



การวิเคราะห์พื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มสำหรับหินกลุ่มไดโอไรท์ในพื้นที่โครงการพัฒนาโดยดอยตุงฯ

Analysis of Landslide Hazard Area for Diorite Rock in Doi Tung Development Project

สุทธิศักดิ์ สรลัมภ์ (Suttisak Soralump)¹

รัฐธรรม อิศโรพาร (Rattatam Isaroranit)²

บรรพต กุลสุวรรณ (Bunpoat Kunsuwan)³

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ fengsus@ku.ac.th, soralump_s@yahoo.com

²วิศวกรปฐพีอาวุโส ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ Nuk_Civil@yahoo.com

³วิศวกรปฐพีอาวุโส ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ BeeBunpoat@yahoo.com

บทคัดย่อ : การวิเคราะห์พื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่โครงการพัฒนาโดยดอยตุงฯ ดำเนินการโดยศึกษาข้อมูลลักษณะภูมิประเทศและสภาพธรณีวิทยา โดยสำรวจในพื้นที่พร้อมทั้งดำเนินการทดสอบทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ อันประกอบด้วย การสำรวจชั้นดินด้วยการเจาะสว่านมือ (Hand Auger) การขุดบ่อสำรวจ (Test Pits) การเจาะชั้นดินระดับลึก การสำรวจการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ การทดสอบค่าความชื้นน้ำและความแข็งแรงของดิน จากนั้นวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันโดยใช้วิธี Limit Equilibrium เพื่อประเมินพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม ตามค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่สัมพันธ์กับองศาความลาดชันเพื่อกระจายข้อมูลออกในเชิงพื้นที่ ทำให้ทราบถึงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มตามลักษณะทางธรรมชาติ สำหรับการนำปัจจัยสิ่งปกคลุมดินมาร่วมพิจารณา ดำเนินการโดยการจัดลำดับความสำคัญของสิ่งปกคลุมดินเป็น 5 ระดับโดยกำหนดตามความสามารถในการป้องกันการไหลผ่านของน้ำลงสู่ชั้นดิน ทำให้ได้แผนที่โอกาสเกิดดินถล่มที่ได้พิจารณาสิ่งปกคลุมดินร่วมกับการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมปฐพี สุดท้ายตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์กับข้อมูลการพิบัติจริงในพื้นที่ พบว่ามีความสอดคล้องกัน ยกเว้นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงลาดชันธรรมชาติเช่น การตัดถนน เป็นต้น

ABSTRACT : Landslide Hazard area was Analyzed in Doi Tung Development Project. Field and Laboratory investigations were done including hand augers, test pits, drilling, landslide investigation permeability test and shear strength test. Stability analysis has been done using limit equilibrium concept. Landslide hazard area is assigned based on the slope degree which corresponds to slope factor of safety. As for land cover, considerations were made to include this factor in the analysis. Finally, verification was done and found good correlation between hazard area from the analysis and actual location of slope failure

KEYWORDS : Landslide Hazard Map, Landslide, Stability Analysis

1. บทนำ

ดินถล่มเป็นภัยพิบัติตามธรรมชาติในประเทศไทยที่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น และส่งผลกระทบอย่างต่อเนื่อง โดยภัยดินถล่มมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ฉับพลันและ ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สิน วิธีการป้องกันหรือลดความสูญเสีย

เนื่องจากการเกิดดินถล่ม มีอยู่หลายวิธี เช่น การกำหนดพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม (Landslide Hazard Area) การกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่ม (Landslide Risk Area) และการกำหนดเกณฑ์ในการเตือนภัย เป็นต้น ในประเทศไทยมีหลายหน่วยงานที่ศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม โดยอาศัยวิธีดังนี้

ปัจจัยร่วม เช่น กรมพัฒนาที่ดิน และกรมทรัพยากรธรณี และวิธีทางวิศวกรรมปฐพี เช่น ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยทั่วไปวิธีดัชนีปัจจัยร่วมเหมาะสมกับการวิเคราะห์พื้นที่กว้างที่ทำให้เห็นภาพรวมได้ดี แต่มีความแม่นยำจำกัดในพื้นที่ขนาดเล็ก ในขณะที่วิธีทางวิศวกรรมปฐพีมีความแม่นยำสูงกว่าแต่ดำเนินการได้ในเฉพาะพื้นที่จำกัด เนื่องจากต้องการข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ที่ละเอียดกว่า บทความนี้ขอนำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์พื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม โดยวิธีทางวิศวกรรมปฐพี ในพื้นที่ที่มีความละเอียดขนาด 1:1,000 โดยใช้กรณีศึกษาโครงการพัฒนาคอยดุงฯ

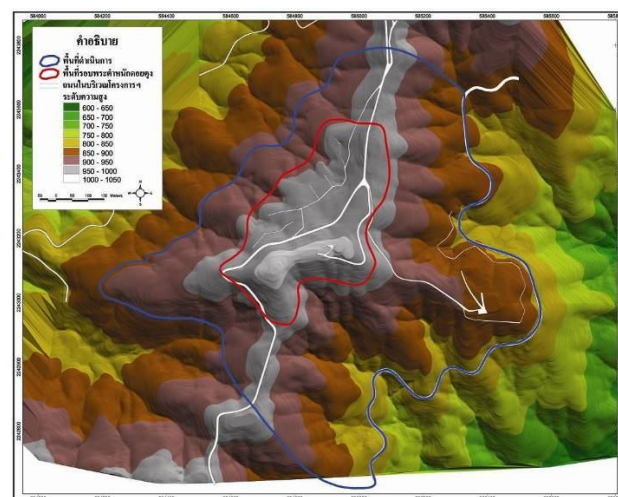
โครงการพัฒนาคอยดุงฯ ต.แม่ฟ้าหลวง อ.แม่ฟ้าหลวง จ. เชียงราย เป็นสถานที่ที่มีความสำคัญของประเทศ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเป็นพื้นที่สูงชันทำให้เกิดเหตุการณ์ดินถล่มอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะเมื่อเกิดเหตุไฟป่าในพื้นที่หลายครั้งตลอดช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา และล่าสุดเมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2550 ซึ่งไฟป่าอาจทำให้สิ่งปกคลุมดินเปลี่ยนแปลงและกระตุ้นให้เกิดดินถล่มได้ ดังนั้นกรมทรัพยากรธรณี จึงได้ดำเนินการศึกษาร่วมกับศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อศึกษาพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มในบริเวณรอบพระตำหนักคอยดุงฯ

กระบวนการศึกษาเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลพื้นที่ฐาน ตำรวจพื้นที่ ตำรวจและเก็บตัวอย่างดิน ทดสอบคุณสมบัติของดิน และสำรวจสภาพบ่งชี้ของพื้นที่ด้านดินถล่ม แล้วนำผลการสำรวจและทดสอบดังกล่าว มาวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเขา เพื่อวิเคราะห์พื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม และตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ จากตำแหน่งการพิบัติ และสภาพบ่งชี้การเคลื่อนตัวของดิน

2. ลักษณะภูมิประเทศและธรณีวิทยา

พื้นที่โครงการพัฒนาคอยดุงฯ อยู่บนพื้นที่ที่มีระดับความสูง 798 - 1,014 ม.รทก. และความลาดชันมาก (Mean 33.25° และ

SD 13.155°) ภาพที่ 1 แสดงเส้นชั้นความสูงในบริเวณพื้นที่โครงการพัฒนาคอยดุง จากแผนที่ กรมชลประทาน (2531) [1]

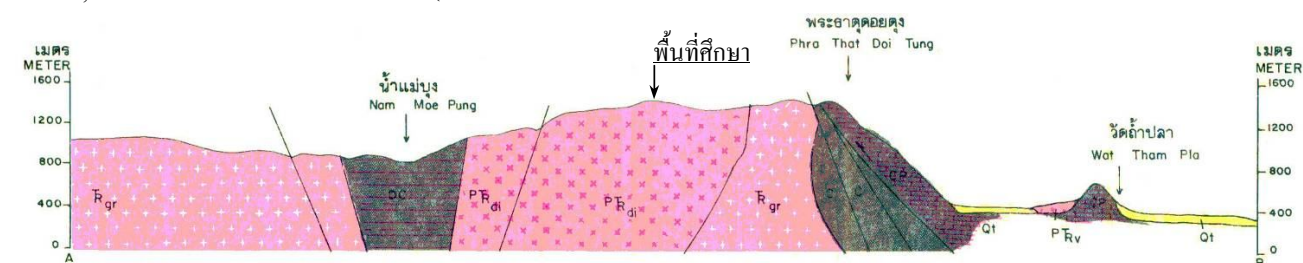


ภาพที่ 1 ลักษณะภูมิประเทศบริเวณพระตำหนักคอยดุงฯ

จากแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณี (2533) [2] และข้อมูลธรณีวิทยารอบโครงการฯ จากการศึกษาของ ปริญญา พุทธาภิบาล และคณะ (2532) [3] พบว่าหินที่ปกคลุม คือ หินอัคนีแทรกซอน (Intrusive Rocks) หดคอยช้างมูบ อยู่ในยุค Permo-Triassic ประกอบด้วยหินโทนาไลต์ (Tonalite) และหินไดโอไรต์ (Diorite) มีหินแปรก ปลอมของแกบโบร (Gabbro) หรือหินแกบโบรดิโอไรต์ (Gabbroic Diorite) ภาพที่ 2 แสดงหน้าตัดลักษณะธรณีวิทยา (Tr_g) ของพื้นที่โดยรอบพื้นที่ศึกษา

3. การสำรวจและทดสอบในสนาม

การสำรวจและทดสอบในสนามมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความหนาและความสม่ำเสมอของชั้นดินในพื้นที่โครงการ และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของชั้นดินเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน



ภาพที่ 2 หน้าตัดลักษณะธรณีวิทยา (กรมทรัพยากรธรณี, 2533) [2]



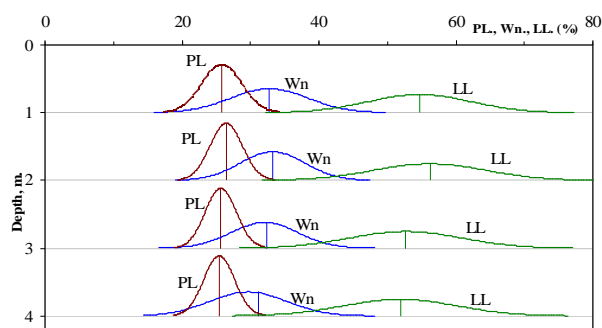
3.1 สภาพธรณีวิทยาและการสำรวจธรณีฟิสิกส์

การสำรวจสภาพธรณีวิทยาพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยดินที่ผุพังจากหินไดออไรต์ (Diorite-fine to medium grained) ประกอบด้วยดินเหนียวปนทรายแป้ง และดินเหนียวปนทรายละเอียด สีน้ำตาลแดง สีแดงอมชมพู ลักษณะดินดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับข้อมูลจาก QAP diagram (Streckeisen, 1976) [4] ที่พบว่าหินดังกล่าวมีเปอร์เซ็นต์แร่พลากิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase Feldspar) ที่สามารถผุพังกลายเป็นแร่ดินเหนียวสูงถึงสูงมาก หากมวลหินมีความหนาแน่นของรอยแตกและรอยแยกสูง อัตราการการผุพังก็จะสูงเพิ่มขึ้นตาม และจากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ของกรมทรัพยากรธรณี (2550) [5] ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity Survey) พบว่าสภาพธรณีวิทยาในพื้นที่ดังกล่าวประกอบด้วยชั้นดินหนาดังแต่ 10-100 เมตร ปกคลุมหินฐานราก บางบริเวณพบลักษณะของหินลอยแทรกปนอยู่ ซึ่งจากการสำรวจสามารถสรุปได้ว่าการสะสมตัวของชั้นดินหนา เนื่องจากการผุพังอยู่กับที่จากหินต้นกำเนิด และดินที่ผุพังมีลักษณะเป็นดินเหนียว

3.2 การสำรวจชั้นดินด้วยการเจาะส่วนมือ (Hand Auger)

เพื่อตรวจสอบข้อมูลตาม 3.1 จึงได้ทำการประเมินความหนาและความสม่ำเสมอของชั้นดินในพื้นที่โครงการฯ โดยการเจาะสำรวจชั้นดินด้วยส่วนมือกระจายทั่วพื้นที่ศึกษาโดยกำหนดแนวการเจาะตามลาดชันที่มีความลาดชันสูง หรือพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง โดยแต่ละแนวเจาะสำรวจ 2-3 หลุม (ความลึก 4 เมตร/หลุม) จำนวน 22 แนว รวมหลุมเจาะสำรวจทั้งสิ้น 57 หลุม

