



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 8
“ก้าวข้ามขอบเขตความรู้สู่การเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอย่างยั่งยืน”
วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

สมบัติของดินเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินในพื้นที่ป่าไม้ :
กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่
Soil Properties for Slope Stability Analysis in Forest Area:
Case Study in Khao Yai National Park

จิรวัดน์ ยิ่งดี

ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: jirawat.yin@ku.th

พยัตติพล ฌรงคะชวนะ

ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fforppn@ku.ac.th

ลัดดาวรรณ เหรียญตระกูล

ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fforlwr@ku.ac.th

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์ฝนตกหนักอย่างต่อเนื่องตลอดเดือนกันยายน พ.ศ. 2564 ทำให้เกิดดินถล่มในเส้นทางขึ้นอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ฝั่งปากช่อง ช่วง กม. 23 ถึง กม. 29 จำนวน 9 จุด สร้างความเสียหายต่อการเดินทางสัญจร การป้องกันดินถล่มในเชิงวิศวกรรมปฐพีต้องศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของดิน เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติดินที่ส่งผลต่อการวิบัติของดิน และวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน โดยการขุดหน้าตัดดิน การตอกหยั่งดิน และเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพและแบบเปลี่ยนสภาพ มาทดสอบค่าสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ASTM ทางวิศวกรรมปฐพี ผลการศึกษาจากหน้าตัดดิน สามารถแบ่งดินออกได้ 3 ชั้นตามความลึก คือ 0-30 ซม. 30-80 ซม. และ 80-120 ซม. ค่าเฉลี่ยสมบัติดินทั้งสามชั้นดิน มีดังนี้ ค่าพิกต์เหลว 47.4 % ค่าดัชนีพลาสติก 18.9 ความชื้นดินในสภาวะธรรมชาติ 18.7 % ค่าหน่วยน้ำหนักของดิน (γ) 15.24 kN/m³ การจำแนกชนิดดิน จัดเป็นดินประเภท SW (ดินทรายที่มีการกระจายตัวที่ดี) ตามระบบเอกภาพ การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรงของดินในสภาวะความชื้นธรรมชาติและความชื้นแน่น พบว่า ค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (c) เท่ากับ 96.1 และ 7.1 kPa ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยมุมเสียดทานภายในเม็ดดิน (ϕ) เท่ากับ 40.4 และ 36.9 องศา ตามลำดับ ผลการทดสอบทางสถิติ (t-test) ของค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินในสองสภาวะความชื้น พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ระดับ 0.00 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนกับสมบัติดินต่าง ๆ พบว่า ความสัมพันธ์เชิงบวก ได้แก่ ค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง (0.51) ความสัมพันธ์เชิงลบ ได้แก่ ความชื้นแน่น (-0.81) ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (FS) ของลาดดินที่สภาวะความชื้นธรรมชาติและความชื้นแน่นมีค่าเท่ากับ 5.3 และ 1.3 ตามลำดับ การวิเคราะห์ย้อนกลับเมื่อกำหนดให้ค่า FS = 1 พบว่า ค่า c อยู่ระหว่าง 0-5.66 kPa ค่า ϕ อยู่ระหว่าง 26.8-32.6 องศา สมบัติดินที่



สำคัญต่อการเกิดดินถล่มคือ ค่าความชื้นในดิน การเพิ่มขึ้นของค่าความชื้นจากปริมาณฝน ส่งผลให้ค่า c และ ϕ ลดลง เช่นเดียวกับกำลังรับแรงเฉือน และค่า FS

คำสำคัญ: สมบัติดิน, ดินถล่มในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่, การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาด

