

การวิเคราะห์สาเหตุการวิบัติเชิงลาดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และแนวทางการปรับปรุงแก้ไข กรณีศึกษาทาง
หลวงชนบท สาย อด.4013 ช่วง กม.12+850 - กม.13+150 ระหว่างบ้านนาคำน้อยและบ้านท่าตูม
Slope Failure Causes and Remediation Approaches: A case study of Rural Road Udon
Thani 4013 Km.12+850 – Km.13+150 Section between Ban Na kum Noy and BaanTah
Toom Using Finite Element Method with Plaxis 2D Program

อนุชน บุซดี (Anuchon Bussadee)^{1*} ดร.พงศกร พวงชมพู (Dr.Pongsagorn Pongchompu)^{**}

(Received: January 5, 2024; Revised: March 19, 2024; Accepted: March 20, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสาเหตุของการวิบัติของเชิงลาดและแนวทางการปรับปรุงแก้ไข โดยใช้กรณีศึกษาทางหลวงชนบท สาย อด. 4013 ช่วง กม.12+850 - กม.13+150 ระหว่างบ้านนาคำน้อยและบ้านท่าตูม โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ด้วยโปรแกรม Plaxis 2D ผลการศึกษาพบว่า เมื่อสภาวะปกติเสถียรภาพเชิงลาดอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย แต่เมื่อมีกระแสน้ำจากแม่น้ำที่ไหลเปลี่ยนทิศทางเข้ากระทบสู่เชิงลาดที่ไม่มีการป้องกัน ทำให้เกิดการกัดเซาะโดยจะเริ่มต้นที่ปลายเชิงลาด (Toe Slope) และค่อยๆ ลูกลามเข้าไปสู่โครงสร้างหลักจนถึงชั้นผิวทาง เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการวิบัติของเชิงลาด สำหรับแนวทางแก้ไขเลือกวิธีการเสริมกลองลาดตาข่ายแมทเทรส (Rock and wire mattress) โดยปูแผ่นยาง (Rubber sheet) ด้านล่าง ซึ่งจะเพิ่มเสถียรภาพเชิงลาด เพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำ และป้องกันการกัดเซาะในดินด้านล่าง มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 3.80 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย (NAVFAC DM 7.01, 1986)

ABSTRACT

This research studied the causes of slope failure and approaches for remediation. The case study of Rural Road Udon Thani 4013 Km. 12+850 - Km. 13+150 Section between Ban Na Kham Noi and Ban Tah Toom by Finite Element Method with the Plaxis 2D program was used. The results of the study were as follows. The slope stability was within safety standard in normal conditions. However, the water flow from the river, which changed direction, hit the unprotected slope, caused erosion by beginning at the Toe Slope and gradually spreading into the main structure, finally reaching the surface as an important factor affecting slope failure. As to remediation, the method of reinforcement by Rock and wire mattress was used by laying Rubber sheet on the bottom, which would increase the slope stability, increase drainage efficiency and prevent erosion in the soil below. The safety ratio was 3.80, which was within safety standard (NAVFAC DM 7.01, 1986).

คำสำคัญ: การวิบัติของเชิงลาด การกัดเซาะ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Keywords: Slope Failure, Erosion, Finite element method

Corresponding author: Bussadee.a@gmail.com

¹นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Student in Master of Engineering Program, Civil Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

^{**}ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

บทนำ

เมื่อช่วงเดือนตุลาคมปลายปี 2565 เกิดฝนตกหนักมาตลอดหลายวันทำให้เกิดน้ำป่าไหลหลากไหลลงตามแม่น้ำรางทำให้เกิดน้ำในแม่น้ำรางมีระดับที่สูงขึ้นและมีการไหลของกระแสน้ำที่เปลี่ยนไปอันเนื่องจากวัชพืชที่เกิดขึ้นบริเวณดินที่ตกตะกอนที่ทับถมทำให้บริเวณถนนทางหลวงชนบท สาย อด.4013 ช่วง กม.12+850 - กม.13+150 ช่วงบ้านนาคำน้อยไปบ้านนาตุมบริเวณถัดจากสะพาน เกิดน้ำกัดเซาะบริเวณคันทางถนนที่มีความลาดชันสูงแนวคันทาง (Side Slope) กระแสน้ำป่าที่ไหลมากระทบกับบริเวณคันทางช่วงดังกล่าว เกิดการกัดเซาะที่ฐานล่างของลาดดินทำให้อัตราส่วนความปลอดภัยลดลงซึ่งแนวลาดคันทางเปลี่ยนไปมีผลต่อเสถียรภาพคันทาง [1-10] จนเกิดเป็นความเสียหายถึงช่องจราจรเป็นความยาวประมาณ 25 เมตรเกิดผลกระทบต่อการสัญจรของประชาชนและนักท่องเที่ยวอย่างมากที่ต้องระมัดระวังในการสัญจรใช้รถใช้ถนน โดยเฉพาะนักท่องเที่ยวที่มากราบไหว้สักการะพระพุทธรูปไสยาสน์โลกนาถศาสดามหามุนี ณ วัดป่าภูก้อน อำเภอนายูง จังหวัดอุดรธานี ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของจังหวัดอุดรธานี ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อหาสาเหตุของการวิบัติ จากการนำข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงในสนามมาวิเคราะห์ นำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขที่มีความเหมาะสมและยั่งยืน

การวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดดินในงานวิศวกรรมปฐพีที่มีความซับซ้อนจำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์ ด้วยแบบจำลองให้สอดคล้องกับข้อมูลภาคสนามมากที่สุด ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธีในงานวิจัยนี้เลือกวิธีที่เป็นที่นิยมในงานด้านวิศวกรรมปฐพี คือ วิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium Method, LEM) (โปรแกรม License: Pongsagorn Pongchompu 2021) สามารถวิเคราะห์แนวการวิบัติทั้งแบบที่เป็นส่วนของวงกลม (Circular) และแบบที่ไม่เป็นวงกลม (non Circular) รวมทั้งเลือกได้ว่าจะใช้วิธีใดในการวิเคราะห์ซึ่งมีสมมติฐานในการวิเคราะห์แตกต่างกันได้แก่ วิธีของ Bishop วิธีของ Janbu เป็นต้น เป็นวิธีที่ยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีสมดุลจำกัดจะให้อัตราส่วนความปลอดภัยของความลาดชันและแนวของการเคลื่อนพังของเชิงลาดเท่านั้น ต่อมาได้มีการพัฒนาการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดเพิ่มเติม โดย Whitman and Bailey [11] เสนอทฤษฎีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Method) เข้ามาประยุกต์ใช้ก็เป็นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน โดยที่ไฟไนต์อีลิเมนต์จะวิเคราะห์ถึงการเคลื่อนที่ของเชิงลาดที่มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากที่สุด และพบว่าการพังทลายของเชิงลาดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์นั้นมีความสอดคล้องกับธรรมชาติ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้การใช้ไฟไนต์อีลิเมนต์จึงเป็นอีกวิธีทางเลือกที่น่าสนใจอีกทางเลือกหนึ่งในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด แต่เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์มีข้อจำกัดในเรื่องของค่าพารามิเตอร์ของดินต่าง ๆ ที่ต้องนำมาใช้นั้นเป็นพารามิเตอร์ที่หาได้ยากจากผลการทดลองรวมถึงแบบจำลองของกำลังรับแรงเฉือนของเชิงลาดอาจมีความแตกต่างจากวิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีสมดุลจำกัดเป็นโปรแกรมทางการคำนวณอย่างแพร่หลายในทาง Geotechnical Engineering วิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดด้วยวิธีลดหน่วยแรงซึ่งเหมาะสมกับพฤติกรรมของดินที่มีความซับซ้อน โดยให้ค่าที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากอีกวิธีหนึ่ง

วัตถุประสงค์การวิจัย

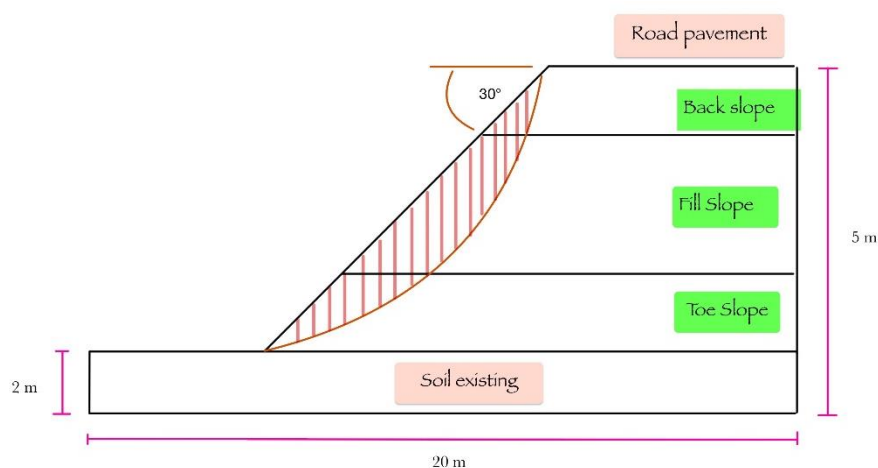
ศึกษาสาเหตุของการวิบัติของโครงสร้างเชิงลาดที่เกิดความเสียหาย บริเวณถนนทางหลวงชนบท สาย อด.4013 ช่วง กม.12+850 - กม.13+150 ช่วงบ้านนาคำน้อยไปบ้านนาตุมบริเวณสะพานและแนวทางการป้องกันและแก้ไขการวิบัติ ดังแสดงในภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2



ภาพที่ 1 และ ภาพที่ 2 แสดงตำแหน่งบริเวณที่ทำการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ดำเนินการตั้งสมมติฐานของการวิบัติหาค่าเหตุที่เป็นผลทำให้เกิดการวิบัติของดินโครงสร้างคันทางเชิงลาด โดยเริ่มจากพิจารณาจากองค์ประกอบของรูปแบบของการวิบัติเชิงลาด โดยการพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ เช่น ประเภทของดิน หรือปัจจัยภายนอก กระแสน้ำ ภูมิประเทศ เป็นต้น ที่ส่งผลต่อการวิบัติเชิงลาด
2. ดำเนินการวางแผนสำรวจภูมิประเทศของบริเวณที่ทำการศึกษาโดยสำรวจมิติต่างๆของแนวการวิบัติ เช่น ความกว้าง ความยาว ความลึก เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลในการทำแบบจำลองและเก็บตัวอย่างดินเพื่อไปทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการโดยทำการเก็บตัวอย่างความลึกผิวดินไปประมาณ 1.00 ม. – 1.50 ม. จำนวน 3 จุดทดสอบ ได้แก่บริเวณ Toe Slope บริเวณ Fill Slope และบริเวณ Back Slope



ภาพที่ 3 การเก็บตัวอย่างดิน การสำรวจภูมิประเทศของบริเวณทำการศึกษา และแสดงหน้าตัดเชิงลาด

3. ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการโดยเป็นการหาคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมประกอบไปด้วย โดยเป็นการเก็บตัวอย่างดินแบบ Disturbed Simple และเตรียมตัวอย่างทดสอบโดยบดอัดให้ได้ความหนาแน่นที่ 95% Standard Proctor

- การวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดดิน ASTM D 698-78
- ทดสอบ Liquid Limit ASTM D4318
- การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor) ASTM 698-78
- กำลังรับแรงเฉือนโดยตรง Consolidation Drained Test แบบไม่แช่น้ำ (Un-soaked Direct Shear)

ASTM D3080

- กำลังรับแรงเฉือนโดยตรง Consolidation Drained Test แบบแช่น้ำ (soaked Direct Shear)