จากการเจาะสำรวจโดยส่วนมือ พบชั้นดินหนาดลอดความลึกของหลุมสำรวจในเกือบทุกหลุมสำรวจ และพบลักษณะของหินผุในบริเวณร่อนน้ำ ผลทดสอบทางกายภาพของชั้นดินจากหลุมเจาะตามความลึก (จำนวน 207 ตัวอย่าง) แสดงดังภาพที่ 3 พบว่าค่า Wn, LL, PL และ PI มีแนวโน้มลดลงตามความลึก รวมทั้งการกระจายขนาดของเม็ดดินในบริเวณพื้นที่ศึกษามีขนาดใกล้เคียงกัน โดยเม็ดดินส่วนใหญ่เป็นดินเม็ดละเอียด และเมื่อจำแนกดินด้วยระบบ USCS พบว่าเป็นดินเหนียวชนิด CL และ CH และมีค่า PI เฉลี่ยอยู่ในช่วง 26.45 – 29.26%

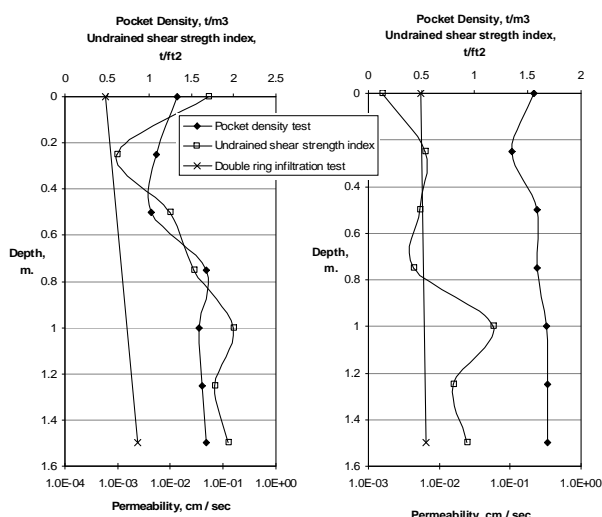


ภาพที่ 3 การกระจายตัวผลทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นดิน

3.3 การขุดบ่อสำรวจ (Test Pits)

บ่อสำรวจจำนวน 2 บ่อ ได้ถูกเปิดในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มสูง โดยทำการเก็บตัวอย่างดินคงสภาพ โดยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างสำหรับงานวิจัยดินถล่ม KU-Miniature Sampler (วรากร และนงลักษณ์, 2546 และวรากร และบรรพต, 2548) เพื่อนำตัวอย่างมาทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในห้องปฏิบัติการสำหรับการทดสอบความสามารถในการซึมน้ำของชั้นดินในสนาม ทดสอบโดยวิธี Double Ring Infiltration Test (ASTM D 3385) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ นอกจากนี้ยังได้เก็บข้อมูล หน่วยน้ำหนักของดินในสนาม (Pocket Density Test) และค่าดัชนีแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength Index) โดยใช้อุปกรณ์ Pocket Penetrometer

ผลการทดสอบดังภาพที่ 4 พบว่าดินมีความสามารถในการซึมน้ำสูงตลอดความลึกของการสำรวจ และมีค่าความหนาแน่นต่ำ โดยเฉพาะบริเวณความลึกช่วง 0.2-0.5 เมตรจากผิวดิน



ก.) บ่อสำรวจที่ 1

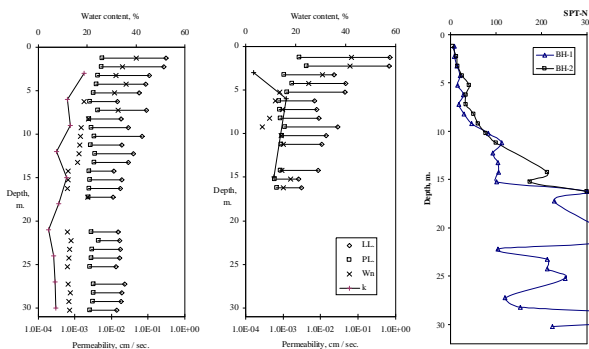
ข.) บ่อสำรวจที่ 2

ภาพที่ 4 ผลการทดสอบในบ่อสำรวจ

3.4 การสำรวจชั้นดินระดับลึก

หลุมสำรวจระดับลึก 2 หลุม ได้ดำเนินการในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มดินถล่มสูง คือมีโอกาสเกิดและผลกระทบสูงเพื่อทดสอบความแข็งแรงและความชื้นน้ำของชั้นดิน ด้วยวิธีการเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring) พร้อมทั้งทดสอบ SPT และทดสอบความชื้นน้ำตลอดความลึก พบว่าลักษณะของชั้นดินประกอบด้วยดินในกลุ่ม CH, CL และ SC แทรกสลับชั้นกันอยู่ โดยมีชั้นหินฐานเป็น Diorite

ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 5 โดยผลการทดสอบ (SPT, N) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามความลึก โดยที่ความลึก 8 เมตร ลงไปค่า SPT จะเพิ่มสูงขึ้นมากสอดคล้องค่าสภาพของดินที่อยู่เริ่มเปลี่ยนสถานะจากพลาสติกเป็นกึ่งของแข็ง ชั้นดินมีความหนาและมีค่าความชื้นน้ำสูงตลอดความลึก



ก.) BH - 1

ข.) BH - 2

ค.) SPT

ภาพที่ 5 ผลการทดสอบชั้นดินระดับลึก

4. ลักษณะการพิบัติของลาดดินในพื้นที่ศึกษา

Varnes (1978) [9] จำแนกรูปแบบของการพิบัติออกเป็น 6 ประเภทหลัก จากการสำรวจพบลักษณะการพิบัติจำแนกได้ตาม Varnes (1978) เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การพิบัติแบบเลื่อนไถล (Slides) ในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35 องศา โดยเฉพาะบริเวณที่มีการตัดถนน ทั้งในส่วนงานตัดและงานถมและพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งปกคลุมดิน ขนาดของดินถล่ม มีขนาดไม่เกิน 20 ลบ.ม.

