

การวิเคราะห์สาเหตุการวิบัติของเชิงลาดสะพานและแนวทางการปรับปรุงแก้ไข: กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 2133 ตอน ศรีบุญเรือง – ภูเวียง ที่ กม.31+087

Study on Slope Failure & Remediation of Bridge Abutment

Highway No.2133, Si Bun Rueang - Phu Wiang Route sta. 31+087

ปริญญ์ เหมือนสีเลา (Parinya Muanseelao)* ดร.พงศกร พวงชมพู (Dr.Pongsagorn Pongchompu)¹*

บทคัดย่อ

สะพานเป็นสิ่งก่อสร้างที่ใช้สำหรับข้ามลำน้ำ หรือข้ามสิ่งกีดขวาง เพื่อประโยชน์ในการสัญจร และยังทำหน้าที่ในการระบายน้ำอีกด้วย เมื่อสะพานเกิดการชำรุด ทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยกับผู้ใช้เส้นทาง การชำรุดของสะพานมีหลายรูปแบบ สาเหตุหลักของการชำรุด เกิดจากน้ำท่วมและการกัดเซาะรอบโครงสร้างสะพานส่วนล่าง ทั้งนี้ปัญหาได้ทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากสภาวะภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้แต่ละปีมีแนวโน้มในการเกิดอุทกภัยมากขึ้น พบกับอายุการใช้งานของสะพานที่มากขึ้น จะส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการวิบัติของเชิงลาดสะพาน งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษากการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดสะพาน ในสภาวะความชื้นและระดับความลึกของการกัดเซาะที่แตกต่างกัน เพื่อหาค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์เสถียรภาพแสดงให้เห็นถึงสาเหตุของการวิบัติของเชิงลาดสะพาน โดยการวิบัติจะเกิดขึ้นในช่วงที่ดินมีสภาวะความชื้นสูงและระดับการกัดเซาะลึกมากกว่า 1.20 เมตร โดยประมาณ

ABSTRACT

The bridge is a building used for crossing the river or crossing an obstacle, for the benefit of traffic and also serves to drain the water as well. When the bridge is damaged causing insecurity route users. The damage of the bridge takes many forms, the main cause of the damaged caused by flooding and scouring around the bridge substructure. However, the problem became more severe due to climate change making each year more prone to flooding. Combined with the longer life of the bridge will result in the risk of the bridge abutment slope failure. This paper presents the study of stability analysis of the bridge abutment slope in soil moisture content conditions and different scour depths, to find the factor of safety. Which results from stability analysis shows the cause of the failure of the bridge abutment slope. The failure will occur in the soil high moisture content conditions and the scour depths more than approximately 1.20 meters.

คำสำคัญ: การวิบัติของเชิงลาดสะพาน, การกัดเซาะ, ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

Keywords: Bridge abutment slope failure, Scour, Factor of Safety

¹ Corresponding author: ppoungchompu@gmail.com

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

บทนำ

สะพานข้ามลำน้ำพอง ตั้งอยู่ที่บริเวณกิโลเมตรที่ 31+087 ทางหลวงหมายเลข 2133 ตอน ศรีบุญเรือง – ภูเวียง เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภูมิอากาศและการลักษณะใช้ที่ดิน (Land Used) ของพื้นที่รับน้ำ ความคดเคี้ยวของลำน้ำ การทับถมของตะกอนดิน เป็นเหตุให้ปริมาณและทางไหลของน้ำเปลี่ยนไป เกิดการกัดเซาะที่เชิงลาดสะพาน การวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการวิบัติจะพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อเสถียรภาพของเชิงลาดสะพาน และประมวลผลโดยใช้โปรแกรม Slide ซึ่งเป็นโปรแกรมที่วิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาดด้วยวิธีสมดุลจำกัด (Limit Equilibrium) เมื่อพบสมมติฐานที่มีความสอดคล้องกับลักษณะการวิบัติ นำไปสู่พิจารณาถึงรูปแบบการปรับปรุงแก้ไขที่เหมาะสมกับสาเหตุของการวิบัติ โดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) งบประมาณในการก่อสร้างและภูมิทัศน์ของแต่ละรูปแบบ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาหาสาเหตุการวิบัติของเชิงลาดสะพานที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปสู่วิธีการปรับปรุงแก้ไขที่มีความเหมาะสมและยั่งยืน



รูปที่ 1 แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสถานที่ทำวิจัย

การวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด

สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพทางวิศวกรรมปฐพี จะใช้สมมุติฐานความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดแบบ Rigid Perfectly Plastic Material ซึ่งมีพื้นฐานที่สมมุติว่า มวลดินจะไม่เกิดการเคลื่อนตัวจนกระทั่งถึงแรงวิบัติ หรือกล่าวได้ว่า การคำนวณจะไม่พิจารณาผลของการเคลื่อนตัวก่อนเกิดการวิบัติ วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพทางวิศวกรรมปฐพี มีด้วยกัน 3 วิธี ได้แก่

- 1) วิธี Limit Equilibrium
- 2) วิธี Slip-line Analysis
- 3) วิธี Limit Analysis

วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ในการวิเคราะห์ปัญหาด้านเสถียรภาพในงานวิศวกรรมปฐพีคือ วิธี Limit Equilibrium เนื่องจากสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาในทางปฏิบัติที่มีความสลับซับซ้อน ได้แก่ การรับแรงภายนอกที่กระทำต่อโครงสร้าง และปัญหาที่ประกอบด้วยชั้นดินที่มีคุณสมบัติที่ไม่เท่ากันตลอดความลึก (Non-Homogeneous Soil Profile) การคำนวณด้วยวิธี Slip-line Analysis และ วิธี Limit Analysis แม้จะสามารถวิเคราะห์ปัญหาด้านเสถียรภาพได้ถูกต้องแม่นยำกว่าวิธี Limit Equilibrium แต่เนื่องจากไม่มีสมมุติฐานอื่น ๆ เพิ่มเติมในการคำนวณ และมีข้อจำกัด คือต้องใช้การคำนวณด้วยมือ จะทำให้เกิดความยุ่งยากในการนำมาวิเคราะห์ปัญหาที่มีความสลับซับซ้อน ดังนั้นในการวิจัยนี้จะกล่าวถึงวิธี Limit Equilibrium เท่านั้น

Limit Equilibrium Analysis

วิธีการพิจารณา สมดุลจำกัดของมวลดิน (Limit Equilibrium) มีสมมุติฐานว่า ณ ช่วงเวลาที่เกิดการวิบัติ พอดี ในขณะที่มวลดินอยู่ในสถานะสมดุลกล่าวคือ พิจารณาจากสมดุลแรง (Force Equilibrium) และสมดุลโมเมนต์ (Moment Equilibrium) การวิเคราะห์เริ่มต้นด้วยการสมมุติรูปแบบลักษณะของผิวการวิบัติ ว่าเป็นรูปแบบใด เช่น เส้นตรง วงกลม โค้งก้นหอย รูปหลายเหลี่ยม ฯลฯ แล้วทำการคำนวณแรงต้านทานที่เพียงพอ ทำให้เกิดความสมดุลของมวลดินที่วิบัติ หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างกำลังของดินต่อหน่วยแรงต้านทานขณะสมดุล ซึ่งเรียกว่า “อัตราส่วนปลอดภัย” (Factor of Safety, F.S) แล้วทำการทดลองหาค่าของอัตราส่วนความปลอดภัย โดยการเปลี่ยนลักษณะหรือตำแหน่งของผิวการวิบัติ ที่น่าจะมีโอกาสเกิดขึ้นไปเรื่อย ๆ จนพบค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่น้อยที่สุด โดยอาจทราบลักษณะการวิบัติได้แน่นอน จากการสำรวจในสนาม [1]

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการวิบัติของเชิงลาดสะพาน ทางหลวงหมายเลข 2133 ตอน ศรีบุญเรือง – ภูเวียง กม. 31+087

วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยได้แบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1. การสำรวจลักษณะภูมิประเทศและเก็บตัวอย่างดินไปทดสอบคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการ โดยการขุดบ่อทดสอบดิน (Test Pit) จำนวน 3 บ่อทดสอบ ที่ระดับความลึกจากผิวถนน 3.00 เมตร 7.50 เมตร และ 12.00 เมตร



รูปที่ 2 การสำรวจลักษณะภูมิประเทศ



รูปที่ 3 แสดงความเสียหายที่เกิดจากการกัดเซาะที่ส่วนปลายของเชิงลาด (Toe Slope)

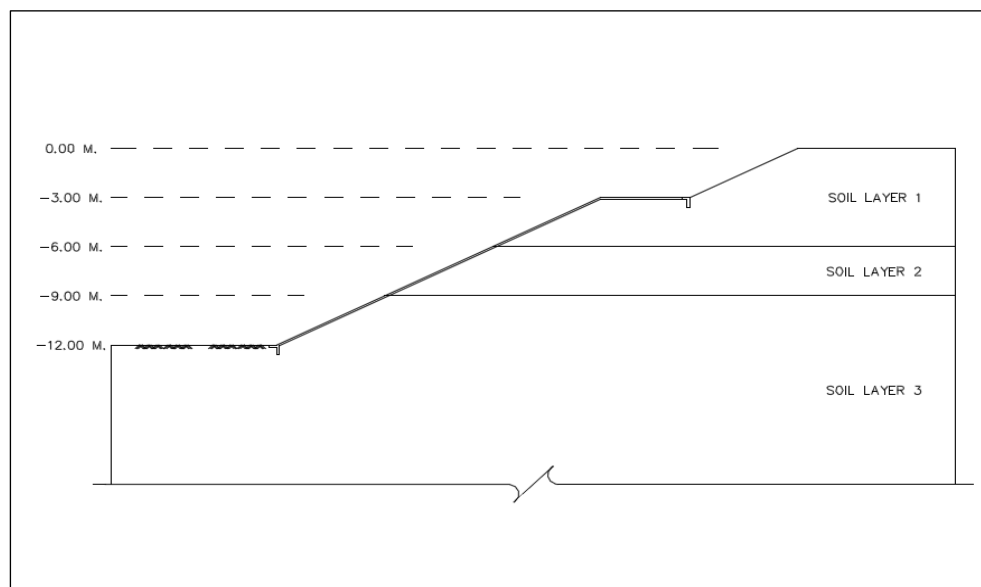
2. การทดสอบคุณสมบัติของดิน การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อหาค่าตัวแปรของดิน โดยใช้วิธีการทดสอบการเฉือนโดยตรง (Direct shear test) ทำการทดสอบตัวอย่างดินในสองสถานะ สถานะปกติคือดินที่มีลักษณะความชื้นตามธรรมชาติขณะทำการเก็บตัวอย่างดิน โดยการเตรียมตัวอย่างทดสอบโดยบดอัดให้ได้ความหนาแน่นที่ 80 % Standard compaction สถานะการทดสอบเป็นแบบระบายน้ำ อัตราเร็วในการเฉือนตัวอย่าง 0.02 มิลลิเมตรต่อวินาที จำนวน 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 62.90 มิลลิเมตร สูง 25.00 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2 เส้นผ่าศูนย์กลาง 62.90 มิลลิเมตร สูง 25.00 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 3 เส้นผ่าศูนย์กลาง 63.00 มิลลิเมตร สูง 25.00 มิลลิเมตร และสถานะความชื้นสูงคือดินที่มีลักษณะชุ่มน้ำ โดยการเตรียมตัวอย่างทดสอบโดยบดอัดให้ได้ความหนาแน่นที่ 80 % Standard compaction สถานะการทดสอบเป็นแบบระบายน้ำ อัตราเร็วในการเฉือนตัวอย่าง 0.02 มิลลิเมตรต่อวินาที จำนวน 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ 1 เส้นผ่าศูนย์กลาง 62.90 มิลลิเมตร สูง 25.00 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 2 เส้นผ่าศูนย์กลาง 62.90 มิลลิเมตร สูง 25.00 มิลลิเมตร ตัวอย่างที่ 3 เส้นผ่าศูนย์กลาง 63.00 มิลลิเมตร สูง 25.00 มิลลิเมตร แล้วจึงทำการเฉือนตัวอย่างดิน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของดินที่ความชื้นปกติ