Abstract

In September 2021, continuous heavy rainfall triggered nine landslides on the main road to Khao Yai National Park (Pak Chong) between km 23-29, disrupting transportation. This study investigated soil physical and engineering properties to analyze slope stability for landslide prevention. Soil profiles, dynamic cone penetration tests, and soil samples were analyzed using ASTM standards. Three soil layers (0-30, 30-80 and 80-120 cm) were identified, classified as SW (USCS). Average parameters included: liquid limit (w_L) 47.4%, Plasticity Index (PI) 18.9, water content (w) 18.7%, and unit weight of soil (γ) 15.24 kN/m³. Direct shear tests under natural and 24-hour soaking condition showed a decrease in cohesive (c) decreased from 96.1 to 7.1 kPa and in internal friction angle (ϕ) from 40.4 to 36.9. The reduction in cohesion was statistically significant ($p < 0.001$). Shear strength positively correlated with dry unit weight (γ_d : 0.51) and strongly negatively with soaked water content (-0.81). Slope stability analysis yielded safety factors (FS) of 5.3 (natural) and 1.3 (soaked). Back analysis (FS=1) estimated c at 0-5.66 kPa and ϕ at 26.8-32.6°. Increased water content due to rainfall is identified as the primary factor inducing landslides by decreasing c , ϕ , shear strength, and FS.

Keywords: Soil properties, Landslide in Khao Yai National Park, Slope stability analysis

บทนำ

ปรากฏการณ์ฝนตกหนักในช่วงเดือนกันยายนปี พ.ศ. 2564 ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ทำให้ดินบนภูเขาและไหล่เขาส่วนตตที่อยู่เหนือถนนทางขึ้นอุทยานฯ ฝั่งปากช่อง ได้สะสมปริมาณน้ำเป็นจำนวนมาก เกิดดินถล่มกระจายตัว ระหว่างหลักกิโลเมตรที่ 23 ถึง 29 เป็นจำนวน 9 แห่ง ดินที่ถล่มได้ปิดกั้นเส้นทางยานพาหนะต่าง ๆ ไม่สามารถเดินทางเข้า-ออกพื้นที่ได้ การที่จะทราบสาเหตุของการเกิดดินถล่มในทางวิศวกรรมปฐพีจำเป็นต้องศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของดิน ร่วมกับข้อมูลปริมาณฝน สภาพภูมิประเทศ เพื่อใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ยังขาดการศึกษาในพื้นที่ดังกล่าว มีเพียงการศึกษาดินถล่มของ นครินทร์ และคณะ (2565) ในเชิงแผนที่ด้วยระบบภูมิสารสนเทศ

ดินถล่มเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลดิน (Soil mass) ลงสู่ที่ต่ำโดยแรงโน้มถ่วงของโลก พื้นที่ป่าไม้ซึ่งเป็นภูเขาสูงและลาดชัน มักมีโอกาสเกิดดินถล่มสูง ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดการถล่มของดินคือ ปริมาณน้ำฝนเมื่อฝนตกลงมาและซึมลงสู่ชั้นดินทำให้ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินลดลงจนเกิดดินถล่มสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน ได้แก่ ความชื้นเหลวของดิน ปริมาณความชื้นในดิน



หน่วยน้ำหนักของดิน (Zeng et al., 2024) แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน และมุมเสียดทานภายในเม็ดดิน (Islam et al., 2021) ดังนั้น หากทราบค่าสมบัติดินเหล่านี้ ก็สามารถประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดดินถล่ม รวมถึงหาแนวทางป้องกันและรับมือภัยพิบัตินี้ได้ จึงเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้ ข้อมูลสมบัติดินจะนำไปใช้วิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ด้วยโปรแกรมรหัสเปิด Hycran และทำการวิเคราะห์ย้อนกลับเพื่อกำหนดช่วงของค่าสมบัติดินที่ทำให้อัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ในระดับวิกฤต ($FS=1$)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติของดินที่มีผลต่อการเกิดดินถล่ม ในเส้นทางขึ้นอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ฝั่งปากช่อง จ. นครราชสีมา
2. วิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินในบริเวณที่เกิดดินถล่ม และการวิเคราะห์ย้อนกลับ เพื่อหาช่วงของค่าสมบัติดินที่ทำให้ลาดดินมีอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1

