

## การศึกษามาตรการความปลอดภัยของลาดชันบดอัดจากหินที่ผุสลายจากหินแกรนิต The Study of Slope Safety Criteria for Compacted Decomposed Granitic Soil

นายกมลพงษ์ ชื่นเจริญ

นายวัชรินทร์ ขวัญพุด

นายสุรนาท ลักขณาวงศ์

ผศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 0-2549-3429, 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: fengntk@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาวิธีการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันบดอัดจากหินที่ผุสลายจากหินแกรนิตเพื่อศึกษามาตรการความปลอดภัยของลาดชัน ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ การประเมินประสิทธิภาพการป้องกันการพังทลายของลาดชันในอดีตของกรณีศึกษา การวิเคราะห์ระดับน้ำใต้ดินวิกฤตเพื่อการเตือนภัย และการศึกษาแบบจำลองลาดดินในห้องปฏิบัติการ กรณีศึกษา ณ โครงการก่อสร้างเจดีย์บูรพาวิจิตรวิทยาประชาสามัคคี วัดเขาสุกิม อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี ซึ่งจากการประเมินประสิทธิภาพการป้องกันการพังทลายของลาดชันแต่ละรูปแบบภายหลังการใช้งาน 14 เดือน พบว่า การใช้ Shotcrete บนลาดดินบดอัดมีข้อเสียคือน้ำไม่ระบายออกจาก Weep Hole ซึ่งอาจทำให้เกิดแรงดันน้ำภายในลาดดินและเกิดการกัดเซาะบริเวณรอยต่อระหว่างดินเดิมและ Shotcrete ในขณะที่การใช้ Clay Sodding และปลูกหญ้า ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า แต่จะพบปัญหาบริเวณที่มีน้ำผิวดินไหลมาก และรูระบายน้ำ (Weep Hole) ในลาดดินเกิดการอุดตัน ในส่วนการวิเคราะห์ระดับน้ำใต้ดินวิกฤตเพื่อการเตือนภัยได้ทำการติดตั้ง Observation Well และเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบกำลังรับแรงเฉือน ผลการวิเคราะห์ผลพบว่าลาดดินในสภาพปกติมีความมั่นคงดี แต่เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงใกล้ผิวดินน้อยกว่า 5.2 เมตร จะมีโอกาสเกิดการพังทลายสูง สำหรับการศึกษาแบบจำลองลาดดินในห้องปฏิบัติการได้จำลองลาดดินเป็นสองกรณี คือ กรณีที่พื้นดินเหนียวเหลวและไม่ได้พื้นดินเหนียว หลังจากทำการพ่นน้ำบนลาดดินเป็นระยะเวลา 16 วัน พบว่าลาดดินส่วนที่ไม่ได้พื้นดินเหนียวเกิดการกัดเซาะมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด และน้ำสามารถซึมลงสู่ลาดดินได้ดีกว่าโดยจะมีความชื้นมากที่สุดบริเวณตีนของลาดดิน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการก่อสร้างลาดดินโดยใช้ดินที่ผุสลายจากหินแกรนิตควรมีมาตรการป้องกันการกัดเซาะผิวดิน และลดการไหลซึมของน้ำเข้าไปภายในลาดชัน

นอกจากนี้ควรมีมาตรการระบายและกรองน้ำออกจากดินของลาดชันเพื่อความมั่นคงในระยะยาว

คำสำคัญ : แรงดันน้ำ, ระดับน้ำใต้ดิน, ดินถล่ม, พื้นดินเหนียว

### Abstract

The stability of decomposed granite was studied in Kao Sukim temple construction site. The study was done in 3 parts includes the evaluation of slope stabilization method, the method of warning using the water table data and the behavior of protected and unprotected slope surface. The studied slope was rehabilitated and finished for 14 months after the failure. The visual inspection was done to evaluate the effectiveness of various slope stabilization methods including rock bolting, shotcrete and rock bolting, shotcrete and soil nailing, clay sodding and planting. The evaluation found that the shotcrete and soil nailing done in compacted granite soil has problem of toe erosion from the water pressure at the toe that trapped inside the slope. Even though the weep holes are provided but they are all blocked by fine particle soil. Clay sodding and planting seems to be the effective method both in term of cost and performance effectiveness. The analysis of critical water level in the slope was also done by installation of observation well in the slope, collecting the soil sample and has it tested for shear strength in the laboratory. The analysis shows that if the water table rises up to and less than 5.2 meter from ground surface, the stability of the slope will be critical. Finally, the study of the behavior of protected and unprotected slope was performed in the laboratory by created the slope model in the glass tank. The decomposed granite soil was used to compact into the glass tank. Two slopes was done, one with clay slurry spray on the slope surface and another was not. The water was spray over the slope everyday with equal amount. The result found that the

slope coated by the clay slurry has less erosion and water penetrated in the slope surface as well as at the toe of the slope.

