พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนตามความชื้นของดินที่ผุสลายอยู่กับที่ของกลุ่มหินที่มีความอ่อนไหวต่อดินถล่มในประเทศไทย

Shear Strength-Moisture Behavior of Residual Soils of Landslide Sensitive Rocks Group in Thailand

สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ (SUTTISAK SORALUMP)[1]

วรวัชร์ ตอวิวัฒน์ (WORAWAT THOWIWAT)[2]

[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (Soralump_s@yahoo.com) [2]วิศวกรปฐพี (w_thowiwat@yahoo.com)

ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ : พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนของดินตามสภาพความชื้นที่เปลี่ยนไป เป็นปัจจัยสำคัญต่อการศึกษาเพื่อกำหนดเกณฑ์การเตือนภัยดินถล่มด้วยความชื้นในมวลดินหรืออีกนัยหนึ่งคือ ปริมาณน้ำฝนที่ซึมลงสู่ชั้นดิน การศึกษาดำเนินการโดยการเก็บตัวอย่างดินไม่ถูกรบกวนจำนวน 696 ตัวอย่างครอบคลุมกลุ่มหินที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มจำนวน 8 กลุ่มทั่วประเทศ ตัวอย่างดินไม่ถูกรบกวนได้นำมาทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบ KU-MDS Shear ซึ่งทำการทดสอบแบบเปลี่ยนแปลงความชื้นตามระดับความอิ่มตัวของดินด้วยกัน 3 ช่วง คือ ระดับความอิ่มตัวร้อยละ 60, 80 และ 100 แล้วทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในระบบ 3 แกน ตามประเภทของกลุ่มหิน จากนั้นจึงนำสมการควบคุมในลักษณะสมการระนาบของความสัมพันธ์ดังกล่าว ไปวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดดินเพื่อใช้เป็นแบบจำลองกำลังรับแรงเฉือนของดินในการคำนวณหาค่า API_{cr} สำหรับการเตือนภัยดินถล่มในแต่ละพื้นที่ นอกจากนั้นยังสามารถนำตัวแปรกำลังรับแรงเฉือนไปใช้สำหรับการออกแบบทางธรณีวิศวกรรมบนดินที่ผุสลายอยู่กับที่

ABSTRACT : Shear strength behavior of residual soils at various water contents plays an important role on developing the warning criterion by water content or infiltrated water. The undisturbed sample of 696 samples were collected base on representative of 8 rocks group which sensitive to landslide. Shear strength parameters are obtained by KU-MDS Shear Test which testing by varies degree of saturation, S_r in 3 levels : 60%, 80% and 100%. The test result shows a relationship in triaxis system of σ'_v, τ and S_r. The relationship can be used for modeling shear strength of soil and determining the API_{cr} for landslide warning. Furthermore, the residual soil strength parameters can be used for geotechnical engineering design.

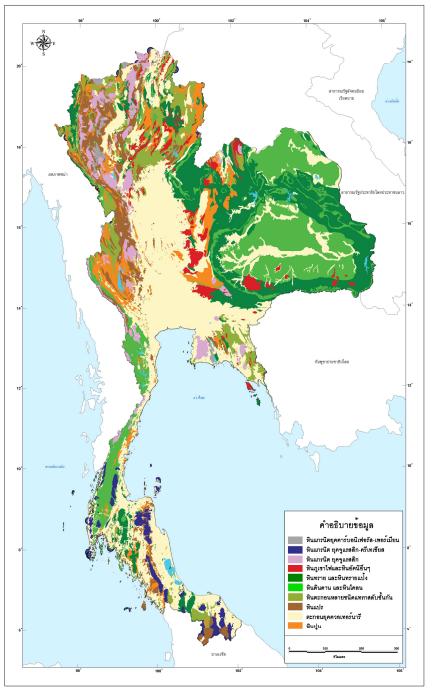
KEYWORDS : Landslide, Shear Strength Testing, Unsaturated Soil, Critical API

1. บทนำ

การศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้นจะเป็นรากฐานในการกำหนดค่าความชื้นวิกฤติหรือปริมาณฝนวิกฤติที่ใช้ในการเตือนภัยดินถล่ม รวมถึงเป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมในสภาพที่ดินไม่อิ่มตัว (Unsaturated Soil) การศึกษาในบทความนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติดังกล่าวโดยได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูล เก็บตัวอย่างและทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ โดยมุ่งหวังจะศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่ผุพังจากหินกลุ่มต่างๆ ทั่วประเทศไทย

2. กลุ่มหินทางธรณีวิทยา

สุทธิศักดิ์และคณะ (2550) ได้ศึกษาคุณสมบัติของดินที่ผุสลายจากหินแต่ละชุดตามลักษณะธรณีวิทยาของประเทศไทย เพื่อนำคุณสมบัติที่ได้มาทำการจัดกลุ่มชุดหินที่มีความหมายทางวิศวกรรม โดยได้จำแนกกลุ่มหินตามความอ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มได้เป็น 8 กลุ่ม ทั้งนี้เนื่องจากชุดหินในประเทศไทยมีจำนวณ 61 ชุด การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของทุกชุดหินจึงเป็นเรื่องที่ต้องใช้เวลามาก ดังนั้น จึงต้องทำการจัดกลุ่มของชุดหิน (1 กลุ่มประกอบด้วยหลายชุดหิน) โดยรวมชุดหินที่เมื่อผุสลายจะมีคุณสมบัติของดินทางกายภาพใกล้เคียงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน อย่างไรก็ตามจากการศึกษาดังกล่าวยังพบว่า กลุ่มหินทางธรณีวิทยาบางกลุ่มยังให้ประเภทดินทางวิศวกรรมเมื่อผุสลายแล้วแตกต่างกันมาก ดังนั้นในงานศึกษานี้จึงได้ดำเนินการแบ่งกลุ่มใหม่เพื่อให้ได้กลุ่มหินที่เมื่อผุสลายแล้วจะให้ลักษณะดินที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมใกล้เคียงกัน ผลจากการจัดกลุ่มใหม่ดังกล่าวนี้ สามารถจำแนกลักษณะทางธรณีวิทยาที่สำคัญที่เกี่ยวเนื่องกับการวิเคราะห์ดินถล่มได้ ออกเป็น 10 กลุ่ม ดังภาพที่ 1 โดยกลุ่มที่ 1 คือ หินแกรนิตยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน กลุ่มที่ 2 คือ หินแกรนิตยุกจูแรสสิก-ครีเทเซียส กลุ่มที่ 3 คือ หินแกรนิตยุคจูแรสสิก กลุ่มที่ 4 คือ หินภูเขาไฟและหินอัคนีอื่นๆ กลุ่มที่ 5 คือ หินทรายและหินทรายแป้ง กลุ่มที่ 6 คือ หินดินดาน และหินโคลน กลุ่มที่ 7 คือ หินตะกอนหลายชนิดแทรกสลับชั้นกัน กลุ่มที่ 8 คือ หินแปร กลุ่มที่ 9 คือ หินตะกอนยุคควอเทอร์นารี และกลุ่มที่ 10 คือ หินปูน ตามลำดับ