ขอบเขตการวิจัย

ศึกษาสมบัติดินที่เกี่ยวข้องกับดินถล่ม ประกอบด้วย การกระจายตัวของเม็ดดิน ค่าพิกัดเหลว (w_L) ค่าพิกัดพลาสติก (w_p) ค่าพิกัดหดตัว (w_{sk}) ค่าดัชนีพลาสติก (PI) ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน ค่าหน่วยน้ำหนักรวม (γ_T) ค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง (γ_d) ค่าความชื้นในดิน (w) ค่ามุมเสียดทานภายในเม็ดดิน (ϕ) ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (c) จากตัวอย่างดินที่เก็บบนลาดเขาส่วนตัดเหนือถนน ในจุดที่ 9 ของเส้นทางขึ้นอุทยานฯ และวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินโดยวิธีการสมดุลจำกัด Limit Equilibrium Method (LEM) ตามวิธีของ Bishop (Rao et al., 2024) โดยใช้โปรแกรมรหัสเปิด Hycran

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การสำรวจภาคสนาม ประกอบด้วยสำรวจสภาพภูมิประเทศในจุดที่เกิดดินถล่ม เพื่อทำแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข ลักษณะร่องรอยและทิศทางที่เกิดดินถล่ม การตอกหยั่งดิน เพื่อดูการกระจายของความลึกและความแน่นของชั้นดิน ด้วยเครื่องตอกหยั่งชั้นดิน Simplify Dynamic Cone Penetration Test (SDCPT) ตามมาตรฐาน DIN 4094 และการขุดเปิดหลุมสำรวจ เพื่อดูหน้าตัดดิน จำแนกชั้นดินด้วยสายตา ตามหลักการของ Little A.L., (1969) และเก็บตัวอย่างตามชั้นดินแบบเปลี่ยนสภาพจำนวน 5 กิโลกรัม. และแบบคงสภาพจำนวน 24 กระบอก
2. การทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วยการทดสอบสมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ค่า ถ.พ., w , w_L , w_p , w_{sk} , γ_T , γ_d , C_u , C_c , จำแนกชนิดดินทางวิศวกรรม โดยการทดสอบทุกสมบัติดินเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM ทางวิศวกรรมปฐพี และการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของดิน คือ c และ ϕ และค่ากำลังรับแรงเฉือน โดยการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Test) ในสองสถานะคือสถานะดินชื้นตามธรรมชาติและดินที่ผ่านการแช่น้ำแช่น้ำ 24 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนค่าความชื้น
3. การวิเคราะห์ผลทางสถิติของสมบัติดินต่าง ๆ วิเคราะห์ความแตกต่างของสมบัติดินในแต่ละชั้นดินด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การทดสอบค่าสมบัติดินในสองสถานะความชื้น ใช้การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากรที่ (t-test independent) และการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation analysis) ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนกับค่าสมบัติดินต่าง ๆ



4. การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน ใช้ข้อมูลจากตัวอย่างดินที่ได้ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ คือ ค่า c , ϕ , และ γ มาใช้ในสมการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดด้วยโปรแกรมรหัสเปิด Hycran ในสองสภาวะความชื้นตามข้อ 2.2 ซึ่งจะให้ผลลัพธ์คือ ค่าอัตราส่วนปลอดภัย (FS ; factor of safety)

5. การวิเคราะห์ย้อนกลับ วิเคราะห์ความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์ดินถล่ม เมื่อกำหนดให้ค่า FS = 1 แล้ว จะมีการปรับเปลี่ยนค่าสมบัติดินต่าง ๆ จนทำให้ดินเกิดการวิบัติ ตามวิธีการของ Nassirzadeh et al. (2024)