ASTM D3080

4. วิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด หลังจากที่ได้ค่าคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมหรือค่าตัวแปรต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยโดยเป็นการด้วยวิเคราะห์ด้วยวิธี ไฟไนตอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม Praxis (Program License:

Pongsagorn Pongchompu) โดยแบ่งการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดออกเป็น 2 สภาวะ คือ สภาวะความชื้นปกติ และ สภาวะความชื้นมากกว่าปกติ โดยคุณสมบัติของดินที่ใช้ในแบบจำลองแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 Parameters soil type Test (ที่ความชื้นปกติ)

Parameter	Back Slope	Fill Slope	Toe Slope	Gabion	Unit	Remark
Sample Description	CL	CL	CL			ผลการทดสอบ
Dry Density	17.84	17.75	17.26	22*	kN/m ³	ผลการทดสอบ
Dry Unit Weight	17.45	17.45	16.96	22*	kN/m ³	ผลการทดสอบ
Wet Unit Weight	20.59	20.39	20.1	22*	kN/m ³	ผลการทดสอบ
Cohesion	26.47	24.52	23.54	300*	kN/m ²	ผลการทดสอบ
Friction angle	24.34	26.92	23.85	37*	Degrees	ผลการทดสอบ
Young's Modulus	24000	24000	24000	4.00E+04*	kN/m ²	Joseph E.Boles(1989)
Poisson's ratio	0.35	0.35	0.35	0.30*	-	Kulhawyeta(1983) ,Budhu(2000)
Horizontal Permeability	8.64 E-04	8.64 E-04	8.64 E-04	8.64E+03*	m/day	Whitlow(1995)
Vertical permeability	8.64 E-04	8.64 E-04	8.64 E-04	8.64E+03*	m/day	Whitlow(1995)

ตารางที่ 2 Parameters soil type Test (ที่ความชื้นมากกว่าปกติ)

Parameter	Back Slope	Fill Slope	Toe Slope	Gabion	Unit	Remark
Sample Description	CL	CL	CL			ผลการทดสอบ
Dry Density	17.84	17.75	17.26	22*	kN/m ³	ผลการทดสอบ
Dry Unit Weight	17.65	17.45	17.06	22*	kN/m ³	ผลการทดสอบ
Wet Unit Weight	20.59	20.39	20	22*	kN/m ³	ผลการทดสอบ
Cohesion	12.16	15.69	10.885	300*	kN/m ²	ผลการทดสอบ
Friction angle	29.78	28.42	29.49	37*	Degrees	ผลการทดสอบ
Young's Modulus	24000	24000	24000	4.00E+04*	kN/m ²	Joseph E.Boles(1989)
Poisson's ratio	0.35	0.35	0.35	0.30*	-	Kulhawyeta(1983) ,Budhu(2000)
Horizontal permeability	8.64 E-04	8.64 E-04	8.64 E-04	8.64E+03*	m/day	Whitlow(1995)
Vertical permeability	8.64 E-04	8.64 E-04	8.64 E-04	8.64E+03*	m/day	Whitlow(1995)

หมายเหตุ * Rock Mass Classification (1999) [12]

ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในการวิเคราะห์เสถียรภาพในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด ต้องพิจารณาเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่คำนวณได้กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดที่ยอมรับสำหรับการออกแบบ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายสภาวะ ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยที่เกณฑ์ในการกำหนดค่าต่ำสุดของอัตราส่วนความปลอดภัยเพื่อพิจารณาความปลอดภัยของงาน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ความแปรปรวนในค่าความแข็งแรงของดินเชิงลาด จำนวนข้อมูลที่สามารถใช้ได้ ความน่าเชื่อถือของข้อมูล รูปหน้าตัดของเชิงลาด การระบายน้ำในดิน ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากสภาพต่างๆ ของเชิงลาด

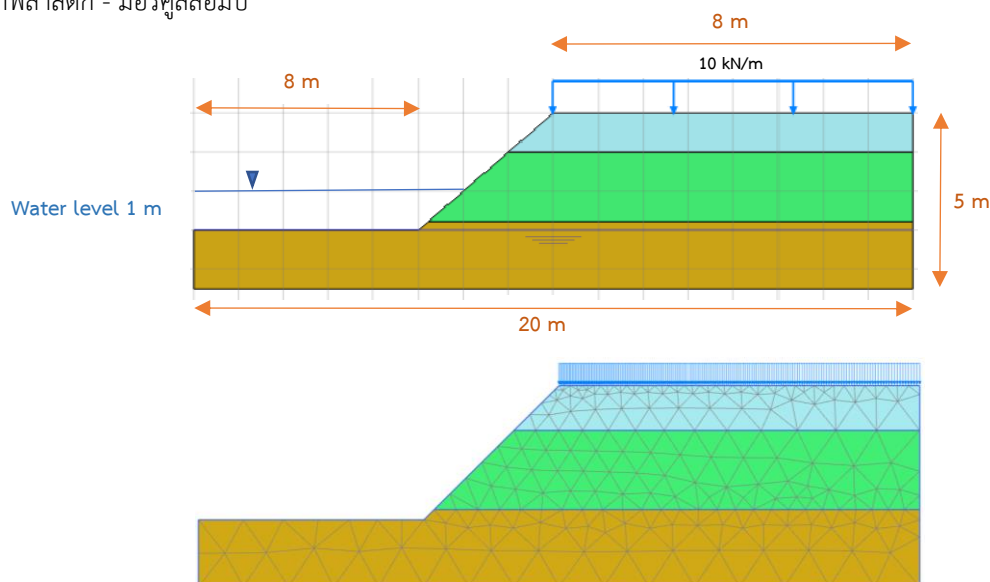
ตารางที่ 3 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด (NAVFAC DM 7.01, 1986)

ลักษณะของงาน	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดที่ยอมรับ
สำหรับสภาวะน้ำหนักบรรทุกถาวร	1.5
สำหรับสภาวะน้ำหนักชั่วคราว	1.25 ถึง 1.30
เหตุการณ์กรณีพิเศษเกิดขึ้น ได้แก่	1.15 ถึง 2.00
- การเกิดแผ่นดินไหว การลดระดับน้ำทันที เป็นต้น	