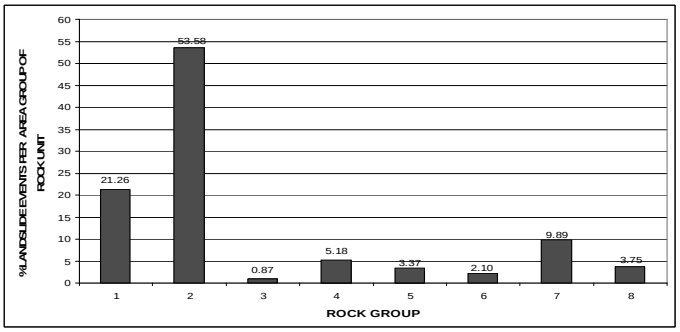


ภาพที่ 1 กลุ่มหินทางธรณีวิทยาจำแนกตามคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่ผุสลายจากหินกลุ่มนั้นๆ

3. การดำเนินงาน

ตัวอย่างดินแบบถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวนได้ถูกเก็บโดยศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้โครงการกำหนดค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดิน (Antecedent Precipitation Index : API) เพื่อสนับสนุนการเตือนภัยล่วงหน้าน้ำท่วมฉับพลัน – ดินถล่ม ของกรมทรัพยากรน้ำ โดยเก็บตัวอย่างให้ครอบคลุมกลุ่มหินจำนวน 8 กลุ่ม จากทั้งหมด 10 กลุ่ม โดยกลุ่มของตะกอนยุคควอเทอร์นารีและกลุ่มหินปูน เป็นกลุ่มหินที่มีโอกาสการเกิดดินถล่มต่ำจึงไม่นำมาพิจารณา นอกจากนี้ยังได้เลือกเก็บตัวอย่างในหมู่บ้านเสี่ยงภัยดินถล่มประกาศโดยกรมทรัพยากรน้ำและเป็นหมู่บ้านที่อยู่ในพื้นที่ลาดชันเกิน 10 องศา การคัดเลือกดังกล่าวดำเนินการโดยการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งโดยสรุปแล้วได้เก็บตัวอย่างจาก 121 หมู่บ้าน เป็นตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวนจำนวน 484 ตัวอย่าง โดยจำนวนตัวอย่างที่เก็บต่อกลุ่มหินได้พิจารณาจากสถิติความถี่การเกิดดินถล่มตามกลุ่มหินต่างๆ รวบรวมโดย สุทธิศักดิ์และคณะ(2550) (ภาพที่ 2) โดยกลุ่มหินที่มีสถิติความถี่การเกิดดินถล่มมากจะเก็บตัวอย่างจำนวนมากเช่นเดียวกัน การเก็บตัวอย่างดินที่ผุสลายจากหินกลุ่มต่างๆ ดำเนินการโดยการขุดบ่อสำรวจ (Test Pit) ลงไปถึงชั้นหินที่มีระดับความผุพังประมาณระดับ 3 ตามมาตรฐาน

การจำแนกความผุพังของหิน (Waltham, 1994) ตัวอย่างจะถูกเก็บบริเวณรอยต่อระหว่างหินที่ผุพังระดับ 3 และระดับ 4 ทั้งนี้เนื่องจากมีสมมุติฐานว่า รอยต่อดังกล่าวเป็นระนาบของการพิบัติแบบลาดอนันต์ นอกจากตัวอย่างจากโครงการกำหนดค่าดัชนีความชุ่มชื้นของดินฯ ผู้ศึกษายังได้รับอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมทรัพยากรธรณีในโครงการศึกษาหาแนวทางการป้องกันและลดผลกระทบจากภัยดินถล่ม 6 จังหวัดภาคใต้ของกรมทรัพยากรธรณี และตัวอย่างจากการศึกษาวิจัยด้านวิศวกรรมดินถล่มของศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทำให้มีข้อมูลและตัวอย่างเพื่อการทดสอบจำนวน 696 ตัวอย่างครอบคลุมกลุ่มหินจำนวน 8 กลุ่มดังที่กล่าวมา ตัวอย่างได้นำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการ ซึ่งโดยสรุปแล้วมีจำนวนการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 1



Group 1 Permo-Carb granite
Group 2 Jurassic-Cretaceous granite
Group 3 Jurassic granite
Group 4 Volcanic and other plutonic rock
Group 5 Sandstone and Siltstone
Group 6 Shale and mudstone
Group 7 Interbedded sedimentary rocks
Group 8 Metamorphic rocks

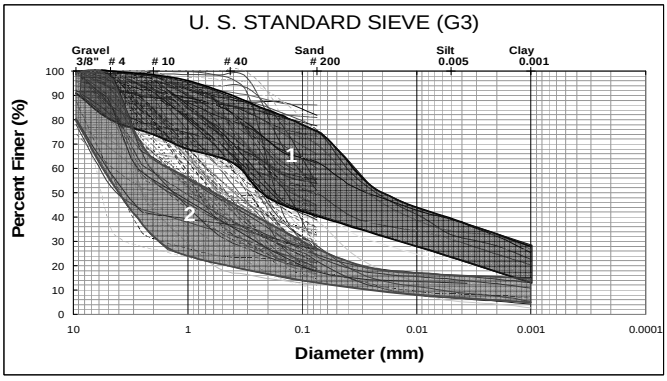
ภาพที่ 2 ร้อยละการเกิดดินถล่มในอดีตเฉลี่ยต่อพื้นที่ชุดหินกลุ่มที่ 1 ถึงกลุ่มที่ 8 ตั้งแต่ปีพ.ศ.2513-2552 (ปรับปรุงข้อมูลจาก สุทธิศักดิ์และคณะ(2550))