ผลการวิจัย

ผลการสำรวจภาคสนาม

สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ดินถล่มอยู่ในช่วงระดับความสูง 650 ถึง 662 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีความลาดเอียงไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีความลาดชันเฉลี่ย 31 องศา ขนาดร่องรอยการเกิดดินถล่ม 23.1 คูณ 20.5 เมตร สูงจากระดับถนนประมาณ 6.5 เมตร ผลการขุดเปิดหลุมสำรวจดิน สามารถแบ่งดินออกได้เป็น 3 ชั้นดิน (ภาพที่ 1 ซ้าย) ดังนี้ ชั้นดินที่ 1 อยู่ที่ระดับ 0 ถึง 30 ซม. ดินในชั้นนี้จะมีสีน้ำตาลอ่อน เนื้อดินร่วน ซุยง่าย มีรากพืชปนอยู่จำนวนมาก ชั้นดินที่ 2 มีระดับลึก 30 ถึง 80 ซม. ดินในชั้นนี้มีรากพืชปนอยู่น้อยมากจนแทบไม่มี เนื้อดินค่อนข้างเหนียว เป็นก้อน สามารถบีบแตกได้ด้วยมือ เนื้อดินสีน้ำตาลปนแดง มีจุดสีเหลือง ขาว แดงเข้มจนถึงปานกลาง แทรกอยู่ตามชั้นดิน และชั้นดินที่ 3 มีระดับลึก 80 ถึง 120 ซม. ดินในชั้นนี้ไม่มีรากพืชปรากฏอยู่ มีหินก้อนใหญ่และเล็กแทรกตามชั้นดิน ไม่สามารถบีบให้แตกได้ด้วยมือเปล่า เนื้อดินมีลักษณะเหนียว สีน้ำตาลปนแดง มีความเข้มกว่าชั้นดินที่ 2 ผลการตอกหยั่งดิน (ภาพที่ 1 ขวา) แสดงกราฟระหว่างความลึกของดิน (แกน Y) กับความแน่นของดินจากจำนวนครั้งที่ตอกหยั่ง (แกน X) พบว่า ดินมีความลึกมากที่สุดที่ 270 ซม. แต่ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ระยะ 120-160 ซม. ความแน่นของดิน แบ่งได้ 4 ช่วงตามความลึก คือ ช่วงแรก 0-30 ซม. (ดินหลวม) มีความแน่นเพิ่มขึ้นตามความลึก ช่วงสอง 30-80 ซม. (ดินหลวม) ความแน่นไม่เพิ่มขึ้น ช่วงสาม 80-120 ซม. (ดินแน่นปานกลาง) มีความแน่นเพิ่มขึ้นตามความลึกที่มากกว่าช่วงแรก เป็นช่วงที่มีความแน่นมากกว่าช่วงอื่นๆ ช่วงสี่ ลึกมากกว่า 120 ซม. (ดินหลวม) ความแน่นไม่เพิ่มขึ้นจากช่วงสาม

ผลการทดสอบสมบัติของดิน (ตารางที่ 1)

1.1 ค่าความถ่วงจำเพาะทั้ง 3 ชั้นดิน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.676 ซึ่งเป็นค่า ถ.พ. ของดินโดยทั่วไปที่อยู่ในช่วง 2.600 ถึง 2.800 (สุกิจ และคณะ, 2549)

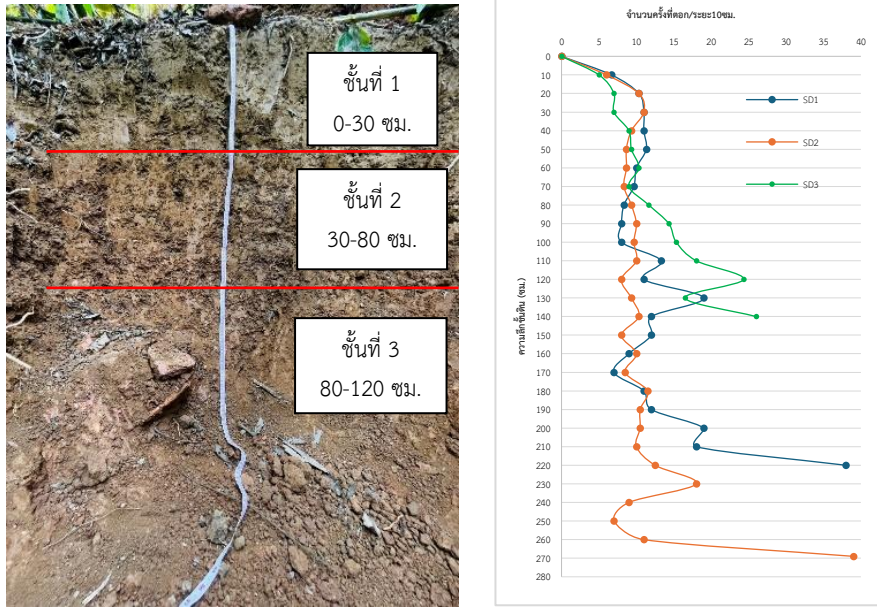
1.2 ค่าขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน ค่า w_L ในชั้นดินที่ 1 และชั้นดินที่ 2 มีความเป็นพลาสติกปานกลางถึงสูง ส่วนชั้นดินที่ 3 มีความเป็นพลาสติกสูง ค่า PI ในชั้นดินที่ 3 มีค่าสูงที่สุด (24.1)

