมูลดินในการวิเคราะห์ค่า slope จึงควรเลือกใช้ที่สภาพธรรมชาติ (Natural Condition) ดังเหตุผลต่อไปนี้

1. เนื่องจากค่า soil parameter ของดินในสถานะ Saturation จะมีค่าต่ำกว่าในสถานะ Nature มาก จึงไม่เหมาะในการ cut slope เพราะทำให้ขุดดินได้ปริมาณที่น้อยลง (slope ค่อนข้างราบ) ที่ Factor of Safety เดียวกัน

2. ตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบ direct shear เป็นดินเหนียว ซึ่งโอกาสที่ดินเหนียวจะเกิด Saturated ในสภาวะธรรมชาติจริง ต้องใช้ระยะเวลาที่จะอิ่มตัวด้วยน้ำ จึงไม่เหมาะในการพิจารณาค่าที่สภาวะ Saturation

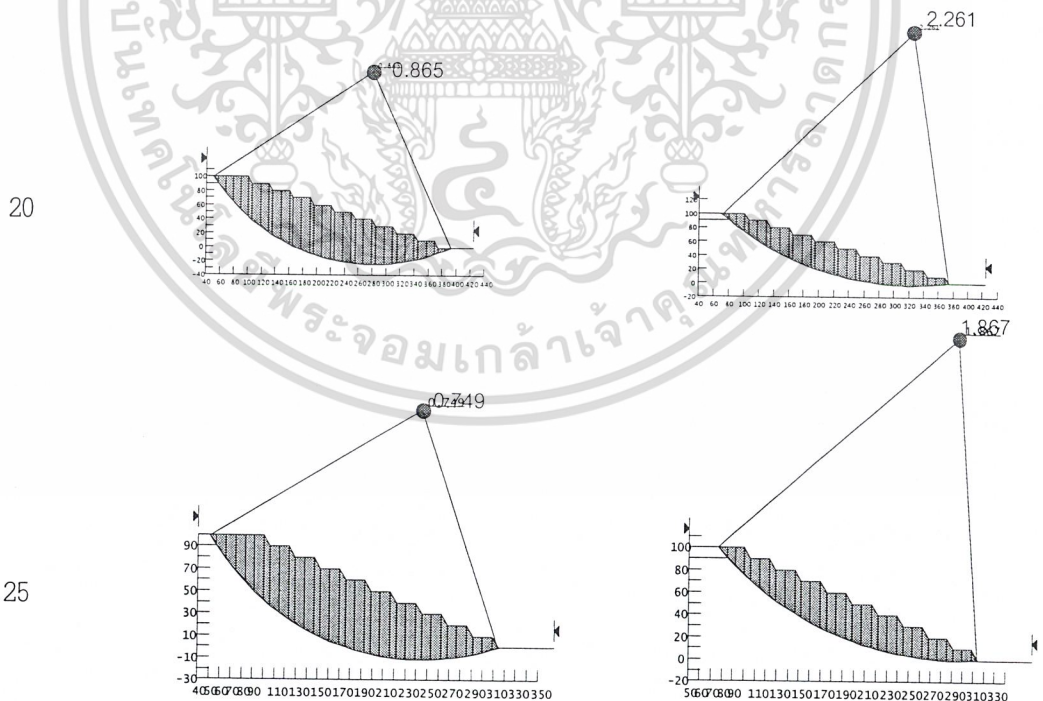
3. การขุดเหมืองจริงจะต้องมีระบบ drainage ที่ดี เพื่อไม่ให้ดินอุ้มน้ำมาก ซึ่งจะส่งผลต่อการขุดถ่านหิน และการนำถ่านหินไปใช้งานต้องใช้พลังงานในการให้ความร้อนสูงขึ้น

4. เนื่องจากชั้นดินเหนียวอยู่ใต้ชั้นดินทราย เมื่อฝนตกในชั้นดินทราย โอกาสที่น้ำจะซึมลงบนชั้นดินเหนียวเป็นไปได้น้อยมาก ทำให้การระบายน้ำสามารถทำได้ในขณะนั้น

Overall Slope Angle

Saturated Condition

Natural Condition

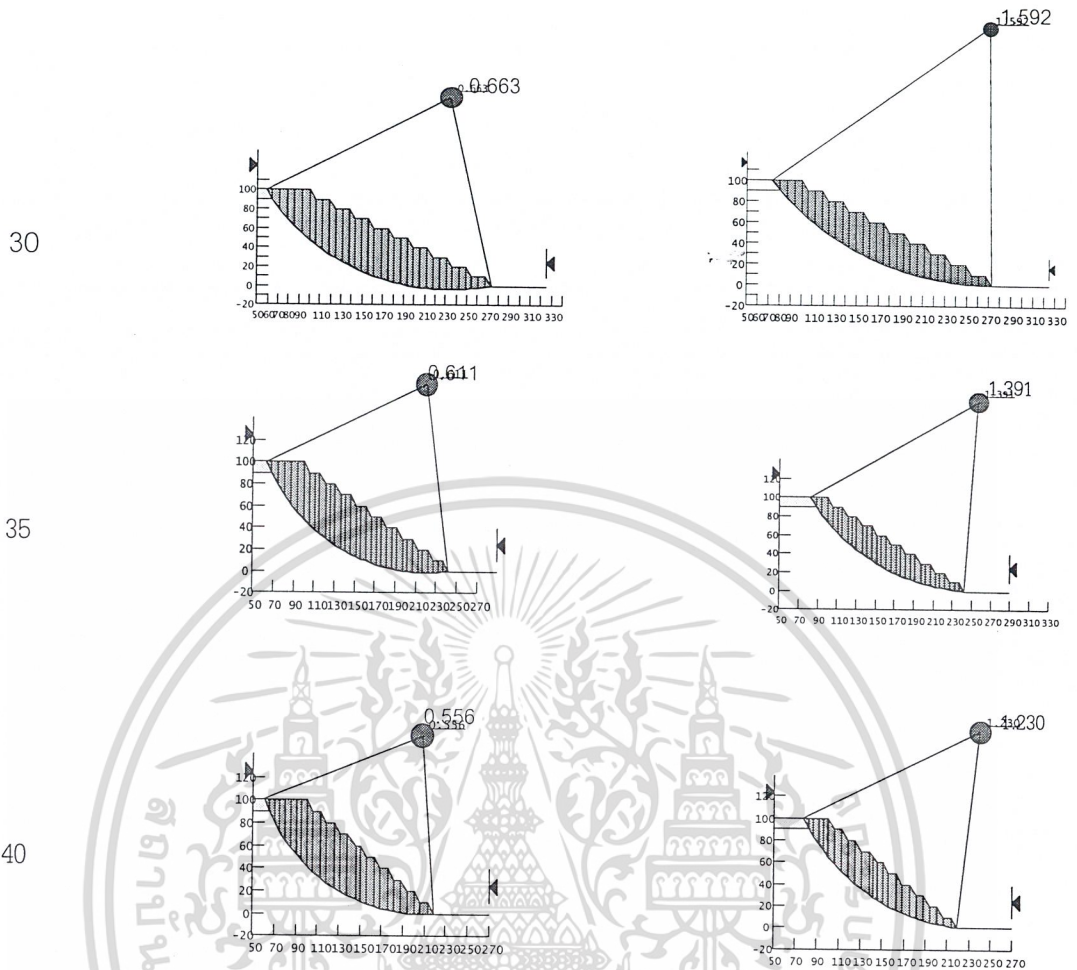


รูปที่ 5.2 แสดงการวิเคราะห์ค่า Factor of safety ระหว่างสภาวะ Saturated และ Natural โดยขึ้นด้านการคำนวณค่า FoS ที่มุมเดียวกัน แต่ใช้ข้อมูลดินในสถานะที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเลือกใช้ข้อมูลดินในสถานะธรรมชาติ (Natural Condition) จะให้ค่า FoS ที่สูงกว่าและมีความปลอดภัยมากกว่าการเลือกใช้ข้อมูลดินในสถานะอิ่มตัว (Saturated Condition) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของดินเหนียว

Overall Slope Angle

Saturated Condition

Natural Condition



รูปที่ 5.2 แสดงการหาค่า Factor of safety ระหว่างสภาวะ Saturated และ Natural (ต่อ)

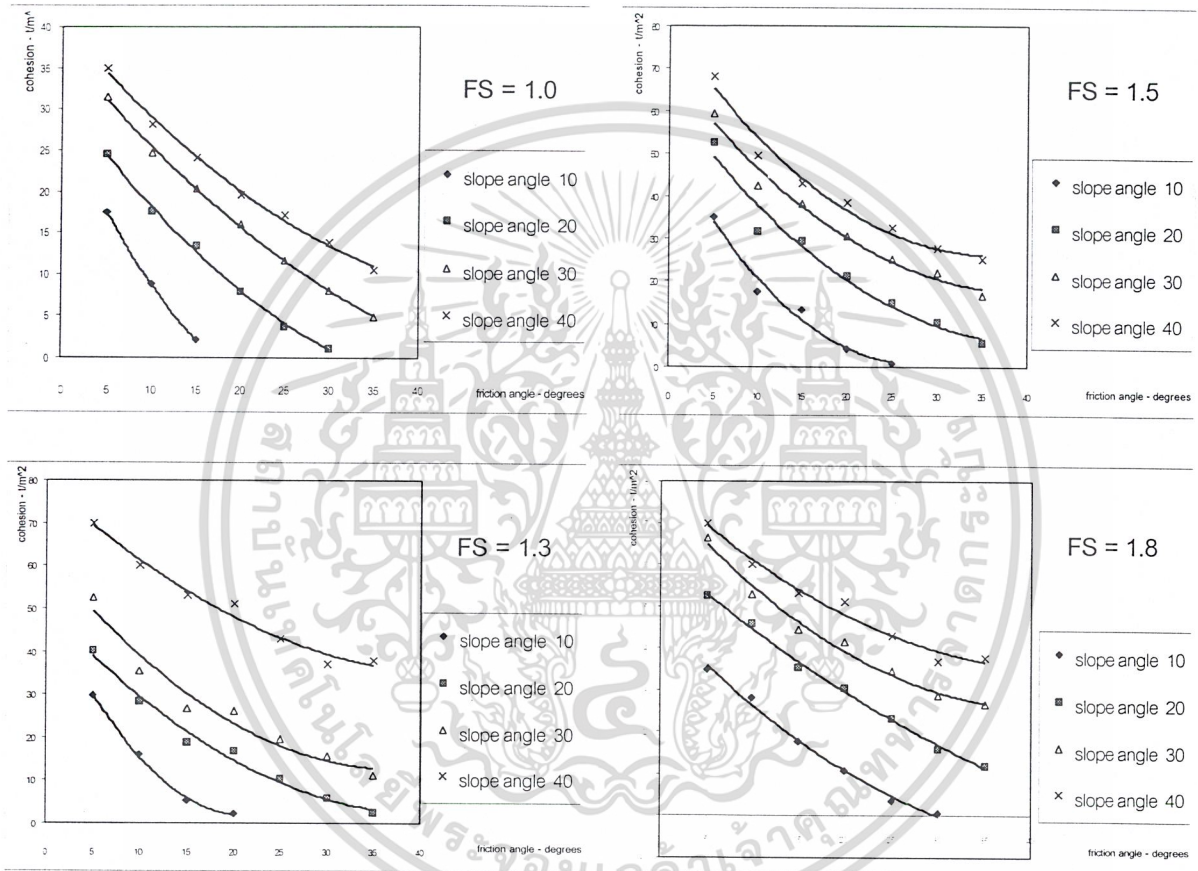
ตารางที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบค่า Factor of Safety ระหว่าง Saturated กับ Natural Condition

Overall Slope	FS. (Saturated)	FS. (Natural)
20	0.865	2.261
25	0.749	1.867
30	0.663	1.592
35	0.611	1.391
40	0.556	1.230

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การเลือก strain rate ที่เหมาะสมโดยใช้กราฟ

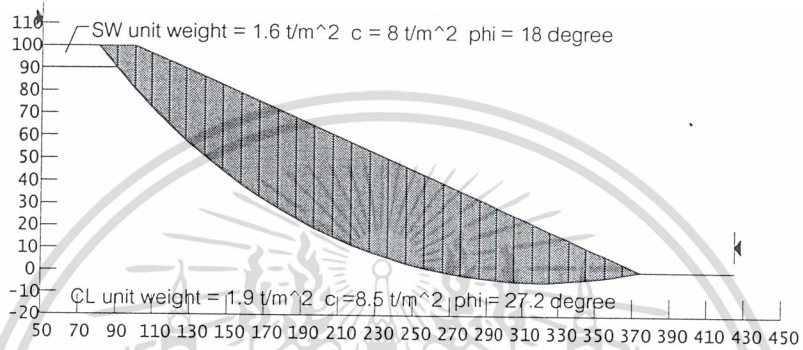
การพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear strength ของดิน กับค่า slope angle ที่ Factor of Safety ต่าง ๆ กัน และมีค่าความสูงของทางลาด (Height of Slope) มีค่า 100 เมตร โดยการอ่านจากกราฟ สามารถอ่านค่าได้จากรูปที่ 5.4 Circular Failure Chart Number 1 ในภาคผนวก ข เนื่องจากพิจารณาให้เป็นค่าที่สภาพธรรมชาติของดิน ซึ่งจะเป็นกรณี Dry Condition จะได้กราฟ ดังรูปที่ 5.3



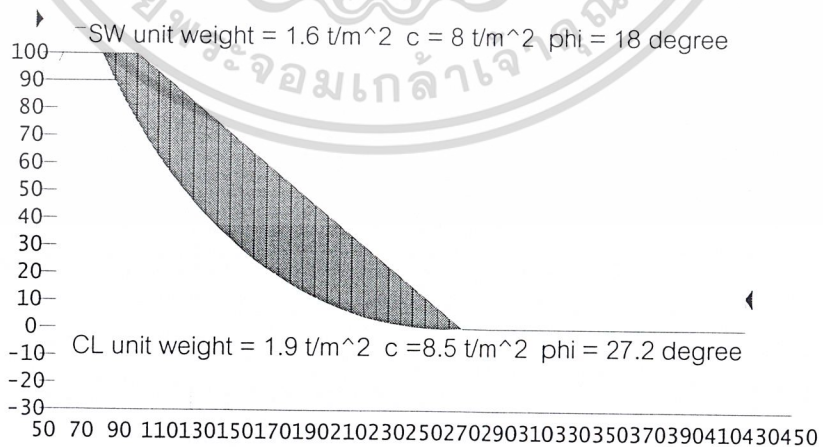
รูปที่ 5.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear strength และ slope angle ที่ FS. ต่างกันสำหรับสภาวะ Natural (H = 100 m)

จากนั้นเมื่อพิจารณาค่า FS. โดยพิจารณาจากการใช้โปรแกรม slope/w ซึ่งมีเงื่อนไขของค่า shear strength parameter ที่ strain rate 0.30 mm./min. และดินเหนียวที่สภาพธรรมชาติแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 5.4 และตารางสรุปค่าความสัมพันธ์ของ Factor of Safety จะได้ค่าดังตารางที่ 5.4 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 20 degree
 Strain rate : 0.3 mm/min
 Factor of safety : 2.134

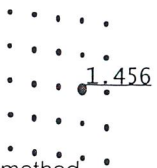


Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 30 degree
 Strain rate : 0.3 mm/min
 Factor of safety : 1.532



รูปที่ 5.4 ค่า Factor of safety ที่ได้จากการคำนวณด้วย Slope/w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



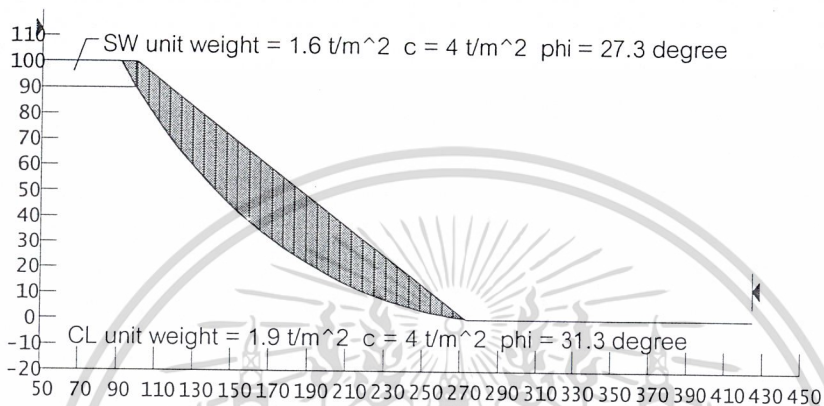
Project : Bangmark Krabi

Analysis method : Bishop simplified method

Overall slope angle : 30 degree

Strain rate : 1.14 mm/min

Factor of safety : 1.456



Project : Bangmark Krabi

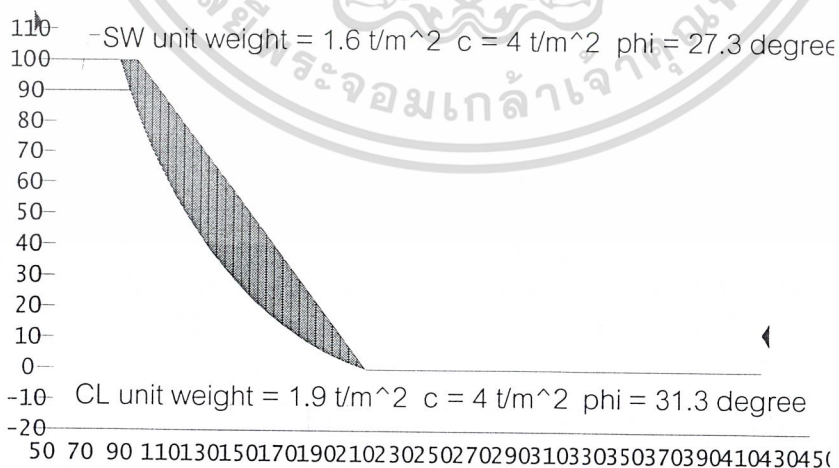
Analysis method : Bishop simplified method

Overall slope angle : 40 degree

Strain rate : 1.14 mm/min

Factor of safety : 1.105

1.105



รูปที่ 5.4 ค่า Factor of safety ที่ได้จากการคำนวณด้วย Slope/w (ต่อ) ใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่ได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าสรุป Factor of Safety ที่ได้จากการคำนวณโดย Slope/w

Strain rate (mm./min.)	Soil condition	Overall slope	FS.
0.30	NAT.	20	2.134
	NAT.	30	1.532
	NAT.	40	1.204
1.14	NAT.	20	2.122
	NAT.	30	1.456
	NAT.	40	1.105

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่า Factor of Safety จากการอ่านกราฟ และค่าที่ได้จากการใช้ Slope/w จะได้ผลดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Factor of Safety ของ Strain rate 0.30 & 1.14 mm/min ที่ได้จาก Slope/w กับ กราฟ

Strain rate (mm./min.)	Overall slope	FS. (program)	FS.(กราฟ)
0.30	20	2.134	>1.8
	30	1.532	1.5
	40	1.204	1.2
1.14	20	2.122	>1.8
	30	1.456	1.5
	40	1.105	1.0

จากตารางเปรียบเทียบ จะพบว่าความแตกต่างของค่า Factor of Safety ของ strain rate 0.30 mm/min. มีความแตกต่างน้อยกว่าที่ strain rate 1.14 mm/min จึงเลือกใช้ค่า C- ϕ ที่ได้จาก strain rate 0.30 mm/min. ในการออกแบบ slope ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการดำเนินงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 การวิเคราะห์หาค่า Factor of Safety (FS.) ที่มุม overall slope ต่าง ๆ

การวิเคราะห์หาค่า Factor of Safety (FS.) ที่มุม overall slope ต่าง ๆนี้ จะเลือกใช้ค่า Shear Strength ของดินที่ได้จากการทดลอง Direct Shear ที่ strain rate 0.3 mm./min. (ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบค่าจาก Program กับ Chart) ซึ่งมีค่าต่าง ๆ ดังนี้

SW (Well-graded sand)	Unit weight	=	1.6	t/m ²
	Cohesion (C)	=	8	t/m ²
	Friction angle (ϕ)	=	18°	
CL (Clay)	Unit weight	=	1.9	t/m ²
	Cohesion (C)	=	8.5	t/m ²
	Friction angle (ϕ)	=	27.2°	

สำหรับหน้าตัดที่จะใช้ในการวิเคราะห์ที่มุม overall หนึ่ง ๆ จะประกอบด้วย

- 1) ความสูงของ Bench (Height of Bench) จะเปลี่ยนค่าที่ 7, 7.5, 8, 9, และ 10 เมตร
- 2) ความกว้างของ Bench (Width of Bench) จะใช้ค่าคงที่ 4 เมตร

เมื่อทำการวิเคราะห์ความล้มพังจะแสดงผลดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.5

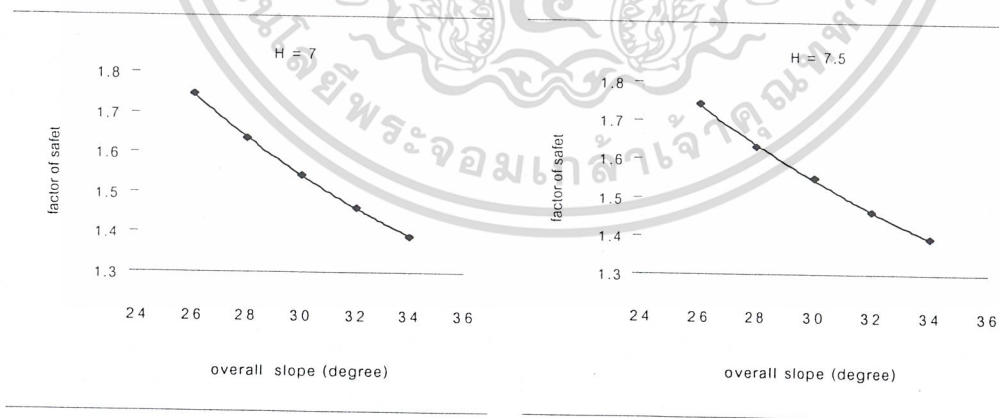
ตารางที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Factor of Safety กับค่ามุม Overall Slope ที่ความสูงต่าง ๆ กัน

ความสูง	Overall Slope	FS.
7	26	1.743
	28	1.633
	30	1.543
	32	1.461
	34	1.391
7.5	26	1.741
	28	1.633
	30	1.545
	32	1.462
	34	1.392
8.0	26	1.737
	28	1.635

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

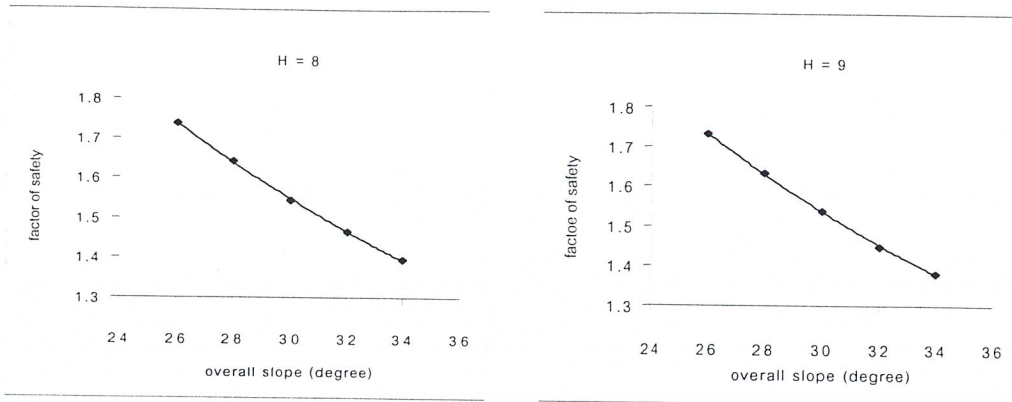
ตารางที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Factor of Safety กับค่ามุม Overall Slope ที่ความสูงต่าง ๆ กัน (ต่อ)