Keywords: pore pressure, water table, landslide, clayey spreaded, shotcrete, Clay Sodding and Planting

### 1. บทนำ

ปัญหาเสถียรภาพของลาดชันในประเทศไทยนับว่ามี ความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งลาดชันบดอัดจากหินที่ผุสลาย จากหินแกรนิต ซึ่งเมื่อเกิดฝนตกถ้าไม่มีสิ่งปกคลุมดินน้ำฝนจะสามารถ ซึมลงสู่ชั้นดินได้อย่างรวดเร็วทำให้ดินอิ่มตัวและเกิดดินถล่มได้ง่าย ส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้คนในบริเวณใกล้เคียงเป็นอย่างมาก

มาก การศึกษานี้ใช้กรณี โครงการก่อสร้างเข็ญบูรพาวิดิวิทยาประชา สามัคคี ณ วัดเขาสุกิม จ.จันทบุรี โดยตำแหน่งขององค์เข็ญก่อสร้างบน ไหล่เขาซึ่งเป็นภูเขาหินแกรนิต และต้องมีการตัดลาดชันธรรมชาติ ทำให้ เสถียรภาพของลาดชันเปลี่ยนไป ทั้งนี้ลาดชันบริเวณนี้เคยเกิดการพิบัติ มาแล้วในอดีต จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงวิธีการไหลซึมของ น้ำฝนลงสู่ชั้นดินเพื่อรักษา เสถียรภาพของลาดชัน กำหนดระดับน้ำใต้ดิน เพื่อการเตือนภัย และประเมินถึงวิธีการป้องกันการพิบัติของลาดชันแต่ละ รูปแบบที่สร้างขึ้นในพื้นที่ศึกษาซึ่งมีทั้งลาดหินและลาดดิน วิธีดังกล่าว ประกอบด้วย Rock Bolt, Soil Nail, Shotcrete และ Clay Sodding ร่วมกับการปลูกหญ้า



รูปที่ 1 ภาพรวมการป้องกันการพิบัติในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 1 ประเภทของการป้องกันการพิบัติและประสิทธิภาพหลังจากใช้งาน 4 เดือน

ประเภทการป้องกัน	พฤติกรรมหลังใช้งาน	ประสิทธิภาพและความเหมาะสม
Rock Bolting บนลาดหิน	ไม่พบบริเวณที่เกิดการพิบัติ Weep Hole สามารถใช้งานได้ดี	มีประสิทธิภาพการใช้งานที่ดี และมีความเหมาะสมสำหรับเสริมความมั่นคงของมวลหิน(Rock mass)บนลาดเขา
Shotcrete และ Soil Nail บนลาดดินบดอัด	พบการกัดเซาะบริเวณด้านบนของลาดชัน ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างคอนกรีตกับดิน เดิม โดยเฉพาะบริเวณที่ไม่มีพืชปกคลุม และบริเวณที่เป็นร่องการไหลของน้ำ Weep Hole บางส่วนอุดตัน และไม่มีน้ำไหลออกมาขณะฝนตก	การทำ Shotcrete บนลาดดินที่ผุสลายจากหินแกรนิตมีข้อเสีย เนื่องจาก แรงดันน้ำในลาดดินจะไม่ระบายออกหาก weep hole อุดตันเนื่องจากดินแกรนิตมีวัสดุละเอียด นอกจากนั้นยังเกิดการกัดเซาะได้ทั้งภายในและภายนอกบริเวณรอยต่อกับดินเดิม
ClaySodding and Planting	มีการพิบัติของลาดดินเฉพาะบริเวณที่มีน้ำไหลมาก เช่น บริเวณที่มีการรดน้ำบำรุงพืช และไม่มีน้ำไหลออกจาก Weep Hole ขณะฝนตก	ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพการใช้งานค่อนข้างดี แต่เนื่องจากเป็นลาดดินที่บดอัดจากหินที่ผุพังจากหินแกรนิตจึงมีความชื้นน้ำสูง ทำให้เกิดการกักตรอนที่ผิวหน้าได้ง่ายเมื่อฝนตกหรือมีการรดน้ำ นอกจากนั้นในช่วงแรกจำเป็นต้องดูแลให้รากหญ้ายึดกับดินถมให้เร็วที่สุด