4. คุณสมบัติทางกายภาพ

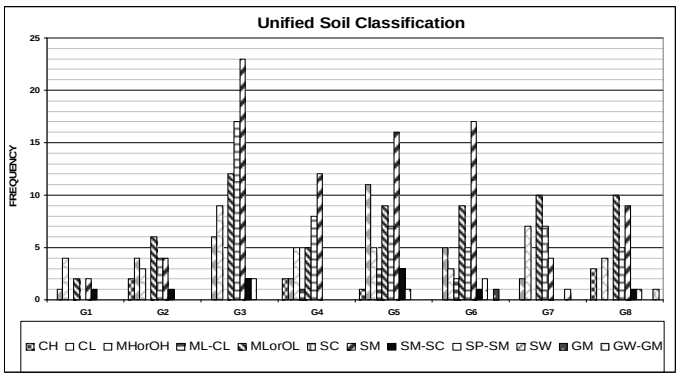
ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินทั้ง 8 กลุ่ม โดยจากการทดสอบ Grain size distribution, Atterberg's Limits และจำแนกประเภทของดินทางวิศวกรรมตาม Unified Soil Classification System พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของเม็ดดินมี 2 ลักษณะดังภาพที่ 3 อันได้แก่ ลักษณะที่ 1 การกระจายตัวเป็นลักษณะ Well Grade ซึ่งมีดินทั้งขนาดเม็ดหยาบและเม็ดละเอียดผสมผสานกันและลักษณะที่ 2 คือดินที่มีร้อยละของเม็ดดินขนาดหยาบมากกว่าเม็ดละเอียดอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้คาดว่าลักษณะการกระจายตัวดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการพัดพาของดินเม็ดละเอียดจากการไหลซึมผ่านของน้ำฝนลงสู่ดินชั้นล่าง สำหรับผลการจำแนกประเภทของดิน พบว่าดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากกลุ่มที่ 3, 4, 5 และ กลุ่มที่ 6 เมื่อผุพังจะให้ดินประเภท SM สำหรับกลุ่มที่ 2 และ กลุ่มหินที่ 7 จำแนกได้เป็น ML or OL ส่วนกลุ่มที่ 8 จำแนกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ML or OL และ SM แต่สำหรับกลุ่มที่ 1 ไม่สามารถสรุปชนิดดินได้ชัดเจน ดังผลการจำแนกประเภทของดินทั้ง 8 กลุ่มตามภาพที่ 4

ตารางที่ 1 จำนวนตัวอย่างการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง (ชุดตัวอย่าง)
Strength Reduction Index (SRI)	47
KU-Multistage Direct Shear Test (KU-MDS Test)	127
Atterberg's Limits	531
Grain Size Analysis	535
Soil Classification (USCS)	514



ภาพที่ 3 ตัวอย่างลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดินของดินที่ผุพังจากหินกลุ่มที่ 3

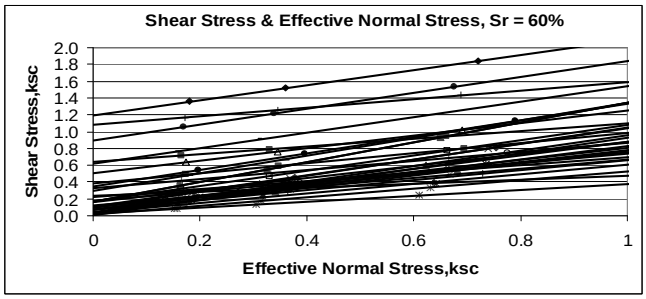


ภาพที่ 4 การจำแนกประเภทของดินที่ผุสลายจากหิน 8 กลุ่ม

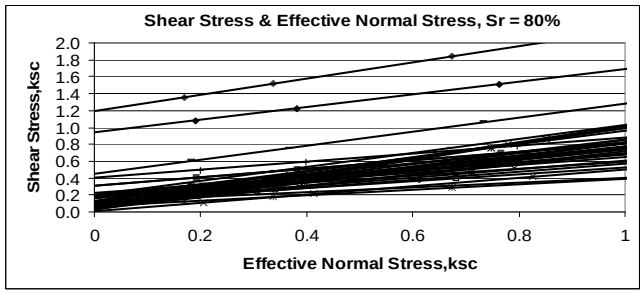
5. พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนเมื่อความชื้นเปลี่ยนไป

พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินกลุ่มต่างๆ ได้ทำการศึกษาโดยการทดสอบ Direct Shear ประเภท KU-MDS Shear Test (นง-ลักษณ์, 2546 และ บรรพต, 2548) ซึ่งรายละเอียดได้อธิบายโดย สุทธิ-ศักดิ์และคณะ (2550) การทดสอบดำเนินการกับตัวอย่างที่ไม่ถูกรบกวนจากทั่วประเทศ จำนวน 127 ชุดตัวอย่างหรือทดสอบตัวอย่างทั้งสิ้น 307 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างได้ถูกนำมาปรับความชื้นให้ได้ความอิ่มตัวที่ร้อยละ 60, 80 และ 100 โดยประมาณ การเฉือนตัวอย่างดำเนินการในลักษณะการเฉือนแบบระบายน้ำ (Drained) อัตราการเฉือนตัวอย่างวิเคราะห์จากอัตราการทรุดตัวในช่วงการ Consolidate ตัวอย่างก่อนการเฉือนตัวอย่าง รายละเอียดอธิบายใน Head (1981)