ผลการวิจัย

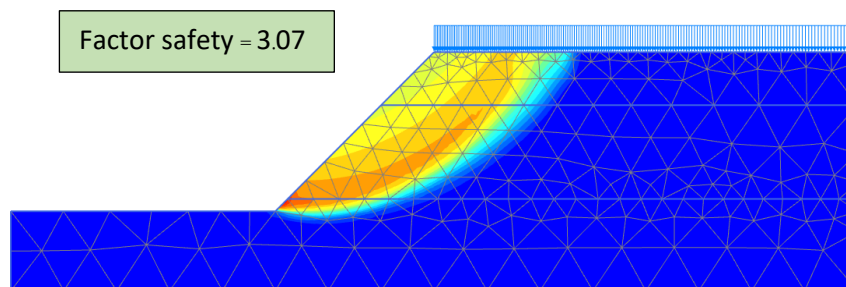
จากข้อมูลภาคสนามเพื่อทำการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด เป็นการวิเคราะห์แบบ Safety หรือ ϕ/c Reduction เป็นวิธีลดกำลังของดินลงด้วยค่า $\Sigma-M_{sf}$ (จำนวนสแต็ปที่สูงที่สุดในการคำนวณ) จนกระทั่งเกิดการวิบัติ $\Sigma-M_{sf}$ คงที่จนมองเห็นการเสียรูปเฉพาะที่มวลดินขณะวิบัติได้

โดย Model มีลักษณะแบบสามเหลี่ยม (Triangular Element) โดยกำหนด Plane strain โดยมีจำนวน Elements 15 จุด (Noded) กำหนดเงื่อนไขแบบขอบเขตอัตโนมัติ ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุเป็นแบบอีลาสติคพลาสติก - มอร์คูลอมบี้



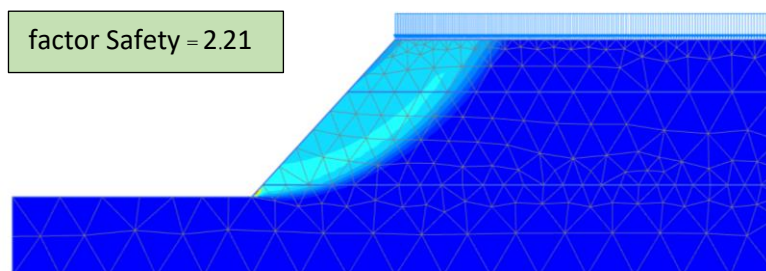
ภาพที่ 4 การเตรียมแบบจำลองในโปรแกรม Plaxis 2D

1. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดด้วยโปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นปกติ โดยที่เชิงลาดจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความชื้นปกติเท่ากับ 3.07 ดังแสดงในรูปภาพที่ 5



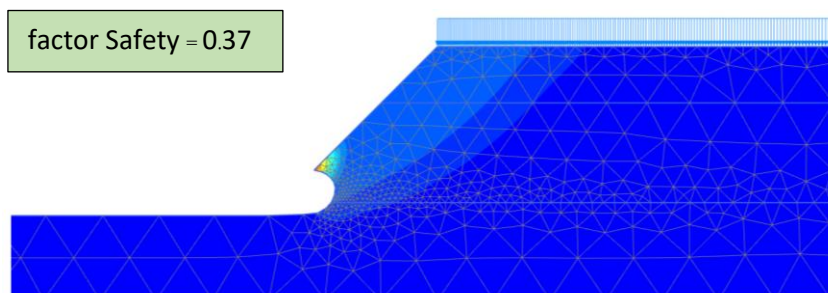
ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดด้วยโปรแกรม Plaxis 2D ของดินที่ความชื้นปกติ

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดด้วยโปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นมากกว่าปกติ โดยที่เชิงลาดจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความชื้นปกติเท่ากับ 2.21 ดังแสดงในรูปภาพที่ 6



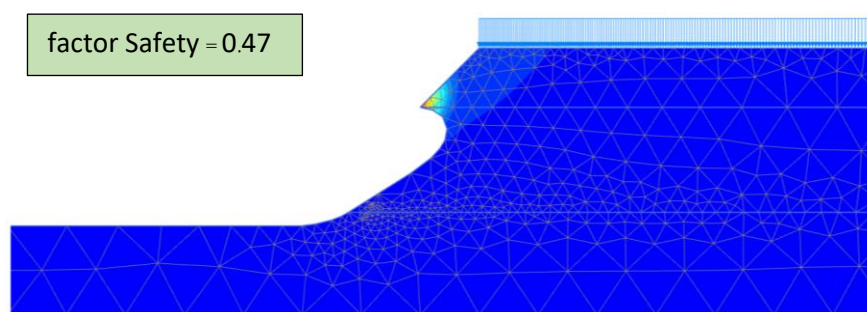
ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดด้วยโปรแกรม Plaxis 2D ของดินที่ความชื้นมากกว่าปกติ

2. ผลการวิเคราะห์การวิบัติเสถียรภาพของเชิงลาด พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 0.37 แสดงในภาพที่ 7 เมื่อเกิดขบวนการวิบัติที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เข้าสู่โครงสร้างหลักจนถึงชั้นผิวทาง แสดงให้เห็นว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01, 1986) [13]

