

การวิเคราะห์สาเหตุการวิบัติเชิงลาด และแนวทางการปรับปรุงแก้ไข:
กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 1194 ตอน แม่สะเรียง – แม่สามแลบ ที่ กม. 21+150

Study on Slope Failure of Highway Embankment No.1194

Mae Sariang - Mae Saplaep Route sta. 21+150

ปรเมธี เดชปะตังเวสา (Poramethee Dechpatungwesa)* โกมิณชัย ชัยรัตนงานเดช (Gomim Chairatanangamdaj)*

ดร.พงศกร พวงชมพู (Dr.Pongsagorn Pongchompu)^{1**}

(Received: January 16, 2019; Revised: March 16, 2019; Accepted: March 21, 2019)

บทคัดย่อ

ลาดดินคันทางบริเวณเขตพื้นที่ภูเขาสูง มักจะพบปัญหาการวิบัติเชิงลาดซึ่งมีผลกระทบอย่างมากต่อผู้ใช้ถนน งานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาเสถียรภาพของลาดดินในบริเวณคันทางในทางหลวงหมายเลข 1194 ตอน แม่สะเรียง – แม่สามแลบ ในจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยการเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนของดิน ในสภาวะดินความชื้นปกติและดินความชื้นสูง ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้หลักการสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium) พบว่า ลาดดินคันทางในความชื้นปกติอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย แต่ถ้าเกิดแรงแผ่นดินไหวลาดดินคันทางที่มีความชื้นสูงอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ปลอดภัย และเมื่อพิจารณาปัจจัยของน้ำที่ปลายลาดคันทางที่กัดเซาะลาดดินพบว่า ลาดดินจะถูกการกัดเซาะบริเวณปลายลาดคันทางค่อยๆกัดเซาะที่ระดับดินก่อนแล้วขยายการวิบัติจนถึงชั้นผิวทาง ผลการศึกษาพบว่าการสูญเสียเสถียรภาพลาดดินคันทางพื้นที่ดังกล่าว เกิดจากปริมาณความชื้นในดินสูงร่วมกับการกัดเซาะจากน้ำบริเวณปลายลาดคันทาง

ABSTRACT

Highway embankment constructed on slope area or the hill slope usually face problem in stability that can have great impact on road users. The article present the study of the stability of the embankment of Highway No. 1194 from Mae Sariang to Mae Samlap in Mae Hong Son Province by collecting the soil sample to test its'shear strength in normal moisture content and in high moisture content. The Limit Equilibrium method was used in the analysis. The result shows that the embankment having normal moisture content is under a safe condition. However, the embankment with high moisture content would be unsafe if there were an earthquake. When the water factor at the toe of embankment where erosion takes place was taken into account, the slope was found to be eroded gradually at the shallow embankment toe. The erosion then expands along with slides up to the surface layer. The study demonstrates that loss of stability of the embankment in the area happens from high moisture content in the soil and erosion by water at the embankment toe.

คำสำคัญ: การวิบัติของลาดดิน การกัดเซาะ วิธีสมดุลจำกัด

Keywords: Slides of embankment, Erosion, Limit equilibrium method

¹Correspondent author: ppoungchompu@gmail.com

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น



บทนำ

ปัญหาการสูญเสียเสถียรภาพของลาดดินคันทางของถนนที่ก่อสร้างผ่านเนินเขาสลับกับพื้นที่ลาดเชิงเขาจากองค์ประกอบของลักษณะภูมิประเทศที่มีความลาดชันสูงแนวลาดคันทาง (Side Slope) ของถนนที่ก่อสร้างอาจเปลี่ยนไปจากการกัดเซาะน้ำ [1] การกัดเซาะพัฒนาเม็ดดินโดยน้ำเกิดขึ้นเมื่อแรงดึงที่เกิดจากการไหลของน้ำที่กระทำกับเม็ดดิน น้ำที่ไหลผ่านบริเวณปลายลาดคันทางเกิดการกัดเซาะที่ฐานล่างของลาดดิน [2] จะทำให้อัตราส่วนความปลอดภัยลดลงซึ่งแนวลาดคันทางที่เปลี่ยนไปมีผลต่อเสถียรภาพคันทาง [3] การกัดเซาะผิวดินจากลมและน้ำในทางหลวงหมายเลข 1194 ตอน แม่สะเรียง – บ้านแม่สามแลบ กม.21+150 - กม.21+350 ตรวจพบการวิบัติบริเวณด้านไหล่ทางขนานกับแนวลาดคันทาง บริเวณที่เกิดการวิบัติตรวจพบการไหลของน้ำบริเวณปลายลาดคันทางเมื่อถูกน้ำกัดเซาะพัฒนาเป็นระยะเวลานานจนเปลี่ยนแนวไปเป็น 1:1 ซึ่งมีความลาดชันเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้เสถียรภาพคันทางลดต่ำลงลาดคันทางจะสูญเสียเสถียรภาพ บทความนี้นำเสนอ การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินคันทาง ช่วงบริเวณดังกล่าวโดยพิจารณาลาดดินคันทางในสภาวะความชื้นปกติและสภาวะความชื้นสูง เพื่อหาสาเหตุการสูญเสียเสถียรภาพของลาดคันทางที่เกิดขึ้น ทำให้รู้ถึงต้นเหตุของการวิบัตินำไปสู่การซ่อมบำรุงที่เหมาะสมและเป็นแนวทางในการป้องกัน การวิบัติในพื้นที่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