2. การคืบของดิน (Soil Creep) ส่วนใหญ่เกิดบริเวณริมถนนทางขึ้นโครงการฯ โดยดินจะมีการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ไม่ปรากฏรอยแตกหรือรอยแยกบนผิวดินชัดเจน แต่สามารถสังเกตได้จากการเอียงตัวของต้นไม้

นอกจากนั้นยังมีลาดดินบางส่วนที่มีการกัดเซาะของน้ำ (Erosion) ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการพิบัติแบบเลื่อนไถลได้ใน

อนาคต (สำหรับบริเวณที่มีความลาดชันสูง) ตำแหน่งผลการสำรวจแสดงดังภาพที่ 6

5. การสำรวจสภาพปัจจัยลักษณะดินถล่ม

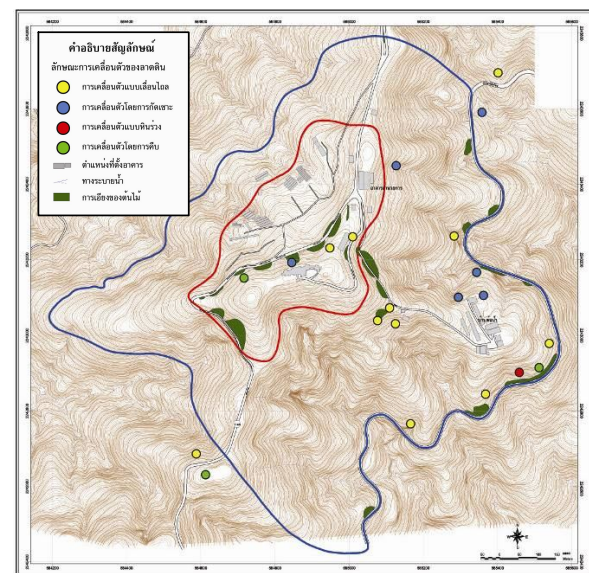
ลักษณะปัจจัยที่การเคลื่อนตัวของมวลดินในพื้นที่ดำเนินการโดยการสำรวจและเก็บข้อมูลอันประกอบด้วย

ก. การเอียงของต้นไม้

ข. ตำแหน่งการเคลื่อนของมวลดิน

ค. รอยแตกของถนน

ผลการสำรวจพบว่าสิ่งปกคลุมดิน การกัดเซาะและการเกิดดินไหล มีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน โดยพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งปกคลุมดิน หรือสิ่งปกคลุมดินมีความหนาแน่นไม่เพียงพอ หน้าดินจะถูกกัดเซาะได้ง่าย และส่งผลให้น้ำฝนไหลซึมลงสู่ชั้นดินที่ลึกกว่าได้โดยง่าย ทำให้กำลังของดินลดลงและเกิดการไหลตัวในที่สุด พื้นที่ตามแนวการตัดถนนพบการเอียงตัวของต้นไม้และพบรอยแตกบนผิวถนน ผลการสำรวจดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนที่สัญญาณการเคลื่อนตัวของลาดดิน

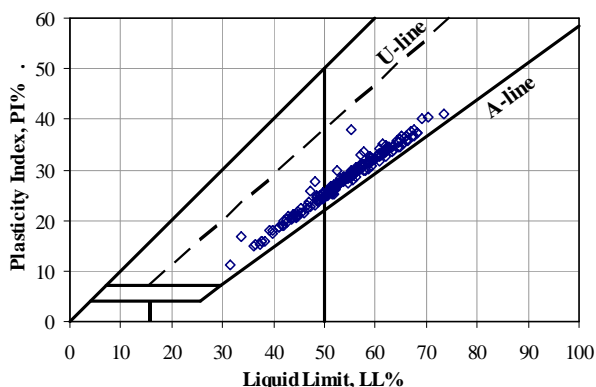
6. การประเมินพฤติกรรมดินถล่มจากคุณสมบัติดิน

จากข้อมูลผลการสำรวจทั้งหมดที่ได้กล่าวมา สามารถประเมินพฤติกรรมดินถล่มได้ดังต่อไปนี้

ก. การเจาะสำรวจด้วยสว่านมือ (Hand Auger) ผลการสำรวจไม่พบชั้นหิน ซึ่งสอดคล้องกับ Resistivity Survey ที่พบชั้นหินในระดับลึก โดยชั้นดินมีความสม่ำเสมอและสามารถจำแนกประเภทดิน (USCS) ได้เป็น CH, CL, MH หรือ OH มีปริมาณเม็ดละเอียดมาก และดินมีความเป็น Plastic หรือมีความเหนียว



เมื่อตรวจสอบจาก Plasticity Chart พบว่าแร่ดินเหนียวที่พบส่วนมากเป็นแร่ Illite ดังภาพที่ 7 ซึ่งบ่งบอกว่าดินผุดขึ้นมาจากหินต้นกำเนิดชนิดเดียวกัน



ภาพที่ 7 ผลการสำรวจแสดงใน Plasticity Chart

ข. การเปิดบ่อสำรวจ (Test Pit) และการทดสอบในสนาม: พบว่าชั้นดินระดับต้น (ไม่เกิน 20 ซม.) ประกอบด้วยหน้าดินที่มีการผุดของซากพืชและรากไม้ จากนั้นเป็นชั้นดินที่ค่อนข้างจะมีชนิดเดียวกันสม่ำเสมอ เป็นดินเหนียวที่มีค่าความชื้นน้ำค่อนข้างสูงและมีความหนาแน่นต่ำ

ค. การทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังรับแรงเฉือนในห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์โดยวิธี Strength Reduction Index (SRI) (Suttisak and Bunpoat, 2006) [8] พบว่าเมื่อดินอิ่มตัวจะทำให้กำลังรับน้ำหนักของดินลดลงจากสภาวะธรรมชาติกว่าร้อยละ 50 ($SRI = 1.581$) ผลการทดสอบดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดสอบ Direct Shear Test ที่พบว่าดินเมื่ออยู่ในสภาวะอิ่มตัว กำลังรับแรงเฉือนจะมีค่าลดลงจากสภาวะธรรมชาติ