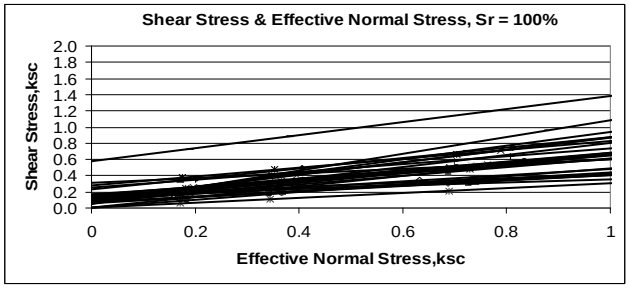
ผลการทดสอบได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Stress) กับแรงดันดินกดทับประสิทธิผล (Effective Normal Stress) ของแต่ละระดับความอิ่มตัว โดยพบว่าเมื่อระดับความอิ่มตัวของดินสูงขึ้นกำลังรับแรงเฉือนของดินจะมีค่าลดลงตามที่ควรจะเป็นและจะสังเกตุได้ว่าค่ามุมเสียดทานภาย (Friction angle, ϕ') ของดินมีค่าค่อนข้างคงที่แต่ค่าความเชื่อมแน่นของดิน (Cohesion, c') มีค่าลดลงอย่างมากเมื่อระดับความอิ่มตัวของดินเพิ่มสูงขึ้น ตัวอย่างผลการทดสอบของดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินกลุ่มที่ 3 แสดงดังภาพที่ 5 จากภาพดังกล่าวจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อร้อยละความอิ่มตัวในมวลดินเพิ่มมากขึ้น ความแปรปรวนของค่า Cohesion (c') จะลดลงอย่างมากโดยสังเกตุได้จากการเกาะกลุ่มกันของเส้น Failure Criterion ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า c' และ ϕ' จากดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินกลุ่มดังกล่าวซึ่งได้แสดงให้เห็นชัดเจนมากขึ้นถึงอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อค่า Cohesion (c') ซึ่งทำให้มีช่วงความแปรปรวนกว้าง ในขณะที่ค่า ϕ' จะกระจายตัวอยู่ในช่วงจำกัด นอกจากนั้น เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการลดลงของค่ากำลังรับแรงเฉือนเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น พบว่าพฤติกรรมการลดลงของกำลังรับแรงเฉือนมี 2 ลักษณะ ได้แก่ การลดลงในอัตราค่อนข้างจะคงที่ตามความชื้นและการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความชื้นถึงค่าระดับหนึ่ง พฤติกรรมประเภทหลังแสดงถึงการสูญเสียกำลังอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจเกิดจากการยุบตัวของมวลดิน ดังแสดงในภาพที่ 7 พฤติกรรมดังกล่าวสำคัญอย่างยิ่งต่อการเข้าใจถึงวิธีการเตือนภัยของดินถล่มตามประเภทของกลุ่มหินต่างๆ นอกจากนั้นจากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า กำลังรับแรงเฉือนของดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากกลุ่มหินทุกกลุ่ม จะมีค่ากำลังรับแรงเฉือนค่อนข้างคงที่หลังระดับความอิ่มตัวเกินร้อยละ 90 และยังพบว่าตัวอย่างดินไม่สามารถจะทำให้อิ่มตัวร้อยเปอร์เซนต์ได้ถึงแม้ว่าจะแช่ตัวอย่างดินในน้ำไว้เป็นเวลาหลายวัน โดยระดับความอิ่มตัวที่ได้สูงสุดเฉลี่ยอยู่ประมาณร้อยละ 95 จากข้อมูลดังกล่าวทำให้สรุปในเบื้องต้นได้ว่าการพิบัติของลาดดินหรือการเกิดดินถล่มนั้น ดินจะไม่อิ่มตัวร้อยเปอร์เซนต์ ดังนั้นในการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องควรตั้งสมมุติฐานถึงระดับความอิ่มตัวของมวลดินที่ทำให้เกิดดินถล่มตามพฤติกรรมดังกล่าว โดยเฉพาะดินถล่มประเภทตื้น (Shallow Landslide)



ก. ระดับความอิ่มตัว 60%

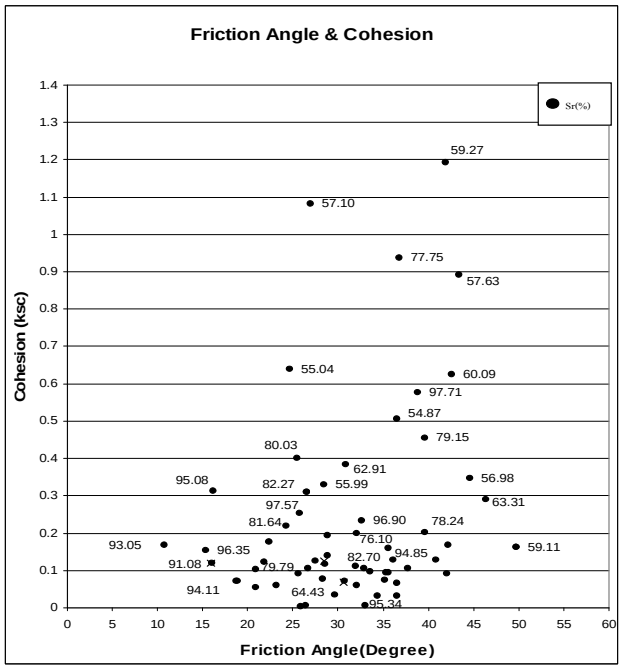


ข. ระดับความอิ่มตัว 80%



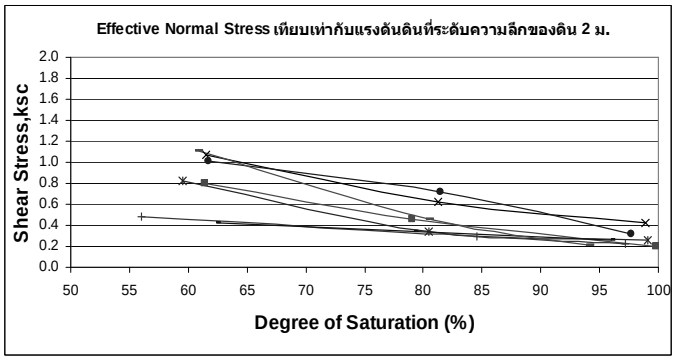
ค. ระดับความอิ่มตัว 100%

ภาพที่ 5 ผลทดสอบ KU-MDS ของดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินกลุ่มที่ 3

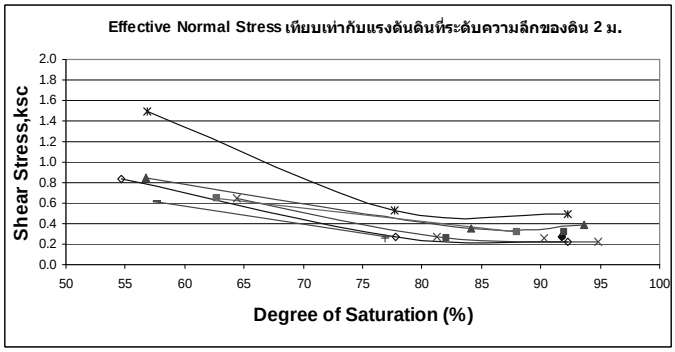


ก.ดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินกลุ่มที่ 3

ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง c' และ ϕ'



ก.การลดลงในอัตราค่อนข้างคงที่ (ดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินกลุ่มที่ 4)



ข.การลดลงอย่างรวดเร็ว (ดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากหินกลุ่มที่ 6)

ภาพที่ 7 พฤติกรรมการลดลงของกำลังรับแรงเฉือน 2 ลักษณะ

เมื่อนำข้อมูลผลการทดสอบข้างต้นมาหาความสัมพันธ์ในระบบ 3 แกน โดยให้ Z เป็นแกนของกำลังรับแรงเฉือน Y เป็นแกนของแรงกดทับ และ X เป็นแกนของระดับความอิ่มตัว จากนั้นหาสมการควบคุมโดยเลือกใช้สมการระนาบในลักษณะ 2 ระนาบต่อกัน (Bi-Plane Equation) ดังภาพที่ 8 ถึง ภาพที่ 15 และมีรูปแบบความสัมพันธ์แต่ละระนาบตามสมการที่ 1 และ 2