8.0	30	1.544
	32	1.464
	34	1.394
9.0	26	1.729
	28	1.626
	30	1.537
	32	1.448
	34	1.381
10.0	26	1.746
	28	1.657
	30	1.553
	32	1.470
	34	1.398



รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Factor of Safety กับค่ามุม Overall Slope ที่ความสูงต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

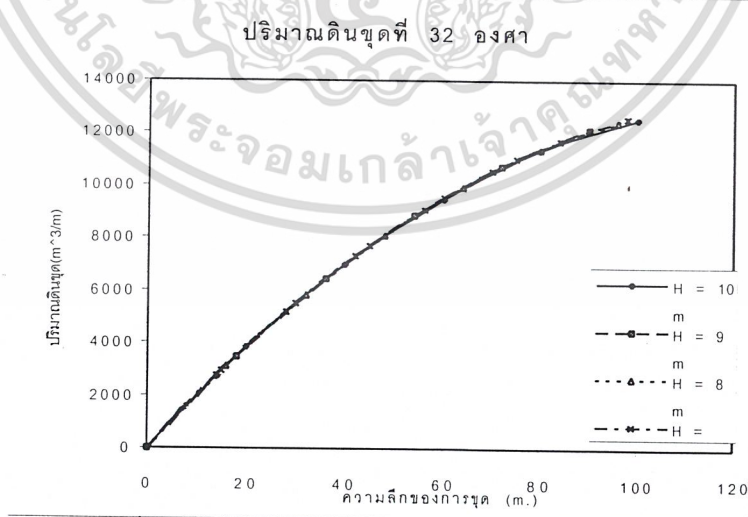
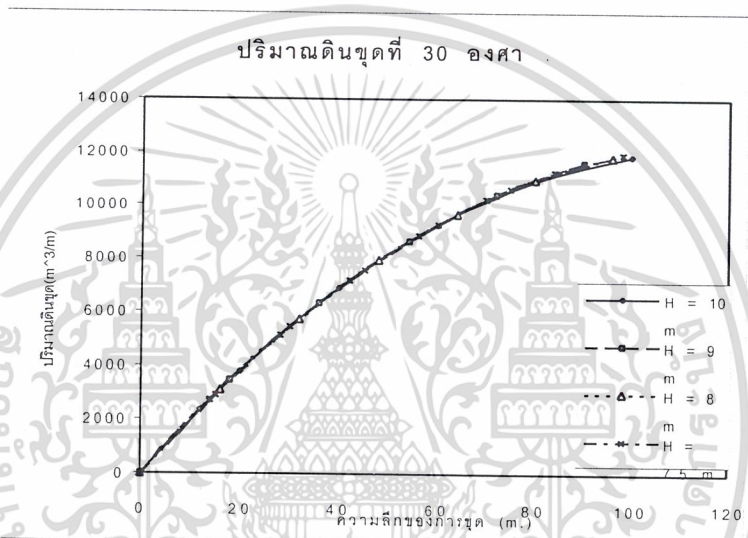
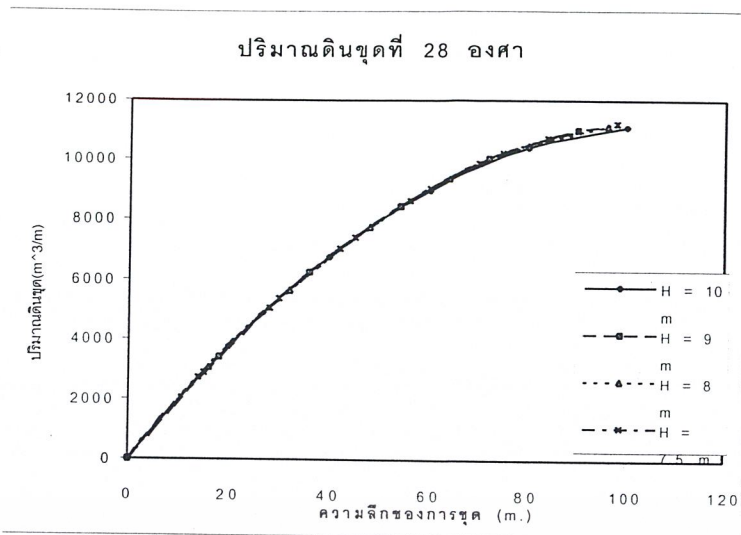


รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Factor of Safety กับค่ามุม Overall Slope ที่ความสูงต่าง ๆ (ต่อ)

5.7 การเลือกค่าความสูงของ Bench

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของ Bench ที่เปลี่ยนไปเมื่อมุม Overall Slope คงที่ จะพบว่าความแตกต่างของปริมาณดินขุดที่ความสูงต่าง ๆ ของ Bench จะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และในช่วงความลึกของการขุดประมาณ 0-50 เมตร แทบไม่มีความแตกต่างของดินขุดเลย ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงของปริมาณดินชุดเมื่อความสูงของ Bench เปลี่ยนแปลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง Factor of Safety ที่เปลี่ยนไปกับการเปลี่ยนแปลง ความสูงของ Bench จะได้ค่า Factor of Safety ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 แสดงค่า Factor of Safety เมื่อความสูงของ Bench เปลี่ยนไป

Overall Slope	ความสูงของ Bench	Factor of Safety
32	10	1.470
	9	1.448
	8	1.464
	7.5	1.462
	7	1.461
30	10	1.553
	9	1.537
	8	1.544
	7.5	1.545
	7	1.543
28	10	1.657
	9	1.626
	8	1.635
	7.5	1.633
	7	1.633

จากตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Factor of Safety กับความสูงของ Bench จะพบว่าค่า Factor of Safety ที่ได้จะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ที่ overall เดียวกัน ซึ่งค่า Factor of Safety ที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับความสูงที่ไม่ลงตัวตามจำนวนชั้นที่ระดับ 100 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม overall slope กับปริมาณดินขุด

ในการพิจารณาเลือกการตัด slope เพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด ปริมาณดินที่ขุดได้ก็เป็นปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาเลือกใช้ slope เนื่องจากถ้าปริมาณดินขุดที่ได้มากขึ้น ก็จะทำให้ปริมาณถ่านที่ขุดได้ก็มีปริมาณมากขึ้นเช่นกัน ถ้าพิจารณาว่าชั้นถ่านหินได้วางกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและมีสัดส่วนระหว่างถ่านหินต่อดินมีค่าสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ ดังนั้นเพื่อให้ได้ปริมาณถ่านหินจำนวนมาก ต้องพิจารณาการตัด slope ที่ทำให้สามารถขุดดินออกได้มากขึ้น โดยมีค่า Factor of Safety (FS.) อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้สำหรับงานเหมือง

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินที่ขุดได้กับ slope ที่ออกแบบไว้แบ่งได้เป็น

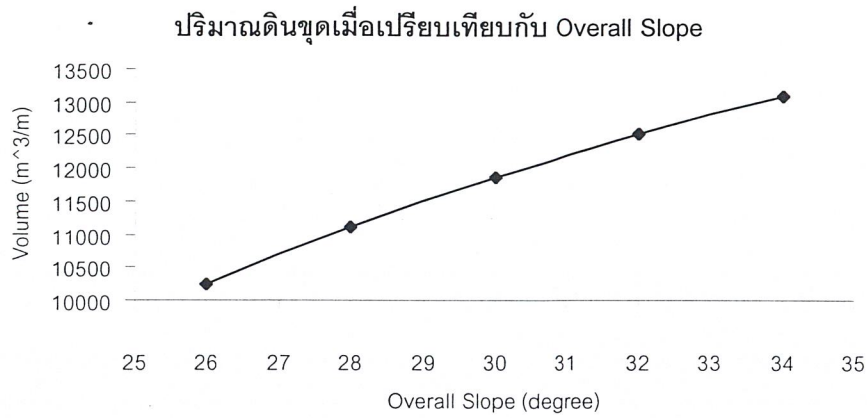
(1) ความสัมพันธ์ระหว่างมุม overall slope กับปริมาณดินที่ขุดได้ต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง โดยพิจารณาที่ค่าความสูงของ Bench (H) เท่ากับ 10 เมตร เพื่อพิจารณาถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณดินขุด เมื่อมุม overall แตกต่างกัน พิจารณาได้จากตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.7

(2) ความสัมพันธ์ระหว่างมุม overall กับปริมาณดินที่ขุดได้ต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง โดยพิจารณาที่ค่าความสูงของ Bench (H) เท่ากับ 10 เมตร และเทียบจากมุม 26° ว่ามีสัดส่วนเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ พิจารณาได้จากตารางที่ 5.9 และรูปที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 แสดงปริมาณดินขุดที่เปลี่ยนไปเมื่อมุม Overall Slope เพิ่มขึ้น

Overall Slope	ปริมาณดินขุด (m^3/m)
26	10251.78
28	11098.19
30	11841.33
32	12502.9
34	13087.92

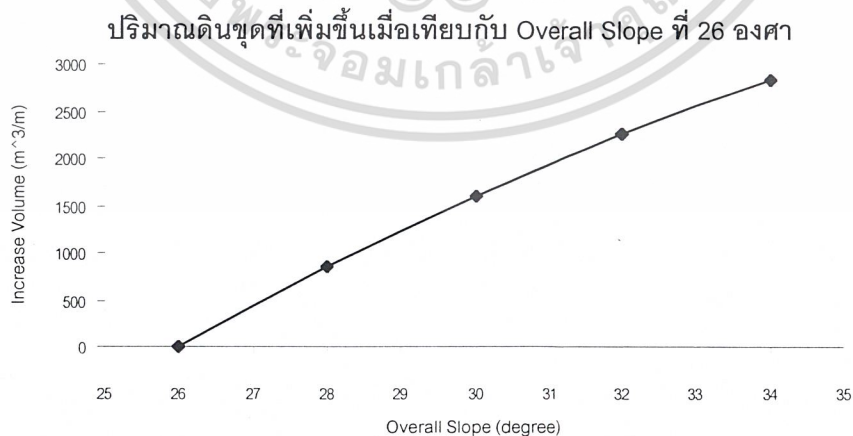
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินขุดและ Overall Slope

ตารางที่ 5.9 แสดงปริมาณดินขุดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณดินขุดที่ Overall Slope 26°

Overall Slope	ปริมาณดินขุดที่เพิ่มขึ้นเทียบกับ Overall Slope ที่ 26° (m ³ /m)	เปอร์เซ็นต์ปริมาณดินขุดที่เพิ่มขึ้น (%)
26	0	0
28	846.41	7.63
30	1589.55	13.42
32	2251.12	18.00
34	2836.14	12.67



เอกสารรูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินขุดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ Overall Slope ที่ 26° ในการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลและความสัมพันธ์ดังแสดง จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงของ Bench ไปจะทำให้ค่า Factor of Safety เปลี่ยนไปน้อยมาก ดังนั้นการพิจารณาเลือกความสูงของ Bench จึงไม่มีค่า Factor of Safety เป็นปัจจัยในการตัดสินใจ ในทำนองเดียวกันปริมาณดินขุดที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปลี่ยนความสูงของ Bench มีความแตกต่างกันน้อยมากจึงไม่เป็นปัจจัยในการเลือกใช้ความสูงของ Bench ดังนั้นการพิจารณาเลือกความสูงของ Bench ในการออกแบบจะเหลือเพื่อปัจจัยเดียวคือ การเลือกจากอุปกรณ์การทำงานและความสะดวกในการทำงานในการขุดเปิดเหมือง

5.9 การออกแบบ Slope

การพิจารณาออกแบบ Slope จะพิจารณาปัจจัยในการออกแบบดังนี้

1. ค่า Factor of Safety เป็นปัจจัยเริ่มแรกในการพิจารณาออกแบบ ซึ่งค่า Factor of Safety ที่เป็นที่ยอมรับกันและเป็นที่ยอมรับใช้ในการออกแบบจะให้ Factor of Safety ประมาณ 1.5 และในการพิจารณาออกแบบ Slope ของบ่อเหมืองบางหมากจะเลือกใช้ค่า Factor of Safety อยู่ระหว่าง 1.4 – 1.6 ซึ่งจากรูปที่ 5.5 จะพบว่าค่า Overall Slope จะอยู่ในช่วง $28^{\circ} - 32^{\circ}$

2. ความสูงของ Bench การเลือกใช้ความสูงของ Bench ในการออกแบบ Slope จะเลือกจากเครื่องมือและความสะดวกในการทำงาน ดังนั้น ในการออกแบบ Slope ของบ่อเหมืองบางหมากจะเลือกในความสูงของ Bench = 10 เมตร เนื่องจากบ่อเหมืองบางหมากเป็นเหมืองขนาดเล็กการใช้เครื่องจักรเครื่องมือในการทำงานจะทำได้อยู่ในขอบเขตที่จำกัดไม่ควรออกแบบความสูงของ Bench สูงเกินไปจะเป็นอุปสรรคในการทำงาน และเครื่องจักรที่นิยมใช้ในการทำงาน คือ รถตักรุ่น 245 มีรัศมีในการทำงานปกติของช่วงแขนตัก 9.71 เมตร

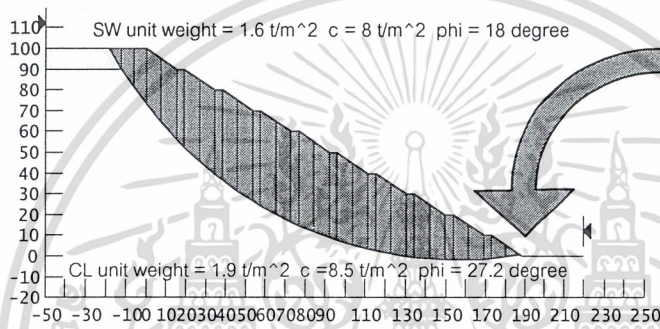
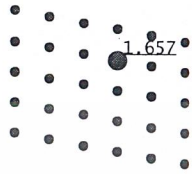
3. ความกว้างของ Bench การเลือกความกว้างของ Bench ในการออกแบบจะขึ้นอยู่กับเครื่องมือเครื่องจักรในการทำการตัด Slope โดยตรง เพราะจะเป็นที่ยื่นของเครื่องจักรในการตัด Slope และเนื่องจากบ่อเหมืองบางหมากเป็นเหมืองขนาดเล็กจึงเลือกใช้ความกว้างของ Bench = 4 เมตร ในการออกแบบ เพราะเป็นขนาดที่เพียงพอในการทำงานของเครื่องจักรโดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

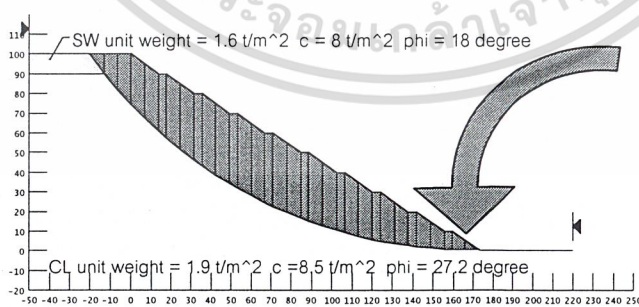
5.10 การตรวจสอบ Strain Rate ที่เกิดขึ้นจริงโดยวิธี Overburden

เมื่อเลือกใช้มุม Overall Slope = $28^{\circ} - 32^{\circ}$ ความสูงของ Bench = 10 เมตร ความกว้างของ Bench = 4 เมตร จะได้รูปแบบ Slope ดังรูปที่ 5.9

Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 28 degree
 Bench slope angle : 33.33 degree
 Hight of bench : 10 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.657



Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 30 degree
 Bench slope angle : 36.08 degree
 Hight of bench : 10 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.553

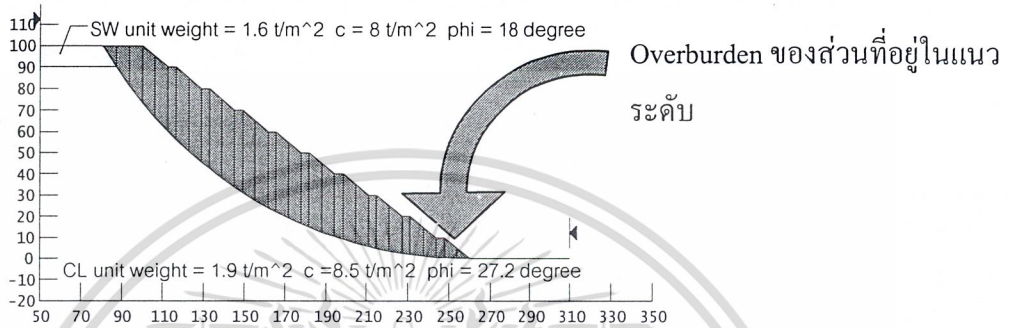


รูปที่ 5.9 รูปแสดงการออกแบบ Slope ที่มุม Overall $28^{\circ} - 32^{\circ}$ ความสูงของ Bench = 10 เมตร

ความกว้างของ Bench = 4 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 32 degree
 Bench slope angle : 38.88 degree
 Hight of bench : 10 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.470



รูปที่ 5.9 รูปแสดงการออกแบบ Slope ที่มุม Overall 28° – 32° ความสูงของ Bench = 10 เมตร ความกว้างของ Bench = 4 เมตร (ต่อ)

หลังจากที่สามารถออกแบบ Slope ได้แล้วก็จะสามารถทราบรูปแบบการพังทลายของ Slope ซึ่งจะเป็นรูปร่างกลม (Circular Failure) จากรูปแบบการพังทลายจะทราบจุดที่เป็นการพังทลายในแนวระดับและแรงกดทับของดินที่อยู่เหนือขึ้นไป (Normal Load) ซึ่งตรงกับสมมติฐานในการศึกษา โดยใช้การหาค่า Shear Strength โดยวิธีทดสอบแบบ Direct Shear Test จากผลการทดสอบ Direct Shear จะทราบจุดที่ดินสามารถรับแรงได้สูงที่สุดมีการเคลื่อนตัวไปเท่าไร และเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดที่ดินต้านทานแรงได้สูงสุด นำระยะทางของการเคลื่อนตัวของดินหารด้วยระยะเวลาที่จะสามารถหาค่า Strain Rate ที่เกิดขึ้นจริงได้ โดยเมื่อมีการเปลี่ยนค่า Shear Strength โดยใช้ค่า Shear Strength ของ Strain Rate อื่น ๆ ก็จะทำให้ระนาบการพังทลายเปลี่ยนแปลงไป จุดที่อยู่ในแนวระดับเปลี่ยนที่ไปส่งผลให้ค่า Normal load เปลี่ยนไปด้วยเมื่อหาค่า Strain Rate จากการหารระยะทางที่ดินเคลื่อนตัวไปกับเวลาที่จะได้ Strain Rate ที่เกิดขึ้นจริงสำหรับกรณีนั้น ทำการเปรียบเทียบการเลือกใช้ ค่า Shear Strength Parameters ที่ Strain Rate นั้นและ Strain Rate ที่เกิดขึ้นจริง ก็จะสามารถเลือกรูปแบบการพังทลายได้ถูกต้องหรือไม่ โดย Strain Rate ที่เลือกใช้หาค่า Shear Strength Parameters ในการออกแบบ Slope เท่ากับ Strain Rate ที่เกิดขึ้นจริงพอดี

จากการเลือกใช้ ค่า Shear Strength ของ Strain Rate ที่ 0.30 mm/min ในการออกแบบ จะได้รูปแบบการพังทลายดังรูปที่ 5.9 และจะทราบค่า Normal load ที่ Overall ต่าง ๆ จากนั้นจึง

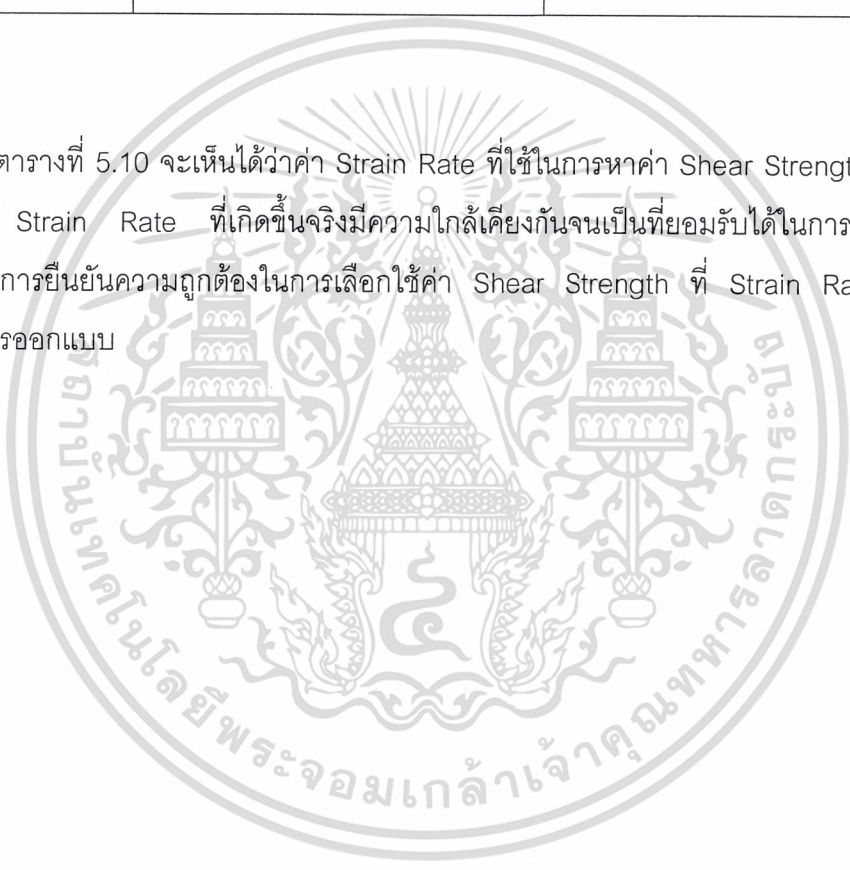
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้กับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณผู้ใดเห็น ใบเขียวจะขอแจ้งว่าการคัดลอกหรือการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายและต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาค่า Strain Rate ที่เกิดขึ้นจริงโดยใช้ผลการทดสอบ Direct Share จากตารางที่ ก.8 ภาคผนวก ก. จะได้ความสัมพันธ์ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Overall Slope , Strain Rate ที่ใช้ในการออกแบบ และ Strain Rate ที่เกิดขึ้นจริง

Overall Slope	Strain Rate ที่ใช้ในการออกแบบ	Strain Rate ที่เกิดขึ้นจริง
28	0.30	0.20
30	0.30	0.24
32	0.30	0.24

จากตารางที่ 5.10 จะเห็นว่าค่า Strain Rate ที่ใช้ในการหาค่า Shear Strength ในการออกแบบและ Strain Rate ที่เกิดขึ้นจริงมีความใกล้เคียงกันจนเป็นที่ยอมรับได้ในการออกแบบ Slope จึงเป็นการยืนยันความถูกต้องในการเลือกใช้ค่า Shear Strength ที่ Strain Rate 0.30 mm/min ในการออกแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลและเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

จากการศึกษาการเลือกใช้ strain rate ที่เหมาะสมในการตัด slope เพื่อให้มีค่าความปลอดภัยอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้สำหรับงานเหมือง จะได้ผลดังต่อไปนี้

1) การเลือกใช้ strain rate ที่เหมาะสมในการออกแบบ slope แบ่งได้เป็น

- Graph เป็นการอ่านค่าจาก Circular Failure Chart ประกอบกับการใช้โปรแกรม slope/w แล้วเปรียบเทียบค่า strain rate ที่เหมาะสมของทั้ง 2 กรณี
- Overburden เป็นการอ่านค่า Normal Stress จาก Failure Surface ที่ได้จากโปรแกรม slope แล้วนำไปอ่านค่า strain rate จากการทดสอบ Direct Shear เปรียบเทียบค่ากัน
- Back Analysis

2) ในการ cut slope ค่า strain rate เหมาะสมโดยพิจารณาเปรียบเทียบจากกราฟแล้วจะได้ค่าเท่ากับ 0.30 mm./min.