จากผลการสำรวจและทดสอบทางวิศวกรรมปฐพีข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า สิ่งปกคลุมดินเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากในการป้องกันการเคลื่อนตัวของมวลดิน เนื่องจากดินที่ผุดจากหินต้นกำเนิดมีความหนาแน่นต่ำและมีค่าความชื้นน้ำสูง ทำให้น้ำไหลซึมได้ดีในมวลดิน ส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนลดลงตามลำดับ อย่างไรก็ตามถึงแม้ดินจะสูญเสียกำลังได้ง่ายเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากดินมีช่วงความเป็น Plastic หรือมีความเหนียวในช่วงปริมาณความชื้นที่กว้าง ทำให้การเคลื่อนตัวปัดติจึงอยู่ในลักษณะการคืบ (Creep) แทนที่จะปัดติแบบทันทีทันใด ดังหลักฐานการเอียงของต้นไม้จากการขุดตัดถนน

7. การประเมินพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม

การประเมินพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่ม ดำเนินการโดยการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ด้วยวิธี Limit Equilibrium ตามคำแนะนำของ วรากร (2542) [10] ร่วมกับเทคนิคของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อกำหนดพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มในแผนที่ความละเอียด 1:1,000

7.1 คุณสมบัติดินสำหรับการวิเคราะห์

จากผลการสำรวจภาคสนาม และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ สามารถประเมินสภาพชั้นดินในพื้นที่ได้ว่าชั้นดินเป็นดินที่มีเนื้อสม่ำเสมอ (Homogeneous Soil) มีความหนามากกว่า 15-30 เมตร ด้านล่างเป็นชั้นหินแข็ง (Bed Rock) ลักษณะดินดังกล่าวจึงเป็นลักษณะที่สามารถสร้างแบบจำลองลาดชันที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอและมีคุณสมบัติเดียวกัน นอกจากนั้นการวิเคราะห์การพังทลายในรูปแบบส่วนโค้งของวงกลม (Circular failure) จึงเป็นไปได้มากกว่าการใช้รูปแบบการพังทลายในลักษณะ Infinite slope ที่เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ที่มีชั้นดินไม่หนาหรือชั้นดินอยู่ตื้น ค่ากำลังรับแรงเฉือนสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินดำเนินการทดสอบโดยใช้การทดสอบแบบเฉือนตรง (Direct shear test) โดยทดสอบในสภาวะ Undrained กับดิน Undisturbed ที่มีความชื้นตามสภาพธรรมชาติ และสภาพแฉ่น้ำ นอกจากนั้นยังได้นำค่า Residual strength จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสภาพแฉ่น้ำมาวิเคราะห์เพื่อประเมินค่า C และ ϕ ของดินในสภาวะ Residual เนื่องจากในพื้นที่พบพฤติกรรม Creep ของดินอย่างชัดเจน ซึ่งอาจทำให้กำลังรับแรงเฉือนอยู่ในสภาพ Residual เนื่องจากเกิด Strain มากจากการ Creep คุณสมบัติดินทั้ง 3 สภาวะ แสดงดังตารางที่ 1

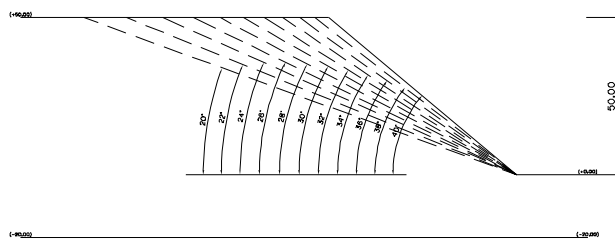
ตารางที่ 1 ค่ากำลังรับแรงเฉือนในสภาวะ Undrained

สภาวะ	C , (t/m ²)	ϕ , (deg.)	γ_t , (t/m ³)
กำลังของดินในสภาวะความชื้นธรรมชาติ (Unsaturated)	1.00	36.0	1.60
กำลังของดินในสภาพแฉ่น้ำ (Soaked)	1.00	30.0	1.70
กำลังของดินในสภาวะคงค้าง (Residual Shear Strength)	0.10	30.0	1.55

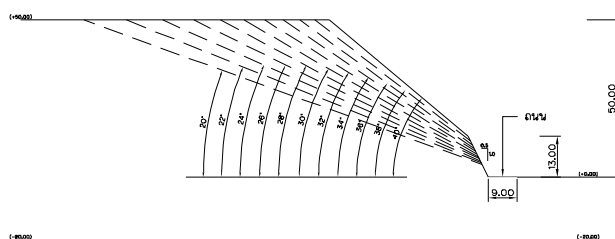


7.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเชิงพื้นที่

พื้นที่ของโครงการมีความลาดชันที่แตกต่างกัน ไม่สามารถที่จะแบ่งแนวดัด (Section) เพื่อทำการวิเคราะห์ได้ทุกแนว ดังนั้นการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่ทั้งหมดจึงทำการกำหนดความสูงของลาดดินประมาณ 50 เมตร ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของความสูงบริเวณด้านบนพระตำหนักฯ ถึงถนนด้านล่าง แล้วปรับเปลี่ยนค่าความลาดเอียงตั้งแต่ 20 ถึง 40 องศา เพื่อหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันในมุมเอียงต่างๆ โดยแบ่งลักษณะของลาดเอียงเป็น 2 กรณี คือ กรณีพื้นที่เป็นพื้นที่ลาดต่อเนื่อง และกรณีมีการตัดลาดเชิงเขาเพื่อการก่อสร้างถนน ดังภาพที่ 8 และภาพที่ 9 ตามลำดับ