สมการระนาบ $$Z = Z_0 + bY + aX \quad (1)$$

สมการความแข็งแรงของดิน $$\tau = \tau_0 + b\sigma' - aS_r \quad (2)$$

τ_0 ค่าคงที่จากกราฟความสัมพันธ์ในระบบ 3 แกน

a ความชันของความสัมพันธ์ระหว่าง S_r กับ τ

b ความชันของความสัมพันธ์ระหว่าง σ'_v กับ τ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในระบบ 3 แกนทำให้สามารถหาสมการกำลังรับแรงเฉือนสำหรับการนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบตามสภาพความชื้นในมวลดินต่างๆ ของดินที่สลายตัวอยู่กับที่จากหินแต่ละกลุ่มได้ดังสมการที่ 3 ถึง สมการที่ 18 โดยสมการดังกล่าวเป็นสมการ Lower Bound ของระนาบ

กลุ่มที่ 1 $$\tau_1 = 0.8628 + 0.4985\sigma' - 1.0684S_r \quad (3)$$

$$\tau_2 = 0.1891 + 0.3725\sigma' - 0.1046S_r \quad (4)$$

กลุ่มที่ 2 $$\tau_1 = 0.9585 + 0.5976\sigma' - 1.1250S_r \quad (5)$$

$$\tau_2 = 0.6425 + 0.3872\sigma' - 0.6343S_r \quad (6)$$

กลุ่มที่ 3 $$\tau_1 = 0.9627 + 0.8004\sigma' - 1.1835S_r \quad (7)$$

$$\tau_2 = 0.7746 + 0.4570\sigma' - 0.7623S_r \quad (8)$$

กลุ่มที่ 4 $$\tau_1 = 2.1459 + 0.6107\sigma' - 2.4959S_r \quad (9)$$

$$\tau_2 = 0.7432 + 0.5076\sigma' - 0.6902S_r \quad (10)$$

กลุ่มที่ 5 $$\tau_1 = 1.2293 + 0.5253\sigma' - 1.3260S_r \quad (11)$$

$$\tau_2 = 0.7943 + 0.4617\sigma' - 0.7697S_r \quad (12)$$

กลุ่มที่ 6 $$\tau_1 = 1.2394 + 0.6978\sigma' - 1.3625S_r \quad (13)$$

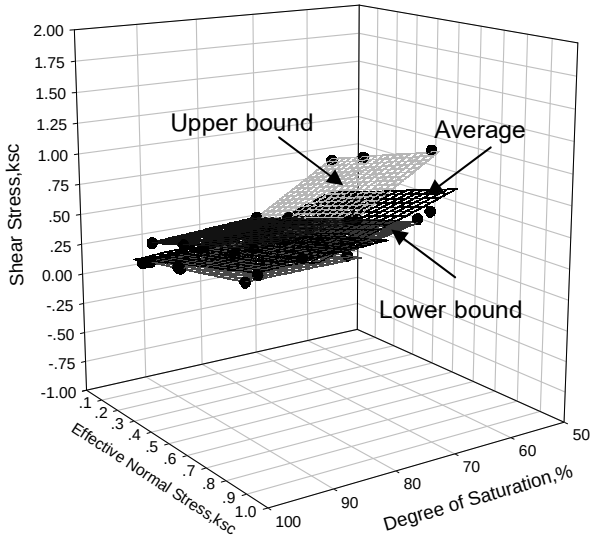
$$\tau_2 = 1.3919 + 0.4263\sigma' - 1.3729S_r \quad (14)$$

กลุ่มที่ 7 $$\tau_1 = 2.0118 + 0.8158\sigma' - 2.5090S_r \quad (15)$$

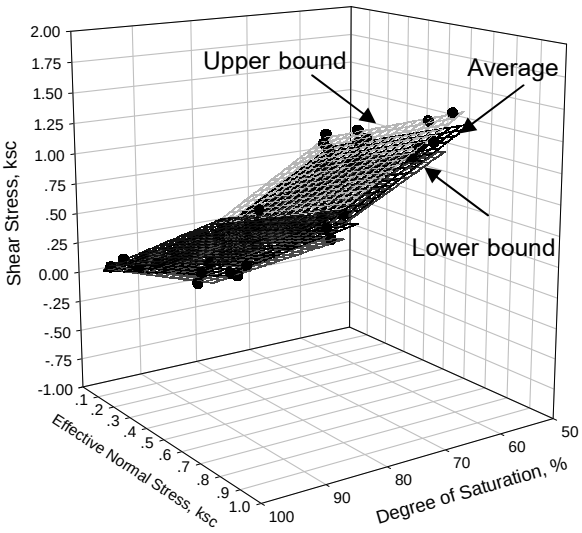
$$\tau_2 = 0.3419 + 0.5960\sigma' - 0.3180S_r \quad (16)$$

กลุ่มที่ 8 $$\tau_1 = 1.3884 + 0.4607\sigma' - 1.6086S_r \quad (17)$$

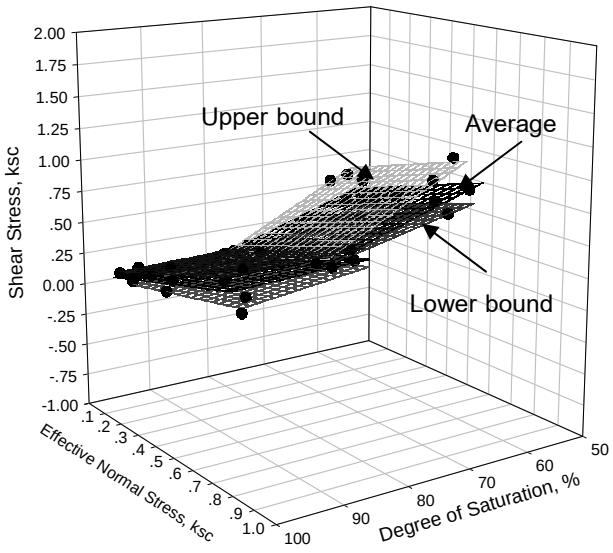
$$\tau_2 = 0.2476 + 0.5349\sigma' - 0.1892S_r \quad (18)$$



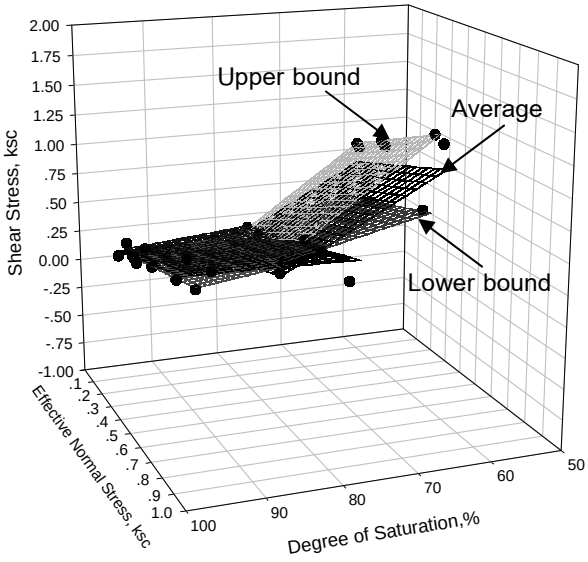
ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนตามความอิ่มตัว(กลุ่มที่ 1)