3) ข้อมูลทางด้านกำลังของดิน เพื่อใช้พิจารณาเปิดเหมือง ควรเลือกใช้ที่สภาวะธรรมชาติ (Nature) แทนการเลือกใช้ที่สภาวะอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) และเมื่อพิจารณาที่ strain rate 0.3 mm./min. แล้วจะได้ค่าดังต่อไปนี้

Unit weight (γ)	= 1.9 t/m ³
Cohesion (C)	= 8.5 t/m ²
Friction Angle (ϕ)	= 27.2 °

3) เมื่อพิจารณาค่ากำลังของดิน ที่ strain rate 0.30 mm./min. ในการวิเคราะห์ค่า Factor of Safety ที่ค่าประมาณ 1.5 แล้ว จะได้ค่า overall slope มีค่าประมาณ 30°

4) การพิจารณาความกว้างและความสูงของ Bench ต้องพิจารณาถึงปัจจัยการเลือกใช้เครื่องมือเครื่องจักรและกระบวนการในการทำงานเหมือง (Mining Sequence) เป็นสำคัญ

5) การตัด slope โดยพิจารณาความกว้างและความสูงของ Bench โดยมี overall slope ค่าเดียวกันแล้ว จะส่งผลต่อค่า Factor of Safety เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

6) เมื่อพิจารณาที่ความสูง 10 เมตร ปริมาณดินขุดจะยิ่งมากขึ้นเมื่อมุม overall slope ยิ่งมีค่ามากขึ้น (ชันขึ้น) และจะมีค่าน้อยลงเมื่อมุม overall slope มีค่าน้อย (ราบมาก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ค่า strain rate ที่เลือกใช้โดยพิจารณาจากกราฟ และเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ overburden แล้วจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกันประมาณ 0.30 mm./min.

6.2 เสนอแนะ

1) การทดสอบ Direct Shear ควรพิจารณาทดสอบที่ค่า strain rate และ Normal Load หลาย ๆ ค่าเพื่อพิจารณาการเลือกใช้ให้เหมาะสมและได้ค่าที่ใกล้เคียงค่าที่ถูกต้องมากที่สุด

2) การพิจารณาเรื่องค่าใช้จ่ายในการ cut slope ที่ค่ามุม overall slope ต่างๆ กัน ควรพิจารณาประกอบในการเลือกใช้ความลาดชัน แต่เนื่องจากข้อมูลมีน้อยเกินไปจึงไม่สามารถจัดทำได้

3) ควรวิเคราะห์ผลของ residual shear strength ประกอบกับค่า maximum shear strength



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลองหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร

(Total Unit Weight)

Project : soil parameter for slope failure analysis

Location : บ่อเหมืองบางหมาก จ.กระบี่

ลักษณะของดิน : well graded sand

วันที่ : 18 มกราคม 2542

ข้อมูลขนาดท่อทรงกระบอก

การวัดครั้งที่	1	2	3
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน , ซม.	7.58	7.56	7.62
ความสูง , ซม.	8.9	8.37	8.62
ปริมาตร , ลบ.ซม.	401.62	375.72	393.1
ปริมาตรเฉลี่ย , ลบ.ซม.	390.15		

ข้อมูลการทดลองน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร

การวัดครั้งที่	1	2
น้ำหนักกระบอก + ดิน , กรัม	894.23	921.54
น้ำหนักกระบอก , กรัม	289.5	289.5
น้ำหนักดิน , กรัม	604.8	632.04
ปริมาตรทรงกระบอก , ลบ.ซม.	390.15	390.15
น้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร	1.55	1.62
(Total Unit Weight) , กรัม/ลบ.ซม.	1.59	

หมายเหตุ

ตารางที่ ก.1 ผลการทดลองหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weigth)

ของ well graded sand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

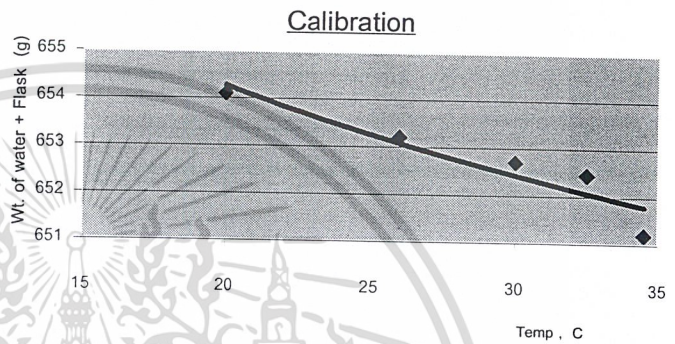
(Specific Gravity of Soil Solid)

Project : soil parameter for slope failure analysis
 Location : บ่อเหมืองบางหมาก จ.กระบี่
 ลักษณะของดิน : well graded sand
 วันที่ : 19 มกราคม 2542

การทดสอบขวดแก้วฟลาซ

ความจุ 500 ลบ.ซม.

ครั้งที่	นน.ขวด + น้ำ (g)	temp , C
1	654.1	20
2	653.2	26
3	652.7	30
4	652.45	32.5
5	651.2	34.5



การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

การทดลองที่	1	2
1. Temperature , C	21.5	24.5
2. Weight of Flask + Water + Soil , W1 , g.	692	693
3. Weight of Flask + Water (Calib.) , g.	653.9	653.43
4. Container No.	E-01 ,E-02 ,E-03	E-01 ,E-02 ,E-03
5. Weight of Dry Soil + Container , g.	317	247
6. Weight of Container , g.	254	186
7. Weight of Dry Soil , Ws , g.	62	61
8. Specific Gravity of Water at t C , Gt	0.9979	0.9972
9. Specific Gravity of Soil $= (7 \times 8) / (3 + 7 - 2)$	2.59	2.84
ค่าเฉลี่ย Gs	2.72	

ตารางที่ ก.2 ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil Solid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารของ well graded sand เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ผลการทดลองหาขนาดเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) ของ well-graded sand

การทดลองปรุพีกลศาสตร์
การทดลองหาขนาดของเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน
(Sieve Analysis)

Project :

SOIL SAMPLE WEIGHT

Location :

Container No.:

C-01

Description of Soil : ดินละเอียดถึงหยาบปานกลางปนเม็ดถ่านสีดำเข้ม

Weight of Container + Dry Soil

925 g.

Boring No. : BH-12-18

Depth : 5.50-7.50 m.

Weight of Container

195 g.

Test by : Sorasit

Date : 5/1/2542

Weight of Dry Soil

730 g.

Sieve No.	Sieve Opening mm.	Weight of Sieve g.	Weight of Sieve Soil g.	Weight of Soil + Retained g.	Cumulative Retained g.	Cumulative Retain %	Precent Finer %
3/8	9.50	557	635	78	78	10.68	89.32
4	4.75	506	673	167	245	33.56	66.44
10	2.00	474	665	191	436	59.73	40.27
40	0.42	371	569	198	634	86.85	13.15
100	0.15	368	429	61	695	95.21	4.79
200	0.075	337	356	19	714	97.81	2.19
Pan	-	387	403	16	730	100.00	0.00

การทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลองหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร

(Total Unit Weight)

Project : soil parameter for slope failure analysis
 Location : ปอเหมืองบางหมาก จ.กระบี่
 ลักษณะของดิน : clay
 วันที่ : 18 มกราคม 2542

ข้อมูลขนาดท่อทรงกระบอก

การวัดครั้งที่	1	2
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน , ซม.	7.5	7.5
ความสูง , ซม.	11	10
ปริมาตร , ลบ.ซม.	485.97	441.79
ปริมาตรเฉลี่ย , ลบ.ซม.	463.88	

ข้อมูลการทดลองหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร

การวัดครั้งที่	1	2
น้ำหนักกระบอก + ดิน , กรัม	1844.42	1374.02
น้ำหนักกระบอก , กรัม	420	420.1
น้ำหนักดิน , กรัม	924.42	953.92
ปริมาตรทรงกระบอก , ลบ.ซม.	491.71	491.71
น้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร	1.88	1.84
(Total Unit Weight) , กรัม/ลบ.ซม.	1.9	

หมายเหตุ

ตารางที่ ก.5 ผลการทดลองหาน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weight) ของ clay ด้านการคำนวณ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองปฐพีกลศาสตร์

การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

(Specific Gravity of Soil Solid)

Project : soil parameter for slope failure analysis

Location : บ่อเหมืองบางหมาก จ.กระบี่

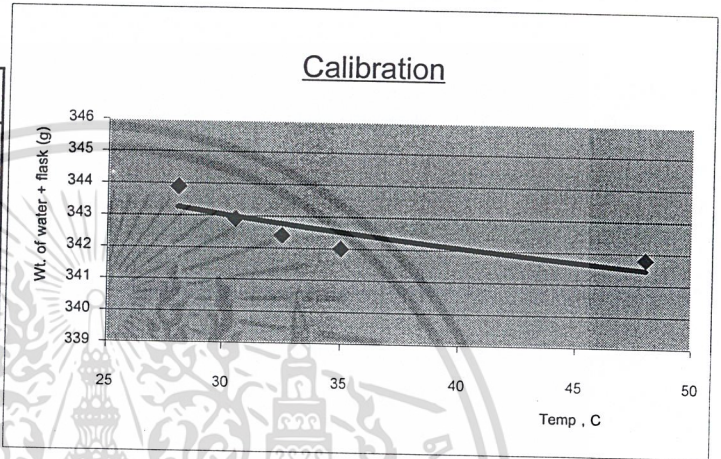
ลักษณะของดิน : clay

วันที่ : 19 มกราคม 2542

การทดสอบขวดแก้วฟลาซ

ความจุ 250 ลบ.ซม.

ครั้งที่	นน.ขวด + น้ำ (g)	temp , C
1	343.9	28
2	342.9	30.5
3	342.4	32.5
4	342	35
5	341.8	48



การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

การทดลองที่	1	2
1. Temperature , C	30	30.5
2. Weight of Flask + Water + Soil , W1 , g	354	353.5
3. Weight of Flask + Water (Calib.) , g.	342.4	342.2
4. Container No.	E-01 ,E-02 ,E-03	E-01 ,E-02 ,E-03
5. Weight of Dry Soil + Container , g.	42.6	42
6. Weight of Container , g.	24	24
7. Weight of Dry Soil , Ws , g.	18.6	18
8. Specific Gravity of Water at t C , Gt	0.9957	0.996
9. Specific Gravity of Soil $= (7 \times 8) / (3 + 7 - 2)$	2.65	2.67
ค่าเฉลี่ย Gs	2.66	

ตารางที่ ก.6 ผลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil Solid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารของ clay วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองปรุพิภพศาสตร์
การทดลองหาความชื้น (Water Content)

พิกัดเหลว (Liquid Limit) พิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

Project : soil parameter for slope failure analysis

Location : บ่อเหมืองบางหมาก จ.กระบี่

ลักษณะของดิน : clay

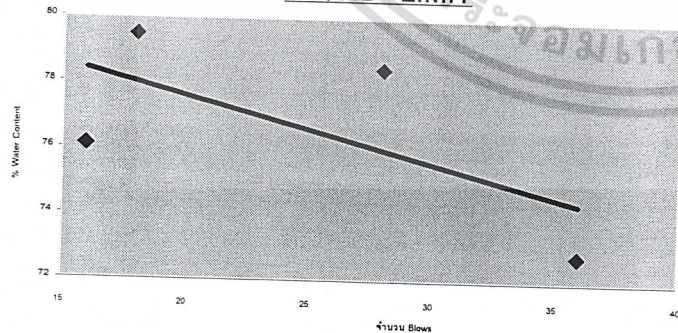
วันที่ : 18 มกราคม 2542

Container No.	PLASTIC LIMIT		NATURAL WATER CONTENT		
			C-01	C-02	C-03
Weight of Wet Soil + Container , g.	31.23	35.34	62	61	58
Weight of Dry Soil + Container , g.	29.3	33.86	54	53	51
Weight of Water , g.	1.93	1.48	8	8	7
Weight of Container , g.	24.2	29.8	24	24	24
Weight of Dry Soil , g.	4.2	4.06	38	37	34
Water Content , W , %	45.95	36.45	21	21.62	20.55
Average , %	41.2		21.07		

LIQUID LIMIT

Number of Blows	16	18	28	36	40
Container No.	9	C-11	C-07	E-06	C-10
Weight of Wet Soil + Container , g.	33.61	30.62	30.11	30.84	29.88
Weight of Dry Soil + Container , g.	29.5	27.6	27.6	28	27.4
Weight of Wayer , g.	4.11	3.02	2.51	2.84	2.48
Weight of Container , g.	24.1	23.8	24.4	24.1	23.8
Weight of Dry Soil , g.	5.4	3.8	3.2	3.9	3.6
Water Content , W , %	76.11	79.47	78.44	72.82	68.89

LIQUID LIMIT



Liquid Limit , WL 77%
Plastic Limit , Wp 41.20%
Natural Water Content , Wn 21.07%
Plastic Index , PI 35.80%

ตารางที่ ก.7 ผลการทดลองหาความชื้น (Water Content), พิกัดเหลว (Liquid Limit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารพิกัดพลาสติก (Plastic Limit) ของ clay
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
0	0	4.7372	0	0	0
0.2667	12.859	4.6959	5.5933	20	-0.041
0.5660	21.137	4.7060	9.1938	40	-0.031
0.8663	23.511	4.7322	10.227	60	-0.005
1.1746	24.214	4.7402	10.532	80	0.003
1.4898	23.779	4.7543	10.343	100	0.017
1.8061	22.441	4.7633	9.7610	120	0.026
2.1223	21.102	4.7672	9.1790	140	0.030
2.4365	19.949	4.7692	8.6771	160	0.032
2.7527	19.112	4.7732	8.3133	180	0.036
3.0650	18.310	4.7813	7.9644	200	0.044
3.3841	17.473	4.7852	7.6004	220	0.048
3.7003	16.788	4.7922	7.3022	240	0.055
4.0087	16.220	4.8004	7.0551	260	0.063
4.3130	15.852	4.8085	6.8951	280	0.071
4.6193	15.568	4.8155	6.7716	300	0.078
4.9326	15.334	4.8206	6.6698	320	0.083
5.2369	15.150	4.8246	6.5897	340	0.087
5.5581	14.932	4.8346	6.4952	360	0.097
5.8732	14.681	4.8426	6.3859	380	0.105
6.1905	14.481	4.8487	6.2987	400	0.111
6.5126	14.180	4.8517	6.1678	420	0.115
6.8279	13.862	4.8547	6.0296	440	0.118
7.1422	13.595	4.8608	5.9133	460	0.124
7.4534	13.427	4.8618	5.8405	480	0.125
7.7677	13.210	4.8639	5.7461	500	0.127
8.0800	13.076	4.8669	5.6879	520	0.130
8.3872	12.993	4.8688	5.6515	540	0.132
8.7034	12.875	4.8728	5.6005	560	0.136
9.0086	12.708	4.8748	5.5277	580	0.138
9.3098	12.675	4.8767	5.5131	600	0.140
9.6207	12.743	4.8791	5.5426	620	0.142
9.9250	12.625	4.8841	5.4917	640	0.147
10.237	12.559	4.8893	5.4628	660	0.152
10.549	12.408	4.8912	5.3972	680	0.154
10.860	12.392	4.8963	5.3900	700	0.159
11.168	12.241	4.8993	5.3245	720	0.162
11.486	12.241	4.9043	5.3245	740	0.167
11.797	12.158	4.9065	5.2884	760	0.169
12.111	12.175	4.9075	5.2957	780	0.170
12.429	12.208	4.9125	5.3101	800	0.175

Project: Bangkok
 Location: Krabi
 Boring No: BH-1
 Soil Sample: Clay , Natural
 Tested by: Vittawat
 Normal load : 10.874 t/m²
 Strain Rate: 1.140 mm/min

Depth: 6.00-6.50 m.
 Date: 15/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.85
Area (cm ²)	22.99
Volume , V (cm ³)	65.52
Weight of soil + container (g)	145.41
Weight of container (g)	24.50
Weight of soil , W (g)	120.91
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.85
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.51

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C15
Weight of wet soil + container (g)	145.41
Weight of dry soil + container (g)	123.30
Weight of water (g)	22.11
Weight of container (g)	24.50
Weight of dry soil (g)	98.80
Water content , w %	22.38

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
0.5206	0.371	3.3298	0.1598	0	0
0.5236	0.353	3.3270	0.1518	20	-0.003
0.7860	10.099	3.3144	4.3455	40	-0.015
1.0773	17.965	3.3105	7.7300	60	-0.019
1.3737	24.612	3.3163	10.590	80	-0.014
1.6730	22.834	3.3230	9.8253	100	-0.007
1.9733	23.030	3.3171	9.9098	120	-0.013
2.2706	28.052	3.3133	12.070	140	-0.017
2.5719	33.132	3.3191	14.257	160	-0.011
2.8752	36.920	3.3384	15.886	180	0.009
3.1696	38.153	3.3491	16.417	200	0.019
3.4649	38.886	3.3596	16.732	220	0.030
3.7522	39.609	3.3711	17.044	240	0.041
4.0416	39.720	3.3866	17.091	260	0.057
4.3309	39.447	3.3933	16.974	280	0.064
4.6262	39.464	3.4087	16.981	300	0.079
4.9185	38.350	3.4222	16.502	320	0.092
5.2209	37.277	3.4406	16.040	340	0.111
5.5142	36.699	3.4579	15.791	360	0.128
5.8364	36.426	3.4742	15.674	380	0.144
6.1339	36.076	3.4984	15.523	400	0.169
6.4272	35.344	3.5235	15.208	420	0.194
6.7396	34.620	3.5370	14.897	440	0.207
7.0419	33.956	3.5515	14.611	460	0.222
7.3471	33.455	3.5659	14.395	480	0.236
7.6463	33.397	3.5822	14.370	500	0.252
7.9636	32.962	3.5986	14.183	520	0.269
8.2638	32.562	3.6140	14.011	540	0.284
8.5641	32.171	3.6227	13.843	560	0.293
8.8565	31.814	3.6439	13.689	580	0.314
9.1558	31.286	3.6535	13.462	600	0.324
9.4503	30.893	3.6709	13.293	620	0.341
9.7617	30.442	3.6893	13.099	640	0.359

Project: Bangkok
 Location: Krabi
 Boring No: BH-2
 Soil Sample: Clay , Natural
 Tested by: Vittawat
 Normal load : 21.515 t/m²
 Strain Rate: 1.140 mm/min

Depth: 7.00-7.50
 Date: 15/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	3.20
Area (cm ²)	23.24
Volume , V (cm ³)	74.37
Weight of soil + container (g)	158.76
Weight of container (g)	24.20
Weight of soil , W (g)	134.56
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.81
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.47

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C24
Weight of wet soil + container (g)	158.76
Weight of dry soil + container (g)	133.70
Weight of water (g)	25.06
Weight of container (g)	24.20
Weight of dry soil (g)	109.50
Water content , w %	22.89

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองหาค่า Shear Strength โดยวิธี Direct Shear ของ well graded sand และ clay ที่ strain rate 0.3 และ 1.14 mm / min

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
7.4873	1.0122	5.4875	0.4307	0	0
7.4423	0.9954	5.4895	0.4236	50	0.002
7.5271	0.9954	5.5057	0.4236	100	0.018
7.7045	17.034	5.5117	7.2484	150	0.024
7.9167	19.011	5.4734	8.0898	200	-0.014
2.0460	15.368	12.369	6.6127	250	6.882
2.2496	17.358	12.338	7.4690	300	6.851
2.4421	19.632	12.325	8.4475	350	6.837
2.6496	21.936	12.307	9.4391	400	6.819
2.8521	23.844	12.287	10.108	450	6.799
3.0496	25.877	12.288	10.970	500	6.800
3.2472	27.639	12.282	11.717	550	6.794
3.4397	29.197	12.272	12.377	600	6.785
3.6333	30.775	12.265	13.242	650	6.777
3.8228	32.005	12.264	13.771	700	6.776
4.0144	32.873	12.258	14.145	750	6.771
4.2139	33.673	12.253	14.489	800	6.766
4.4023	34.482	12.245	14.837	850	6.757
4.5969	34.958	12.239	14.819	900	6.752
4.7974	35.546	12.230	15.068	950	6.742
4.9920	35.843	12.222	15.194	1000	6.735
5.1935	35.750	12.196	15.155	1050	6.708
5.3890	35.844	12.173	15.423	1100	6.686
5.5885	35.903	12.144	15.449	1150	6.657
5.7960	36.056	12.128	15.515	1200	6.641
6.0025	36.320	12.111	15.628	1250	6.623
6.2030	36.465	12.093	15.690	1300	6.605
6.3986	36.499	12.082	15.472	1350	6.594
6.6052	36.685	12.066	15.551	1400	6.578
6.8047	36.549	12.049	15.493	1450	6.561
7.0072	36.447	12.033	15.450	1500	6.545
7.2076	36.192	12.018	15.573	1550	6.531
7.4060	35.964	11.996	15.475	1600	6.508
7.6096	35.674	11.982	15.350	1650	6.494
7.8202	35.631	11.965	15.332	1700	6.477
8.0267	35.341	11.953	14.982	1750	6.465
8.2282	35.154	11.934	14.902	1800	6.446
8.4366	34.840	11.914	14.769	1850	6.427
8.6262	34.533	11.900	14.639	1900	6.413
8.8187	34.261	11.878	14.524	1950	6.391
9.0201	34.075	11.851	14.662	2000	6.363

Project: Bangkok
 Location: Krabi
 Boring No: BH-5
 Soil Sample: Clay , Natural
 Tested by: Vittawat
 Normal load : 21.515 t/m²
 Strain Rate: 0.30 mm/min

Depth: 7.00-7.50 m.
 Date: 15/1-2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	3.09
Area (cm ²)	23.50
Volume , V (cm ³)	72.62
Weight of soil + container (g)	164.74
Weight of container (g)	24.26
Weight of soil , W (g)	140.48
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.93
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.50

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C10
Weight of wet soil + container (g)	164.74
Weight of dry soil + container (g)	133.26
Weight of water (g)	31.48
Weight of container (g)	24.26
Weight of dry soil (g)	109.00
Water content , w %	28.88