1.3 ความชื้นในดิน การวิเคราะห์ความแตกต่างของความชื้นในแต่ละชั้นดิน พบว่า ในสภาวะความชื้นธรรมชาติ ชั้นดินที่ 2 มีค่าน้อยกว่าชั้นดินที่ 3 (p -value = 0.005) ในสภาวะความชื้นแฉะ พบว่า ชั้นดินที่ 2 มีค่าความชื้นน้อยกว่าชั้นดินที่ 1 (p -value = 0.032) และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความชื้นทั้งสองสภาวะ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.00 (p -value = 0.000)

1.4 หน่วยน้ำหนักรวม (γ_T) พบว่า ชั้นดินที่ 1 มีค่าน้อยกว่าชั้นดินที่ 2 และชั้นดินที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p value = 0.019 และ 0.001 ตามลำดับ)



1.5 หน่วยน้ำหนักแห้ง (γ_d) พบว่า ชั้นดินที่ 1 มีค่าน้อยกว่าชั้นดินที่ 2 และชั้นดินที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p value = 0.003 และ 0.003 ตามลำดับ)



ภาพที่ 1 หน้าตัดชั้นดินและผลการตอกหยั่งดิน

1.6 การกระจายตัวของเม็ดดิน ดินทั้ง 3 ชั้น มีเปอร์เซ็นต์เม็ดดินที่เป็นทรายมากกว่าดินตะกอนและดินเหนียว ส่วนใหญ่มีขนาดเม็ดดินที่ใหญ่กว่า 0.02 มม. ค่า C_u และ C_c แสดงให้เห็นว่า ดินมีขนาดที่คละกัันดี ผลการจำแนกดินทางวิศวกรรมด้วยระบบเอกภาพ (USCS) พบว่า ชั้นดินที่ 1 เป็นดินทรายปนตะกอน (SW-SM) ชั้นดินที่ 2 เป็นดินทรายปนดินตะกอนและดินเหนียว (SW-SM-SC) ชั้นดินที่ 3 เป็นดินทรายที่มีขนาดเม็ดดินคละกัันดี (SW)

ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของดิน (ตารางที่ 1)

2.1 ค่า c ในสภาวะความชื้นธรรมชาติ ดินทั้ง 3 ชั้น มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p -value = 0.133) แสดงว่า ชั้นดินไม่มีผลต่อค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน แต่ในสภาวะความชื้นแช่น้ำ ค่า c ในชั้นดินที่ 2 กับชั้นดินที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p -value = 0.034) เมื่อเปรียบเทียบค่า c ระหว่างความชื้นธรรมชาติและความชื้นแช่น้ำ พบว่าในสภาวะธรรมชาติมีค่าที่มากกว่าในสภาวะแช่น้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.00 (p -value = 0.000) แสดงว่า หากดินได้รับความชื้นในช่วง 31-35 % ซึ่งเป็นค่าความชื้นของดินที่ผ่านการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง จะทำให้ค่า c ลดลง ส่งผลให้ดินมีค่าความแข็งแรงลดลง มีกำลังรับแรงเฉือนที่น้อยลงเช่นเดียวกัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Islam et al. (2021)