ลำดับ	ชนิดดิน	ระดับความลึก (ม.)	หน่วยน้ำหนักดิน (ตัน/ลบ.ม.)	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (ตัน/ตร.ม)	มุมเสียดทานภายใน (องศา)	ปริมาณความชื้น (%)
TP-1	SM	0-6	1.83	0.71	29.88	10.50
TP-2	CL-ML	6-9	1.96	4.73	32.35	11.47
TP-3	CL-ML	9-VARIES	1.92	3.46	40.82	8.66

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของดินที่ความชันสูง

ลำดับ	ชนิดดิน	ระดับความลึก (ม.)	หน่วยน้ำหนักดิน (ตัน/ลบ.ม.)	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (ตัน/ตร.ม.)	มุมเสียดทานภายใน (องศา)	ปริมาณความชื้น (%)
TP-1	SM	0-6	1.83	0.44	28.56	12.12
TP-2	CL-ML	6-9	1.96	1.10	29.25	19.16
TP-3	CL-ML	9-VARIES	1.92	1.04	27.25	18.46

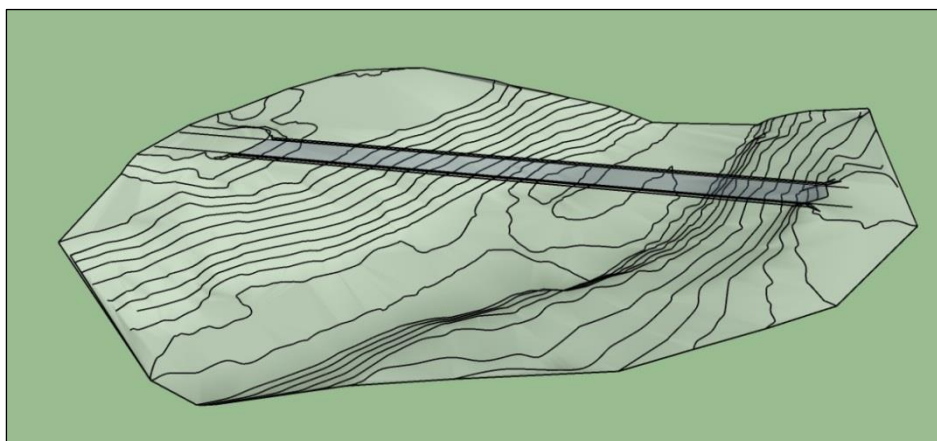


รูปที่ 4 หน้าตัดเชิงลาดสะพานบริเวณที่พิจารณา

3. การวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุการวิบัติของเชิงลาดสะพาน

เนื่องจากเสถียรภาพความปลอดภัยของเชิงลาดนั้น พิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างแรงกระทำที่ทำให้คันทางเคลื่อนตัวกับแรงต้านทานของมวลดิน ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของหน่วยแรงเฉือนหรือการลดลงของแรงต้านทานของมวลดิน สามารถทำให้เชิงลาดเกิดการวิบัติได้ ดังนั้นปัจจัยที่ทำให้เกิดการวิบัติของเชิงลาด มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากยานพาหนะ น้ำหนักจรรยาจากยานพาหนะ Standard Truck and Lane Loads ตาม AASHTO (Standard and Specification for Highway Bridge) ให้พิจารณา H20-44 และ HS20-44 มาใช้ในการออกแบบสำหรับรถบรรทุกเพลาเดี่ยวและเพลาคู่ตามลำดับ โดยให้น้ำหนักลงเพลา (Axle Load) เท่ากับ 32000 lbs. และเทียบเท่า Uniform Load = 640 lbs/ft. of Load Lane หรือมีค่า $w = 0.95$ ตัน/ตร.ม. (ใช้ 1 ตัน/ตร.ม. ไม่ต้องรวม Impact Load) และไม่ต้องนำ Impact Load มาใช้คำนวณกับโครงสร้างฐานรากหรือคันดิน การเพิ่มน้ำหนักให้กับเชิงลาดซึ่งจะทำให้เสถียรภาพของเชิงลาดลดลงจนเกิดการวิบัติได้