## 2. การป้องกันการพิบัติและประสิทธิภาพ

ในการประเมินประสิทธิภาพของการป้องกันการพิบัติของลาดชันนี้เป็นการประเมินด้วยสายตา โดยใช้พื้นที่ศึกษา ณ วัดเขาสุกิม ภายหลังการใช้งาน 1 ปี 2 เดือน ซึ่งประกอบด้วยวิธีการป้องกันดังรูปที่ 1

## 3. ความแข็งแรงของดินและหินที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ

วารากร (2542) เสนอว่าวัสดุทางธรณี (ดินและหิน) มีหลักการระบุความแข็งแรงและลักษณะการวิเคราะห์ได้ 2 ลักษณะ คือ วิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงรวม (Total Stress Analysis, TSA) และ วิเคราะห์ด้วยหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress Analysis, ESA) ทั้งนี้เนื่องจากดินหรือหินมักจะมีน้ำหรือความชื้นหรือน้ำอยู่ภายในมวลดิน เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงขึ้นในมวลดินจึงอาจทำให้มีการเพิ่มหรือลดแรงดันน้ำในมวลดิน ซึ่งมีผลต่อกำลังประสิทธิผลของมวลดินตามสมการของ Mohr - Coulomb ดังนี้

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (1)$$

$$\tau' = c' + (\sigma - u) \cdot \tan \phi' \quad (2)$$

เมื่อ  $\tau'$  = ความแข็งแรงหรือกำลังรับแรงเฉือนของดินประสิทธิผล

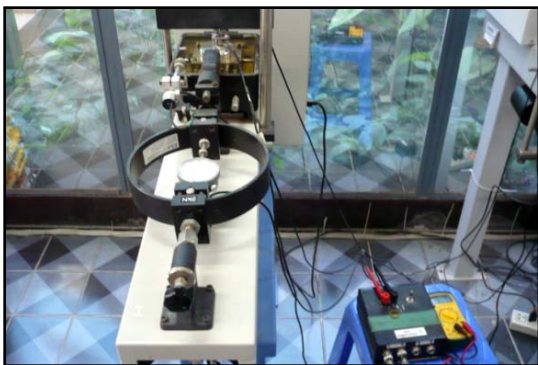
$c'$  = ความเหนียว หรือแรงยึดเกาะของมวลดินประสิทธิผล

$\sigma$  = หน่วยแรงรวมที่กระทำตั้งฉากกับผิวเคลื่อน

$u$  = ความดันน้ำ ณ จุดที่กำลังพิจารณา

$\phi'$  = มุมเสียดทานภายในประสิทธิผล

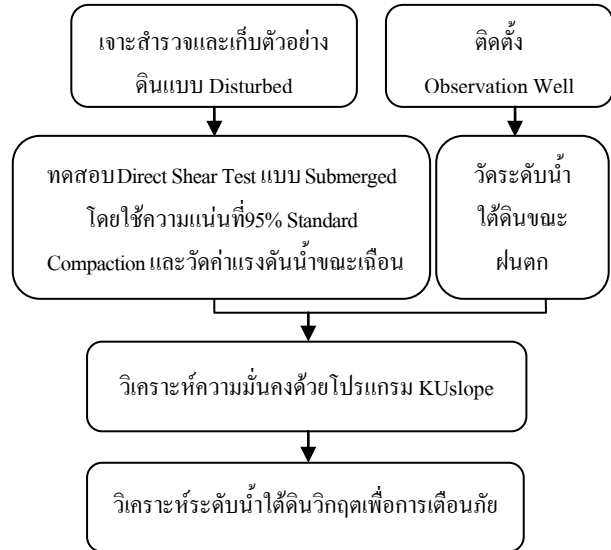
ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้การวิเคราะห์แบบหน่วยแรงประสิทธิผล โดยใช้ค่า  $c'$  และ  $\phi'$  ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างดินในสนามมาทดสอบ Direct Shear Test และได้ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดแรงดันน้ำขณะทำการเลื่อน ดังรูปที่ 2 เพื่อให้ทราบพฤติกรรมการระบายน้ำขณะพิบัติของดินบดอัด