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
2.7343	1.4051	5.4743	0.5979	0	0
2.7343	1.4732	5.4733	0.6269	25	-0.001
2.7343	1.3463	5.4771	0.5729	50	0.003
2.7772	10.529	5.4819	4.4804	75	0.008
2.8740	18.442	5.4733	7.8476	100	-0.001
2.9688	23.709	5.4734	10.089	125	-0.001
3.0655	27.990	5.4820	11.911	150	0.008
3.1603	31.300	5.4898	13.319	175	0.015
3.2601	34.125	5.4955	14.521	200	0.021
3.3568	36.032	5.5002	15.333	225	0.026
3.4526	37.895	5.5032	16.126	250	0.029
3.5474	39.053	5.5061	16.618	275	0.032
3.6421	40.346	5.5013	17.169	300	0.027
3.7399	41.061	5.5013	17.473	325	0.027
3.8376	41.887	5.5022	17.824	350	0.028
3.9305	42.379	5.4976	18.034	375	0.023
4.0252	43.009	5.4946	18.302	400	0.020
4.1248	43.649	5.4953	18.574	425	0.021
4.2147	43.708	5.4916	18.599	450	0.017
4.3145	43.852	5.4810	18.660	475	0.007
4.4074	43.970	5.4802	18.711	500	0.006
4.5130	44.116	5.4800	18.773	525	0.006
4.6047	44.040	5.4703	18.740	550	-0.004
4.7056	43.979	5.4705	18.715	575	-0.004
4.7995	43.817	5.4485	18.645	600	-0.026
4.9022	43.808	5.4359	18.642	625	-0.038
4.9969	43.937	5.4261	18.697	650	-0.048
5.1047	43.689	5.4205	18.591	675	-0.054
5.2961	43.486	5.4048	18.505	725	-0.069
5.3959	43.427	5.3972	18.479	750	-0.077
5.4927	43.461	5.3760	18.494	775	-0.098
5.5972	43.462	5.3671	18.494	800	-0.107
5.7041	43.358	5.3519	18.450	825	-0.122
5.8030	43.265	5.3471	18.410	850	-0.127
5.9077	43.052	5.3317	18.320	875	-0.143
6.1172	42.559	5.3008	18.110	925	-0.173
6.2089	42.286	5.2873	17.994	950	-0.187
6.3126	41.861	5.2718	17.813	975	-0.202
6.4064	41.495	5.2632	17.658	1000	-0.211

Project: Bangkok
 Location: Krabi
 Boring No: BH-6
 Soil Sample: Clay , Natural
 Tested by: Vittawat
 Normal load : 31.915 t/m²
 Strain Rate: 0.30 mm/min

Depth: 7.50-8.00 m.
 Date: 15/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.88
Area (cm ²)	23.50
Volume , V (cm ³)	67.68
Weight of soil + container (g)	152.30
Weight of container (g)	24.82
Weight of soil , W (g)	127.48
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.90
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.50

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C05
Weight of wet soil + container (g)	152.30
Weight of dry soil + container (g)	126.57
Weight of water (g)	25.73
Weight of container (g)	24.82
Weight of dry soil (g)	101.75
Water content , w %	25.29

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองหาค่า Shear Strength โดยวิธี Direct Shear ของ well graded sand และ gly clay ที่ strain rate 0.3 และ 1.14 mm / min (ต่อ)

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
-0.016	0.1255	5.7794	0.0530	0	0
-0.009	4.9334	5.7674	2.0843	10	-0.012
0.1254	8.5957	5.7603	3.6315	20	-0.019
0.2736	12.158	5.7503	5.1364	30	-0.029
0.4188	15.135	5.7363	6.3940	40	-0.043
0.5710	17.392	5.7363	7.3477	50	-0.045
0.7191	19.282	5.7334	8.1463	60	-0.046
0.8643	20.720	5.7344	8.7539	70	-0.045
1.0105	22.059	5.7384	9.3192	80	-0.041
1.1647	23.396	5.7474	9.8843	90	-0.032
1.3248	24.918	5.7575	10.527	100	-0.022
1.4770	26.406	5.7806	11.156	110	0.001
1.6321	27.745	5.7948	11.721	120	0.015
1.7863	28.715	5.8099	12.131	130	0.031
1.9385	30.086	5.8291	12.711	140	0.050
2.0936	31.441	5.8391	13.283	150	0.060
2.2408	32.728	5.8652	13.827	160	0.086
2.3980	34.184	5.8915	14.442	170	0.112
2.5530	35.268	5.9162	14.900	180	0.137
2.7062	36.389	5.9404	15.374	190	0.161
2.8603	37.426	5.9676	15.812	200	0.188
3.0135	39.366	5.9967	16.631	210	0.217
3.1725	41.187	6.0236	17.400	220	0.244
3.3296	43.494	6.0427	18.375	230	0.263
3.4857	45.434	6.0708	19.195	240	0.291
3.6409	46.504	6.0960	19.647	250	0.317
3.7921	47.023	6.1283	19.866	260	0.349
3.9491	43.410	6.1835	18.340	270	0.404
4.0973	43.478	6.2308	18.368	280	0.451
4.2495	43.478	6.2792	18.368	290	0.500
4.4076	43.110	6.3193	18.213	300	0.540
4.5608	41.738	6.3586	17.633	310	0.579
4.7180	36.405	6.3587	15.380	320	0.579
4.8731	34.666	6.3707	14.645	330	0.591
5.0262	33.679	6.3868	14.228	340	0.607
5.1902	33.193	6.4149	14.023	350	0.635
5.3444	33.010	6.4370	13.946	360	0.658
5.4987	32.141	6.4583	13.579	370	0.679
5.6578	30.987	6.4714	13.091	380	0.692
5.8099	30.101	6.4905	12.717	390	0.711
5.9641	29.716	6.5056	12.554	400	0.726

Project: Bangmak
 Location: Krabi
 Boring No: BH-7
 Soil Sample: Clay , Saturated
 Tested by: Vittawat
 Normal load : 10.562 t/m²
 Strain Rate : 1.140 mm/min
 Depth: 7.50-8.50 m.
 Date: 15/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.86
Area (cm ²)	23.67
Volume , V (cm ³)	67.70
Weight of soil + container (g)	153.12
Weight of container (g)	24.25
Weight of soil , W (g)	128.87
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.90
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.56

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C21
Weight of wet soil + container (g)	153.12
Weight of dry soil + container (g)	130.00
Weight of water (g)	23.12
Weight of container (g)	24.25
Weight of dry soil (g)	105.75
Water content , w %	21.86

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
3.1671	1.3510	14.867	0.5646	0	0
3.1662	1.3417	14.868	0.5607	10	0.001
3.2310	2.9925	14.871	1.2505	20	0.004
3.3606	17.017	14.871	7.1112	30	0.004
3.5013	21.075	14.871	8.8071	40	0.004
3.6389	23.382	14.870	9.7710	50	0.003
3.7845	24.370	14.870	10.184	60	0.003
3.9282	25.161	14.873	10.514	70	0.006
4.0689	25.704	14.867	10.741	80	0.000
4.2265	26.062	14.863	10.891	90	-0.004
4.3601	26.309	14.862	10.994	100	-0.005
4.5118	26.572	14.857	11.104	110	-0.010
4.6554	27.024	14.851	11.293	120	-0.016
4.8050	27.058	14.845	11.307	130	-0.022
4.9546	27.160	14.838	11.350	140	-0.029
5.1104	27.303	14.834	11.410	150	-0.033
5.2550	27.269	14.828	11.395	160	-0.039
5.3977	27.294	14.821	11.406	170	-0.046
5.5503	27.192	14.815	11.363	180	-0.052
5.7039	26.980	14.806	11.274	190	-0.061
5.8565	26.980	14.799	11.274	200	-0.068
6.0161	26.810	14.790	11.203	210	-0.077
6.1627	26.699	14.785	11.157	220	-0.082
6.3124	26.690	14.780	11.154	230	-0.087
6.4571	26.749	14.775	11.178	240	-0.092
6.6117	26.537	14.766	11.090	250	-0.101
6.7662	26.444	14.764	11.051	260	-0.103
6.9171	26.493	14.759	11.071	270	-0.108
7.0657	26.417	14.753	11.039	280	-0.114
7.2184	26.238	14.750	10.964	290	-0.117
7.3708	26.231	14.743	10.962	300	-0.124
7.5204	26.197	14.741	10.947	310	-0.126
7.6641	26.146	14.737	10.926	320	-0.130
7.8277	26.044	14.731	10.883	330	-0.136
7.9873	26.044	14.726	10.883	340	-0.141
8.1338	26.104	14.719	10.908	350	-0.148
8.2835	26.036	14.714	10.880	360	-0.153
8.4354	25.983	14.710	10.858	370	-0.157
8.5840	25.948	14.709	10.843	380	-0.158
8.7326	26.026	14.703	10.876	390	-0.164
8.8794	25.905	14.701	10.825	400	-0.166

Project: Bangmak
 Location: Krabi
 Boring No: BH-8
 Soil Sample: Clay , Saturated
 Tested by: Vittawat
 Normal load : 20.894 t/m²
 Strain Rate : 1.140 mm/min
 Depth: 6.50-7.00 m.
 Date: 15/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.85
Area (cm ²)	23.93
Volume , V (cm ³)	68.20
Weight of soil + container (g)	147.80
Weight of container (g)	24.50
Weight of soil , W (g)	123.30
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.81
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.37

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C06
Weight of wet soil + container (g)	147.80
Weight of dry soil + container (g)	117.85
Weight of water (g)	29.95
Weight of container (g)	24.50
Weight of dry soil (g)	93.35
Water content , w %	32.08

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองหาค่า Shear Strength โดยวิธี Direct Shear ของ well graded sand และ clay clay ที่ strain rate 0.3 และ 1.14 mm / min (ต่อ)

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
1.5023	1.2705	5.6486	0.5386	0	0
1.5023	1.2953	5.6467	0.5491	10	-0.002
1.5901	9.9241	5.6390	4.2069	20	-0.010
1.7317	14.792	5.6168	6.2703	30	-0.032
1.8744	17.974	5.6005	7.6195	40	-0.048
2.0210	20.705	5.5889	8.7772	50	-0.060
2.1707	22.545	5.5705	9.5569	60	-0.078
2.3223	24.213	5.5619	10.264	70	-0.087
2.4719	25.710	5.5464	10.899	80	-0.102
2.6236	26.628	5.5340	11.288	90	-0.115
2.7683	27.334	5.5273	11.587	100	-0.121
2.9309	27.811	5.5158	11.789	110	-0.133
3.0825	28.355	5.5042	12.020	120	-0.144
3.2192	28.551	5.4964	12.103	130	-0.152
3.3748	28.585	5.4897	12.118	140	-0.159
3.5224	28.713	5.4830	12.172	150	-0.166
3.6600	28.757	5.4809	12.190	160	-0.168
3.8027	28.560	5.4742	12.107	170	-0.174
3.9474	28.407	5.4675	12.042	180	-0.181
4.0931	28.015	5.4647	11.876	190	-0.184
4.2407	28.083	5.4589	11.905	200	-0.190
4.3823	28.024	5.4512	11.880	210	-0.197
4.5330	27.811	5.4512	11.789	220	-0.197
4.6846	27.547	5.4454	11.678	230	-0.203
4.8303	27.453	5.4416	11.638	240	-0.207
4.9660	27.113	5.4348	11.493	250	-0.214
5.1276	26.926	5.4329	11.414	260	-0.216
5.2802	26.823	5.4290	11.371	270	-0.220
5.4238	26.560	5.4222	11.259	280	-0.226
5.5724	26.365	5.4222	11.176	290	-0.226
5.7340	26.212	5.4154	11.111	300	-0.233
5.8837	26.127	5.4126	11.075	310	-0.236
6.0343	25.888	5.4097	10.974	320	-0.239
6.1839	25.548	5.4097	10.830	330	-0.239
6.3336	25.616	5.4039	10.859	340	-0.245
6.4842	25.497	5.4010	10.808	350	-0.248
6.6338	25.361	5.3981	10.751	360	-0.250
6.7885	25.199	5.3982	10.682	370	-0.250
6.9392	24.943	5.3953	10.574	380	-0.253
7.0907	24.901	5.3914	10.556	390	-0.257
7.2404	24.578	5.3875	10.419	400	-0.261

Project: Bangmark
 Location: Krabi
 Boring No: BH-9
 Soil Sample: Clay , Saturated
 Tested by: Vittawat
 Normal load : 31.793 t/m²
 Strain Rate : 1.140 mm/min
 Depth: 7.00-7.50 m.
 Date: 15/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.73
Area (cm ²)	23.59
Volume , V (cm ³)	64.40
Weight of soil + container (g)	148.78
Weight of container (g)	24.13
Weight of soil , W (g)	124.65
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.94
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.46

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C08
Weight of wet soil + container (g)	148.78
Weight of dry soil + container (g)	118.07
Weight of water (g)	30.71
Weight of container (g)	24.13
Weight of dry soil (g)	93.94
Water content , w %	32.69

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
7.1521	1.0027	4.4115	0.4267	0	0
7.1511	0.9358	4.4105	0.3982	25	-0.001
7.1263	0.9191	4.4025	0.3911	50	-0.009
7.0994	0.9860	4.4045	0.4196	75	-0.007
7.1192	0.9358	4.4044	0.3982	100	-0.007
7.1966	5.0316	4.4023	2.1411	125	-0.009
7.2933	9.4457	4.3854	4.0195	150	-0.026
7.3917	11.970	4.3773	5.0937	175	-0.034
7.4882	12.255	4.3744	5.2148	200	-0.037
7.5910	12.573	4.3640	5.3503	225	-0.047
7.6853	13.292	4.3534	5.6561	250	-0.058
7.7925	13.927	4.3502	5.9262	275	-0.061
7.8908	14.729	4.3431	6.2676	300	-0.068
7.9926	15.432	4.3363	6.5668	325	-0.075
8.0928	16.200	4.3341	6.8938	350	-0.077
8.1912	16.936	4.3321	7.2068	375	-0.079
8.2895	17.487	4.3280	7.4414	400	-0.084
8.3912	18.090	4.3282	7.6979	425	-0.083
8.4954	18.608	4.3261	7.9183	450	-0.085
8.5968	19.076	4.3281	8.1174	475	-0.083
8.6991	19.510	4.3280	8.3023	500	-0.084
8.8026	19.878	4.3261	8.4589	525	-0.085
8.9060	20.447	4.3261	8.7008	550	-0.085
9.0063	20.547	4.3280	8.7433	575	-0.084
9.1126	21.098	4.3249	8.9779	600	-0.087
9.2150	21.115	4.3239	8.9850	625	-0.088
9.3224	21.366	4.3270	9.0918	650	-0.085
9.4219	21.566	4.3280	9.1772	675	-0.084
9.5291	21.683	4.3249	9.2268	700	-0.087
9.6325	21.792	4.3248	9.2732	725	-0.087
9.7358	21.900	4.3248	9.3192	750	-0.087
9.8413	22.001	4.3269	9.3621	775	-0.085
9.9476	22.017	4.3259	9.3691	800	-0.086
10.048	21.934	4.3278	9.3334	825	-0.084
10.151	21.933	4.3278	9.3333	850	-0.084
10.256	21.933	4.3258	9.3332	875	-0.086
10.361	21.850	4.3269	9.2980	900	-0.085
10.465	21.884	4.3259	9.3122	925	-0.086
10.573	21.717	4.3269	9.2411	950	-0.085
10.677	21.767	4.3279	9.2625	975	-0.084
10.784	21.616	4.3259	9.1985	1000	-0.086

Project: Bangmark
 Location: Krabi
 Boring No: BH-10
 Soil Sample: Clay , Saturated
 Tested by: Vittawat
 Normal load : 10.638 t/m²
 Strain Rate : 0.30 mm/min
 Depth: 6.00-6.50 m.
 Date: 15/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.90
Area (cm ²)	23.50
Volume , V (cm ³)	68.15
Weight of soil + container (g)	157.59
Weight of container (g)	24.38
Weight of soil , W (g)	133.21
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.95
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.50

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C07
Weight of wet soil + container (g)	157.59
Weight of dry soil + container (g)	126.42
Weight of water (g)	31.17
Weight of container (g)	24.38
Weight of dry soil (g)	102.04
Water content , w %	30.55

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองหาค่า Shear Strength โดยวิธี Direct Shear ของ well graded sand และ clay clay ที่ strain rate 0.3 และ 1.14 mm / min (ต่อ)

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
7.4873	1.0122	5.4875	0.4307	0	0
7.4574	1.0122	5.4926	0.4307	25	0.005
7.4423	0.9954	5.4895	0.4236	50	0.002
7.4465	1.1128	5.4916	0.4735	75	0.004
7.5271	0.9954	5.5057	0.4236	100	0.018
7.6148	11.403	5.5127	4.8522	125	0.025
7.7045	17.034	5.5117	7.2484	150	0.024
7.8160	17.637	5.4904	7.5049	175	0.003
7.9167	19.011	5.4734	8.0898	200	-0.014
8.0185	20.671	5.4594	8.7960	225	-0.028
8.1101	21.843	5.4482	9.2950	250	-0.039
8.2186	23.083	5.4380	9.8225	275	-0.050
8.3163	24.273	5.4259	10.329	300	-0.062
8.4129	25.412	5.4168	10.814	325	-0.071
8.5205	26.284	5.4047	11.185	350	-0.083
8.6243	26.871	5.3947	11.434	375	-0.093
8.7269	27.373	5.3836	11.648	400	-0.104
8.8307	27.609	5.3716	11.748	425	-0.116
8.9304	28.027	5.3585	11.927	450	-0.129
9.0331	28.413	5.3424	12.091	475	-0.145
9.1397	28.648	5.3293	12.190	500	-0.158
9.2434	28.631	5.3172	12.183	525	-0.170
9.3479	28.530	5.3070	12.140	550	-0.180
9.4524	28.546	5.2969	12.147	575	-0.191
9.5581	28.261	5.2888	12.026	600	-0.199
9.6597	28.177	5.2797	11.990	625	-0.208
9.7661	28.143	5.2766	11.976	650	-0.211
9.8671	27.926	5.2657	11.884	675	-0.222
9.9697	27.742	5.2546	11.805	700	-0.233
10.073	27.641	5.2465	11.762	725	-0.241
10.170	27.558	5.2415	11.727	750	-0.246
10.281	27.373	5.2344	11.648	775	-0.253
10.385	27.172	5.2263	11.563	800	-0.261
10.492	26.921	5.2223	11.456	825	-0.265
10.703	26.602	5.2082	11.320	875	-0.279
10.807	26.267	5.2021	11.177	900	-0.285
10.912	26.015	5.1950	11.070	925	-0.293
11.016	25.881	5.1900	11.013	950	-0.298
11.120	25.732	5.1892	10.950	975	-0.298
11.225	25.613	5.1830	10.899	1000	-0.305
11.330	25.495	5.1778	10.849	1025	-0.310

Project: Bangmark
 Location: Krabi
 Boring No: BH-11
 Soil Sample: Clay ,Saturated
 Tested by: Vittawat
 Normal load : 21.515 t/m²
 Strain Rate: 0.30 mm/min

Depth: 7.00-7.50 m.
 Date: 15/1-2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.98
Area (cm ²)	23.50
Volume , V (cm ³)	70.03
Weight of soil + container (g)	164.74
Weight of container (g)	24.26
Weight of soil , W (g)	140.48
Wet unit Weight ,= W/V (t/m ³)	2.01
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.56

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C10
Weight of wet soil + container (g)	164.74
Weight of dry soil + container (g)	133.26
Weight of water (g)	31.48
Weight of container (g)	24.26
Weight of dry soil (g)	109.00
Water content , w %	28.88

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
9.3698	0.9690	0.0009	10.022	0	0
9.3378	0.9355	0.0009	10.022	20	-0.013
9.3170	0.9857	0.0009	10.022	40	-0.016
9.2992	0.8520	0.0009	10.022	60	-0.020
9.3012	0.9189	0.0009	10.022	80	-0.020
9.3022	0.9021	0.0009	10.022	100	-0.018
9.3420	0.8854	0.0009	10.022	120	-0.021
9.3977	8.6594	0.0009	10.022	140	-0.019
9.4642	13.791	0.0009	10.022	160	-0.017
9.5377	18.138	0.0009	10.022	180	-0.015
9.6164	21.382	0.0009	10.022	200	-0.015
9.6880	23.806	0.0009	10.022	220	-0.018
9.7655	25.344	0.0009	10.022	240	-0.026
9.8501	26.431	0.0009	10.022	260	-0.025
9.9296	27.082	0.0009	10.022	280	-0.029
10.013	27.551	0.0009	10.022	300	-0.031
10.091	27.884	0.0009	10.022	320	-0.037
10.174	28.052	0.0009	10.022	340	-0.040
10.255	28.336	0.001	10.022	360	-0.044
10.337	28.369	0.001	10.022	380	-0.048
10.420	28.436	0.001	10.022	400	-0.049
10.501	28.537	0.001	10.022	420	-0.056
10.588	28.570	0.001	10.022	440	-0.058
10.660	28.587	0.001	10.022	460	-0.062
10.750	28.537	0.001	10.022	480	-0.066
10.831	28.503	0.001	10.022	500	-0.070
10.918	28.386	0.001	10.022	520	-0.073
10.994	28.269	0.001	10.022	540	-0.075
11.070	28.185	0.001	10.022	560	-0.078
11.155	28.085	0.001	10.022	580	-0.079
11.245	27.984	0.0011	10.022	600	-0.087
11.326	27.951	0.0011	10.022	620	-0.088
11.410	27.650	0.0011	10.022	640	-0.095
11.489	27.784	0.0011	10.022	660	-0.096
11.573	27.567	0.0011	10.022	680	-0.099
11.660	27.482	0.0011	10.022	700	-0.098
11.737	27.383	0.0011	10.022	720	-0.103

Project: Bangmark
 Location: Krabi
 Boring No: BH-12
 Soil Sample: Clay ,Saturated
 Tested by: Vittawat
 Normal load : 31.793 t/m²
 Strain Rate: 0.30 mm/min

Depth: 6.00-6.50 m.
 Date: 15/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.70
Area (cm ²)	23.59
Volume , V (cm ³)	63.69
Weight of soil + container (g)	150.76
Weight of container (g)	24.64
Weight of soil , W (g)	126.12
Wet unit Weight ,= W/V (t/m ³)	1.98
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.52

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C12
Weight of wet soil + container (g)	150.76
Weight of dry soil + container (g)	121.42
Weight of water (g)	29.34
Weight of container (g)	24.64
Weight of dry soil (g)	96.78
Water content , w %	30.32

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองหาค่า Shear Strength โดยวิธี Direct Shear ของ well graded sand และ clay ที่ strain rate 0.3 และ 1.14 mm / min (ต่อ)