ทฤษฎีลักษณะการวิบัติของลาดดิน

อธิบายลักษณะการวิบัติของลาดดินแบบทรุดตัวและไหลลงของพื้นดิน (Slump-Earth flow) ดังภาพที่ 4 [4] เป็นลักษณะการเลื่อนตัวแบบหมุน (Rotational slides) การวิบัติในลักษณะดังกล่าวมีส่วนประกอบที่สำคัญประกอบด้วย ผาชัน (Scarp) รอยแตกผิวดิน (Tension cracks) ผิวพิบัติการเลื่อน (Surface of rupture) และส่วนฐานล่าง (Toe) เป็นต้น ปกติความลาดตามธรรมชาติจะปรับสภาพเพิ่มให้เกิดสมดุลด้วยตัวเองอยู่แล้วหากไม่มีแรงกระทำจากภายนอกหรือมีปัจจัยที่ทำให้กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลดลง ก็จะไม่เกิดวิบัติขึ้น รูปแบบการวิบัติของเชิงลาดที่พบโดยทั่วไปมีหลายรูปแบบ แบ่งเป็น 3 รูปแบบใหญ่ ดังภาพที่ 5 [5] การเกิดการกัดเซาะพัฒนาเม็ดดิน โดยน้ำเกิดขึ้นเมื่อแรงดึงที่เกิดจากการไหลของน้ำที่กระทำกับอนุภาคเม็ดดิน (Drag Force) มีค่ามากกว่าแรงต้านของเม็ดดิน (แรงเชื่อมแน่น แรงเสียดทาน) ดังภาพที่ 6 [1]



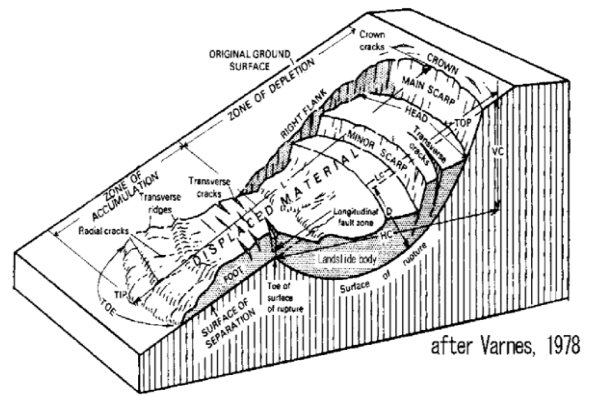
ภาพที่ 1 แผนที่เส้นทางสถานที่ทำวิจัย



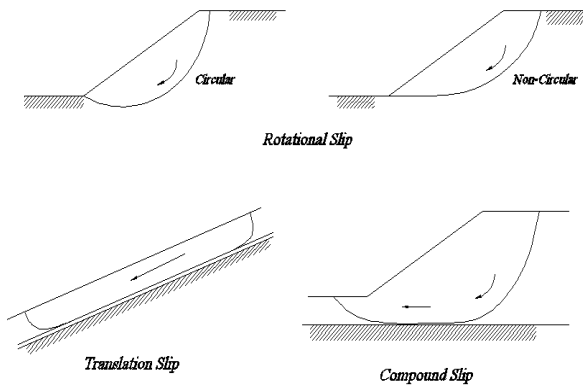
ภาพที่ 2 แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสถานที่ทำวิจัย



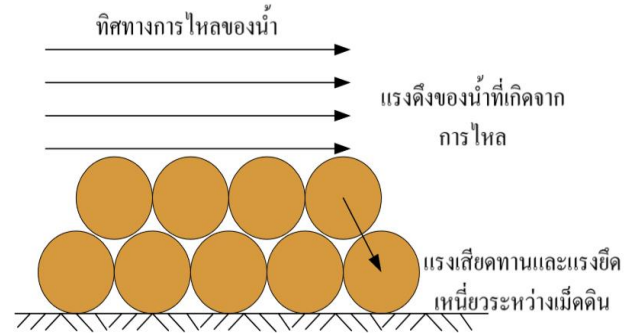
ภาพที่ 3 ลักษณะการวิบัติของลาดคันทาง



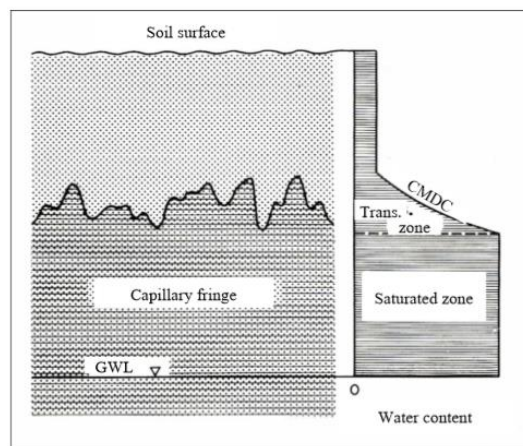
ภาพที่ 4 Block Diagram of idealized Landslide Model [4]