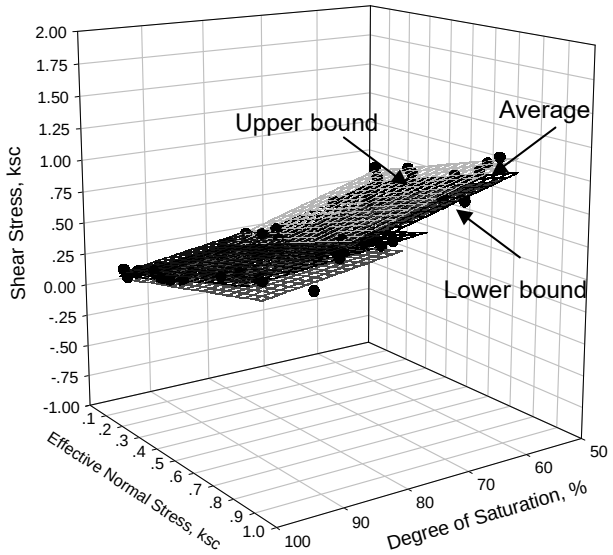
ภาพที่ 11การเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนตามความอิ่มตัว(กลุ่มที่ 4)



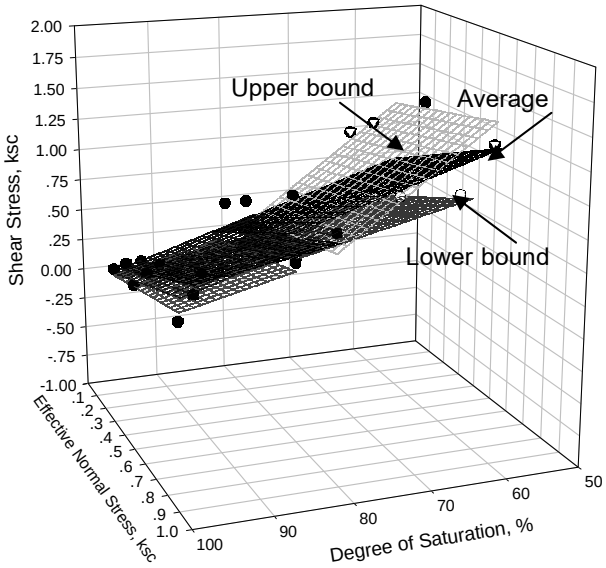
ภาพที่ 9 การเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนตามความอิ่มตัว(กลุ่มที่ 2)



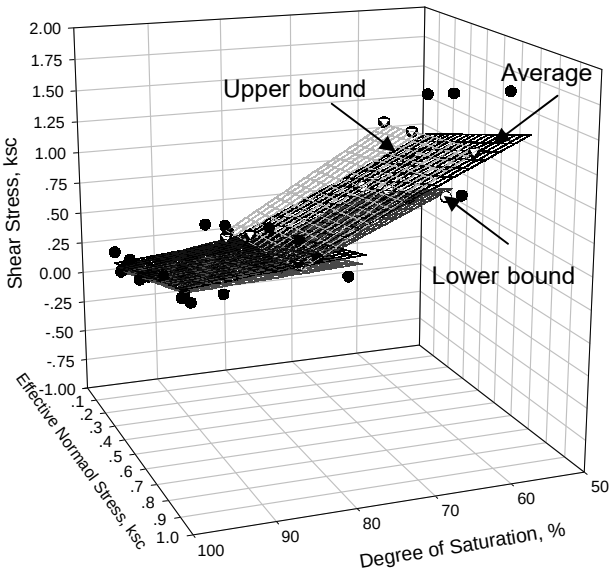
ภาพที่ 12 การเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนตามความอิ่มตัว(กลุ่มที่ 5)



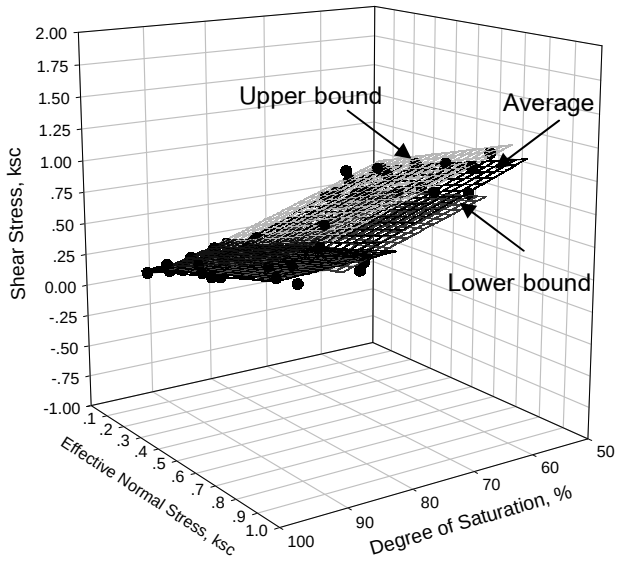
ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนตามความอิ่มตัว(กลุ่มที่ 3)



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนตามความอิ่มตัว(กลุ่มที่ 6)



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนตามความอิ่มตัว(กลุ่มที่ 7)



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนตามความอิ่มตัว(กลุ่มที่ 8)

ในการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันหรือการออกแบบทางธรณีวิศวกรรมอื่นๆ เราสามารถทำการคำนวณกำลังรับแรงเฉือนของดิน ณ ความอิ่มตัวใดๆ จากสมการควบคุมทั้งสองสมการ แล้วพิจารณาเลือกค่าของสมการที่ให้กำลังรับแรงเฉือนที่สูงกว่าเป็นสมการที่ใช้คำนวณเพื่อหาอัตราส่วนความปลอดภัย ทั้งนี้ในกรณีที่ต้องการค่าตัวแปรกำลังรับแรงเฉือนสำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมปฐพีกรณีดินอิ่มตัว ซึ่งค่า c' และ ϕ' กรณีดินอิ่มตัวอันเป็นกรณีที่ให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนขั้นต่ำ จากผลการทดสอบจะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