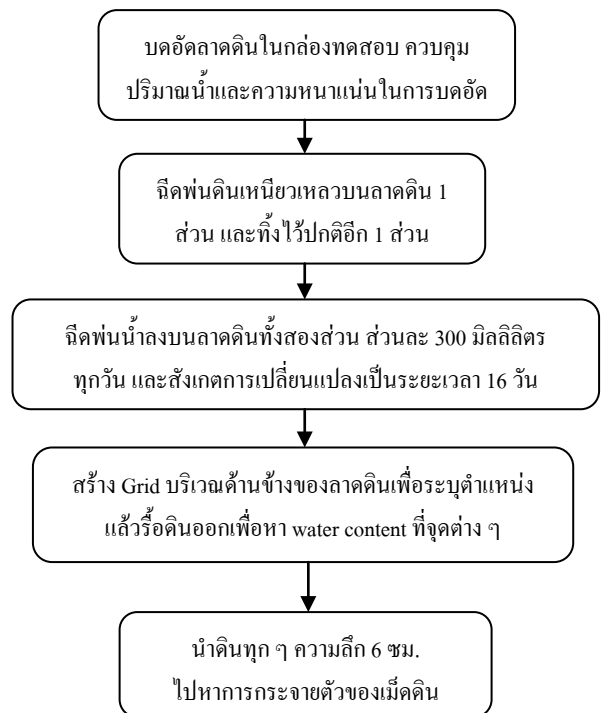
รูปที่ 2 อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำขณะเลื่อนตัวอย่าง

## 4. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ระดับน้ำใต้ดินเพื่อการเตือนภัย และการศึกษาแบบจำลองลาดดินในห้องปฏิบัติการ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



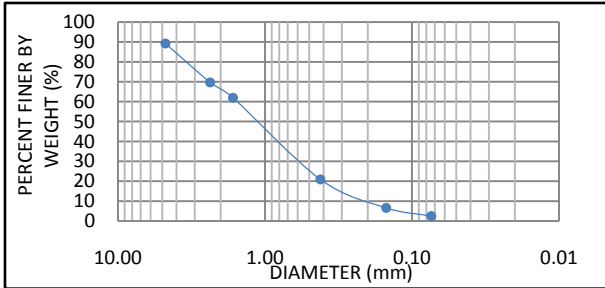
รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิเคราะห์ระดับน้ำใต้ดินเพื่อการเตือนภัย



รูปที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาแบบจำลองลาดดินในห้องปฏิบัติการ

## 5. คุณสมบัติของดินที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

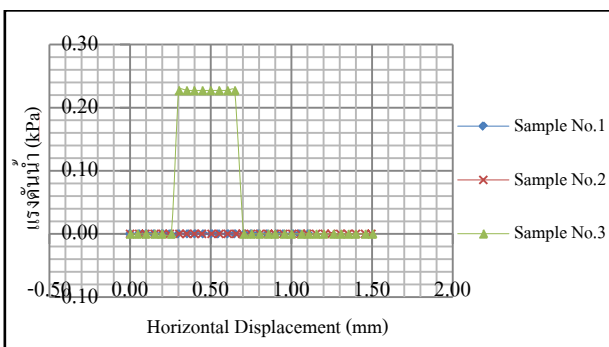
ตัวอย่างดินในสนามได้ถูกนำมาทดสอบเพื่อจำแนกประเภทดินด้วยระบบ Unified Soil Classification และหาการกระจายตัวของเม็ดดิน ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน

จากกราฟสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity,  $C_u$ ) ได้เท่ากับ 8.10 และค่าสัมประสิทธิ์ของความโค้ง (Coefficient of Curvature,  $C_c$ ) ได้เท่ากับ 1.01 ดังนั้นจึงสามารถจำแนกชนิดของดินได้เป็นดินทรายที่มีขนาดละเอียด (Well graded sand, SW)