ภาพที่ 5 รูปแบบการวิบัติของลาดดิน [5]



ภาพที่ 6 แสดงแรงต่างๆที่กระทำกับอนุภาคเม็ดดิน [1]



ภาพที่ 7 โศงการกระจายตัวความชื้นเหนือระดับน้ำใต้ดิน [8]



วัตถุประสงค์การวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ ศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการวิบัติของเชิงลาดคันทาง ทางหลวงหมายเลข 1194 ตอน แม่สะเรียง – แม่สามแลบ ที่ กม. 21+150

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยได้แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1. สักรวและเก็บตัวอย่างดินหลุมทดสอบ (Test Pit) ที่เป็นดินเดิมในเชิงลาดพื้นที่มาทดสอบทางกายภาพพบว่า ชั้นดินบริเวณดังกล่าวเป็นดินชนิดเดียวกันตามชั้นความสูงของลาดดินแล้วนำดินไปทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐาน Standard Compaction test

2. การทดสอบคุณสมบัติของดิน การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อหาตัวแปรของดิน ใช้วิธีการทดสอบการเฉือนโดยตรง (Direct shear test) โดยทำการทดสอบตัวอย่างดินในสองสภาวะคือ สภาวะปกติคือดินที่มีลักษณะความชื้นตามธรรมชาติขณะทำการเก็บตัวอย่างดิน โดยการเตรียมตัวอย่างทดสอบโดยบดอัดให้ได้ความหนาแน่นที่ 80 % Standard compaction สภาวะการทดสอบเป็นแบบระบายน้ำ อัตราเร็วในการเฉือนตัวอย่าง 0.02 มิลลิเมตรต่อวินาที จำนวน 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 62.9 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2 เส้นผ่าศูนย์กลาง 63.4 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 3 เส้นผ่าศูนย์กลาง 63.4 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร และสภาวะวิกฤติคือดินที่มีลักษณะชุ่มน้ำ โดยการเตรียมตัวอย่างทดสอบโดยบดอัดให้ได้ความหนาแน่นที่ 80 % Standard compaction สภาวะการทดสอบเป็นแบบระบายน้ำ อัตราเร็วในการเฉือนตัวอย่าง 0.02 มิลลิเมตรต่อวินาที จำนวน 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 63.1 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2 เส้นผ่าศูนย์กลาง 63.4 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 3 เส้นผ่าศูนย์กลาง 63.1 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร แล้วจึงทำการเฉือนตัวอย่างดิน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของดินที่ความชื้นปกติ

ลำดับ	ชนิดดิน	หน่วยน้ำหนักดิน (ตัน/ลบ.ม.)	แรงยึดเหนี่ยว ระหว่างเม็ดดิน (ตัน/ตร.ม.)	มุมเสียดทาน ภายใน (องศา)	ปริมาณความชื้น (%)
TP-1	Gravel Sand Clay	1.93	2.38	31.17	11.78
TP-2	Gravel Sand Clay	1.60	5.22	28.07	21.13
TP-3	Gravel Sand Clay	1.88	4.74	27.02	12.66

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของดินที่ความชื้นสูง

ลำดับ	ชนิดดิน	หน่วยน้ำหนักดิน (ตัน/ลบ.ม.)	แรงยึดเหนี่ยว ระหว่างเม็ดดิน (ตัน/ตร.ม.)	มุมเสียดทาน ภายใน (องศา)	ปริมาณความชื้น (%)
TP-1	Gravel Sand Clay	1.93	0.60	33.62	12.26
TP-2	Gravel Sand Clay	1.62	3.48	32.06	20.78
TP-3	Gravel Sand Clay	1.88	1.65	32.43	13.06

3. พิจารณาปัจจัยหลักที่มีผลให้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพของลาดคันทาง

3.1 ภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงชัน การวิบัติโดยทั่วไปพบว่า เมื่อความลาดชันเพิ่มสูงขึ้นจะมีแนวโน้มการพังทลายมากขึ้นโดยปกติถนน ที่มีคันทางสูงจะมีความลาดเอียงของคันทาง (Side Slope) ที่ 1:1.5 (ระยะตั้ง : ระยะราบ)

3.2 สภาพภูมิอากาศในพื้นที่ ปริมาณน้ำฝนที่มาก เป็นตัวการสำคัญที่ไปลดแรงต้านทานการเลื่อนไถลของมวลดิน กำลังรับแรงเฉือนที่ลดลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้น พบว่าค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (Cohesion) จะมีค่าลดลงเมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้น [6] หลังจากฝนตกและน้ำส่วนหนึ่งระบายออกไปจากมวลดินแล้วมวลดินนั้นจะยังคงเป็นมวลดินที่มีความชื้นอยู่ต่อไปอีกระยะหนึ่ง แคพิลลารีตี (Capillarity) เป็นแรงดึงน้ำซึ่งเกิดจากแรงตึงผิวของน้ำที่เป็นผลรวมระหว่างความเชื่อมแน่น (Cohesion) ของน้ำและการประสาน (Adhesion) ระหว่างน้ำกับผิวของอนุภาคดิน [7] กระบวนการคาพิลลารี ในดินเกิดขึ้นเหนือระดับน้ำใต้ดิน เป็นปรากฏการณ์ที่รู้จักกันเป็นอย่างดี โดยอธิบายในรูปโค้งการกระจายตัวของความชื้น เรียกว่า Capillary moisture distribution curve [8]