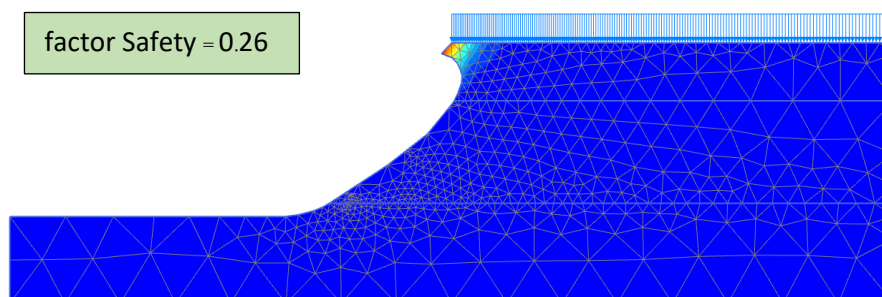


ภาพที่ 7 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดที่ถูกกัดเซาะช่วงเริ่มต้นการวิบัติบริเวณ Toe slope ด้วยโปรแกรม Plaxis2D

แสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกับสมมุติฐานกำหนดไว้ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยโปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นสูง ในกรณีที่เชิงลาดถูกกัดเซาะซึ่งเป็นการตั้งสมมุติฐานของการวิบัติตามสภาพพื้นที่จริงในสนาม Gray (1996) [14] การกัดเซาะพัดพาเม็ดดินโดยน้ำเกิดขึ้นเมื่อแรงดึงที่เกิดจากการไหลของน้ำที่กระทำกับอนุภาคเม็ดดิน (Drag force) มีค่ามากกว่าแรงต้านทานของเม็ดดิน (แรงเชื่อมแน่น แรงเสียดทาน) พงษ์ศักดิ์ [15] ดินที่ง่ายต่อการกัดเซาะพังทลายก็คือดินที่มีขนาดของอนุภาคเม็ดดินปานกลาง เช่น ดินที่มีอนุภาคแป้ง (silt) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางอนุภาคในช่วง 0.002 ถึง 0.05 มม. ปะปนอยู่ดินชนิดใดก็ตามที่มีอนุภาคดินแป้งผสมอยู่ในสัดส่วนประมาณ 40 ถึง 60% จะเป็นดินที่ง่ายต่อการกัดเซาะพังทลายมากที่สุด Price (2006) [16] โดยการกัดเซาะพัดพาเม็ดดินโดยน้ำเกิดขึ้นเมื่อแรงดึงที่เกิดจากการไหลของน้ำที่กระทำกับเม็ดดิน น้ำที่ไหลผ่านบริเวณปลายลาดคันทางเกิดการกัดเซาะที่ฐานล่างของลาดดิน พาณิช [17] ได้สรุปการจัดลำดับความสามารถถูกกัดเซาะของชนิดดิน จากมากที่สุดไปยังความสามารถถูก กัดเซาะน้อยที่สุดดังนี้ $ML > SM > SC > MH > OL > CL > CH > GM > SW > GP > GW$

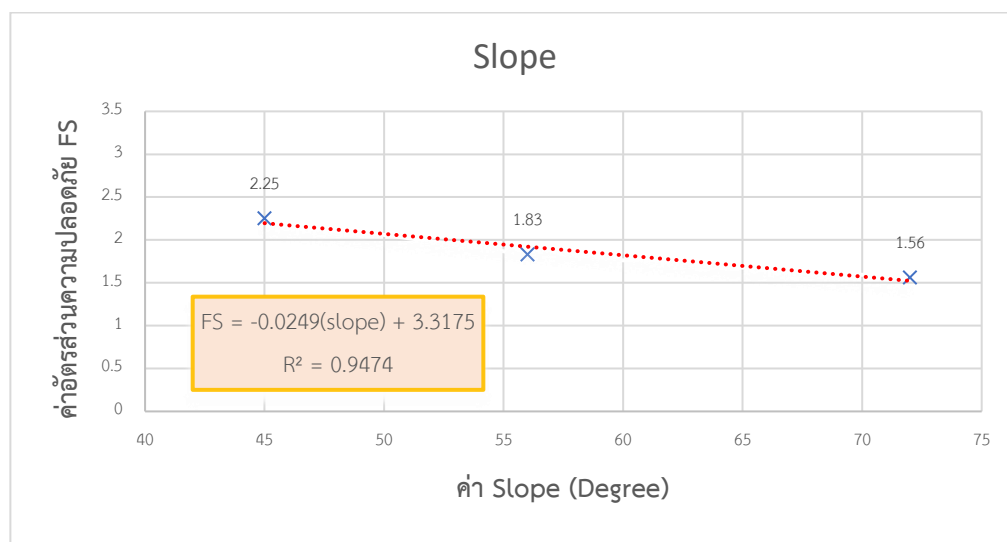


ภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดที่ถูกกัดเซาะลูกกลมการวิบัติมายังบริเวณ Fill slope ด้วยโปรแกรม Plaxis2D

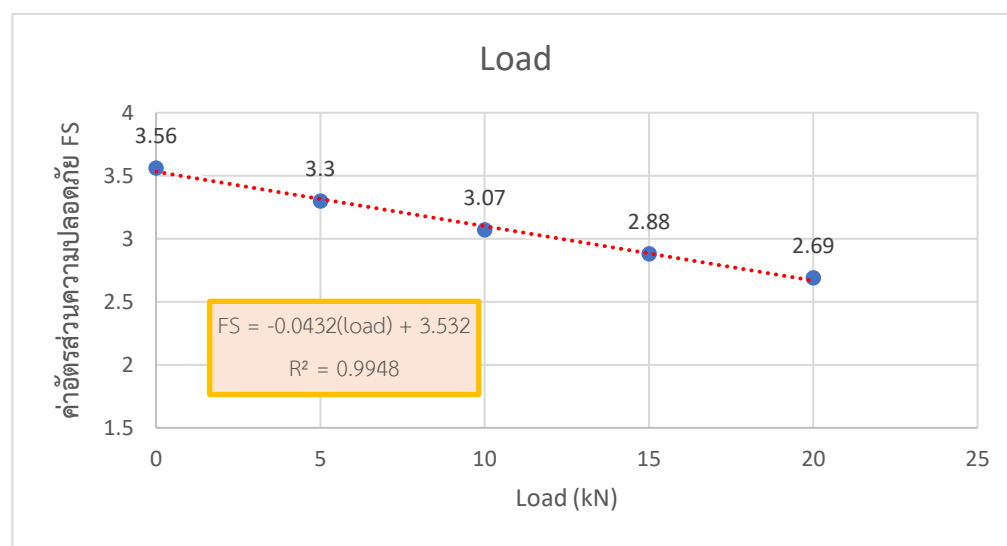


ภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดที่ถูกกัดเซาะและลูกกลมไปจนถึงขั้นผิวทางบริเวณ Back slope ด้วยโปรแกรม Plaxis2D