รูปที่ 5 รูปทรงพื้นฐาน 3 มิติของเชิงลาดสะพานที่เกิดการวิบัติ

3.2 การเพิ่มขึ้นของน้ำในมวลดิน เมื่อระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น หรือเมื่อผิวของเชิงลาดแตกร้าว ทำให้มวลดินมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของเชิงลาด

3.3 การกัดเซาะของลำน้ำ การไหลของน้ำในลำน้ำที่มีความคดโค้ง กระแสน้ำจะปะทะกับริมตลิ่งของลำน้ำช่วงที่มีความคดโค้ง แรงปะทะทำให้มวลดินด้านล่างของปลายเชิงลาด (Toe Slope) ถูกกัดเซาะพัดพาไปกับกระแสน้ำ ผลจากการกัดเซาะทำให้เชิงลาดมีความชันมากขึ้น น้ำหนักถ่วงต้านทานการเคลื่อนตัวลดลง เป็นปัจจัยทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของเชิงลาดได้และทำให้เกิดการวิบัติในที่สุด

3.4 การลดลงอย่างรวดเร็วของระดับน้ำ (Rapid drawdown) แรงดันน้ำจากภายนอกที่กระทำกับบริเวณส่วนล่างของปลายเชิงลาด (Toe Slope) มีผลต่อเสถียรภาพของเชิงลาด หากระดับน้ำลดลง เสถียรภาพของเชิงลาดจะลดลงเนื่องจากโมเมนต์ต้านทานการเคลื่อนตัวลดลงอย่างรวดเร็วและกำลังรับแรงเฉือนของดินเชิงลาดก็จะลดลงเนื่องจากน้ำในมวลดินยังไม่ระบายออกไป มีผลทำให้เชิงลาดมีเสถียรภาพลดลง

3.5 แรงจากแผ่นดินไหว การวิเคราะห์แรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหวที่มีผลต่อเสถียรภาพเชิงลาดในพื้นที่ ค่าอัตราเร่งของความสั่นสะเทือนแนวราบ (Seismic Coefficient) โดยที่พิจารณาใช้ค่า Peak Ground Acceleration เท่ากับ 0.02g ซึ่งเป็นข้อมูลจากแผนที่แสดงค่าโอกาสที่จะเกิดแรงสั่นสะเทือนด้วยค่า PGA 10% ในรอบ 50 ปี จากการวิเคราะห์ระดับอันตรายจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย [2] และพารามิเตอร์ที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด คือค่า Ground Acceleration (GA) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.50 เท่าของค่า PGA [3]

ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในการวิเคราะห์เสถียรภาพ

ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาด ต้องพิจารณาเปรียบเทียบผลของการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่คำนวณได้ กับค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดที่ยอมรับสำหรับการออกแบบ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายสถานะการณ์ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยที่เกณฑ์ในการกำหนดค่าต่ำสุดของอัตราส่วนความปลอดภัย เพื่อพิจารณาความปลอดภัยของงาน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ความแปรปรวนในค่าความแข็งแรงของดินเชิงลาด จำนวนข้อมูลที่สามารถใช้ได้ ความน่าเชื่อถือของข้อมูล รูปหน้าตัดของเชิงลาด การระบายน้ำในดิน ผลของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากสภาพต่างๆของเชิงลาด

ตารางที่ 3 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพเชิงลาด [4]

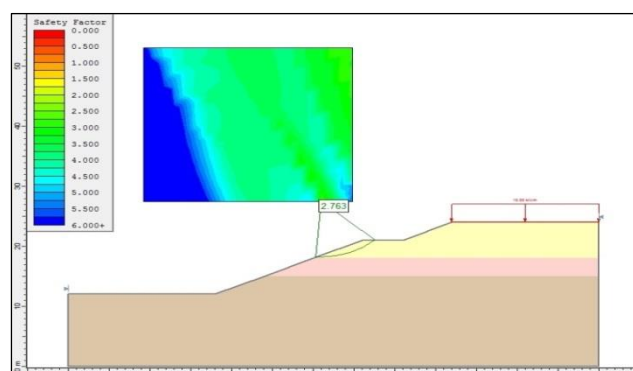
ลักษณะของงาน	ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดที่ยอมให้
สำหรับสภาน้ำหนักบรรทุกทุกถาวร	1.50
สำหรับสภาน้ำหนักชั่วคราว	1.25 ถึง 1.30
เหตุการณ์กรณีพิเศษเกิดขึ้น ได้แก่ - การเกิดแผ่นดินไหว การลดระดับน้ำทันที เป็นต้น	1.15 ถึง 2.00