3.3 ลักษณะทางธรณีวิทยา คุณสมบัติของดิน ดินที่มีแรงยึดเหนี่ยวภายใน (Cohesion c) และมุมเสียดทานภายใน (Internal Angle Friction, ϕ) มีค่ามากมวลดินจะมีค่ากำลังต้านทานแรงเฉือน (Shear Strength T) มากด้วย ตามสมการ $T = c + \sigma \tan \phi$ ของ Mohr and Coulomb for Highway Bridges [9] ให้พิจารณา H-20-44 และ HS-20-44 มาใช้ในการออกแบบสำหรับ รถบรรทุกพ่วงเดี่ยวและพ่วงคู่ตามลำดับ โดยให้น้ำหนักกึ่งพ่วง (Axle Load) เท่ากับ 3200 lbs และเทียบเท่า Uniform Load = 640 lbs/ft of Load Lane หรือมีค่า $w = 0.95$ ตัน /ตร.ม. (ใช้ 1 ตัน /ตร.ม.)

3.4 แรงกระทำภายนอก น้ำหนักจากยานพาหนะที่ถ่ายลงบนผิวทาง เป็นส่วนที่ไปเพิ่มแรงที่พยายามทำให้ดินเกิดการเลื่อนไถลลง โดยใช้น้ำหนักตามข้อแนะนำของ Standard Truck and Lane Loads ตาม AASHTO : Standard Specification

3.5 แรงจากแผ่นดินไหว แรงที่เกิดขึ้นจะไปเพิ่มแรงการเคลื่อนที่ให้กับมวลดินรวมทั้งการสั่นสะเทือนมีผลให้แรงดันน้ำในช่องว่างของ เม็ดดินเพิ่มขึ้น ซึ่งไปลดค่าแรงยึดเหนี่ยวของดินเม็ดดินลง ส่งผลให้กำลังต้านทานแรงเฉือนของดินลดลง โดยใช้ค่าแรงสั่นสะเทือนจาก แผ่นดินไหวที่มีผลต่อเสถียรภาพเชิงลาดจากแผนที่ระดับอันตรายจาก แผ่นดินไหวสำหรับค่าความเร่งสูงสุดของพื้นดินที่มีโอกาสเกินค่าที่กำหนด 10% ในรอบ 50 ปี [10] และพารามิเตอร์ที่จะนำไปใช้ในการ วิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด ตามค่า Ground Acceleration (GA) ซึ่งมี ค่าประมาณ 0.5 เท่าของค่า PGA [11]

3.6 การกัดเซาะ ชนิดของดินรวมทั้งชนิดของพืชคลุมดินมีผลต่อการถูกกัดเซาะของหน้าดิน และมีการไหลผ่านของน้ำบริเวณปลายลาดคันทางน้ำจึงกัดเซาะเป็นระยะเวลานานก็ จะทำให้เกิดร่องลึก (Gully) มีอำนาจการทำลายมากขึ้น จากการวัดปริมาณดินที่ถูกกัดเซาะในระยะเวลาหนึ่งชั่วโมง พบว่าลาดดินที่ปราศจากวัสดุหรือพืชปกคลุม มีอัตราการถูก กัดเซาะสูง รวมทั้งลาดดินที่มีความชันมากก็ส่งผลให้มีการกัดเซาะมากตามไปด้วย [3]

ในการทดสอบการเฉือน โดยตรงไม่สามารถทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวเหมือนการทดสอบสามแกน (Triaxial Test) ได้แต่สามารถทำให้ดินมีความชื้นมากที่สุดโดยการแช่ตัวอย่างในน้ำเมื่อบรรจุตัวอย่างดินไว้ในกล่องเฉือน (Shear box) แล้ว [12] เป็นระยะเวลานานที่น้ำซึมเข้าในตัวอย่างดินได้มากที่สุด ก่อนทำการเฉือนตัวอย่างดิน ทั้งนี้ กระบวนการแช่น้ำ (Soaking) ดังกล่าว เพื่อเป็นการจำลองสภาวะของดิน

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

ในกรณีดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil) จะมีความสัมพันธ์ของผลต่าง ระหว่างแรงดันของน้ำและแรงดันของอากาศ หรือที่เรียกว่า แรงดูดเมทริกซ์ (Matric suction) เข้ามาเกี่ยวข้องกับค่าแรงยึดเหนี่ยวกล่าวคือ



ยิ่งค่าแรงดันน้ำน้อย ยิ่งทำให้แรงคูดเมตริกซ์มากขึ้น เป็นผลให้ค่าแรงยึดเหนี่ยวมากขึ้น จึงเป็นเหตุผลที่ว่าลาดดินยังคงเสถียรภาพอยู่ได้ในสภาวะความชื้นปกติแต่ก็เกิดการวิบัติในสภาวะลาดดินมีความชื้นมากหรือแรงดันน้ำมากขึ้น [13]