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
1.8876	-2.544	17.341	-1.095	0	0
1.8896	-1.302	17.330	-0.560	10	-0.015
1.9005	1.2519	17.332	0.5387	20	-0.012
2.0063	11.585	17.335	4.9850	30	-0.009
2.1530	15.773	17.337	6.7869	40	-0.007
2.3037	18.122	17.336	7.7978	50	-0.008
2.4493	20.199	17.336	8.6914	60	-0.008
2.6010	21.220	17.336	9.1309	70	-0.008
2.7536	21.417	17.336	9.2154	80	-0.008
2.9083	21.186	17.337	9.1163	90	-0.007
3.0550	21.024	17.336	9.0464	100	-0.008
3.2027	20.693	17.337	8.9039	110	-0.007
3.3524	20.479	17.334	8.8120	120	-0.011
3.5010	20.071	17.349	8.6362	130	0.005
3.6408	19.755	17.361	8.5005	140	0.017
3.7875	19.729	17.372	8.4892	150	0.027
3.9371	19.492	17.386	8.3872	160	0.042
4.0758	19.416	17.400	8.3545	170	0.056
4.2184	19.126	17.411	8.2299	180	0.067
4.3602	18.904	17.421	8.1342	190	0.077
4.5108	18.726	17.432	8.0576	200	0.088
4.6555	18.879	17.446	8.1235	210	0.102
4.7972	18.351	17.459	7.8964	220	0.115
4.9519	18.181	17.469	7.8231	230	0.124
5.1025	17.994	17.479	7.7426	240	0.135
5.2462	17.772	17.495	7.6473	250	0.150
5.3950	17.542	17.503	7.5482	260	0.159
5.5472	17.446	17.514	7.5069	270	0.170
5.7072	17.322	17.523	7.4535	280	0.179
5.8597	17.128	17.531	7.3701	290	0.187
6.0154	16.941	17.548	7.2895	300	0.204
6.1661	16.829	17.549	7.2416	310	0.205
6.3247	16.557	17.561	7.1244	320	0.216
6.4704	16.438	17.570	7.0731	330	0.226
6.6239	16.252	17.581	6.9931	340	0.237
6.7776	16.099	17.589	6.9272	350	0.245
6.9273	16.175	17.599	6.9599	360	0.255
7.0731	15.961	17.609	6.8680	370	0.265
7.2306	15.800	17.613	6.7987	380	0.269
7.3814	15.757	17.627	6.7801	390	0.283
7.5270	15.579	17.635	6.7035	400	0.290

Project: Bangmak
 Location: Krabi
 Boring No: BH-13
 Soil Sample: Well Graded Sand, Natural
 Tested by: Sorasit
 Normal load : 10.757 t/m²
 Strain Rate: 1.140 mm/min

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.72
Area (cm ²)	23.24
Volume , V (cm ³)	63.21
Weight of soil + container (g)	123.91
Weight of container (g)	24.81
Weight of soil , W (g)	99.10
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.57
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.22

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C17
Weight of wet soil + container (g)	123.91
Weight of dry soil + container (g)	101.64
Weight of water (g)	22.27
Weight of container (g)	24.81
Weight of dry soil (g)	76.83
Water content , w %	28.99

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
-0.006	0.4518	7.2712	0.1973	0	0
0.0647	13.730	7.2644	5.9958	20	-0.007
0.3591	19.266	7.2112	8.4133	40	-0.060
0.6485	25.488	7.1660	11.130	60	-0.105
0.9469	30.137	7.1216	13.160	80	-0.150
1.2542	33.548	7.0903	14.650	100	-0.181
1.5754	36.323	7.0580	15.862	120	-0.213
1.8768	38.413	7.0328	16.774	140	-0.238
2.1850	40.101	7.0126	17.512	160	-0.259
2.4924	41.491	6.9887	18.118	180	-0.283
2.8007	42.695	6.9787	18.644	200	-0.293
3.1130	43.799	6.9736	19.126	220	-0.298
3.4273	44.618	6.9695	19.484	240	-0.302
3.7346	45.103	6.9655	19.696	260	-0.306
4.0339	45.522	6.9575	19.878	280	-0.314
4.3373	45.639	6.9586	19.930	300	-0.313
4.6427	45.857	6.9587	20.025	320	-0.313
4.9470	45.824	6.9607	20.010	340	-0.310
5.2612	45.872	6.9605	20.032	360	-0.311
5.5715	45.940	6.9636	20.061	380	-0.308
5.8888	46.124	6.9637	20.142	400	-0.308
6.2021	46.559	6.9647	20.331	420	-0.307
6.5173	46.592	6.9636	20.346	440	-0.308
6.8296	46.558	6.9626	20.331	460	-0.309
7.1370	46.642	6.9606	20.368	480	-0.311
7.4454	46.492	6.9587	20.302	500	-0.313
7.7585	46.441	6.9586	20.280	520	-0.313
8.0768	46.308	6.9596	20.222	540	-0.312
8.3841	45.856	6.9596	20.025	560	-0.312
8.6953	45.253	6.9605	19.761	580	-0.311
9.0027	44.585	6.9606	19.469	600	-0.311
9.3131	43.950	6.9596	19.192	620	-0.312
9.6182	43.447	6.9595	18.973	640	-0.312
9.9255	42.862	6.9595	18.717	660	-0.312
10.234	42.361	6.9596	18.498	680	-0.312
10.551	41.875	6.9595	18.286	700	-0.312
10.865	41.508	6.9596	18.126	720	-0.312

Project: Bangmak
 Location: Krabi
 Boring No: BH-14
 Soil Sample: Well Graded Sand, Natural
 Tested by: Sorasit
 Normal load : 21.834 t/m²
 Strain Rate: 1.140 mm/min

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.91
Area (cm ²)	22.90
Volume , V (cm ³)	66.64
Weight of soil + container (g)	130.00
Weight of container (g)	24.50
Weight of soil , W (g)	105.50
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.58
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.23

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C18
Weight of wet soil + container (g)	130.00
Weight of dry soil + container (g)	106.46
Weight of water (g)	23.54
Weight of container (g)	24.50
Weight of dry soil (g)	81.96
Water content , w %	28.72

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองหาค่า Shear Strength โดยวิธี Direct Shear ของ well graded sand และ clay clay ที่ strain rate 0.3 และ 1.14 mm / min (ต่อ)

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
1.7188	0.6082	0.7044	0.2617	0	0
1.8186	2.2933	0.6977	0.9868	10	-0.007
1.9413	14.957	0.6698	6.4358	20	-0.035
2.0880	20.225	0.6379	8.7028	30	-0.067
2.2356	24.488	0.6119	10.537	40	-0.093
2.3843	28.106	0.5811	12.094	50	-0.123
2.5379	31.050	0.5445	13.361	60	-0.160
2.6905	33.961	0.5242	14.613	70	-0.180
2.8402	36.378	0.5223	15.653	80	-0.182
2.9868	38.608	0.5204	16.613	90	-0.184
3.1355	40.191	0.5223	17.294	100	-0.182
3.2851	41.612	0.5223	17.905	110	-0.182
3.4288	42.872	0.5281	18.447	120	-0.176
3.5744	43.629	0.5204	18.773	130	-0.184
3.7220	44.191	0.5223	19.015	140	-0.182
3.8627	44.386	0.5233	19.099	150	-0.181
4.0094	44.497	0.5223	19.147	160	-0.182
4.1490	43.962	0.5252	18.916	170	-0.179
4.2976	43.281	0.5184	18.623	180	-0.186
4.4473	42.634	0.5233	18.345	190	-0.181
4.5969	42.106	0.5223	18.118	200	-0.182
4.7416	41.153	0.5223	17.708	210	-0.182
4.8903	40.293	0.5233	17.338	220	-0.181
5.0459	39.673	0.5213	17.071	230	-0.183
5.1945	39.069	0.5223	16.811	240	-0.182
5.3382	38.455	0.5184	16.547	250	-0.186
5.4898	37.842	0.5223	16.283	260	-0.182
5.6465	37.298	0.5233	16.049	270	-0.181
5.8012	36.983	0.5213	15.913	280	-0.183
5.9527	36.541	0.5194	15.723	290	-0.185
6.1104	36.106	0.5252	15.536	300	-0.179
6.2590	35.792	0.5213	15.401	310	-0.183
6.4036	35.495	0.5204	15.273	320	-0.184
6.5602	35.120	0.5213	15.112	330	-0.183
6.7140	34.770	0.5213	14.961	340	-0.183
6.8648	34.633	0.5204	14.902	350	-0.184
7.0084	33.944	0.5194	14.606	360	-0.185
7.1680	33.365	0.5204	14.357	370	-0.184
7.3216	33.136	0.5204	14.258	380	-0.184
7.4672	32.983	0.5252	14.192	390	-0.179
7.6217	32.660	0.5223	14.053	400	-0.182

Project: Bangmak
 Location: Krabi
 Boring No: BH-15
 Soil Sample: Well Graded Sand , Natural
 Tested by: Sorasit
 Normal load : 32.272 t/m²
 Strain Rate: 1.140 mm/min

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.84
Area (cm ²)	23.24
Volume , V (cm ³)	66.00
Weight of soil + container (g)	126.70
Weight of container (g)	24.10
Weight of soil , W (g)	102.60
Wet unit Weight = W/V (t/m ³)	1.55
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.23

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C19
Weight of wet soil + container (g)	0.00
Weight of dry soil + container (g)	81.16
Weight of water (g)	-81.16
Weight of container (g)	0.00
Weight of dry soil (g)	81.16
Water content , w %	-100.00

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
1.2389	1.4670	9.8285	0.6650	0	0
1.3008	4.9267	9.8117	2.2333	40	-0.017
1.4524	6.6301	9.7729	3.0055	80	-0.056
1.6090	8.2903	9.7391	3.7581	120	-0.089
1.7677	9.8887	9.7085	4.4826	160	-0.120
1.9173	11.312	9.6783	5.1278	200	-0.150
2.0739	12.799	9.6651	5.8019	240	-0.163
2.2305	14.631	9.6533	6.6322	280	-0.175
2.3971	16.462	9.6366	7.4624	320	-0.192
2.5617	18.044	9.6252	8.1793	360	-0.203
2.7233	19.303	9.6233	8.7502	400	-0.205
2.8899	20.401	9.6126	9.2481	440	-0.216
3.0455	21.261	9.6048	9.6380	480	-0.224
3.2021	22.095	9.6009	10.016	520	-0.228
3.3617	23.381	9.5999	10.599	560	-0.229
3.5163	24.767	9.6000	11.227	600	-0.229
3.6699	25.976	9.6029	11.775	640	-0.226
3.8225	26.964	9.6046	12.223	680	-0.224
3.9721	27.713	9.6162	12.562	720	-0.212
4.1278	28.205	9.6318	12.786	760	-0.197
4.2874	28.775	9.6502	13.044	800	-0.178
4.4391	29.004	9.6628	13.148	840	-0.166
4.5977	29.208	9.6830	13.240	880	-0.146
4.7563	29.327	9.7004	13.294	920	-0.128
4.9159	29.362	9.7146	13.310	960	-0.114
5.0815	29.353	9.7321	13.306	1000	-0.096
5.2350	29.269	9.7357	13.268	1040	-0.093
5.3936	29.065	9.7531	13.175	1080	-0.075
5.5533	28.767	9.7705	13.040	1120	-0.058
5.7169	28.392	9.7879	12.870	1160	-0.041
5.8875	27.975	9.7976	12.681	1200	-0.031
6.0431	27.413	9.8082	12.427	1240	-0.020
6.2038	27.098	9.8208	12.284	1280	-0.008
6.3623	26.613	9.8284	12.064	1320	0.000
6.5279	26.197	9.8399	11.875	1360	0.011
6.6855	25.908	9.8505	11.744	1400	0.022
6.8431	25.414	9.8553	11.520	1440	0.027
7.0067	24.920	9.8679	11.297	1480	0.039
7.1734	24.239	9.8719	10.988	1520	0.043
7.3379	23.950	9.8746	10.857	1560	0.046
7.4905	23.593	9.8833	10.695	1600	0.055

Project: Bangmak
 Location: Krabi
 Boring No: BH-16
 Soil Sample: Well Graded Sand , Natural
 Tested by: Sorasit
 Normal load : 11.333 t/m²
 Strain Rate: 0.30 mm/min

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	3.12
Area (cm ²)	22.06
Volume , V (cm ³)	68.83
Weight of soil + container (g)	137.45
Weight of container (g)	24.25
Weight of soil , W (g)	113.20
Wet unit Weight = W/V (t/m ³)	1.64
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.22

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C09
Weight of wet soil + container (g)	137.45
Weight of dry soil + container (g)	108.45
Weight of water (g)	29.00
Weight of container (g)	24.25
Weight of dry soil (g)	84.20
Water content , w %	34.44

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองหาค่า Shear Strength โดยวิธี Direct Shear ของ well graded sand และ clay ที่ strain rate 0.3 และ 1.14 mm / min (ต่อ)

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
1.7458	1.4624	17.580	0.6223	0	0
1.7458	1.3788	17.582	0.5867	25	0.003
1.7488	1.4871	17.579	0.6328	50	-0.001
1.8077	1.4624	17.591	0.6223	75	0.012
1.8855	10.577	17.587	4.5008	100	0.007
1.9793	13.549	17.568	5.7657	125	-0.012
2.0780	15.907	17.541	6.7691	150	-0.039
2.1728	17.933	17.516	7.6311	175	-0.064
2.2756	19.847	17.491	8.4457	200	-0.089
2.3714	21.175	17.462	9.0106	225	-0.117
2.4751	22.427	17.448	9.5433	250	-0.132
2.5739	23.355	17.423	9.9382	275	-0.157
2.6757	24.103	17.405	10.256	300	-0.175
2.7784	24.613	17.382	10.474	325	-0.198
2.8812	25.073	17.360	10.669	350	-0.220
2.9809	25.312	17.345	10.771	375	-0.235
3.0847	25.550	17.331	10.872	400	-0.249
3.1773	25.682	17.319	10.929	425	-0.261
3.2821	25.843	17.303	10.997	450	-0.276
3.3749	25.809	17.295	10.983	475	-0.285
3.4776	25.877	17.282	11.012	500	-0.298
3.5684	25.792	17.270	10.975	525	-0.310
3.6653	25.764	17.252	10.963	550	-0.328
3.7601	25.611	17.242	10.898	575	-0.337
3.8578	25.535	17.237	10.866	600	-0.343
3.9524	25.334	17.229	10.780	625	-0.351
4.0571	25.293	17.225	10.763	650	-0.354
4.1440	25.291	17.212	10.762	675	-0.368
4.2468	25.418	17.206	10.816	700	-0.374
4.342	25.419	17.200	10.817	725	-0.380
4.4372	25.420	17.193	10.817	750	-0.387
4.5331	25.342	17.183	10.784	775	-0.397
4.6368	25.334	17.178	10.780	800	-0.402
4.7365	25.224	17.169	10.733	825	-0.411
4.8323	25.011	17.165	10.643	850	-0.415
4.9331	24.874	17.156	10.585	875	-0.423
5.0308	24.968	17.154	10.625	900	-0.425
5.1335	24.858	17.147	10.578	925	-0.432
5.2303	24.773	17.142	10.542	950	-0.438
5.3293	24.617	17.137	10.475	975	-0.443
5.4310	24.575	17.131	10.457	1000	-0.449

Project: Bangmark
 Location: Krabi
 Boring No: BH-17
 Soil Sample: Well Graded Sand , Natural
 Tested by: Sorasit
 Normal load : 21.277 t/m²
 Strain Rate: 0.30 mm/min

Depth: 5.00-5.50 m.
 Date: 16/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.70
Area (cm ²)	23.50
Volume , V (cm ³)	63.45
Weight of soil + container (g)	138.08
Weight of container (g)	24.87
Weight of soil , W (g)	113.21
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.78
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.36

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C03
Weight of wet soil + container (g)	138.08
Weight of dry soil + container (g)	111.44
Weight of water (g)	26.64
Weight of container (g)	24.87
Weight of dry soil (g)	86.57
Water content , w %	28.73

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
1.5213	1.4763	13.920	0.6237	0	0
1.5233	1.4593	13.933	0.6165	25	0.013
1.5193	1.3324	13.933	0.5629	50	0.013
1.5522	7.8484	13.939	3.3158	75	0.019
1.6380	13.391	13.928	5.6573	100	0.008
1.7328	16.360	13.907	6.9119	125	-0.013
1.8326	18.895	13.888	7.9828	150	-0.032
1.9284	21.190	13.865	8.9521	175	-0.055
2.0282	23.889	13.849	10.093	200	-0.071
2.1299	26.011	13.839	10.989	225	-0.081
2.2267	28.215	13.826	11.920	250	-0.094
2.3244	30.362	13.824	12.827	275	-0.096
2.4252	32.666	13.821	13.800	300	-0.099
2.5250	34.590	13.817	14.613	325	-0.103
2.6217	36.803	13.812	15.548	350	-0.108
2.7325	38.368	13.808	16.209	375	-0.112
2.8283	40.113	13.806	16.947	400	-0.114
2.9281	41.542	13.803	17.550	425	-0.117
3.0228	43.066	13.803	18.194	450	-0.117
3.1277	44.102	13.803	18.632	475	-0.117
3.2245	45.064	13.801	19.038	500	-0.119
3.3273	45.855	13.802	19.373	525	-0.118
3.4229	46.529	13.798	19.657	550	-0.122
3.5177	46.784	13.801	19.765	575	-0.119
3.6165	47.167	13.803	19.927	600	-0.117
3.7063	47.439	13.797	20.042	625	-0.123
3.8040	47.797	13.795	20.193	650	-0.125
3.9068	47.857	13.795	20.219	675	-0.125
4.0006	47.959	13.793	20.261	700	-0.127
4.0994	47.746	13.789	20.171	725	-0.131
4.2038	47.528	13.787	20.079	750	-0.133
4.2989	47.142	13.784	19.916	775	-0.136
4.3907	47.159	13.780	19.923	800	-0.140
4.4984	46.801	13.778	19.772	825	-0.142
4.5864	46.740	13.783	19.747	850	-0.137
4.6890	46.427	13.776	19.614	875	-0.144
4.7818	46.248	13.782	19.539	900	-0.138
4.8887	46.111	13.781	19.481	925	-0.139
4.9854	45.924	13.784	19.402	950	-0.136
5.0891	45.550	13.777	19.244	975	-0.143
5.1838	45.423	13.773	19.190	1000	-0.147

Project: Bangmark
 Location: Krabi
 Boring No: BH-18
 Soil Sample: Well Graded Sand , Natural
 Tested by: Sorasit
 Normal load : 31.686 t/m²
 Strain Rate: 0.30 mm/min

Depth: 6.00-6.50 m.
 Date: 16/2/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.86
Area (cm ²)	23.67
Volume , V (cm ³)	67.70
Weight of soil + container (g)	142.42
Weight of container (g)	25.10
Weight of soil , W (g)	117.32
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.73
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.30

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C02
Weight of wet soil + container (g)	142.42
Weight of dry soil + container (g)	112.85
Weight of water (g)	29.57
Weight of container (g)	25.10
Weight of dry soil (g)	87.75
Water content , w %	28.60

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองหาค่า Shear Strength โดยวิธี Direct Shear ของ well graded sand และ clay ที่ strain rate 0.3 และ 1.14 mm / min (ต่อ)

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
1.7099	2.8860	12.646	1.2146	0	0
1.7069	4.8449	12.646	2.0391	5	0.000
1.7168	4.4705	12.648	1.8815	10	0.002
1.7049	4.4194	12.649	1.8600	15	0.003
1.7129	4.2492	12.644	1.7884	20	-0.002
1.7567	13.467	12.640	5.6678	25	-0.006
1.8156	18.386	12.629	7.7382	30	-0.017
1.8974	21.227	12.607	8.9340	35	-0.039
1.9663	23.661	12.597	9.9584	40	-0.049
2.0411	25.747	12.584	10.836	45	-0.062
2.1139	27.313	12.570	11.495	50	-0.075
2.1878	29.185	12.560	12.283	55	-0.086
2.2656	30.683	12.552	12.914	60	-0.094
2.3344	31.661	12.539	13.325	65	-0.107
2.4082	32.913	12.526	13.852	70	-0.120
2.4851	33.730	12.516	14.196	75	-0.130
2.5529	34.479	12.501	14.511	80	-0.145
2.6307	35.585	12.495	14.977	85	-0.151
2.7075	36.096	12.491	15.192	90	-0.154
2.7794	36.777	12.479	15.478	95	-0.167
2.8602	37.330	12.470	15.711	100	-0.176
2.9390	37.773	12.461	15.898	105	-0.184
3.0049	37.985	12.457	15.987	110	-0.189
3.0817	38.011	12.449	15.998	115	-0.197
3.1545	37.807	12.442	15.912	120	-0.204
3.2293	37.603	12.438	15.826	125	-0.208
3.3071	37.253	12.430	15.679	130	-0.216
3.3730	37.032	12.424	15.586	135	-0.222
3.4538	36.674	12.419	15.435	140	-0.227
3.5207	35.993	12.417	15.148	145	-0.229
3.5935	35.491	12.413	14.937	150	-0.233
3.6714	35.244	12.406	14.833	155	-0.240
3.7382	34.529	12.401	14.532	160	-0.245
3.8131	34.214	12.398	14.400	165	-0.248
3.8859	33.567	12.395	14.127	170	-0.250
3.9587	33.295	12.391	14.013	175	-0.255
4.0305	33.066	12.389	13.917	180	-0.257
4.0973	32.462	12.385	13.663	185	-0.261
4.1741	32.207	12.381	13.555	190	-0.264
4.2509	31.901	12.377	13.426	195	-0.269
4.3287	31.475	12.378	13.247	200	-0.268

Project: Bangkok
 Location: Krabi
 Boring No: BH-21
 Soil Sample: well graded sand , Saturated
 Tested by: Sorasit
 Normal load : 31.566 t/m²
 Strain Rate: 1.140 mm/min

Depth: 7.00-7.50

Date: 16/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.71
Area (cm ²)	23.76
Volume , V (cm ³)	64.39
Weight of soil + container (g)	135.28
Weight of container (g)	24.25
Weight of soil , W (g)	111.03
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.72
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.27

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C20
Weight of wet soil + container (g)	135.28
Weight of dry soil + container (g)	106.11
Weight of water (g)	29.17
Weight of container (g)	24.25
Weight of dry soil (g)	81.86
Water content , w %	35.63

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
1.1921	1.2860	-3.993	0.5451	0	0
1.1980	1.1158	-3.995	0.4730	25	0.002
1.1990	1.2179	-3.994	0.5163	50	0.001
1.1980	1.2179	-3.992	0.5163	75	-0.001
1.2499	1.2272	-3.994	0.5202	100	0.001
1.3447	1.6604	-3.993	0.7039	125	0.000
1.4285	6.2402	-3.982	2.6453	150	-0.012
1.5203	7.6435	-3.961	3.2402	175	-0.032
1.6220	8.7668	-3.949	3.7163	200	-0.044
1.7158	9.5667	-3.932	4.0554	225	-0.061
1.8185	10.351	-3.919	4.3879	250	-0.074
1.9193	10.936	-3.910	4.6359	275	-0.083
2.0121	11.558	-3.897	4.8995	300	-0.096
2.1218	12.061	-3.892	5.1127	325	-0.101
2.2126	12.417	-3.877	5.2636	350	-0.117
2.3233	11.804	-3.872	5.0039	375	-0.121
2.4101	11.396	-3.875	4.8307	400	-0.119
2.5218	11.174	-3.871	4.7369	425	-0.122
2.6216	10.919	-3.869	4.6287	450	-0.124
2.7234	10.755	-3.874	4.5593	475	-0.119
2.8242	10.653	-3.866	4.5160	500	-0.127
2.9309	10.613	-3.867	4.4988	525	-0.126
3.0257	13.420	-3.865	5.6887	550	-0.128
3.1264	13.888	-3.858	5.8874	575	-0.135
3.2212	14.662	-3.849	6.2154	600	-0.144
3.3269	15.378	-3.842	6.5190	625	-0.151
3.4176	15.932	-3.836	6.7537	650	-0.157
3.5104	16.477	-3.831	6.9846	675	-0.162
3.6082	17.030	-3.827	7.2193	700	-0.166
3.7080	17.574	-3.827	7.4497	725	-0.167
3.7998	18.041	-3.827	7.6478	750	-0.167
3.8985	18.527	-3.825	7.8537	775	-0.169
3.9923	18.952	-3.827	8.0341	800	-0.167
4.0930	19.242	-3.825	8.1567	825	-0.169
4.1908	19.250	-3.811	8.1601	850	-0.182
4.2846	19.650	-3.807	8.3299	875	-0.186
4.3823	19.974	-3.809	8.4669	900	-0.184
4.4821	20.169	-3.812	8.5497	925	-0.181
4.5779	20.348	-3.806	8.6257	950	-0.187
4.6816	20.705	-3.816	8.7772	975	-0.177
4.7783	20.724	-3.814	8.7849	1000	-0.179