2.2 ค่า ϕ ในสภาวะความชื้นธรรมชาติ ชั้นดินที่ 1 มีค่าน้อยกว่าชั้นดินที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p -value = 0.013) แต่ในสภาวะความชื้นแช่น้ำ ดินทั้ง 3 ชั้นมีค่า ϕ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p -value = 0.956) แสดงว่า ชั้นดินไม่มีผลต่อค่า ϕ เมื่อเปรียบเทียบค่า ϕ ระหว่าง



ความขึ้นธรรมชาติกับความขึ้นแน่น พบว่า มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p-value = 0.415)

ตารางที่ 1 สมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา

สมบัติดิน	สัญลักษณ์ (ตัวย่อ)	หน่วย	ชั้นดิน *		
			1	2	3
ความถ่วงจำเพาะเม็ดดิน	ถ.พ.		2.656	2.687	2.685
ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit)	w_l	%	46.4	44.0	51.7
ค่าพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)	w_p	%	31.1	26.9	27.6
ค่าพิกัดหดตัว (Shrinkage Limit)	w_{sk}	%	22.5	22.0	21.5
ดัชนีพลาสติก (Plastic Index)	PI		15.3	17.1	24.1
ความขึ้น	w	%	18.9	17.9	19.4
หน่วยน้ำหนักรวม	γ_T	kN/m ³	14.78	15.36	15.59
หน่วยน้ำหนักแห้ง	γ_d	kN/m ³	12.12	12.85	12.77
ชนิดดินทางวิศวกรรม			SW-SM	SW-SM-SC	SW
สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ	C_u		11.04	14.06	13.07
สัมประสิทธิ์ความโค้ง	C_c		1.16	1.00	1.12
แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน	c	kPa			
สภาวะความขึ้นธรรมชาติ			90.08	83.09	115.30
สภาวะความขึ้นแน่น			10.09	7.61	3.50
มุมเสียดทานภายในเม็ดดิน	ϕ	องศา			
สภาวะความขึ้นธรรมชาติ			31.4	49.5	40.5
สภาวะความขึ้นแน่น			35.2	37.6	38.1

* จำนวนทศนิยมของสมบัติดินแต่ละชนิด ไม่เท่ากัน ตามมาตรฐานวิชาชีพทางวิศวกรรมปฐพี

2.3 ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน ในสภาวะธรรมชาติ ชั้นดินที่ 1 มีค่าน้อยกว่าชั้นดินที่ 2 และชั้นดินที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p-value = 0.020 และ 0.003 ตามลำดับ) แต่ในสภาวะแน่น ดิน ทั้ง 3 ชั้น มีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p-value = 0.329) เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินระหว่างสภาวะความขึ้นธรรมชาติและความขึ้นแน่น พบว่า ในสภาวะความขึ้นธรรมชาติ จะมีค่ามากกว่าความขึ้นแน่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.00 (p-value = 0.000) สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Yalcin (2011) หมายความว่าเมื่อมีความขึ้นเพิ่มขึ้นกำลังรับแรงเฉือนซึ่งเป็นค่ากำลังต้านทานการถล่มของดินจะมีค่าลดลง และเมื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนกับสมบัติดิน พบว่า ค่า γ_d มีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุด (0.51) และค่าความขึ้นดินในสภาวะแน่นมีความสัมพันธ์เชิงลบมากที่สุด (-0.81)



ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินและการวิเคราะห์ย้อนกลับ พบว่า ค่า FS ของลาดดินที่ใช้สมบัติดินในสภาวะความชื้นธรรมชาติกับความชื้นแน่น มีค่า 5.3 และ 1.3 ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ย้อนกลับ พบว่า ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินระหว่าง 0 ถึง 5.66 kPa และค่ามุมเสียดทานภายในเม็ดดินระหว่าง 26.8 ถึง 32.6 องศา จะทำให้ลาดดินมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1 มีโอกาสเกิดดินถล่มสูง