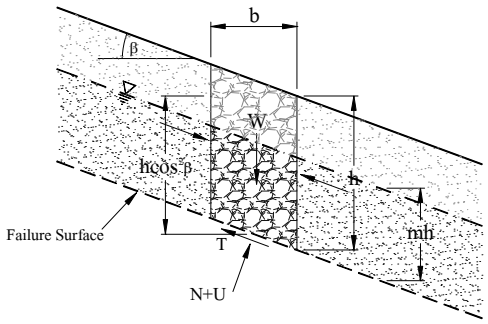
ตารางที่ 2 ค่า c' และ ϕ' ของดินที่ผุสลายจากหินกลุ่มต่างๆ กรณีดินอิ่มตัว

หินต้นกำเนิดของดินที่ผุสลายอยู่กับที่	c' , ksc	ϕ' , Degree
กลุ่ม 1 หินแกรนิตยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน	0.085	20.43
กลุ่ม 2 หินแกรนิตยุคจูแรสสิก-ครีเทเชียส	0.008	21.17
กลุ่ม 3 หินแกรนิตยุคจูแรสสิก	0.010	24.56
กลุ่ม 4 หินภูเขาไฟและหินอัคนีอื่นๆ	0.050	26.91
กลุ่ม 5 หินทรายและหินทรายแป้ง	0.025	24.78
กลุ่ม 6 หินดินดานและหินโคลน	0.019	23.09
กลุ่ม 7 หินตะกอนหลายชนิดแทรกสลับชั้น	0.024	30.79
กลุ่ม 8 หินแปร	0.058	28.14

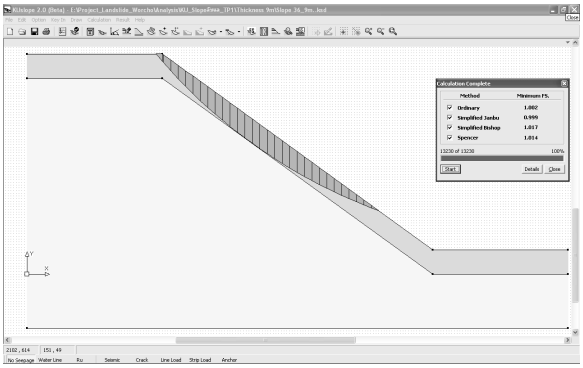
6. การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเพื่อจำลองพฤติกรรมดินถล่ม

สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเพื่อจำลองพฤติกรรมดินถล่ม ได้พิจารณารูปแบบการพิบัติ 3 รูปแบบได้แก่ การพิบัติแบบลาดอนันต์ (Infinite slope) โดยใช้การวิเคราะห์แบบจำลองของกำลังรับแรงเฉือนประเภทแรงดันประสิทธิผล (Effective Stress Analysis), พิจารณาปริมาณความชื้นมีค่าสม่ำเสมอเท่ากันทั้งหน้าตัดและระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวการเคลื่อนพัง ดังสมการที่ 19 และภาพที่ 16, การพิบัติแบบผิวโค้ง (Circular failure) และลักษณะไม่เป็นส่วนโค้งของวงกลม (Non-circular failure) การวิเคราะห์ดำเนินการโดยวิธี Limit Equilibrium โดยโปรแกรม KU-Slope 2.0 (รัฐธรรม, 2547) ดังแสดงผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 17 ถึงภาพที่ 18 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินทั้ง 3 วิธีสามารถเปรียบเทียบได้ดังภาพที่ 19 ที่แสดงค่าความหนาวิกฤติตามความลาดชันต่างๆ โดยให้ค่า F.S.=1.0 พบว่าเสถียรภาพของลาดดินแบบลาดอนันต์มีค่าความหนาวิกฤติต่ำที่สุดจึงมีโอกาสเกิดการพิบัติก่อนรูปแบบการพิบัติอื่น ดังนั้นจึงเหมาะสมกับการนำมาวิเคราะห์ความปลอดภัยของลาดชันธรรมชาติ นอกจากนั้นลักษณะดังกล่าวยังตรงกับข้อมูลระนาบการพิบัติในสนามจากเหตุการณ์ดินถล่มต่างๆ ที่ส่วนใหญ่เกิดการพิบัติในลักษณะตื้นตามแนวระนาบของลาดชัน

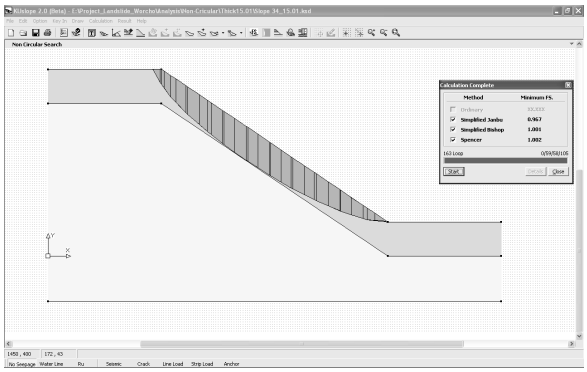
$$F.S. = \frac{c' + h\cos^2\beta\tan\phi'[(1-m)\gamma' + m(\gamma_{sat} - \gamma_w)] + S_r\tan\alpha}{h\sin\beta\cos\beta[(1-m)\gamma' + m\gamma_{sat}]} \qquad (19)$$



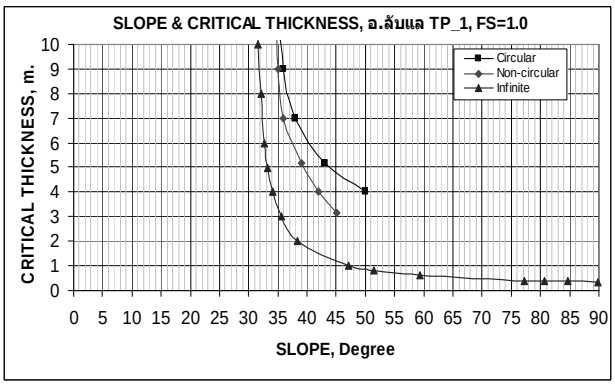
ภาพที่ 16 เสถียรภาพของลาดดินแบบ Infinite Slope (บรรพต , 2548)