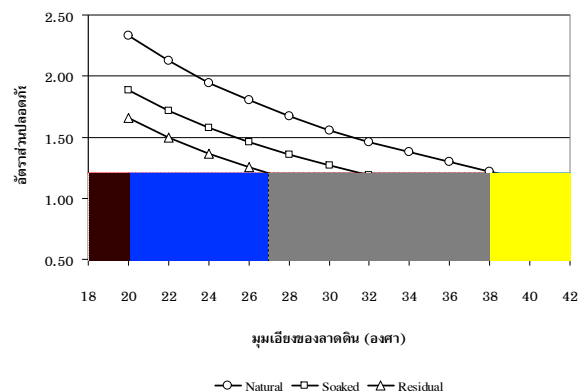


ภาพที่ 8 การวิเคราะห์ กรณีพื้นที่เป็นลาดชันต่อเนื่อง

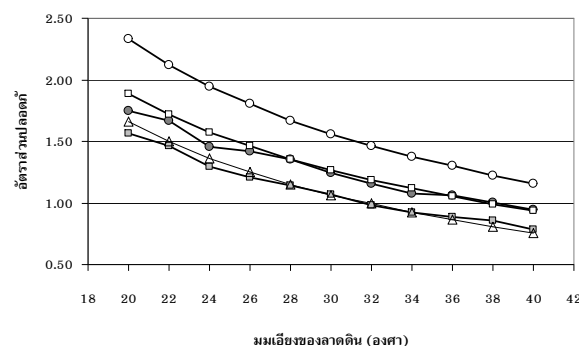


ภาพที่ 9 การวิเคราะห์กรณีมีการตัดลาดเชิงเขาเพื่อการก่อสร้างถนน

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพทั้ง 2 ลักษณะ แสดงดังภาพที่ 10 ซึ่งจะเห็นว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะมีค่าลดลงเมื่อความลาดเอียงที่เพิ่มขึ้น โดยดินในสภาวะแช่น้ำ จะมีค่าความปลอดภัยที่ต่ำกว่าดินในสภาวะธรรมชาติ และกรณีการตัดลาดเชิงเขาเพื่อการก่อสร้างถนนพบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกรณีพื้นที่เป็นพื้นที่ลาดต่อเนื่องอย่างชัดเจน และแนวการพังถล่มเกิดขึ้นบริเวณดินลาดชันด้านดินตัด ซึ่งตรงกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริง

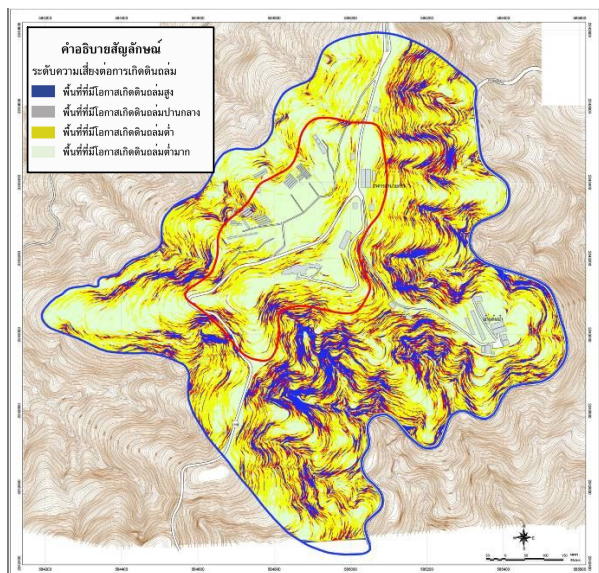


ภาพที่ 10 ค่าอัตราส่วนปลอดภัยกรณีการวิเคราะห์ลาดชันต่อเนื่อง

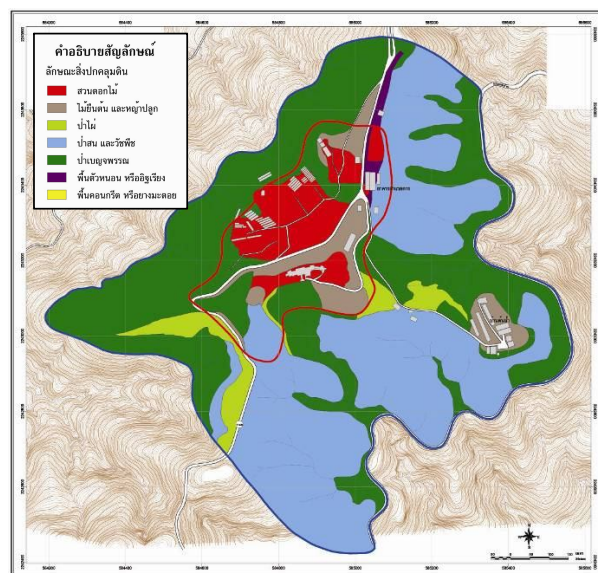


ภาพที่ 11 ค่าอัตราส่วนปลอดภัยระหว่างกรณีการวิเคราะห์ลาดชันต่อเนื่องกับกรณีมีการตัดลาดเชิงเขาเพื่อการก่อสร้างถนน

เมื่อนำข้อมูลความลาดชัน จากแผนที่มาตราส่วน 1:1,000 มาวิเคราะห์ร่วมกับผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชัน โดยจำแนกระดับโอกาสเกิดดินถล่มตามค่าอัตราส่วนความปลอดภัยและองศาความลาดชันดังแสดงในภาพที่ 10 โดยพิจารณาช่วงของความลาดชันที่ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่มากกว่า 1.2 ถือว่ามีโอกาสเกิดต่ำ (Brand 1984 [11] และ Trenter 2001 [12]) หากเท่ากับ 1.2 ถือว่าปานกลาง และหากต่ำกว่า 1.0 ถือว่ามีโอกาสเกิดดินถล่มสูง โดยการวิเคราะห์ได้พิจารณาช่วงกำลังรับน้ำหนักของดินทั้งจากสภาพธรรมชาติ (Natural) สภาพแช่น้ำ (Soaked) และสภาพกำลังที่คงเหลือหลังการเคลื่อนตัว (Residual) และดำเนินการในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ในเชิงพื้นที่ ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แผนที่พื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่โครงการฯ



ภาพที่ 13 ผลการสำรวจสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่โครงการพัฒนาคอยตุ๋งฯ