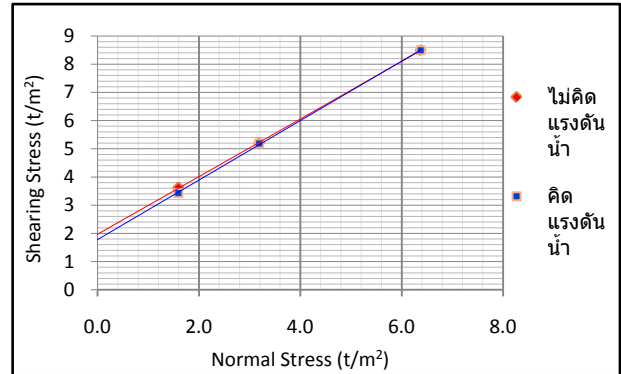
นำตัวอย่างดินมาทดสอบ Direct Shear Test เตรียมตัวอย่างให้ได้ปริมาณน้ำและความหนาแน่นที่ได้จากการทดสอบความหนาแน่นของดินในสนามขณะก่อสร้างเป็นเกณฑ์ โดยเปรียบเทียบกับผลการบดอัดที่ 95% Standard Compaction Test ในห้องปฏิบัติการติดตั้งเครื่องมีอวดแรงดันน้ำบริเวณหินพรุนของ top cap เพื่ออ่านค่าแรงดันน้ำขณะขึ้นซึ่งพบว่าเกิดแรงดันน้ำ 0.23 kPa ในตัวอย่างที่ 3 ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Horizontal Displacement กับ แรงดันน้ำ

เมื่อนำผลการทดสอบมาหา ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal Stress กับ Shearing Stress พบว่า ถ้าไม่คิดแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นจะได้ค่า  $c' = 1.95 \text{ t/m}^2$  และ  $\phi' = 45.47$  องศา แต่เมื่อพิจารณาแรงดันน้ำที่เกิดขึ้นในตัวอย่างที่ 3 จะได้ค่า  $c' = 1.90 \text{ t/m}^2$  และ  $\phi' = 45.97$  องศา ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันน้ำที่

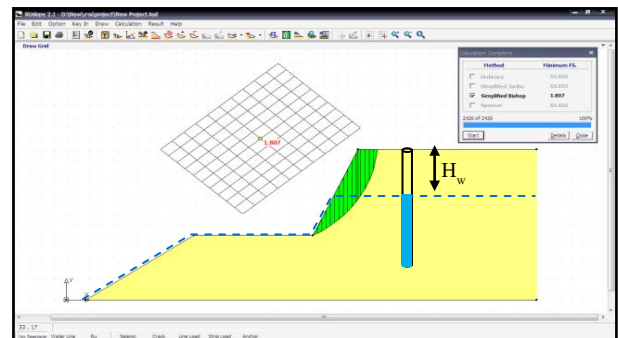
เกิดขึ้นส่งผลต่อค่า  $c'$  และ  $\phi'$  น้อยมาก ดังรูปที่ 7 แสดงให้เห็นได้ว่า ตัวอย่างดินที่หุจากหินแกรนิตในกรณีนี้ศึกษามีพฤติกรรมการระบายน้ำทันทีขณะเฉือนตัวอย่าง



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Normal Stress กับ Shearing Stress

## 6. ความมั่นคงลาดชันและระดับน้ำใต้ดินเพื่อการเตือนภัย

จากการวัดระดับน้ำใต้ดินขณะฝนตก ใน Observation Well พบว่าไม่มีน้ำอยู่ในหลุมสำรวจ ถึงแม้ว่าฝนจะตกต่อเนื่อง ในการคำนวณเสถียรภาพของลาดชัน กรณีความมั่นคงในสภาพปัจจุบัน จึงไม่น่ากังวลระดับน้ำใต้ดิน และเมื่อนำค่าพิคของลาดชันจากแบบก่อสร้าง และข้อมูลความหนาแน่นของดินจากการทดสอบความหนาแน่นในสนาม (Field Density Test) ด้วยวิธี Sand Cone ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.82 ตันต่อตารางเมตร ประกอบกับค่า  $c'$  และ  $\phi'$  ที่ได้จากการทดสอบ Direct Shear Test มาทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชันด้วยโปรแกรม KUSlope โดยใช้ทฤษฎีของ Simplified Bishop จะได้อัตราส่วนปลอดภัยเท่ากับ 1.807 และมีระนาบการพังอยู่ที่ลาดชันด้านบนดังรูปที่ 8 ทั้งนี้เพื่อการเตือนภัยการพิบัติของลาดชันหากเกิดฝนตกหนักต่อเนื่องกัน จึงได้วิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่สูงในระดับต่างๆ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์เตือนภัย โดยระดับน้ำจะถูกกำหนดตามค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่างๆดังแสดงผลในตารางที่ 2



รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยโปรแกรม KUSlope

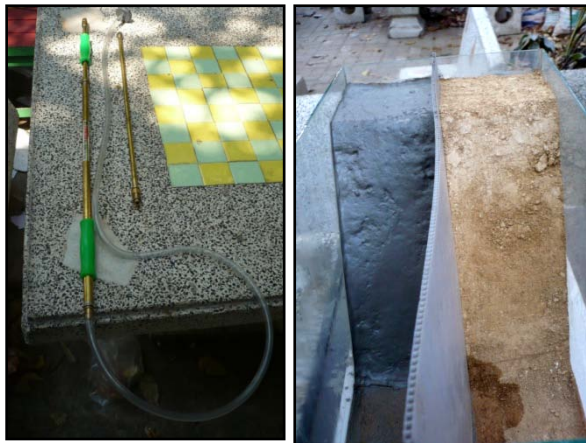


ตารางที่ 2 ระดับน้ำใต้ดินเพื่อการเตือนภัย

ระดับน้ำจากผิวดิน (m.)	อัตราส่วนปลอดภัย	โอกาสดินถล่ม
$H_w \leq 4.2$	$FS \leq 1.3$	สูงมาก
$4.2 < H_w \leq 5.2$	$1.3 < FS \leq 1.5$	สูง
$5.2 < H_w \leq 8.0$	$1.5 < FS \leq 1.8$	ต่ำ
$H_w > 8.0$	$FS > 1.8$	ต่ำมาก

### 7. แบบจำลองลาดดินในห้องปฏิบัติการ

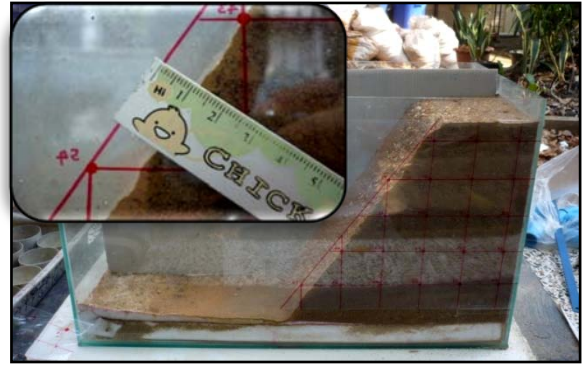
แบบจำลองของลาดดินในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาพฤติกรรมของลาดดินหากถูกป้องกันโดยการพันดินเหนียวเหลว (รูปที่ 9) แบบทดสอบเริ่มโดยนำดินตัวอย่างมาทำการบดอัดในตู้กระຈกโดยควบคุมความชื้น ความหนาแน่นในการบดอัด และความลาดชันให้ใกล้เคียงในสนาม โดยแบ่งลาดดินออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่มีการพันดินเหนียว และส่วนที่ไม่ได้พันดินเหนียว ดังรูปที่ 10



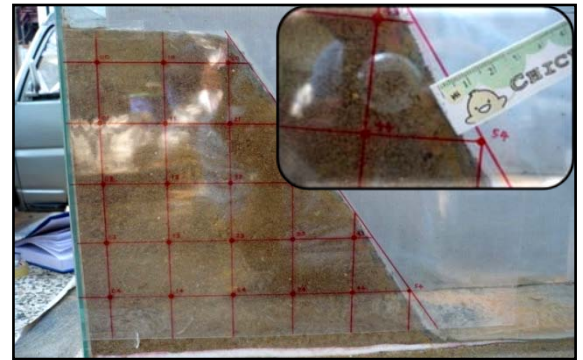
รูปที่ 10 อุปกรณ์การพันแบบจำลองลาดดินภายหลังการพันดินเหนียว