Project: Bangkok
 Location: Krabi
 Boring No: BH-22
 Soil Sample: well graded sand , Saturated
 Tested by: Sorasit
 Normal load : 10.598 t/m²
 Strain Rate: 0.30 mm/min

Depth: 6.00-6.50 m

Date: 16/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.70
Area (cm ²)	23.59
Volume , V (cm ³)	63.69
Weight of soil + container (g)	131.81
Weight of container (g)	24.65
Weight of soil , W (g)	107.16
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.68
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.19

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C13
Weight of wet soil + container (g)	131.81
Weight of dry soil + container (g)	100.76
Weight of water (g)	31.05
Weight of container (g)	24.65
Weight of dry soil (g)	76.11
Water content , w %	40.80

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองหาค่า Shear Strength โดยวิธี Direct Shear ของ well graded sand และ clay ที่ strain rate 0.3 และ 1.14 mm / min (ต่อ)

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
1.5602	1.8167	10.852	0.7844	0	0
1.5612	1.9359	10.844	0.8359	25	-0.008
1.5612	2.2763	10.843	0.9828	50	-0.009
1.5851	7.5201	10.847	3.247	75	-0.005
1.6799	11.093	10.819	4.7897	100	-0.033
1.7707	12.642	10.794	5.4585	125	-0.058
1.8665	14.319	10.773	6.1827	150	-0.079
1.9573	15.613	10.751	6.7412	175	-0.101
2.0600	17.366	10.732	7.4982	200	-0.120
2.1588	18.566	10.712	8.0166	225	-0.140
2.2615	19.970	10.697	8.6226	250	-0.155
2.3593	21.230	10.675	9.1665	275	-0.177
2.4571	22.710	10.665	9.8058	300	-0.187
2.5588	24.022	10.657	10.372	325	-0.195
2.6616	25.093	10.637	10.835	350	-0.215
2.7623	26.004	10.627	11.228	375	-0.225
2.8641	27.204	10.619	11.746	400	-0.233
2.9689	28.072	10.610	12.121	425	-0.242
3.0636	29.094	10.602	12.562	450	-0.250
3.1674	29.995	10.597	12.951	475	-0.255
3.2622	30.957	10.594	13.367	500	-0.258
3.3600	31.450	10.588	13.579	525	-0.264
3.4548	32.233	10.583	13.917	550	-0.269
3.5505	32.692	10.579	14.116	575	-0.273
3.6483	33.305	10.577	14.38	600	-0.275
3.7421	33.731	10.572	14.564	625	-0.280
3.8378	34.250	10.563	14.789	650	-0.289
3.9455	34.575	10.554	14.929	675	-0.298
4.0274	35.118	10.558	15.163	700	-0.294
4.1371	35.280	10.552	15.233	725	-0.300
4.2209	35.493	10.548	15.325	750	-0.304
4.3207	35.220	10.545	15.207	775	-0.307
4.4234	35.110	10.541	15.16	800	-0.311
4.5161	34.532	10.540	14.91	825	-0.312
4.6120	34.174	10.539	14.756	850	-0.313
4.7157	33.527	10.534	14.476	875	-0.318
4.8085	32.983	10.528	14.241	900	-0.324
4.9123	32.370	10.523	13.977	925	-0.329
5.0001	31.901	10.516	13.774	950	-0.336
5.1149	31.450	10.513	13.579	975	-0.339
5.1298	31.323	10.513	13.525	980	-0.339

Project: Bangmark
 Location: Krabi
 Boring No: BH-23
 Soil Sample: well graded sand, Saturated
 Tested by: Sorasit
 Normal load : 21.589 t/m²
 Strain Rate: 0.30 mm/min
 Depth: 6.00-6.50 m
 Date: 16/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.72
Area (cm ²)	23.16
Volume , V (cm ³)	63.00
Weight of soil + container (g)	133.91
Weight of container (g)	24.60
Weight of soil , W (g)	109.31
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.74
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.23

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C23
Weight of wet soil + container (g)	133.91
Weight of dry soil + container (g)	102.18
Weight of water (g)	31.73
Weight of container (g)	24.60
Weight of dry soil (g)	77.58
Water content , w %	40.90

DIRECT SHEAR TEST

Horz Disp. (mm)	Load (kg)	Verti Disp. (mm)	Shear Stress (t/m ²)	Time (sec)	Correct Verti. Disp. (mm)
1.0384	1.5459	8.7317	0.6460	0	0
1.0374	1.3417	8.7924	0.5607	25	0.061
1.0394	1.3154	8.8147	0.5497	50	0.083
1.1132	7.8790	8.8385	3.2925	75	0.107
1.2080	11.911	8.8368	4.9776	100	0.105
1.3128	14.822	8.8358	6.1939	125	0.104
1.3936	17.146	8.8241	7.1650	150	0.092
1.4953	19.673	8.8136	8.2209	175	0.082
1.5861	21.894	8.8039	9.1494	200	0.072
1.6899	23.844	8.7961	9.9640	225	0.064
1.7886	25.494	8.7876	10.653	250	0.056
1.8864	27.120	8.7760	11.333	275	0.044
1.9832	28.464	8.7654	11.895	300	0.034
2.0859	29.783	8.7626	12.446	325	0.031
2.1857	30.889	8.7558	12.908	350	0.024
2.2875	31.987	8.7492	13.367	375	0.017
2.3823	32.906	8.7424	13.751	400	0.011
2.4960	33.834	8.7365	14.139	425	0.005
2.5788	34.582	8.7309	14.451	450	-0.001
2.6965	35.391	8.7260	14.789	475	-0.006
2.7943	35.926	8.7223	15.013	500	-0.009
2.9011	36.428	8.7204	15.223	525	-0.011
2.9998	36.488	8.7174	15.248	550	-0.014
3.0996	37.611	8.7165	15.717	575	-0.015
3.1894	37.910	8.7145	15.842	600	-0.017
3.2971	38.411	8.7088	16.052	625	-0.023
3.3899	38.599	8.7107	16.130	650	-0.021
3.4867	39.134	8.7040	16.354	675	-0.028
3.5815	39.348	8.7011	16.443	700	-0.031
3.6802	39.790	8.7020	16.628	725	-0.030
3.7760	39.926	8.6982	16.685	750	-0.034
3.8718	40.216	8.6943	16.806	775	-0.037
3.9655	40.319	8.6912	16.849	800	-0.040
4.0683	40.581	8.6934	16.958	825	-0.038
4.1571	40.616	8.6865	16.973	850	-0.045
4.2559	40.948	8.6876	17.111	875	-0.044
4.3487	40.879	8.6847	17.083	900	-0.047
4.4544	40.999	8.6837	17.133	925	-0.048
4.5402	40.905	8.6848	17.093	950	-0.047
4.6419	40.880	8.6787	17.083	975	-0.053
4.7398	40.785	8.6751	17.044	1000	-0.057

Project: Bangmark
 Location: Krabi
 Boring No: BH-24
 Soil Sample: well graded sand, Saturated
 Tested by: Sorasit
 Normal load : 31.341 t/m²
 Strain Rate: 0.30 mm/min
 Depth: 6.00-6.50 m
 Date: 16/1/2542

SOIL SPECIMEN MEASUREMENTS

Height , h (cm)	2.70
Area (cm ²)	23.93
Volume , V (cm ³)	64.61
Weight of soil + container (g)	135.06
Weight of container (g)	24.52
Weight of soil , W (g)	110.54
Wet unit Weight , = W/V (t/m ³)	1.71
Dry Unit Weight (t/m ³)	1.25

WATER CONTENT DETERMINATION

Container No	C08
Weight of wet soil + container (g)	135.06
Weight of dry soil + container (g)	104.97
Weight of water (g)	30.09
Weight of container (g)	24.52
Weight of dry soil (g)	80.45
Water content , w %	37.40

ตารางที่ ก.8 ผลการทดลองหาค่า Shear Strength โดยวิธี Direct Shear ของ well graded sand และ clay clay ที่ strain rate 0.3 และ 1.14 mm / min (ต่อ)

Project : Bangmark Krabi

Analysis method : Bishop simplified method

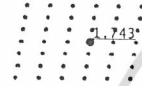
Overall slope angle : 26 degree

Bench slope angle : 33.86 degree

Hight of bench : 7 m

Width of bench : 4 m

Factor of safety : 1.743



Project : Bangmark Krabi

Analysis method : Bishop simplified method

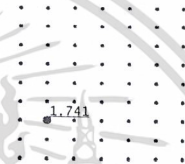
Overall slope angle : 26 degree

Bench slope angle : 33.16 degree

Hight of bench : 7.5 m

Width of bench : 4 m

Factor of safety : 1.741



Project : Bangmark Krabi

Analysis method : Bishop simplified method

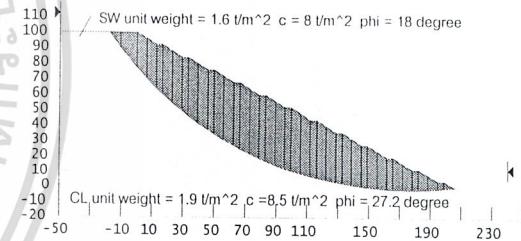
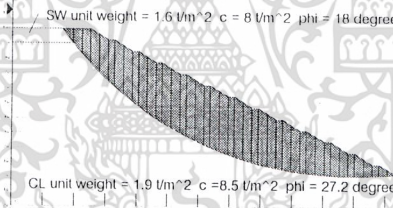
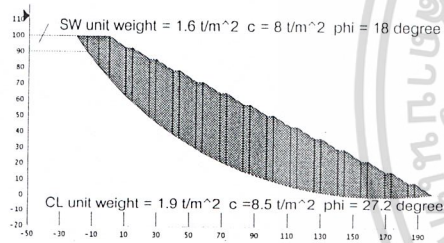
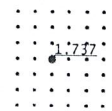
Overall slope angle : 26 degree

Bench slope angle : 32.49 degree

Hight of bench : 8 m

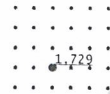
Width of bench : 4 m

Factor of safety : 1.737

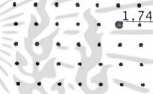


รูปที่ ก.1 แสดงการหาค่า Factor of safety ของ Overall Slope 26°-34° ที่ความสูงของ Bench ต่าง ๆ

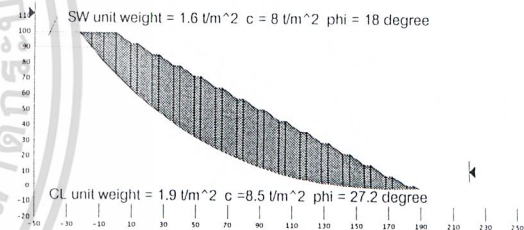
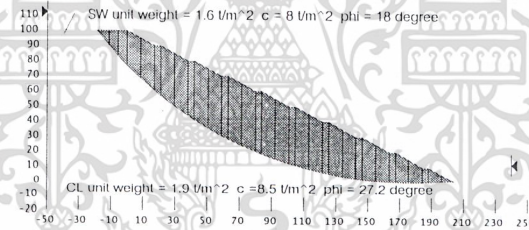
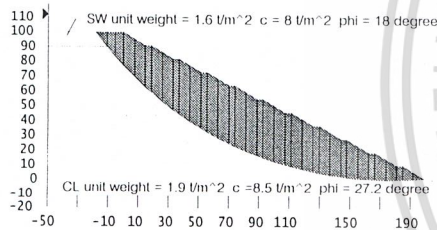
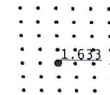
Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 26 degree
 Bench slope angle : 31.84 degree
 Hight of bench : 9 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.729



Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 26 degree
 Bench slope angle : 30.61 degree
 Hight of bench : 10 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.746

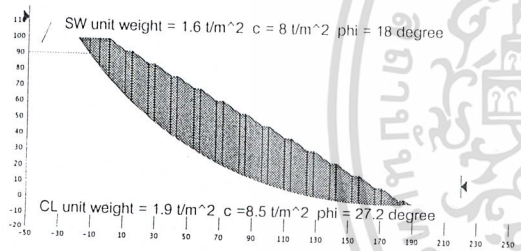


Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 28 degree
 Bench slope angle : 37.13 degree
 Hight of bench : 7 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.633

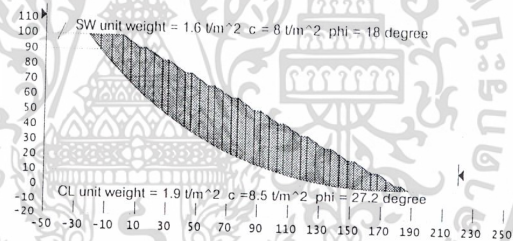


รูปที่ ก.1 แสดงการหาค่า Factor of safety ของ Overall Slope 26°-34° ที่ความสูงของ Bench ต่าง ๆ (ต่อ)

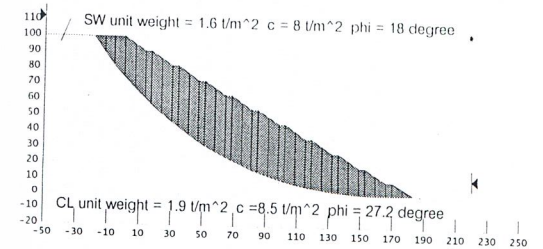
Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 28 degree
 Bench slope angle : 36.31 degree
 Hight of bench : 7.5 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.633



Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 28 degree
 Bench slope angle : 35.52 degree
 Hight of bench : 8 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.635

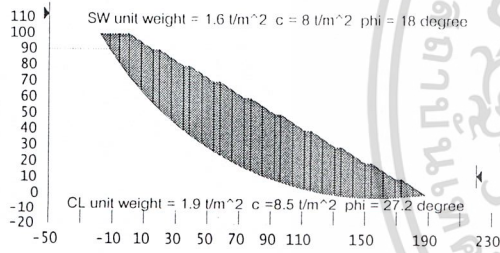


Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 28 degree
 Bench slope angle : 34.76 degree
 Hight of bench : 9 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.626



รูปที่ ก.1 แสดงการหาค่า Factor of safety ของ Overall Slope 26°-34° ที่ความสูงของ Bench ต่าง ๆ (ต่อ)

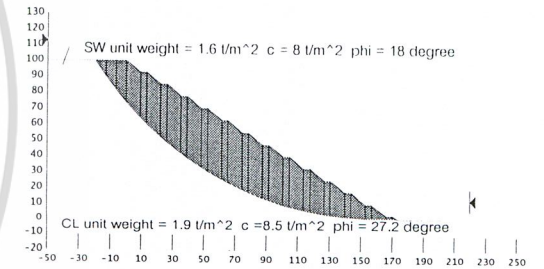
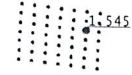
Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 28 degree
 Bench slope angle : 33.33 degree
 Hight of bench : 10 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.657



Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 30 degree
 Bench slope angle : 40.47 degree
 Hight of bench : 7 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.543

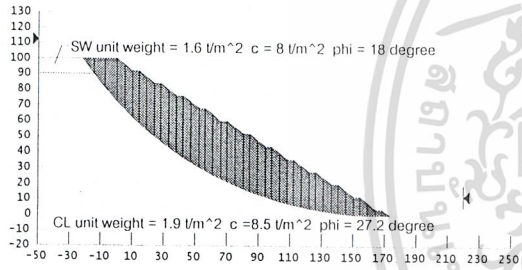


Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 30 degree
 Bench slope angle : 39.52 degree
 Hight of bench : 7.5 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.545

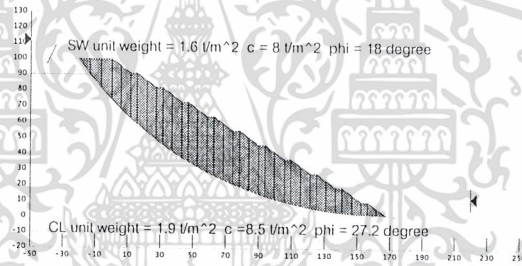


รูปที่ ก.1 แสดงการหาค่า Factor of safety ของ Overall Slope 26°-34° ที่ความสูงของ Bench ต่าง ๆ (ต่อ)

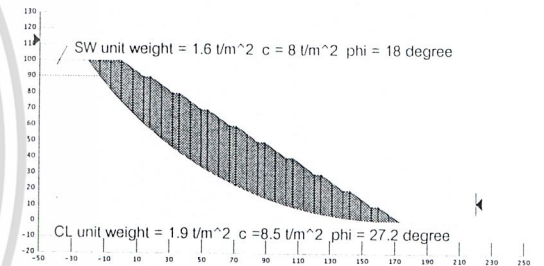
Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 30 degree
 Bench slope angle : 38.61 degree
 Hight of bench : 8 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.544



Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 30 degree
 Bench slope angle : 37.74 degree
 Hight of bench : 9 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.537

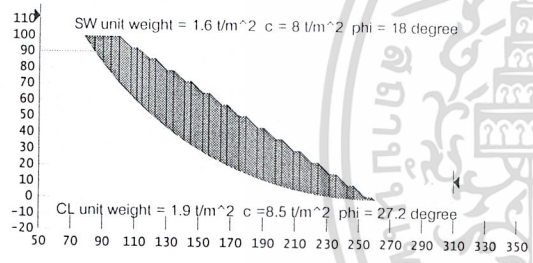


Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 30 degree
 Bench slope angle : 36.08 degree
 Hight of bench : 10 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.553

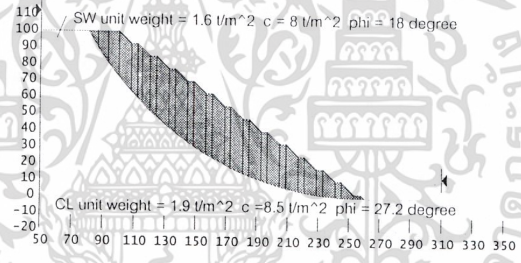


รูปที่ ก.1 แสดงการหาค่า Factor of safety ของ Overall Slope 26°-34° ที่ความสูงของ Bench ต่าง ๆ (ต่อ)

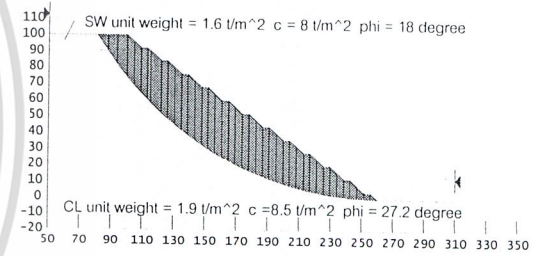
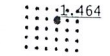
Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 32 degree
 Bench slope angle : 43.87 degree
 Hight of bench : 7 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.461



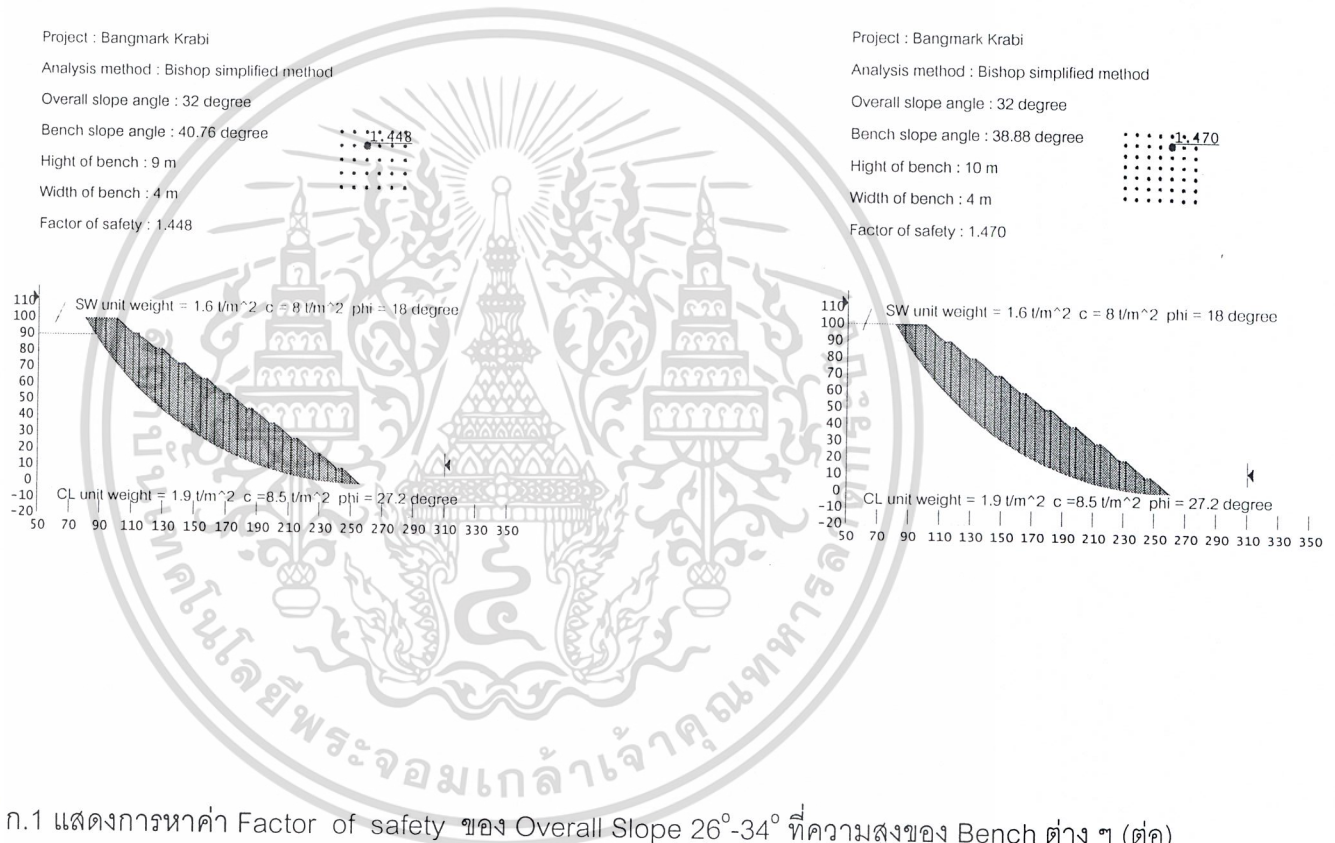
Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 32 degree
 Bench slope angle : 42.79 degree
 Hight of bench : 7.5 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.462



Project : Bangmark Krabi
 Analysis method : Bishop simplified method
 Overall slope angle : 32 degree
 Bench slope angle : 41.75 degree
 Hight of bench : 8 m
 Width of bench : 4 m
 Factor of safety : 1.464



รูปที่ ก.1 แสดงการหาค่า Factor of safety ของ Overall Slope 26°-34° ที่ความสูงของ Bench ต่าง ๆ (ต่อ)

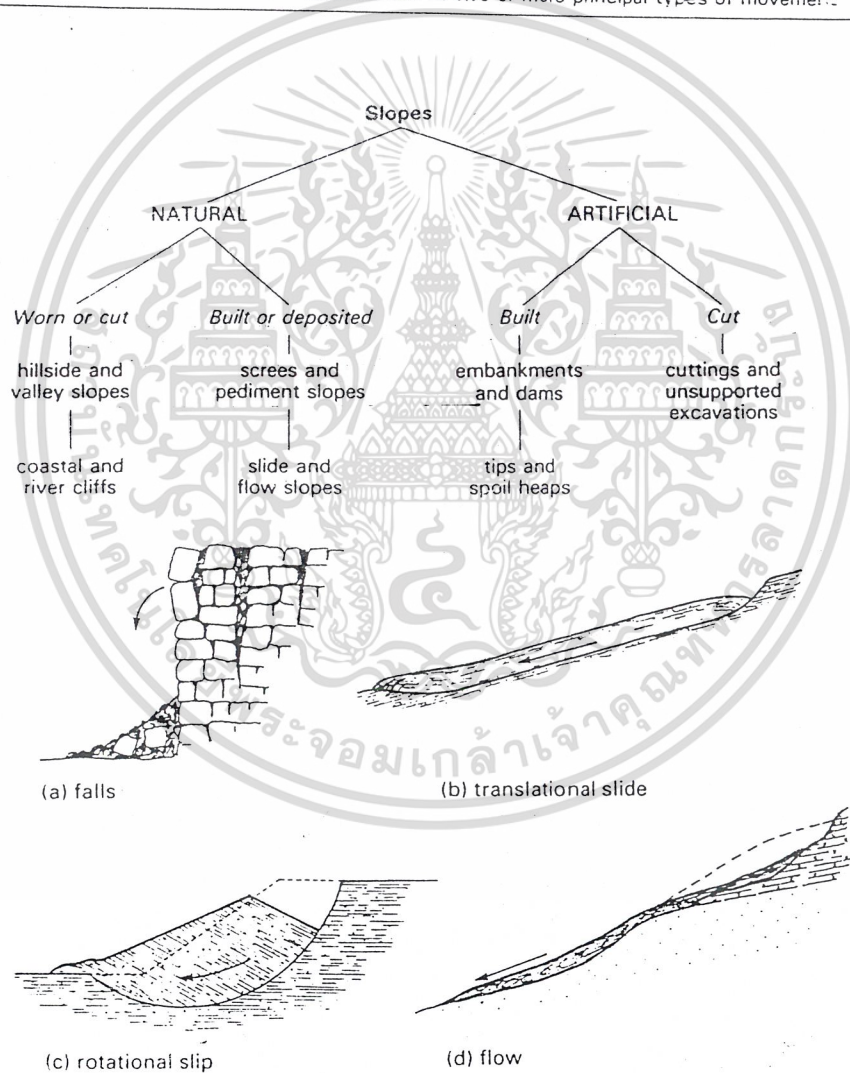




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

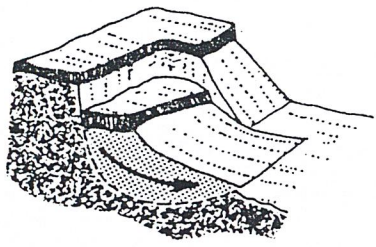
ตารางที่ ข.1 แสดงการแบ่งแยกลักษณะการพังทลายของความลาด (Huang A.E., n.d.)