ภาพที่ 17 เสถียรภาพของลาดดินแบบ Circular failure

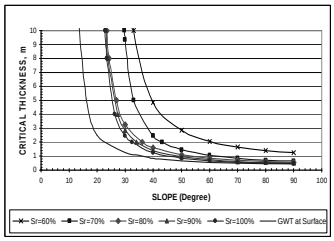


ภาพที่ 18 เสถียรภาพของลาดดินแบบ Non-circular failure

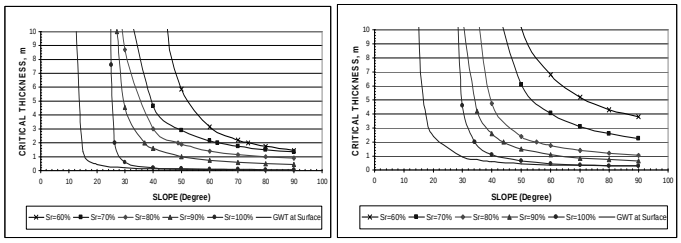


ภาพที่ 19 การเปรียบเทียบค่าความหนาวิกฤติของลาดดินตามลักษณะการพิบัติต่างๆ

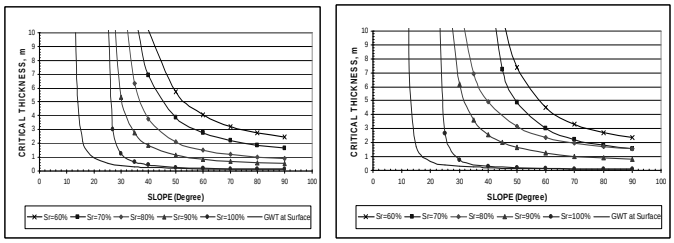
ภาพที่ 20 แสดงผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชันแบบลาดอนันต์ ซึ่งดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้ค่ากำลังรับแรงเฉือนตามระนาบความอิ่มตัวของดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากกลุ่มหินต่างๆ ดังที่ได้เสนอผลมาแล้ว โดยการวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์แบบ Effective Stress และสมมุติให้ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าระนาบการพิบัติ ซึ่งผลการวิเคราะห์ทำให้ได้ความหนาวิกฤติ (Critical Thickness) ตามความลาดชันและความอิ่มตัวที่ระดับใดๆ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าว จะได้นำไปใช้ในการวิเคราะห์เกณฑ์น้ำฝนเตือนภัย โดยใช้ค่า API หรือค่าความชื้นสะสมในมวลดินต่อไป



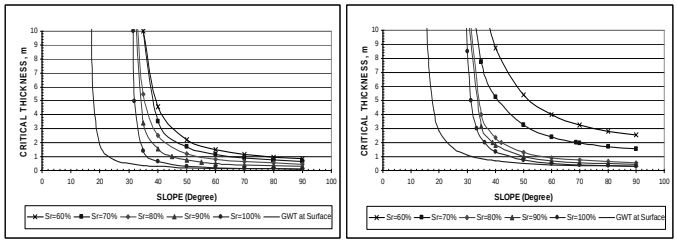
ก.ดินที่ผุสลายอยู่กับที่(กลุ่มหินที่ 1) **ข.**ดินที่ผุสลายอยู่กับที่(กลุ่มหินที่ 2)



ค.ดินที่ผุสลายอยู่กับที่(กลุ่มหินที่ 3) **ง.**ดินที่ผุสลายอยู่กับที่(กลุ่มหินที่ 4)



จ.ดินที่ผุสลายอยู่กับที่(กลุ่มหินที่ 5) **ฉ.**ดินที่ผุสลายอยู่กับที่(กลุ่มหินที่ 6)



ช.ดินที่ผุสลายอยู่กับที่(กลุ่มหินที่ 7) **ซ.**ดินที่ผุสลายอยู่กับที่(กลุ่มหินที่ 8)

ภาพที่ 20 ความหนาวิกฤติของชั้นดินที่จะเกิดการพิบัติตามความลาดชันและระดับความอิ่มตัวใดๆ

6. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปได้อย่างชัดเจนว่า รูปแบบการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนเมื่อระดับความอิ่มตัวเปลี่ยนไป มีลักษณะเป็นระนาบ 2 ระนาบตัดกันในกราฟ 3 แกน โดยพฤติกรรมการลดลงของกำลังรับแรงเฉือนเมื่อระดับความอิ่มตัวเพิ่มขึ้นมี 2 รูปแบบ อันได้แก่ รูปแบบที่ 1 กำลังรับแรงเฉือนของดินค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการลดลงค่อนข้างคงที่ รูปแบบที่ 2 กำลังรับแรงเฉือนของดินลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการเพิ่มความชื้น (ช่วง S_r ประมาณร้อยละ 60-80) จากนั้นไปค่ากำลังรับแรงเฉือนค่อนข้างจะคงที่ พฤติกรรมในรูปแบบที่ 2 นั้นแสดงถึงพฤติกรรมการยุบตัวของโครงสร้างดินเมื่อความชื้นเปลี่ยนแปลงไป การทราบพฤติกรรมดังกล่าวของดินที่ผุสลายอยู่กับที่จากกลุ่มหินชุดต่างๆ มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำไปใช้ในการกำหนดเกณฑ์ปริมาณน้ำฝนในการเตือนภัยดินถล่มรวมถึงวิธีการที่เหมาะสมในการเตือนภัย

นอกจากนั้นจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่าการทำให้ดินอิ่มตัวถึงร้อยละ 100 นั้นเป็นเรื่องที่ยากมาก ถึงแม้ว่าตัวอย่างดินจะถูกแช่น้ำนานเพียงใดระดับความอิ่มตัวจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 95 ดังนั้นจึงทำให้เห็นภาพว่าพฤติกรรมของดินตามธรรมชาติบนลาดชันขณะฝนตกหนักจะมีโอกาสอิ่มตัวถึงร้อยละ 100 ยากหรือสภาวะดินน่าจะยังคงไม่อิ่มตัวอยู่ ซึ่งจะส่งผลต่อการประเมินเสถียรภาพของลาดดินที่อาจต้องพิจารณาถึงระดับน้ำใต้ดินที่ต่ำกว่าระนาบการพิบัติ ซึ่งขัดแย้งกับสมมุติฐานในอดีต

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ กรมทรัพยากรธรณี, กรมทรัพยากรน้ำ, ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับข้อมูลการวิจัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย

8. บรรณานุกรม

[1] นงลักษณ์ ไทยเจียมอารีย์. 2546, **เสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำก้อ โดยใช้คุณสมบัติทางวิศวกรรม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] บรรพต กุลสุวรรณ. 2548, **การศึกษาพฤติกรรมการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ต้นน้ำของลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

[3] รัฐธรรม อิสโรพาร. 2547, **การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินด้วยวิธี Generalized Limit Equilibrium** .วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์

[4] สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์, วรวัชร์ ตอวิวัฒน์และวรากร ไม้เรียง. 2550, **การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินเพื่อสนับสนุนการเตือนภัยดินถล่มจากฝนตกหนัก.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12, จ.พิษณุโลก

[5] A.C. Waltham 1994. **Foundations of Engineering Geology.** Civil Engineering Department Nottingham Trent University, 27 p.

[6] Head, K.H. 1981. **Manual of Soil Laboratory Testing. Vol 2. Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests.** Pentech press Ltd., London.530 p.