หลังจากทำการปล่อยน้ำลงบนแบบจำลองลาดดินทั้งสองส่วน ส่วนละ 300 มิลลิเมตร ทุกวัน เป็นระยะเวลา 16 วัน มีความแตกต่างของลาดดินทั้งสองส่วน ดังนี้

1.) พบว่าเมื่อปล่อยน้ำลงบนลาดดินที่ไม่มีการพันดินเหนียว น้ำสามารถซึมลงไปลาดดินได้ทันทีถึง 2.8 เซนติเมตร แต่สามารถซึมลงไปลาดดินที่มีการพันดินเหนียวได้เพียง 1.8 เซนติเมตร ในระยะเวลาที่เท่ากัน และพบว่าผิวหน้าของลาดดินที่ไม่พันดินเหนียวเมื่อผ่านไป 16 วัน ถูกกัดเซาะหายไปถึง 1.2 เซนติเมตร ส่วนผิวหน้าของลาดดินที่มีการพันดินเหนียวถูกกัดเซาะหายไปเพียง 0.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 11 และรูปที่ 12 ตามลำดับ

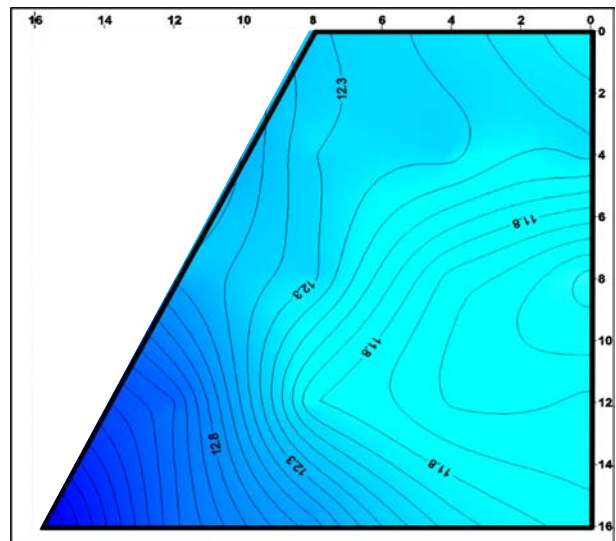


รูปที่ 11 การกัดเซาะผิวหน้าของลาดดินที่ไม่ได้พันดินเหนียว

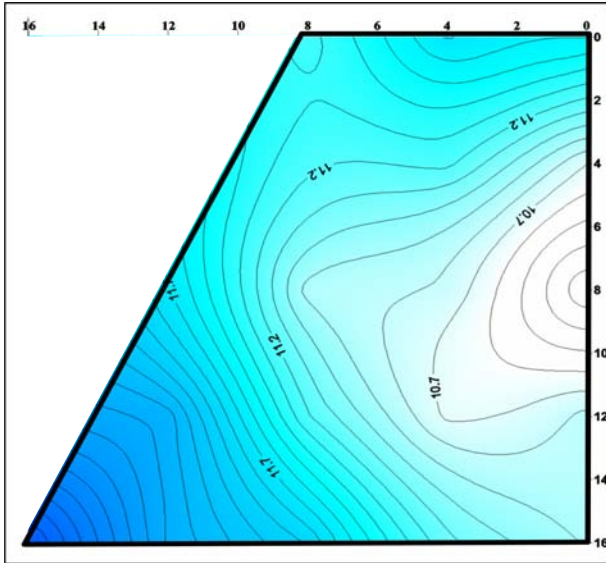


รูปที่ 12 การกัดเซาะผิวหน้าของลาดดินที่มีการพันดินเหนียว

2.) ปริมาณความชื้น ณ จุดต่าง ๆ บนลาดดินพบว่าในแบบจำลองลาดดินทั้งสองส่วนมีปริมาณความชื้นมากบริเวณผิวของลาดชัน และจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเข้าไปภายใน โดยความชื้นจะมากที่สุดบริเวณตีนของลาดชัน (Toe) ซึ่งลาดชันที่ไม่มีการพันดินเหนียวจะมีปริมาณความชื้นในดินมากกว่าลาดชันที่มีการพันดินเหนียว อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 13 และรูปที่ 14