จากผลการทดสอบ เห็นได้ว่าสภาวะดินความชื้นปกติและสภาวะดินชุ่มน้ำ ตัวแปรกำลังที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนคือ ค่าแรงยึดเหนี่ยว (C) โดยในตัวอย่างดินชุ่มน้ำจะมีค่าลดน้อยลงกว่าตัวอย่างดินความชื้นปกติมาก เพราะปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นได้เข้าไปทำลายแรงดึงดูดของน้ำและอากาศหรือแรงคูดระหว่างเม็ดดินและช่วยเพิ่มความหล่อลื่นของเม็ดดินทำให้แรงยึดเหนี่ยวในดินชุ่มน้ำลดลง

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาหาสาเหตุของการสูญเสีย เสถียรภาพของลาดคันทาง โดยปกติใช้หลักการสมดุลจำกัดของมวลดิน (Limit Equilibrium) [14] อธิบายว่าวิธีสมดุลจำกัด มวลดิน มีสมมุติฐานว่า ณ ช่วงเวลาที่เกิดการเคลื่อนพังพวดิ ในขณะนั้นมวลดินอยู่ในสภาวะสมดุล การวิเคราะห์เริ่มต้นด้วยการสมมุติ รูปแบบลักษณะของผิวการเคลื่อนพัง ว่าเป็นรูปแบบใด เช่นวงกลม เส้นตรง หรือรูปหลายเหลี่ยม ฯลฯ แล้วทำการคำนวณแรงต้านทานที่เพียงพอทำให้เกิดความสมดุลของมวลดินที่วิบัติ หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างกำลังของดิน ต่อหน่วยแรงต้านทานขณะสมดุล ซึ่งเรียกว่า อัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety F.S.) แล้วทำการทดลองหาค่าของอัตราส่วนความปลอดภัย โดยการ เปลี่ยนลักษณะหรือตำแหน่งของผิวการเคลื่อนพัง ที่น่าจะมีโอกาส เกิดขึ้นไปเรื่อยๆ จนพบค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่น้อยที่สุด อัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.) เขียนในรูปสมการที่ 1 ได้ดังนี้

$$FS = \frac{\text{Shear Strength}}{\text{Shear Stress}} \quad (1)$$

เมื่อ Shear Strength = กำลังรับแรงเฉือนของดินที่จุดพิจารณา

Shear Stress = แรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่จุดพิจารณา

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดคัน จะพิจารณาตามรูปแบบจำลองของคันทางในลักษณะต่างๆ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของดินในสภาวะความชื้นปกติและดินในสภาวะความชื้นสูง และจากปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อเสถียรภาพของลาดคันทางเปรียบเทียบความปลอดภัยของลาดคันทาง จากค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่วิเคราะห์ได้คำแนะนำเกี่ยวกับสัดส่วนความปลอดภัยในการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด [15] ดังแสดงตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความปลอดภัยในการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด

	F.S.
สำหรับสภาวะน้ำหนักบรรทุกถาวร	ไม่น้อยกว่า 1.5
สำหรับสภาวะน้ำหนักชั่วคราว	ไม่น้อยกว่า 1.3 หรือ 1.25
สำหรับการวิเคราะห์แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว	ไม่น้อยกว่า 1.2 หรือ 1.15

ผลการวิจัย

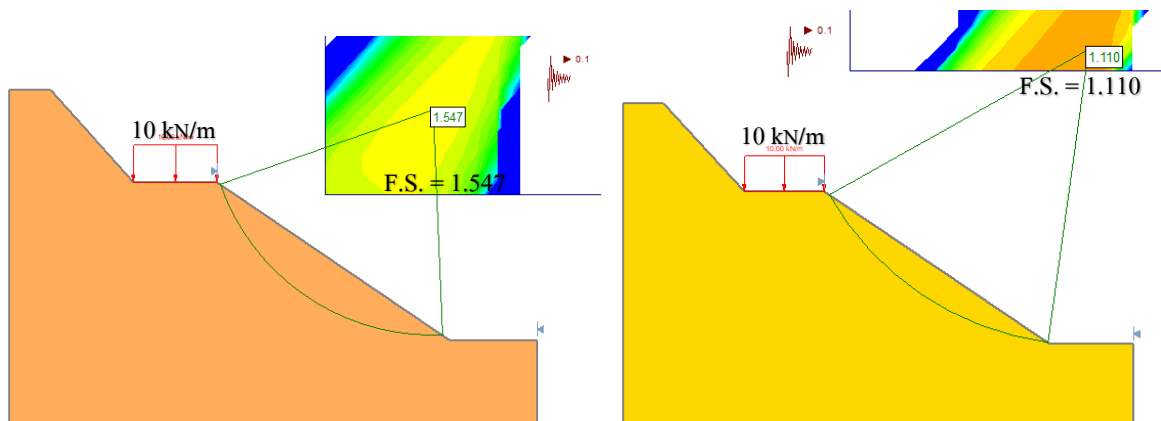
ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

1. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินคันทางโดยโปรแกรม Slide และใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นปกติและดินมีความชื้นสูง โดยใช้แบบจำลองคันทางที่มีระยะลาดเอียง 1 : 1.5 ในสภาวะที่มีน้ำหนักจากยานพาหนะ

ร่วมกับแรงจากแผ่นดินไหว พบว่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความชันปกติเท่ากับ 1.547 และอัตราส่วนความปลอดภัยของดินมีความชันสูงเท่ากับ 1.110 แสดงดังภาพที่ 8 และภาพที่ 9 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่มีความชันปกติ สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แต่อัตราส่วนความปลอดภัยของดินมีความชันสูงต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แสดงว่าลาดดินคันทางจะวิบัติโดยคุณสมบัติของดินที่มีความชันสูง

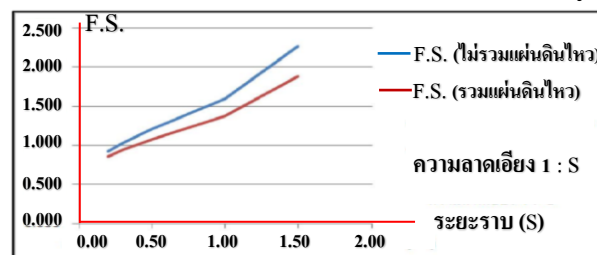
2. วิเคราะห์ข้อมูลโดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพลาดคันทาง จากปัจจัยสภาพภูมิอากาศในพื้นที่มีปริมาณน้ำฝนมากและมีน้ำไหลผ่านบริเวณปลายลาดคันทาง มีผลทำให้น้ำฝนไปเพิ่มระดับน้ำใต้ดินร่วมกับค่าพิวลาไร [16] ที่เพิ่มขึ้นทั้งปัจจัยการกัดเซาะของน้ำที่ปลายลาดคันทางจนลาดคันทางเปลี่ยนแนวได้ การวิเคราะห์จะพิจารณาเฉพาะดินที่มีสภาวะความชันสูง เนื่องจากดินอยู่ในสถานะที่มีกำลังต้านทานน้อยกว่าดินที่มีสภาวะความชันปกติ

จากกราฟ ภาพที่ 10 จะพบว่าแนวลาดเอียงที่มีความลาดชัน (Slope) เพิ่มขึ้น (ค่า S ลดลง) ส่งผลต่อเสถียรภาพลาดคันทางที่ต่ำลงอย่างชัดเจน [17] เมื่อลาดคันทางถูกกัดเซาะจากน้ำและลม เป็นเวลานานๆ จนลาดคันทางมีความลาดชันมากขึ้นเรื่อยๆ พบว่าการฉีกความลาดชันมีสัดส่วน ระยะเวลาต่อระยะตั้งน้อยกว่า 1 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะอยู่ระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์ และเมื่อระยะเวลาต่อระยะตั้งน้อยกว่า 0.30 ลาดดินคันทางจะเกิดการวิบัติได้จากค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยกว่า 1 แสดงดังภาพที่ 11 ซึ่งมีความเป็นไปได้ จากภาพที่ 12 เมื่อลาดดินถูกการกัดเซาะที่ฐานปลายลาดคันทางจนถึงจุดที่ลาดดินคันทางวิบัติในดินระดับต้น แต่การกัดเซาะยังเกิดขึ้นไม่หยุด ลาดคันทางก็จะค่อยๆ วิบัติเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งการวิบัติของลาดคันทางมาถึงระดับผิวทาง แสดงดังภาพที่ 12 – ภาพที่ 17

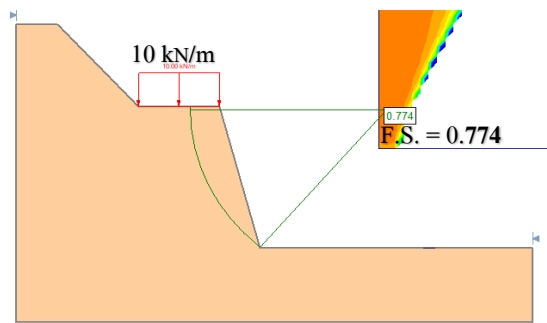


ภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์ลาดคันทาง 1:1.5 ของดินความชันปกติ

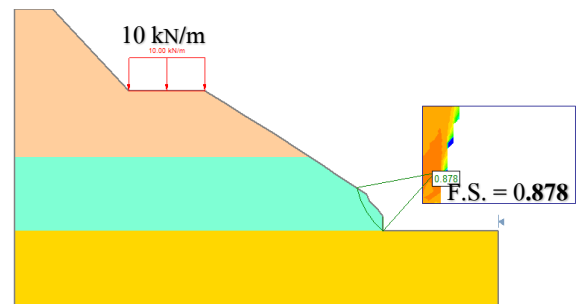
ภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์ลาดคันทาง 1:1.5 ของดินความชันสูง