จากภาพที่ 10 จะพบว่าแนวลาดเอียงที่มีความลาดชัน (Slope) เพิ่มขึ้น (ค่าระยะราบลดลง) ส่งผลต่อเสถียรภาพลาดคันทางที่ต่ำลงอย่างชัดเจน [18-20] เมื่อลาดคันทางถูกกัดเซาะจากน้ำและลมเป็นเวลานานๆ จนลาดคันทางมีความลาดชันมากขึ้นเรื่อยๆ พบว่ากรณีความลาดชันมีสัดส่วนระยะราบต่อระยะตั้ง ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนอาจจะทำให้ลาดดินคันทางจะเกิดการวิบัติได้จากค่าอัตราส่วนความปลอดภัยน้อยกว่า 1 จะเห็นได้ว่าความลาดชัน (slope) มีผลต่อค่าอัตราส่วนความปลอดภัยยิ่งพื้นที่ภาคสนามหรือพื้นที่การก่อสร้างมีความชันมาก ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยยิ่งน้อยลงเนื่องจากน้ำหนักของตัวเองความลาดชันเองและมีค่าแรงโน้มถ่วง (Gravitational Force) มาเกี่ยวข้อง ซึ่งการกัดเซาะจะทำให้รูปร่างเรขาคณิตของคันดิน เปลี่ยนแปลงจนอาจก่อให้เกิดการวิบัติของคันดิน จากผลการศึกษาพบว่าได้ค่า R^2 ที่ได้เท่ากับ 0.9474



ภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์ Parametric study ที่ค่า Slope ด้วยโปรแกรม Plaxis2D



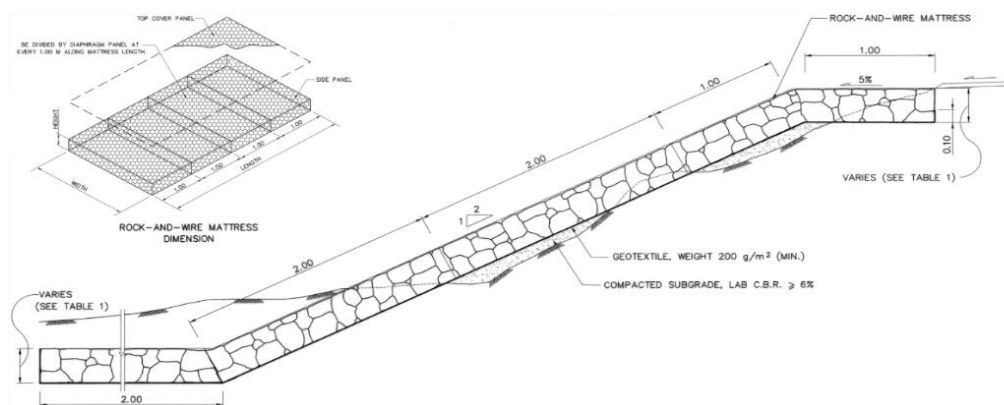
ภาพที่ 11 ผลการวิเคราะห์ Parametric study ที่ค่า Load ที่กระทำ ด้วยโปรแกรม Plaxis2D

ดังแสดงในกราฟ จากค่า Load ที่กระทำที่ 10 kN เมื่อทำการเพิ่มค่า Load อีกครั้งละ 5kN เป็น 15kN และ 20kN ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยก็จะลดลงตามไปด้วยเช่นกันเนื่องจากน้ำหนักต่อปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำหนักของเชิงลาดมากขึ้น เกิดแรงกระทำต่อชิ้นมากขึ้นดังสมการ $W = \gamma bH$ ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงเฉือนในขณะที่กำลังต้านทานแรงเฉือนของวัสดุเท่าเดิม โดยกลับกันถ้าทำการลดค่า Load ลดลงอีกครั้งละ 5kN เป็น 5kN และ 0kN ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยก็จะมากขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากโหลดที่กระทำน้อยลงตามลำดับ โดยจากกราฟได้แสดงค่า R^2 ที่ได้เท่ากับ 0.9948

แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

การแก้ปัญหาเสถียรภาพของคันทางบริเวณทางหลวงชนบทสาย อด.4013 ช่วง กม.12+850 - กม.13+150 ระหว่างบ้านนาคำน้อยและบ้านท่าตูม บริเวณสะพานข้ามแม่น้ำราง ด้วยวิธีการก่อสร้างกำแพงเกเบียน (Gabion) และเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (Mattress) เป็นวิธีที่นิยมและเหมาะสมเนื่องจากลาดชันมีขนาดใหญ่พื้นที่ก่อสร้างมีลักษณะทางธรณีวิทยายากต่อการเข้าถึงมีลักษณะสูงชันเป็นหน้าผา มีความอันตรายจึงพิจารณาการแก้ปัญหาด้วยวิธีการก่อสร้างกำแพงเกเบียน (Gabion) และเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรสตามแบบ มาตรฐานกรมทางหลวง STABILITY AND EROSION PROTECTION [21] และคู่มือการแนะนำแก้ไขการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาดของกรมทางหลวง [22] เป็นการแก้ปัญหาที่จะไม่รบกวนต่อพื้นที่การวิบัติเชิงลาดซึ่งอาจจะเกิดการวิบัติของเชิงลาดได้รอบที่ 2 ได้และวัสดุในการก่อสร้างยังมีอยู่ในพื้นที่