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การขุดหน้าตัดดิน สามารถแบ่งดินได้ 3 ชั้น คือ ชั้นดินที่ 1 ลึก 0-30 ซม. ชั้นดินที่ 2 ลึก 30-80 ซม. และชั้นดินที่ 3 ลึก 80-120 ซม. การตอกหยั่งดิน พบว่า ดินมีความแน่นระดับปานกลาง ที่ช่วงความลึก 80-120 ซม. ช่วงความลึกอื่น ๆ ดินมีความแน่นในระดับหลวม ค่าสมบัติดิน ถ.พ. มีค่าเฉลี่ย 2.676 ความชื้นเฉลี่ยในสภาวะธรรมชาติ 18.7 %, w_L 47.4 %, PI 18.9, γ_T เฉลี่ย 15.24 kN/m³ ประเภทของดินจัดเป็น SW (ดินทรายที่มีขนาดเม็ดดินคละกัณฑ์) ค่าสมบัติดินเมื่อวิเคราะห์ตามชั้นดิน ในสภาวะธรรมชาติ พบว่า ชีตจำกัดชั้นเหลว ชั้นดินที่ 3 เป็นดินที่มีความเป็นพลาสติกสูง ค่า w_L ค่า w_p ที่ต่ำ และมีค่า PI สูงกว่าชั้นดินอื่น ๆ (24.1) หมายถึง มีแนวโน้มที่ดินจะถล่มในชั้นนี้มาก (Lalitha et al., 2021)

การวิเคราะห์ค่า c และค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน ซึ่งเป็นค่าความแข็งแรงที่ต้านทานการเกิดดินถล่ม ในสองสภาวะความชื้น พบว่า ค่า c และค่ากำลังรับแรงเฉือนของดิน ในสภาวะความชื้นธรรมชาติจะมากกว่าในสภาวะความชื้นแน่นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.00 แสดงให้เห็นว่าความชื้นเป็นสมบัติดินที่สำคัญในการเกิดดินถล่ม (Wei et al., 2019; Akoudad et al., 2024; Zhao et al., 2025) เมื่อมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น ค่า c และค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินจะลดลงมากทำให้เกิดดินถล่มได้ง่าย และในสภาวะความชื้นแน่น กำลังรับแรงเฉือนมีค่าที่ไม่แตกต่างกันในแต่ละชั้นดิน (p -value = 0.329) แสดงว่า ในสภาพที่ชั้นดินเต็มไปด้วยน้ำ สามารถเกิดการถล่มได้ทุกชั้นดิน

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินกับค่าสมบัติดินอื่น ๆ พบว่า ค่า γ_d มีความสัมพันธ์เชิงบวกมากที่สุด (0.51) และค่าความชื้นดินในสภาวะแน่นมีความสัมพันธ์เชิงลบมากที่สุด (-0.81)

ค่าอัตราส่วนปลอดภัย (FS) ของลาดดินในสภาวะความชื้นธรรมชาติกับความชื้นแน่น มีค่า 5.3 และ 1.3 ตามลำดับ แสดงถึงอิทธิพลของความชื้นในดินที่ทำให้ความปลอดภัยของลาดดินลดลง และค่าสมบัติดินที่มีแนวโน้มต่อการเกิดดินถล่ม คือ ค่า c ระหว่าง 0 ถึง 5.66 kPa และค่า ϕ ระหว่าง 26.8 ถึง 32.6 องศา เมื่อใช้วิธีคำนวณย้อนกลับ ความชื้นที่เพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาบนลาดเขา ระยะเวลาและความหนักเบาของฝนที่ตก มีแนวโน้มที่จะเกิดดินถล่มในระดับความลึกต่าง ๆ กัน (Ren et al., 2023)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรติดตั้งเครื่องมือติดตามพฤติกรรมลาดดินในสนาม เช่น เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน, เครื่องวัดการเคลื่อนตัวของมวลดิน, Observation well เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน จะให้ข้อมูลที่สำคัญเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน รวมถึงติดตามและแจ้งเตือนได้เมื่อมีค่าใดค่าหนึ่งเกินกว่าค่าวิกฤต