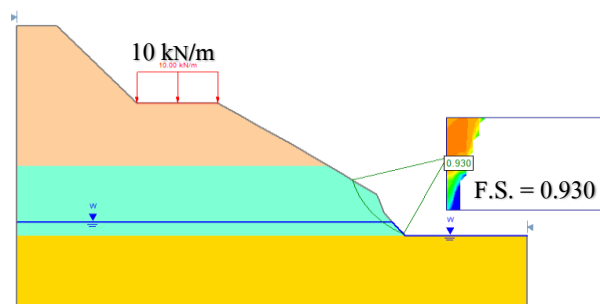
ภาพที่ 10 ค่า F.S. ที่ได้จากค่าแนวลาดเอียงที่ต่างกัน [17]



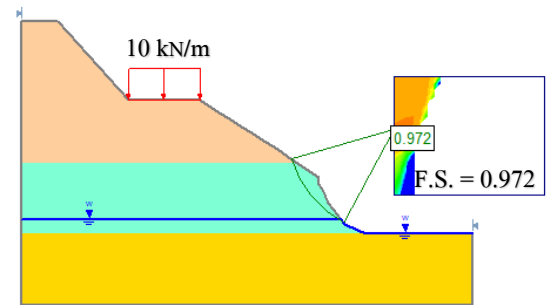
ภาพที่ 11 แสดงลาดคันทางที่มีความชัน เพิ่มขึ้นจนเกิดการวิบัติ



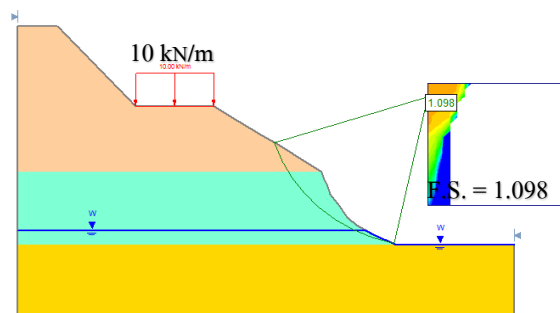
ภาพที่ 12 ลาดคันทางที่เกิดการกัดเซาะที่ฐาน



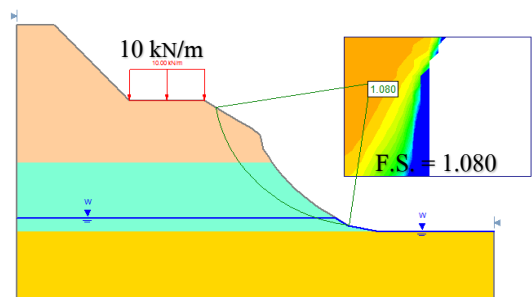
ภาพที่ 13 ลาดคันทางเกิดการวิบัติต่อเนื่องจากการกัดเซาะ



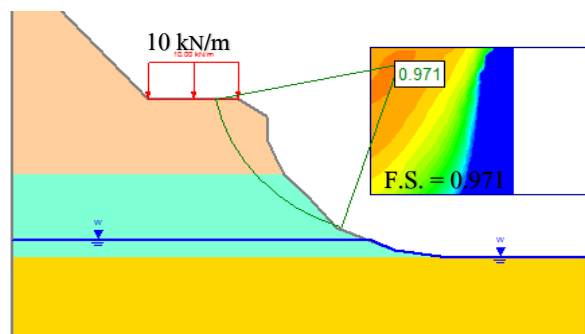
ภาพที่ 14 ลาดคันทางเกิดการวิบัติต่อเนื่องจากการกัดเซาะ



ภาพที่ 15 ลาดคันทางเกิดการวิบัติต่อเนื่องจากการกัดเซาะ



ภาพที่ 16 ลาดคันทางเกิดการวิบัติต่อเนื่องจากการกัดเซาะ



ภาพที่ 17 การวิบัติขยายขอบเขตจนถึงชั้นผิวทาง

แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

การดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเชิงลาด บริเวณทางหลวงหมายเลข 1194 ตอน แม่สะเรียง – แม่สามแลบ ที่ กม. 21+150 ซึ่งสาเหตุมาจากการกัดเซาะ ตามคู่มือการแก้ปัญหาเชิงลาดของกรมทางหลวง [18] แบ่งได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

1. Gabion และ Mattress

Gabion Wall เป็นโครงสร้างลาดตาข่ายประกอบเป็นกล่องที่มีประสิทธิภาพอย่างยิ่งในการ ป้องกันการกัดเซาะ บริเวณริมน้ำ และยังทำหน้าที่เสมือนกำแพงกันดินได้ในเวลาเดียวกัน แสดงภาพที่ 18 Mattress เป็นโครงสร้างลาดตาข่ายประกอบเป็นกล่องเช่นเดียวกับ Gabion Wall ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะผิวหน้าเชิงลาดแต่ขนาดช่องเปิดเล็กกว่า (ขนาดช่องเปิดประมาณ 60 มิลลิเมตร) แสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 18 การใช้ Gabion ป้องกันการกัดเซาะของน้ำบริเวณปลายเชิงลาดคันทาง [18]



ภาพที่ 19 การใช้ Mattress ป้องกันการกัดเซาะบริเวณเชิงลาดและริมน้ำ [18]