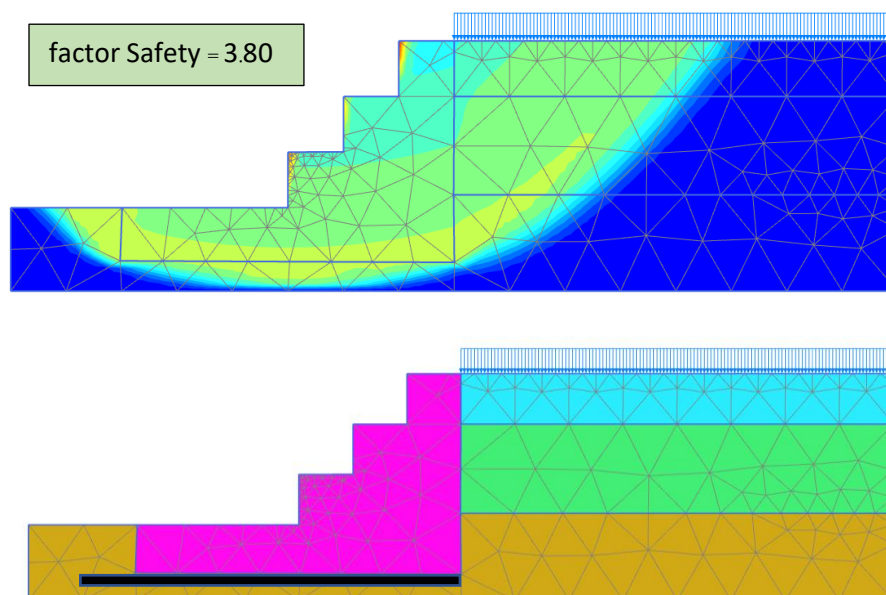
กล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (Rock and wire mattress) สร้างขึ้นจากแผ่นตาข่ายลวดเป็นรูปหกเหลี่ยมซึ่งตีเกลียวคู่ด้วย ลวดเหล็กทั้งชนิดเคลือบสังกะสี เคลือบสังกะสีผสมอลูมิเนียม (AL-ZINC) และเคลือบสังกะสีหุ้มฟิวซี เป็นต้น กล่องลวดตาข่ายแมทเทรสจะต้องมีแผงล่าง แผงด้านข้าง แผงด้านปลาย แผงกันไถอะเฟรม และฝาปิดกล่องลวดตาข่ายจะถูกแบ่งเป็นช่องด้วยแผ่นไถอะเฟรม ที่ระยะ 1 ม. ตามความยาวของกล่อง จะมีแผ่นกระบังกันเพื่อความแข็งแรงของกล่องแผ่นตาข่ายแต่ละชั้นประกอบขึ้นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับกล่องเกเบียน แต่มีขนาดของตาข่ายและลวดที่ใช้เล็กกว่าการจัดวางกล่องเป็นชั้นๆ หรือเป็นผืนระนาบตามโครงสร้างเพื่อใช้ในงานป้องกันการกัดเซาะต่าง ๆ ทนทานต่อแรงน้ำและการไหลเวียนของน้ำได้ดี ซึ่งกล่องลวดตาข่ายทำหน้าที่เป็นโครงสร้างกันดินช่วยพยุง ป้องกันการพังทลาย หรือการเคลื่อนตัวของมวลดิน เป็นการเพิ่มแรงต้านทานให้กับเชิงลาด เป็นต้น แสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 รูปแบบกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (Rock and wire Mattress)

ผลการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงเสถียรภาพของเชิงลาด

1. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดด้วยการเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (Rock and wire mattress) ด้วยโปรแกรม Plaxis 2D ใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นสูง โดยที่เชิงลาดจะเพิ่มประสิทธิภาพของเสถียรภาพเชิงลาด และช่วยในการระบายน้ำได้ดียิ่งขึ้น โดยมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความปกติ เท่ากับ 3.80 แสดงในภาพที่ 13 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจะมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.250 (NAVFAC DM 7.01, 1986)



ภาพที่ 13 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดด้วยการเสริมการก่อสร้างกำแพงเกเบียน (Gabion) และเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (Mattress) ด้วยโปรแกรม Plaxis 2D

โดยการแนะนำเพื่อลดการกัดเซาะบริเวณจุดต่ำสุดของกล่องเมทเทรส (Mattress) ที่อยู่ติดกับบริเวณผิวดินท่อน้ำ คือการปูแผ่นยาง (Rubber sheet) ใต้กล่องเมทเทรสและปูล้นออกไปอีกประมาณ 1-2 เมตร เพื่อป้องกันการกัดเซาะ โดยแผ่นยางมีคุณสมบัติยืดหยุ่นได้สูงและสามารถป้องกันน้ำได้ดี เพื่อช่วยลดการกัดเซาะบริเวณของน้ำบริเวณดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น แต่อาจจะต้องแลกมาด้วยมูลค่าการดำเนินการที่สูงยิ่งขึ้นด้วย



ภาพที่ 14 ภาพ Rubber sheet และภาพตัวอย่างการใช้งานเพื่อป้องกันการซึมของน้ำและการกัดเซาะเชิงลาดจากน้ำ

<https://km.rdpb.go.th/Project/View/6549>

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาหาปัญหาเสถียรภาพเชิงลาดดินคันทางที่เกิดการวิบัติทางหลวงชนบท สาย อด.4013 ช่วง กม.12+850-กม.13+150 ระหว่างบ้านนาคำน้อยและบ้านท่าตูม ด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

1. จากการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดดินคันทางที่ความชันปกติและความชันสูง พบว่า เสถียรภาพเชิงลาดของบริเวณที่ทำการศึกษานี้ลดลง แต่ไม่ได้อยู่ในระดับที่วิกฤติจนทำให้เชิงลาดเกิดการวิบัติหรือยังอยู่ในสภาวะปกติ โดยได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 3.07 และ 2.21 ตามลำดับ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อเสถียรภาพของเชิงลาดนั้น คือน้ำที่ไหลกระแทกจากการไหลของกระแสน้ำสู่เชิงลาดที่ไม่มีการป้องกัน ทำให้การกัดเซาะจะเริ่มต้นที่ปลายเชิงลาด (Toe Slope) และค่อยๆ ลุกกลามเข้าไปสู่โครงสร้างหลักจนถึงชั้นผิวทางโดยผลการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดดินคันทาง มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 1.25 (NAVFAC DM 7.01, 1986) [12]

การศึกษาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการวิบัติเชิงลาด พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพเชิงลาดและความชันเป็นดังสมการ $FS = -0.0249(\text{Slope}) + 3.3175$ โดยที่ได้ค่า $R^2 = 0.9474$ และความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพเชิงลาดและน้ำหนักกระทำ (Load) เป็นดังสมการ $FS = -0.0432(\text{Load}) + 3.532$ และได้ค่า $R^2 = 0.9948$

แนวทางการป้องกันควรเริ่มจากการป้องกันน้ำไม่ให้ซึมเข้าสู่โครงสร้างเชิงลาด รวมทั้งการป้องกันการกัดเซาะบริเวณปลายเชิงลาด (Toe Slope) ซึ่งเป็นขบวนการเริ่มแรกของการขยายตัวของแนววิบัติ พบว่า วิธีการก่อสร้างกำแพงเกเบียน (Gabion) และเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรส (Mattress) เป็นวิธีที่เหมาะสมเนื่องจากลาดชันมีขนาดใหญ่พื้นที่ก่อสร้างมีลักษณะทางธรณีวิทยาากต่อการเข้าถึงมีลักษณะสูงชันมีความอันตราย จึงเลือกวิธีการเสริมกล่องลวดตาข่ายแมทเทรสซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพของเสถียรภาพเชิงลาดและช่วยในการระบายน้ำได้ดียิ่งขึ้น และมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ที่ 3.80 ซึ่งมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 1.25 (NAVFAC DM 7.01, 1986) [12] ซึ่งเป็นการเพิ่มเสถียรภาพประสิทธิภาพในการระบายน้ำตลอดแนวเชิงลาดลดความเสี่ยงจากการกัดเซาะ และสามารถก่อสร้างง่ายและรวดเร็ว มีความยืดหยุ่น สามารถใช้กับพื้นที่ก่อสร้างที่ยากได้สุดในการก่อสร้างยังมีอยู่ในพื้นที่และสามารถใช้คนในพื้นที่ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมทางหลวงชนบทและเจ้าหน้าที่ ที่ช่วยเหลือเรื่องสถานที่ ช่วยเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปทดสอบหาค่าคุณสมบัติและให้ข้อมูลประวัติพื้นที่จุดที่ทำการศึกษา และให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Dechpatungwesa P. Study on Slope Failure of Highway Embankment No.1194 Mae Sariang - Mae Saplape Route sta. 21+150 2019.
2. Yakob A. Assessment of slope stability improvement at highway no. 41 segment of Thung Song district - Rom Phibun district, Southern Thailand. 2008.
3. Multathong C. Study on Slope Failure of Highway Embankment No.1349, Samoeng - Wat Chan Route sta. 34+450. 2017.



4. Gray DH, Sotir RB. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization A Practical Guide for Erosion Control. John Wiley & Sons.1996.
5. Price T. Warwick University AvailableSource:<http://fbe.vwc.uk/pubric/geocal/Slope/Slopes>. Html as retrieved on 3 Oct 2006.
6. 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.
7. Yotsawat Chantira Study on Slope Failure by Limit Equilibrium Method And Finite Element Method of Highway Embankment A Case Study No.1270, Kong Loi – Mae Haetai Route sta.26+200 – sta.26+450.
8. Supracha Kamana Study on Slope Failure by Limit Equilibrium Method And Finite Element Method of Highway Embankment and Remediation A Case Study No.1270, Kong Loi – Mae Hae tai Route sta. 21+000.
9. Visudmedanukul P. Foundation Engineering Handbook, SE-EDUCATION Public Company Limited, Bangkok.2015.
10. Chimoye W. Foundation analysis and design, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,Thammasat University. 2001.
11. Whitman RV, Bailey W A. Use of computers for slope stability analysis. J. Soil Mech. Found, Div, ASCE 93.1967.
12. Bhawani S. Rock mass classification University of Roorkee, Roorkee, India: 1999
13. Navfac Design Manual 7.10 Soil Mechanic, Department of the Naval Facilities Engineering Command, Chapter7, Slope Stability and Protection. 1986.
14. Gray DH, Sotir RB. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization A Practical Guide for Erosion Control. John Wiley & Sons. 1996.
15. Witthawatchutikul P. Basin hydrology model River Basin Group, Research and Development Section Forest environment. FOREST RESEARCH AND DEVELOPMENT OFFICE, 1991.
16. Price T. Warwick University AvailableSource:<http://fbe.vwc.uk/pubric/geocal/Slope/Slopes>. Html as retrieved on 3 Oct 2006.
17. Voottipruex P. The Prevention of Soil Erosion Using a Combination of Natural Fiber with, Vetiver Grass and Ruzi Grass. The Journal of KMUTNB, Vol. 23 (2): May.-Aug. 2013.



18. Mooltatong C, Chairatanangamdej G, Pongchoompou 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 NakhonRatchasima, Thai.
19. Parametric Study of the Stabilization of Sloped Surfaces Bedding with Geotextiles By Hamid Fathi Shoob, Amin Nooralizadeh & Hamed Zamenian.
20. A Parametric Study on Benched Slopes using Limit Equilibrium Method Ibrahim M. Mashhour & Mohamed A. El-Marassi Department of Construction and Building Engineering.
21. Department of Highways. Standard Drawing for Highways Design and Construction (revision 2015), Ministry of transport, Thailand. 2018.
22. Department of Highways. Guide to correcting and operating the erosion and slope movement, Bureau of Road Research and Development, Department of Highways, ministry of transport, Thailand. 2008.