ผลการวิจัย

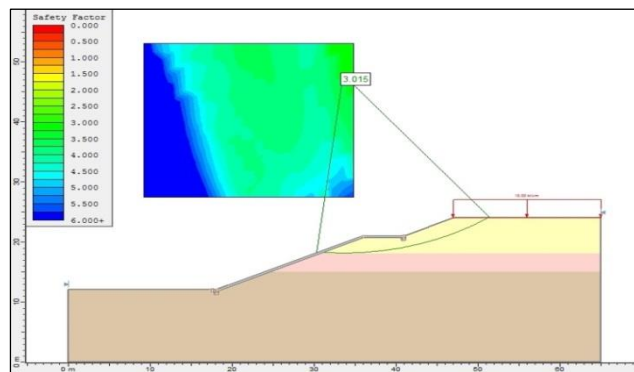
ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดสะพาน

1. ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดสะพาน โดยโปรแกรม Slide และใช้ข้อมูลคุณสมบัติของดินที่ความชื้นปกติและดินที่มีความชื้นสูง ในสภาวะที่มีน้ำหนักบรรทุกจากยานพาหนะ เชิงลาดที่ไม่ได้ก่อสร้างคอนกรีตป้องกันเชิงลาด (Slope Protection for Bridge Abutment, Concrete Lining) มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความชื้นปกติเท่ากับ 2.763 แสดงในรูปที่ 6 เมื่อทำการก่อสร้างคอนกรีตป้องกันเชิงลาด ตามแบบมาตรฐานกรมทางหลวง ทำให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความชื้นปกติเพิ่มขึ้น เท่ากับ 3.015 แสดงในรูปที่ 7 มากกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.300 (NAVFAC DM 7.01, 1986)

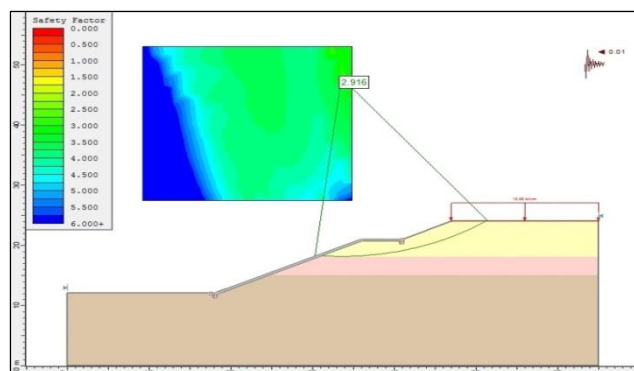
ในปัจจุบันพื้นที่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เริ่มได้รับผลกระทบจากแผ่นดินไหวจึงต้องนำค่าอัตราเร่งของความสั่นสะเทือนแนวราบ มาประกอบในการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเชิงลาด ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพ ได้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่ความชื้นปกติเท่ากับ 2.916 แสดงในรูปที่ 8 แสดงว่าแรงจากแผ่นดินไหวส่งผลกระทบกับเชิงลาดบริเวณนี้น้อยมาก แต่ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของดินที่สภาวะความชื้นสูงเมื่อระดับน้ำสูงสุดที่ 9.00 เมตร เท่ากับ 1.111 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด แสดงในรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าความชื้นมีผลทำให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเชิงลาดสะพานลดลงอย่างมาก



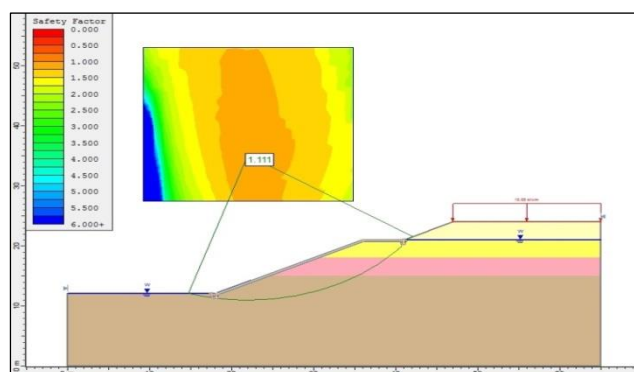
รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดสะพาน ที่สภาวะความชื้นปกติ ไม่มีการก่อสร้างคอนกรีตป้องกันเชิงลาด



รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดสะพาน ที่สภาวะความชื้นปกติ ก่อนสร้างคอนกรีตป้องกันเชิงลาดตามมาตรฐานของกรมทางหลวง



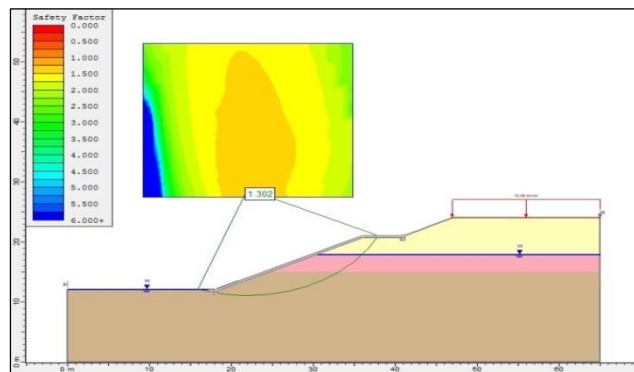
รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดสะพาน ที่สภาวะความชื้นปกติและมีแรงจากแผ่นดินไหว