รูปที่ 13 ความชื้นภายในลาดดินที่ไม่ได้พันดินเหนียว



รูปที่ 14 ความชื้นภายในลาดดินที่มีการพันดินเหนียว

3.) การกระจายตัวและขนาดของเม็ดดิน ในการศึกษาแบบจำลองครั้งนี้ยังไม่สามารถบอกความแตกต่างของการกระจายตัวของเม็ดดินตามความลึกได้ชัดเจน เนื่องจากมีข้อจำกัดของเวลาการศึกษา

## 7. สรุป การศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพการป้องกัน ลาดชันดินบดอัดจากดินที่ผุจากหินแกรนิต หลังการก่อสร้าง 14 เดือน พบว่า
  - การทำ Shotcrete บนลาดดินมีความเหมาะสม ต่ำ เนื่องจากปัญหาแรงดันน้ำภายในลาดดิน และการกัดเซาะที่ผิวคอนกรีตบริเวณ ของรอยต่อระหว่างคอนกรีตกับดินเดิม
  - การฝังท่อระบายน้ำในลาดดิน ( Weep Hole) จะเกิดการอุดตันได้ง่าย
  - การปูดินเหนียวและปลูกหญ้า (Clay Sodding and Planting) จะเกิดการพิบัติได้ง่ายในบริเวณที่มีน้ำผิวดิน ไหลมาก อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในขั้นดี
2. เกิดแรงดันน้ำที่ส่งผลต่อค่า  $C'$  และ  $\phi'$  น้อยมากสำหรับการเคลื่อนดินที่ผุสลายจากหินแกรนิตในพื้นที่ศึกษา หรือสรุปได้ว่าดินในพื้นที่ศึกษามีพฤติกรรมการพิบัติแบบระบายน้ำ
3. ลาดชัน  $\alpha$  พื้นที่ศึกษา วัสดุสุกิม มีความเสี่ยงในการเกิดดินถล่มต่ำ ซึ่งการ ปูดินเหนียวสามารถช่วยลดการซึมของน้ำฝน และการกัดเซาะที่ผิวของลาดชันได้

4. หากระดับน้ำใต้ดินมีระดับสูงขึ้นโดยต่ำกว่าผิวดินน้อยกว่า 5.2 เมตร ( ณ ตำแหน่งที่ติดตั้ง Observation Well) ลาดดินที่ศึกษาจะมีโอกาสเกิดดินถล่มสูง
5. ผลของแบบจำลองลาดดินพบว่า ลาดดินที่พันดินเหนียวเหลว ป้องกันการกัดเซาะได้ดีและมีปริมาณความชื้นในลาดดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ตีนลาดชันต่ำกว่าลาดดินที่ไม่มีการพันดินเหนียวเหลว

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาครั้งนี้ ขอ กราบขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านที่ได้ทุ่มเทกำลังกาย กำลังสติปัญญาในการให้คำปรึกษา และให้แนวคิดเพื่อการแก้ไขปัญหาต่างๆ ระหว่างการทำโครงการด้วยดีมาโดยตลอดจนการศึกษาครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์

## 9. เอกสารอ้างอิง

- [1] วรากร ไหมเรียง.วิศวกรรมเขื่อนดิน.พิมพ์ครั้งที่2.กรุงเทพฯ:ไลบรารี นายน์ พับลิชชิ่ง2542.
- [2] สดภาพ ภูวจิตรจารย์.ปฐพีกลศาสตร์.พิมพ์ครั้งที่2.กรุงเทพฯ: Library Nine, 2545.
- [3] วรากร ไหมเรียง, จิรพัฒน์ โชติศิโร และประทีป ดวงเดือน. ปฐพีกลศาสตร์ ทฤษฎีและปฏิบัติการ.กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2525.
- [4] มนเฑียร กังศศิเทียม.กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 8.กรุงเทพฯ :สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์, 2541.
- [5] มนตรี เดชาสกุลสม, กฤษฎา ยูวานนท์.การประยุกต์ใช้หญ้าแฝกในการแก้ไขปัญหาการชะล้างพังทลายของผิวดินเชิงลาด. กรุงเทพฯ : สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง, 2546.
- [6] รัฐธรรม อีสโรพาร.การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินด้วยวิธี Generalized Limit Equilibrium.วิทยานิพนธ์ ปริญญาตรี มหบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547