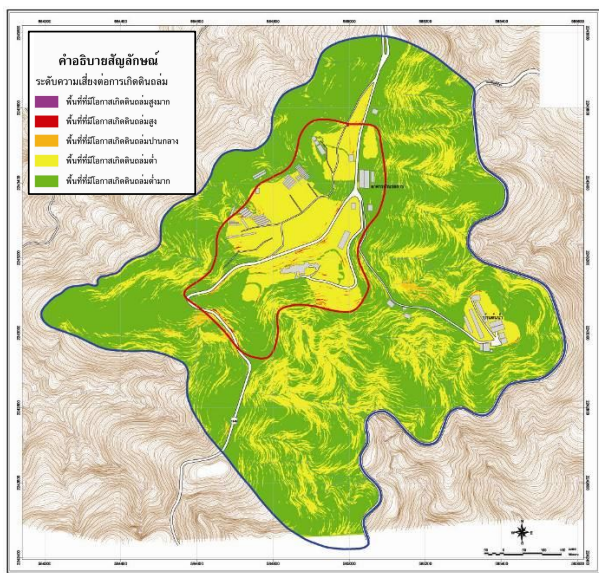
การวิเคราะห์ดังกล่าวไม่ได้พิจารณาปัจจัยของสิ่งปกคลุมดินประกอบ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าพื้นที่บริเวณร่องน้ำมีโอกาสเกิดดินถล่มสูงเนื่องจากมีความลาดชันมาก จึงเข้าสำรวจพื้นที่ดังกล่าว และพบว่าบริเวณดังกล่าวไม่ปรากฏร่องรอยการพิบัติหรือลักษณะที่บ่งบอกถึงการเคลื่อนตัวของดินตามผลการวิเคราะห์แต่อย่างใด แต่พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นร่องน้ำที่มีฐานเป็นหินและมีการสะสมตัวของหินลอยในบริเวณดังกล่าว พื้นที่ดังกล่าวมีความมั่นคงกว่าผลการวิเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากค่ากำลังรับแรงของมวลรวมหินมีค่ามากกว่าดิน จึงทำให้ลาดชันในบริเวณดังกล่าวมีค่าสูงกว่าลาดชันดินธรรมชาติและไม่เกิดการพิบัติ

7.3 ปัจจัยสิ่งปกคลุมดินต่อโอกาสเกิดดินถล่ม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรมปฐพีที่ได้อ้างอิงมาจะเห็นได้ว่าสิ่งปกคลุมดินเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความมั่นคงของลาดชัน เนื่องจากมีผลต่อการไหลซึมของน้ำลงสู่ชั้นดินเบื้องล่าง ดังนั้นจึงทำการสำรวจลักษณะสิ่งปกคลุมดิน โดยพิจารณาถึงความสามารถในการลดการไหลซึมของน้ำลงสู่ดิน โดยแบ่งประเภทของสิ่งปกคลุมดินเป็น 9 ชนิด ดังภาพที่ 13 ตามลำดับความสามารถในการไหลซึมของน้ำลงสู่ชั้นดิน ได้แก่

1. ไม่มีพืชคลุมดิน
2. หุ่นหญ้าหรือวัชพืช
3. ไม้ดอกไม้ประดับหรือสวนดอกไม้
4. ไม้ยืนต้นและหญ้าปลูก
5. ป่าไม้
6. ป่าสนและวัชพืช
7. ป่าเบญจพรรณและวัชพืช
8. พื้นที่สวนหินหรืออิฐเรียง
9. พื้นที่คอนกรีตหรือยางมะตอย

จากผลการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันเชิงพื้นที่ทำให้ทราบถึงพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดดินถล่มดังภาพที่ 12 ซึ่งไม่ได้นำลักษณะสิ่งปกคลุมดินเข้ามาพิจารณา ดังนั้นหากนำปัจจัยลักษณะสิ่งปกคลุมดินในปัจจุบันมาพิจารณาร่วม โดยแบ่งระดับสิ่งปกคลุมดินเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับที่ 1 (คะแนนความเสี่ยงสูงสุด) : ไม่มีพืชปกคลุมดินและหุ่นหญ้าหรือวัชพืช ระดับที่ 2 : ไม้ดอกไม้ประดับหรือสวนดอกไม้และไม้ยืนต้นและหญ้าปลูก ระดับที่ 3 : ป่าสนและป่าเบญจพรรณและป่าไผ่ ระดับที่ 4 : ป่าสนและหุ่นหญ้าและป่าเบญจพรรณและวัชพืช ระดับที่ 5 (คะแนนความเสี่ยงต่ำสุด) : พื้นที่สวนหินหรืออิฐเรียงและพื้นที่คอนกรีตหรือยางมะตอย ดังภาพที่ 14 การวิเคราะห์เพื่อรวมปัจจัยสิ่งปกคลุมดินเข้ามาพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์ความลาดชัน ใช้หลักว่าสิ่งปกคลุมดินต่างชนิดกันมีโอกาสในการลดการไหลซึมของน้ำลงสู่ชั้นดินด้านล่างต่างกัน โดยเปรียบเสมือนการเพิ่มหรือลดโอกาสการเกิดการพิบัติจากการวิเคราะห์ความลาดชัน การวิเคราะห์โดยใช้หลักการดังกล่าวทำให้ระดับของพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มเปลี่ยนจาก 3 ระดับเป็น 5 ระดับ



ภาพที่ 14 พื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่โครงการฯ พิจารณาปัจจัยสิ่งปกคลุมดินร่วมกับผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชัน

7.4 การตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ที่ได้เสนอข้างต้นจึงได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่โอกาสเกิดดินถล่ม (ภาพที่ 14) กับข้อมูลเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นในอดีต และสภาพพังทลายของดินถล่มในพื้นที่ (ภาพที่ 6) ซึ่งพบว่าตำแหน่งการเกิดดินถล่มภายในขอบเขตพื้นที่ศึกษาจำนวน 21 ตำแหน่ง และตำแหน่งการเอียงตัวของดินไม่ทั้งหมด อยู่ในพื้นที่โอกาสเกิดดินถล่มระดับปานกลางเกือบทั้งหมด ซึ่งขัดกับความเป็นจริง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาตำแหน่งการเกิดดินถล่มและการเอียงตัวของดินไม่ดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามีตำแหน่งอยู่บริเวณแนวการตัดถนนหรือการตัดลาดชันธรรมชาติทั้งหมด จึงได้นำผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชันในกรณีการตัดถนนมาพิจารณา (ภาพที่ 9 และภาพที่ 11) ทำให้พบว่าระดับโอกาสเกิดดินถล่มเปลี่ยนจากระดับปานกลางเป็นระดับสูงถึงสูงมาก จึงได้ข้อสรุปว่าโอกาสเกิดดินถล่มในสภาพธรรมชาติของพื้นที่โครงการมีระดับตั้งแต่ปานกลางลงไป แต่เมื่อมีการตัดถนนหรือตัดลาดชันธรรมชาติ จะส่งผลทำให้โอกาสเกิดดินถล่มในพื้นที่ดังกล่าวสูงขึ้นในระดับสูงถึงสูงมากในทันที

8. สรุป

1. การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชันเพื่อประเมินโอกาสเกิดดินถล่มโดยวิธี Limit equilibrium สามารถใช้สมมุติฐานการพิบัติในลักษณะ Circular Failure ได้หากการผุสลายของหินดิน