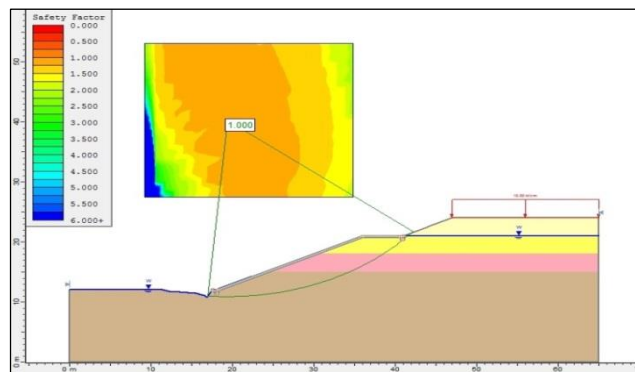
รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดสะพาน ที่สภาวะความชื้นสูง

2. พิจารณาเสถียรภาพของเชิงลาดสะพานที่สภาวะดินมีความชื้นสูง ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดสะพานด้วยโปรแกรม Slide ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1.300 ซึ่งมีค่าเท่ากับเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ 1.300 ที่ระดับน้ำสูง 5.85 เมตร แสดงในรูปที่ 10 จากปัจจัยลักษณะลำน้ำที่ตั้งของสะพาน ซึ่งตั้งอยู่โค้งน้ำด้านนอก จะมีการกัดเซาะที่ปลายของเชิงลาดสะพาน (Toe Slope) จนถึงระดับการกัดเซาะลึก 1.20 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

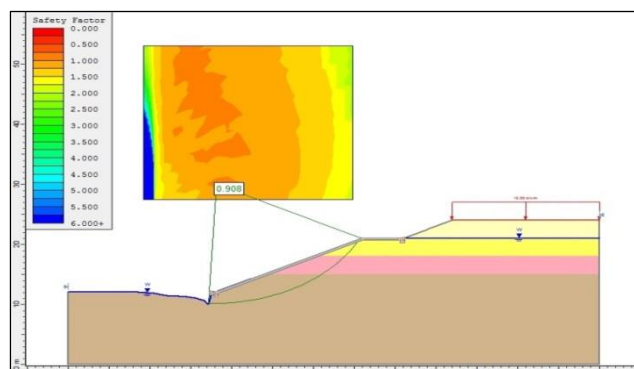
เท่ากับ 1.000 แสดงในรูปที่ 11 และเมื่อมีการกัดเซาะมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับความลึก 2.00 เมตร ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยก็จะเท่ากับ 0.908 แสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 10 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดสะพาน ที่ระดับน้ำสูง 5.85 เมตร (FS. = 1.300)



รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดสะพาน ที่ระดับการกัดเซาะลึก 1.20 เมตร



รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์เชิงลาดสะพาน ที่ระดับการกัดเซาะลึก 2.00 เมตร

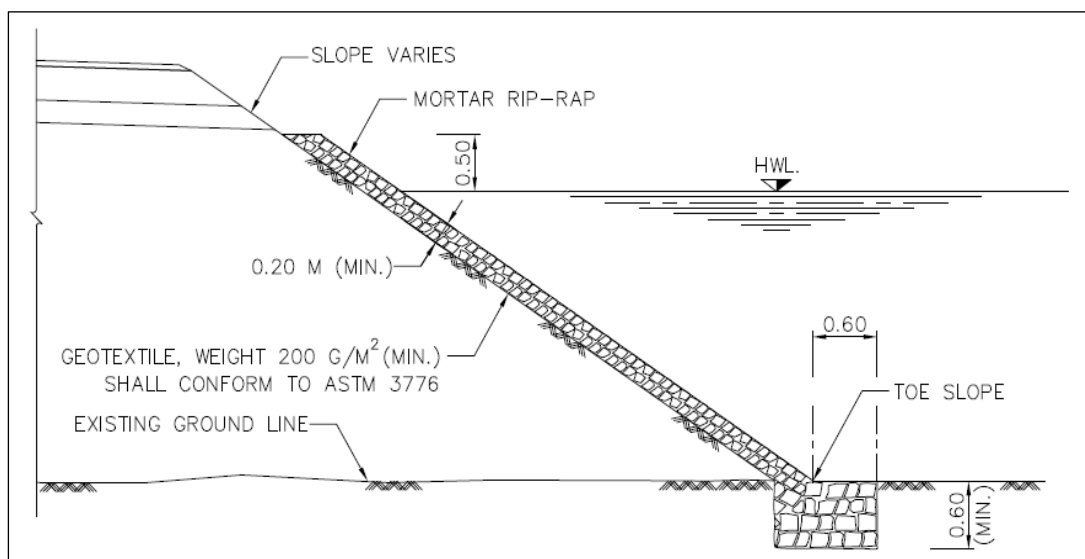
แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

การป้องกันการกัดเซาะเชิงลาดสะพานของลำน้ำ โดยเฉพาะบริเวณเชิงลาดตลิ่งของลำน้ำที่คดโค้ง และบริเวณพื้นที่องลำน้ำ การดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเชิงลาดสะพาน บริเวณสะพานข้ามลำน้ำพอง ทางหลวงหมายเลข 2133 ตอน ศรีบุญเรือง – ภูเวียง ที่ กม. 31+087 ซึ่งมีสาเหตุมาจากการกัดเซาะที่ปลายเชิงลาด (Toe Slope) ตามแบบ

มาตรฐานกรมทางหลวง Section 5.Stability and Erosion Protection [6] และคู่มือการแนะนำแก้ไขการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวของเชิงลาด ของกรมทางหลวง [7] แบ่งได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