Type of movement			Type of material		
			Bedrock	Engineering soils	
				Predominantly coarse	Predominantly fine
Falls			Rock fall	Debris fall	Earth fall
Topples			Rock topple	Debris topple	Earth topple
Slides	Rotational	Few units	Rock slump	Debris slump	Earth slump
		Many units	Rock block slide	Debris block slide	Earth block slide
	Translational	Many units	Rock slide	Debris slide	Earth slide
Lateral spreads			Rock spread	Debris spread	Earth spread
Flows			Rock flow (deep creep)	Debris flow	Earth flow (soil creep)
Complex			Combination of two or more principal types of movement		

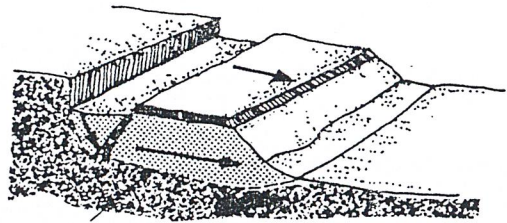


รูปที่ ข.1 แสดงลักษณะการพังทลายของความลาด โดยแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ (Huang A.E., n.d.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

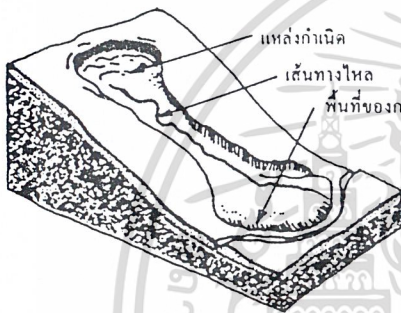


(ก) การม้วนคว่ำ (Rotational)

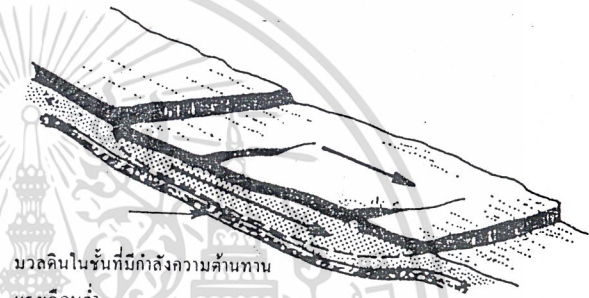


มวลดินในส่วนของที่มีกำลังความต้านทาน แรงเฉือนต่ำ

(ข) แท่งและฉิม (Block and Wedge)



(ค) การไหล (Flow)



(ง) การเคลื่อนที่ (Translational)

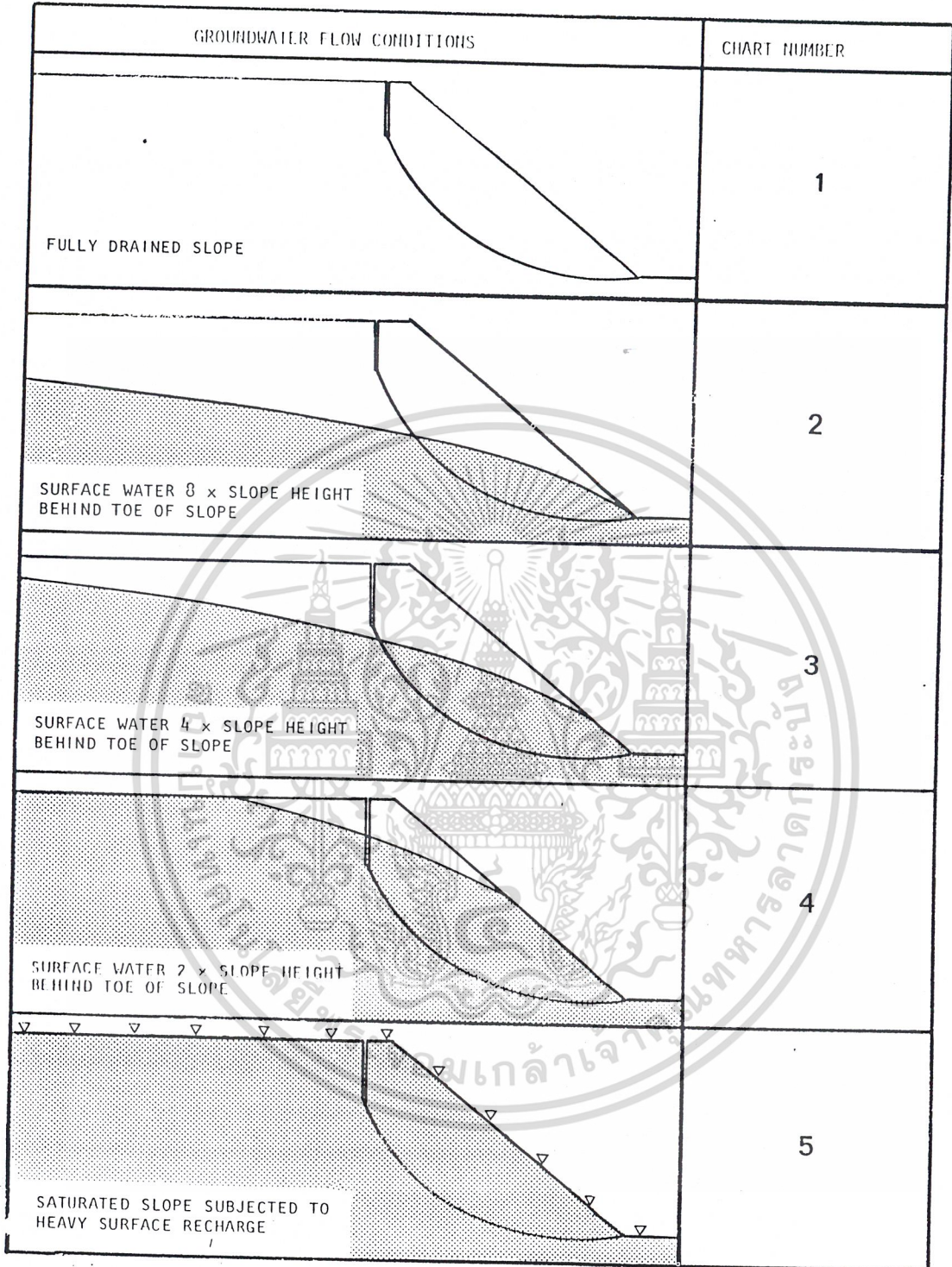


(จ) กระจาย (Spread)

รูปที่ ข.2 แสดงลักษณะการพังทลายของความลาด โดยแบ่งออกเป็น 5 ลักษณะ

(มานะ อภิปพัฒนมนตรี, 2539)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

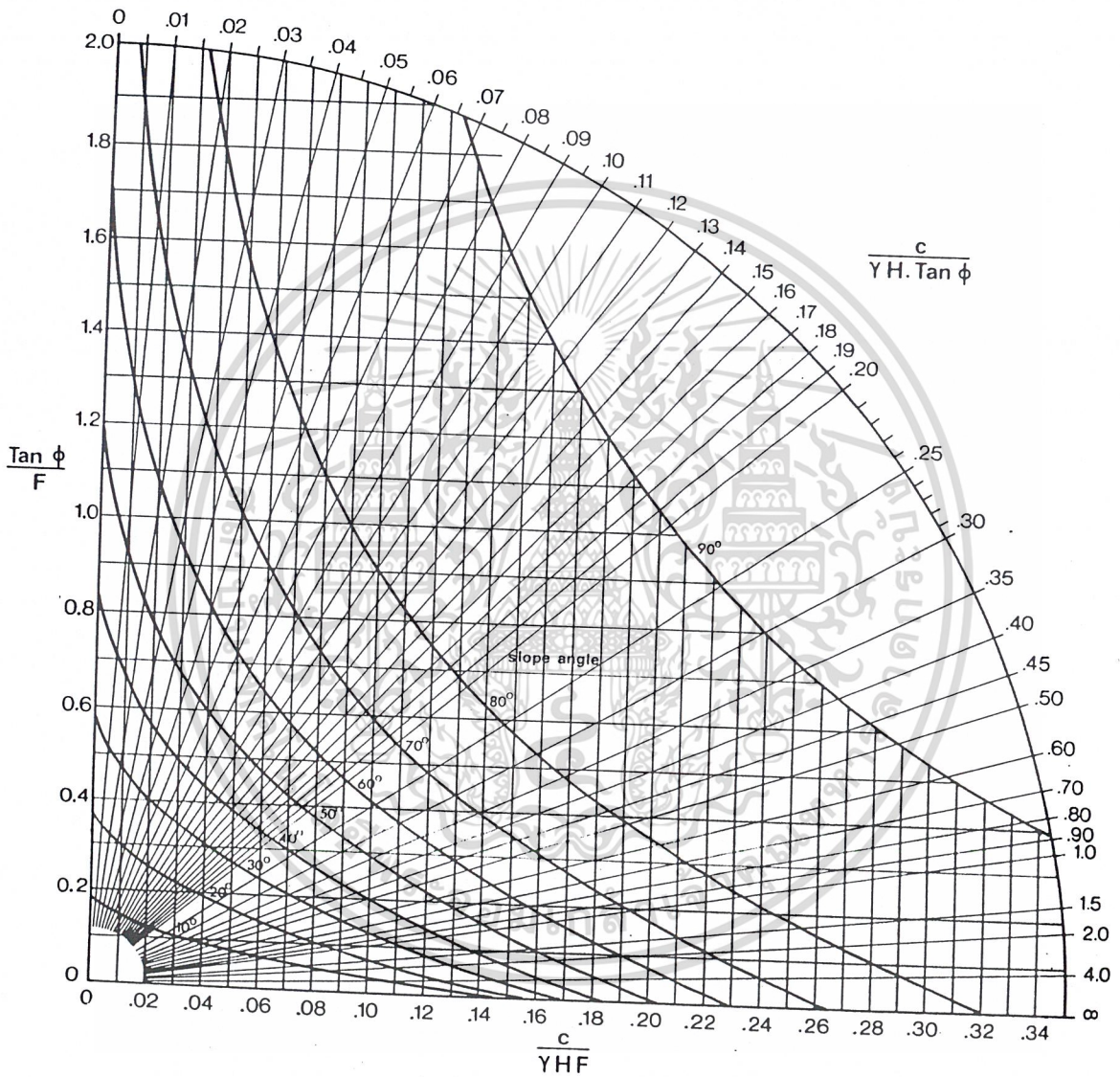


รูปที่ ข.3 แสดงสภาพการไหลของระดับน้ำใต้ดินสำหรับนำไปใช้ใน Circular Failure Chat

(Hoek E. and Bray J.W., 1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

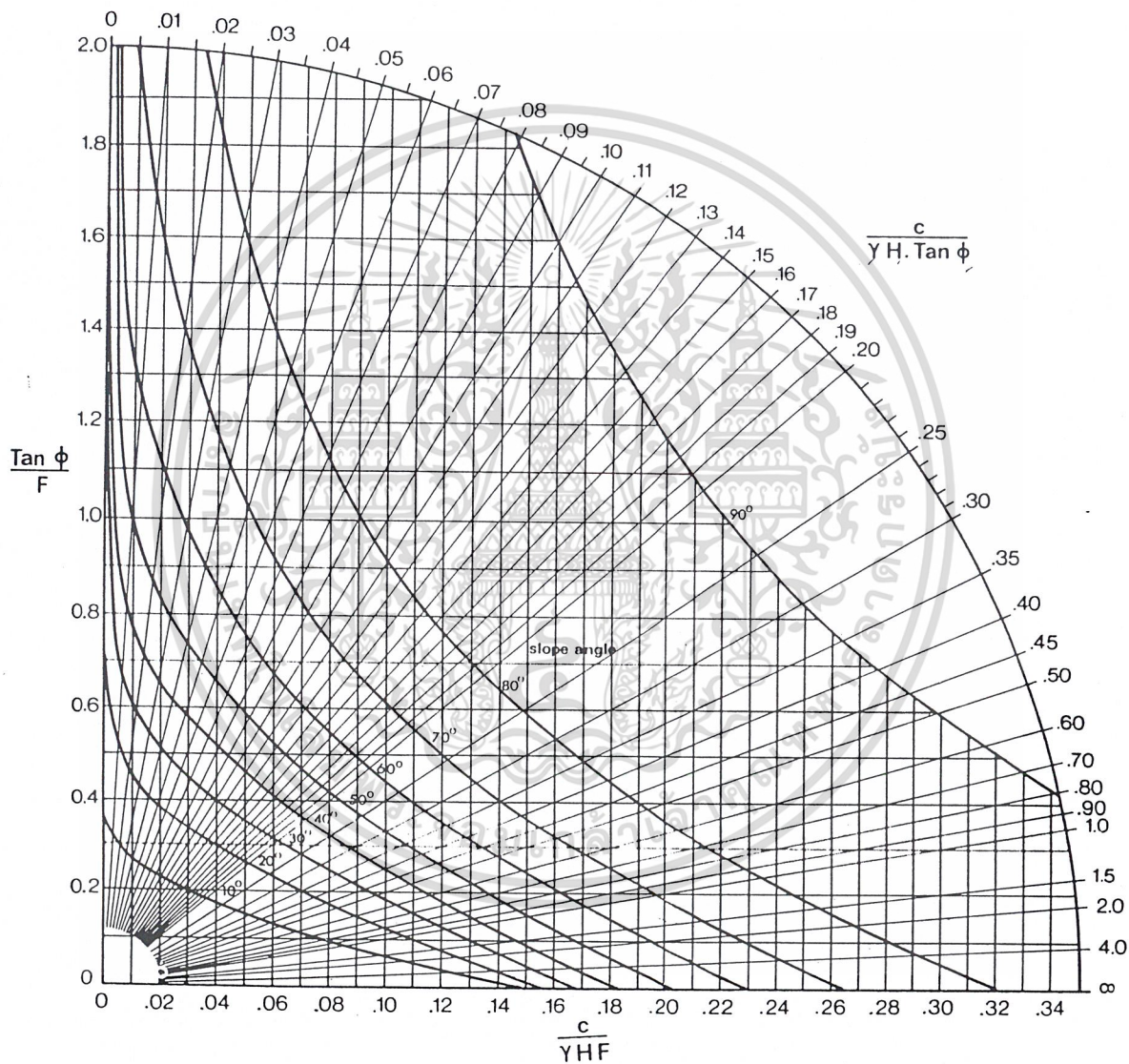
CIRCULAR FAILURE CHART NUMBER 1



รูปที่ ๑.๔ Circular Failure Chart Number 1 (Hoek E. and Bray J.W., 1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

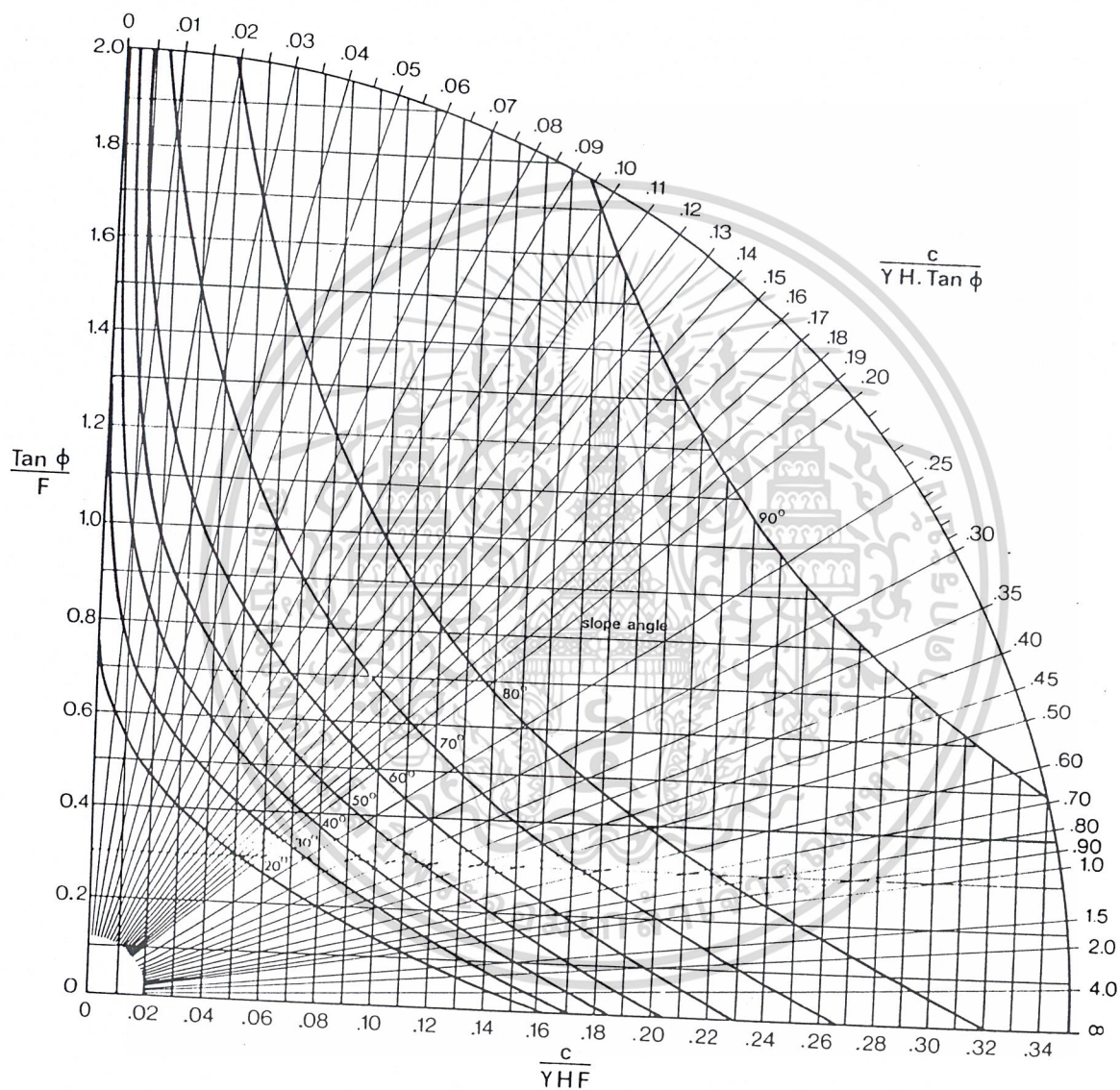
CIRCULAR FAILURE CHART NUMBER 2



รูปที่ ๓.5 Circular Failure Chart Number 2 (Hoek E. and Bray J.W., 1981)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