2. หินเรียงยาแนว/หินทิ้ง

หินเรียงยาแนว (Rip-Rap Protection) เป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับป้องกันน้ำกัดเซาะโดยใช้หินก้อนขนาดกลางถึงใหญ่เชื่อมประสานให้เป็นแผ่นด้วยซีเมนต์-ทราย(Mortar) บริเวณผิวหน้าเชิงลาด แสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 การใช้หินเรียงยาแนว ป้องกันการกัดเซาะบริเวณเชิงลาด [18]

3. คอนกรีตลาด

คอนกรีตลาด (Concrete Revetment) เป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับป้องกันน้ำกัดเซาะโดยใช้วิธีการลาดผิวหน้าเชิงลาดด้วยคอนกรีต แสดงดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การใช้คอนกรีตลาด ป้องกันการกัดเซาะบริเวณเชิงลาด [18]

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการสูญเสียเสถียรภาพลาดดินคันทาง ในทางหลวงหมายเลข 1194 ตอน แม่สะเรียง – แม่สามแลบ ที่ กม.21+150 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อเสถียรภาพของลาดดินก็คือ น้ำ แต่จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของ

ดินที่ความชื้นปกติ ลาดดินคันทางมีเสถียรภาพอยู่ได้ ดังนั้นต้องมีปัจจัยอื่นที่ลดทอนเสถียรภาพของลาดดินลง พิจารณาจากพื้นที่ลักษณะการวิบัติและปัจจัยอื่น ๆ พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากไปเพิ่มระดับน้ำใต้ดินรวมกับค่าพิวลารีเพิ่มขึ้น ทำให้ดินมีความชื้นสูง ทำให้เสถียรภาพของดินต่ำกำลังรับแรงเฉือนของดินลดลง ผนวกกับการไหลของน้ำบริเวณปลายลาดคันทางที่เกิดการกัดเซาะจนลูกกลมค่อยๆ วิบัติเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับผิวทาง ทำให้ลาดคันทางสูญเสียเสถียรภาพ แนวทางการปรับปรุงแก้ไขจะพิจารณาจากสาเหตุของการกัดเซาะ เช่น วิธี Gabion และ Mattress เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ หัวหน้าหมวดทางหลวงแม่สะเรียง ที่ให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการวิจัย และขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Gray DH, Sotir RB. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization A Practical Guide for Erosion Control. John Wiley & Sons. 1996.
2. Price T. Warwick University AvailableSource:<http://fbe.vwc.uk/pubric/geocal/Slope/Slopes>. Html as retrieved on 3 Oct 2006.
3. Voottipruex P, Maneejaruan J, Inthapichai S, Teerawattanasuk C, Modmoltin C. The Prevention of soil Erosion Using a Combination of Natural Fiber with Vetiver and Ruzi Grass. The Journal of KMUTNB, Vol 23, No.2 May-Aug, 2013, Thai.
4. Varnes DJ. Slope Movement Types and Processes. In R.L. Schuster and R.J. Krizek (eds.). Landslide Analysis and Control. Transport Special Report No 176. National. 1978.
5. Horpibulsuk S. Foundation engineering Institute of Engineering Suranaree University of Technology. 2012.
6. Soralump S, Thowiwat W, Mairaing W. Shear Strength Testing of Soil using For Warning of Heavy Rainfall-Induced Landslide. The 12 National Convention on Civil Engineering 2-4 May 2006, Phitsanulok, Thai.
7. Jotisankasa A. Importance of Unsaturated Soil Mechanics In Geotechnical Engineering In Thailand. Kasetsart University, 2006.
8. Shingo I, Toshio T, Benno PW. Soil water interactions mechanisms and applications. 1988.
9. AASHTO: Standard Specification for Highway Bridges. American Association of State Highway and Transportation Officials. 1973.
10. Korkitsuntornsan W, Teachavorasinskun S. Seismic Hazard Analysis of Thailand. The 21 National Convention on Civil Engineering June 28-30 June 2016, Songkhla, Thai.
11. Mary E, Hynes-Griffin, Arley G. Franklin Geotechnical Laboratory Department of The Army Waterways Experiment Station, Corps of Engineers PO Box 631 Vicksburg, Mississippi. 1984.
12. Abramson LW, Lee TS, Sharma s, Boyce GM. Slope Stability and Satabilization Method. John Wielely & Sons. U.S.A. 2001.
13. Fredlund DG, Rahardjo H. Soil Mechanics for Unsaturated Soils. John Wiley & Sons. New York. 1993.



14. Mairaing W. Earth Fill Dams. civil Engineering. Kasetsart University 1998. Thai.
15. NAVFAC Design Manual 7.10 Soil Mechanic. Department of The Naval Facilities Engineering Command.
Chapter 7 Slope Stability and Protection. 1986.
16. Tunseng P. Soil Mechanics . Institute of Engineering Suranaree University of Technology. 2011.
17. Mooltatong C, Chairatanangamdej G, Pongchoompu P. Study on Slope Failure of Highway Embank
No.1349, Samoeng-Wat Chan Route. The 22 National Convention on Civil Engineering 18-20 July 2017
Nakhon Ratchasima, Thai.
18. Department of Highways. Guide to correcting and operating the erosion and slope of the slope Bureau of Road
Research and Development, Department of Highways, ministry of transport, Thailand; 2008.Thai.