1. หินเรียงยาแนว(MORTAR RIP-RAP)

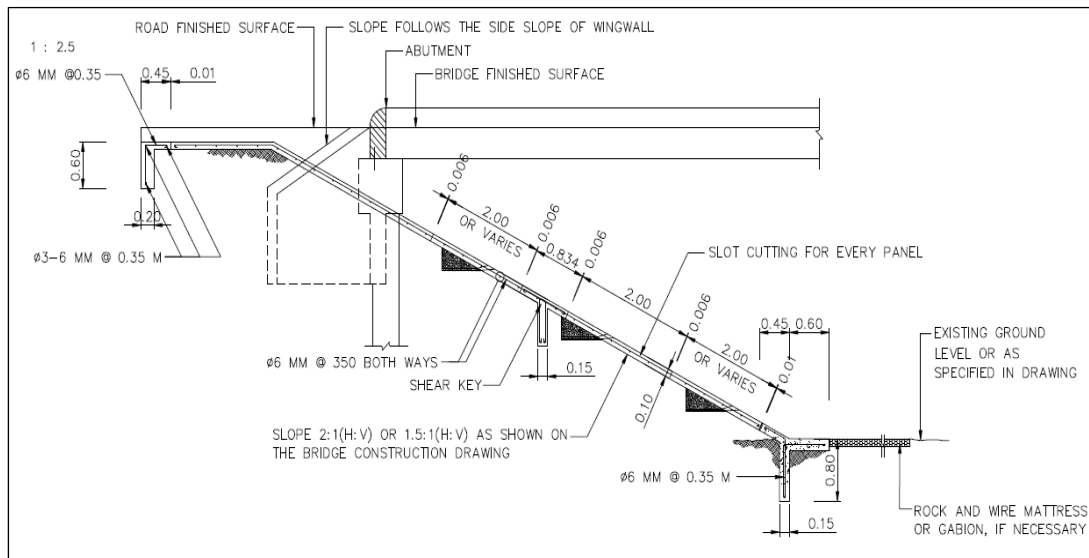
หินเรียงยาแนว (Rip-Rap Protection) เป็นการนำหินเรียงที่ออกแบบไว้ นำมาเรียงให้เข้ามุกกันอย่างแน่นหนา ช่องว่างระหว่างก้อนหินให้ประสานด้วยปูนทราย (Mortar) ในการทำหน้าที่เป็นตัวประสานปูนทรายนั้น ต้องเติมลงไปในช่วงว่างระหว่างก้อนหิน โดยให้รอยต่อของหินทุกก้อนมีปูนทรายประสานอย่างสมบูรณ์ สำหรับหินเรียงที่มีน้ำไหลผ่านอยู่เสมอ เช่น หินเรียงที่ปลายท่อระบายน้ำ หรือลาดเอียงที่มีการระบายน้ำ ผิวของปูนทรายต้องเรียบและเสมอกับผิวของก้อนหินที่เรียง เพื่อให้ผิวทั้งหมดเรียบเหมาะกับการระบายน้ำ หินเรียงยาแนวนิยมนำมาใช้ป้องกันในบริเวณที่มีการกัดเซาะรุนแรง เช่นบริเวณปลายเชิงลาด (Toe Slope) แสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 รูปแบบการก่อสร้างหินเรียงยาแนว [6]

2. คอนกรีตลาด(Concrete Lining)

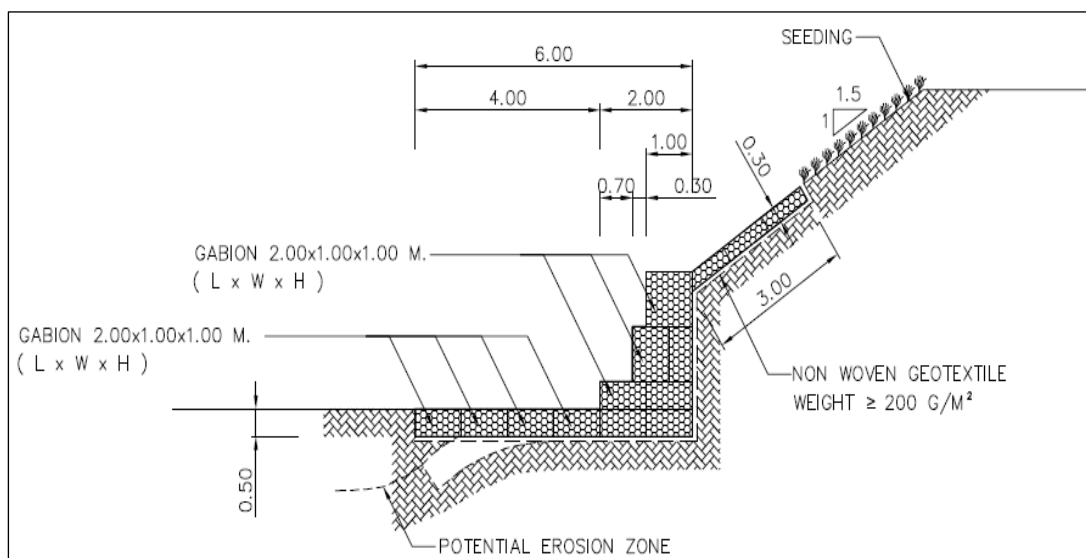
คอนกรีตลาด (Concrete Lining) เป็นโครงสร้างที่ใช้สำหรับป้องกันน้ำกัดเซาะหน้าดินเพื่อรักษาผิวหน้า ไม่ให้เกิดการเคลื่อนพังทลายของหน้าดิน โดยมีการเสริมเหล็กเพิ่มความแข็งแรงของเชิงลาด แสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 รูปแบบการก่อสร้างคอนกรีตลาด (Concrete Lining) [6]