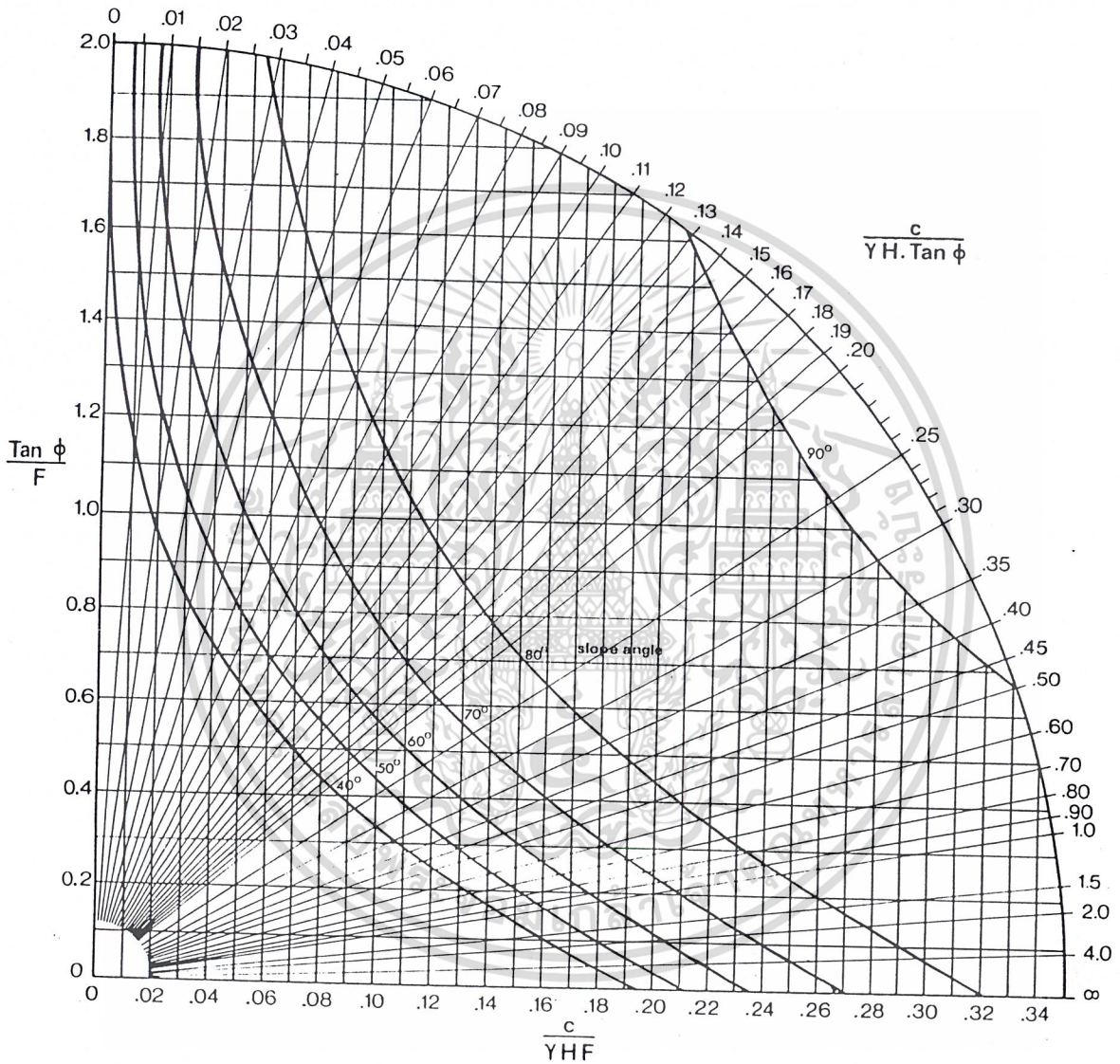
CIRCULAR FAILURE CHART NUMBER 3



รูปที่ ๓.6 Circular Failure Chart Number 3 (Hoek E. and Bray J.W., 1981)

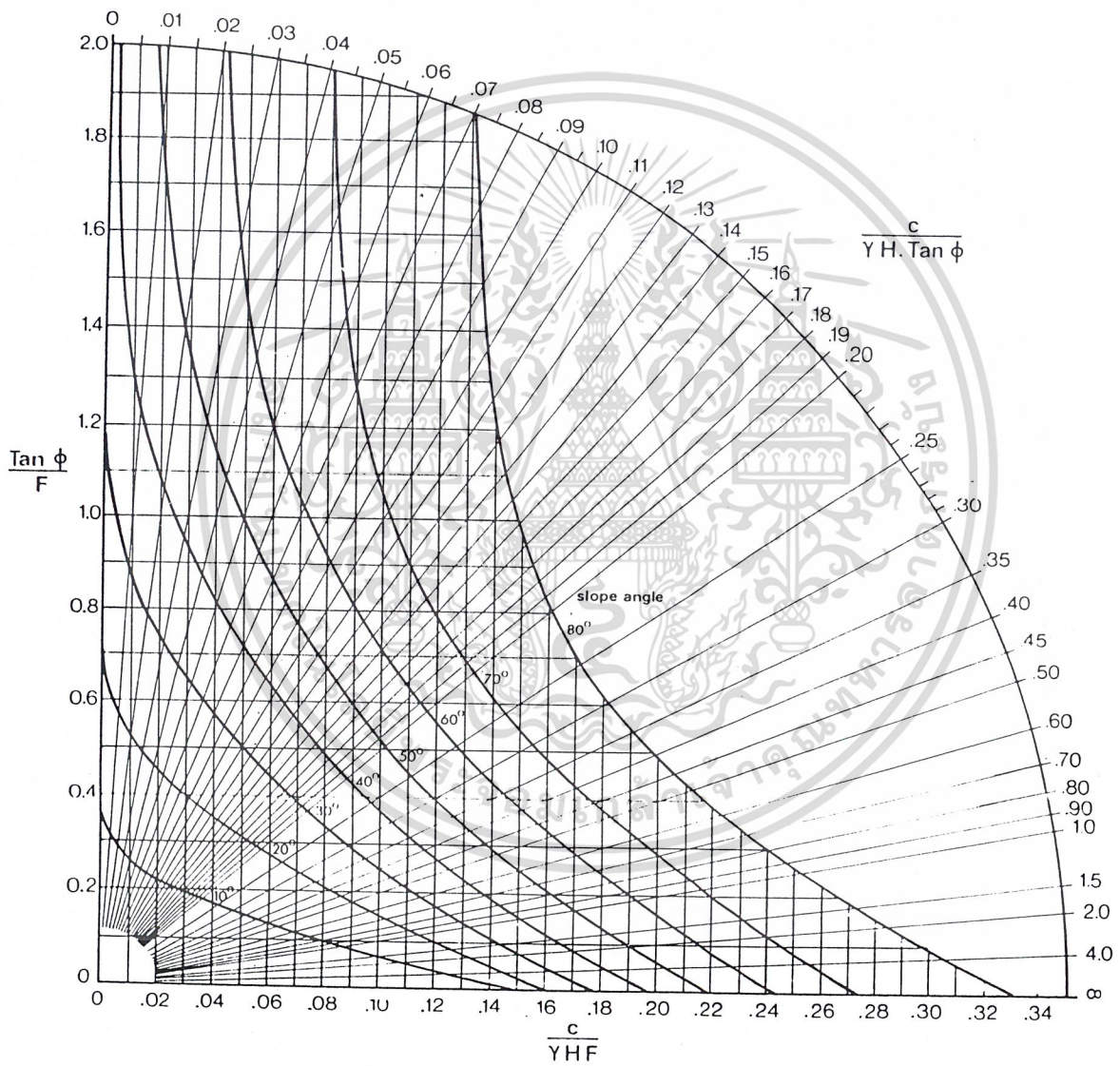
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIRCULAR FAILURE CHART NUMBER 4

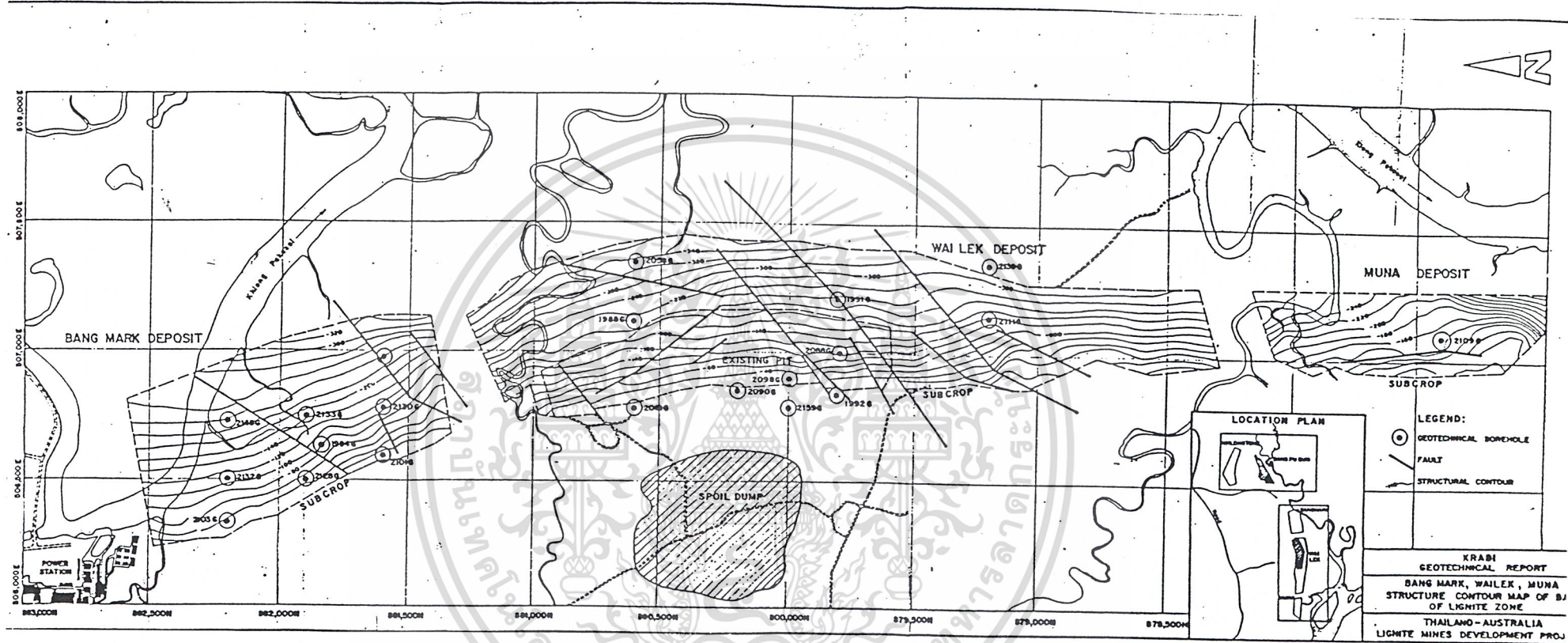


รูปที่ 1.7 Circular Failure Chart Number 4 (Hoek E. and Bray J.W., 1981) ประโยชน์ด้านการคำนวณค่า
 ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIRCULAR FAILURE CHART NUMBER 5



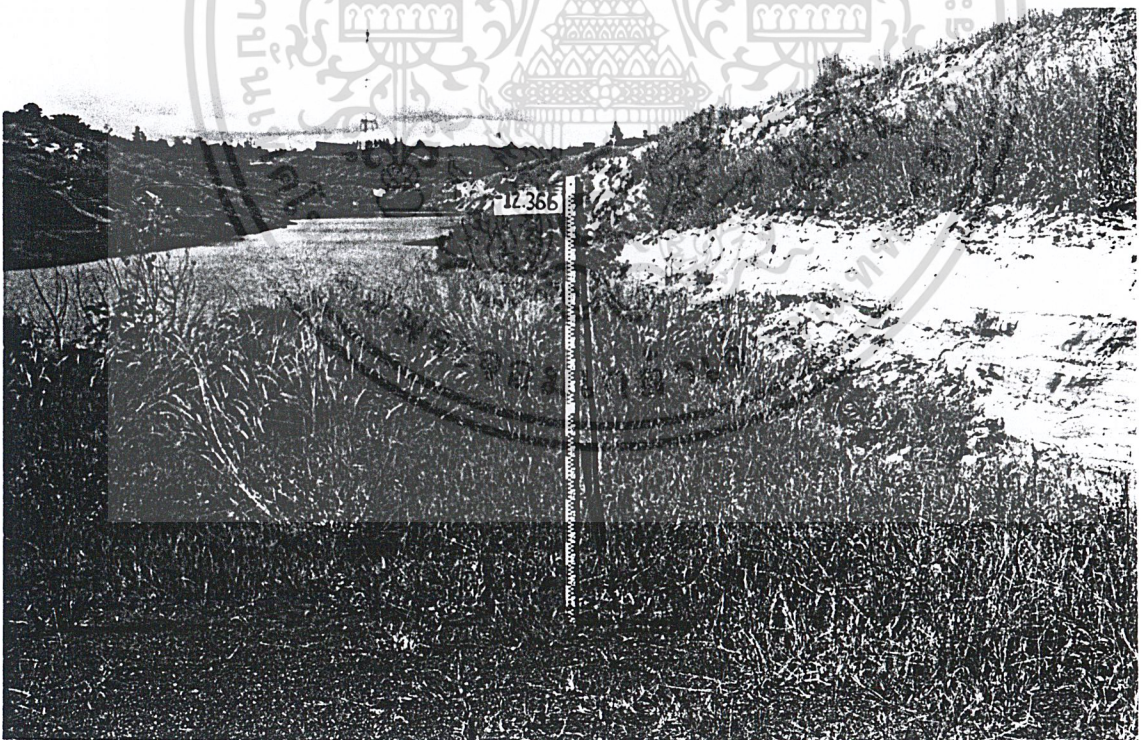
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของกรมโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



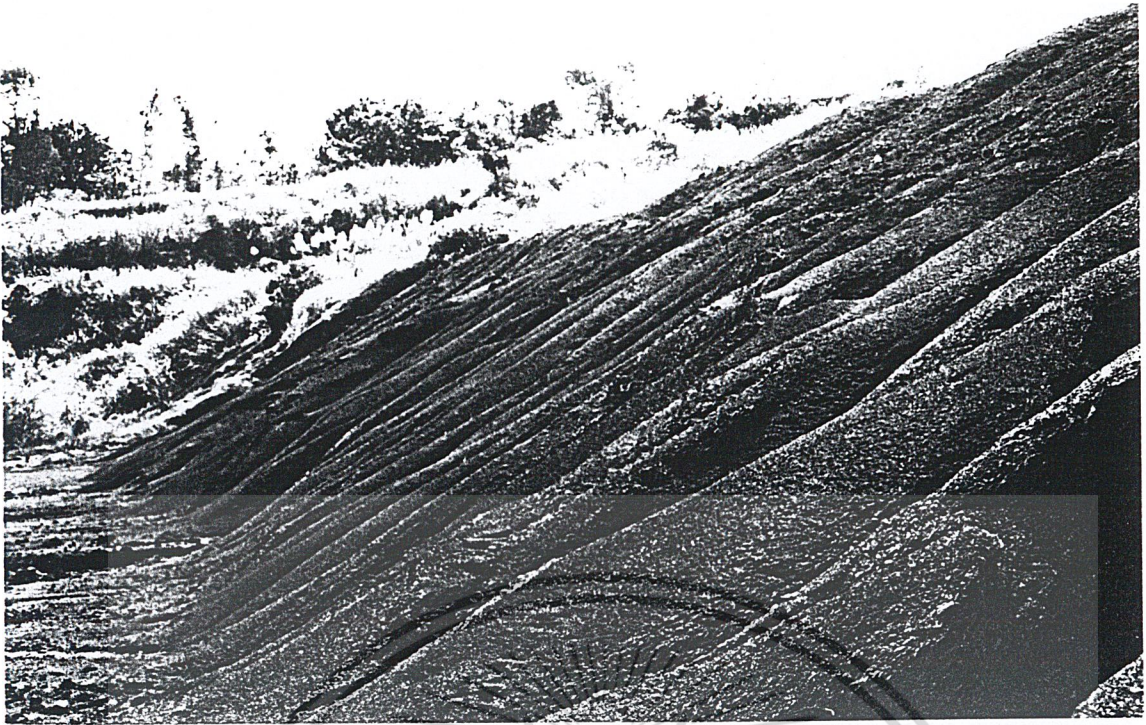
รูปที่ ข.9 แสดงแนวการวางตัวของบ่อเหมืองบางหมาก และ Structural Contour ระดับพื้นของชั้นลิกไนต์ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย , 2541)



รูปที่ ข.11 แสดงลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปของบ่อเหมืองบางหมาก โดยถ่ายภาพจากทิศใต้ไปทิศเหนือ



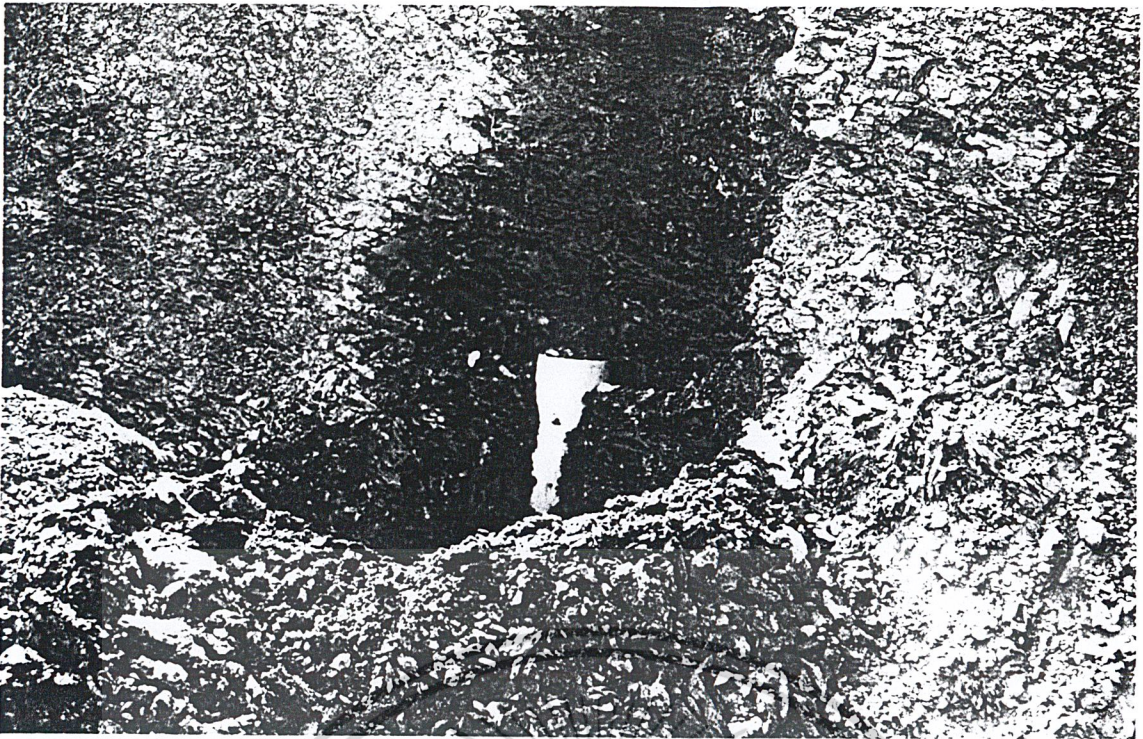
รูปที่ ข.12 แสดงระดับปัจจุบันของบ่อเหมืองบางหมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



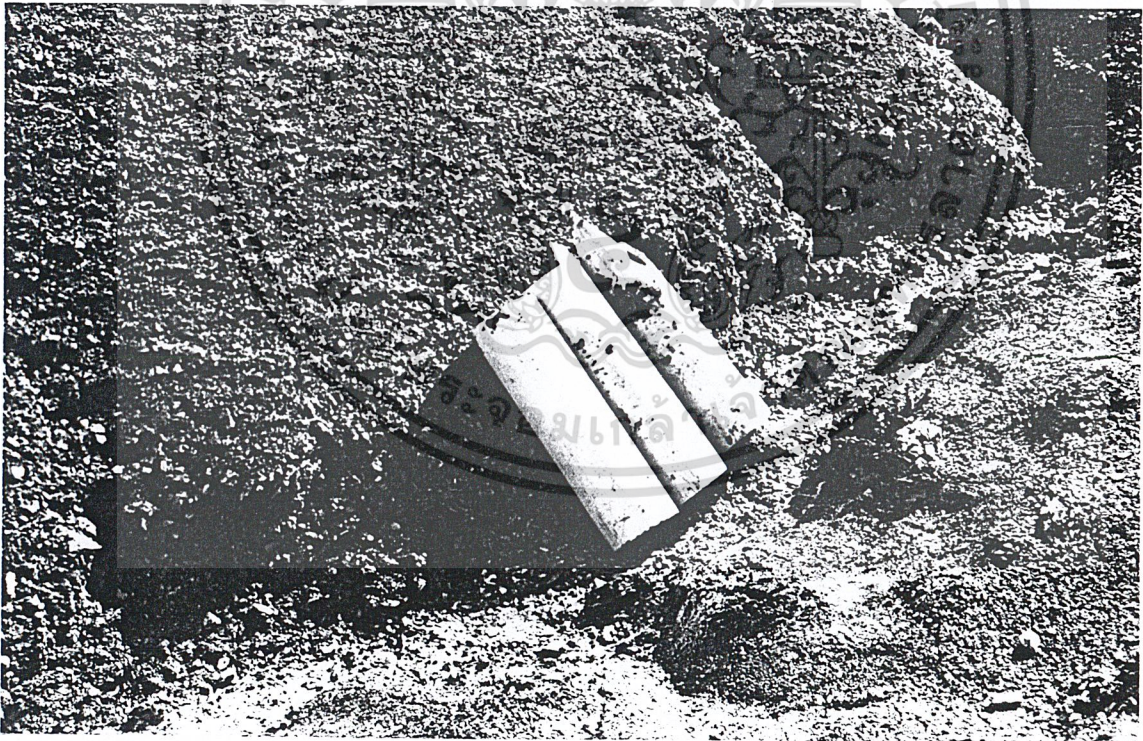
รูปที่ ข.13 แสดงความลาดเดิมของบ่อเหมืองบางหมาก



รูปที่ ข.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงชั้นดินจาก SW ไปเป็น CL อย่างชัดเจน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.15 แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบ



รูปที่ ข.16 แสดงตัวอย่างดินที่เก็บเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2541), “รายงานสรุปวิศวกรรมธรณี บ่อเหมืองบางหมาก, เหมืองลิกไนต์ กระบี่” (กรุงเทพฯ ฯ, กองวิศวกรรมธรณี ฝ่ายวิชาการเหมือง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
- ดิเรก ลาวัณย์ศิริ (2538), เครื่องจักรและเทคโนโลยีในการก่อสร้าง (พิมพ์ครั้งที่ 2 ; กรุงเทพฯ ฯ : ซี เอ็ด)
- บุญเทพ นาเนกรังสรรค์ (2539), FOUNDATION ENGINEERING AND TUNNELING (พิมพ์ครั้งที่ 5 ; กรุงเทพฯ ฯ : Library – Nine Publishing)
- มานะ อภิตมมะมนตรี (2538), วิศวกรรมปฐพีและฐานราก (พิมพ์ครั้งที่ 6 ; กรุงเทพฯ ฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น)
- Brady B.H.G and Brown E.T. (1993), ROCK MECHANICS FOR UNDERGROUND MINING (Second edition ; London : Chapman & Hall)
- Chattopadhyay (1972), “Residual Shear Strength of some Pure Clay Minerals”, Ph.D. Thesis, University of Alberta (Admonton)
- Chowdhury R.N. (1978), Slope Analysis (New York : Elsevier Scientific)
- Das B.M. (1993), Principle of Geotechnical Engineering (Third edition ; Boston : PWS Publishing Company)
- Hoek E. and Bray J.W. (1981), Rock Slope Engineering (Third edition ; London : E&FN SPON)
- Kehew A.E., GENERAL GEOLOGY FOR ENGINEERING (New Jersey : Prentice – Hall, n.d.)
- Huang Y.H. (1983), Stability Analysis of Earth Slopes (New York : Van Nostrand Reinhold Company Inc)
- Morgenstern N.R. and de Matos.(1975), “Stability of slope in Residual soil”, Proceeding (5th Panam. Conf. Soil Mech. And Fdn. Eng., Vol.II) ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NarongKorn Comviravong (1993), "Slope stability of MAE-MOH MINE", M.Eng Thesis GT-93-27, Asian Institute of Technology ; Bangkok)

Notosiswojo S. (1995), "Stability Analysis of the cut Slope of MAE-MOH MINE , Lampang Province", M.Eng Thesis no. GT-81-21, Asian Institute of Technology ; Bangkok,1981

Renato Lancellota , GEOTECHNICAL ENGINEERING (Rotterdam : A.A.Balkema, 1995)

Stout K.S. (1983), Mining Method & Equipment (New York : Van Nostrand Reinhold Company Inc)

Vargas (1971), "Discussion on Stability of Slope in Residual Soils", Proceedings , 4th Panam.Conf.Soil Mech. and Fdn.Eng. , Vol.III



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้