กำเนิดทำให้เกิดชั้นดินสะสมตัวหนา ซึ่งในกรณีศึกษานี้พบว่าหินกลุ่ม Diorite มีลักษณะดังกล่าวโดยยืนยันได้ทั้งจากการเจาะสำรวจด้วยสว่านมือจำนวน 57 หลุม การเจาะระดับลึก การเปิดบ่อสำรวจและการทดสอบความต้านทานไฟฟ้า

2. ผลการทดสอบคุณสมบัติดินที่สุ่มจากหินกลุ่ม Diorite พบว่าเป็นดินประเภท CL หรือ CH ที่มีความหนาแน่นต่ำ ($< 1.6 \text{ t/m}^3$) และความชื้นน้ำสูง ($> 10^{-3} \text{ cm/s}$) และนอกจากนั้นยังสามารถสูญเสียความแข็งแรงได้มากเมื่อแช่น้ำ ($\text{SRI} = 1.581$) จึงเป็นดินที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม หากเกิดฝนตกหนัก นอกจากนั้นสิ่งปกคลุมดินสำหรับดินกลุ่มนี้ ยังมีความสำคัญอย่างมากเนื่องจากสามารถลดการไหลซึมของน้ำลงสู่ชั้นดิน ทำให้ลดโอกาสเกิดดินถล่มได้มาก

3. ถึงแม้ดินที่สุ่มจากหินกลุ่ม Diorite จะมีคุณสมบัติดังที่กล่าวในข้อ 2 แต่เนื่องจากดินมีคุณสมบัติด้านความเป็นพลาสติกที่ดี ($\text{PI} = 26.45\text{-}29.26\%$) จึงทำให้การบีบอัดของลาดชันไม่เกิดขึ้นทันทีทันใด แต่จะมีพฤติกรรมการคืบ (Creep) ดังที่ยืนยันได้จากพฤติกรรมการเอียงตัวของดินไม่และผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวโดย Inclinator ในบทความข้างเคียง

4. การประเมินโอกาสเกิดดินถล่มในเชิงพื้นที่โดยวิธีทางวิศวกรรมปฐพี โดยใช้หลักการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดชันเพื่อตรวจสอบค่าอัตราส่วนความปลอดภัยตามองศาความลาดชันต่าง ๆ พบว่าสามารถกระทำได้อย่างเหมาะสมในกรณีศึกษานี้เนื่องจากใช้ความละเอียดของข้อมูลแผนที่ความลาดชัน 1:1,000 อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องของการวิเคราะห์ยังขึ้นอยู่กับสมมุติฐานของแบบจำลองเสถียรภาพที่ถูกต้องตามลักษณะพื้นที่จริง ดังเช่น ในกรณีการศึกษานี้ พื้นที่ร่องน้ำและพื้นที่การตัดถนนจะได้ค่าโอกาสเกิดดินถล่มไม่ตรงกับผลการวิเคราะห์เนื่องจากพื้นที่ร่องน้ำมีลักษณะลาดชันเป็นมวลของหิน ในขณะที่แบบจำลองเป็นดิน สำหรับพื้นที่การตัดถนนนั้นเป็นการปรับเปลี่ยนความชันไปจากธรรมชาติ ทำให้ไม่ตรงกับข้อมูลแผนที่ 1:1,000 ที่ใช้ในการวิเคราะห์

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ กรมทรัพยากรธรณี โครงการศึกษาความเสถียรของลาดชันในพื้นที่โครงการพัฒนาคอยดูฯ ที่ให้ความช่วยเหลือเงินสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณโครงการพัฒนาคอยดูฯ ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานในพื้นที่



และร่วมกันดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ และขอขอบคุณ กรมชลประทานที่เอื้อเฟื้อแผนที่ลักษณะภูมิประเทศโครงการพัฒนาคอยดุงฯ มาตรฐาน 1:1,000

10. บรรณานุกรม

- [1] กรมชลประทาน. 2531, การสำรวจทางธรณีพื้นที่โครงการพัฒนาคอยดุง. กองสำรวจภูมิประเทศ กรมชลประทาน.
- [2] กรมทรัพยากรธรณี. 2533, แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย 1:50,000 ราว 4949 I, พื้นที่โครงการพัฒนาคอยดุง จังหวัดเชียงราย. กรุงเทพฯ.
- [3] ปริญญ์ พุทธภักดิ์ และ จลองรัฐ ยะอนันต์. 2532, ธรณีวิทยาและสิ่งแวดล้อมบริเวณโครงการพัฒนาคอยดุง จังหวัดเชียงราย, กองธรณีวิทยา, กรุงเทพฯ.
- [4] Streckeisen. 1976, To each plutonic rock its proper name, Earth and Planetary Science Letters, v.12, p.1-33.
- [5] กรมทรัพยากรธรณี. 2550, รายงานการสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า พื้นที่โครงการพัฒนาคอยดุง จังหวัดเชียงราย, กรมทรัพยากรธรณี, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ
- [6] วรากร และ นงลักษณ์, 2546, คุณสมบัติดินทางวิศวกรรมเพื่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินในพื้นที่ลุ่มน้ำน้ำก้อ ค.น้ำก้อ อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์
- [7] วรากร และ บรรพต, 2548, การศึกษาพฤติกรรมการบีบตัวของลาดดินในพื้นที่ดินน้ำของลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำจันทบุรี, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์
- [8] Suttisak and Bunpoat, 2006, Landslide Risk Prioritization of Tsunami Affected Area in Thailand, Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Engineering. 6-9 December 2006, Manila Philippin.
- [9] Varnes, D.J. 1978. Slope Movement Types and Processes, pp. 11-33. Schuster R.L. and Krizek R.J. (eds.). Landslides analysis and control. Transportation Special Report No 176. National Academy of Sciences, Washington D.C.
- [10] วรากร ไม่วิ่ง. 2542. วิศวกรรมเขื่อนดิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. ไบรารี นายน พับลิชชิ่ง, กรุงเทพฯ.
- [11] Brand E.W. 1984. Geotechnical manual for slopes. Geotechnical Contral Office Empire Centre, 6th floor, East Tsimshatsui, Kowloon, Hong Kong.
- [12] Trenter N.A. 2001. Earthworks: a guide. Thomas Telford Publishing, Thomas Telford Limited, 1 Heron Quay, London.