เอกสารอ้างอิง

- นครินทร์ ชัยแก้ว, Nitin, K. T., ชนากานต์ วุฒิสักดิ์การุณ และศิริลักษณ์ พิมมะสาร. (2565). การประเมินพื้นที่อ่อนไหวต่อการเกิดดินถล่มในเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่. วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ, 4(10), 80-89.
- สุกิจ นามพิชญ์, ชูศักดิ์ ศิริรัตน์, เอกรัตน์ รวยรวย, ศุภสิทธิ พงศ์ศิวัชเสถียร และสุธี ปิยะพิพัฒน์. (2549). คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์ (Vol. 1). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนการวิจัยแห่งชาติ.
- Akoudad, A., El Qandil, M., Bargach, K., El Asmi, H., Hayati, A., Zian, A., & Darkik, I. (2024). *Geotechnical Instabilities in Road Embankments: Analysis of a Landslide in Schistose Road Cut-and-Fill on the Taza-Al Hoceima Expressway, Northern Morocco*. Iraqi Geological Journal, 57(2), 256-271.
- Islam, M. S., Begum, A., & Hasan, M. M. (2021). *Slope stability analysis of the Rangamati District using geotechnical and geochemical parameters*. Natural Hazards, 108(2), 1659-1686.
- Lalitha, M., Kumar, K. S. A., Nair, K. M., Dharumarajan, S., Koyal, A., Khandal, S., Hegde, S., & Kaliraj, S. (2021). *Evaluating pedogenesis and soil Atterberg limits for inducing landslides in the Western Ghats, Idukki District of Kerala, South India*. Natural Hazards, 106(1), 487-507.
- Little A.L. (1969). *The engineering Classification of residual tropical soils. Paper presented at the Proc. Spec. Session on engineering properties of lateritic soils 7th conference SMFE. (1-10). Mexico City.*
- Nassirzadeh, R., Dini, A., & Balagar, V. (2024). *Back analysis of cohesion and friction angle of failed slopes using probabilistic approach: two case studies*. International Journal of Geo-Engineering, 15(1), 3.
- Rao, B., Burman, A., Roy, L. B., Kumar, S., Kumar, A., & Choudhary, S. S. (2024). *Comparative analysis of 2D and 3D slope stability problems using limit equilibrium technique-based Bishop's simplified method*. Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design, 7(2), 1169-1184.
- Ren, G. M., Xia, M., & Lv, S. M. (2023). *Stability Analysis of a Landslide Influenced by Rainfall*. Soil Mechanics & Foundation Engineering, 60(1), 55-62.
- Wei, Y., Wu, X., Xia, J., Miller, G. A., Cai, C., Guo, Z., & Hassanikhah, A. (2019). *The effect of water content on the shear strength characteristics of granitic soils in South China*. Soil & Tillage Research, 187, 50-59.
- Yalcin, A. (2011). *A geotechnical study on the landslides in the Trabzon Province, NE, Turkey*. Applied Clay Science, 52(1), 11-19.



การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 8
“ก้าวข้ามขอบเขตความรู้สู่การเปลี่ยนแปลงและพัฒนาอย่างยั่งยืน”
วันที่ 23 พฤษภาคม พ.ศ. 2568

Zeng, Y., Zhang, Y., Hu, W., Chen, M., Hu, Q., Liu, X., & Zhu, X. (2024). *A case study on soil slope landslide failure and parameter analysis of influencing factors for safety factor based on strength reduction method and orthogonal experimental design*. PLoS ONE, 19(5), 1-20.

Zhao, K., Qiu, H., Liu, Y., Liu, Z., Huangfu, W., Tang, B., Yang, D., & Yang, G. (2025). *Probability of rainfall-induced landslides coupled with effective-duration threshold and soil moisture*. Journal of Hydrology: Regional Studies, 57, 102-112