3. ก่อสร้างลวดตาข่าย(Gabion and Mattress)

ก่อสร้างลวดตาข่าย(Gabion and Mattress) ใช้สำหรับป้องกันการพังทลายจากการกัดเซาะ เป็นก่อสร้างลวดตาข่ายโลหะที่ไม่เป็นสนิม หรือถูกเคลือบด้วยวัสดุที่ป้องกันการเกิดสนิม เช่น Polyvinyl เป็นต้น และมีความทนทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion) หรือผลจากกระบวนการ Weathering ต่างๆ ภายในบรรจุหินขนาดต่างๆ ที่หาได้ง่ายและมีความทนทาน จนเต็มขนาดกล่องแล้วนำมาปูวางในบริเวณที่ต้องการป้องกันการกัดเซาะ โดยเฉพาะบริเวณที่มีการกัดเซาะรุนแรง นอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องของแรงต้านบริเวณด้านล่างของเชิงลาดให้มีเสถียรภาพมั่นคงขึ้นได้ด้วย หลักการทำงานเช่นเดียวกับกำแพงกันดิน ซึ่งก่อสร้างลวดตาข่ายทำหน้าที่เป็นโครงสร้างกันดินช่วยพยุงป้องกันการพังทลายหรือการเคลื่อนตัวของมวลดิน เป็นการเพิ่มแรงต้านทานให้กับเชิงลาด แสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 รูปแบบการก่อสร้าง Gabion และ Mattress [6]

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการวิบัติของเชิงลาดสะพาน ในทางหลวงหมายเลข 2133 ตอน ศรีบุญเรือง – ภูเวียง ที่ กม. 31+087 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อเสถียรภาพของเชิงลาดคือการกัดเซาะของลำน้ำที่ปลายเชิงลาด (Toe Slope) ของระบบการป้องกันที่มีอยู่เดิม (Slope Protection for Bridge Abutment, Concrete Lining) ลึกลงถึงระดับที่ทำให้ Shear Key ไม่ได้ทำหน้าที่ด้านการเคลื่อนตัวของเชิงลาด ในกรณีที่มีการกัดเซาะของลำน้ำอย่างรุนแรง ควรมีการป้องกันการกัดเซาะที่ปลายเชิงลาด (Toe Slope) โดยใช้หินและกล่องลวดตาข่าย Mattress หรือวิธีการป้องกันอื่นๆ โดยพิจารณาจากความลาดชันของตลิ่ง ความเร็วกระแสน้ำ ชนิดของดินหรือหินที่อยู่ใต้ท้องลำน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณศิวดล แสนสีลา วิศวกรโยธาชำนาญการ ศูนย์สร้างและบูรณะสะพานที่ 2 (ขอนแก่น) สำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง ที่ให้ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการวิจัย และขอขอบคุณ คุณโกมลย์ ชัยรัตนงาม เศษ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในการวิจัย ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. Mairiang W. Earth fills Dam Engineering, Bangkok: Library Nine. 1999.
2. Korkitsuntornsarn W. Seismic Hazard Analysis of Thailand. Master's thesis, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University. 2016.
3. Mary E, Hynes-Griffin, Arley G. Franklin. Geotechnical Laboratory, Department of the Army Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. PO Box 631, Vicksburg, Mississippi, USA. 1984.
4. NAVFAC Design Manual 7.10 Soil Mechanics, Department of the Naval Facilities Engineering Command, Chapter 7, Slope Stability and Protection. 1986.
5. AASHTO. Standard Specifications for Highway Bridge. Washington DC, USA. 2002.
6. Department of Highways. Standard Drawing for Highways Design and Construction (revision 2015), Ministry of transport, Thailand. 2018.
7. 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.
8. Abramson LW, Lee TS, Sharma S, Boyce GM. Slope Stability Stabilization methods, John Wiley and Sons, Inc., New York. 1996.
9. Angsuwotai P. Foundation Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kean University. 1982.
10. Horpibulsuk S. Foundation Engineering. Institute of Engineering Suranaree University of Technology. 2012.
11. Likitlersuang S. Soil Mechanics: Fundamentals, Bangkok: Chulalongkorn University Press. 2014.



12. Meyerhof GG. Safety Factor in Soil Mechanics, Canadian Geotechnical Journal, Vol.7(4): 349-355. 1970.
13. Muktabhant C. Soil mechanics, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kean University. 2001.
14. Price T. Warwick University. [URL:http://fbe.vwc.uk/pubric/geocal/Slope/Slopes.html](http://fbe.vwc.uk/pubric/geocal/Slope/Slopes.html). 2006.
15. Tanseng P. Foundation Engineering, Institute of Engineering Suranaree University of Technology. 2011.
16. Terzaghi K, Peck RB, Mesri G. Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons, Inc., New York. 1996.
17. Varnes DJ. Slope movement types and processes, Transportation Special Report No. 176, National Academy of Sciences, Washington DC. 1978.